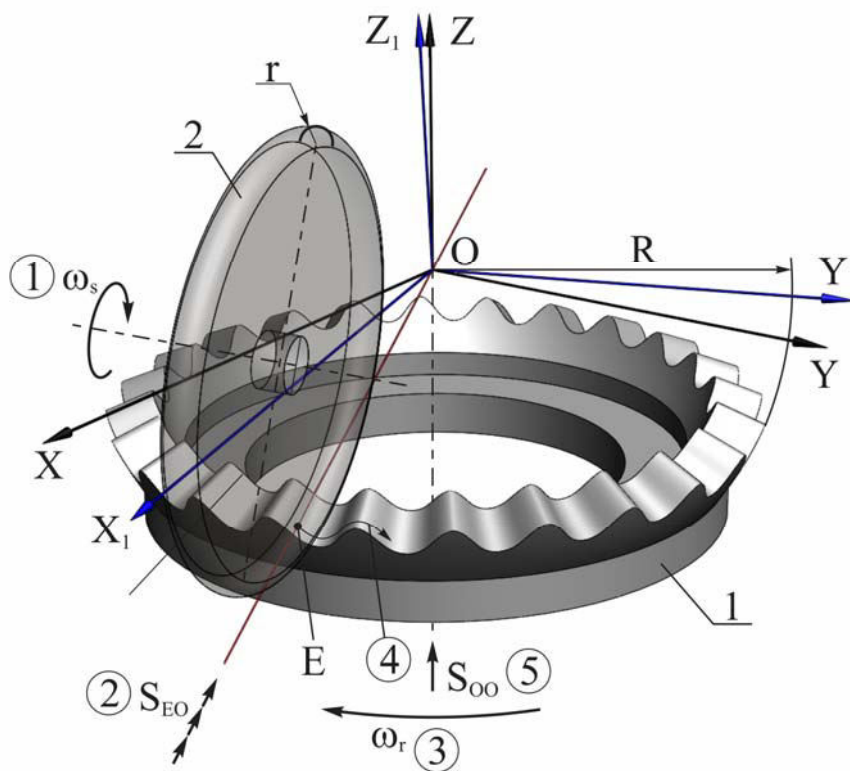


TEHNOLOGII ȘI PROCEDEE DE DANTURARE A ROȚILOR DINȚATE



Chișinău
2018

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi

Departamentul Tehnologia Construcțiilor de Mașini

**TEHNOLOGII ȘI PROCEDEE DE DANTURARE A
ROȚILOR DINȚATE**

Chișinău
Editura „Tehnica-UTM”

2018

CZU 621.833(075)

M 53

În monografia de față sunt expuse metodele moderne de generare a danturilor cunoscute, interacțiunea și căile posibile de dezvoltare a tehnologiilor de danturare a angrenajelor și a utilajului folosit în construcția de mașini: tratamentul termic al materialului, prelucrarea prin presiune, prin așchiere și procedee neconvenționale.

Lucrarea este destinată inginerilor, profesorilor, doctoranzilor și studenților care se ocupă de proiectarea transmisiilor de uz general și în special de elaborarea tehnologiilor de execuție a lor.

Autori: Sergiu Mazuru, dr., conf., univ.
Serghei Scaticailov, lect., univ.,

Recenzent: Valeriu Dulgheru, dr. hab., prof. univ.,
Recenzent: Laurențiu Slătineanu, dr. ing., prof.univ.,

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII

Mazuru, Sergiu.

Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate / Sergiu Mazuru, Serghei Scaticailov ; Univ. Tehn. a Moldovei, Fac. Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi, Dep. Tehnologia Construcțiilor de Mașini. – Chișinău : Tehnica-UTM, 2018. – 397 p. : fig., tab.

1 disc optic electronic (CD-ROM ; 700 Mb ; 52x) : sd., col.; în container, 15 x 15 cm. – Titlu preluat de pe eticheta discului. – Cerințe de sistem: Windows OS, HDD 64 Mb, PDF Reader. – Disponibil: <http://www.library.utm.md>

Aut. sunt indicați pe vs. f. de tit. – Bibliogr.: p. 388-396 (166 tit.).

ISBN 978-9975-45-563-3.

621.833(075)

M 53

ISBN 978-9975-45-563-3.

© UTM, 2018
© Sergiu Mazuru

PREFAȚĂ

Sfârșitul acestui secol este marcat de perfecționarea fără precedent a tehnologiilor de fabricație în toate domeniile industriei.

Introducerea în fabricație a unor produse noi cu caracteristici ridicate, ca cerință obiectivă a procesului de trecere la economia de piață, impune în primul rând elaborarea tehnologiilor de fabricație competitive, care să permită pătrunderea lejeră a acestora în sfera schimburilor internaționale.

În acest context, se pune din ce în ce mai pregnant problema determinării justificate a adaosului de prelucrare, a regimurilor de așchiere și a normelor tehnice de timp. Toate aceste probleme au implicații majore, de ordin cantitativ și calitativ, în obținerea unor economii însemnate de metal, energie și manoperă ce conduc la micșorarea costurilor de fabricație.

În lucrare este prezentat un material sistematizat deosebit de util proiectanților de tehnologii pentru prelucrările mecanice de calitate. În acest sens se prezintă, într-o formă îmbunătățită, tabelele cu adaosuri de prelucrare, regimuri de așchiere și norme tehnice de timp, care pot constitui o bază de date valoroasă pentru calculatoarele cu care sunt înzestrate întreprinderile constructoare de mașini sau societățile comerciale în domeniu.

Printre problemele mai importante cuprinse în lucrare se pot menționa: noțiuni de generare și clasificare a roților dințate; tehnologii de prelucrare a roților dințate cilindrice, conice melcate și a cremalierelor; precizia de calitate a prelucrărilor roților dințate; exemple de proiectare a operațiilor de danturare.

Lucrarea, în modul în care este concepută, prin problematica și conținutul ei, se adresează unor categorii largi de muncitori, tehnicieni, maiștri care activează în sectoarele productive și în atelierele de pregătire tehnologică a fabricației, fiind utilă și elevilor de la liceele industriale, școlile de maiștri, precum și studenților de la toate facultățile cu profil mecanic.

Autorii

CUPRINS

| | |
|---|----|
| PREFAȚĂ | 3 |
| 1. NOȚIUNI GENERALE | 7 |
| 1.1. Clasificarea roților dințate și a altor piese cu dantură..... | 7 |
| 1.2. Elemente geometrice ale roților dințate..... | 8 |
| 1.3. Materiale utilizate la fabricarea roților dințate..... | 13 |
| 1.4. Metode de obținere a semifabricatelor pentru roțile dințate..... | 16 |
| 1.5. Tratamente termice și termochimice ale oțelurilor și fontelor utilizate la fabricarea roților dințate..... | 22 |
| 1.6. Stratul superficial și valoarea lui pentru determinarea calității roților dințate..... | 31 |
| 2. MECANISMUL FORMĂRII COMPONENTELOR ERORII CINEMATICE A ROȚILOR DINȚATE | 48 |
| 2.1. Premisele teoretice | 48 |
| 2.2. Analiza mecanismului formării componentelor erorii cinematice a roților dințate la frezarea danturii | 49 |
| 2.3. Analiza mecanismului formării componente erorii cinematice a roților dințate la operația tehnologică de șeveruire | 58 |
| 2.4. Analiza mecanismului formării componentelor erorii cinematice a roților dințate la operația tehnologică de durificare termochimică | 60 |
| 2.5. Analiza mecanismului formării componente radiale a erorii cinematice a roților dințate la operația tehnologică de rectificare interioară | 65 |
| 2.6. Analiza mecanismului formării componentelor erorii cinematice a roților dințate la operația tehnologică de honuire a danturii | 66 |
| 2.7. Analiza legăturilor formării erorilor roților dințate conform normelor preciziei cinematice la operațiile de prelucrare mecanică | 66 |
| 2.8. Sporirea preciziei de danturare prin alegerea corectă a roților lirei de divizare | 69 |
| 2.9. Particularități de bazare a roților dințate tratate termic la prelucrarea mecanică | 72 |

| | |
|---|-----|
| 3. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȚILOR DINȚATE CILINDRICE ȘI A CREMALIERELOR | 77 |
| 3.1. Danturarea roților dințate cilindrice prin copiere | 77 |
| 3.2. Danturarea roților dințate cilindrice prin rulare | 85 |
| 3.3. Danturarea roților dințate cilindrice prin presare volumică la rece | |
| 3.4. Danturarea roților pentru lanțuri articulate cu role | 104 |
| 3.5. Danturarea cremalierelor | 106 |
| 3.6. Finisarea roților dințate cilindrice | 111 |
| 4. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȚILOR DINȚATE CONICE | 139 |
| 4.1. Clasificarea roților dințate conice | 139 |
| 4.2. Elemente de referință privind tehnologia danturării | 142 |
| 4.3. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepecți și înclinați | 144 |
| 4.4. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți curbi | 184 |
| 5. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȚILOR DINȚATE PRECESIONALE | 226 |
| 5.1. Cinematica procesului de generare a danturii | 226 |
| 5.2. Linia de contact dintre sculă și roata dințată la generarea profilului nestandardizat ... | 227 |
| 5.3. Variația secțiunii transversale teoretice a așchiilor dintre sculă și roata dințată | 230 |
| 5.4. Descrierea analitică a poligonalității profilului format în procesul de generare cu sculă în formă de disc | 233 |
| 5.5. Elaborarea sistemului tehnologic de generare a danturilor cu mișcare sferospațială a sculei în formă de disc | 237 |
| 5.6. Descrierea utilajului și a metodei de rectificare a dinților | 242 |
| 5.7. Modelarea fizico-matematică a procesului de rectificare cu determinarea productivității, durității sculei și calității suprafeței prelucrate | 245 |
| 6. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A PROCESULUI DE DANTURARE A TRANSMISIILOR PRECESIONALE PRIN RULARE | 256 |
| 6.1. Metodica cercetărilor experimentale | 256 |
| 6.2. Influența oscilațiilor apărute în procesul rectificării asupra tensiunilor remanente în stratul exterior al dinților roților dințate | 258 |
| 6.3. Influența condițiilor de rectificare asupra caracteristicii calității stratului exterior | 261 |
| 6.4. Influența excentricității dinților roților dințate asupra tensiunilor remanente | 264 |
| 6.5. Modificarea durității stratului exterior al dintelui roților dințate rectificat | 265 |
| 6.6. Formarea rugozității suprafeței dinților roților dințate | 267 |
| 6.7. Modificarea conținutului de austenită reziduală în stratul exterior al dinților roților dințate ... | 269 |
| 6.8. Caracteristica structurală a stratului exterior a roților dințate rectificate .. | 271 |

| | |
|---|------------|
| 6.9. Influența stării stratului exterior al dintelui roții dințate asupra rezistenței la uzură..... | 277 |
| 6.10. Influența cinematicii procesului de așchiere asupra generării modificărilor în stratul exterior al profilului dinților..... | 279 |
| 6.11. Formarea stratului exterior în procesul de rectificare a danturii..... | 281 |
| 6.12. Legătura dintre calitatea stratului exterior al dinților cu formele constructive ale roților dințate... .. | 292 |
| 6.13. Influența materialului sculei asupra formării stratului exterior al dintelui roții dințate..... | 294 |
| 6.14. Analiza rigidității statice a sistemului tehnologic de rectificat dantură prin metoda elementelor finite..... | 298 |
| 6.15. Studiul preciziei de danturare a profilului angrenajului precesional..... | 303 |
| 7. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȚILOR MELCATE | 308 |
| 7.1. Elemente de referință privind tehnologia danturării roților melcate | 308 |
| 7.2. Tehnologia danturării roților melcate cu freză-melc..... | 311 |
| 7.3. Tehnologia danturării roților melcate cu cuțit rotitor | 315 |
| 7.4. Tehnologia danturării roților melcate globoidale | 317 |
| 7.5. Tehnologia danturării prin copiere a roților melcate cu freză profilată..... | 319 |
| 7.6. Tehnologia danturării roților melcate speciale..... | 320 |
| 7.7. Tehnologia șeveruirii danturii roților melcate cu șeverul-melc..... | 322 |
| 7.8. Tehnologia rodării și lepuirii danturii roților melcate..... | 323 |
| 7.9. Rodajul roților melcate | 324 |
| 8. REGIMURI DE AȘCHIERE LA PRELUCRAREA DANTURII ROȚILOR DINȚATE | 327 |
| 9. NORMAREA TEHNICĂ..... | 350 |
| 9.1. Noțiuni generale | 350 |
| 9.2. Structura normei tehnice de timp..... | 350 |
| 9.3. Metode de analiză a normei tehnice de timp..... | 351 |
| 9.4. Normarea tehnică în cazul producțiilor de serie mică și unicate | 352 |
| 9.5. Normarea tehnică în cazul producțiilor de serie mijlocie și serie mare | 361 |
| 10. TOLERANȚELE ȘI AJUSTAJELE PIESELOR CU DANTURĂ | 375 |
| 10.1. Roțile de angrenaje cilindrice cu axe paralele | 375 |
| 10.2. Cremaliera și angrenajele cu cremalieră | 381 |
| 10.3. Roțile din angrenajele conice și hipoide | 384 |
| BIBLIOGRAFIE | 388 |

1. NOȚIUNI GENERALE

1.1. Clasificarea roților dințate și a altor piese cu dantură

Roțile dințate sunt organe de mașini utilizate, în special, în domeniul transmisiilor mecanice, într-o mare varietate tipodimensională. Diversitatea utilizării roților dințate reclamă o clasificare riguroasă a acestora după mai multe criterii, cel mai cuprinzător referindu-se la forma geometrică a roții sau danturii acesteia, elemente ce impun și particularități tehnologice de prelucrare (fig. 1.1).

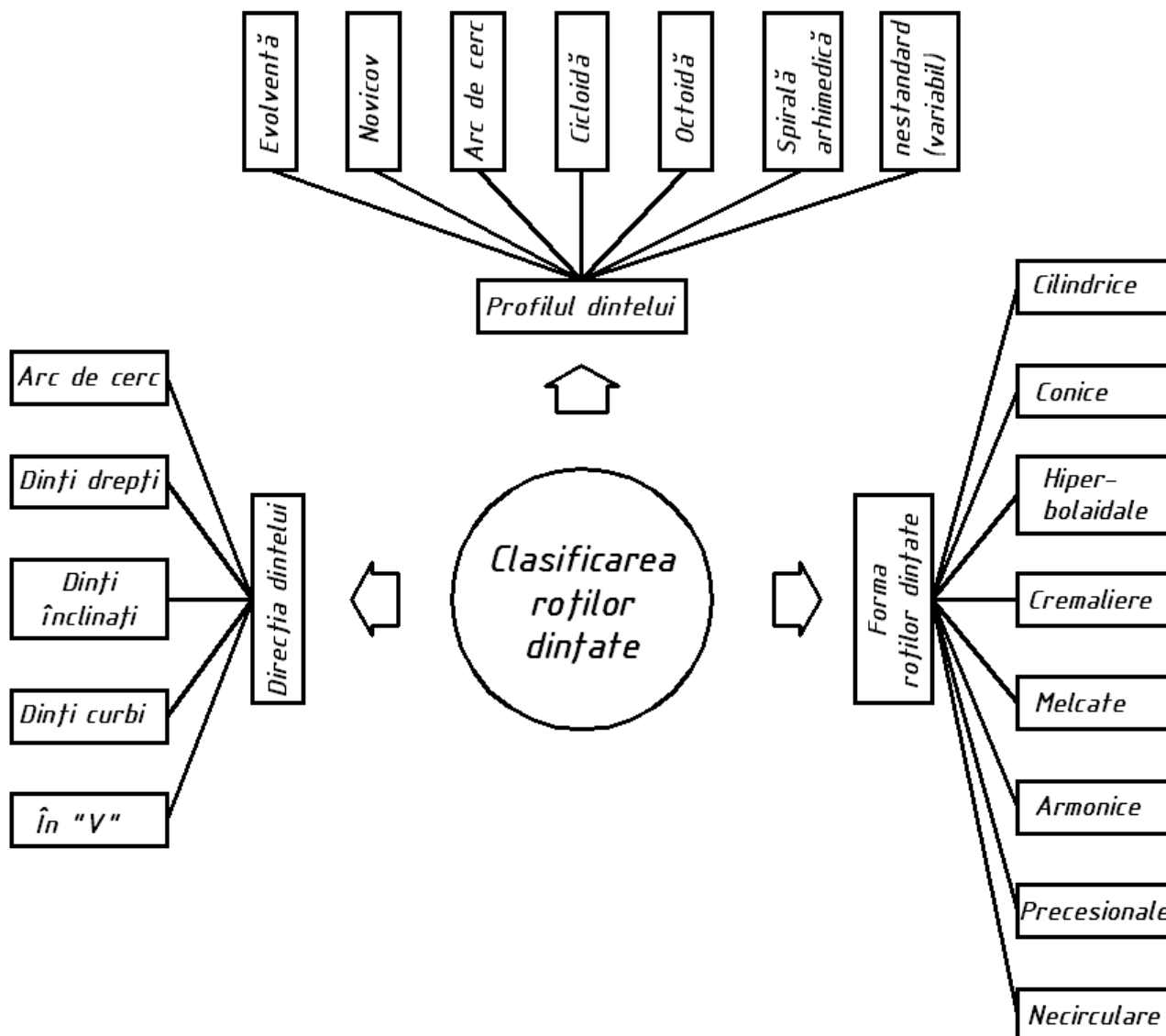


Fig. 1.1

Mărimea constructivă impune clasificarea roților dințate astfel: foarte mici, mici, mijlocii, mari, foarte mari; cu lățimea danturii îngustă, normală, mare și foarte mare; corespunzător formei constructive, în roți dințate monobloc, coroane dințate, pinioane dințate, asamblate, baladoare etc.

Un alt criteriu de clasificare al roților dințate îl constituie și materialul din care sunt executate acestea: aliaje feroase, aliaje neferoase, materiale plastice, textolit, cauciuc vulcanizat, lemn de esență tare etc.

Corespunzător formelor geometrice, a materialelor din care sunt executate, a rolului lor funcțional etc. rezultă și procedeele tehnologice de obținere a roților dințate; cele principale fiind: turnarea, presarea la cald,

ștanțarea, extrudarea, presarea volumică la rece, așchieria, dizolvarea anodică, electroeroziunea, coroziunea chimică, diferite procedee combinate etc.

Din categoria altor piese cu dantură utilizată în construcția de mașini fac parte și arborii canelați.

Arborii canelați sunt organe de mașini utilizați la realizarea asamblărilor de tip arbore-butuc prin formă, care fac imposibilă rotirea reciprocă, asigurându-se astfel transmiterea momentului de răsucire și, în funcție de ajustaj, posibilitatea deplasării axiale.

Clasificarea arborilor canelați se face în funcție de forma canelurilor: profile dreptunghiulare, profile triunghiulare și profile evolvente. Utilizarea arborilor canelați după forma profilului impun utilizarea profilului dreptunghiular în construcția mașinilor-unelte. Cele cu profil triunghiular – pentru realizarea îmbinărilor fixe care pot transmite momente mari, iar cele în evolută sunt utilizate în construcția autovehiculelor, fiind caracterizate printr-o rezistență bună la solicitări variabile.

Asamblările cu caneluri se pot clasifica astfel:

- după modul de centrare: interioară, exterioară și laterală (pe flancuri);
- după tipul asamblării: fixă și mobilă (deplasare axială).

Tehnologia de execuție a arborilor canelați impune utilizarea, în principiu, a aceluiași procedee ca și la prelucrarea roților dințate..

Roțile de lanț sunt organe de mașini prevăzute cu dantură utilizate pentru transmisiile prin lanțuri articulate cu role.

În funcție de diametrul de divizare, roțile de lanț pot fi de diametre mici, medii și mari, ceea ce impune realizarea lor în varianta constructivă monobloc sau asamblată.

Din punct de vedere al procedeeului de danturare, roțile de lanț se pretează în mod deosebit la prelucrarea prin deformare plastică la rece și la cald, neexcluzându-se, bineînțeles, toate tipurile de tehnologii utilizate și la fabricarea celorlalte piese de dantură.

1.2. Elemente geometrice ale roților dințate

Din punct de vedere geometric, roțile dințate cilindrice sunt definite prin numărul de dinți Z , profilul de referință (al dinților), unghiul de înclinare de referință (0° în cazul roților cu dinți drepecți), deplasarea de profil, modulul, diametrul de divizare și lățimea danturii.

Modulul este definit prin relația $m = p/\pi$, în care p este pasul de divizare (distanța dintre două flancuri omoloage succesive), măsurată pe arcul unei suprafețe date.

Valorile modulelor sunt standardizate în STAS 822-82 și prezentate în tabelul 1.1, unde grupa I conține valori preferențiale. Deplasarea de profil se determină cu ajutorul relației $\varepsilon_3 = x \cdot m$, în care x este coeficientul deplasării de profil.

Principalele elemente geometrice ale roților cilindrice cu dinți drepecți și relațiile de calcul, în corelație cu terminologia prezentată în STAS 915/3-81, sunt prezentate în tabelul 1.2.

E de menționat că în cazul roților dințate cilindrice cu dinți drepecți, dimensiunile în plan normal sunt identice cu cele în plan frontal.

Din punct de vedere constructiv, roțile pentru lanțuri articulate cu rolă au o oarecare asemănare cu roțile

dințate cu dinți drepecți, având geometria danturii definită în planele frontal și axial conform STAS 5006-82, STAS 5174-66, în corelație cu recomandarea ÎSO/R-606.

Tabelul 1.1. Gama modulelor pentru angrenajele în evolventă și angrenajele conice cu dinți drepecți

| I | II | I | II |
|------|-------|--------|-------|
| 0,05 | 0,055 | 2,50 | 2,75 |
| 0,06 | 0,07 | 3,00 | 3,50 |
| 0,08 | 0,09 | 4,00 | 4,50 |
| 0,10 | 0,11 | 5,00 | 5,50 |
| 0,12 | 0,14 | 6,00 | 7,00 |
| 0,15 | 0,18 | 8,00 | 9,00 |
| 0,20 | 0,22 | 10,00 | 11,00 |
| 0,25 | 0,28 | 12,00 | 14,00 |
| 0,30 | 0,35 | 16,00 | 18,00 |
| 0,40 | 0,45 | 20,00 | 22,00 |
| 0,50 | 0,55 | 25,00 | 28,00 |
| 0,60 | 0,70 | 32,00 | 36,00 |
| 0,80 | 0,90 | 40,00 | 45,00 |
| 1,00 | 1,125 | 50,00 | 55,00 |
| 1,25 | 1,375 | 60,00 | 70,00 |
| 1,50 | 1,75 | 80,00 | 90,00 |
| 2,00 | 2,25 | 100,00 | — |

Observație. Grupa I conține valori preferențiale.

În profilul frontal al dinților (fig. 1.2) parametrii geometrici sunt următorii: pasul p (egal cu pasul lanțului); pasul unghiular α definit prin relația $\alpha = 360^\circ/z$; unghiul flancului dintelui γ , unghiul lăcașului rolei δ ; unghiul golului dintre doi dinți alăturați ψ ; diametrul rolei lanțului d_1 ; raza locașului rolei R_l , diametrul de divizare D_d ; diametrul de fund D_f ; diametrul de vârf D_e ; raza flancului dintelui R_z ; înălțimea dintelui K_d ; dimensiunea peste rola M .

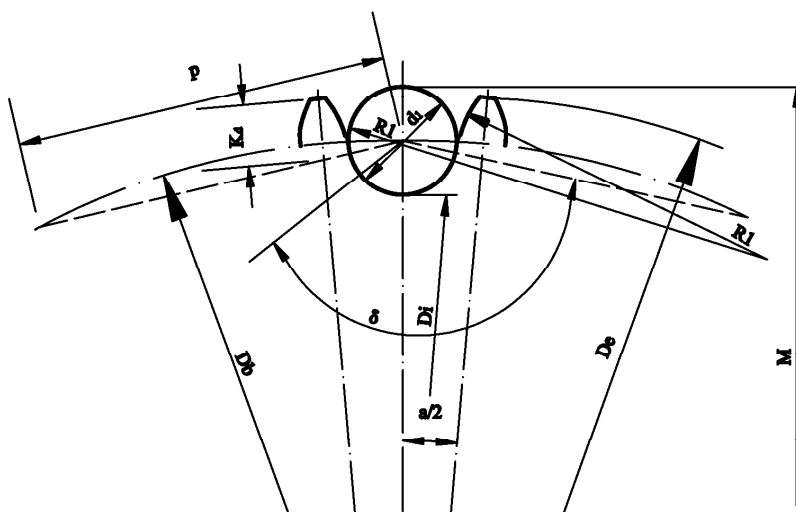
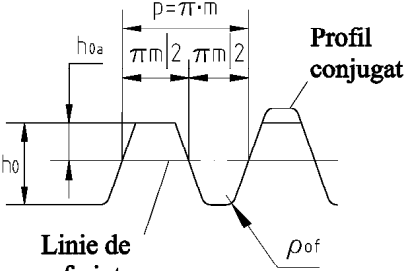
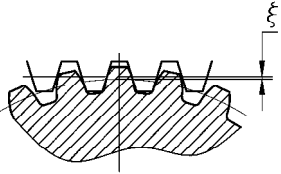
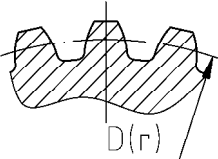
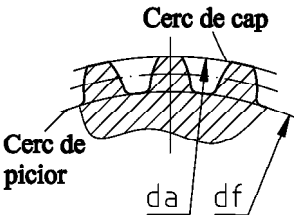
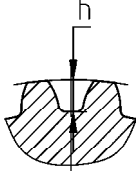
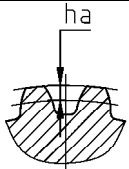
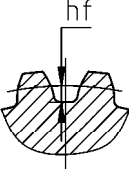
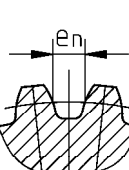
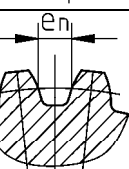

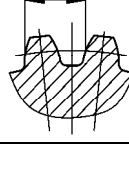
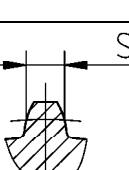
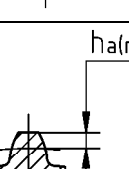
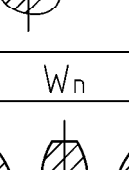


Fig. 1.2

Tabelul 1.2. Elementele geometrice ale roților cilindrice cu dinți drepți

| Elementul geometric 1 | Schița explicativă 2 | Relația de calcul 3 | |
|--|---|--|-----------------------|
| Numărul de dinți z | | - | |
| Profilul de referință STAS 821-82 | unghiul de presiune de referință α_0 | | $\alpha_0 = 20^\circ$ |
| | înălțimea capului de referință h_{oa} |  | $h_{oa} = m$ |
| | înălțimea dintelui de referință h_a | | $h_a = 2,25m$ |
| | raza de racordare de referință la piciorul dintelui ρ_{of} | | $\rho_{of} = 0,38m$ |
| Modulul m | | | $m = \rho / \pi$ |
| Deplasarea de profil ε |  | | |
| Coeficientul deplasării de profil x | | $x = \varepsilon / m$ | |
| Diametrul (raza) de divizare d (r) |  | $d = mz$ | |
| Diametrul (raza) de cap d_a (r_a) | | $d_a = 2mzd(1 + x)$ | |
| Diametrul (raza) de picior $d_{f(r)}$ la generare cu: - cremalieră generatoare - roată generatoare (cu indicele g) |  | $d_f = 2mz(1,25 - x)$ $d_f = 2Ag \pm d_{ag}$ (A_g –distanța între axele angrenajului) | |
| Înălțimea dintelui h |  | $h = \pm 0,5(d_a - d_f) = h_a - h_f$ | |

| | | |
|--|---|--|
| Înălțimea capului (de divizare) h_a |  | $h_a = \pm 0,5(d_a - d)$ |
| Înălțimea piciorului (de divizare) h_f |  | $h_f = \pm 0,5(d - d_f)$ |
| Arcul (normal) de divizare al dintelui S_n |  | $S_{(n)} = (0,5\pi + 2\varepsilon \operatorname{tg}\alpha_0)m$ |
| Arcul (normal) de divizare al dintelui e_π |  | $e_{(n)} = (0,5\pi + 2\varepsilon \operatorname{tg}\alpha_0)m$ |
| Pasul unghiular τ |  | $\tau = 2\pi / z$ |
| Pasul normal (p_n) |  | $p_n = \pi m = \pi d / z$ |
| Semiunghiul arcului de divizare al dintelui ψ_t | | $\Psi_t = s_{(n)} / d$ |
| Coarda de divizare (normală) adintelui $\bar{s}_{(n)}$ |  | $\bar{s}_{(n)} = d \sin \psi_t$ |
| Înălțimea la coarda de divizare (normală) $\bar{h}_{a(n)}$ |  | $\bar{h}_{a(n)} = \pm 0,5(d_a - d \cos \psi_t)$ |
| Lungimea peste N dinți W_N |  | $W_N = m \cos \alpha_0 [(n - 0,5)\pi + z \operatorname{inv}\alpha_0] \pm \pm 2m\varepsilon \sin \alpha_0$, unde $n = z\alpha_0 - 180^\circ + 0,5 \pm 2\varepsilon / \pi \operatorname{tg}\alpha_0$ (rotunjit la valoarea întregă) |

Calculul analitic al acestor elemente geometrice se va efectua conform relațiilor prezentate în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3. Relațiile de calcul ale elementelor geometrice în plan frontal ale roților pentru lanțurile articulate cu role

| <i>Denumirea</i> | <i>Relația de calcul</i> |
|---|---|
| Unghiul flancului dintelui γ , grd | $\gamma_{max} = 35^\circ - (120^\circ / z)$ $\gamma_{med} = 26^\circ - (92^\circ / z)$ $\gamma_{min} = 17^\circ - (64^\circ / z)$ |
| Diametrul de divizare D_d , mm | $D_d = p / \sin(180^\circ / z)$ |
| Diametrul de fund D_i , mm | $D_i = D_d - d_1$ |
| Diametrul de vârf D_e , mm | $D_{e_{max}} = D_d + 1,25p - d_1$ $D_{e_{min}} = D_d + (1 - 1,6z)p - d_1$ |
| Diametrul rolei calibru d_e , mm | $d_e = d_1^{+0,01}$ |
| Diametrul piesei role M , mm | $M_{max} = D_d + d_e$ $M_{min} = D_d \cos(90^\circ / z) + d_e$ |
| Raza locașului rolei R_1 , mm | $R_{1_{min}} = 0,505 d_1$ $R_{1_{max}} = 0,505 d_1 + 0,069\sqrt[3]{d_e}$ |
| Unghiul locașului rolei δ , grd | $\delta_{max} = 140^\circ - 90^\circ / z$ $\delta_{min} = 120^\circ - 90^\circ / z$ |
| Raza flancului dintelui R_2 , mm | $R_{2_{max}} = 0,008 d_1 (z + 180)$ $R_{2_{min}} = 0,12 d_1 (z + 2)$ |
| Înălțimea dintelui k_d , mm | $k_{d_{max}} = (0,625 + 0,8 / z)p - 0,5d_1$ $k_{d_{min}} = 0,5(p - d_1)$ |

În secțiune axială (fig. 1.3), elementele geometrice ale danturii sunt: lățimea dintelui B_1 , lățimea danturii B_2 ... B_n determinată de numărul de rânduri de role; teșirea dintelui f , raza de teșire minimă R_3 , raza de racordare la obada roții R_4 , diametrul exterior al obezii D_5 .

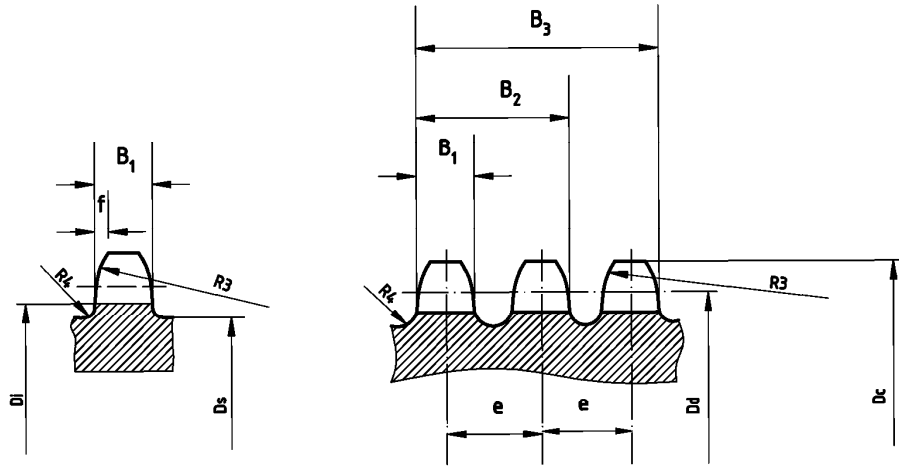


Fig.1.3

Calculul analitic al acestor elemente geometrice se va efectua conform relațiilor prezentate în tabelul 1.4.

Tabelul 1.4. Relațiile de calcul ale elementelor geometrice în plan axial ale roților pentru lanțurile articulate cu role

| Denumirea | Relația de calcul | | | | |
|---|--|----------------------|---------------------|----------------------|----------|
| | Nr. De zale | $p \leq 12,7$ | | $p > 12,7$ | |
| Lățimea dintelui B_1 , mm | 1 | $B_1 = 0,93 d_{min}$ | | $B_1 = 0,95 d_{min}$ | |
| | 2sau 3 | $B_1 = 0,91 d_{min}$ | | $B_1 = 0,93 d_{min}$ | |
| | ≤ 4 | $B_1 = 0,88 d_{min}$ | | $B_1 = 0,90 d_{min}$ | |
| Lățimea dintelui $B_2 \dots B_n$ mm | $B_2 = B_1 + e$ $B_3 = B_1 + 2e$... $B_n = B_1 + (n-1)e$ | | | | |
| Teșirea dinelului f , mm | $f = (0,10 \dots 0,15)p$ | | | | |
| Raza de teșire minimă R_3 , mm | $R_{3min} = p$ | | | | |
| Raza de racordare la obada roții R_4 , mm | p | $\leq 9,525$ | $9,525 \dots 19,05$ | $19,05 \dots 44,5$ | $> 44,5$ |
| | R_4 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 |
| Diametrul exterior al obezei D_5 , mm | $D_5 = \text{pctg}(180^\circ/z) - 1,05b_1 - 2R_4$ Unde b_1 – lățimea eclisei interioare | | | | |

1.3. Materiale utilizate la fabricarea roților dințate

Stabilirea materialelor, cât și a tratamentelor termice și termochimice ale acestora pentru fabricarea roților dințate este condiționată de condițiile de funcționare ale angrenajului din care fac parte acestea. Prin condiții de funcționare se înțelege: forțele care solicită roata dințată, viteza periferică, solicitările constante și cele prin șocuri ale danturii, silențiozitatea, precum și mediul de lucru, în special, variațiile de temperatură și prezența agenților corosivi ai mediului de funcționare. Aceste condiții formează un complex de criterii pe baza cărora se fac următoarele recomandări privitoare la alegerea materialelor pentru fabricarea roților dințate. Roțile dințate care funcționează în condițiile unor încărcări pe dinte reduse și viteze periferice mici cuprinse între 0,3 și 2 m/s, se recomandă a fi fabricate din aliaje neferoase pe bază de zinc, cupru, materiale termoplastice, aliaje feroase de tipul

fontelor Fc250 și Fc300 (STAS 568-80) și a oțelurilor carbon de uz general de tipul OL (STAS 500/1-80). Pentru roțile dințate supuse la solicitări medii, exploatate la viteze periferice mici și mijlocii cuprinse între 2 și 8 m/s, se recomandă oțelurile semidure slab aliate susceptibile a fi îmbunătățite, sau oțelurile nealiate de tipul OLC (STAS 880-88).

Pentru roțile dințate greu solicitate, exploatate la viteze periferice ridicate (12... 16 m/s), cu încărcări mari pe dinte și șocuri în funcționare se folosesc oțeluri cu tenacitate mare OLC (STAS 880-88), la care se aplică durificarea superficială, prin tratamente termice și termochimice sau oțeluri înalt aliate Cr-Ni, Cr-Ni-Mn ș.a. (STAS 791-88). Roțile melcate se execută de regulă din fonte sau bronzuri de tipul BzAliOT (STAS 197/1-80) sau Bzl2T (STAS 198/2-81).

Sintetic, mărcile de oțeluri recomandate la fabricarea roților dințate prin așchiere sunt prezentate în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5. Oțeluri recomandate la fabricarea roților dințate (STAS 791-88, STAS 880-88 și 500/1-80)

| <i>Grupa</i> | <i>Mărci de oțeluri</i> | <i>Tratamente termice de bază</i> |
|-------------------------------------|--|---|
| Oțeluri turnate | OT50-3; OT55-3; OT60-3; OT50A | Recoacere, normalizare |
| | T3514; T30SM12; T40C9; T40CN12 | Normalizare, îmbunătățire |
| Oțeluri semidure și de îmbunătățire | OLC40; OLC45; OLC55; 40C10 40MC10; 35M16; 45M16; 35MS12 | Normalizare sau îmbunătățire, eventual cu călire superficială (la oțelurile cu 0,4..0,5% C) |
| | 35CN15; 41CN12; 45CN12; 36MoC11; 41MoCii | Îmbunătățire la duritatea cerută sau cianizare |
| | 38MoCA09 | Îmbunătățire cu nitrurare |
| Oțeluri moi | OLC10; OLC15; 15C08; 20C08; I8M010 | Carburare urmată de călire simplă sau dublă și revenire joasă |
| | 12MoMC12; 21MoMC12; 28TMC12; 28TMC12; 13CN17 | Carburare urmată de călire simplă sau dublă și revenire joasă |
| | 13CN30; 15CN35; 16CNW10; 25CNW10 | Carburare urmată de călire dublă, cu recoacere intermediară |
| | I8M0CN06; 18MoCN13 | Carburare urmată de călire simplă sau dublă |
| Oțeluri carbon de uz general | OL50; OL60; OL70 | - |
| Oțeluri carbon de calitate | OLC35; OLC45; OLCSO; OLC60 | Normalizare, îmbunătățire, călire superficială |
| Oțeluri aliate | 15CN15; 15CN30; 20MoN35; 15MoNC12 | Carburare + călire |
| | 45CN10; 45CN12; 40MoCN15 | Normalizare, îmbunătățire, călire superficială |

Principalele mărci de oțeluri standardizate utilizate la fabricarea roților dințate prin presare volumică la rece sunt prezentate în tabelul 1.6.

Tabelul 1.6. Oțeluri utilizate pentru piese cu dantură prelucrate prin presare volumică la rece

| <i>Semifabricatul</i> | | <i>Material / STAS</i> | <i>Dimensiuni (g - grosimea, d - diametrul), mm</i> |
|--|-------------|---|---|
| <i>Denumirea</i> | <i>STAS</i> | | |
| Oțel lat | 395-88 | Oțel 500/2-80; OLC 880-88; Oțel aliat 791-88; Oțel pentru rulmenți 145671-89 | |
| Tablă groasă | 437-87 | Oțel 500/2-80; OLC 880-88 Oțel aliat 791-88 | |
| Bandă laminată la cald | 908-90 | Oțel 500/2-80; OLC 880-88 | g = 2...5 |
| âOțel rotund calibrat | 1800-87 | Oțel 500/2-80; OLC 880-88; Oțel aliat 791-88; Oțel pentru rulmenți 1456/1-89; Oțel pentru organe de asamblare 11511/1-80 | d = 7...70 } |
| Oțel lat calibrat | 6972-90 | Oțel 500/2-80; OLC 880-88 Oțel aliat 791-88 | g = 5...16 |
| Oțel rotund tras destinat fabricării șuruburilor și piulițelor prin deformare plastică la rece | 9382-89 | Oțel 500/2-80; Oțel aliat 791-88 | Conform STAS 1800-8? |

Realizările în domeniile tehnologiilor de vârf impun înlocuirea materialelor scumpe deficitare, ce se produc cu cheltuieli mari energetice (așa-zisele materiale energo-intensive cum sunt oțelurile înalt aliate), cu materiale descoperite recent prin metalurgia pulberilor.

În tabelul 1.7 se indică unele materiale sinterizate pentru fabricarea roților dințate

Tabelul 1.7. Materiale sinterizate pentru fabricarea roților dințate pe bază defier

| <i>Materialul de sinterizare</i> | <i>Alungirea %</i> | <i>Rezistența la rupere daN/mm²</i> | <i>Rezistența la încovoiere daN/mm²</i> | <i>Duritatea HB daN/mm²</i> |
|--|--------------------|--|--|--|
| Fier | 8...12 | 18..22 | 42...48 | 55 |
| Fier cu conținutul mic de carbon | 15...20 | 24...28 | 50...56 | 58 |
| Fier cu 2 % Cu | 4...6 | 20...24 | 40...46 | 75 |
| Fier cu conținutul mic de carbon și cu 2% Cu | 5...7 | 28...32 | 56...62 | 100 |
| Fier cu 0,8% C | 4 | 33...43 | 66...82 | 1109 |
| Fier cu conținut mic de carbon și 5 % Ni | 10...12 | 37...41 | 82...88 | 120 |

| | | | | |
|---------------------------|---|---------|-----------|-----|
| Fier cu 2 % Cu și 0,8%C | 2 | 38...42 | 66...72 | 125 |
| Fier cu 5 % Ni | 2 | 46...50 | 90...96 | 150 |
| Fier cu 0,8 % C și 5 % Ni | 2 | 58...62 | 108...114 | 175 |

De subliniat că în ultimii ani sunt folosite și carburile metalice pentru fabricarea unor roți dințate care funcționează la temperaturi ridicate și în condiții foarte grele. Roțile dințate pentru mecanica fină se fabrică din materiale plastice termoreactive sau termorigide, prin presare, presare prin transfer, extrudare și injecție. La folosirea materialelor plastice se va avea în vedere faptul că indicatorii fizico-mecanici nu au valori fixe, ci aceștia sunt dependenți de temperatură și de timp.

1.4. Metode de obținere a semifabricatelor pentru roțile dințate

Principalele metode de obținere a semifabricatelor pentru roțile dințate sunt: turnarea, presarea volumică la cald (forjarea sau matrițarea), debitarea din bare laminate la rece sau la cald, trefilarea, ștanțarea și ștanțarea de precizie, presarea și sinterizarea din pulberi metalice etc.

Alegerea uneia sau alteia dintre metode se realizează în funcție de domeniul de utilizare a roții dințate, dimensiunile, volumul de producție, materialul, precum și modul de realizare a procesului de fabricație optim. Turnarea se recomandă în cazul roților dințate ce se vor fabrica din oțeluri nealiate sau slab aliate, fonte cenușii (Fc250, Fc300), aliaje neferoase (în special bronzuri pentru roțile melcate).

Obținerea semifabricatelor pentru roțile dințate prin turnare este însoțită de apariția unor defecte cum sunt: incluziunile nemetalice, retasurile, suflurile, porozitățile etc.

Dacă aceste defecte apar în zonele de solicitare maximă, acestea conduc la distragerea prematură a roții dințate în funcționare, deci au o fiabilitate scăzută. De asemenea, din turnare pot rezulta uneori semifabricate cu o structură metalografică necorespunzătoare (de ex. structura dendritică), a cărei rezistență la solicitările prin șoc este foarte slabă. Tratamentele termice executate ulterior pentru omogenizarea structurii sunt costisitoare și uneori nesigure. Există totuși cazuri când turnarea este singura metodă rațională de obținere a semifabricatelor pentru roțile dințate mijlocii și mari. Pentru roțile dințate de module mari, dantura se poate asigura din turnare, cu adaosul necesar pentru prelucrările prin așchiere ce se execută ulterior.

În cazul roților dințate de importanță mai mare, semifabricatele se obțin din oțeluri debitate din bare laminate. Atunci când însă solicitările sunt foarte mari se alege metoda de realizare a semifabricatelor prin forjare, tot din bare laminate, obținându-se un coroaiaj foarte ridicat.

La producțiile de unicate și serie mică se alege metoda de obținere a semifabricatului pentru roțile dințate prin forjare liberă, iar pentru producția de serie mare forjarea în matriță.

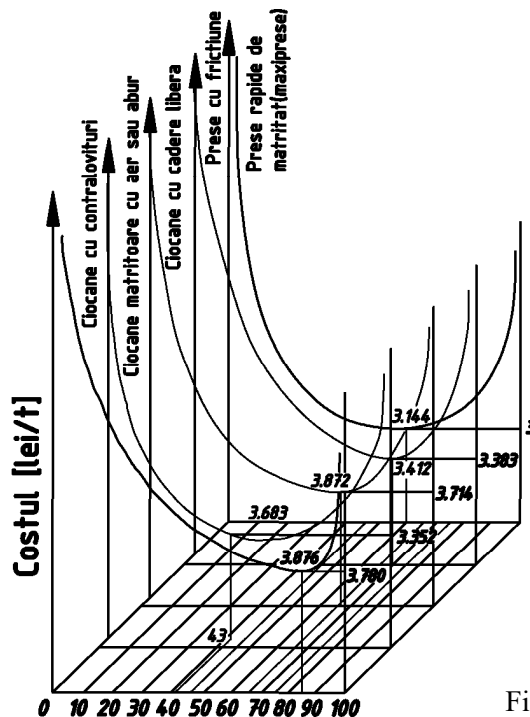


Fig.1.4

În fig. 1.4 sunt trasate curbele de variație a costului semifabricatelor dințate obținute prin matritare în raport cu gradul de utilizare a curselor active tehnologice.

Rularea la cald a danturilor constă în obținerea acestora printr-un proces de rulare, care are loc între semifabricatul încălzit superficial pe o anumită adâncime și o sculă de forma unor roți dințate conjugate.

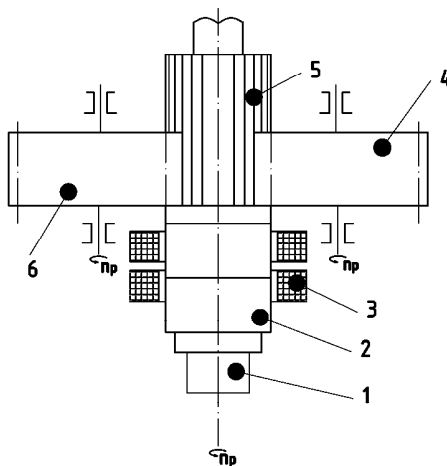


Fig.1.5

La rularea roților dințate cilindrice se utilizează două procedee de lucru. Primul dintre acestea (fig. 1.5) constă în fixarea semifabricatului 2 pe dornul central 1, iar sistemul are un avans continuu axial, semifabricatul trecând prin inducorul 3, care asigură încălzirea superficială, ajungând apoi în zona roților dințate-sculă 4 și 6, care imprimă prin angrenare cu semifabricatul cald profilul dinților. Roțile-sculă 4 și 6 sunt reglate inițial după o roată etalon. Cel de-al doilea procedeu constă în aceea că semifabricatul se încălzește inițial, înfr-un inductor, pe adâncimea necesară, începând apoi rularea danturii, pe un dispozitiv similar cu cel descris anterior, la un alt post de lucru. Metoda prezintă avantajul eliminării fazelor intermediare de degroșare prin așchiere, realizându-se o însemnată economie de metal și o îmbunătățire a proprietăților fizico-mecanice, fibrajul semifabricatului fiind continuu (fig.1.6), mărind capacitatea de efort a roții dințate.

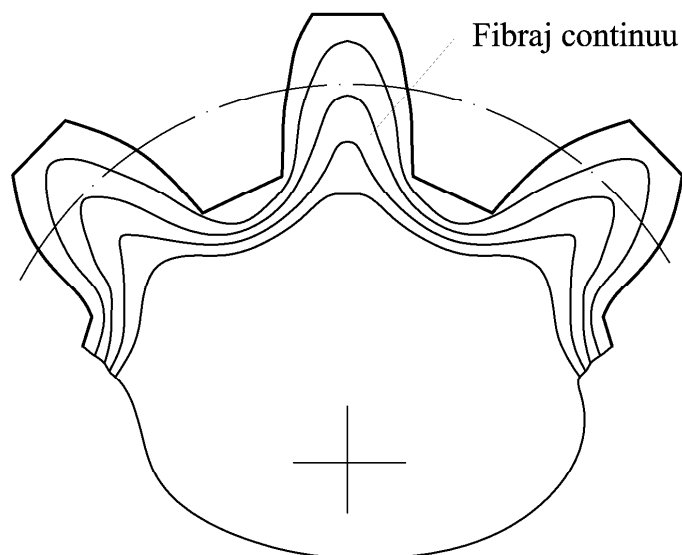


Fig.1.6

În prezent domeniul de aplicabilitate a procedurii cuprinde: roți dințate cilindrice cu dinți drepecți, având diametre între 24 și 600 mm și module între 3 și 10 mm.

Pentru producția de serie a roților dințate cilindrice de diametre până la 60... 100 mm, este utilizată pe scară tot mai largă trefilarea lor. Filiera pentru trefilat este de fapt o roată dințată cu dantura la interior de un anumit modul. Aceste filiere se execută din carburi metalice G50, G60 prin presare și sinterizare, după care se finisează la cotele ce se impun roții dințate.

1.4.1. Procedeu și ștanța pentru execuția roților dințate conice

Procedeu se referă la fabricația prin matrițare a roților dințate conice.

Este cunoscut procedeu de fabricație a roților dințate conice prin matrițare în două semimatrițe, în două faze: prealabilă și finală [1, 15].

În faza tehnologică prealabilă, pe semifabricatul de formă cilindrică se obțin dinți de formă aproximativă [128, 166], diametrul părții superioare a dinților fiind egal cu diametrul golurilor dinților matrițelor la formarea formei finale a dinților. Semifabricatul cu dinții de formă prealabilă se formează în matrițe cu scopul de a se obține o roată dințată cu dinți de formă finală.

Procedeu descris nu asigură o precizie suficientă de formare a dinților, fapt ce necesită operațiuni suplimentare de prelucrare mecanică prin așchiere. La formarea prealabilă a semifabricatului se cere a fi format profilul complet al dinților. Obținerea profilului complet al coroanei dințate într-un singur calibru într-o matriță obișnuită, practic, este imposibilă din cauza completării insuficiente a golului dintre dinții matrițelor. Totodată, matrița cu forma finală a dinților, cu profil corespunzător „ascuțit” al dinților, va avea o durabilitate insuficientă.

Din cauza aplicării unor forțe superioare, la deformare, în faza finală, matrițele se uzează rapid.

Scopul procedurii este atins prin aceea că, în faza inițială, în matrițele prealabile dinții sunt formați în formă de trapez, cu suprafața în secțiune transversală, egală corespunzător cu suprafața și secțiunea piciorului dintelui final.

În afară de aceasta, dinții au forma unui trapez, cu suprafață în secțiune transversală corespunzător suprafeței și secțiunii piciorului dintelui final, iar pe înălțimea secțiunii este variabilă.

Tot în acest procedeu, între matrița inferioară și poanson există o legătură cinematică. De exemplu: în formă de canale elicoidale cu un unghi de pantă care permite poansonului la deplasarea axială să efectueze o mișcare parțială de rotire.

De asemenea, în calibrul prealabil, dinții au o grosime, după circumferința de bază, mai mare decât grosimea finală a dintelui. Valoarea unghiului dintre suprafețele laterale ale trapezului și axa de simetrie a dintelui se ia aproximativ egală cu a unghiului de pantă al canalului.

În figura 6.10 se dă calibrul prealabil de formare a dinților; în figura 6.11 – roata dințată conică după calibrul prealabil (vederea A, fig. 6.10); în figura 6.12 – schema fazei finale de formare a dintelui; în figura 6.13 – profilul dintelui după prelucrare în calibrul prealabil; în figura 6.14 – profilul dintelui după prelucrare în calibrul final; în figura 6.15 (vederea B, desfășurată) – forma canalelor.

Roata dințată conică se execută în felul următor.

Semifabricatul 1 în formă de inel cu o suprafață conică de ghidare C (figura 6.10) este așezat în partea superioară 2 a matriței, pe un dorn elastic 3. Poansonul 4, la cursa în jos, presează semifabricatul 1 în matrița inferioară 5. Ca urmare a acestei faze se obține o roată dințată conică 6, cu dinți de formă prealabilă trapezoidală în secțiune (figura 6.11). Suprafața în acest plan și lățimea piciorului dintelui coincid cu forma dintelui final.

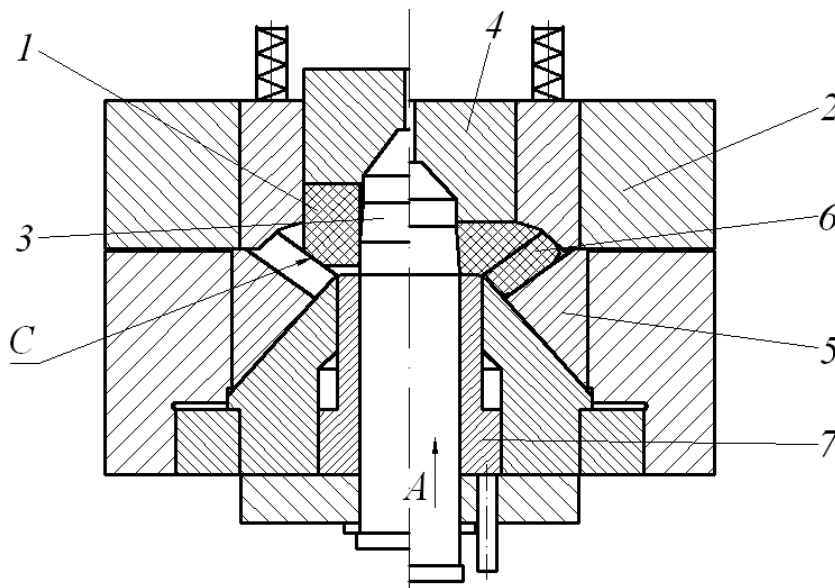


Fig. 1.7.

Roata dințată conică se extrage cu extractoarul 7 din partea inferioară a matriței și a dornului 3.

În faza finală (figura 6.12), roata dințată cu dinții cu secțiunea trapezoidală este așezată pe dornul 8 în matriță. Între poansonul 8 și extractorul 7 există o legătură cinematică prin intermediul canalelor 9. Poansonul, la cursa în jos, obține și o mișcare parțială de rotație și modifică în matriță secțiunile trapezoidale ale dinților în dinți cu forma finală. În final, roata dințată prelucrată se extrage din matriță de pe dorn. Pentru a se obține, după calibrare, profilul necesar al roții conice, la matrițarea prealabilă a semifabricatului, dintele se prelucurează cu profilul în secțiunea

transversală în formă de trapez, unde grosimea lui, după circumferința de bază, se ia egală cu grosimea dinților roții finale.

Înălțimea h și raza capului dintelui cu profil prealabil r se aleg conform relațiilor:

$$h = h' + r(1 - \sin \alpha); \quad r = \frac{0,5 \cdot s - h' \operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha}; \quad (1.1)$$

unde: α – unghiul profilului dintelui (grad);

s – grosimea dintelui după diametrul de divizare, mm;

h' – înălțimea capului dintelui cu profil prealabil.

Înălțimea totală a dintelui cu profil prealabil se alege din condiția egalității suprafețelor secțiunilor în planul transversal al profilului final.

Valoarea unghiului α dintre suprafețele laterale ale trapezului și ale axei de simetrie a dintelui se ia aproximativ egală cu 1/2 din valoarea unghiului de pantă a canalelor elicoidale.

Procedeeul propus va permite, în baza metodelor de formare pe calibre, să crească precizia de execuție a dinților, durabilitatea sculei și să se reducă consumul de metal al semifabricatului prin micșorarea adaosului de prelucrare la așchiere.

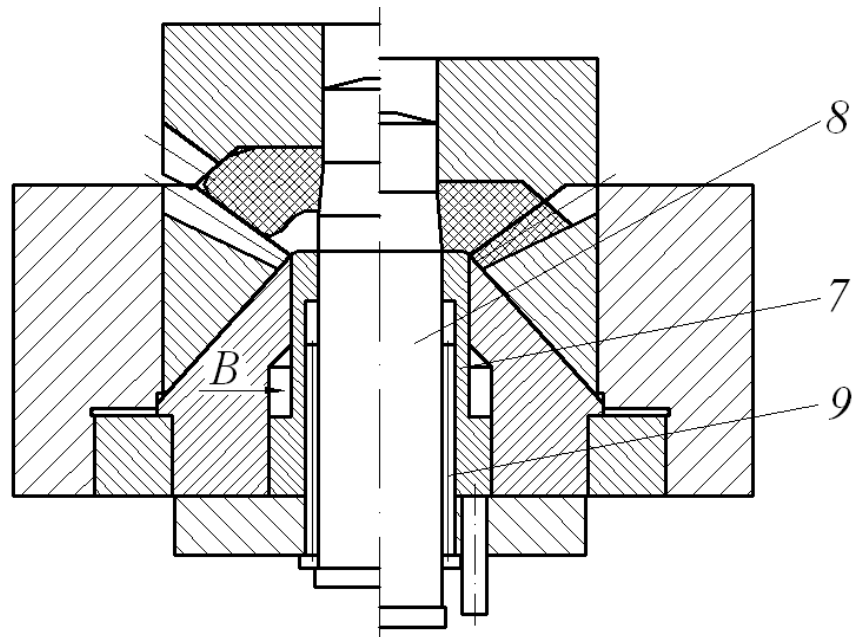


Fig. 1.8

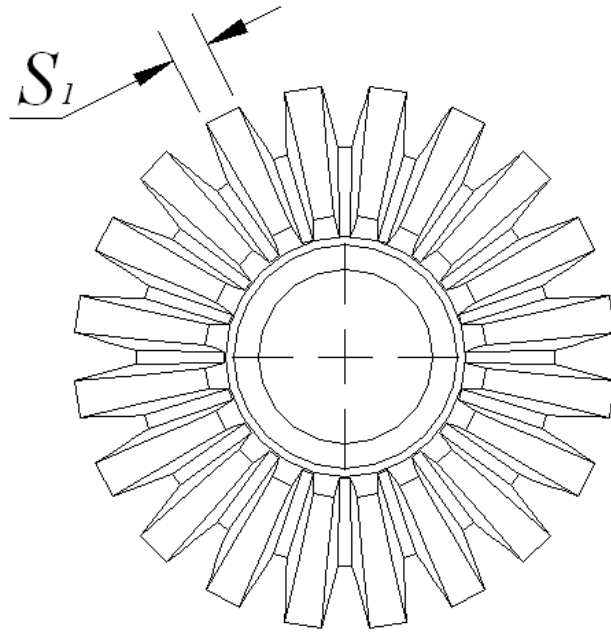


Fig. 1.9

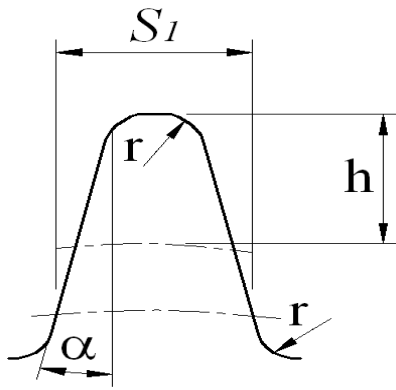


Fig. 1.10

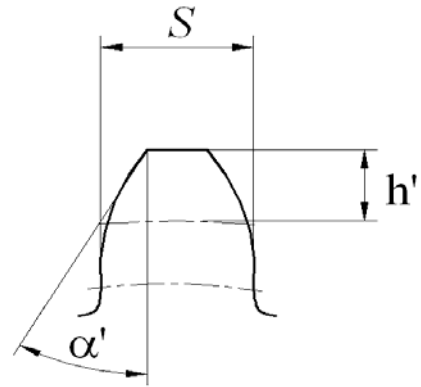


Fig. 1.11

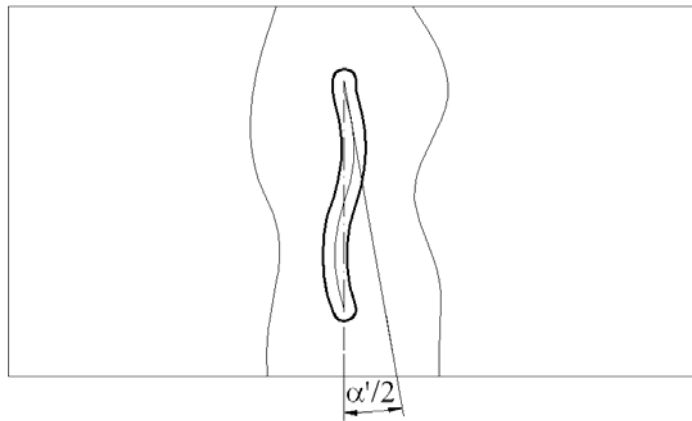


Fig. 1.12

1.5. Tratamente termice și termochimice ale oțelurilor și fontelor utilizate la fabricarea roților dințate

Tratamentele termice și termochimice aplicate acestei categorii de piese depind atât de materialul din care se execută acestea, de rolul funcțional, cât și de modul de obținere a semifabricatului. De menționat că o serie de tratamente termice și termochimice sunt aplicate în scopul creșterii gradului de prelucrabilitate (recoacere, detensionare etc.), creșterii durabilității și fiabilității în funcționare (cimentare, călire, revenire etc.) sau în scopul durificării suprafeței superficiale cum sunt tratamentele speciale (cianizarea, sulfizarea, feroxarea, fosfatarea, nitrurarea ionică etc.).

Studierea și cercetarea aspectelor privind tratamentele termice prezintă o importanță deosebită în cazul materialelor greu prelucrabile, deoarece un tratament termic aplicat corect constituie uneori singura alternativă de a ameliora o prelucrabilitate scăzută, uneori chiar imposibilă prin procedee clasice.

Structurile obținute în urma efectuării tratamentelor termice au o influență directă asupra prelucrabilității, uzura sculelor de danturat fiind dependentă de tipul și structura oțelului din care sunt fabricate roțile dințate.

La fonte tratamentele termice fac ca cementita rezultată din elaborare sau turnare să se transforme în ferită și grafit (recoacere de maleabilizare); în plus și structura feritică se îmbunătățește în carbon, conducând în final la rezultate bune. De exemplu, la fonta cenușie o viteză de răcire mare conduce, în cadrul tratamentului roților dințate, la o structură albă cementitică (greu de așchiat), în timp ce o viteză mică conduce la obținerea unei structuri ferito-perlitică ușor de așchiat.

Roțile dințate executate din oțeluri care pot fi tratate termic trebuie să satisfacă două condiții de bază: să aibă proprietăți mecanice (rezistență, plasticitate, tenacitate etc.) mai ridicate, cât și să posede proprietăți tehnologice bune (deformare plastică, așchiere, călibilitate).

Caracteristicile mecanice trebuie să fie garantate pentru roțile dințate atât la temperatura normală, cât și la o temperatură de până la 500°C. Aceste oțeluri se împart în două grupe: oțeluri de cimentare și oțeluri de îmbunătățire. Roțile dințate executate din oțeluri de carburare au până la 0,25% carbon, din această cauză au rezistență redusă la solicitări statice și dinamice, precum și o rezistență slabă la uzură. Prin carburare crește conținutul de carbon în stratul superficial care, prin călire și revenire joasă, duce la obținerea unei structuri martensitice. Oțelurile de cimentare sunt date în STAS 880-88 (oțeluri carbon) și în STAS 791-88 (oțeluri aliate).

În tabelul 1.8 sunt prezentate duritățile Brinell și tratamentele termice aplicate principalelor tipuri de oțeluri utilizate la fabricarea roților dințate.

Oțelurile de cimentare se supun, după tratamentul termochimic de carburare a suprafețelor dinților (sau a roților), unui tratament termic de călire după care se efectuează o revenire joasă. Oțelurile folosite la turnarea roților

dințate sunt în general oțeluri semidure sau semialiate. Tratamentele aplicate acestor oțeluri sunt în general recoacerea sau normalizarea și se execută înaintea tăierii maselotelor și rețelilor de turnare. După tăierea maselotelor și a rețelilor de turnare este recomandabil să se execute un tratament final de îmbunătățire. După executarea danturării este recomandabil de a evita tratamentele de normalizare, deoarece oțelurile turnate sunt susceptibile la deformări termice și fisurări în timpul călirii. La semifabricatele pentru roți dințate obținute prin forjare, tratamentul termic depinde de materialul din care s-a realizat.

1.5.1. Recoacerea

Acest tratament termic se aplică materialelor pentru roți dințate în scopul îmbunătățirii prelucrabilității lor.

De exemplu, pentru anumite mărci de oțeluri, recoacerea se face la o temperatură mai scăzută (740°C), fiind mai eficientă decât cea efectuată la o temperatură mai ridicată (900°C). Totuși, se poate afirma că aceasta din urmă asigură o eliminare a defectelor oțelurilor semifabricatelor obținute prin operații preliminare (forjare și matrițare), conferind în același timp posibilitatea obținerii unei calități mai bune a suprafeței prelucrate (v. tabelele 1.8 și 1.9). De remarcat că fontele cenușii nu necesită de regulă operația de recoacere de înmuiere. Sunt însă situații când în structura acestor fonte se poate găsi cementita liberă și perlita; ca urmare, astfel de constituenți reduc mult prelucrabilitatea prin așchiere, excesul de cementită conferind fontelor proprietăți abrazive, cu repercursiuni negative asupra uzurii sculelor așchietoare.

În aceste condiții se impune creșterea procentului de mangan până la 7% și siliciu până la 2,7%, care reduc proprietățile abrazive datorită descompunerii cementitei.

Spre deosebire de fontele cenușii, la fontele nodulare, recoacerea se aplică pentru obținerea unei structuri feritice numindu-se, în acest caz, recoacere de feritizare.

1.5.2. Normalizarea

Tratamentul termic de normalizare este de fapt o variantă a recoacerii aplicat pe scară largă pentru îmbunătățirea prelucrabilității prin așchiere a oțelurilor din care se fabrică roțile dințate.

Temperatura la care se realizează normalizarea este hotărâtoare. După normalizare se impune un tratament de revenire, realizându-se structuri care permit viteze mărite de așchiere cu marje cuprinse în plaja 10...20%.

Tabelul 1.8. Tratamentele termice aplicate oțelurilor utilizate în fabricarea roților dințate

| Marca oțelului | Duritatea Brinel în stare recoaptă, HB | Tratamentul termic aplicat |
|-----------------------|---|--|
| 35M16 | 207 | Normalizare, călire+revenire |
| 45Cr10 | 229 | Călire; revenire la temperatură ridicată; călit și revenit la 350°C; călit și revenit la 425 °C; călit și revenit la 500 °C; călit și revenit la 45 °C |
| 27MS12 | 217 | Călire; revenire la temperatură ridicată |
| 38SC15 | 255 | Călire; revenire la temperatură ridicată |

| | | |
|---------------------|-----|---|
| 25MoC11 | 217 | Călire; revenire la temperatură ridicată |
| 45CN12 | 207 | Călire; revenire la temperatură ridicată |
| 18MoCN06 | 217 | Călire; revenire la temperatură joasă |
| 18MoCN13 | 217 | Călire; revenire la temperatură joasă |
| 15NoMC12 | 207 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă |
| 21MoMC12 21TMC12 | 217 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă |
| 28TMC12 16MNC15 | 229 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă |
| 16CNW10 | 269 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă; revenire la temperatură ridicată |
| OLC10 | 137 | Normalizată la 890 °C în aer; revenit la temperatură joasă 170 °C; carburat și călit |
| OLC15 | 140 | Normalizată la 890 °C în aer; călit la 890°C în apă; revenit la temperatură joasă 170 °C; carburat și călit |
| OLC20 | 170 | Normalizat |
| 15Co8 | 179 | Recopt; călire dublă; revenire la temperatură joasă |
| 18MC10 | 187 | Călire; revenire la temperatură joasă |
| 15CN15 | 217 | Cimentat; călire; revenire la temperatură joasă |
| 13CN17 | 207 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă; |
| 13CN30 | 217 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă; |
| 13CN35 | 269 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă; |
| 19CN35 | 269 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă; |
| 20MoN35 | 207 | Călire dublă; revenire la temperatură joasă; |
| OLC55 | 220 | Recoacerea la 845 °C; călire la 790 °C în ulei; revenire la 650 °C |
| OLC60 OLC60X | 229 | Normalizare la 810 °C; călire la 810 °C în ulei; revenire la 550 °C și 650 °C și răcire în aer |
| 13M14 | 217 | Călire; revenire |

La oțelurile semidure, destinate fabricării roților dințate, normalizarea la temperaturi ridicate conduce la mărirea grăunților, înlăturând zonele înguste de ferită, favorizând formarea perlitei lamelare; ca urmare se îmbunătățește prelucrabilitatea prin așchiere. Un efect pozitiv se poate obține și în cazul fontelor nodulare, prin aplicarea unui tratament de revenire după normalizare. Este cunoscut îndeobște faptul că o fontă nodulară normalizată și revenită poate fi prelucrată prin mărirea prelucrabilității acesteia. Astfel, o normalizare a semifabricatului roții dințate la o temperatură de 600°C conduce la o mai bună prelucrabilitate decât o fontă nodulară normalizată și revenită la 400°C. În final se poate concluziona că o fontă nodulară normalizată și revenită la temperaturi mai înalte permite o prelucrabilitate ridicată.

1.5.3. Tratamentele termice ale oțelurilor de uz general

Materialele din care se execută roțile dințate prezintă o mare diversitate de mărci, forme și tipodimensiuni.

Ponderea cea mai mare (90...95%) o reprezintă oțelurile de uz general care pot fi grupate astfel: oțeluri de construcții; oțeluri care pot fi tratate termic; oțeluri cu rezistență mecanică la temperaturi; oțeluri pentru călire superficială; oțeluri pentru automate; oțeluri anticorrosive etc.

Oțelurile de uz general sunt oțeluri carbon sau slab aliate, livrate sub formă de produse deformate plastic la

cald. Ele au durități cuprinse între 200...300 HB fără tratamente termice; cu călire superficială ulterioară aceste oțeluri ajung la 40...55 HRC. Pentru aceste oțeluri nu se prescriu condiții tehnice speciale. Prelucrarea lor se face în condiții avantajoase și economice, având proprietăți tehnologice foarte bune (prelucrabilitate prin așchiere, deformabilitate la rece, sudabilitate etc.).

Conform STAS 500/1-80, aceste oțeluri se livrează în 4 clase de calitate cu două grupe după utilizare astfel: oțeluri pentru ștanțare OL32 și OL34; oțeluri pentru construcții mecanice OL50, OL52, OL60 și OL70. Toate mărcile de oțeluri pot fi utilizate pentru roțile dințate, pinioane, roțile de lanț etc., dar cel mai larg utilizate sunt oțelurile OL50 pentru roțile dințate supuse la solicitări mici și medii și OL60 pentru solicitări medii și cu presiune de contact mai mare, la viteze mai ridicate. De asemenea, OL70 este larg utilizat pentru roțile dințate supuse la uzură, la viteze mai mari și presiuni de contact mai ridicate. De remarcat că OL60 și OL70 nu sunt susceptibile de prelucrat prin deformare plastică la rece, decât în condiții speciale.

1.5.4. Tratamentele termice și termochimice ale oțelurilor de cimentare

Tratamentele termice și termochimice aplicate roților dințate fabricate din oțeluri de cimentare constă în îmbogățirea stratului superficial cu carbon sau azot, durificarea acestuia prin călire și ajungere la structura martensitică. În urma acestui tratament cresc proprietățile de exploatare ale roților dințate, în special rezistența la uzură și presiunea de contact a dinților, îmbogățirea stratului superficial cu carbon, sau carburarea este un tratament termochimic care se realizează în medii solide sau gazoase la temperaturi de 900...980°C mai multe ore, în funcție de mărimea stratului de carburat, care poate ajunge până la 1,8...2,0 mm.

Un alt tratament termochimic aplicat roților dințate îl constituie carbonitrurarea prin îmbogățirea stratului superficial simultan cu carbon și azot. Carbonitrurarea se aplică în special roților dințate fabricate din oțeluri aliate, stratul superficial obținut având călibilitate mai mare decât cel carburat datorită carbonitrurilor. Atmosfera carbonitrurantă poate fi formată din amoniac (NH₃) și gaz natural, hidrocarburi lichide și NH₃ etc.

Temperatura de încălzire este în intervalul 840...860°C, iar durata de menținere de 2-4 ore, în funcție de mărimea stratului dorit, modulul și mărimea roții dințate. Când carbonitrurarea se execută în mediu lichid, aceasta se numește cianizare și se aplică de regulă roților dințate de modul mic, din oțeluri de cimentare aliate, cu conținut mic de carbon

1.5.5. Tratamentele termice ale oțelurilor de îmbunătățire

Roțile dințate executate din oțeluri de îmbunătățire care au un conținut de carbon în intervalul 0,25...0,65% au dimensiuni de până la 200 mm, fiind supuse unor solicitări reduse și medii. Aceste oțeluri pot fi utilizate în stare îmbunătățită sau în stare I normalizată. De menționat că alierea cu mangan conduce la creșterea acțiunii de îmbunătățire. În unele cazuri, roțile dințate executate din aceste oțeluri pot fi supuse unui tratament de cianizare sau călire superficială prin CIF. Tratamentele cele mai utilizate pentru aceste grupe de oțeluri sunt prezentate în tabelul 1.9, care asigură proprietățile impuse prin STAS 80-88 și STAS 791-88.

Tabelul 1.9. Tratamente termice ale oțelurilor de îmbunătățire

| Marca oțelului | Duritatea Brinel în stare recoaptă HB | Tratament termic care este aplicat |
|-----------------|---------------------------------------|---|
| OLC25 OLC25X | 170 | Normalizare la 870 °C în aer; călire la 870 °C în apă; revenire la temperaturi ridicate 550°C, 650 °C |
| OLC30 | 180 | Călire la 830 °C în ulei; revenire la la 650 °C; normalizare |
| OLC35 OLC35X | 187 | Normalizare la 870 °C în aer; călire la 850 °C în ulei; revenire la 550°C și răcire în aer |
| | 192 | Normalizare la 850 °C în aer; călire la 850 °C în ulei; revenire la 550°C și răcire în aer |
| OLC45 OLC45X | 197 | Normalizare la 850 °C în aer; călire la 840 °C în ulei; revenire la 550°C și răcire în aer |
| | 197 | Normalizare la 925 °C în aer; călire la 840 °C în ulei; revenire la 650°C și răcire în aer |
| OLC50 OLC50X | | Normalizare la 850 °C în aer; călire la 840 °C în ulei; revenire la 650°C și răcire în aer |
| | | Călire la 870 °C în ulei; revenire la 760 °C |

După cum se poate observa, oțelurile de îmbunătățire sunt supuse călirii și apoi revenirii ridicate la temperaturi de circa 550...650°C. Oțelurile carbon nealiate și aliate cu r un conținut de carbon ridicat 0,5...0,66%, procentul de perlită al structurii este mai mare și din cauza cementitei secundare, uzura sculelor este intensă.

Tratamentul termic al acestor oțeluri urmărește globulizarea cementitei. În acest scop se face o recoacere incompletă și menținerea la această temperatură un timp mai îndelungat pentru a se produce globulizarea cementitei.

Regimurile de tratament termic aplicate acestor categorii de oțeluri sunt prezentate în tabelele 1.10. și 1.11.

Tabelul 1.10. Regimurile de tratament termic (recoacerea de globulizare) aplicabile oțelurilor dure în vederea îmbunătățirii prelucrabilității prin așchiere

| Marca oțelului | Duritatea în stare recoaptă, forjată HB | Recoacere incompletă | | | Recoacere izotermă | | | Recoacere subcritică | | Duritatea în stare recoaptă |
|------------------------|---|----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | | austenități-zare °C | intervalul de răcire °C | viteza de răcire °C/h | austenități-zare °C | temperatura de transfer °C | timp de menținere, h | temperatura °C | viteza de răcire până la 600 °C/h | |
| OLC60 | 270...270 | 760...780 | 740...600 | 30...50 | - | - | - | - | - | 229 |
| 65M16 | 225...320 | 740...760 | 740...600 | 20...30 | - | - | - | - | - | 229 |
| OSC10SC11 OSC12SC13 | 269...341 | 750...770 | 750...650 | 20...30 | 750...770 | 680...700 | 2 | 10...7307 0 | 30...50 | 217 |
| VC06 | 300...400 | 780...800 | 760...640 | 15...20 | 760...790 | 640...700 | 4 | 700...720 | 20...40 | 241 |
| CVW10 | 270...340 | 760...780 | 760...640 | 15...20 | 760...780 | 680...700 | 4 | 710...730 | 20...40 | 229 |
| C15 | 320...415 | 780...800 | 760...640 | 15...20 | 780...800 | 700...720 | 4 | 710...740 | 20...40 | 241 |
| CS14 | 320...415 | 790...810 | 760...640 | 15...20 | 780...800 | 700...720 | 4 | 720...750 | 20...40 | 229 |
| VSCW9 | 270...350 | 790...810 | 760...640 | 15...20 | 780...800 | 7000...720 | 4 | 700...720 | 20...40 | 241 |
| VMC15 | 300...400 | 760...780 | 740...640 | 15...20 | 760...780 | 680...720 | 4 | 700...720 | 20...40 | 241 |
| VM18 | 300...400 | 720...740 | 700...600 | 15...20 | 740...760 | 640...680 | 4 | 690...720 | 20...40 | 241 |
| MCW14 | 350...450 | 770...790 | 750...620 | 10...20 | 770...790 | 680...700 | 4 | 700...720 | 20...40 | 241 |
| VN06 | 250...350 | 760...780 | 740...600 | 10...20 | 760...780 | 680...700 | 4 | - | - | - |
| VSC13 | 230...300 | 780...800 | 760...740 | 10...20 | 780...800 | 640...680 | 4 | 710...730 | 20...30 | 241 |

Tabelul 1.11. Regimurile de tratament termic aplicabile unor oțeluri autocălibile în vederea ameliorării prelucrabilității prin așchiere

| Marca oțelului | Recoacera completă | | Recoacera incompletă | | Recoacera izotermă | | | Norma- lizare °C | Revenirea înalță °C | Duritatea max., HB |
|--|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | încălzirea °C | viteza de răcire °C/h | încălzirea °C | viteza de răcire până la 600°C | austenizare °C | temperatura °C | menținerea h | | | |
| 13CN35 19CN35 | 870...900 | 30...50 | - | - | - | - | - | 880...940 860...900 | 640...690 - | 217 229 |
| 15CNW10 25CNW10 | - | - | - | - | - | - | - | 860...880 | 650...680 680...720 | 241 241 |
| 41VmoC17 41MjC11 | 850...80 | 30...50 | - | - | - | - | - | 850...870 930...970 | 00...750 700...720 | - 229 |
| 38MnCA09 | 840...870 | 30...50 | - | - | - | - | - | 850...880 | 660...700 | 229 |
| 34M0CN15 30MoCN20 40MoCN15 | 860...900 850...880 840...880 | 30...50 | - | - | - | - | - | 860...880 890...920 - | 660...700 680...20 720...50 | 241 219 219 |
| CVW50 VWC50 WVC62 | - | - | 780...800 820...860 830...850 | 10...20 10...20 10...20 | 790...820 - | 720...740 - | 4...6 - | - - | 740...80 740...800 740...780 | - - |
| VCW85 VC80 VSW45 MoCN15 MoCN14 VSCW20 | - - - - - - | - - - - - - | 860...880 820...840 - | 20...30 20...30 - | 790...820 - | 710...740 - | 4...6 - | - - | 740...780 - | 255 255 229 |
| C120 VMOC130 | - - | - - | -810...840 810...840 | 10...20 10...20 | - - | 700...730 720...740 | 3...4 3...4 | - - | - - | 255 255 |

Tratamentele termice finale aplicate roților dințate executate din oțeluri de îmbunătățire sunt călirea și revenirea înaltă. Tratamentul termic de îmbunătățire se aplică în scopul durificării suprafețelor active ale roților dințate supuse unor solicitări mari și predispuse distrugerii prin piling.

1.5.6. Tratamente termice și termochimice ale unor oțeluri carbon și aliate

Pentru pinioanele și roțile dințate supuse unor solicitări mari se recomandă ca stratul călit, la suprafața unui oțel cu 80% martensită, să fie de 3/4 în adâncime pentru dinți, coroană și butuc. Călirea pe toată adâncimea se face în cazuri mai rare.

Materialele rezistente la temperaturi înalte și presiuni ridicate pe dinți sunt oțelurile carbon și oțelurile aliate. De menționat că la 400°C comportarea oțelurilor carbon este necorespunzătoare, impunându-se utilizarea oțelurilor aliate și înalt aliate. Această grupă de oțeluri este clasificată în trei clase:

Clasa I. Oțeluri ferito-perlitice sau termo-stabile (bainitice) cum sunt oțelurile carbon și oțelurile aliate cu Mo, Cr-Mo, Cr-Mo-V și alte elemente de aliere, utilizate, pentru roți dințate care lucrează în medii fluide calde; STAS 2883-88 și 2881-88 dau mărcile din aceste grupe: GLK1; OLK2...OLK5; 15CMo4; 10MoC50 etc.. Structura ferito-bainitică cu carburi se formează în urma unui tratament de normalizare și revenire înaltă, asigurându-se astfel: caracteristicile maxime cerute acestor oțeluri.

Roțile dințate în construcție sudată din aceste materiale se preîncălzesc până la 100..350°C, apoi se încălzesc

până la 650...720°C pentru relaxarea sudurii timp de 2 ore.

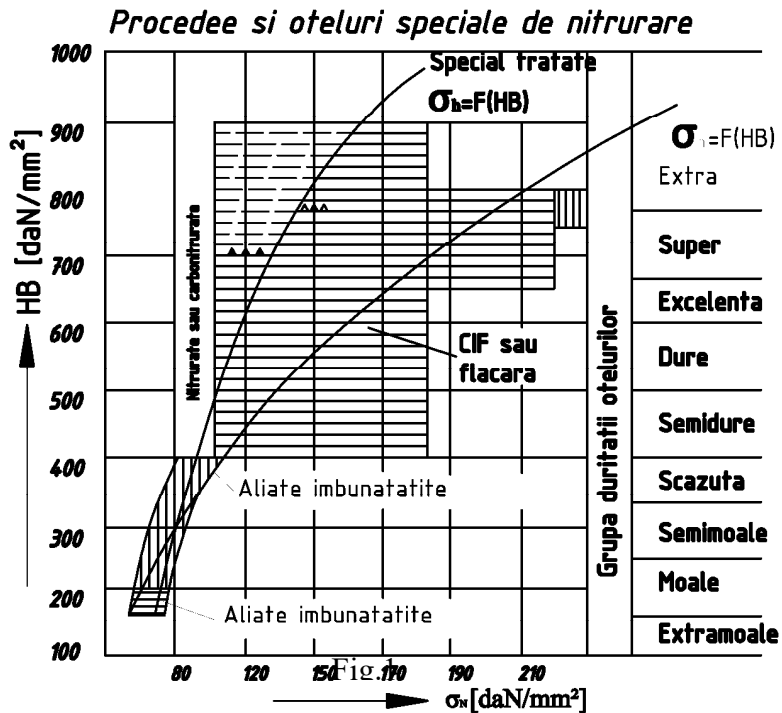
Clasa II. Oțeluri feritice și martensitice cu o structură formată din ferită și martensită sau numai martensită, elementul principal de aliere fiind cromul (5...30%). Aceste oțeluri se utilizează pentru roțile dințate care lucrează în medii oxidante. Oțelurile cu 5% Cr și 5% Mo se călesc la o temperatură de 900...950°C cu răcire în aer, se revine la 650...750°C, realizându-se o structură formată din ferită și carburi.

Clasa III. Oțeluri austenitice aliate cu crom 14...30% și nichel 8...35% la care se mai adaugă și alte elemente cum ar fi: Mo, W, Nb, Ti etc. STAS 3583-80 precizează aceste mărci de oțeluri. Tratamentele termice ale acestor oțeluri constau din încălzirea la 1050...1100°C și răcirea rapidă în aer sau apă în funcție de grosimea coroanei, butucului și de modul. Pentru roțile dințate prelucrate la temperaturi de 850...1100°C (extrudare, matritare etc.) se execută și o recoacere la aceeași temperatură. La roțile dințate sudate se face de asemenea o preîncălzire la 900°C.

În STAS 3583-80 sunt date 16 tipuri de oțeluri anticorosive și două de oțeluri refractare. Aceste oțeluri sunt grupate după structura lor în: feritice 7TC170, 12TC250 (refractare); 7C120, 12C130 și 10C170 anticorosive; ferito-martensitice 14NC170 și 22MNC130; martensitice 30C130; austenito-martensitice 90C180; austenitice 7NC180 și 71NC180 etc.

Oțelurile refractare se utilizează în general la temperatura de lucru peste 600°C la care oțelurile slab sau mediu aliate nu mai corespund cerințelor construirii roților dințate. Pentru roțile dințate mici, pinioane etc. executate pe automate (strunguri monoax, multiax etc.) se folosesc și oțeluri pentru automate; STAS 1350-80 și STAS 2400-67 standardizează mărcile de oțel AUT12, AUT20, AUT30, AUT40 și OLF. După prelucrarea prin așchiere aceste oțeluri pot fi tratate termic, dar numai cele la care conținutul de sulf și fosfor este mic.

Pentru oțelurile cu un conținut mic de carbon AUT12 și AUT20 se realizează tratamente de carburare sau cianizare, iar pentru oțelurile cu un conținut ridicat de carbon AUT30 și AUT40 se recomandă tratamente termice de îmbunătățire cu reveniri înalte. Prin cianizare se obține o microduritate de 50...60 HRC. Oțelurile indicate în STAS 1350-80 pot fi utilizate în bune condiții până la temperaturi de lucru de 400 C,



Oțelurile pentru călire superficială au un conținut de carbon de 0,35% până la 0,70%.

În comparație cu oțelurile de cementare, roțile dințate și pinioanele executate din oțeluri pentru călire superficială sunt omogene pe toată secțiunea, STAS 880-88 recomandând pentru călire superficială OLC 35, OLC 45, OLC 55, OLC 60. De asemenea, și oțelurile aliate 35MIG, 35C10, 45M16, 40C10, 45C10 și altele, sunt recomandate pentru călire superficială, dar călirea trebuie făcută în ulei.

1.5.7. *Tratamente termice ale fontelor*

La fontele cenușii cu grafit nodular, călirea și revenirea se aplică pentru mărirea rezistenței mecanice și a durtății. Structurile de călire obținute sunt greu prelucrabile, dar prin aplicarea unei reveniri la 600...630°C, crescându-se în acest mod numărul separărilor de grafit, rezultă o scădere a durtății, mărind astfel prelucrabilitatea prin așchiere.

Cercetările făcute pe plan mondial, cât și experiența în domeniu a unor firme ca FIAT, RENAULT, VOLVO, AUTOCAMIOANE BRAȘOV, FAUR S.A., TITAN și altele au demonstrat că, în cazul revenirii, o deosebită importanță are durata menținerii.

Cu cât durata menținerii este mai mare, în scopul mării separării de grafit, cu atât temperatura de revenire poate fi mai joasă.

Prin aplicarea călirii izoterme, structura fontei devine bainitică sau bainito-feritică, conferind semifabricatului proprietăți fizico-mecanice superioare în detrimentul prelucrabilității prin așchiere. Călirea izotermă constă din încălzirea roții dințate din fontă la temperaturi cuprinse între 760...900°C (care este temperatura de austenizare),

menținerea timp de 20 min pentru fiecare 25 mm secțiune din coroana roții dințate, apoi răcirea izotermă într-o baie de săruri cu o compoziție, de 50% NaOH + 50% KNO₂ sau cu 50% NaOH + KOH.

Rezultatele obținute au confirmat mărirea cu 15...20% a durității Brinell.

1.5.8. Nitrurarea ionică a roților dințate

Unul din tratamentele termochimice moderne aplicate roților dințate, care duce la creșterea capacității portante, la creșterea presiunii de contact și la creșterea durabilității angrenajelor îl constituie nitrurarea ionică a flancurilor dinților roților.

Spre deosebire de nitrurarea clasică în gaze de amoniac (NH₃), nitrurarea în baia de săruri topite, nitrurarea ionică are loc în mediul de plasmă (gaze ionizate), unde are loc realizarea unui strat pentru durificarea flancurilor dinților roților.

Oțelurile recomandate construcției roților dințate în vederea nitrurării sunt oțelurile de îmbunătățire aliate cu Cr, Mn, V, W etc. Rezultate bune s-au obținut și folosindu-se oțelurile 40C10 și 41MoCII laminate, normalizate, forjate, recoapte, prelucrate prin așchiere, îmbunătățite, nitrurate clasic și apoi nitrurate ionic. Cercetările efectuate la noi în țară recomandă pentru realizarea unei durități corespunzătoare ale flancurilor dinților roților, grupele de oțeluri:

- oțelurile de îmbunătățire: OLC45, 40C10, 41MoCII, 50VC11, 30MoCN20, 34MoCN15, 38MoCN09;
- oțelurile de carburare: OLC15, ISMoCIQ, 15CN15, 13CN35, 18MoCN13, 20MoN35, 18M0CNO6.

Din toate aceste mărci se mai pot reduce unele, rezultând mai puține, care să permită o perfecționare a tehnologiilor de prelucrare prin utilizarea intensă a acestui tip de tratament termochimic modern în vederea asigurării unei capacități portante corespunzătoare (fig. 1.7).

Rezultatele comparative ale gradientilor durității între nitrurarea clasică și nitrurarea ionică a roțiilor confecționate din oțel 41MoCII și 40C10 evidențiază faptul că nitrurarea ionică este mult mai intensă la începutul procesului, fapt ce face ca grosimea stratului nitrurat ionic să ajungă la 0,3...0,5 mm, într-un timp redus, după care nitrurarea ionică are loc pe adâncimi mai mari. Pentru aceleași adâncimi nitrurarea clasică se realizează în 80... 120 ore.

Analiza structurilor pentru cele două mărci de oțeluri evidențiază faptul că sunt la fel, iar gradientul de duritate este distribuit uniform pe flancurile dinților, din grosimea stratului de difuzie (fig.1.8).

Durificarea flancurilor roților dințate prin nitrurare ionică este net superioară față de celelalte tipuri de nitrurare clasică (tabelul 1.12).

După acest tratament are loc o creștere a durității flancurilor dinților, iar deformațiile termice sunt foarte mici.

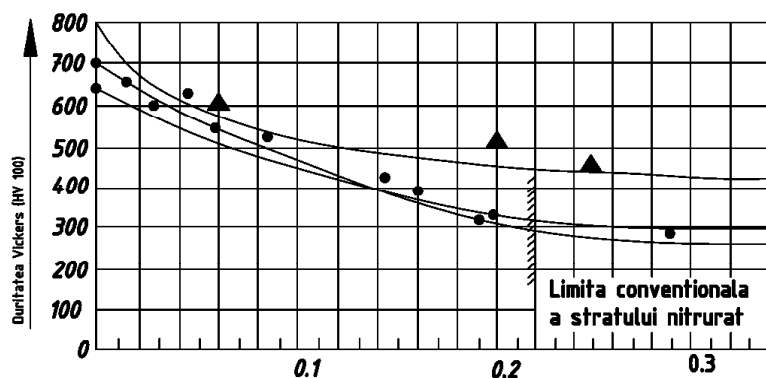


Fig. 1.14

Tabelul 1.12. Creșterea durtății flancurilor dinților roților dințate prin tratamente termice de nitrurare

| Tratamentul termic | $R_m, daN/mm^2$ | | | |
|-------------------------------|-----------------|--------------|----------|--------------|
| | 40C10 | Creșterea, % | 41MoCl 1 | Creșterea, % |
| Îmbunătățire-rectificaie | 76 | 100 | 84 | 100 |
| Rectificare-nitrurare clasică | - | - | 13 | 160 |
| Rectificare-nitrurare în baie | 105 | 138 | 118 | 140 |
| Rectificare-nitrurare ionica | 152 | 200 | 152 | 181 |

1.6. Stratul superficial și valoarea lui pentru determinarea calității roților dințate

1.6.1. Stratul superficial al pieselor și influența lui asupra calității

Una dintre problemele actuale ale industriei constructoare de mașini este asigurarea cu produse de calitate înaltă, care poate fi dirijată în timp prin modificarea stratului exterior. Aceasta cere, mai întâi de toate, piață de desfacere, produse fiabile și rezistente la uzură [36].

Progresul inevitabil în domeniul construcției de mașini și perfecționarea sistemului de dirijare a proceselor de producere facilitează execuția produselor printr-un număr rațional de operații tehnologice [107, 109, 110, 115]. De aceea, are o mare importanță minimizarea numărului de operații și faze tehnologice care determină procesul tehnologic de execuție a produsului cu cheltuieli minime. Este important faptul că minimizarea se bazează nu numai pe concentrarea tehnologică și organizatorică a operațiilor, dar și pe nivelul inovațional al construcției produsului, care permite reducerea numărului operațiilor și, în același timp, posibilitatea formării caracteristicilor necesare ale calității stratului superficial [79, 115].

Așadar, este important a examina condițiile care sunt necesare pentru realizarea procesului tehnologic inovativ [43, 115, 122], și anume:

- cheltuieli minime de execuție a produsului;
- precizie ridicată de execuție;
- creșterea dinamică a numărului, nomenclaturii și calității produselor executate;

- obținerea unor produse calitativ noi, de o fiabilitate și durabilitate sporite, fără cerințe față de reparare și cu cheltuieli minime;

- produse cu mase și gabarite reduse;

- materiale de construcție noi, de calitate înaltă, programate la o masă minimă a produsului;

- flexibilitate a volumului de producere a produselor în funcție de tipul producției (unicat, în serie, în masă);

- implementarea celor mai performante soluții tehnice în domeniul informaticii și electronicii în tehnologia de execuție a produselor.

Toate cele menționate sunt determinate de evoluția tehnologiei de execuție a produselor, de cerințele înaintate față de stratul superficial al pieselor și de cheltuielile minime de exploatare și execuție [45, 46, 115].

Din punctul de vedere al utilizării proceselor tehnologice, ele trebuie să asigure:

- formarea produsului (piesei) cu precizia geometrică impusă la proiectare;

- formarea stratului superficial cu cerințe și caracteristici necesare.

Respectarea cerințelor menționate este impusă și de accelerarea proceselor și metodelor de execuție și modificarea stratului superficial. Factorul care îmbină și armonizează aceste cerințe este *tehnologia materialelor*. Noile materiale de construcție impun elaborarea unor noi tehnologii [81, 82, 83,84].

După cum demonstrează cercetările [2, 34, 35, 44,], ponderea diferitor procedee în volumul de producere al procesului de prelucrare este diferită. Apare tendința de minimizare a procedeelelor costisitoare pentru asigurarea preciziei de obținere a semifabricatului [15, 23]. Astfel, apare necesitatea dezvoltării unor tehnologii ce ar asigura și caracteristicile necesare ale *stratului superficial* (SS). Actualmente, o atenție deosebită se acordă rugozității suprafeței și, într-o măsură mai mică, altor proprietăți ale stratului superficial, precum și costului de execuție și exploatare [20, 101].

Strategia formării stratului superficial se inițiază de la momentul obținerii semifabricatului și finalizează în momentul obținerii proprietăților mecanice. O asemenea strategie este compusă din anumite faze (etape), prezentate în figura 1.9 [101, 109, 117, 126].

Analizând modelul prezentat, este necesar să se ia în considerație tendințele, direcțiile și procedeele de evoluție a tehnologiei constructoare de mașini, mai ales în domeniul de formare a stratului superficial în diverse faze (etape).

1.6.2. Proprietățile și caracteristica stratului superficial și factorii tehnologici care le influențează

Starea stratului superficial trebuie modificată îndeosebi în procesul tehnologic, în funcție de cerințele condițiilor de exploatare a organelor de mașini. În același timp, trebuie de ținut cont și de stabilitatea datelor experimentale obținute, care se referă la stratul superficial, pentru diverse procese tehnologice de execuție a organelor de mașini. De aceea, analiza și aprecierea stării stratului superficial trebuie să fie realizate de către tehnolog împreună cu un specialist în tribologie.

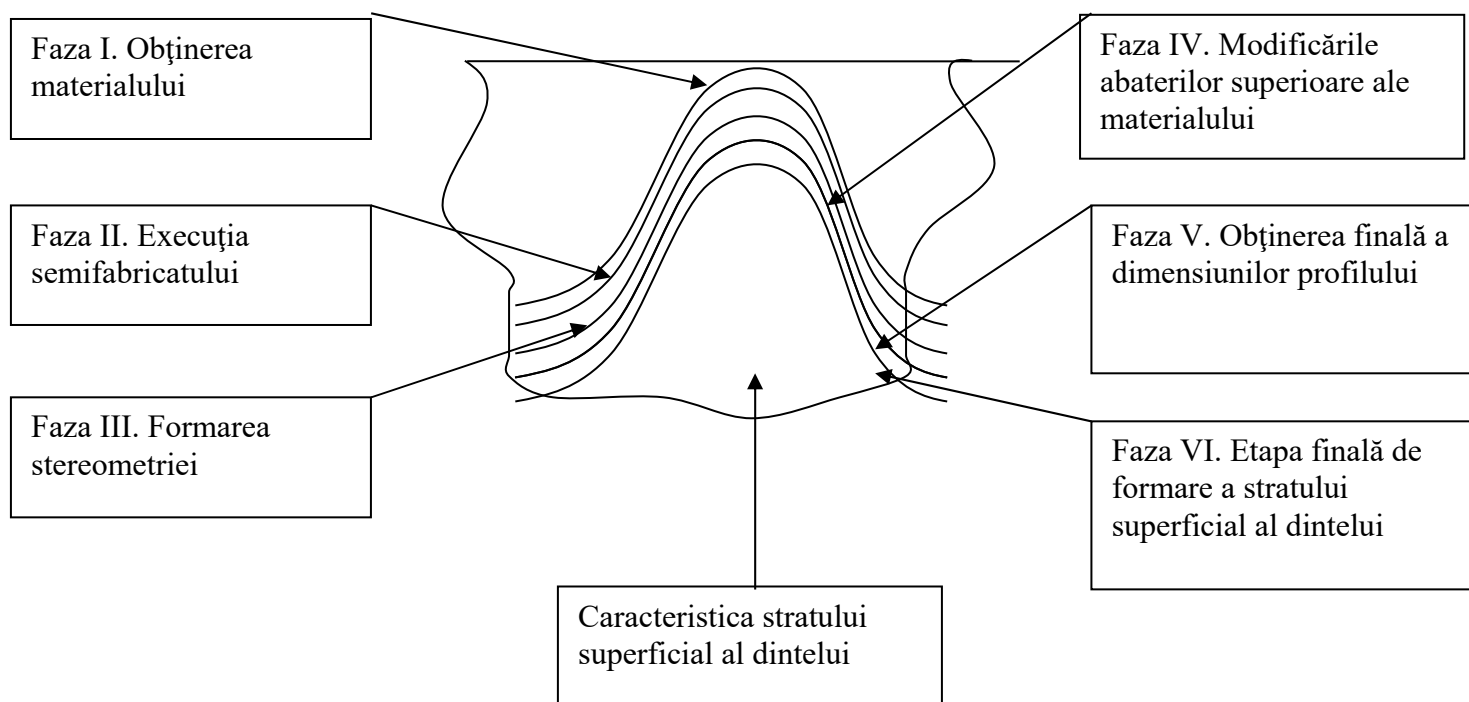


Fig. 1.15

Este evident că problema formării stratului superficial se rezolvă eficient când sunt cunoscute cerințele de exploatare concrete și tipurile constructive de piese. În majoritatea cazurilor, acolo unde este posibil, tribologul trebuie să se bazeze pe cercetările efectuate, care i-ar permite să prognozeze durabilitatea elementelor constructive (pieselor) executate. Cele menționate sunt prezentate într-o formă schematică în figura 1.10. Astfel de cercetări sunt necesare pentru a respecta cerințele consumatorului, care exploatează produsul în condițiile sarcinilor determinate și pot să acționeze simțitor asupra caracterului calitativ de formare a proprietăților stratului superficial la execuția lui.

Problema formării stratului superficial se rezolvă, mai întâi de toate, de către constructor, care trebuie să ia în considerație cerințele de exploatare, prescrierea proprietăților și caracteristicii în etapa de proiectare. Totodată, aceste cerințe trebuie să se refere nu numai la caracteristicile geometrice ale piesei (forma, dimensiunile, înălțimea neregularităților suprafețelor). La proiectarea organelor de mașini, de exemplu a roții dințate (transmisiei mecanice), au o importanță majoră cerințele tehnice descrise în desenul tehnic și cerințele privind proprietățile fizico-chimice și mecanice, precum și caracteristicile stratului superficial [115].

Desigur, obiectivele menționate nu pot fi atinse fără o informatizare totală. Lipsa unor date nu permite să fie formulate cerințele și condițiile de realizare a lor.

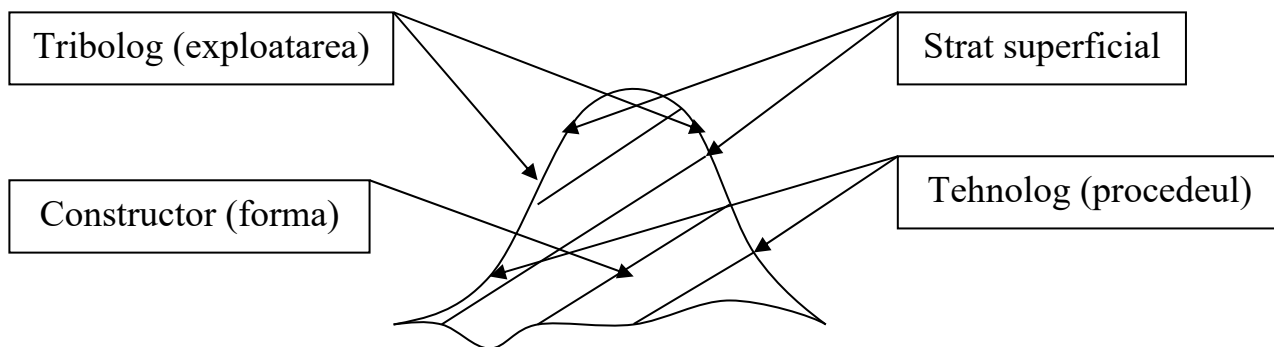


Fig. 1.16

Cercetările științifice privind studierea stratului superficial trebuie să fie orientate spre determinarea detaliată a caracteristicilor, adică a proprietăților chimice, fizice și mecanice.

Trebuie de precizat că atunci când se vorbește de starea stratului superficial, se face apel la o serie de indici a căror valoare depinde de proprietățile materialului prelucrat, precum și de condițiile în care are loc formarea acestuia.

Folosind datele din literatura de specialitate, problema stratului superficial poate fi prezentată sub forma expusă în figurile 1.11, 1.12 și 1.13. Totodată, nu trebuie scăpat din vedere faptul că aceste proprietăți se modifică în urma realizării procesului tehnologic.

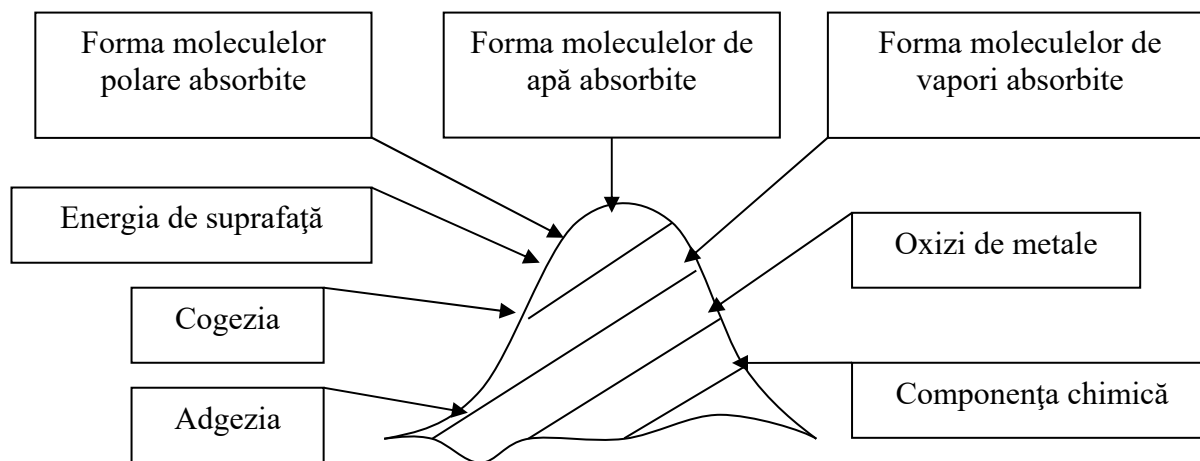


Fig. 1.17

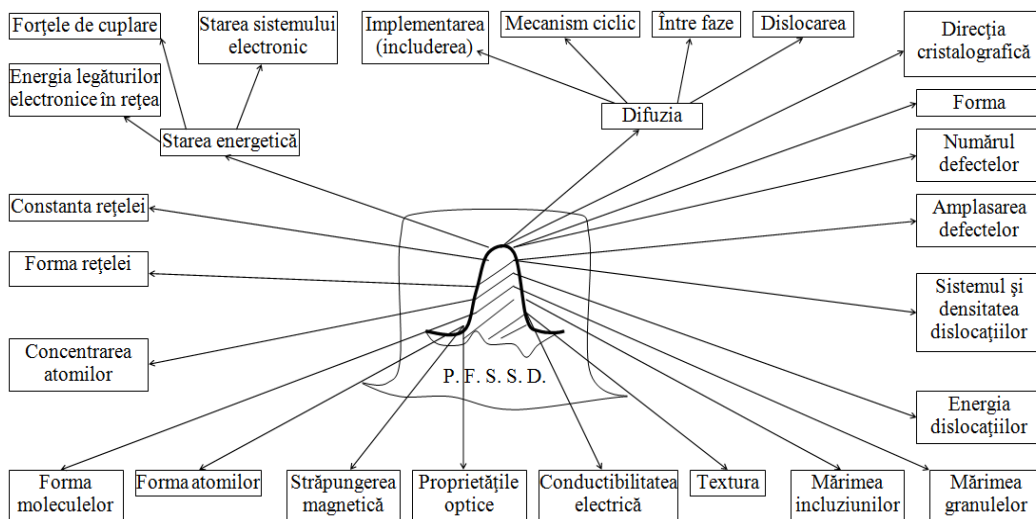


Fig. 1.18

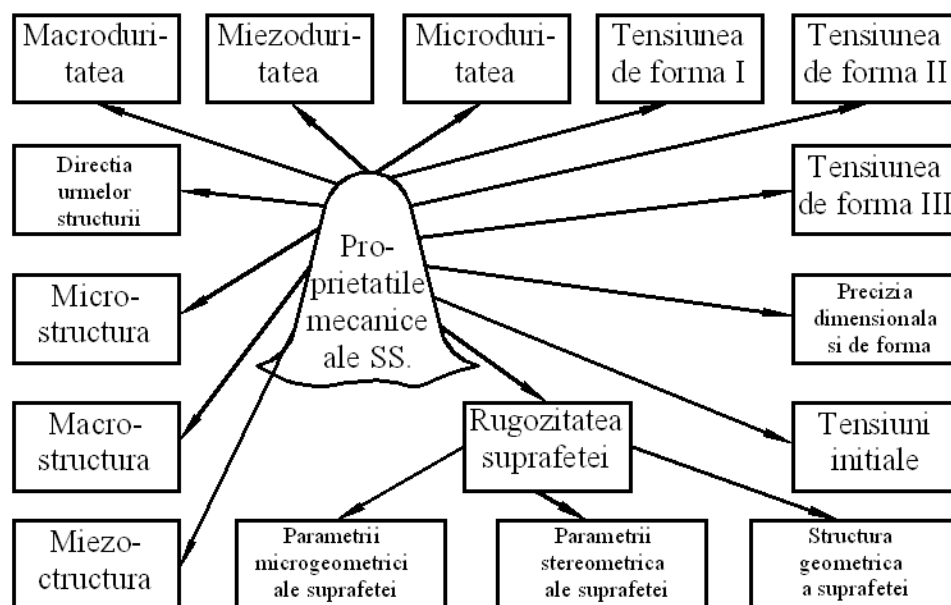


Fig. 1.19

Unor modificări substanțiale se supun proprietățile chimice ale stratului superficial ca, de exemplu, forma moleculelor de apă, gaze, aburi etc. adsorbite la nivelul suprafeței. Asupra lor are influență nu numai procesul tehnologic (figura 1.2), dar și mediul în care se află elementul constructiv (piesa, produsul). De aceea, se cere să se acorde o atenție maximă cercetării stării stratului superficial, mai ales proprietăților lui chimice.

În cercetările stării stratului superficial se cere să se țină cont și de acțiunea complexă a sistemului tehnologic *mașină unealtă – sculă – dispozitiv – semifabricat* și, desigur, de condițiile de prelucrare, precum și de influența lichidului de răcire-ungere (LRU). Schematic, acțiunea complexă poate fi prezentată prin schemele din figurile 1.6–1.12.

Este necesar să se țină cont de faptul că prelucrarea abrazivă, ca operație finală a procesului tehnologic, este însoțită de efecte termice. Muchiile așchietoare care participă la procesul rectificării sunt amplasate haotic și asupra stratului de metal influențează altfel decât la prelucrarea prin așchiere cu scule cu tăiș definit. Acest proces, care este

legat de construcția mașinii-unelte (MU), are specificul său, care depinde, de exemplu, de modalitatea procedurii de prelucrare a sculei rotitoare (discului abraziv). Însă putem să ne așteptăm și la formarea altor proprietăți ale stratului superficial în timpul realizării procesului de rectificarea danturii.

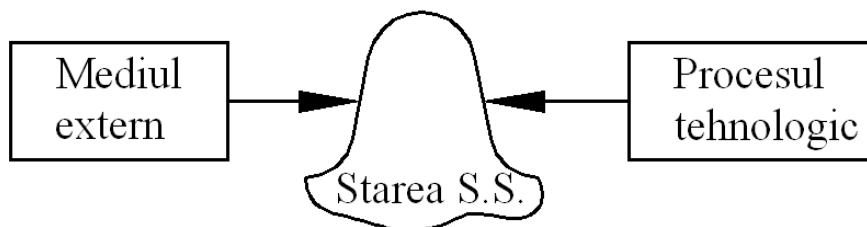


Fig.1.20

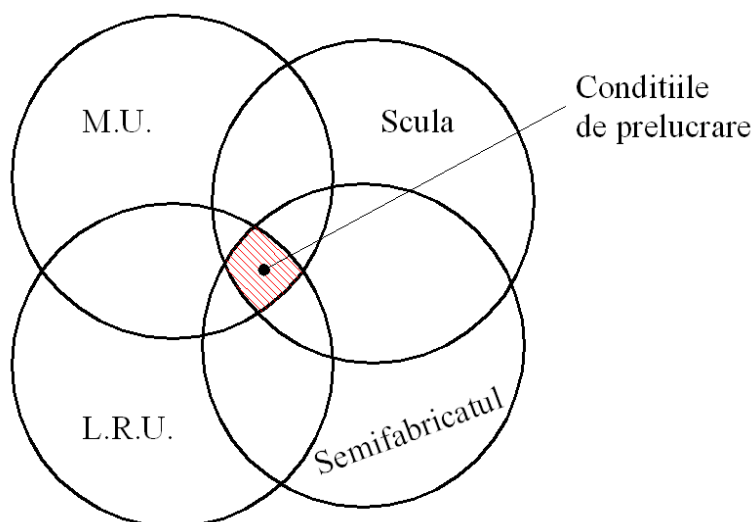


Fig. 1.21

În același timp, caracterul realizării procesului va fi influențat de oscilațiile dinamice ale sistemului, urmate de sporirea erorii formei, dimensiunilor și rugozității suprafeței. Aceasta provoacă creșterea imediată a temperaturii în zona de așchiere, care la rândul său modifică structura și tensiunile remanente în stratul superficial al materialului prelucrat. Deci, tipul sculei utilizate, metoda de ascuțire, nivelul dezechilibrului static și dinamic al sistemului au o valoare esențială.

Astfel de efecte au loc și la prelucrarea cu discul abraziv care, fiind în mișcare, provoacă oscilații în urma uzurii neuniforme a granulelor abrazive, măcinării lor ori îmbibării cu lichid de răcire-ungere. Procesul rectificării devine instabil datorită faptului că adâncimea de așchiere este variabilă în timp.

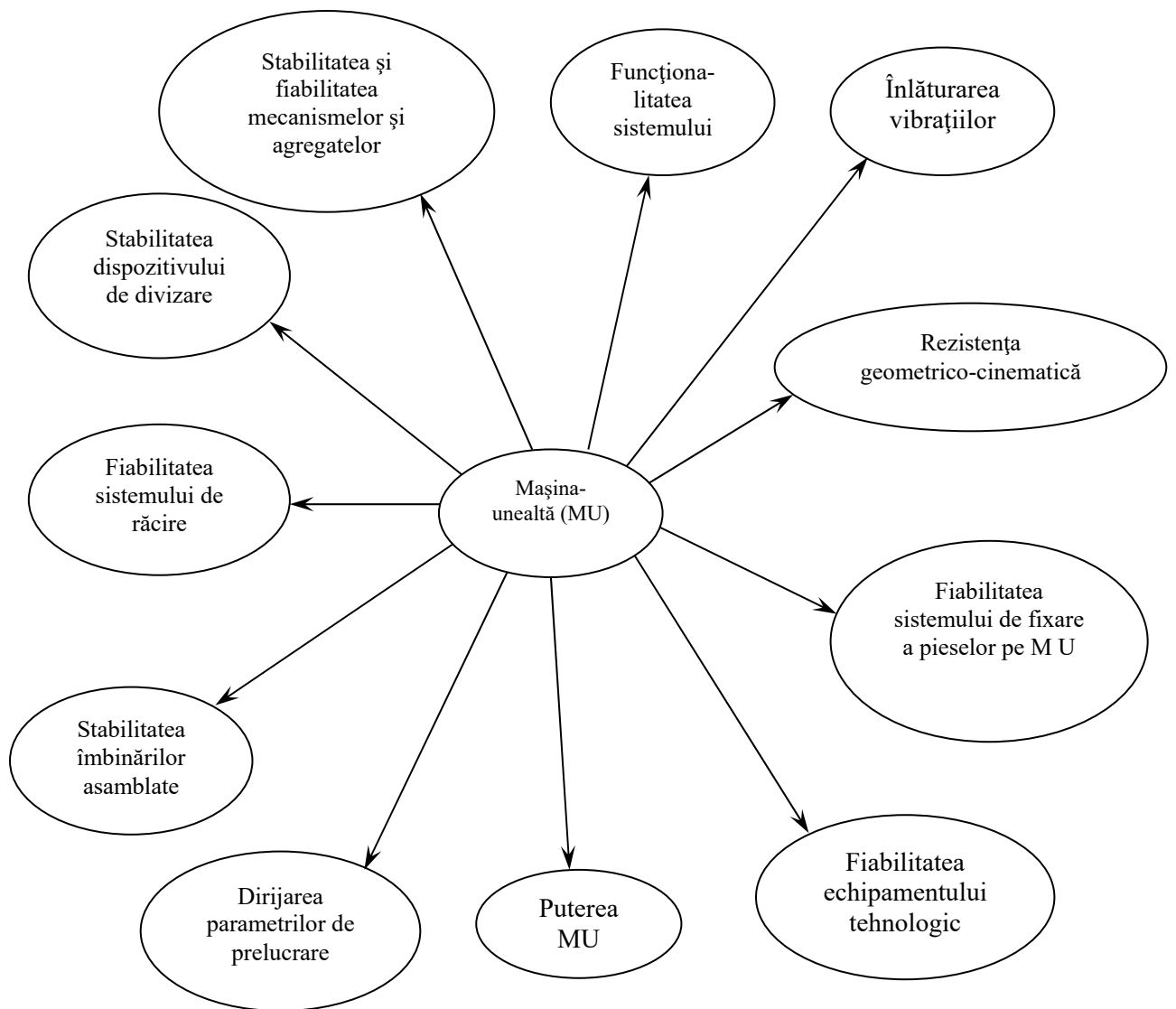


Fig. 1.22

O altă latură a problemei apariției erorilor de prelucrare în procesul de rectificare o constituie impuritățile care se găsesc în LRU și care pătrund în zona de așchiere și exercită inevitabil modificări la formarea stratului superficial al angrenajului rectificat.

Toate cele menționate justifică importanța ce se acordă factorilor expuși mai sus, care influențează formarea stratului superficial al organelor de mașini și, în special, al roților dințate, mai ales în etapa finală a procesului de execuție a acestora.

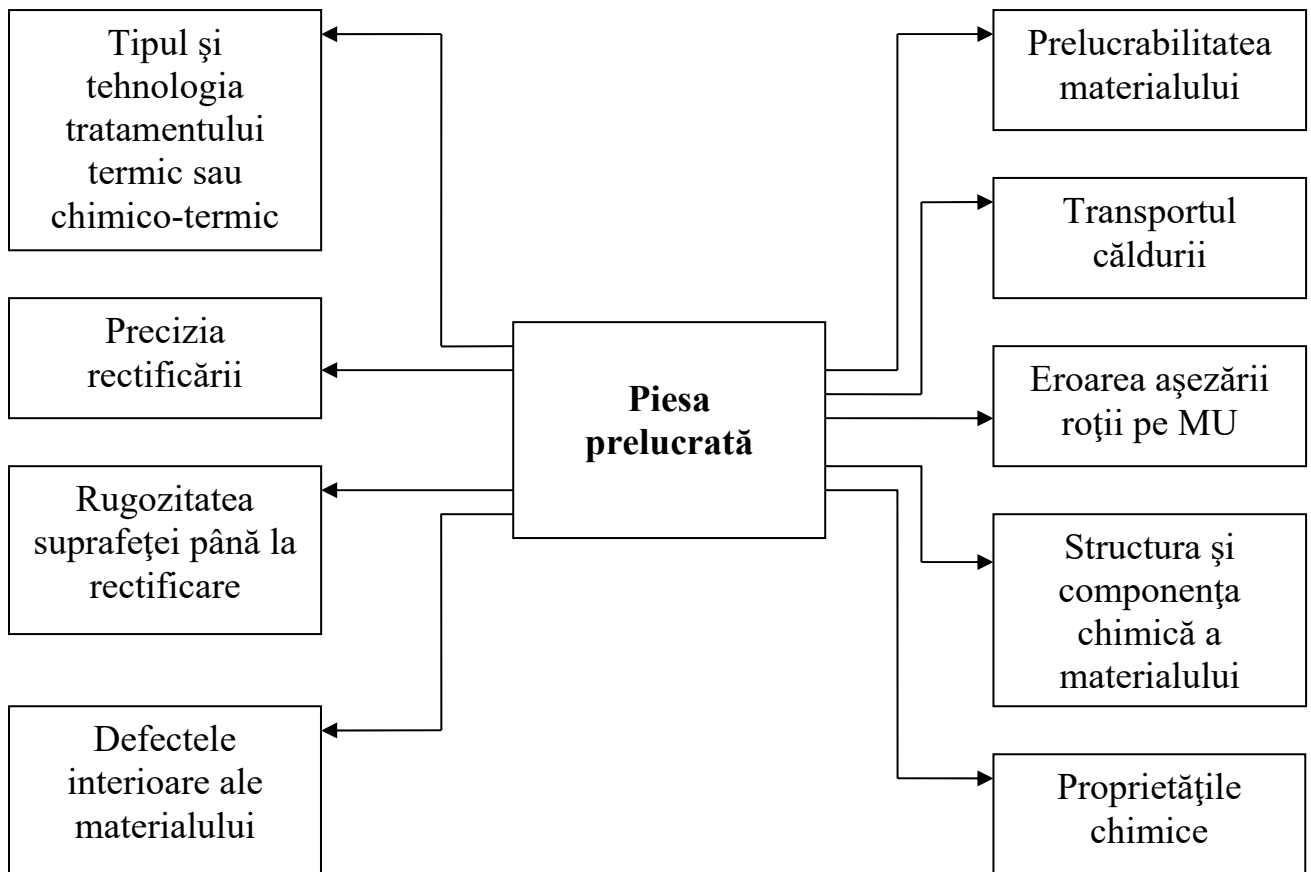


Fig. 1.23

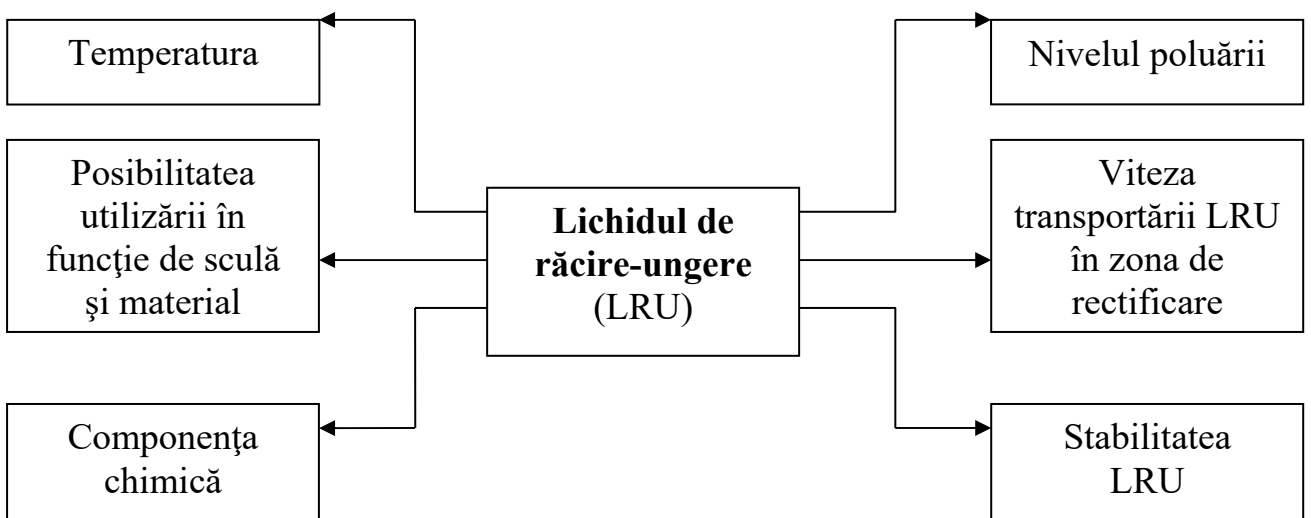


Fig. 1.24

1.6.3. Proprietățile fizico-chimice ale stratului superficial al organelor de mașini

Modificările structurale și influența lor asupra stratului superficial. Cauza tensiunilor din structura materialului constă în modificarea volumului în secțiune a materialului, prin faptul că austenita cu un volum specific mai mic se transformă în alt volum specific mai mare (martensită, beinită, perlită, ferită) [34, 36, 41]. Tensiunile remanente din structură în stratul superficial apar întotdeauna cu cele termice și stimulează apariția tensiunilor de întindere, iar în miez se formează tensiuni de comprimare. În unele cazuri [45], transformarea austenitei are loc mai devreme, fapt ce cauzează apariția în miez a tensiunii de comprimare, iar în cel exterior – de întindere. [46]. O astfel de distribuție a tensiunilor inițiale este cauzată de modificările de faze prezentate în figura 1.13.

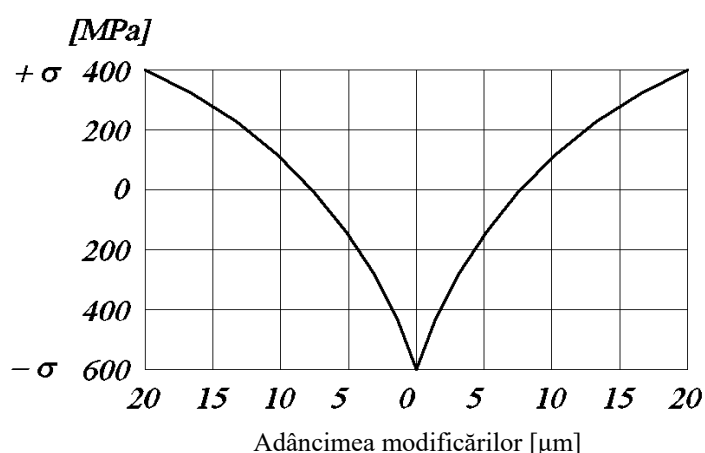


Fig. 1.25

Putem observa trecerea tensiunilor de la suprafața exterioară spre direcția miezului și care se transformă din tensiuni de întindere în tensiuni de comprimare, cauza acestei schimbări constând în modificările care au loc în stratul superficial al materialului prelucrat. Modificările valorilor tensiunilor remanente și determinarea evoluției lor permite să determinăm acțiunea termică, precum și modificările structurale legate de aceasta. De aceea, determinarea evoluției și caracterului tensiunilor inițiale atât pe adâncimea stratului exterior, cât și la suprafața materialului prelucrat, are o valoare esențială.

Analizând distribuția microdureții în stratul superficial, putem formula următoarea concluzie: modificările structurale în stratul superficial, în măsură mai mare, sunt cauzate de distribuția căldurii, care este suficientă pentru formarea structurilor de martensită (figura 1.14) [47]. Influența temperaturii și acțiunea frecării se micșorează pe adâncimea stratului.

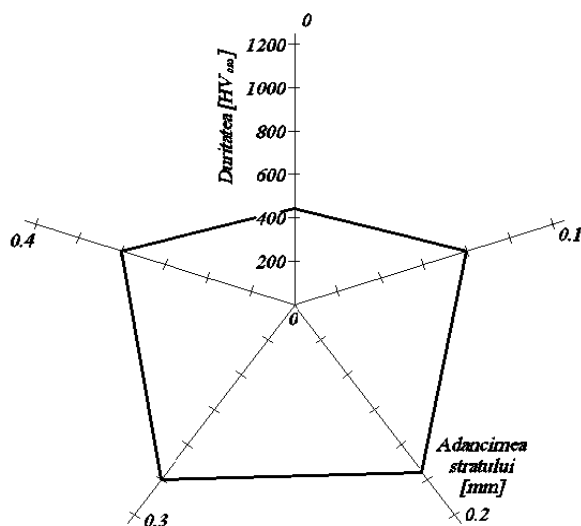


Fig. 1.26.

Marburger [47] își expune părerea că distribuția tensiunilor remanente și a durtății [135, 145] apărute ca rezultat al acțiunii mecanice a sculei asupra materialului nu este esențială.

Tensiunile de comprimare apărute și care au valori descrescătoare spre adâncime împiedică acțiunea tensiunilor de întindere, iar micșorarea durtății este însoțită nemijlocit de creșterea tensiunilor de întindere [51].

Modificările structurale duc la creșterea erorii profilului dintelui și a abaterii de la axa dintelui. Mărirea acestei erori este cauzată de apariția modificărilor structurale și de creșterea valorii tensiunilor de comprimare, ce se modifică în funcție de adâncimea la care se găsesc în stratul superficial.

Tensiunile remanente. Pentru stratul superficial, tensiunile inițiale remanente reprezintă factorul de bază în etapa sa de formare. Încă în anul 1914, E. Heyn [44] a întreprins determinarea procesului de formare a tensiunilor remanente. A fost urmat apoi de o mulțime de alți cercetători, care au realizat multiple și costisitoare cercetări [94], elaborând metode noi de măsurare de lungă durată [31, 33, 56, 59, 60, 70, 73, 76, 77]. Motivația cercetărilor a fost faptul că tensiunile remanente fac parte din proprietățile de bază ale stratului superficial și că acestea determină valoarea rezistenței acestuia la sarcinile de exploatare [96, 98]. În afară de cele menționate, tensiunile inițiale sunt rezultatul acțiunii acelei energii care se exprimă prin apariția unui câmp neuniform al energiei elastice.

Autorul [89], cercetând diverse stări de tensiune, a folosit noțiunea de *tensiuni interioare*, utilizată apoi de o serie de cercetători [53]. Însă această definiție nu este exactă, deoarece tensiunile care apar sub acțiunea forțelor exterioare sau în lipsa lor sunt tensiuni interioare. O astfel de părere o au Cullity și Moretti, de aceea ei au folosit termenul *tensiuni proprii* [51]. Alții [91, 96, 98] sunt adepții denumirii de *tensiunii remanente* sau *tensiuni lăsate*, utilizate în cazul tensiunilor care există în corp, indiferent de acțiunile exterioare.

În principiu, toate tensiunile pot fi divizate astfel:

- tensiuni care apar în corp în timpul acțiunii forțelor exterioare asupra lui;
- tensiuni rămase în corp după ce acțiunea forțelor exterioare este stopată.

În cazul tensiunilor în corpuri la care nu sunt solicitări ale forțelor exterioare, se folosește definiția de *tensiuni remanente* [51].

Există și altă clasificare a tensiunilor, și anume: tensiuni de ordinul întâi, tensiuni de ordinul doi și tensiuni de ordinul trei, însă nu toți susțin această clasificare [123], din care cauză se folosește și o altă clasificare, ce separă tensiunile remanente în macro- și microtensiuni. Însă este necesar a se ține seama de faptul că tensiunile remanente diferă de altele mai întâi prin metoda de formare în material. Mai frecvent sunt amintite următoarele metode: asamblarea (montarea), sudarea, turnarea, metode mecanice și termice. Tensiunile sunt introduse intenționat ori întâmplător, ca efect de însoțire a proceselor tehnologice mecanice sau de asamblare.

Folosind termenul de *distorsiune a rețelei cristaline*, trebuie înțeles că domeniul de răspândire a tensiunilor remanente este comparabil cu dimensiunea unei celule cristaline elementare. În cazul dat nu este potrivită noțiunea de *tensiune* [157] în sensul în care este acceptată în teoria elasticității. Determinarea tensiunilor remanente de ordinul trei [88] este o eroare, deoarece aceste tensiuni pot apărea nu numai în cazul deformațiilor plastice, ci pot fi de origine termică sau structurală. Mai binevenită în cazul dat ar fi definiția mezotensiunii.

Efectele fizice care au loc în stratul superficial și influența lor asupra stării tensionate. Indiferent de metoda prin care a fost prelucrată piesa (cu muchie așchietoare sau cu abraziv), se formează tensiuni remanente [80, 145]. În procesul exploatării, când suprafața piesei se supune diferitelor sarcini și toată piesa se află în stare încărcată, apar tensiuni suplimentare cu frecvență dinamică variabilă. Dacă tensiunile dinamice sunt nule, iar cele statice nu depășesc rezistența la rupere, atunci rezistența elementului nu are limită. Cauza rezistenței limitate este apariția tensiunilor dinamice cu valoare ce depășește limita rezistenței la oboseală (figura 1.15) [34, 40, 55].

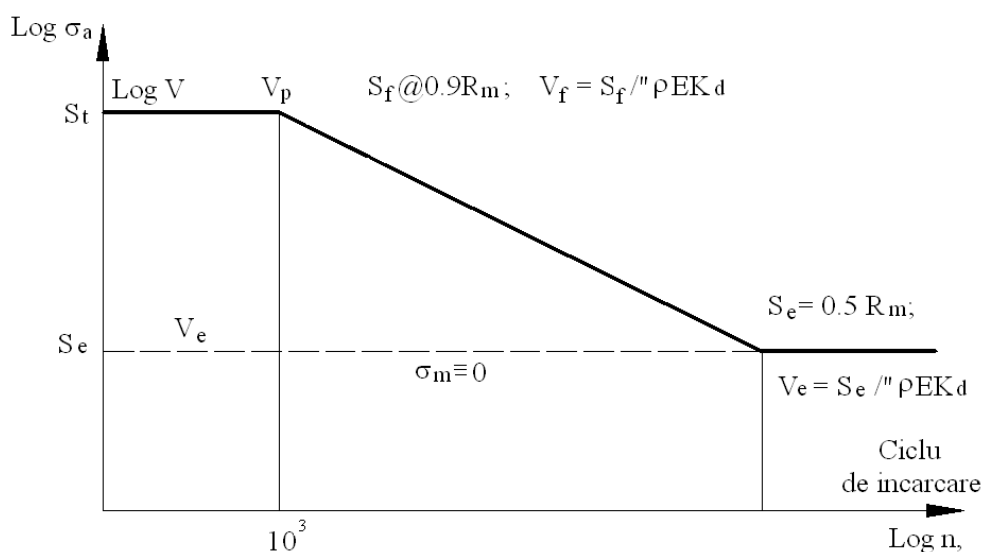


Fig. 1.27.

În general, tensiunile provoacă în material un șir de efecte compuse [141, 144, 159], urmate de o serie de modificări ce depind de valoarea acestor tensiuni și de numărul ciclurilor, care este și factorul ce determină forma de distrugere a materialului [158, 160, 164].

Dacă ne referim la dinții roților dințate, fisura de la oboseală apare pe suprafața supusă deformațiilor (la existența tensiunilor remanente de întindere). În asemenea condiții apare frettingul (uzura) [157, 166]. Rolul hotărâtor aici îl are starea tensiunilor, adică valoarea, direcția și variația tensiunilor remanente în stratul superficial

[34]. Din această cauză, o serie de autori [47] văd legătura tensiunilor date cu modulul lui Yung, cu rezistența la întindere R_e și cu deformațiile maxime ϵ .

Starea tensiunilor în stratul superficial este determinată de forma și condițiile acțiunii tehnologice pe stratul superficial al organelor de mașini în procesul execuției lor.

Condițiile de rectificare și proprietățile stratului superficial. În procesul rectificării dinților roților dințate, modificările proprietăților și caracteristicilor stratului superficial au loc în timp. Modificările respective sunt rezultatul introducerii în interiorul acestuia a energiei necesare pentru înlăturarea materialului în procesul rectificării. Totodată, are loc și deformarea stratului superficial, care depinde de valoarea forței de așchiere [80].

Sunt cunoscute rezultatele cercetărilor experimentale pentru determinarea rezistenței așchierii la rectificarea dinților roților dințate. Există modele ale forțelor de așchiere care stau la baza formării tensiunilor remanente și care permit explicarea procesului frecării așchierii de suprafața prelucrată și de apariție a fisurilor pe suprafață (figura 1.16) [173].

Așadar, creșterea adâncimii de așchiere este însoțită de majorarea forțelor de așchiere, care la rândul lor micșorează valoarea tensiunilor de întindere în stratul superficial rectificat al dintelui roții dințate. Este recunoscut faptul că tensiunile remanente influențează rezistența organelor de mașini [134], au legătură cu căldura care apare în zona de așchiere, ce formează tensiunile de întindere, modificând duritatea și structura [158]. În funcție de caracterul și valoarea forțelor ce acționează la așchiere [158], ele pot provoca creșterea tensiunilor de comprimare ori micșorarea tensiunilor de întindere. S-a întreprins o încercare a descrie matematic [134] valoarea influenței forțelor de așchiere asupra procesului de formare a tensiunilor remanente.

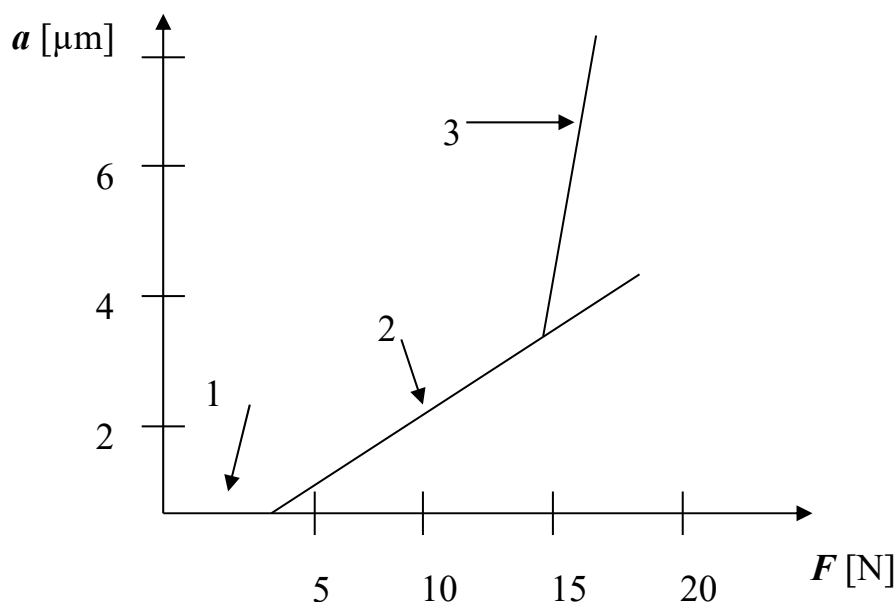


Fig. 1.28. Legătura dintre adâncimea de așchiere (a) și forța de așchiere (F):
1 – frecare; 2 – zgâriere; 3 – așchiere.

Micșorarea forțelor de așchiere și a adâncimii de așchiere duce la creșterea influenței frecării [134]. În consecință, crește volumul de căldură în zona de așchiere, fapt ce conduce la apariția tensiunilor termice, care pot fi determinate prin expresia [134, 158]:

$$\sigma = \frac{E}{1 - \mu} \lambda (t_{\varphi} - t) \quad (1.2)$$

unde: E – modulul Yung; μ – coeficientul Poisson; λ – coeficientul termic; t_{φ} – temperatura medie; t – temperatura curentă a suprafeței.

Temperatura în timpul rectificării poate provoca apariția unei noi zone tratate termic și a unui strat moale sub aceasta [17, 18, 19]. Acest proces poate fi însoțit de transformări de tensiuni în stratul superficial. În ambele cazuri, tensiunile remanente au acțiune asupra proprietăților mecanice, fizice și chimice ale materialului, așa cum este prezentat în figura 1.17 [161].

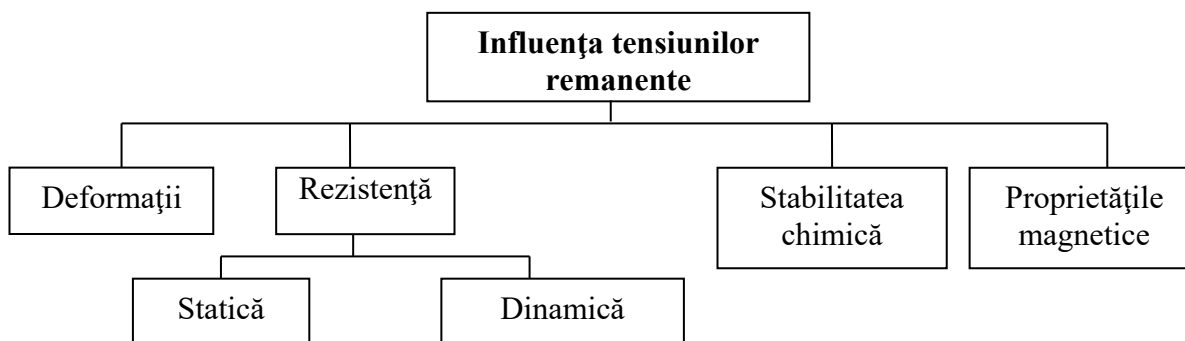


Fig. 1.29

Dacă în procesul acțiunii tehnologice nu au loc modificări de faze și structură în material, atunci influența termică ce predomină va provoca tensiuni de întindere, iar influența mecanică în cazul deformațiilor de întindere va provoca apariția tensiunilor remanente de comprimare. Este cunoscut faptul că forțele tangențiale dau naștere la o cantitate mare de căldură, care are ca efect creșterea temperaturii [17, 18, 19, 20].

Raportul dintre proprietățile termice și cele fizice formate depinde de temperatura care modifică proprietățile stratului superficial, totodată și tensiunile remanente [161].

Procesul rectificării dinților roților dințate prin metoda rulării se caracterizează prin faptul că viteza așchierii variază din cauza modificării razei sculei, iar secțiunea adaosului poate fi examinată ca o suprafață de forma dată. Acest fapt explică de ce în timpul rectificării se modifică condițiile de așchiere în zona de contact al discului rectificator cu dintele ce se prelucrează.

De asemenea, un rol hotărâtor în procesul rectificării îl are avansul și numărul curselor duble ale sculei abrazive. S-a stabilit că la utilizarea unor regimuri neraționale de rectificare apare un strat alb de călire dublă, martensită de revenire și austenită reziduală [136, 161]. De aceea, condițiile de prelucrare au o importanță majoră în procesul de rectificare, iar alegerea lor incorectă poate provoca creșterea rezistenței la așchiere, sporirea uzurii

discului rectificator, majorarea temperaturii în zona de rectificare și stări nedorite ale tensiunilor remanente în stratul superficial al suprafeței prelucrate.

Condițiile de prelucrare au o valoare deosebită pentru repartizarea și valoarea tensiunilor amplasate atât pe înălțimea dintelui, cât și pe adâncimea lui [53, 55, 56, 58, 59, 67]. Utilizarea regimurilor neraționale de prelucrare duce la apariția fisurilor și la creșterea austenitei reziduale. Fisurile apar din cauza revenirii structurii martensitice, care are legătură cu formarea tensiunilor remanente.

Crearea în stratul superficial a unei asemenea stări a tensiunilor remanente ar putea efectiv să influențeze asupra rezistenței la oboseală [151, 152], mai ales că transformarea tensiunilor de întindere în cele de comprimare poate duce la amplificarea triplă a limitei la oboseală [151].

În ultimul timp se întreprind încercări de dirijare a procesului de deformare, cauzat de condițiile de prelucrare [20, 55, 56, 58]. Acest fapt duce la stimularea unor concepții de dirijare prin intermediul deformațiilor de a optimiza redistribuirea tensiunilor remanente. Acest obiectiv al cercetărilor este orientat spre procesul de rectificare, deoarece în cadrul acestuia se modifică:

- dimensiunea și forma stratului rectificat;
- dimensiunea, forma și curbura suprafeței de contact al discului rectificator cu produsul prelucrat;
- viteza așchierii, din cauza varierii razei sculei în zona de contact al discului rectificator cu înălțimea dintelui roții dințate.

Cele menționate necesită determinarea valorii forțelor care participă la rectificare.

O analiză aparte trebuie efectuată și asupra discului abraziv în procesul rectificării [53, 58, 66]. În timpul rectificării apare următoarea situație concretă [127]:

- la prelucrare participă efectiv doar 10-15% dintre granulele abrazive care se află pe suprafața de lucru a discului rectificator;
- o parte dintre granulele abrazive deformează plastic și elastic suprafața dintelui prelucrat;
- altă parte nu participă la procesul de rectificare;
- creșterea vitezei de așchiere provoacă sporirea temperaturii în zona de contact;
- creșterea temperaturii favorizează modificările proprietăților de adeziune în zona de contact al materialului abraziv cu cel rectificat.

Cele expuse demonstrează că discul rectificator provoacă apariția tensiunilor remanente legate în general de efectul termic. O valoare mai mare o are poziția discului rectificator față de dinte în zona de contact [85]. Procesul contactării discului rectificator cu suprafața prelucrată este examinat în mai multe lucrări [35, 128, 151]. S-au întreprins încercări de a elabora un model matematic, care, din păcate, nu s-a soldat cu succes [272]. În altă lucrare s-a determinat că discul rectificator cu abrazivi din corindon sporește de două ori temperatura în zona de așchiere față de discul cu abrazivi din borazon. Efecte analogice se observă și la rectificarea cu discuri cu suprafața activă întreruptă.

În general, se poate constata că rectificarea provoacă modificări structurale în zona de așchiere, care schimbă simțitor tensiunile remanente în stratul superficial [1, 7, 53, 55]. Caracterul acestor tensiuni și valoarea lor depind de temperatură, de forțele de așchiere, de parametrii tehnologici și de proprietățile fizico-chimice ale materialului prelucrat [55].

Forțele de aşchiere și temperatura depind de caracteristica discului abraziv și metoda de rectificare, mai ales că rectificarea danturii se manifestă prin neuniformitatea forțelor de aşchiere, fapt ce justifică dificultățile de modelare a acestui proces față de alte procedee de rectificare.

În cadrul procesului de rectificare a danturii au fost examinate mai multe probleme: poziția golului dintre dinți față de discul rectificator, starea tensiunilor în stratul superficial și legătura lui cu deteriorările care apar ulterior [128]. Rectificarea roților dințate cu anumite regimuri de aşchiere provoacă tensiuni de întindere. Odată însă cu creșterea numărului de curse duble ale discului, se poate micșora valoarea tensiunilor de întindere. Acest fapt demonstrează că acțiunea termică se micșorează odată cu evacuarea ei mai rapidă din zona de contact al discului cu piesa prelucrată.

Un rol important în procesul de rectificare îl are și LUR. Volumul lichidului transportat în zona de aşchiere influențează valoarea temperaturii. Este recunoscut faptul că odată cu sporirea cantității de LUR, temperatura în timpul rectificării se micșorează. În același timp, deformațiile stratului superficial al materialului prelucrat, pe care se exercită acțiunea termică [53], pot avea valori diferite și depind de viteza de repartizare a energiei.

Este necesar a sublinia că cinematica procesului de rectificare a dinților, mai ales regimurile de aşchiere, au o valoare esențială pentru apariția tensiunilor remanente [70, 71]. Vibrațiile care apar în timpul rectificării dinților roților dințate provoacă instabilitatea procesului de rectificare, iar prin aceasta, grosimea stratului îndepărtat devine variabilă. Cazul dat, la rândul său, provoacă variația forțelor de aşchiere și neuniformitatea volumului de căldură ce apare în zona de aşchiere. Aceasta, la rândul ei, modifică caracterul repartizării și valoarea tensiunilor remanente, duritatea prin modificarea structurii stratului superficial [70, 71].

În procesul rectificării, cauza modificării tensiunilor remanente în stratul superficial [3] poate fi termică, structurală sau datorată deformațiilor mecanice. În funcție de cauza ce predomină, în stratul superficial rectificat pot avea loc modificări esențiale ale valorii și caracterului distribuirii tensiunilor remanente, ce sunt stabilite în urma cercetărilor altor procese de rectificare. De aceea, pentru dinții roților dințate, procesul de rectificare, din punctul de vedere al modificării proprietăților stratului superficial, cere să fie cercetat.

Rolul căldurii în formarea stratului superficial. În principiu, există două modele de formare a tensiunilor remanente, și anume, *meccanic* și *termic*. În cazul modelului termic, care este caracteristic procesului de rectificare, tensiunile remanente formate au caracter de întindere. În urma acțiunii proceselor termice se observă o stare tensionată ori deformată, cu formarea deformațiilor remanente [53]. În unele condiții, această stare își modifică forma sau poate să dispară. Dar sunt cazuri când tensiunile remanente termice au caracter constant. Deci, are loc echilibrarea forțelor interioare corespunzătoare într-un domeniu oarecare [95].

Este cunoscut faptul că câmpul tensiunilor în stratul exterior se caracterizează prin mai multe valori și cu mari gradiente de tensiuni în faza relației [151, 152, 154]:

$$\sigma = E\varepsilon_1(1-\nu) = E\alpha_1(T_1 - T_2), \quad (1.3)$$

unde: α_1 – coeficientul mediu liniar al dilatării termice; E – modulul lung; T_1 – temperatura inițială; T_2 – temperatura finală a deformațiilor termice de întindere:

$$\varepsilon_1 = \sigma / E(1 - \nu), \quad (1.4)$$

de unde:

$$\sigma = \left(\frac{\alpha_1 \Delta T E}{1 - \nu} \right), \quad (1.5)$$

unde: $\Delta T = T_1 - T_2$.

Tensiunile de întindere sunt dăunătoare [81], fiindcă micșorează proprietățile de exploatare ale produsului și pot provoca microfisuri [88].

Microfisurile apar mai întâi din cauza temperaturii înalte la rectificări mai mari de punctul A_{c3} și din cauza modificărilor structurale [53, 54, 55, 56, 57, 66], care au loc sub acțiunea diferențelor de temperaturi în statul exterior din microdomeniul materialului prelucrat. Când valoarea tensiunilor remanente depășește limita rezistenței materialului prelucrat, atunci are loc procesul microfisurării stratului superficial. Acest efect demonstrează atât concentrarea tensiunilor remanente, cât și intensitatea lor înaltă.

Teoria formării termotensiunilor a fost analizată de către un șir de cercetători [135]. Este semnificativ faptul că viteza modificărilor este neuniformă pe secțiunea materialului prelucrat a dintelui. De aceea, modificările neuniforme volumice în material provoacă apariția tensiunilor remanente [53, 54, 55, 56, 57, 66]. Cauzele apariției tensiunilor termice sunt neuniformitatea răcirii, încălzirea mai jos de punctul A_1 și dilatarea termică legată de aceste efecte.

Tensiunile structurale sunt provocate de modificarea volumului (transformărilor martensită-austenită) prin trecerea de limita temperaturilor critice (de exemplu, în austenită, perlită, martensită, bainită). Deci, sporirea difuziei în corpurile solide se observă doar într-un interval de temperaturi medii, în temperaturile ridicate prevalează efecte provocate de variațiile de temperaturi. Efectul Soretta [133] denotă că fluxul de martensită în orice sistem depinde de gradientul concentrării și temperaturii. Astfel, dacă într-un metal sau în alt sistem multicomponent are loc gradientul de temperatură, putem aștepta o migrație a atomilor de martensită într-o regiune mai caldă sau mai rece.

Creșterea tensiunilor de întindere, provocată de acțiunea termică, micșorează rezistența la oboseală [155] (figura 1.30).

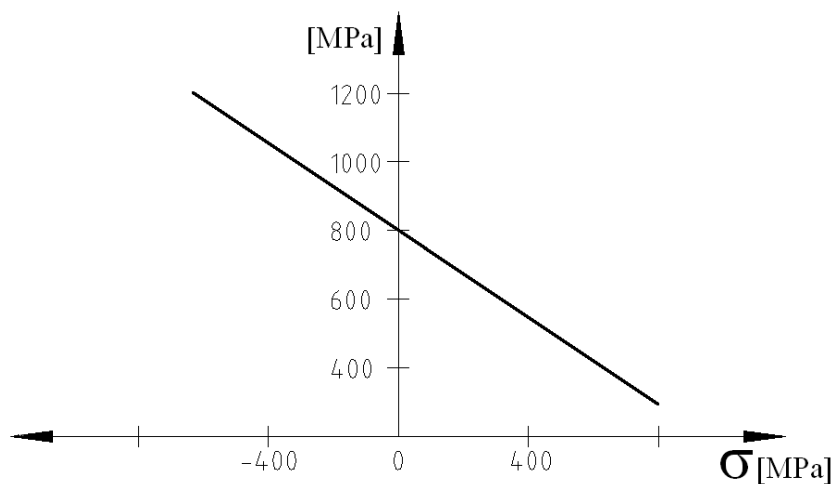


Fig. 1.30

În urma rectificării s-a depistat apariția tensiunilor inițiale de întindere foarte înalte în stratul superficial al roților dințate [53], care ating valoarea de 1000 [MPa] (figura 1.31).

Căldura în stratul superficial, la o adâncime mai mare de 10 μm , mărește simțitor valoarea tensiunilor remanente de întindere și doar la adâncimi mari – și a tensiunilor de comprimare. Așadar, există o legătură a temperaturii cu tensiunile remanente. De asemenea, caracterul acestei legături impune o cercetare experimentală mai aprofundată, pentru depistarea modificării proprietăților stratului superficial, mai ales pentru dinții rectificați ai roților dințate.

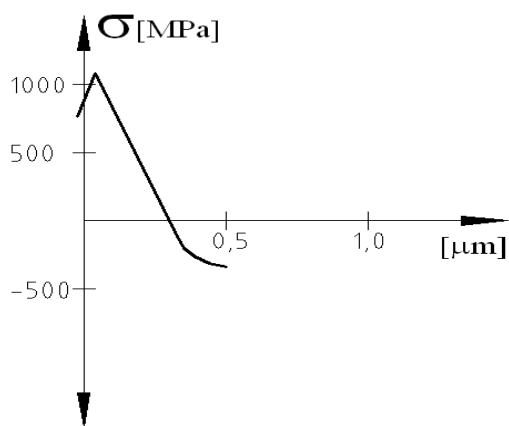


Fig. 1.31

2. MECANISMUL FORMĂRII COMPONENTELOR ERORII CINEMATICE A ROȘILOR DINȚATE

2.1. Premisele teoretice

Procesele tehnologice ale execuției roților dințate, pe măsura construcției funcționale și complexității structurale, a schimbului multiplu al bazelor tehnologice ale piesei, conțin un număr important de erori armonice elementare, care, la sumarea lor pe produs, formează erori periodice.

Cercetarea mecanismului formării erorilor pieselor prelucrate, depistarea surselor tehnologice care provoacă astfel de erori, stabilirea legăturii dintre factorii tehnologici și erorile roților dințate pot fi posibile doar în baza unor principii de abordare sistematică, și anume [163]:

- examinarea procesului tehnologic în întregul său, dar și la nivelul unor componente structurale separate;
- evidențierea relațiilor care apar la interacțiunea dintre elementele sistemului tehnologic și ale relațiilor dintre sistem și mediu;
- examinarea tuturor proceselor și efectelor care exercită acțiune asupra modificării parametrilor cercetați ai sistemului tehnologic.

Luând în considerație primul principiu pentru rezolvarea obiectivului propus, apare necesitatea examinării variantelor componente nivelurilor structurale ale procesului tehnologic de danturare.

Caracterul distinctiv al acestor recomandări, caracterizate de generalizarea nivelurilor sistemelor tehnologice [96, 150], reprezintă un nivel superior de analiză a fazelor procesului tehnologic. Acesta permite a depista, în funcție de al doilea principiu, legăturile constante sau variabilele în timp și, totodată, oferă posibilitatea examinării procesului tehnologic ca un întreg. În acest mod, traseul tehnologic poate fi examinat nu doar ca sistem, ci și ca subsistem, care face parte dintr-o componentă mai complexă – sistemul procesului tehnologic.

Analiza mecanismului formării erorii cinematice a roților dințate, în corespundere cu al treilea principiu al abordării sistemice, trebuie să fie realizată ținând cont de caracterul lui complex [107, 147, 162 ș.a.]. Eroarea cinematică a roților dințate, în conformitate cu complexul de verificare, poate fi determinată în baza unor indici ca bătaia radială F_r și variația normalei comune F_{vnr} .

Pentru determinarea legității formării componentelor radiale și tangențiale ale erorii cinematice a roților dințate, mai rațional este ca structura lor să fie prezentată în formă de sumă a erorilor geometrice și cinematice, a erorii de formă a coroanei dințate [96, 114, 139]. Aceste erori, la rândul lor, pot fi prezentate în forma unor componente elementare, care apar din cauza acțiunii unor surse tehnologice.

Din lucrările [162 ș.a.] rezultă că componentele erorilor cinematice ale roților dințate pot fi descrise sub forma unor acțiuni periodice care îndeplinesc condițiile Dirihle [140]. Acestea pot fi prezentate sub forma polinomului trigonometric (șirul Fourier), ce permite înlocuirea curbei empirice cu o sumă de armonici cu frecvențe discrete echidistante:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cdot \cos k_\varphi + b_k \cdot \sin k_\varphi), \quad (2.1)$$

unde: $a_0/2$ – membrul constant al șirului (ordonata medie a funcției);

k – numărul de ordine al componentei care face parte din eroarea cercetată a roții dințate;

n – numărul de componente care se iau în considerație la cercetarea erorii roții dințate;

a_k, b_k – coeficienți ai șirului;

φ – modificarea discretă a unghiului de rotire a roții dințate (unghiul de pas al amplasării dinților).

Deoarece curbele erorilor roților dințate reprezintă în sine niște funcții expuse prin valori discrete, pentru determinarea caracteristicii șirurilor pot fi utilizate ecuațiile Bessel [140].

Amplitudinea și unghiul de fază al armonicii de ordinul întâi caracterizează componenta periodică a erorii roții dințate și determină parametrii excentricităților (modulele și direcțiile vectorilor) [139]. Totalitatea armonicilor ulterioare reflectă caracterul variației erorii formei coroanei [114]. Astfel, prezentarea oscilației lungimii normalei generale și bătăii radiale a coroanei roții dințate în formă de polinoame trigonometrice, în corelație cu metodologia analizei armonice, permite a le exprima prin sume ale componentelor vectoriale [114, 140]:

$$F_{vwr} = 2 \cdot \overline{e_w} w + \overline{\Delta_x}, \quad (2.2)$$

$$F_{rr} = 2 \cdot \overline{e_r} + \overline{\Delta_x}, \quad (2.3)$$

unde: e_w, e_r – corespunzător, valori ale excentricităților cinematice și, respectiv, geometrice ale roții dințate;

Δ_w, Δ_r – valori ale erorii formei roții dințate în direcția tangențială și, respectiv, în direcția radială.

Prezentările teoretice, în corelație cu obiectivele prezentate și metodele de cercetare acceptate, pot servi ca bază pentru determinarea legităților acceptate de formare a componentelor erorilor cinematice ale roților dințate la prelucrarea operațiilor în baza metodei de rulare liberă.

2.2. Analiza mecanismului formării componentelor erorii cinematice a roților dințate la frezarea danturii

Erorile elementare armonice, caracteristice sistemelor tehnologice ale frezării danturii, pot fi împărțite în 4 categorii [162]:

- *erori radiale*, caracterizate prin modificarea distanței radiale dintre semifabricat și sculă;
- *erori tangențiale*, caracterizate prin abaterea rulării sculei și roții dințate sau prin imprecizia divizării;
- *erori axiale*, caracterizate prin dereglarea preciziei deplasării sculei de-a lungul axei roții dințate;
- *erori de generare a suprafeței de lucru a sculei*, caracterizate prin imprecizia sculei proiectate, executate sau ascuțite.

Ultimele două tipuri de erori nu acționează semnificativ asupra formării erorii cinematice a roții dințate [162] și pot fi excluse din examinarea ulterioară.

Conform schemelor tipice de așezare a roților dințate în dispozitivele ce folosesc un element rigid de centrare (figura. 2.1), asupra valorii erorilor radiale ale roții dințate la danturare au influență nemijlocită eroarea amplasării bazei de așezare a roții dințate, eroarea bazei de orientare, eroarea de centrare a dispozitivului față de axa de rotire a mesei mașinii-unelte și eroarea jocului în angrenajul transmisiei melcate („plutirea mesei”) [93, 162].

Valoarea excentricității geometrice se calculează în baza caracterului vectorial al componentelor erorilor prin relația:

$$\bar{e}_r = \bar{e}_c + \bar{e}_b + \bar{e}_{p.m.l} , \quad (2.4)$$

unde: \bar{e}_c – vectorul erorii de centrare a roții dințate;

\bar{e}_b – vectorul excentricității poziției dispozitivului față de axa de rotire a mesei mașinii-unelte la prelucrare;

$\bar{e}_{p.m.l}$ – vectorul erorii periodice al mașinii-unelte („plutirea mesei”) în direcție longitudinală.

Eroarea de centrare a roții dințate se formează din cauza jocului dintre dorn și diametrul de așezare a roții dințate și depinde de precizia de execuție a acestora [97, 114, 162, 164]. Valoarea maximă a acestei valori poate fi determinată cu ajutorul relației:

$$e_{c_{\max}} = 0,5 \cdot S_{\max} = 0,5(T_g + T_{disp} + S_{\min}) , \quad (2.5)$$

unde: S_{\max} , S_{\min} – corespunzător, valoarea maximă și valoarea minimă a jocului dintre alezajul roții dințate și dorn; T_{ds} , T_g – toleranța la diametrul elementului de centrare al dispozitivului și, respectiv, toleranța la gaura roții dințate [111].

Eroarea reglării dispozitivului F_r , determinată de apariția excentricității e_b , se acceptă în limita toleranței indicate în documentația normativă la bătaia radială a elementului de centrare față de axa de rotire a mesei mașinii-unelte. În producția de serie, F_{as} este o eroare întâmplătoare, care variază în anumite limite [139]. Pentru dispozitivele cu dornuri rigide se recomandă acceptarea unei valori a toleranței de cel mult $\frac{1}{4}$ din valoarea toleranței de la bătaia radială a roții dințate danturate [153].

Valoarea excentricității geometrice este influențată de eroarea periodică de „plutire a mesei” prin care se subînțelege valoarea modificării armonice a abaterii centrului mesei față de axa vârfurilor mașinii-unelte [162]. Într-un caz comun, plutirea mesei (figura. 2.2) mașinii-unelte provoacă abateri radiale e_r și, respectiv, tangențiale e_t ; legătura dintre ele poate fi descrisă prin relația 2.6:

$$\bar{e}_r = \bar{e}_t \cdot tg \varphi , \quad (2.6)$$

unde: φ – unghiul orientării planului de plutire a mesei față de direcția vectorului excentricității geometrice.

Valoarea erorii periodice a plutirii mesei, în planul transversal, se indică cu toleranța continuității poziției axei de rotire a mesei mașinii-unelte T_{rm} , deoarece direcția plutirii mesei mașinii-unelte se poate situa de la 0 până la π , conform legii probabilității egale.

Deci, în conformitate cu cele expuse mai sus, relația (2.4) poate fi dată în felul următor:

$$e_{t_{\max}} = 0,5(T_{disp} + T_p + S_{\min}) + \frac{F_{b.r.}}{4} + T_{rm} , \quad (2.7)$$

unde: $F_{b.r.}$ – toleranța la bătaia radială a roții dințate [105].

Expresia (2.7) reprezintă suma tuturor erorilor radiale ce pot apărea și permite să se calculeze eroarea maximă posibilă în timpul prelucrării semifabricatului. Aceasta poate fi reprezentată și grafic (figura. 2.3).

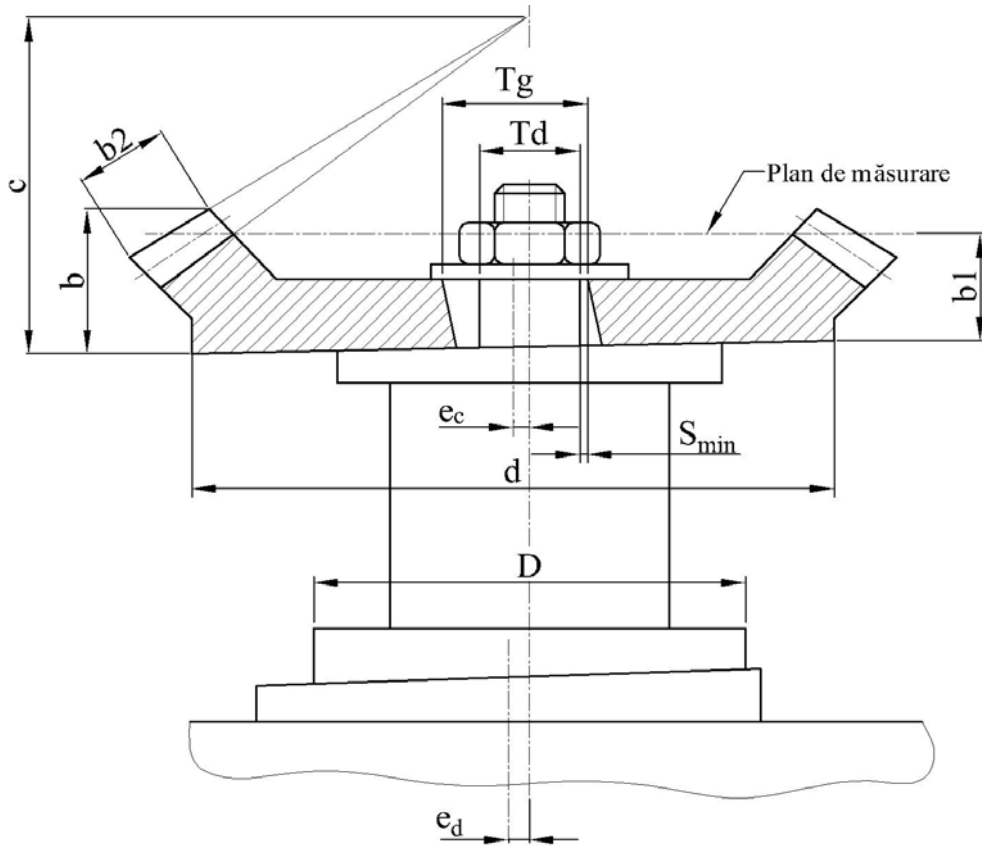


Fig. 2.1.

Valori minime ale erorii se obțin în cazul în care acestea se compensează reciproc. Însă, în realitate, acest caz este extrem de rar (3%) și poate fi atribuit, în conformitate cu cele expuse în [116], principiului imposibilității practice, deoarece acest eveniment nu poate avea loc.

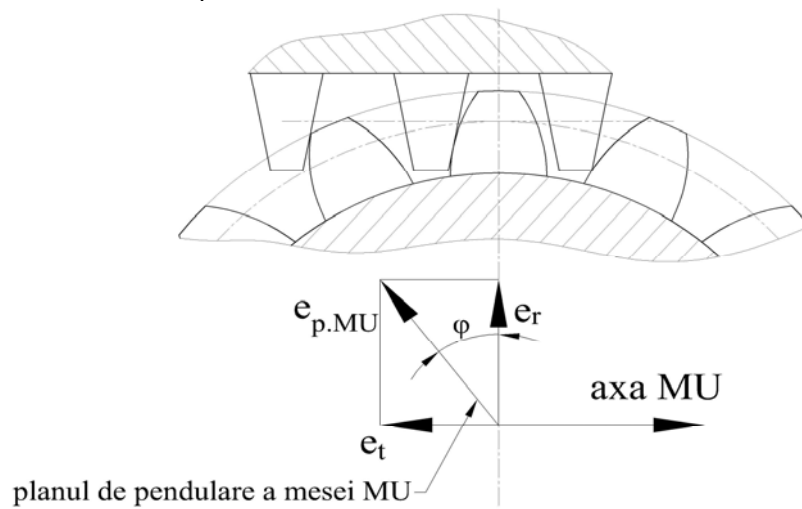


Fig. 2.2.

Valoarea așteptată a excentricității geometrice, la valori numerice cunoscute și unghiuri de fază ale erorilor vectoriale, poate fi prezentată prin calcul sau pe cale grafică. În figura 2.4 este dat modelul grafic de formare a excentricității geometrice a roții dințate la operația de frezare a danturii. Valoarea așteptată a erorii e_r poate fi determinată prin metoda grafo-analitică, în baza sumării consecutive a componentelor erorilor vectoriale:

$$e_r = e_c \cdot e_{p.m.u.} \cdot e_d \cdot \cos(\alpha_{p.m.u.} - \alpha_c) \cdot \cos(\alpha_b + \alpha_c - \alpha_{p.m.u.}), \quad (2.8)$$

unde: α_c , $\alpha_{p.m.u.}$, α_b – unghiuri de fază ale componentelor erorilor vectoriale ale excentricității roților dințate (figura. 2.4).

Însă obținerea datelor măsurării erorilor radiale ale roților dințate – unghiuri de fază ale componentelor erorilor vectoriale – nu este posibilă [114]. Nu se permite stabilirea valorii unghiulare de fază a vectorului și metodele matematice de cercetare, de exemplu metoda analizei armonice. Provocate de unele surse tehnologice, componentele erorilor radiale ale roților dințate au aceeași perioadă de măsurare.

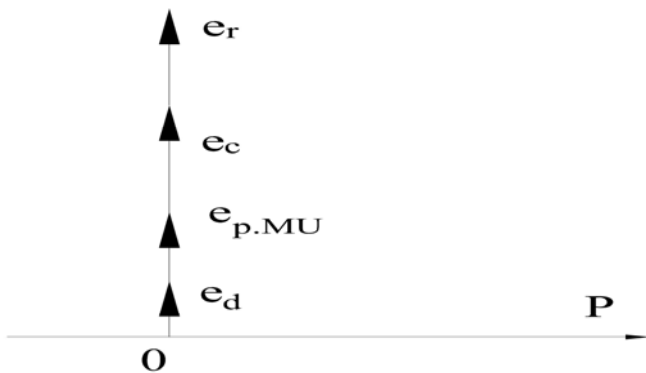


Fig. 2.3.

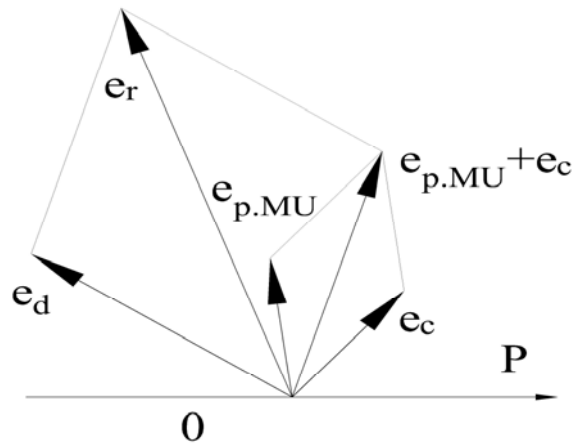


Fig.2.4.

Valoarea geometrică a excentricității suferă modificări esențiale în urma influenței amplasării suprafeței frontale de bază a piesei [96, 114]. Provocând dezaxarea axei roții dințate în dispozitiv, ea, într-o anumită măsură, micșorează jocul dintre gaură și elementul de orientare a dispozitivului. Ca urmare, poate să se modifice precizia de centrare a roții prelucrate.

Eroarea amplasării suprafeței frontale a piesei se compune din eroarea de execuție și eroarea suprafeței de așezare a elementelor dispozitivului, care, la rândul său, este limitată de cerințele tehnice ale documentației normative [108] prin toleranța la bătaia frontală a elementelor de așezare $T_{b.f.disp.}$. Astfel, valoarea maximă a erorii de amplasare a suprafeței frontale a piesei poate fi determinată prin relația:

$$F_{b.f.\max} = T_{b.f.p} + T_{b.f.disp}, \quad (2.9)$$

unde: $T_{b.f.p}$ – toleranța la bătaia frontală a roții dințate [108].

Valoarea maximă a modificării jocului, în corespundere cu schema de așezare a roții prelucrate (fig. 2.1), se

descrie prin dependența:

$$\Delta S_{\max} = \frac{b \cdot F_{b.f.\max}}{d} = \frac{b \cdot (T_{b.f.p.} + T_{b.f.\text{disp.}})}{d}, \quad (2.10)$$

unde: b – lățimea roții dințate;

d – diametrul butucului.

Ținând cont de corecțiile de mai sus, expresia (2.7) va avea forma următoare:

$$e_{r_{\max}} = 0,5 \cdot \left(T_p + T_{\text{disp}} + S_{\min} - \frac{b \cdot (T_{t.d.} + T_{t.pr.})}{d} \right) + \frac{F_r}{4} + T_{n.c.} \quad (2.11)$$

Din analiza prezentată a mecanismului formării excentricității geometrice la operația de frezare a danturii, când orientarea semifabricatului se realizează pe dorn rigid, se observă că structura componentei erorii radiale a roții dințate este complexă, deoarece se formează în urma acțiunii mai multor factori întâmplători atât ca valoare, cât și ca direcție (formula (2.4).

Proprietăți analogice are și cea de-a doua componentă structurală a bătaii radiale – eroarea de formă a coroanei dințate, apărută ca urmare a: impreciziei amplasării suprafeței frontale a roții dințate, rigidității insuficiente a sistemului tehnologic, acțiunii mediului extern, precum și a altor factori [114].

Imprecizia amplasării suprafeței frontale de bază a roții dințate $F_{s.f.b.}$ se descrie prin a doua armonică a componentei polinomului trigonometric [114]. La valoarea dată a erorii, în afară de componentele dependenței (2.9), are influență și bătaia frontală a mesei mașinii-unelte:

$$F_{s.f.b.\max} = T_{b.f.p.} + T_{b.f.\text{disp.}} + T_{t.b.f.m-u.}, \quad (2.12)$$

unde: $T_{t.b.f.m-u.}$ – toleranța bătaii frontale a suprafeței mesei mașinii-unelte.

Influența negativă sau pozitivă a condițiilor de amplasare a roții dințate, care apar din cauza erorii suprafeței de așezare a acesteia, conduce la apariția erorii de formă a coroanei dințate în formă de ovalitate [114].

Valoarea maximă a erorii forme roții dințate de la imprecizia amplasării suprafeței frontale, în planul de măsurare a bătaii radiale, analogică cu dependența (2.10), poate fi calculată prin relația:

$$\Delta_{r1\max} = \frac{(b - b_1) \cdot (T_{b.f.p.} + T_{b.f.\text{disp.}} + \frac{d \cdot T_{t.b.f.m-u.}}{D})}{d}, \quad (2.13)$$

unde: b_1 – distanța de la suprafața frontală a roții dințate până la planul de măsurare F_{rr} ;

D – diametrul bazei de așezare a dispozitivului.

Alte componente structurale ale erorii de formă a coroanei dințate sunt o sumă a armonicilor de ordinul al 3-lea și ulterioare ale polinomului trigonometric. O influență deosebită asupra valorii erorii radiale a forme coroanei dințate, conform datelor obținute în lucrările [93, 114], are eroarea care provoacă modificarea în procesul de prelucrare a componentei radiale a forței de așchiere ΔP_y cu frecvența deplasării dinților roții dințate, formând perioada $\frac{2 \cdot \pi}{z}$. În acest caz, valoarea erorii cercetate se determină cu abaterea maximă a distanței dintre sculă și piesă, care depinde de rigiditatea sistemului tehnologic:

$$\Delta_{r_2} = \delta_{c.e.s.} + \delta_{c.e.p.} = \frac{\Delta P_{y \max}}{J_{s.t.}}, \quad (2.14)$$

unde: $\delta_{c.e.s.}$, $\delta_{c.e.p.}$ – cedarea elastică a mecanismelor sculei și, respectiv, a piesei în direcția radială [83];

$J_{s.t.}$ – rigiditatea sistemului tehnologic [163].

În condițiile de fabricație, pentru a determina valoarea erorii date, la verificarea mașinii-unelte, în concordanță cu normele de precizie, conform [113], este prevăzută testarea mașinii-unelte la rigiditate. Această testare permite a stabili deformația axului pe care este așezată freza în planul longitudinal față de masa mașinii sub sarcină. Valoarea erorii date se indică în documentația tehnică normativă (actul de verificare a utilajului la livrare) toleranța la deplasarea axului pe care se instalează freza $T_{p.l.}$ [112].

Celelalte componente structurale ale erorii radiale de formă a coroanei dințate, deoarece au valori reduse [152], vor fi determinate în ansamblul lor:

$$\Delta_{r_{\infty}} = \sum_{i=3}^{\infty} |\Delta_{ri}|. \quad (2.15)$$

Valoarea acestei erori depinde de mai mulți factori tehnologici, și anume: vibrații la prelucrare provocate de tocirea sau eroarea sculei; neuniformitatea proprietăților fizico-mecanice ale metalului semifabricatului; defecte provocate de tratamentul termic; influența mediului exterior (componenta LUR, variații de temperatură, poluarea aerului ș.a.) [200].

Această eroare a roții dințate are o valoare neesențială în urma acțiunii factorilor tehnologici prezentați (conform datelor lucrărilor [148, 163] este de 3% până la 5%); complexitatea determinării experimentale permite excluderea lor din examinarea ulterioară.

Deoarece eroarea formei roții dințate este suma unei mulțimi de armonici [114, 149, 150] și, corespunzător, nu posedă proprietăți evidențiate de faze pentru determinarea valorii-sumă a erorii de formă a roții dințate, la operația de frezare a danturii putem aplica adunarea componentelor ei:

$$\Delta_{r_{\max}} = 2\Delta_{r1} + \Delta_{r1} + \Delta_{r_{\infty}} = 2 \left[\frac{(b-b_1) \cdot \left(\frac{d \cdot T_{b.f.p.}}{D} + T_{t.b.m-u.} + T_{b.f.disp} \right)}{d} \right] + T_{p.l.} + \Delta_{r_{\infty}} \quad (2.16)$$

Caracteristica rigidității utilajului este o valoare destul de stabilă în timp, iar eroarea suprafeței frontale a roții dințate este limitată de toleranțele tehnologice. De aceea, pentru roți dințate, prelucrate pe un utilaj concret, eroarea radială de formă a roții dințate va constitui o abatere sistematică și poate fi măsurată prin metode experimentale [93, 119].

Valoarea bătaii radiale a roții dințate, la frezarea danturii, corespunde valorii sale maxime. Ținând cont de cele expuse până acum, vom obține expresia:

$$F_{rI}^I = 2e_r^I + \Delta_r^I = 2 \left[0,5 \left(T_p + T_{disp} + S_{\min} - \frac{b \cdot (T_{b.f.p.} + T_{b.f.disp})}{d} \right) + \frac{F_r}{4} + T_{n.c.} \right] + 2 \left[\frac{(b-b_1) \left(\frac{d \cdot T_{b.f.p.}}{D} + T_{t.b.m-u.} + T_{b.f.disp.} \right)}{d} \right] + T_{p.l} + \Delta_{r\infty} \quad (2.17)$$

unde: I – indexul atribuit pentru operația tehnologică de frezare a danturii.

Paralel cu erorile radiale ale roții dințate, la operația de frezare a danturii se formează și cele tangențiale, în particular – variația liniei de angrenare.

Cauza apariției excentricității cinematice o reprezintă erorile provocate de „plutirea mesei” în planul transversal și excentricitatea geometrică a roții de divizare a mesei mașinii-unelte (figura 2.5):

$$\bar{e}_w = \bar{e}_{r.d.} + \bar{e}_{p.m.p.t.} \quad (2.18)$$

unde: $\bar{e}_{r.d.}$ – vectorul erorii tangențiale provocat de excentricitatea geometrică a roții de divizare a mesei mașinii-unelte;

$\bar{e}_{p.m.p.t.}$ – vectorul erorii periodice de „plutire a mesei” mașinii-unelte în plan transversal.

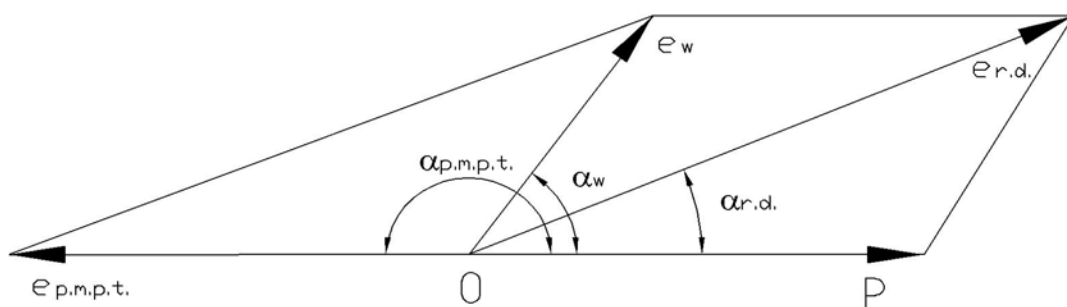


Fig. 2.5.

Din lucrarea [162] reiese că eroarea roții de divizare a mașinii-unelte provoacă o rotire suplimentară a semifabricatului în procesul frezării danturii ca urmare a schimbării vitezei unghiulare de rotire a roții, formând o eroare cinematică care se transmite roții danturate în formă de abateri:

$$e_{r.d.} = e_{r.d.k.} \cdot \frac{r_{c.r.d.}}{r_{r.d.}} = \frac{\Delta\varphi_{r.d.}'' \cdot r_{c.r.d.}}{206} \quad (2.19)$$

unde: $e_{r.d.}$ – bătaia radială a roții de divizare a mașinii-unelte;

$r_{c.r.d.}$ – raza circumferinței de bază a roții danturate;

$r_{r.d.}$ – raza circumferinței de divizare a roții mecanismului lanțului de divizare a mașinii-unelte;

$\Delta\varphi_{r.d.}''$ – eroarea cinematică a roții de divizare a mașinii-unelte în secunde unghiulare.

Eroarea cinematică a perechii melcate finale a mașinii-unelte este normalizată prin toleranța erorii periodice a lanțului cinematic dintre masa mașinii-unelte și axul pe care este instalată freza $T_{c.r.m.}$ [112].

Eroarea periodică de „plutire a mesei” mașinii-unelte în planul transversal, analogic cu eroarea dată în planul longitudinal, se limitează cu toleranța la poziția constantă de rotire a axei mesei $T_{r.m.}$ [112].

Astfel, valoarea maximă a excentricității cinematice poate fi determinată cu ajutorul expresiei:

$$e_{w.\max} = \frac{T_{c.r.m.} \cdot r_{c.r.d.}}{206} \cdot T_{r.m.} \quad (2.20)$$

A doua componentă structurală a oscilației lungimii normalei comune este determinată de un șir de factori tehnologici întâmplători [97]: particularitățile constructive ale utilajului tehnologic; rigiditatea sistemului tehnologic; parametrii sculei de generare a danturii etc.

O influență deosebită asupra valorii erorii tangențiale de formă a roții dințate exercită oscilația în procesul de prelucrare a componentei tangențiale a forței de așchiere ΔP_x [93]:

$$\Delta_w = \frac{\Delta P_{x\max}}{j_c}, \quad (2.21)$$

unde: j_c – rigiditatea de torsiune a mesei mașinii-unelte.

Această valoare se indică în actul de primire a utilajului (pașaportul tehnic al mașinii-unelte), conform [112], toleranța la deplasarea axului pe care stă freza în planul transversal al mesei mașinii-unelte $T_{d.p.t.}$ se verifică experimental la verificarea rigidității mașinii-unelte [93].

La sursele tehnologice, care determină componentele structurale ulterioare ale erorii tangențiale de formă a roții dințate, se adaugă și erorile ciclice ale elementelor intermediare ale lanțului cinematic al mașinii-unelte de danturat și erorile ciclice provocate de un complex de abateri, cum ar fi: imprecizia melcului și a roții, freze-melc cu mai multe începuturi [162].

Se remarcă faptul că utilajul tehnologic permite reducerea semnificativă a erorilor menționate ale sistemului de danturare datorită creșterii raportului de transmitere a perechii melcate finale și a numărului de dinți ai roții de divizare [162]. Scula, de regulă, are nu mai mult de două începuturi. În corespundere cu aceasta, erorile provocate de aceste surse pot fi apreciate în ansamblul lor.

Ca urmare la cele spuse mai sus, relația finală pentru determinarea valorii maxime a erorii tangențiale a formei roții dințate va fi:

$$\Delta_{w\max} = T_{d.p.t.} + \Delta_{w\infty}. \quad (2.22)$$

Ținând cont de dependențele (2.21) și (2.22), formula determinării valorii maxime a componentei cinematice tangențiale a erorii roții dințate, care apare la prelucrare, poate fi prezentată astfel:

$$F_{vwr\max}^I = 2 \cdot e_w^I + \Delta_w^I = 2 \cdot \left(\frac{T_{c.r.m.} \cdot r_{c.r.d.}}{206} + T_{r.m.} \right) + T_{d.p.t.} + \Delta_{w\infty}. \quad (2.23)$$

Conform datelor [97], pentru piesele prelucrate pe o singură mașină-unealtă, variația lungimii normalei comune va fi o valoare constantă și, corespunzător, poate servi ca un indice al preciziei cinematice a utilajului de danturare.

La momentul de față, în practica danturării au o utilizare largă dispozitivele cu dornuri extensibile. La

utilizarea unui astfel de echipament, gaura centrală a roții dințate va constitui o bază dublă de ghidare [138], ceea ce permite excluderea influenței bătaii frontale și a jocului în ansamblul roții dințate și dorn de la precizia prelucrării la operația de danturare.

Totuși, și aceste dispozitive au în baza lor un contact nemijlocit între elementele dispozitivului și gaura roții dințate, ce provoacă formarea excentricității geometrice a axei roții, din cauza erorii formei suprafeței de bazare. În afară de aceasta, echipamentul cu elementele de centrare extensibile posedă și erori proprii de centrare, care pentru diferite tipuri de dispozitive poate varia de la 5 până la 100 μm [138].

Influența erorii de formă a găurii roții dințate asupra preciziei centrării fără joc a semifabricatului este analogică cu influența jocului la bazarea lor pe un dorn rigid [97]:

$$e_{f \max} = 0,5 \cdot \Delta_f = 0,5 \cdot T_{c.g.r.}, \quad (2.24)$$

unde: $e_{f \max}$ – valoarea maximă a excentricității roții dințate de la imprecizia găurii;

Δ_f – eroarea formei găurii de așezare a roții dințate;

$T_{c.g.r.}$ – toleranța circularității găurii roții dințate [108].

Expresia (2.17) pentru dispozitivele cu elemente de centrare extensibile are forma:

$$F_{rr \max}^I = 2 \cdot \left(e_{c.d.ex.} + \frac{T_{c.g.r.}}{2} + T_{r.m.} + \frac{F_r}{4} \right) + 2 \cdot \left(\frac{B \cdot T_{t.b.f.m-u.}}{D} \right) T_{d.p.t.} + \Delta_{rzo}, \quad (2.25)$$

unde: $e_{c.d.ex.}$ – eroarea proprie de centrare a roții dințate în dispozitivul cu dorn extensibil (tabelul 2.1) [97];

B – valoarea consolei piesei.

Tabelul 2.1 Caracteristica preciziei de așezare a semifabricatului

| Metoda de așezare | Relația de calcul | Valoarea coeficienților |
|-----------------------|--|--|
| Pe dorn extensibil | $e_{c.d.ex.} = a_1 \sqrt{T_0} \cdot (1 + 0,01 \cdot B)$ | $a_1 = 0,12; a_2 = 0,09 \quad a_3 = 0,06$ |
| Pe dorn cu hidroplast | $e_{c.d.ex.} = 0,04 \sqrt{T_0} \cdot (1 + 0,01 \cdot B)$ | |
| Între vârfuri | $e_{c.d.ex.} = a_i \sqrt{T_0} + b_i \cdot L$ | $a_1 = 0,06; \quad b_1 = 0,00005;$ $a_2 = 0,0018; \quad b_2 = 0,000015;$ $a_3 = 0,0009; \quad b_2 = 0,000007;$ |

Notă. $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$, – coeficienți empirici, în ordinea creșterii preciziei de așezare; L lungimea totală a piesei.

Astfel, cercetările efectuate permit depistarea cauzelor formării componentelor erorii cinematice a roților dințate la operația tehnologică de frezare a danturii. Utilizând dependențele obținute după caracteristica de precizie a mașinii-unelte, echipament, bazele tehnologice ale semifabricatului, putem determina foarte precis valorile cele mai extreme ale erorilor roții dințate.

2.3. Analiza mecanismului formării componentei erorii cinematice a roților dințate la operația tehnologică de șeveruire

La prelucrarea semifabricatelor, la operația tehnologică de șeveruire, când folosim ca element de așezare un dorn extensibil, roata dințată va avea două excentricități geometrice: una obținută în urma operației de danturare și una formată la bazare, înainte de șeveruire [97].

Deoarece ca bază principală la șeveruire servește gaura semifabricatului, excentricitatea geometrică inițială nu poate influența simțitor asupra preciziei de centrare a roții dințate, la operația dată. În valoarea bătaii radiale a roții dințate se include doar o parte a excentricității geometrice inițiale, și anume, cea rămasă neînălăturată din cauza rigidității insuficiente a sistemului tehnologic. Ca urmare a trecerii multiple la operația de șeveruire și având un caracter rapid de prelucrare a dinților cu muchii așchietoare ale sculei, ponderea influenței ei în eroarea cinematică totală o putem considera foarte mică [97, 108].

Această concluzie este corectă și pentru eroarea de formă a roții dințate. Fiind erori locale ale dinților, acestea se înlătură doar parțial în componența erorii ciclice ș. a.

Legătura dintre eroarea danturii roții frezate și a celei șeveruite poate fi apreciată cu ajutorul indicilor eredității tehnologice [97, 108]:

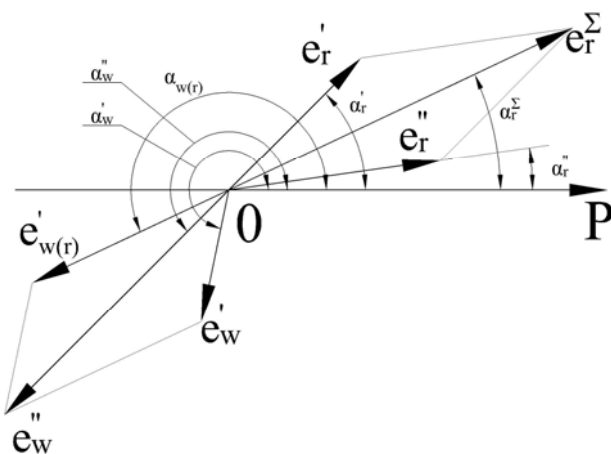
$$k = \frac{F_{0(i)}}{F_{(i-1)}}, \tag{2.26}$$

unde: $F_{0(i)}$, $F_{(i-1)}$ – valorile erorii inițiale și, respectiv, ale celei remanente ale roții dințate la operația tehnologică i și, respectiv, $i-1$.

Valoarea înlăturării erorilor inițiale depinde de rigiditatea sistemului tehnologic și este corespunzătoare unei valori constante. Pentru un sistem tehnologic concret de danturare, valoarea coeficienților eredității tehnologice poate fi determinată pe cale experimentală, operând cu nivelul rigidității elementelor acestuia. A doua componentă a excentricității geometrice, care apare ca urmare a influenței erorii de așezare la operația de șeveruire, se determină prin factorii analogici ai sistemului, determinați la cercetarea operației tehnologice de danturare.

Pentru echipamentul cu elemente de centrare rigide se poate scrie:

$$e_{r \max} = e_c + e_{c.e.} = 0,5 \cdot \left[(T_p + T_{disp.f.}) + S_{\min} \frac{b \cdot (T_{t.d.} + T_{t.pr.f.})}{d} \right] + T_{b.r.d.}; \tag{2.27}$$



pentru echipamentul cu elemente de centrare extensibile relația va fi:

$$e_{r \max} = e_c + e_{c.e.} + e_{c.d.ex.} = e_{c.d.ex.} + 0,5 \cdot T_{c.g.r.} + T_{b.r.d.}, \tag{2.28}$$

unde: $e_{c.e.}$ – excentricitatea provocată de bătaia radială a elementelor de centrare a dornului;

$T_{disp.f.}$ – toleranța la diametrul de centrare a dornului [111];

$T_{t.pr.f.}$ – toleranța la bătaia frontală a elementului de așezare a

Fig. 2.6.

dornului [108];

$T_{b.r.d.}$ – toleranța la bătaia radială a dornului strâns între vârfuri [113].

În formulele date, în loc de excentricitatea așezării dispozitivului și eroarea periodică a „plutirii mesei” mașinii-unelte, se ia în considerație excentricitatea provocată de bătaia elementului de centrare a dornului caracteristică prelucrării dintre vârfuri.

Astfel, dependența determinării valorii maxime a bătaii radiale a roții dințate, la operația de șeveruire, de factorii tehnologici posibili la așezare pe un dorn rigid și extensibil poate fi determinată în modul următor:

– pentru echipamentul cu elemente de centrare rigide:

$$F_{r_{max}}'' = 2 \cdot \left\{ \left[0,5 \cdot (T_p + T_{disp.f.}) + S_{min} - \frac{b \cdot (T_{t.d} + T_{t.pr.f.})}{d} + T_{b.r.d.} \right] \cdot (1 - k_r'') + e_r' \cdot k_r'' \right\} + \Delta_r' \cdot k_{\Delta}'' \quad (2.29)$$

– pentru echipamentul cu elemente de centrare extensibile:

$$F_{r_{max}}'' = 2 \cdot \left[(e_{c.d.ex.} + 0,5 \cdot T_{c.g.r.} + T_{b.r.d.}) \cdot (1 - k_r'') + e_r' \cdot k_r'' \right] + \Delta_r' \cdot k_{\Delta}'' \quad (2.30)$$

unde: k_r'' , k_{Δ}'' – coeficienții eredității tehnologice a operației de șeveruire. Elementul $(1 - k_r'')$ determină valoarea excentricității geometrice remanente a roții dințate, formate ca urmare a influenței erorii de așezare a roții dințate la operația de șeveruire.

Pentru determinarea valorii excentricității cinematice a roții dințate, autorul lucrării [163] a demonstrat dependența teoretică dintre eroarea radială și cea tangențială la prelucrare prin metoda rulării libere [114];

$$e_w = 2 \cdot e_r \cdot \sin \alpha \quad (2.31)$$

unde α este unghiul profilului roții dințate.

Însă expresia (2.31) nu exprimă, în măsura cuvenită, mecanismul formării erorii care există la operația tehnologică de șeveruire.

Componentele excentricității geometrice sunt valori întâmplătoare, ca urmare a caracterului vectorial și din cauza lipsei legăturilor operaționale și a factorilor care le provoacă, determină caracterul întâmplător al excentricității geometrice sumare, care este cauza modificării erorilor tangențiale ale roții dințate la șeveruire. Ca urmare, expresia (2.31), ținând cont de caracterul vectorial al excentricității geometrice la prima operație, adunat cu cel format la operația de șeveruire sau parțial eliminat, poate avea forma următoare:

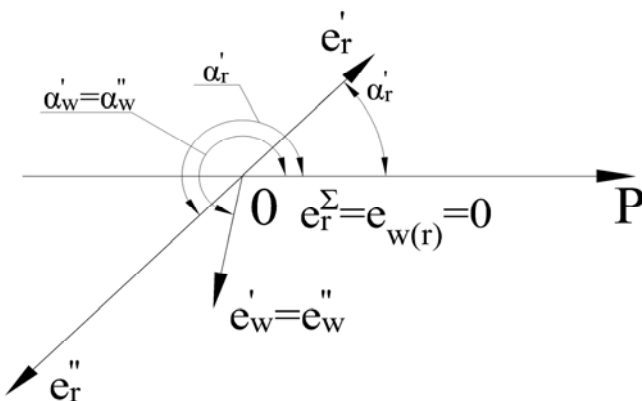


Fig. 2.7.

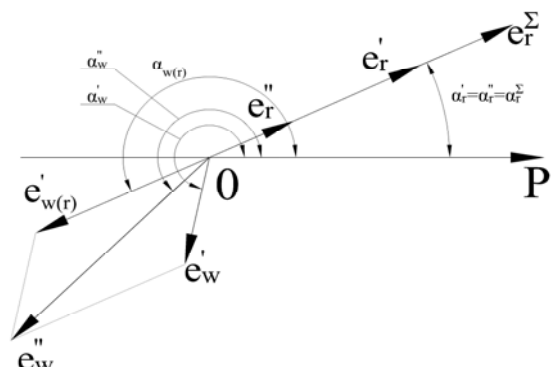


Fig. 2.8.

Specificul metodei rulării libere rezidă în posibilitatea micșorării erorilor tangențiale acumulate ale roții dințate [114, 163]. De aceea, valoarea inițială a excentricității cinematice se va păstra integral după realizarea operației tehnologice de șeveruire. Această eroare este o valoare vectorială, care se va aduna la eroarea formată la operația cercetată (figura 2.6), și, în corespondere cu relația (2.32), poate fi prezentată în formă finală (2.33):

$$\bar{e}_w = 2 \cdot (\bar{e}_r^I + \bar{e}_r^{II}) \cdot (1 - k_r^{II}) \cdot \sin \alpha, \quad (2.32)$$

$$\bar{e}_w^{II} = \bar{e}_w^I + 2 \cdot (\bar{e}_r^I + \bar{e}_r^{II}) \cdot (1 - k_r^{II}) \cdot \sin \alpha. \quad (2.33)$$

Valoarea totală a componenteii erorii cinematice tangențiale a roților dințate (variația lungimii normalei comune) include și eroarea de formă în direcția tangențială a roții:

$$F_{vwr}^{II} = 2 \cdot [\bar{e}_r^I + 2 \cdot (\bar{e}_r^I + \bar{e}_r^{II}) \cdot \sin \alpha (1 - k_r^{II})] + \Delta_w^I \cdot k_{\Delta}^{II}. \quad (2.34)$$

Valoarea minimă a variației lungimii normalei comune are loc în cazul în care se compensează reciproc excentricitățile geometrice (inițială și cea formată la operația tehnologică de șeveruire) aflate în fază opusă (figura 2.7):

$$F_{vwr \min} = 2 \cdot e_w^I + \Delta_w^I \cdot k_{\Delta}^{II}. \quad (2.35)$$

Valoarea maximă a variației lungimii normalei comune se determină prin adunarea aritmetică a componentelor, când unghiurile inițiale de fază sunt egale între ele (figura 2.8):

$$F_{vwr}^{II} = 2 \cdot [e_w^I + 2 \cdot (e_r^I + e_r^{II}) \cdot \sin \alpha (1 - k_r^{II})] + \Delta_w^I \cdot k_{\Delta}^{II}. \quad (2.36)$$

Astfel, erorile roților dințate, conform normelor preciziei cinematice la operația de prelucrare prin șeveruire, se formează ca rezultat al unui mecanism vectorial complicat de interacțiune a componentelor erorii inițiale și a celor formate în această operație.

Următoarea etapă de prelucrare este durificarea termochimică realizată cu scopul de a obține roți dințate cu indici de exploatare sporțiți.

2.4. Analiza mecanismului formării componentelor erorii cinematice a roților dințate la operația tehnologică de durificare termochimică

În urma tratamentului termochimic (TTC), roților dințate li se asigură creșteri ale fiabilității de exploatare a transmisiilor dințate înalt solicitate sau de viteză [96]. Sporirea fiabilității se realizează prin corelarea stratului superficial durificat al suprafețelor active ale dinților cu miezul moale al acestora [148, 150]. Urmărind creșterea fiabilității dinților roților prin TTC, acest lucru se poate răsfrânge negativ asupra nivelului fiabilității tehnologice a roților dințate, micșorând precizia prelucrării pieselor [96].

Tratamentul termic este cauza dereglării complexe a formei geometrice și a preciziei dimensionale a roților dințate, obținute la operațiile mecanice precedente. Ca urmare a transformării structurale și de fază a materialului

piesei și a deformațiilor termice ale acestuia, au loc modificări dimensionale, de formă și poziționare reciprocă. Valoarea și caracterul deformațiilor termice sunt determinate de construcția piesei, tehnologia mecanică precedentă, tratamentul termic, caracteristica materialului semifabricatului, precum și de o serie de alți factori [149, 150].

Analiza datelor din literatura de specialitate [96, 114, 148, 150] permite a evidenția legăturile modificării componentelor erorii cinematice radiale și tangențiale conform TTC. Modificarea formei roții dințate și a găurii de bază, care este baza constructivă și tehnologică, este cauza formării excentricității geometrice. Totodată, deformarea roții dințate provoacă formarea erorilor suplimentare de formă.

Asupra valorii erorii componente cinematice radiale a roții dințate are o influență negativă considerabilă neuniformitatea modificărilor de formă ale elementelor constructive separate, care apar ca urmare a formării tensiunilor de suprafață în stratul exterior al roții [114, 137]. Existența unei forme mai complexe a roții dințate față de forma găurii centrale a roții determină valoarea mai mare a deformării [32].

Modificarea poziției relative a dinților roții dințate conform durificării lor este cauza majorării variației lungimii normalei comune a roților, a căror secțiune, în conformitate cu TTC, are formă apropiată de elipsă [150]. Acest fapt poate fi justificat prin aceea că majoritatea componentelor erorii date sunt determinate doar de poziția relativă a dinților și nu are nicio legătură cu alte elemente constructive ale roții. În concordanță cu acest fapt, orice modificare a dimensiunilor radiale ale roții la tratamentul termic provoacă modificarea erorilor tangențiale ale formei acesteia [147].

Rezultatele cercetărilor formării componentelor erorilor cinematice ale roților dințate tratate termic și șveruite sunt expuse mai profund în lucrările [108]. Conținutul acestor lucrări este axat pe determinarea raportului valorii erorilor radiale și tangențiale ale roților dințate, care au loc conform TTC. În lucrările menționate a fost cercetat și un caz concret de formare a erorilor, în care nu se ia în considerație influența însumată a bătăii radiale a găurii centrale deformate și a coroanei roții dințate. Totodată, autorii lucrării [114] au cercetat doar o porțiune a roții dințate, însă, conform, este insuficient pentru a da o apreciere calitativă a erorilor cercetate.

Astfel, apare necesitatea de a efectua cercetări teoretice suplimentare ale mecanismului formării componentelor erorilor cinematice radiale și tangențiale ale roților dințate tratate termic și șveruite, ținând cont de datele existente în literatura de specialitate [96, 114].

În figura 2.9, convențional, sunt prezentate proiecțiile roții dințate precise, precum și deformate în urma TTC. Centrul sistemului de coordonate coincide cu centrele geometrice ale proiecțiilor roților dințate [114]. Modificarea formei circumferinței coroanei provoacă, la rândul ei, modificări ale distanțelor radiale și tangențiale dintre dinți.

Determinarea sectoarelor caracteristice de amplasare a valorilor extreme ale erorilor roții dințate poate fi realizată prin aflarea valorilor corespunzătoare ale unghiului de fază pe perimetrul elipsei, prin calculul primei derivate de la dependența [114]:

$$|\bar{\rho}_h| = \frac{P}{1 + f \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \psi_h\right)}, \quad (2.37)$$

unde $|\bar{\rho}_h|$ – valoarea curentă a razei vectorului de amplasare a punctului h;

h – consecutivitatea punctelor care compun conturul elipsei;

P – parametrul focal;

f – excentricitatea elipsei;

ψ – valoarea curentă a unghiului de fază central de amplasare a punctului h .

Rezultatele acestor transformări sunt valorile de fază (pas) consecutive ale unghiului sectoarelor pe perimetrul elipsei [199]:

$$\psi_{ex.q.} = \frac{\pi}{2}, \quad (2.38)$$

unde: q – numărul de ordine al sectorului examinat.

Numărul posibil al sectoarelor caracteristice, care pot lua valori extreme ale erorilor în urma deformării roții dințate în formă de elipsă, dacă ne bazăm pe analiza dependenței (2.38), nu depășește patru ($q_{\Sigma} = 4$). Sectoarele respective sunt amplasate în punctele de intersecție ale arcurilor elipsei cu axele lui: punctele I – IV, peste 90° (figura 2.9).

Condiția de admitere a corectitudinii formei elipsoidale a roții dințate tratate termic [97], la valori concrete ale erorilor F_{rr}^{III} și F_{vvr}^{III} , permite a examina câte două sectoare caracteristice, amplasate unul față de altul peste un unghi $\psi_{ex.} = 90^{\circ}$, în punctele de intersecție ale semiaxelor mică și mare ale arcului elipsei.

Ținând cont de formula (2.38), valorile minimă și maximă ale deformațiilor roții dințate, formate în urma TTC, și calculate în funcție de dependențele [97], pot fi prezentate sub forma:

$$\rho_{\min} = b = \frac{1}{2} \cdot d - \Delta_{rI}; \quad (2.39)$$

$$\rho_{\max} = a = \frac{1}{2} \cdot d - \Delta_{rII}, \quad (2.40)$$

unde: b, a – semiaxele mare și mică ale elipsei;

d – diametrul de divizare al circumferinței roții dințate nedeformate;

Δ_{r1}, Δ_{r2} – valoarea deformațiilor circumferințelor roților dințate ce permite determinarea valorii erorii radiale prin relația:

$$\Delta_r^{III} = \rho_{\max} - \rho_{\min} = \Delta_{r1} + \Delta_{r2}. \quad (2.41)$$

Deformarea roții dințate din formă cilindrică în formă de elipsă este cauza modificării distanței dintre dinți, cuprinse într-o lungime a normalei comune.

Valoarea datelor măsurării poate fi exprimată prin abscisele și ordonatele punctelor A_1 și A_2 , care sunt amplasate pe părțile laterale ale dinților (figura 2.9):

$$W_{\max} = 2 \cdot x_1; \quad (2.42)$$

$$W_{\min} = 2 \cdot y_2. \quad (2.43)$$

Abscisele și ordonatele ce corespund valorilor maxime și minime ale componenteii tangențiale modificate a erorii roții dințate pot fi determinate cu ajutorul dependențelor obținute prin transformarea egalității canonice a

elipsei:

$$x_1 = \sqrt{\frac{a^2(b^2 - y_1^2)}{b^2}}; \quad (2.44)$$

$$y_2 = \sqrt{\frac{b^2(a^2 - x_2^2)}{a^2}}. \quad (2.45)$$

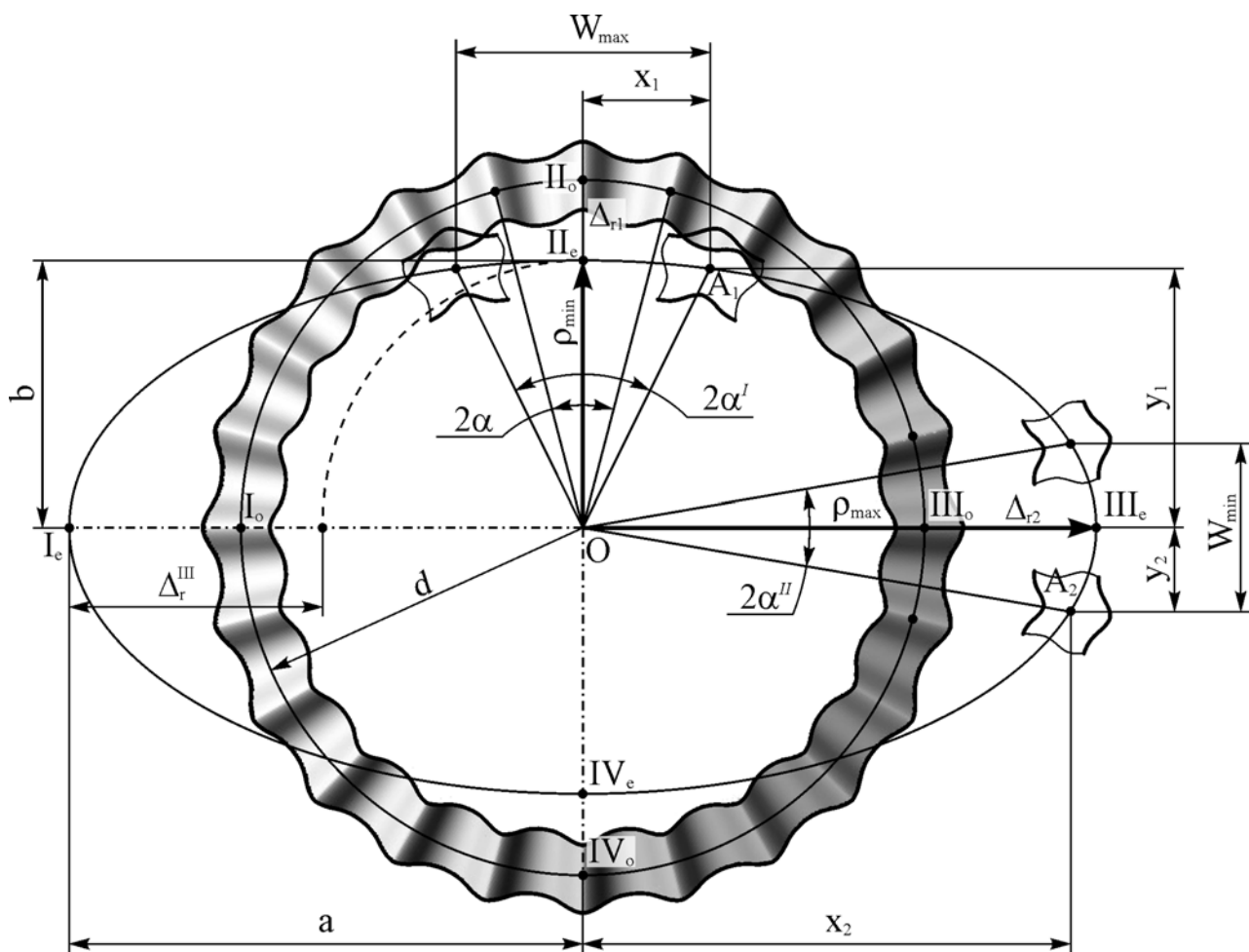


Fig. 2.9.

Valoarea componentei dependențelor date poate fi determinată cu ajutorul formulelor:

$$b = \frac{d}{2} - \Delta_{r1}; \quad (2.46)$$

$$a = \frac{d}{2} - \Delta_{r2}. \quad (2.47)$$

Ținând cont de unele valori ale deformațiilor nu prea mari [228], ordonatele și abscisele punctelor A_1 și A_2 corespunzătoare vor fi egale:

$$y_1 = \left(\frac{d}{2} - \Delta_{r1} \right) \cdot \cos \alpha; \quad (2.48)$$

$$x_2 = \left(\frac{d}{2} - \Delta_{r2} \right) \cdot \cos \alpha. \quad (2.49)$$

Transformările dependențelor (2.44) și (2.45), ținând cont de (2.46) și (2.47), permit să se obțină expresia distanței modificate dintre dinții roții pe sectoarele examinate:

$$W_{\max} = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{d}{2} + \Delta_{r2} \right); \quad (2.50)$$

$$W_{\min} = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{d}{2} - \Delta_{r1} \right), \quad (2.51)$$

care determină valoarea variației lungimii normalei comune care apare la TTC:

$$F_{vwr} W_{\max} - W_{\min} = 2 \cdot \sin \alpha \cdot (\Delta_{r1} + \Delta_{r2}) = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \Delta_r^{III} \quad (2.52)$$

Interacțiunea comună a deformării formei roții dințate și a găurii centrale a semifabricatului prelucrat determină apariția excentricității geometrice e_A [148, 150], provoacă modificarea suplimentară a valorii bății radiale a roții dințate, tratate termic, dependența determinării valorii maxime, a cărei expresie poate fi reprezentată prin următoarea formă:

$$F_{rr\max} = 2 \cdot e_A + \Delta_r^{III}. \quad (2.53)$$

Interacțiunea reciprocă a componentelor cinematice radiale și tangențiale ale erorii roților dințate, formate la operația TTC, cu erorile corespunzătoare ale operațiilor tehnologice precedente determină valorile sumate ale erorilor cercetate. Valorile maxime pot fi determinate cu ajutorul dependențelor:

$$F_{rr\max}^{III} = 2 \cdot (e_r^{II} + e_A) + (\Delta_r^{II} + \Delta_r^{III}); \quad (2.54)$$

$$F_{rwr\max}^{III} = 2 \cdot e_r^{II} + (2 \cdot \Delta_r^{III} \cdot \sin \alpha + \Delta_w^{II}). \quad (2.55)$$

Dependențele obținute (2.54) și (2.55) corelează cu datele teoretice din exemplul [114] și exprimă totalmente caracterul modificării componentelor erorilor cinematice radiale și tangențiale ale roților dințate, apărute în urma TTC [142].

Operația tehnologică de rectificarea găurii centrale, care este baza constructivă și tehnologică, conform

schemei tipice de execuție a roților dințate, este următoarea etapă de prelucrare.

2.5. Analiza mecanismului formării componente radiale a erorii cinemactice a roților dințate la operația tehnologică de rectificarea interioară

Scopul realizării operației tehnologice de rectificarea a găurii centrale constă în micșorarea componente erorii cinemactice radiale, acumulate la operațiile mecanice și TTC precedente ale roților dințate [148, 162].

Valoarea minimă a bătaii radiale se asigură prin contopirea axelor conturului de divizare (circumferinței medii de determinare a erorii radiale) și circumferinței de rotire a axului mașinii-unelte. Apariția erorii de bazare, formate ca urmare a specificului metodei de bazare în mandrină [138], denotă faptul că unirea totală a acestor axe este imposibilă.

Eroarea bazării semifabricatului prelucrat [114]:

$$e_b = \frac{2 \cdot \Delta_r}{U}, \quad (2.56)$$

unde: U – numărul elementelor de centrare (bile, role, sectoare ale dispozitivului de rectificarea).

Simultan cu bătaia radială a axului principal al mașinii-unelte e_c [161] și valoarea excentricității elementelor de centrare e_{disp} , se determină eroarea de centrare a roții dințate la operația tehnologică de rectificarea interioară (figura 2.10):

$$\bar{e}_t = \bar{e}_b + \bar{e}_{disp} + \bar{e}_c. \quad (2.57)$$

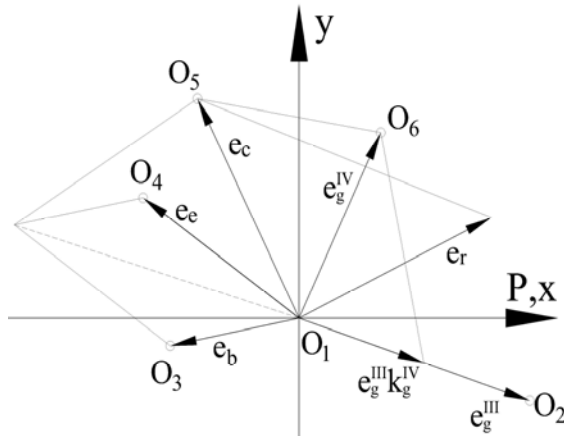


Fig. 2.10.

O_1 – centrul circumferinței medii (axa de rotire la prelucrare);

O_2 – centrul găurii centrale până la operația de rectificarea interioară;

O_3 – centrul real al profilului roții;

O_4 – centrul bacurilor dispozitivului;

O_5 – axa roții dințate de la eroarea de fixare;

O_6 – axa roții dințate după prelucrarea găurii.

Interacțiunea erorii complexe, determinată de excentricitatea geometrică rămasă, calculate cu ajutorul

coeficientului eredității tehnologice (formula 2.26) în condițiile de prelucrare (insuficiența rigidității sistemului tehnologic, variația forței de așchiere, a temperaturii) determină valoarea excentricității geometrice a roții dințate formate după rectificarea găurii centrale (figura 2.10).

Valoarea maximă a excentricității geometrice, operând cu toleranțele componentelor erorii, va avea forma:

$$e_{r_{\max}} = T_{disp} + T_{t.r.} + \frac{2\Delta_r^{III}}{U} + k_r^{IV} \cdot e_r^{III}, \quad (2.58)$$

unde: T_{disp} – toleranța bătaii fălcilor dispozitivului [108];

$T_{t.r.}$ – toleranța radială a bătaii axului principal al mașinii-unelte [138];

k_r^{IV} – coeficientul eredității tehnologice la operația tehnologică de rectificare interioară.

Lipsa în dependența (2.58) a componente care provoacă o eroare a amplasării suprafeței frontale a roții dințate, și anume, caracteristice prelucrării roților (punctul 2.2) poate fi explicată prin faptul că aceasta are o influență minoră asupra erorii de execuție a roții la operația de rectificare interioară [114].

La rectificarea găurii centrale a roții dințate, piesa, fiind supusă prelucrării mecanice, își păstrează eroarea de formă, obținută la operațiile precedente care, în ansamblu cu valoarea excentricității geometrice, determină bătaia radială a roții dințate după rectificarea găurii:

$$F_{rr_{\max}}^{IV} = 2 \cdot \left(T_{disp} + T_{t.r.} + \frac{2 \cdot \Delta_r^{III}}{U} + k_r^{IV} \cdot e_r^{III} \right) + \Delta_r^{III}. \quad (2.59)$$

Componenta tangențială a erorii cinematice a roților dințate, care la această operație nu suportă modificări esențiale, nu a fost supusă analizei.

Operația finală tehnologică de prelucrare mecanică a roții dințate este honuirea danturii.

2.6. Analiza mecanismului formării componentelor erorii cinematice

a roților dințate la operația tehnologică de honuire a danturii

Honuirea danturii este o operație înalt productivă de netezire a dinților roților tratate termic sau chimico-termic [90, 103, 119, 123, 124, 137, 150, 157].

La honuirea danturii se înlătură defectele mici, muchiile ascuțite, arsurile și alte defecte ale stratului superficial. Deoarece se înlătură un strat de metal foarte mic (de la 10 până la 20 μm la lungimea normalei comune), operația de honuire nu are o influență considerabilă asupra valorii componentelor erorii cinematice a roților dințate, ea este cauza eredității erorilor inițiale totale tehnologice [114].

Etapa finală a analizei mecanismelor formării erorilor roții dințate, care apar în urma cercetării procesului tehnologic de danturare, este determinarea unor indici ai preciziei cinematice de prelucrare, a legităților de bază și a acțiunii lor la trecerea de la o operație la alta.

2.7. Analiza legităților formării erorilor roților dințate conform normelor preciziei cinematice la operațiile de prelucrare mecanică

Prezentarea complexă a erorilor roților dințate conform normelor preciziei cinematice permite determinarea indicilor care apar la operațiile tehnologice separate. Această procedură permite simplificarea determinării

fiabilității sistemului tehnologic de danturare, în funcție de parametrii calității de execuție, și stabilirea căilor optime de obținere a acestora.

Legitățile formării componentelor erorii cinematice a roților dințate pot fi prezentate în formă de structură schematică desfășurată (figura 2.11), care reflectă mecanismul lor de apariție, al redistribuirii și al eredității tehnologice.

Procesul tehnologic de danturare, în concordanță cu cele menționate mai sus (punctele 2.2–2.6), convențional, poate fi divizat în mai multe etape caracteristice, care au o direcție stabilă și bine determinată. În prima etapă sunt executate suprafețele de bazare, cu scopul obținerii preciziei necesare a găurii centrale și a suprafeței frontale a semifabricatului prelucrat [150, 162, 163 ș.a.].

Astfel, analiza efectuată a mecanismului formării erorilor permite stabilirea indicilor principali, conform normelor preciziei cinematice la operațiile etapei a doua a procesului de danturare: bătaia radială la operația de frezare a danturii și variația lungimii normalei comune la operațiile de șeveruire sau de rectificare de degroșare.

Din analiza mecanismului apariției variației lungimii comune ale normalei roților dințate (vezi punctele 2.2, și 2.3) reiese, că componentele structurale ale ei se formează în baza unor mecanisme complexe de interacțiune ale surselor tehnologice.

Cele care determină componenta cinematică a excentricității roților dințate la etapa a doua de prelucrare sunt eroarea inițială cinematică tangențială e_w^I și eroarea, provocată de redistribuirea excentricităților geometrice ale roților dințate danturate e_r^I și formate în urma realizării operațiilor tehnologice de șeveruire sau de rectificare de degroșare e_r^{II} .

Eroarea tangențială de formă a roții dințate Δ_w^{II} , apărute ca urmare a influenței mecanismului eredității tehnologice a erorii inițiale e_w^I , constituie până la 20% de la valoarea variației lungimii normalei comune a roții, fapt care permite a neglija această valoare a componentei la calculele orientative ale fiabilității operațiilor din etapa a doua a procesului tehnologic [18].

Componentele complexe ale bătaii radiale ale roții dințate (excentricitatea geometrică și eroarea radială de formă) au proprietatea de a se micșora în urma operațiilor tehnologice șeveruire sau rectificare de degroșare [14], ce permite a exclude din cercetare componenta radială a erorii cinematice la aprecierea fiabilității operațiilor tehnologice sus amintite.

Astfel, analiza efectuată a mecanismului formării erorilor permite a stabili indicii principali după normele preciziei cinematice la operațiile etapei a doua a procesului de danturare: bătaia radială la operația de frezare a danturii și variația lungimii normalei comune la operațiile de șeveruire sau rectificare de degroșare.

Tratamentul termochimic constituie etapa a treia a procesului tehnologic de danturare.

Influența negativă a TCT se exprimă prin deformarea roții dințate, provoacă majorarea considerabilă a erorilor radiale și tangențiale de formă a acesteia, este cauza formării excentricității geometrice e_r^{III} între coroana dințată și gaura centrală a roții [103, 159, 162]. Totodată, ca urmare a modificării poziției relative a coroanei dințate, se observă creșterea excentricității cinematice e_w^{III} , în comparație cu valoarea obținută la operațiile care preced

prelucrarea [25, 32].

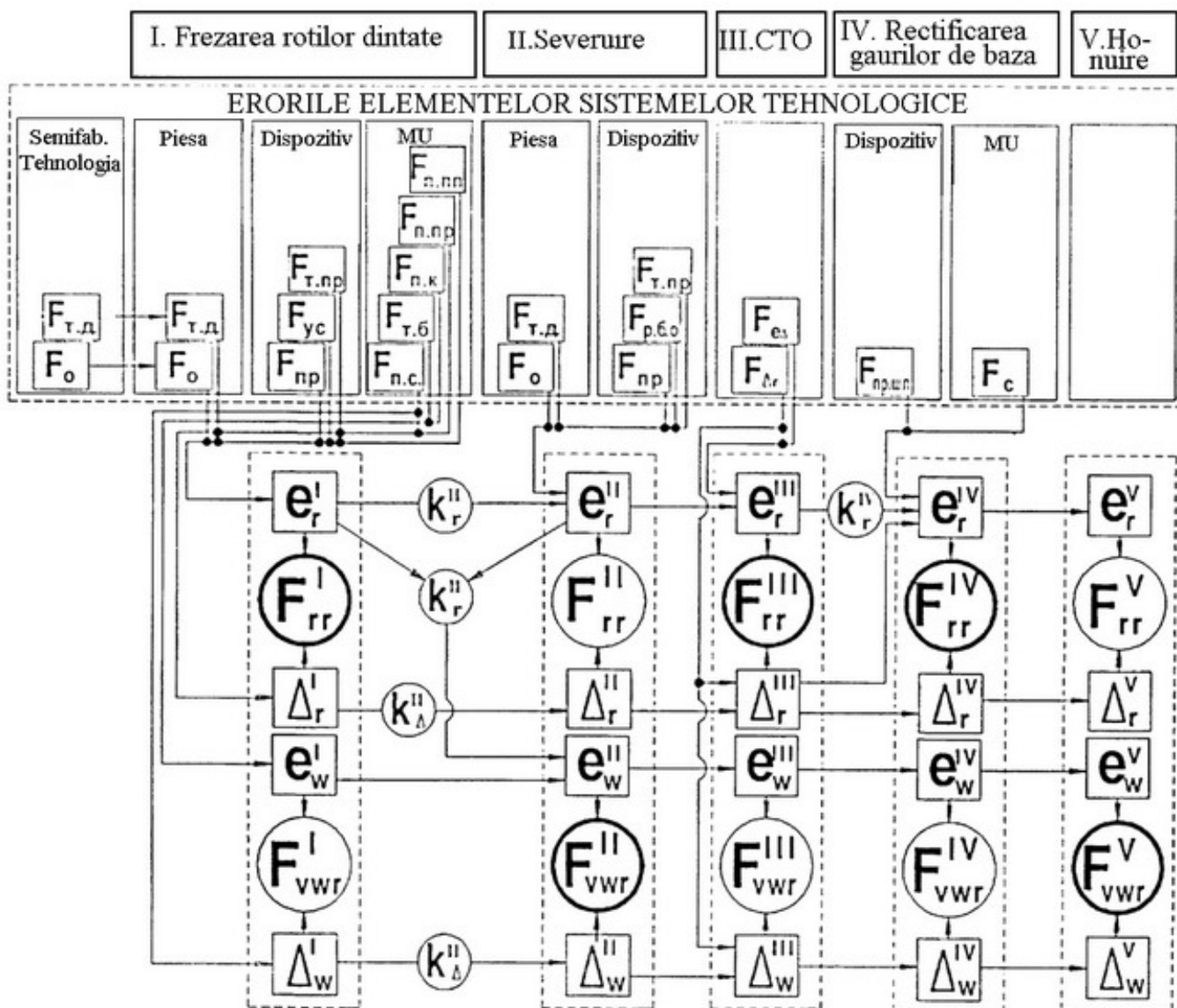


Fig. 2.11

Etapa finală a procesului tehnologic de prelucrare a roților dințate include în sine operațiile tehnologice de rectificare interioară a găurii, a suprafeței frontale (bazei tehnologice și constructive) și finisarea danturii (rectificarea de finisare sau honuirea danturii). Scopul principal al acestei etape este obținerea preciziei necesare a roții dințate.

Micșorarea considerabilă a ponderii primei componente structurale e_r^{IV} în eroarea radială totală a roții dințate, stabilită la prelucrarea găurii centrale la valori stabile ale variației lungimii normalei comune [114], determină bătaia radială a roții dințate ca indice principal al preciziei cinematice la operația de rectificare a găurii centrale și a suprafeței frontale.

Prelucrarea roții dințate, realizată la operațiile de rectificare de finisare sau honuire, nu are influență considerabilă asupra modificării erorilor roții dințate, deoarece se îndepărtează un adaos de metal foarte mic. În plus,

așa cum se specifică în [96], valorile componentelor radiale și tangențiale, de regulă, se micșorează. Acest fapt stabilește în calitate de indice al preciziei variația lungimii normalei comune.

2.8. Sporirea preciziei de danturare prin alegerea corectă a roților lirei de divizare

În momentul de față mașinile-unelte moderne de danturat sunt echipate cu lanțuri cinematice electrice. Însă reglarea lirei de divizare a majorității mașinilor-unelte, exploatate în ramura construcțiilor de mașini este realizată prin intermediul roților dințate schimbabile.

Reglarea unui lanț cinematic al mașinii-unelte, prin alegerea roților dințate schimbabile prezintă unele dificultăți, când nu este posibil a utiliza o metodă precisă de calcul. Precizia reglării este afectată de faptul că în relația de calcul persistă funcții trigonometrice și elemente variabile. Ca exemplu, pentru mașina-uneltă de frezat danturi model 53A30P formula de reglare a raportului i_φ a lirei de divizare a lanțului diferențial are forma:

$$i_\varphi = \frac{A C}{B D} = \frac{4 \sin \beta}{m_n k}, \quad (2.60)$$

unde: k – numărul de începuturi ale frezei melc;

m – modulul normal al roții dințate;

β - unghiul de înclinare a dinților;

A, B, C, D – numărul de dinți al roților dințate schimbabile a lirei de divizare.

În unele cazuri este imposibil a folosi o metodă precisă de alegere a raportului de transmitere i_φ , deoarece în partea dreaptă a formulei (2.60) înmulțitul nu se divizează și nu poate fi înlocuit (fără a deregla echilibrul) cu numerele de dinți ai roților de schimb din setul de roți schimbabile anexate la mașina-uneltă. În cazurile date se utilizează metoda tabelară de alegere [101] a raportului de transmitere a lirei, care permite a determina valoarea necesară i_φ cu o precizie destul de sporită dar totuși aproximată. La prima vedere pare că problema se rezolvă foarte simplu, dar în realitate cere foarte mult timp din cauza că nu este posibil a exprima fracția zecimală printr-un raport a două perechi de roți dințate din setul mașinii-unelte de danturat. Totodată, roțile de schimb trebuie să îndeplinească condițiile de angrenare, care, de exemplu, pentru mașina-uneltă 53A30P are următoarea formă:

$$A + B = 96 \begin{pmatrix} 48 + 48 \\ 32 + 64 \\ 24 + 72 \end{pmatrix}; \quad 90 \leq C + D \leq 134.$$

Dacă este necesar a dantura o roată dințată cu modulul $m_n = 4$ mm și $\beta = 12^\circ$ când $k = 1$. Având datele respective în lira de divizare este nevoie de a realiza următorul raport de transmitere:

$$i_\varphi = \frac{4 \sin 12^\circ}{4 \cdot 1} = 0,207911. \quad (2.61)$$

Conform tabelului din [68], raportul cel mai apropiat este $0,207910 = 184/885$ și $0,207912 = 247/1188$. Setul roților de schimb în lanțul cinematic prezintă în sine un șir: $z(51)/20, 20, 25 \dots 100/$. După unele încercări devine clar că fracțiile din tabelele propuse [1] nu pot fi exprimate prin numărul de dinți din setul dat. Rezultă că din aceste tabele va trebui să găsim alte fracții, care diferă cu o valoare de la raportul de transmitere și din nou de a începe selectarea numărului roților de schimb ale lirei de divizare.

După tabelele din [159] calculele se simplifică simțitor datorită faptului că în ele sunt prezentate, în afară de raportul de transmitere și numărul de dinți ai roților dințate de schimb, cu care aceste raporturi de transmitere se realizează. Dar în setul respectiv a mașinii-unelte aceste roți pot lipsi. Pentru cazul examinat tabelele [159] recomandă $i_{\varphi} = 0,2079108 = (25/58)(41/85)$, care este foarte aproape de cel necesar, dar nu poate fi realizat din simplul motiv că în setul mașinii-unelte nu există roata dințată cu $z = 85$.

Pentru unele mașini-unelte de danturat, ca exemplu 5140, tabelele [159] nu pot fi utilizate, din cauza că nu asigură condiția de angrenare $A+B = 120$. De aceea, folosind tabelele, putem micșora simțitor timpul de selectare a roților dințate ale lirei de divizare, însă ele sunt mai puțin universale față de tabelele [159].

Este posibil a spori timpul selectării roților dințate de schimb ale lirei de divizare prin automatizarea calculului, utilizând o programă de selectare automatizată a roților de schimb ale lirei de divizare, dar în ea lipsește controlul la angrenare.

Este cunoscută o metodică [68] automatizată de calcul la calculator care permite nu numai a micșora timpul de selectare, dar și a depista unicul raport de transmitere, cel mai apropiat de cel necesar, care ap permite realizarea lanțului cinematic dat prin intermediul roților dințate existente în setul mașinii-unelte. În același timp, condiția de angrenare încontinuu se verifică în procesul selectării mulțimii de numere. Dacă valoarea i_{φ} găsită precis coincide cu raportul necesar, selectarea se oprește și datele se scot la tipar: $i_{\varphi_{real}}$ și numărul roților de schimb ale lirei de divizare.

În lucrarea [159] problema asigurării preciziei de divizare prin alegerea corectă a roților de schimb ale lirei de divizare nu este dezvăluită complet. Este nevoie de accentuat că la o reglare incorectă a lirelor de divizare și a diferențialului mașinii-unelte de frezat danturi apare și eroarea direcției dintelui, iar la o reglare incorectă a lirei de divizare (rulare) a mașinii-unelte de mortezat danturi – eroarea de pas în zona de închidere, adică între primul și ultimul dinte danturat. Această eroare de pas pe ambele părți ale dintelui are aceeași valoare și semn: pozitivă, dacă valoarea reală a raportul de transmitere a lirei este mai mică decât cea nominală (teoretică), și negativă, dacă valoarea reală a raportul de transmitere a lirei este mai mare decât cea nominală.

O astfel de eroare apare și în cazul reglării imprecise a lirei de divizarea mașinilor-unelte de rectificat danturi, la care divizarea se realizează în golul vecin a doi dinți (5831) sau prin divizarea peste z_i dinți (5843, 5M841, 584 sau altele mașini-unelte elaborate în baza lor). Tot un dezavantaj al acestui procedeu de prelucrare se mai exprimă și prin faptul că la o reglare imprecisă a lirei de divizare poate să apară o eroare acumulată a pasului circular și eroarea de pas a angrenajului.

Roțile de schimb ale lirei de divizare se selectează astfel, încât raportul nominal de transmitere să fie egal cu

$$u_n = 3z_i z, \quad (2.62)$$

unde: z – numărul de dinți ai roții rectificate.

Rectificarea tuturor dinților la o singură trecere este posibilă numai în cazul când numerele z și z_i nu au un înmulțitor comun. Unele restricții sunt legate de condițiile de angrenare a lirei de divizare și unele recomandări la alegerea numărului z_i .

Analiza dependenței (3) arată că dacă numărul de dinți ai roții prelucrate nu se împarte exact, atunci în lira de divizare este nevoie de a avea o roată de schimb cu același număr de dinți sau care se împarte la el. Această

condiție se respectă dacă $z \leq 100$. Astfel, o precizie absolută de reglare a lirei de divizare a roților dințate cu un număr de dinți mai mare de 100 în principiu este imposibilă. Însă conform datelor pașapoartelor mașinilor-unelte, aseasta se asigură pentru roțile cu $z = 10 \div 200$.

În continuarea lucrării (2.63) s-au calculat roțile de schimb pentru prelucrarea roților cu $z = 101, 103$ (fig. 2.12) dacă se respectă dependența (2.62) și condițiile de angrenare a roților de schimb în lira de divizare din set.

Vom determina eroarea unghiulară a semifabricatului la o eroare de reglare a lirei de divizare a mașinii-unelte de rectificat danturi cu disc conic. Raportul de transmitere real al lirei $u_{real} = (A/B)(C/D)$, unde A, B, C, D – numerele dinților roților dințate de schimb ale lirei de divizare, unghiul nominal de rotire a semifabricatului după rectificarea unui gol între doi dinți va fi:

$$\varphi_n = 2\pi z_i / z, \quad (2.63)$$

iar eroarea unghiului de rotire:

$$\Delta\varphi = \varphi_n (u_n - u_{real}) / u_n. \quad (2.64)$$

Ținând cont de dependențele (2.62) și (2.63), dependența (2.64) capătă forma:

$$\Delta\varphi = 2\pi\Delta u/3, \quad (2.65)$$

unde: $\Delta u = u_n - u_{real}$; $\Delta\varphi$ - în radiani, exprimând-o în grade cu (6) va avea forma:

$$\Delta\varphi = 4,32 \cdot 10^5 \Delta u. \quad (2.66)$$

După relația (2.66) determinăm erorile minimale ale unghiului de rotire a semifabricatului, cauzate de imprecizia raportului de transmitere a lirei de divizare, compusă din roțile de schimb ale setului mașinilor unelte 5M841 și 5843 la rectificarea roții $z = 101$ și $z_i = 8 \div 32$.

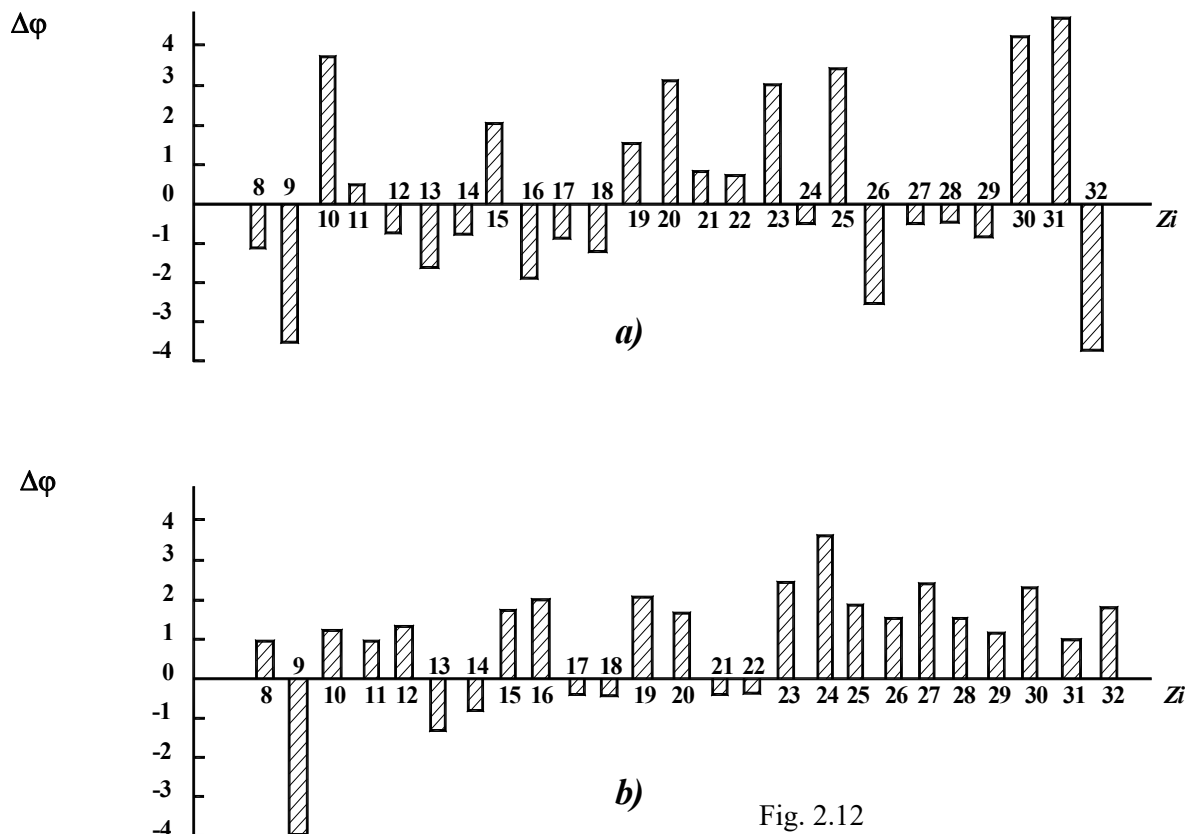


Fig. 2.12

2.9. Particularități de bazare a roților dințate tratate termic la prelucrarea mecanică

În practică, deseori este necesar a rezolva problema elaborării unui proces de execuție a pieselor [53, 68] care îmbină în sine operații diverse după conținut, cum ar fi prelucrarea mecanică și cea termică. Ca urmare, integritatea unui astfel de proces se încalcă. De regulă, după prelucrarea termică se elaborează un proces nou de prelucrare mecanică, ce asigură indicii de precizie necesari. În același timp, stratul cel mai întărit de metal se elimină, apar tensiuni remanente nefavorabile, microfisuri și alte defecte ce micșorează calitatea impusă piesei.

Apar contradicții în procesul de proiectare a unor operații tehnologice separate, care asigură precizia și rezistența piesei.

Metodele tehnologice separate – alegerea schemei de bazare a pieselor la diferite operații ale procesului tehnologic, a utilajului, dispozitivelor, regimurilor de prelucrare – influențează diferit asupra indicilor de calitate, în funcție de forma constructivă a piesei și de condițiile de prelucrare.

La execuția pieselor de tip roată dințată, în diferite condiții de producție, factorii tehnologici de bază, care influențează substanțial asupra indicilor de calitate, sunt erorile de bazare la diferite operații ale procesului tehnologic.

La bazarea roților dințate, la fiecare operație de prelucrare nu trebuie admise erori noi sau majorarea celor existente, sau transformarea lor. Totodată, este necesară minimizarea erorilor formate la operațiile precedente. Aceste două obiective sunt într-o legătură reciprocă și rezolvarea uneia, în unele cazuri, nu este posibilă fără soluționarea celeilalte.

Problema bazării la fiecare operație și pe parcursul întregului proces tehnologic trebuie să fie rezolvată integral, astfel încât din semifabricat să „croim” piesa cu indicii de calitate doriți, prin îndepărtarea adaosurilor minime și uniforme.

De exemplu, la roțile dințate din treptele de precizie 7–8, conform *GOST 1643-81*, executate din oțeluri *12H3A*, *20H2N4A*, după tratamentul termochimic, se rectifică gaura centrală și suprafețele active ale dinților. Unul dintre indicii de bază de precizie a roților – precizia cinematică – poate, practic, totdeauna să fie majorat în ambele operații (la rectificarea găurii și a angrenajului). Dar rectificarea danturii este o operație destul de complicată și puțin productivă (în medie, la rectificarea roții cu $m = 5\div 6$ se cere cca 1 minut, la prelucrarea unui dinte). Efectele negative în urma rectificării (arsuri, crăpături), în mare măsură, depind de adaosul neuniform îndepărtat de pe suprafețele active ale dinților, pentru a asigura valoarea necesară a erorii cinematice.

Rectificarea găurii este o operație mai simplă, deoarece gaura este o suprafață mai puțin responsabilă decât profilul dinților. Mai ales că analiza preciziei de execuție a roților dințate, după tratamentul termochimic, a arătat că o valoare a componentei tangențiale a variației lungimii normalei comune este simțitor mai mică și mai stabilă decât valoarea componentei radiale a bătăii angrenajului (figurile 6.4 și 6.5). Cu alte cuvinte, pe contul abaterii găurii centrale putem să creștem efectiv precizia cinematică a roții dințate. Pentru a majora precizia de bazare a roților dințate, se vor utiliza ca baze tehnologice suprafețele active ale dinților (angrenajul).

Bazarea pieselor prelucrate termic are specificul său. Prelucrarea termică sau termochimică deseori nu permite utilizarea uneia și aceleiași suprafețe în calitate de bază pe durata procesului de prelucrare. De exemplu, în practica execuției roților dințate, deseori se întâlnesc procese tehnologice care îmbină, în calitate de operații de bază,

frezarea danturii cu freză-melc, îmbunătățirea termochimică, rectificarea găurii centrale, rectificarea danturii. În acest caz, gaura centrală a roții dințate, fiind bază tehnologică la operațiile de frezare a danturii, și rectificarea danturii se schimbă la rectificarea ei. Acest fapt conduce la apariția erorii de bazare. Putem s-o minimizăm, dacă vom folosi unele măsuri sau dispozitive.

Altă particularitate constă în faptul că bazele tehnologice, ca și alte suprafețe ale pieselor după operațiile de îmbunătățire, își schimbă caracteristicile calitative de bază – precizia dimensiunilor, forma și poziția reciprocă a suprafețelor. Lipsa de informație privind precizia reală a pieselor după îmbunătățire nu permite a le baza destul de precis la operațiile ulterioare.

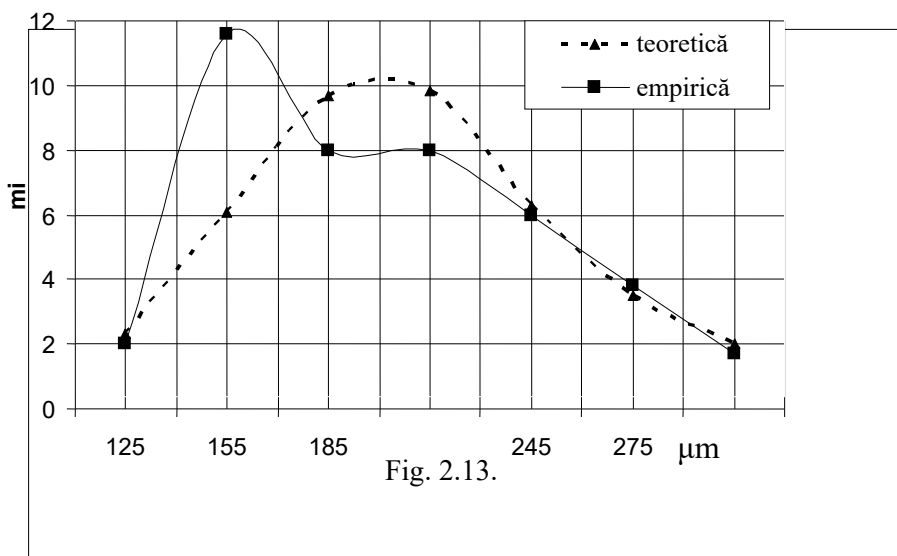


Fig. 2.13.

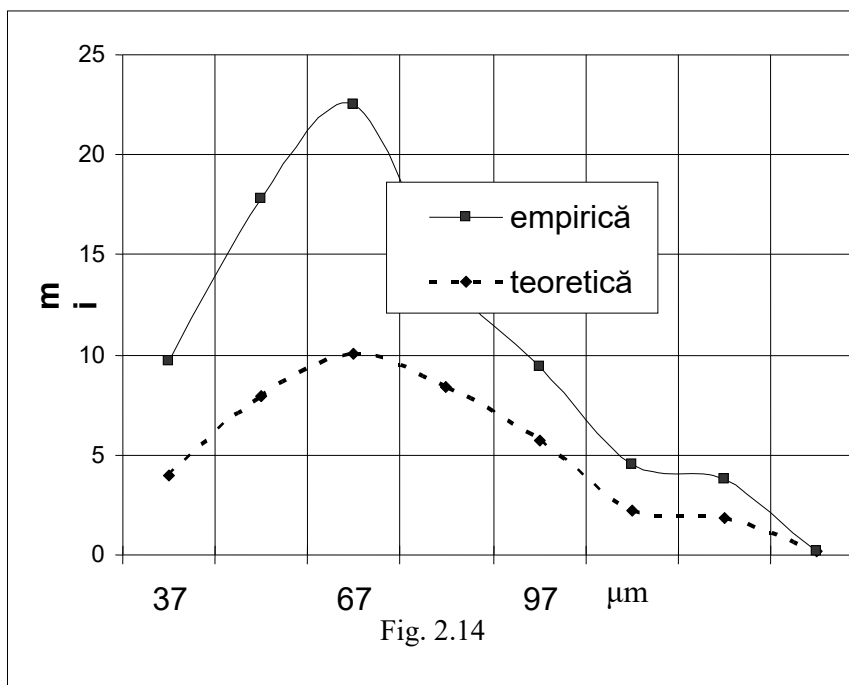


Fig. 2.14

2.9.1. Dispozitiv pentru fixarea roților dințate conice

Schema de bazare a pieselor la prelucrarea mecanică în mare măsură determină corectitudinea, fiabilitatea, durata timpului auxiliar, construcția dispozitivului și influențează direct asupra formării unui șir de erori. La baza alegerii schemei de bazare a pieselor de tip rotație în general stă informația despre eroarea de formă a bazelor

tehnologice și amplasarea ei față de suprafața care se prelucurează. La bazare, în primul rând, este necesar a nu admite erori și, totodată, a le minimiza pe cele existente. La roțile dințate executate din oțeluri, *12HN3A*, *20H2N42*, după tratamentul chimicotermic (TCT) are loc prelucrarea finală a găurii centrale și a suprafeței dinților.

Un indice de bază al calității execuției roților dințate este precizia cinematică, ce se sumează din componentele radiale și tangențiale. Reducerea erorii cinematische este posibilă prin micșorarea uneia dintre aceste componente. Prelucrarea finală a roții dințate se realizează prin rectificarea, de aceea este rațional ca în etapa finală de prelucrare a găurii să fie minimizată componenta radială a erorii. O putem realiza prin alegerea schemei corespunzătoare de bazare, care depinde de valorile și componentele erorii de formă ale bazei tehnologice și de poziția ei față de suprafețele prelucrate.

S-a stabilit experimental că eroarea de formă a roții dințate poate fi de până la 0,05 mm, excentricitatea butucului și găurii centrale – 0,2–0,3 mm.

Se recomandă a baza roțile dințate cu excentricitate de până la 0,05 pe gaura centrală, cu eroare de formă nu prea mare (până la 0,05 mm) – pe suprafața angrenajului. Mai complicată este situația când trebuie să alegem schema de bazare dacă excentricitatea roții dințate, a găurii centrale și a erorii de formă a coroanei dințate este foarte mare – de până la 0,2–0,3 mm.

Determinarea schemei de bazare urmărește scopul alegerii unei astfel de poziții a roții dințate într-o mandrină autocentrantă, la care bătaia radială a roții dințate să fie minimală. Aceasta se poate asigura prin bazarea

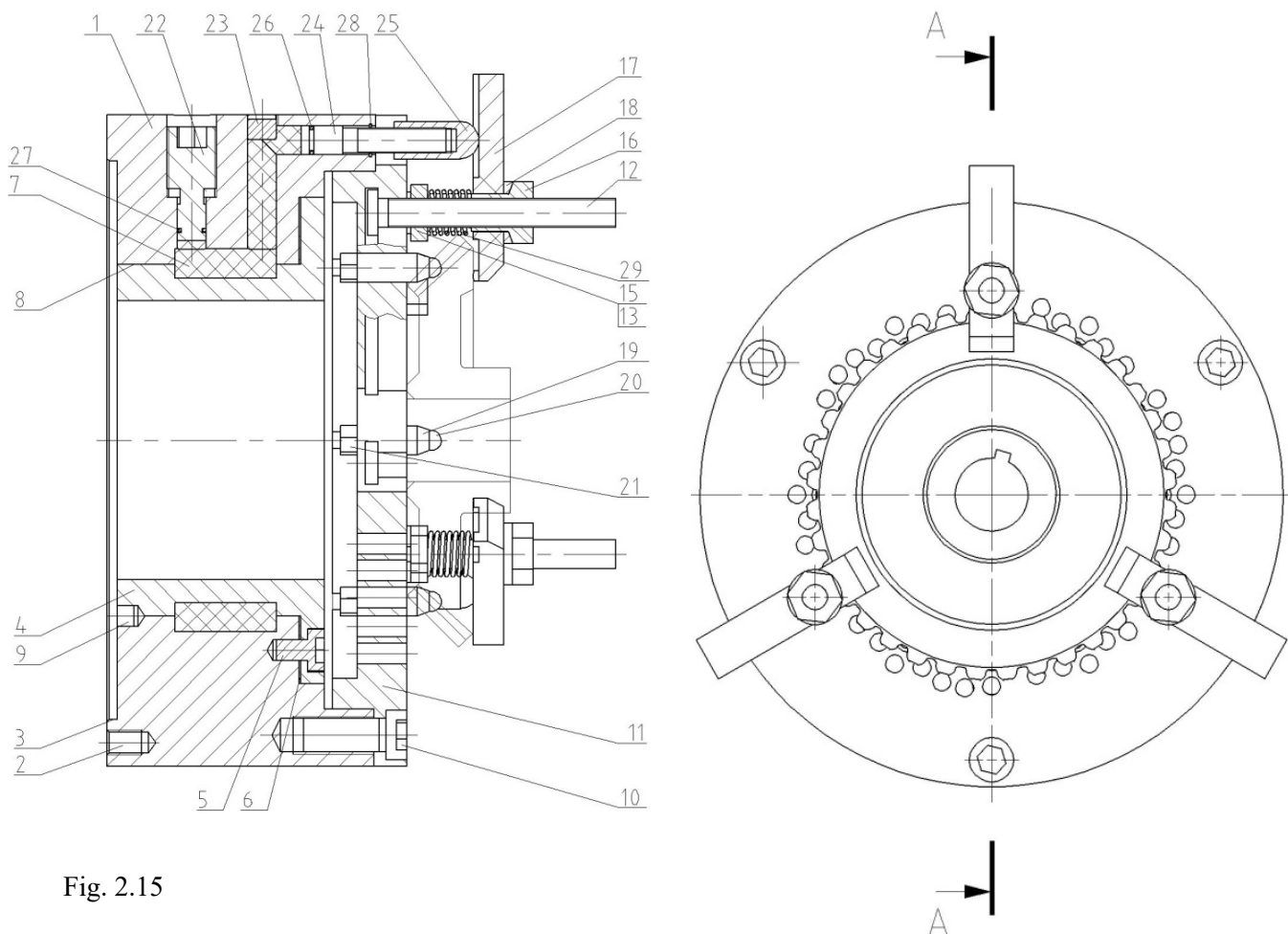


Fig. 2.15

roții dințate în mandrina autocentrantă pe o suprafață concentrică a ei, și anume, pe suprafața angrenajului.

Problema pe care o rezolvă construcția propusă a dispozitivului [14, 29, 53, 74] constă în următoarele:

1) sporirea universalității dispozitivului prin posibilitatea de prelucrare a roților dințate de diferite dimensiuni;

2) blocarea și autocentrarea mecanismului de strângere;

3) sporirea preciziei de instalare a roții dințate conice;

4) construcția mai simplă și fiabilă a dispozitivului.

Scopul formulat este atins prin faptul că dispozitivul este compus dintr-un corp cu plan de desfacere, bride de prindere, discuri cu găuri, reazeme sferice cu cavități ce se completează cu hidroplast, tije-piston reglabile pe înălțime, amplasate în corp, cu posibilitatea de a se deplasa axial și a se roti în jurul axei proprii, mecanism de acționare în formă de șurub-piston, deplasat în corp și care acționează asupra hidroplastului cu partea sa cilindrică. Pe pistonul-tijă sunt executate canale elicoidale, care au contact cu șuruburile amplasate în corp. Dispozitivul mai este caracterizat prin faptul că bridele sunt executate cu posibilitatea varierii brațului de prindere.

De asemenea, o altă caracteristică importantă a dispozitivului reprezintă reazemele cu autoașezare, constituite din element flexibil articulat, așezat pe o axă și care are contact cu dantura prin intermediul a două bile simultan.

Prezentăm construcția dispozitivului în figuri

- figura 2.15, secțiunea de-a lungul axei și vederea din
- figura 2.16, vederea din dreapta a dispozitivului fără
- figura 2.17, construcția dispozitivului (varianta 2);
- figura 2.18, vederea B din figura 2.17 cu roată dințată

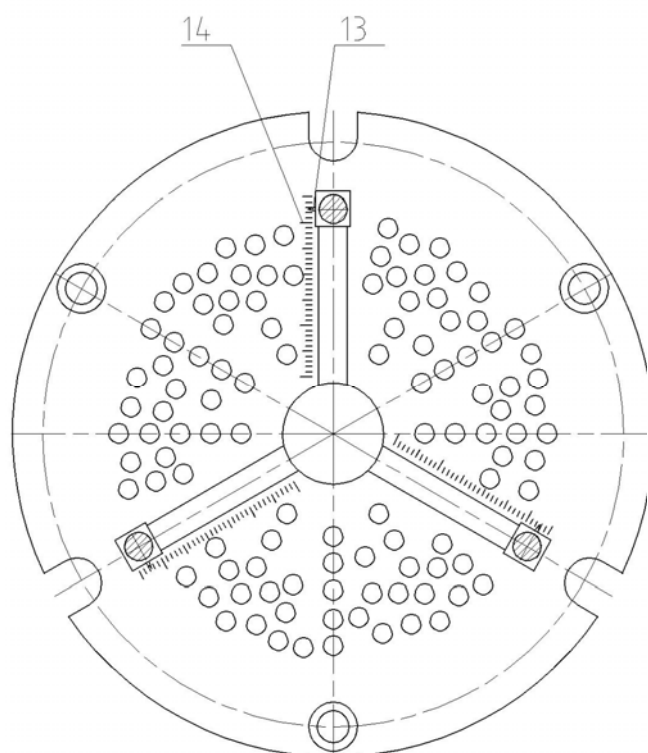


Fig. 2.16

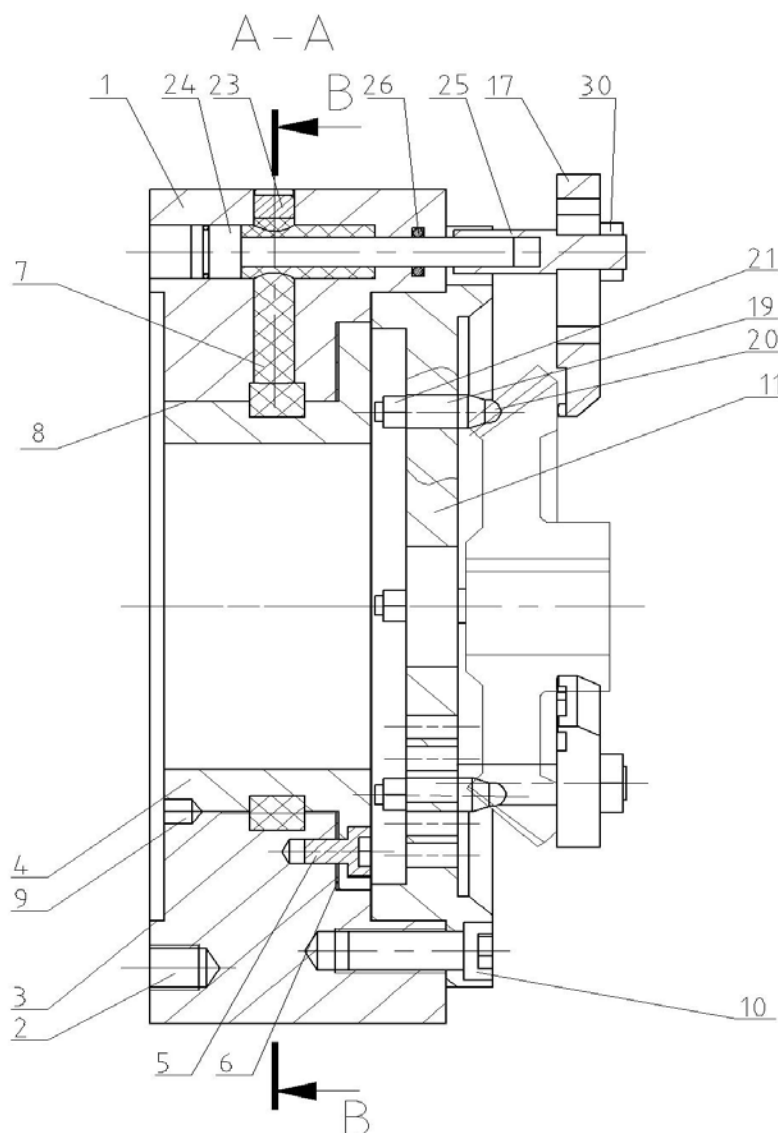


Fig. 2.17

Dispozitivul pentru fixarea roților dințate conice (figura 6.6) conține corpul format din două părți 1 și 2 care se fixează de axul principal al mașinii-unelte prin intermediul a trei găuri filetate și suprafața cilindrică interioară. Între piesele corpului 1 și 2 sunt executate cavitățile 3, 4 și 5 în care se amplasează hidroplastul 6. Prin intermediul șuruburilor-piston 7, hidroplastul acționează asupra tijelor-piston 8 reglabile pe înălțime, datorită reazemului filetat 9. De aceasta se prind, cu ajutorul piuliței 10, bridele 11. În partea 1 a corpului este amplasat șurubul 12, care are contact cu canalul elicoidal 13 al tijei-piston 8. De corpul 1 al dispozitivului se prinde, prin intermediul șuruburilor 14, discul cu găuri 15. În discul 15 se amplasează reazemele (fixe) 16 cu bilele 17. Pe bilele 17, pe dantură, este instalată roata dințată conică 18. Între discul 15 și brida 11, pe tija-piston, este instalat arcul 19.

Reazemul articulată este format din suportul 20, axa 21 și bilele 17.

În discul 15 sunt executate o serie de găuri (în funcție de numărul de dinți ai roții dințate), în care se amplasează reazemele fixe sau cu autoașezare. Pentru o altă variantă a construcției dispozitivului, discul 15 are trei canale de tip „T”, în care se amplasează buloanele 22, arcurile 23, piulița 24 și șaiba 25. Dispozitivul pentru fixarea roților dințate conice lucrează în felul următor.

Înainte de așezarea roții dințate 18, în dispozitiv se instalează discul necesar 15, ale cărui dimensiuni (diametrul bilelor, raza și unghiurile de amplasare a reazemelor 16) corespund cu dimensiunile roții dințate, și se prinde de partea 1 a corpului dispozitivului cu șuruburile 14. Cu ajutorul cheii, rotim șurubul-piston, care acționează cu suprafața sa frontală asupra hidroplastului. Acesta se deplasează prin cavitățile 3, 4 și 5 și acționează asupra tijelor-piston 8, care, prin intermediul bridei, execută strângerea roții dințate 18.

Pentru eliberarea roții dințate, se rotește șurubul-piston 7 împotriva acelor ceasornicului. În acest moment scade presiunea cu care hidroplastul acționează asupra tijei-piston și, sub acțiunea arcului 19, aceasta se va deplasa în dreapta, apoi, rotindu-se, va permite eliberarea roții dințate.

Pentru fiecare roată dințată este necesar un rând de găuri, care pot fi executate pe un număr limitat de discuri schimbabile, în care înălțimea și amplasarea reazemelor corespunde cu dimensiunile roții dințate conice.

Reglarea dispozitivului la o altă roată dințată constă în schimbarea discului 15, cu bilele 17, reazemele 16 și reglarea reazemelor filetate pe înălțimea roții dințate, precum și reglarea brațului bridei pe diametrul roții dințate.

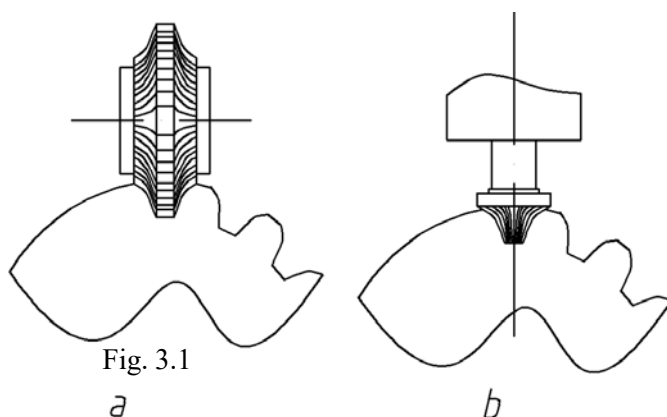
Astfel, având un set redus de discuri schimbabile pentru o gamă de tipodimensiuni ale roților dințate conice, putem, într-un dispozitiv, să prindem o grupă de roți dințate care se deosebesc după diametrul lor.

3. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȘILOR DINȚATE CILINDRICE ȘI A CREMALIERELOR

3.1. Danturarea roților dințate cilindrice prin copiere

3.1.1. Danturarea roților dințate cilindrice cu freze profilate

Caracteristicile proceselor de danturare cu generatoare materializată este modulul de generare a danturii. Prin intermediul sculei se materializează o curbă generatoare (sau o suprafață generatoare) care, cu ajutorul mașinii-unelte, este deplasată în lungul directoarei cinematice (dreaptă - pentru dinți drepecți, elice cilindrică - pentru dinți înclinați, ansamblu de două sau trei elice cilindrice ~ pentru dinți în V). În figura 3.1, a) este reprezentată schema frezării dinților cu freză-disc modul, iar în figura 3.1, b) este reprezentată schema frezării dinților cu freză-deget modul.



Prelucrarea [53] poate avea loc pe mașini de frezat universale echipate cu cap divizor (fig. 3.2), pe mașini de frezat prin rostogolire echipate cu capete de frezat destinate prinderii frezelor-deget (fig. 3.3) sau pe mașini de frezat speciale pentru frezat dantura în V fără degajare (fig. 3.4).

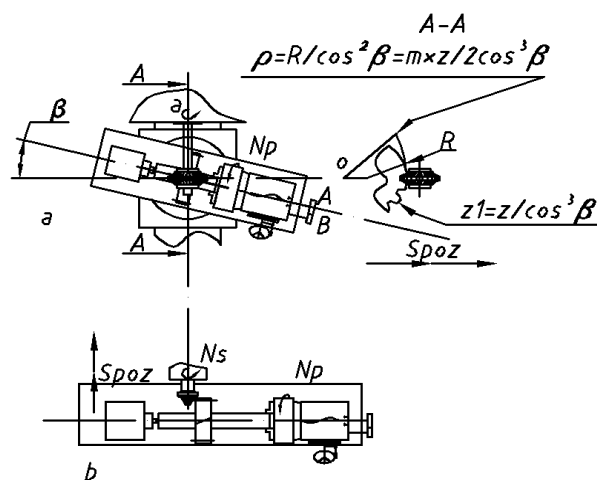


Fig. 3.2

Frezarea danturii se execută succesiv, dinte cu dinte. După realizarea a două flancuri pe toată lungimea dintelui, freza este readusă în poziția inițială, iar roata care se prelucrează este rotită cu valoarea pasului unghiular, pentru a se prelucra golul dintre următorii doi dinți.

Diametrul D_y al cercului de bază este dat de relația:

$$D_y - D_a \cos \alpha = zm \cos \alpha \quad [\text{mm}], \quad (3.1)$$

în care: D_a este diametrul cercului de divizare, în mm; z - numărul de dinți; m - modulul, în mm; α_0 - unghiul profilului de referință al sculei.

Se observă că raza cercului de bază depinde de numărul de dinți. Unghiul și modulul m se consideră constante pentru o anumită dantură. De aici rezultă că pentru a se obține forma teoretică corectă a profilului dinților unei danturi cu un număr de dinți z , prelucrarea va trebui făcută cu o freză la care evolventa profilului este corespunzătoare numărului de dinți z .

Cu alte cuvinte, pentru fiecare număr de dinți z , cu același modul, va fi necesară o freză specială, pentru a se realiza dinți cu flancuri evolventice corecte, cu cercul de bază al evolvenței corespunzătoare numărului de dinți z (fig. 3.5).

Ținându-se cont de marea diversitate a numărului de dinți al roților dințate uzuale și de varietatea modulelor standardizate (STAS 322-80), ar fi nevoie de un număr mare de freze-disc sau freze-deget modul (circa 2600 buc.). Pentru ca metoda de prelucrare să fie economică se folosește aceeași sculă pentru prelucrarea mai multor danturi cu un număr diferit de dinți, numărul dinților fiind limitat la un anumit interval determinat.

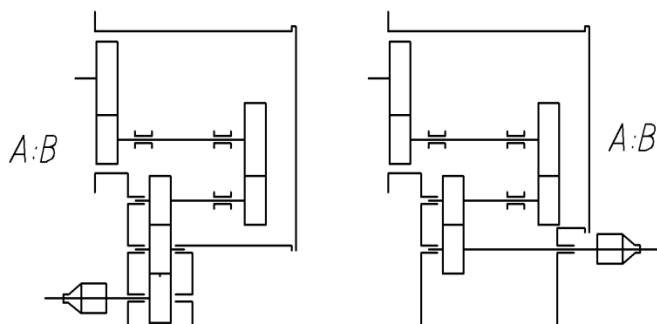


Fig.3.3

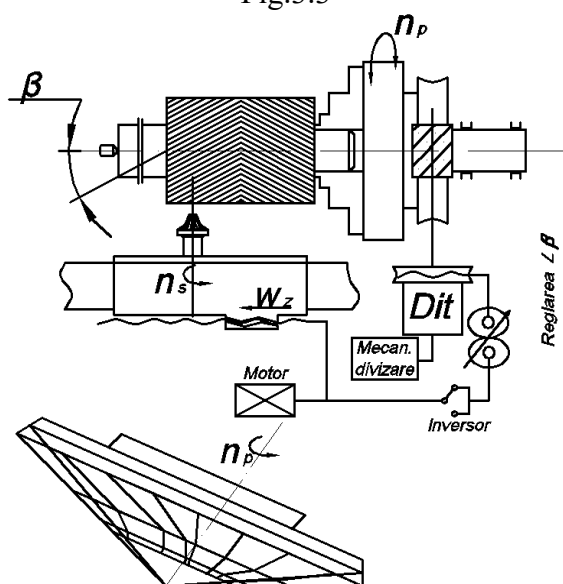


Fig. 3.4

În felul acesta, s-a ajuns la un număr rațional de scule (circa 250 bucăți) necesare prelucrării roților dințate uzuale în condiții economice. Prin această măsură nu se realizează însă profilul corect al evolvenței pentru toate numerele de dinți ale intervalului respectiv din care rezultă o eroare sistematică a formei dinților.

Pe lângă această eroare sistematică a profilului dintelui mai apar însă și erori întâmplătoare, datorate dificultăților de realizare mecanică a flancurilor curbe ale frezelor, cât și sistemului tehnologic M.U.D.P.S. Erorile de fabricație ale formei profilului frezei se reproduc pe dinți prelucrați. Din aceste considerente, metoda prelucrării dinților prin profilare corespunde numai pentru angrenajele de importanță secundară care funcționează la viteze periferice mici (sub 1,5 m/s). Deoarece efectul erorilor de fabricație menționate se manifestă în măsură mai mică, la danturile cu module mici s-au stabilit două serii de freze-disc. Prima serie, compusă din 8 bucăți, cuprinde frezele-disc modul pentru prelucrarea dinților cu modulul între 1 și 8 mm, iar cea de-a doua, compusă din 15 bucăți, cuprinde frezele-disc modul pentru prelucrarea danturilor cu modulul peste 8 mm. Gruparea frezelor-disc modul este prezentată în tabelul 3.1.

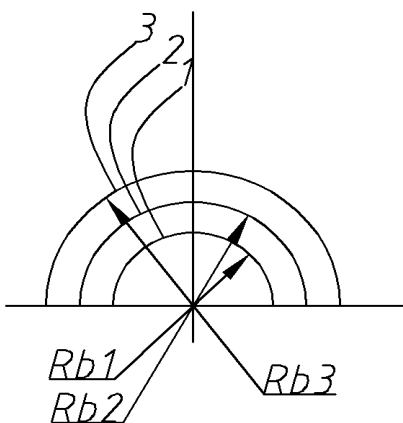


Fig.3.5

Tabelul 2.1 Gruparea frezelor –disc modul, funcție de numărul de dinți

| Numărul de dinți | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 17 | 19 | 21 | 24 |
|------------------|----|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|
| Freze modul | 26 | nr.de serie al frezei | 1 | $1 \frac{1}{2}$ | 2 | $2 \frac{1}{2}$ | 3 | $3 \frac{1}{2}$ | 4 | $4 \frac{1}{2}$ |
| | 15 | | 1 | $1 \frac{1}{2}$ | 2 | $2 \frac{1}{2}$ | 3 | $3 \frac{1}{2}$ | 4 | $4 \frac{1}{2}$ |
| | 8 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| Numărul de dinți | | | 26...27 | 30...33 | 35...37 | 42...46 | 55...65 | 80...102 | 135 → ∞ | |
| Freze modul | 26 | nr.de serie al frezei | 5 | $5 \frac{1}{2}$ | 6 | $6 \frac{1}{2}$ | 7 | $7 \frac{1}{2}$ | 8 | |
| | 15 | | $5 \frac{1}{4}$ | $5 \frac{3}{4}$ | $6 \frac{1}{4}$ | $6 \frac{3}{4}$ | $7 \frac{1}{4}$ | $7 \frac{3}{4}$ | 8 | |
| | 8 | | 5 | $5 \frac{1}{2}$ | 6 | $6 \frac{1}{2}$ | 7 | $7 \frac{1}{2}$ | 8 | |
| Numărul de dinți | | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | |

Frezele-disc modul se pot utiliza și pentru prelucrarea danturilor cu dinți înclinați. În acest caz însă, numărul de serie al frezei se alege după numărul ideal de dinți z al danturii determinat cu relația:

$$z' = z / \cos^3 \beta \quad (3.2)$$

în care β reprezintă unghiul de înclinare al dinților.

La prelucrarea pe mașini universale, semifabricatul se prinde pe masa mașinii-unelte prin intermediul capului divizor și execută o translație longitudinală:

- pentru danturi drepte, sau translația w_i și rotația n_p - pentru damuri înclinate. În cel de-al doilea caz, realizarea înclinației P a danturii pe cilindru de divizare de diametru D se obține respectând relația:

$$w_i = n_p p_E \quad (3.3)$$

în care

$$p_E = \pi D \operatorname{ctg} \beta$$

unde β este pasul elicei directoare.

Pentru ca freza să-și transpună profilul în secțiunea normală pe elicea cilindrului de divizare, masa longitudinală a mașinii se înclină cu același unghi β (v.fig. 3.2, a); la prelucrarea cu freze-deget această înclinare nu este necesară (v.fig. 3.2, b)

Prelucrarea pe mașini de frezat prin rulare se realizează într-un montaj special al acestora: se montează freza-disc pe axul principal (freze-deget se montează în capete speciale, prezentate în fig. 3.3, caz în care: a - pentru danturi interioare și b - pentru danturi exterioare), se întrerupe lanțul cinematic de rulare, se cuplează sistemul de divizare intermitentă și se reglează lanțul cinematic de filetare (dacă dantura este înclinată).

Utilizarea unor mașini speciale are scopul de a realiza danturi în V fără degajare, cilindrice (v.fig. 3.4, d) sau chiar conice (v.fig. 3.4, b). Cele două sau trei elice cilindrice/conice, ce alcătuiesc directoarea prin translația frezei deget de a lungul generatoarei cilindrului/conului interior al danturii w_l și rotația alternativă n_p a semifabricatului. Rotația n_p trebuie corelată cu translația w_l astfel încât să se respecte unghiul β de înclinare a danturii pe cilindrul/conul de divizare. La vârful V-ului, flancul interior rezultă ascuțit iar cel exterior rotunjit. Pentru ca angrenarea să fie totuși posibilă, este necesară o operație suplimentară de-rotunjire a vârfului interior, atât la roată cât și la pinion (fig. 3.6).

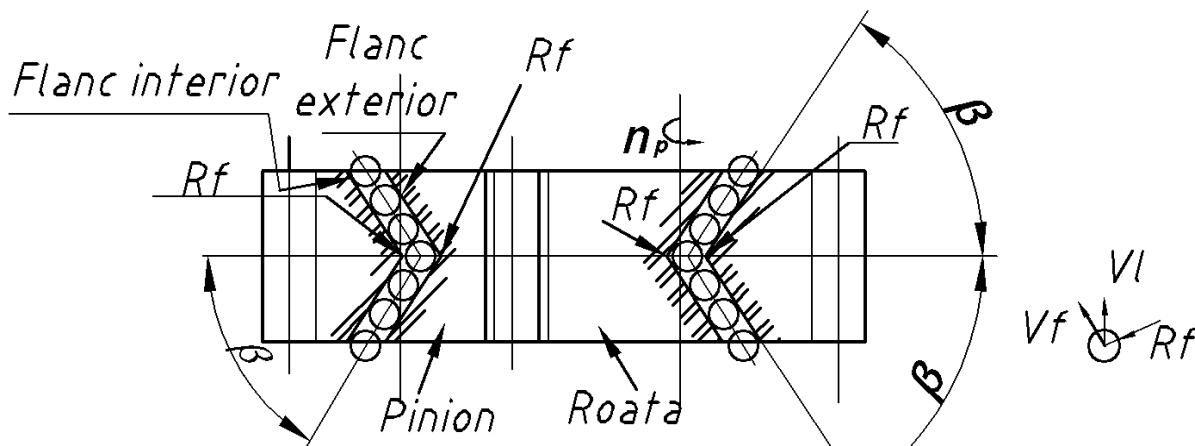


Fig. 3.6
80

Productivitatea acestor procese este scăzută, întrucât regimurile de aşchiere sunt reduse atât la prelucrarea cu freze-disc modul, cât mai ales în cazul frezelor-deget modul.

Danturile astfel obţinute corespund treptelor 9...11 de precizie, iar asperitatea suprafeţii se află în domeniul $R_a = (6,3...12,5) \mu\text{m}$.

3.1.2. Danturarea roţilor dinţate cilindrice prin broşare

Danturarea roţilor dinţate prin broşare este un procedeu deosebit de productiv şi de precizie ridicată şi se aplică danturilor interioare şi exterioare de serie mare.

În cazul broşării danturilor interioare (fig. 3.7) se utilizează o broşă rectilinie 1, ai cărei dinţi să materializeze simultan toate profilele gurilor dintre dinţii roţii de prelucrat 2.

Danturarea prin broşare are câteva particularităţi generate de faptul că pe flancuri unghiul de aşezare al dinţilor broşei este nul. Ca urmare, aceştia vin într-un contact puternic cu suprafaţa piesei (mai cu seamă ultimii dinţi), iar forţa de broşare creşte cu cca 30%, conducând la înrăutăţirea calităţii suprafeţii. Condiţiile de desfăşurare a procesului de broşare se ameliorează dacă nu se execută clasic (fig. 3.8, a) şic), ci într-un mod special (fig.3.8, b) şi d).

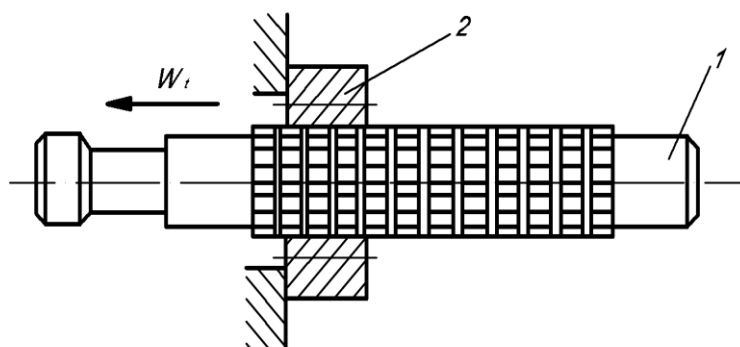


Fig. 3.7

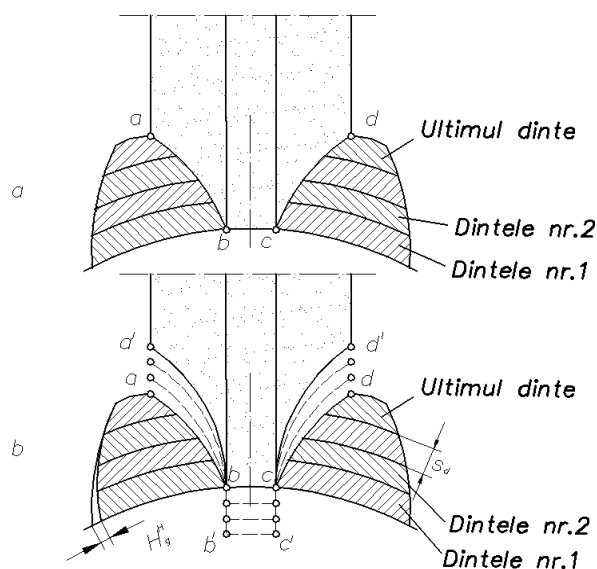


Fig. 3.8

În cel de-al doilea caz, broșa are profilul modificat $a'bca'$ și nu materializează golul dintre dinții $abcd$, ci îl generează cinematic, prin înclinarea avansului longitudinal wl , cu unghiul β . Proiectând conturul golului dintre dinți pe un plan perpendicular pe axa broșei, se obține profilul discului abraziv, translatat radial, din poziția $a'bca'$ - corespunzător ultimului dinte. Prin supraînălțarea s_d , dinții broșei înfășoară profilul $abcd$ al danturii prelucrate.

În figura 3.8, *a*) se poate evidenția profilul dinților broșei pentru module mici $m < 2$ mm, iar în figura 3.8, *b*) profilul dinților broșei pentru $m > 2$ mm.

În cazul broșării danturilor exterioare, broșarea se poate realiza dinte cu dinte, dintr-o singură trecere a sculei, sau poate fi un grup de breșe care vor prelucra la o singură trecere mai mulți dinți. Pentru roți dințate de dimensiuni mai mici, broșarea se poate realiza simultan pentru toți dinții (metoda Shear-Speed), dar din mai multe treceri. Cuțitele sunt de construcție specială, fixate într-un corp (fig. 3.9) prevăzut cu un număr de canale radiale egal cu numărul de dinți ai roții dințate.

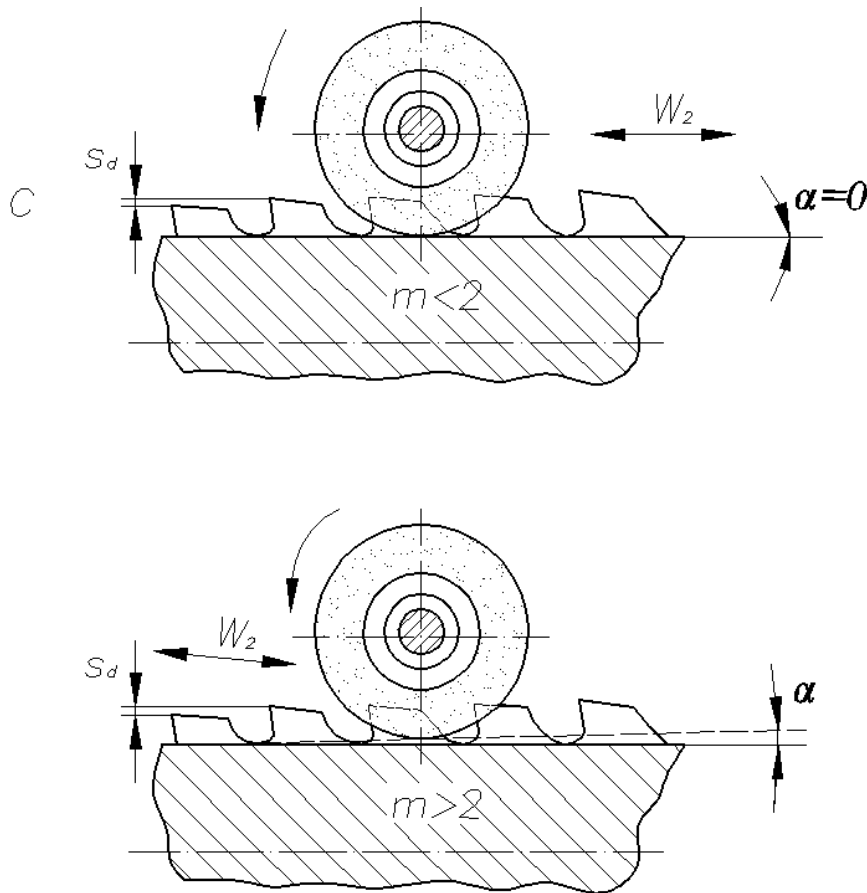


Fig. 3.9

Semifabricatul I are o mișcare rectilinie alternativă n_{cd} în funcție de lățimea roții B : după fiecare cursă cuțitele 2 se retrag odată cu întoarcerea roții dințate în poziția inițială, pentru ca, la următoarea cursă (ciclu de lucru), cuțitele-sculă să avanseze radial simultan s_r , datorită inelelor 3 și 4 , care sunt deplasate pe direcția axială $\pm \Delta_a$ în sens contrar. La fiecare ciclu de lucru cuțitele-sculă avansează radial cu $s_r = 0,04 \dots 0,6$ mm/cursă, până se ajunge la adâncimea necesară a dinților roții de prelucrat. Viteza de așchiere ajunge la circa $8 \dots 10$ m/min.

Când se ajunge în apropiere de cota finală h (înălțimea dintelui), se recomandă reducerea avansului radial $S_r = 0,04...0,08$ mm/cursă, obținându-se astfel atât o rugozitate bună a flancurilor $R_a = (3,2...6,3)$ μm , cât și o precizie în limita treptelor 5...6. La cursa de întoarcere (în gol), cuțitele trebuie retrase radial cu cca 0,3...0,4 mm, pentru a preîntâmpina distrugerea lor, ca urmare a revenirii stratului deformat elastic.

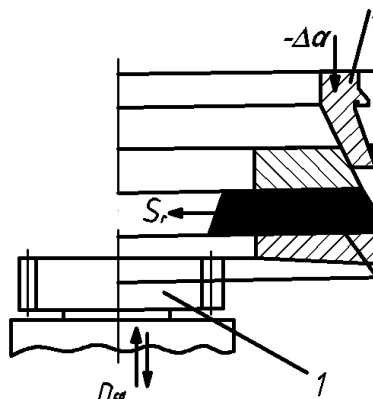


Fig. 3.10

Prin acest procedeu se pot prelucra roți dințate cilindrice cu dinți drepiți de diametre $D = 250...280$ mm și lățimi $B = 150...180$ mm.

Procedeuul impune ca prelucrarea să se execute pe mașini-unelte speciale, capul port-sculă necesitând un grad sporit de dificultate în execuție, cu caracter de unicat pentru fiecare dantură.

Firma Gleason a realizat un nou procedeu de broșare continuă a roților dințate cilindrice cu dinți drepiți, prin rostogolire cu un singur șir de scule sau cu șiruri de cuțite-pieptene, care reproduc angrenarea cu cremaliera de referință. În ambele cazuri, dinții sculei au profilul trapezoidal, putându-se executa mai ușor decât în cazurile precedente de broșare.

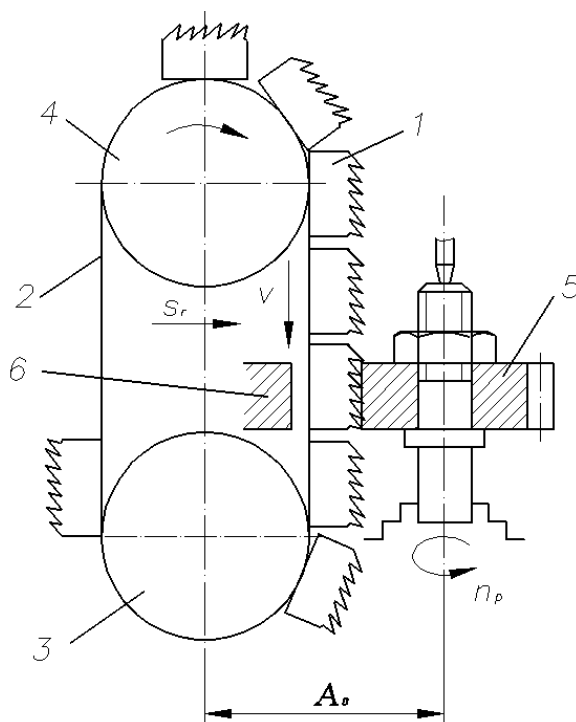


Fig. 3.11

În cazul acestui procedeu sunt montate mai multe segmente de broșă 1 pe o bandă metalică 2 (fig. 2.10) care sunt antrenate de rolele 3 și 4 în mișcare de rotație. În zona de lucru, segmentele de broșă intră pe ghidajele 6 unde li se asigură centrarea față de semifabricat și o rigiditate corespunzătoare procesului de așchiere.

Danturarea cu un singur șir de cuțite se efectuează după următorul ciclu: se imprimă avansul radial S_l până la realizarea înălțimii dintelui h (fig. 3.11, a), iar semifabricatul se rotește cu valoarea turației n_p cu un avans s_l (fig. 3.11, b) până ce acesta ajunge în poziția finală (fig. 3.11, e) după care cuțitele se retrag și semifabricatul ajunge în poziția inițială (fig. 3.11, d). Apoi se face divizarea după care se reia ciclul de prelucrare a unui nou dinte. Prelucrarea roților se face, în general, din două treceri (una de degroșare și cealaltă de finisare) în mod continuu, fapt ce asigură o creștere a productivității și preciziei de prelucrare.

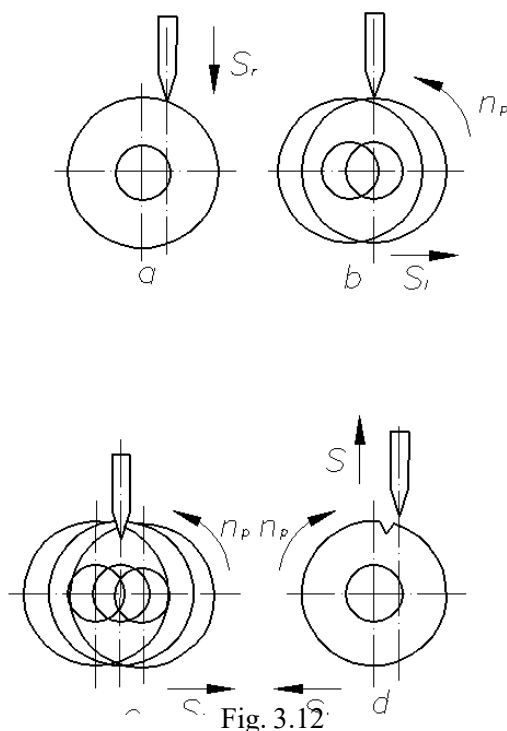


Fig. 3.12

Rezultate deosebite se obțin la danturarea cu cuțite-pieptene montate pe o bandă unele după altele. În acest caz, banda primește un avans radiat S_r , în același timp, semifabricatul se rotindu-se cu turația n_p (fig. 3.12, a), în condițiile reproducerii angrenării cu cremaliere de referință.

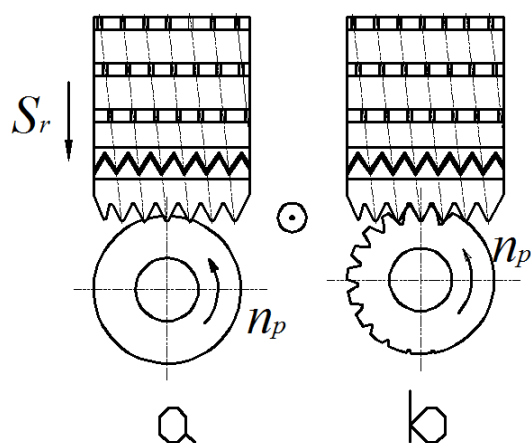


Fig. 3.13

După ce se ajunge la adâncimea necesară, avansul radial s_r se oprește, iar procesul de reproducere a angrenării continuă, timp în care continuă și procesul de așchiere a danturii până ce roata dințată care se prelucerează se rotește cu 360° , plus unghiul necesar, astfel încât toți dinții să fie prelucrați la aceeași adâncime (fig. 3.12, b). Ca urmare se obține o productivitate ridicată, o rugozitate bună a flancurilor $R_a=(1,6...3,2) \mu\text{m}$, cât și o precizie în limitele treptelor 5...6.

3.2.Danturarea roților dințate cilindrice prin rulare

Roțile dințate cilindrice, cu dantura pe exterior, cu dinți drepecți, înclinați (elicoidali), cu dantura în V sau W pot fi prelucrate atât cu freze-melc modul sau cu cuțite zburătoare, cât și cu scule de retezat-roată sau pieptene. Prelucrarea roților dințate cu dantură pe interior, cu dinți drepecți sau înclinați, se poate realiza atât cu freze-melc modul de construcție specială, cât și prin retezare cu cuțite-roată. Generarea dinților danturii se obține ca rezultat al mișcării relative dintre sculă și semifabricatul roată, care reproduce procesul de angrenare între roată și cremaliera de referință. Datorită acestui fapt, scula și semifabricatul execută atât mișcările procesului de angrenare, cât și ale procesului de așchiere, care generează profilul dinților. În consecință, se impune ca, în procesul de fabricație să fie utilizate mașini-unelte speciale de danturat, cu o cinematică corespunzătoare. În unele cazuri, și în special în producția de unicate, pot fi utilizate mașini-unelte universale care pot fi adaptate pentru prelucrarea unor roți dințate cilindrice prin rulare.

Generarea prin rulare a profilelor evolventice și neevolventice, care formează flancurile dinților roților dințate, are la bază proprietățile curbelor conjugate pentru sculă și semifabricat la care normala sau tangenta sunt comune, iar punctul momentan de contact al celor două curbe, cât și normala comună trebuie să treacă prin polul angrenării.

Pentru profilarea danturilor sunt utilizate următoarele procedee:

a) Generarea profilului are loc prin deplasarea relativă (fără alunecare) a unei drepte mobile A , care reprezintă cremaliera de referință și cercul roțitor B cu centrul roților în O fix C și raza R , care generează profilul evolventic E_v sau alt profil E_v' (fig. 3.14).

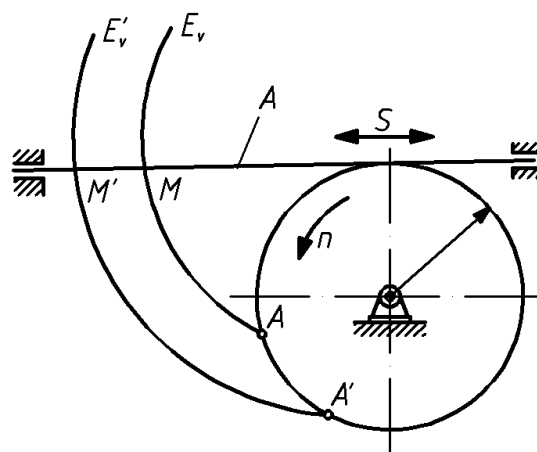


Fig. 3.14

b) Generarea profilului are loc prin deplasarea relativă și fără alunecare dintre dreapta A , când aceasta este fixă (cremaliera de referință), și cercul B de rază R ce se deplasează cu originea din O în O' , realizând profilul evolventic E_v sau profilul E_v' (fig. 3.15).

După acest procedeu se danturează roțile dințate cu cuțit-pieptene.

c) Generarea profilului are, loc prin rularea fără alunecare (fig. 3.16) a două cercuri, A și B , cu distanța constantă D_c între centrele O_1 și O' sau cu distanța variabilă D_0 la D_f și centrele O_1 și O_1' și care generează profilul dinților. Unul dintre cercuri reprezintă roata-sculă, iar celălalt semifabricatul-roată.

După acest procedeu se realizează profilul dinților prin presare volumică la rece sau la cald. Astfel, se poate constata că profilele dinților pot fi realizate cu cremaliera sau roata dințată generatoare.

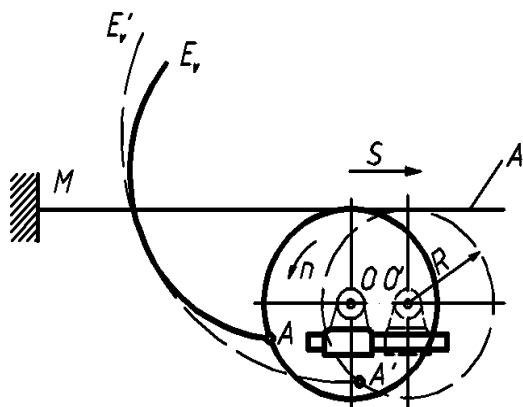


Fig. 3.15

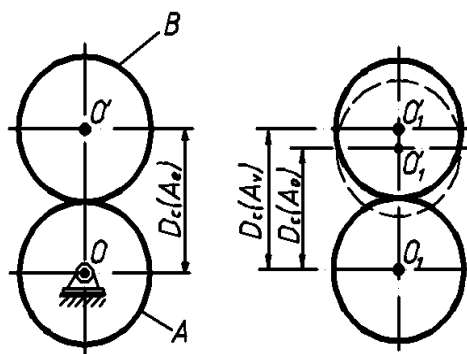


Fig. 3.16

3.2.1. Danturarea roților dințate cilindrice cu freza-melc modul

Danturarea roților dințate cilindrice cu dinți drepecți sau înclinați (elicoidali) pe interior sau pe exterior cu freza-melc modul este procedeu care asigură o productivitate ridicată în condițiile preciziei de formă și dimensionale impuse.

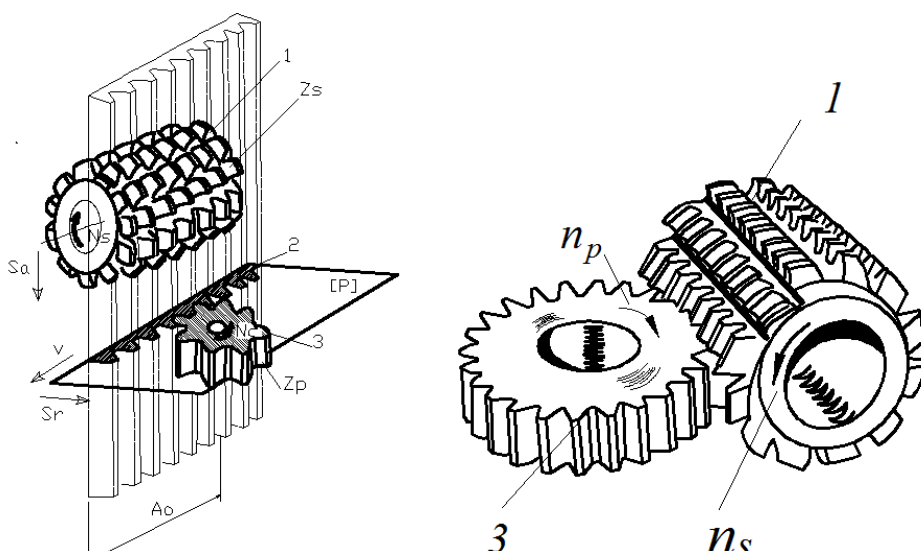


Fig. 3.17

În acest caz, freza-melc modul l (cu un început sau mai multe) se poziționează la distanța A_0 față de semifabricatul 3 și se înclină sub un unghi astfel, încât în rectiliniu $[P]$ perpendicular pe flancul dinților să rezulte

cremaliera generatoare (3.15, *a* și *b*) care în procesul de așchiere are o deplasare relativă v , asigurând angrenarea semifabricatului cu ea.

În același timp, freza-melc modul se deplasează cu avansul axial S_a , la parcurgerea lățimii danturii. Apoi scula este adusă în poziția inițială și reglată la o altă adâncime de așchiere, dându-i-se un avans radial S_r . Aceasta se realizează numai în cazurile când prelucrarea se face din mai multe treceri, în special pentru module de dimensiuni mari.

Pentru reproducerea procesului de angrenare dintre freza-melc și roată, trebuie îndeplinită condiția cinematică dată de relația

$$\frac{n_f}{z_r} = \frac{z_r}{z_f} \quad (3.4)$$

în care: n_f este turația frezei-melc, rot/min; n_r - turația roții, rot/min; z_r - numărul de dinți ai roții ce se prelucurează; z_f - numărul de începături al frezei-melc modul.

Cremaliera generatoare se definește a fi inversă cremalierii de referință, adică piciorul dintelui uneia corespunde capului dintelui celeilalte.

Profilul cremalierii generatoare se regăsește pe sculă într-o secțiune frontală a danturii semifabricatului realizat în timpul prelucrării efective, adică în condițiile poziționării sculei în raport cu piesa. Roata generatoare este o roată dințată care are profilul dintelui identic cu al roții conjugate aflate în prelucrare.

În procesul de prelucrare prin rulare, scula și piesa reproduc angrenarea cu o cremalieră de referință, al cărei profil imaginar se deplasează după direcția tangentei în punctul comun de contact al cercurilor de rostogolire. Roata generatoare și roata de prelucrat se comportă astfel ca un angrenaj fără jocuri între flancuri.

Sculele construite după roata generatoare au abateri ale profilului dintelui față de profilul teoretic și, în plus, o anumită geometrie a danturii care să fie posibilă prin așchiera roților dințate cu profil evolventic.

Frezarea danturii prin rulare se execută pe mașini specializate cu freze-melc modul.

Prelucrarea cu freza-melc modul se bazează pe proprietatea de a avea ca înfășurătoare a danturii, atunci când se rostogolește pe plan, o cremalieră cu flancuri rectilinii (fig.3.17).

Prelucrarea cu freza-melc modul este superioară danturării prin copiere atât datorită productivității, cât și preciziei de pas și de profil a danturii. Productivitatea este determinată de continuitatea procesului de așchiere, iar precizia datorită generării danturii are loc într-un proces de rostogolire.

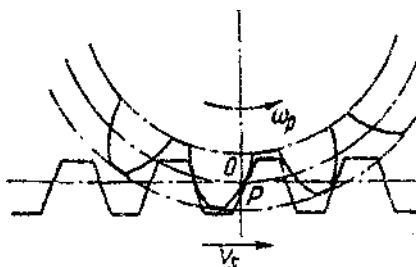


Fig. 3.18

Mașinile de danturat cu freză-melc modul lucrează după principiul generării evolvenței cu reaptă mobilă. Profilul cremalierii generatoare obținut pe sculă într-o secțiune frontală a danturii prelucrate se deplasează în lungul liniei de referință cu viteza v_s .

Prelucrarea danturii cu freza-melc se poate efectua prin două procedee de lucru: prelucrarea în sensul avansului și prelucrarea în sens contrar avansului.

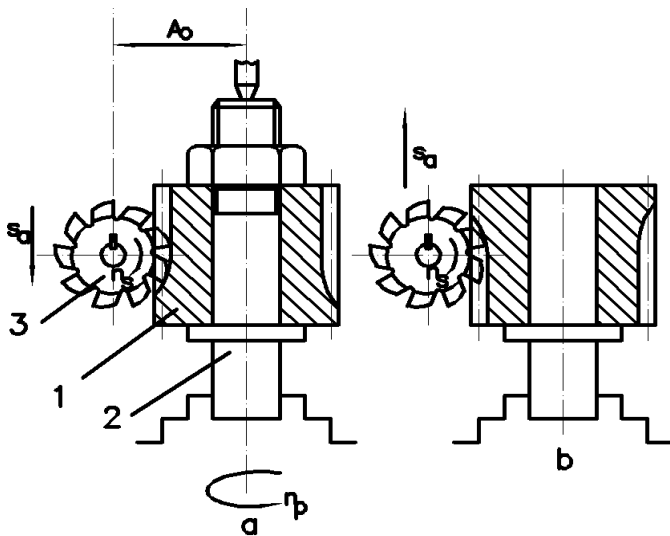


Fig. 3.19

La prelucrarea în sensul avansului (fig. 3.18, a), semifabricatul 1, fixat pe dornul 2 centrat pe masa rotativă și pe vârf, este danturat de freza-melc modul 3, care este reglată la adâncimea de așchiere, respectându-se distanța dintre axe A_0 .

Scula se deplasează axial cu avansul S_a , fapt ce face ca dinții sculei să scoată așchii la începutul procesului de așchiere cu secțiunea foarte mică, iar la ieșirea din semifabricat secțiunea să fie de grosime maximă, fapt care conduce la apariția deformațiilor elastice maxime, vibrații etc. care duc la înrăutățirea preciziei de prelucrare.

La prelucrarea în sens contrar avansului (fig. 3.18, b), fenomenul este invers: freza începe procesul de așchiere cu secțiunea așchii groasă, iar la ieșirea din semifabricat secțiunea este foarte mică. Ca urmare, precizia de prelucrare este mai bună, rugozitatea se îmbunătățește și ea datorită micșorării amplitudinilor vibrațiilor, având loc o creștere a productivității. E de menționat că nu întotdeauna se poate aplica acest procedeu, datorită imposibilității reglării sculei de la nivelul platoului, ceea ce ar impune realizarea unor dornuri lungi care în final conduc la micșorarea rigidității sistemului MUDPS.

Reglarea frezei-melc în raport cu semifabricatul se face atât în funcție de modul cum este elicea sculei (pe dreapta sau pe stânga), cât și de modul cum sunt dinții roții: drepți, înclinați etc. spre stânga sau spre dreapta (tabelul 3.2). Precizia de reglare a unghiului de înclinare a axei scule influențează direct precizia de execuție a roților. Generarea unei danturi corecte în evolvență este asigurată numai de cremaliera generatoare cu flancuri rectilinii; aceste flancuri se găsesc la melcul evolventic. Ca urmare, freza cu care se execută prelucrarea roților trebuie să provină dintr-un melc evolventic.

În funcție de destinația lor, frezele-melc pot fi freze-melc pentru degroșare și freze-melc pentru finisare. La frezele-melc pentru degroșare se ține cont, în special, de obținerea unei durabilități mărite și a unei geometrii favorabile prelucrării cu productivitate mare.

Condițiile de precizie a profilului interesează mai mult în cazul frezelor pentru finisare. În acest scop, frezele-melc pentru finisare trebuie proiectate și executate în funcție de precizia danturii.

Pentru mărirea productivității se utilizează freze-melc cu mai multe începuturi, în special pentru degroșare. Dar trebuie avut în vedere că creșterea productivității nu este proporțională cu numărul de începuturi, iar precizia danturii prelucrate este inferioară celei obținute, când prelucrarea se face cu freze-melc cu un singur început. Odată cu creșterea numărului de începuturi se mărește grosimea așchii și încărcarea dinților devine neuniformă, ceea ce implică reducerea avansului. De asemenea, frezele-melc cu mai multe începuturi au erori de divizare

între pașii începuturilor. Acest lucru impune folosirea lor la prelucrarea roților care au un număr de dinți diferit cu un multiplu întreg al numărului de începuturi, pentru a facilita parcurgerea fiecărui gol al semifabricatului de către fiecare elice a frezei.

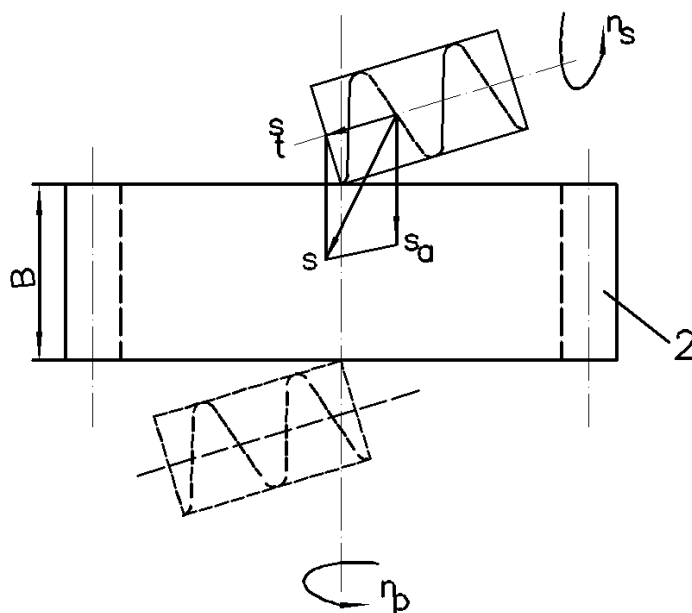


Fig. 3.20

Frezele-melc modul sunt utilizate cu rezultate deosebite pentru danturarea roților dințate cu avans tangențial (fig. 3.19).

Astfel, scula 1, după ce este reglată la distanța dintre axe impusă, primește un avans axial s și unul tangențial s_a . Ca urmare, roata începe să fie danturată la început cu un capăt al frezei-melc, până ce parcurge întreaga lățime B și până când celălalt capăt al frezei-melc ajunge în partea de jos a roții. Procedul este foarte economic, deoarece scula este folosită în mod rațional, uzura fiind practic repartizată pe toți dinții, ceea ce face ca durabilitatea ei să crească foarte mult. În afara frezelor-melc normale, mai sunt utilizate și freze-melc speciale de tipul freză-melc conică (fig. 3.20, c).

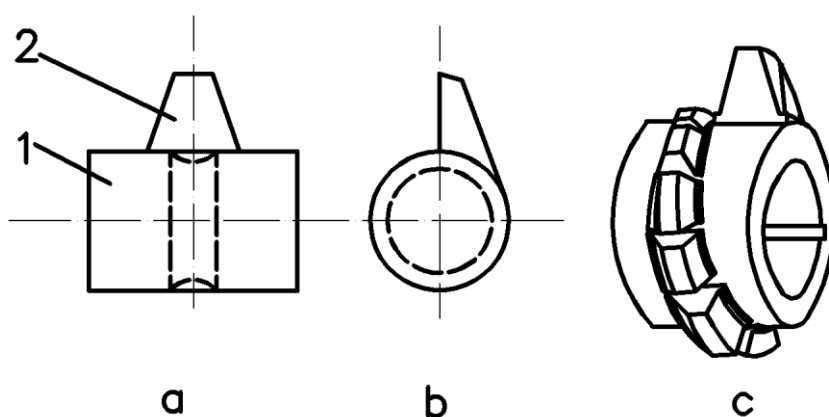


Fig. 3.21

Freza-melc conică, având înălțimea dinților diferită, lucrează ca o broșă. Aceasta permite realizarea dinților cu un profil optim detașării așchii, deoarece numai ultimii dinți au rolul de a profila complet dantura. Când se lucrează cu astfel de freze, trebuie acordată o atenție deosebită centrării ei în raport cu semifabricatul, nefiind permise deplasări axiale în raport cu poziția corectă.

La prelucrarea pieselor unicat, când executarea unei freze-melc modul devine neeconomică, se utilizează freze cu un singur dinte. Acest dinte se execută separat sub forma unui cuțit profilat, cu geometria corespunzătoare danturii care se prelucrează. Cuțitul 2 se fixează apoi pe un dorn sau bucușă 1, astfel încât să ocupe poziția unui dinte al frezei melc-modul (fig. 3.20, a și b).

Tabelul 3.2. Poziționarea frezei-melc în raport cu dantura piesei care trebuie obținută

| Roata dințată | Freză melc-modul | Poziția de lucru a piesei |
|--|--|---------------------------|
| Cu dinți drepecți | Cu elicea frezei-melc modul pe dreapta | |
| | Cu elicea frezei-melc modul pe stânga | |
| Cu dinți elicoidali, sensul elicei dinților pe dreapta | Cu elicea pe dreapta | |
| | Cu elicea pe stânga | |
| Cu dinți elicoidali, sensul elicei dinților pe stânga | Cu culisa pe stânga | |
| | Cu culisa pe dreapta | |

Roțile prelucrate cu o astfel de sculă sunt de calitate corespunzătoare. Astfel, în procesele de finisare la care dantura prelucrată corespunde treptelor de precizie 6...8 unde clasa de precizie a sculei să fie AA sau A, rugozitatea obținută se află în limitele $R_a = (3,2...6,3) \mu\text{m}$.

3.2.2. Danturarea roților dințate cilindrice prin mortezare cu cuțite-roată prin rulare

Danturarea roților dințate cilindrice prin mortezare cu cuțit-roată, prin rulare, se bazează pe generarea

profilului cu roata dințată generatoare. La baza procesului stă angrenarea a două roți cilindrice: semifabricatul (roată-piesă) și cuțitul-roată (roată-sculă).

Pentru a-i asigura cuțitului-roată unghiul de așezare lateral, acesta se realizează sub forma unei roți dințate cilindrice cu corijare liniar-variabilă pe lungimea dintelui.

Danturarea se execută pe mașini de mortezat speciale cu ax vertical pentru roți și pinioane independente, sau cu ax orizontal pentru arbori-pinion sau danturi în V fără degajare.

Scula și piesa sunt orientate și fixate pe cele două axe ale mașinii-unelte și execută ciclul de lucru, semiautomat, compus din următoarele tipuri de mișcări (fig. 3.21): mișcarea de mortezare n_{cd} în c.d./min; mișcarea de rulare compusă din rotația n_p a piesei (avansul circular S_c , în mm/c.d. și rotația n_s corelată a sculei; pătrunderea radială a sculei pe înălțimea dintelui piesei (avansul radial S_r , în mm/c.d.) și retragerea sculei la cursa în gol, pentru a evita frecarea cu suprafața prelucrată.

La danturile înclinate, translația alternativă a sculei este însoțită de o rotație alternativă corelată.

În tabelul din subsolul figurii 3.21 și în normograma din figura 2.22 sunt date valorile vitezelor de așchiere pentru finisare în operație separată, respectiv parametrii regimului de așchiere la mortezare cu cuțite-roată.

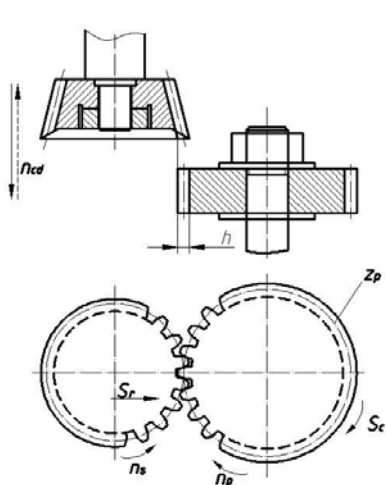


Fig. 3.22

valorile vitezelor de așchiere pentru finisare în operația separată

| S_c (mm/c.d.) | T (min) | | |
|--------------------|-----------|-----|------|
| | 120 | 150 | 240 |
| 0.25 | 42.5 | 40 | 35 |
| 0.25 | 39.2 | 37 | 32.5 |

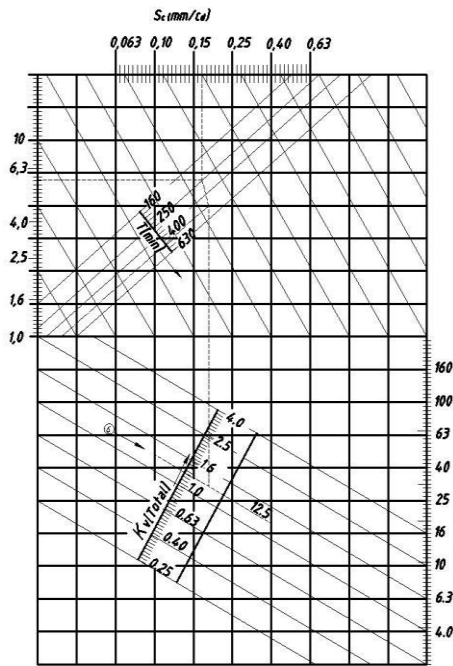


Fig. 3.23

În figura 3.23 sunt prezentate posibilitățile tehnologice ale procedului. Astfel se pot prelucra danturi cilindrice exterioare, cu dinți drepiți sau înclinați (fig. 3.23, a și f), în cazurile în care alte procedee nu pot fi aplicate.

Prelucrarea danturilor interioare (fig. 3.23, b) este domeniul reprezentativ al procedului. Principala restricție care se impune constă în faptul ca sculele utilizate să nu provoace subțierea vârfurilor dinților piesei în cursul avansului radial S_r .

Schema apariției interferenței în cursul avansului radial S_r este prezentată în fig. 3.24. Considerând scula la sfârșitul cursei radiale, condiția de evitare a interferenței este $x < y$ proprie tuturor dinților sculei.

Pentru o pereche oarecare de dinți, această condiție se poate exprima prin relația:

$$x = R_{es} \sin \varphi_s < R_{ip} \sin \varphi_p = y, \quad (3.5)$$

unde: $\varphi_s = \delta_1 + \Delta_s = 2\pi k / z_s + \Delta_s$; $\varphi_p = \delta_2 + \Delta_s = 2\pi k / z_p + \Delta_p$; $k = 1; 2; 3$

Pe baza notațiilor din figura 3.24 și a relațiilor 3.5), în tabelul 2.3 este dată corelația dintre numărul de dinți ai danturii prelucrate și numărul de dinți ai cuțitului-roată (pentru care interferența este evitată) ce se utilizează practic.

Mortezarea cu cuțitele-roată se aplică și la prelucrarea pinioanelor baladoare (fig. 3.23, c) unde spațiul dintre două coroane dințate este mic.

Pentru fabricarea în serie mare a pinioanelor multiple (baladoare) s-au realizat mașini-unelte specializate (fig. 3.23, g) care permit prelucrarea simultană a două danturi. În acest caz, procesul de mortezare decurge în mod particular: avansul circular s_r (rotația piesei) este rapid, iar avansul radial se reduce corespunzător.

Prelucrarea cremaliereilor și a sectoarelor dințate (fig. 3.23, d și e) se poate realiza în condiții de productivitate ridicată. Pot fi de asemenea prelucrate angrenaje compuse dintr-un pinion cilindric evolventic (materializat de sculă) și o roată plană neevolventică (fig. 3.23, h) care transmit mișcarea între două axe perpendiculare.

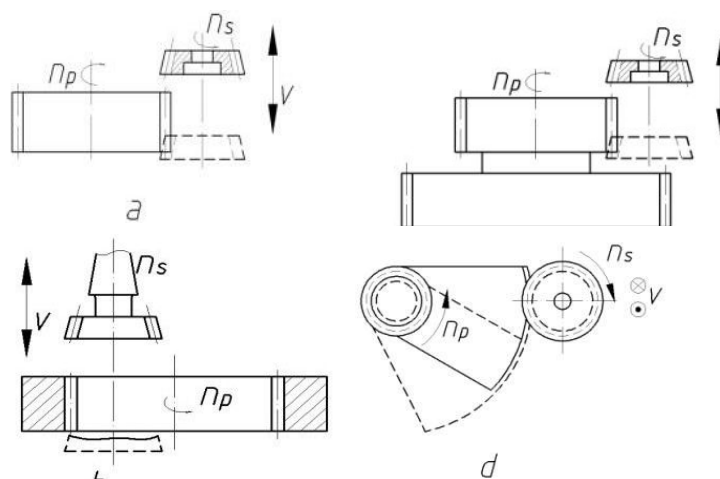
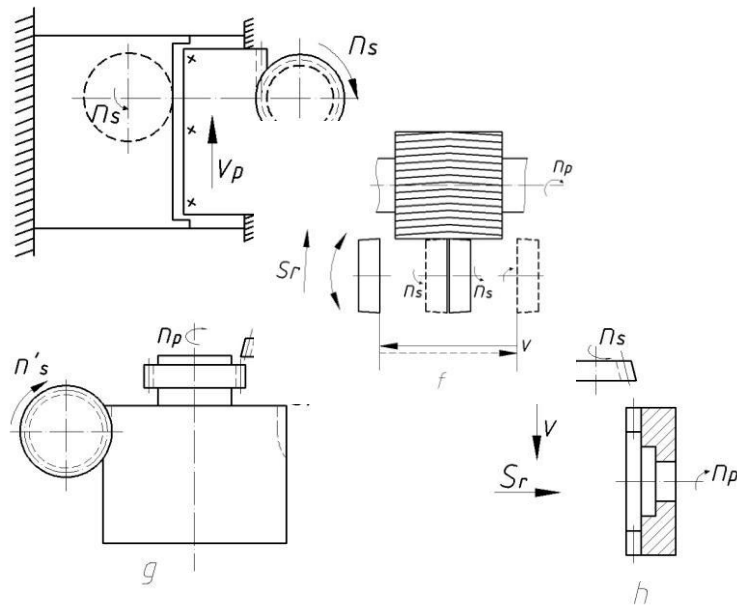


Fig. 3.24

Cuțitele-roată cu dantura înclinată (fig. 3.25, b) sunt de două tipuri, care se deosebesc între ele prin executarea diferită a fețelor frontale. La cuțitele de tip I - cuțite tip Sykes (fig. 3.25, c), elementele dintelui se dau în secțiune frontală, iar la cuțitul de tip II - cuțit de tip Fellows (fig. 3.25, d), aceste elemente se dau în secțiunea normală a dintelui.

Pentru ca dinții generați de sculă să aibă o suprafață laterală elicoidală în evolvență, este necesar ca suprafața înfășurătoare materializată de muchiile tășurilor să fie o suprafață elicoidală în evolvență; ca urmare, muchiile tășurilor trebuie să execute o mișcare elicoidală realizată de un ghidaj special, de pas egal cu PES al suprafeței elicoidale materializată de tășuri (fig. 3.25, a).



F. 3.25

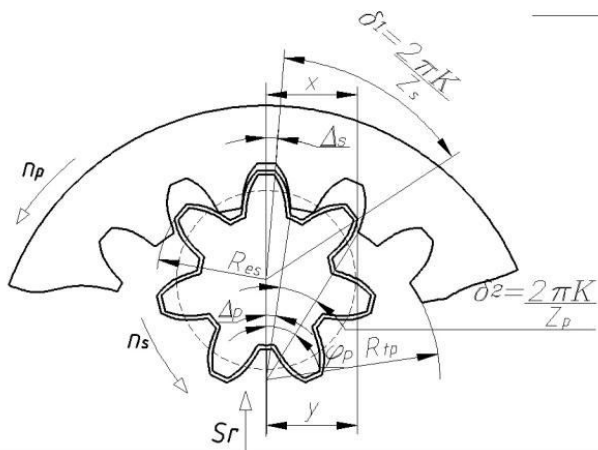


Fig. 3.26

La prelucrarea roților dințate cu dinți înclinați, cuțitele-roată au dantura înclinată. Astfel, pentru dantura exterioră se folosesc cuțite cu înclinarea danturii pe stânga, pentru danturarea roților cu înclinarea danturii pe dreapta, și invers. Pentru danturile interioare, sensul de înclinare al danturii cuțitului-roată este același ca și al roții care se prelucrează

Tabelul 3.3. Corelația dintre numărul de dinți al danturii prelucrate și al cuțitului-roată

| | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Nr. de dinți ai cuțitului-roată | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 |
| Nr. minim de dinți ai danturii prelucrate (cremaliera de referință 20-1-0,25) | 24 | 29 | 32 | 26 | 39 | 41 | 44 | 47 | 49 |
| Nr. minim de dinți ai danturii prelucrate (cremaliera de referință 20-1-0,25) | 22 | 26 | 29 | 32 | 34 | 37 | 39 | 42 | 44 |
| Nr. de dinți ai cuțitului-roată | 28 | 30 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 | 52 | 56 |
| Nr. minim de dinți ai danturii prelucrate (cremaliera de referință 20-1-0,25) | 52 | 54 | 56 | 61 | 66 | 71 | 76 | 80 | 86 |
| Nr. minim de dinți ai danturii prelucrate (cremaliera de referință 20-1-0,25) | 47 | 50 | 52 | 57 | 62 | 66 | 71 | 75 | 80 |

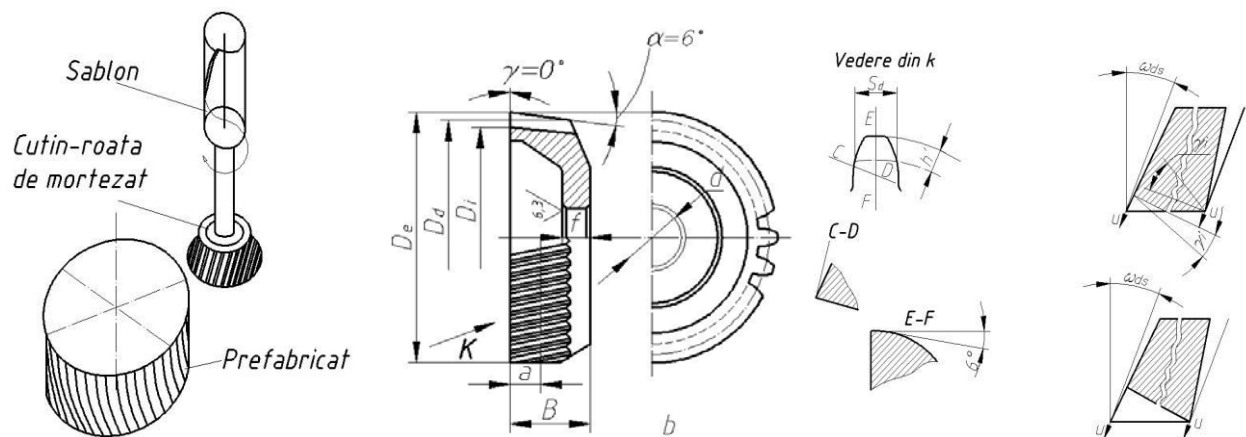


Fig. 3.27

Totodată, va exista și o rotație a sculei datorită avansului de rulare. Unghiul de înclinare al suprafeței materializată de tășuri ω_{ds} , măsurat pe cilindrul de divizare al sculei, va fi egal cu unghiul de înclinare al danturii prelucrate, β_{d1} . Dacă cuțitul-roată are diametrul de divizare egal cu al semifabricatului, va rezulta:

$$\omega_{ds} = \beta_{d1} \text{ respectiv } p_{es} = p_{el} \quad (3.6)$$

Mașinile-unelte fiind echipate cu ghidaje elicoidale de schimb, calculate pe un anumit diametru nominal al cercului de divizare al cuțitului-roată și pentru un anumit unghi al danturii, rezultă că pentru un unghi β_{d1} prescris, diametrul cuțitului-roată este impus de ghidajele elicoidale existente.

Precizia de prelucrare și calitatea suprafeței la mortezare cu cuțite-roată sunt superioare față de frezarea cu freze-melc. Astfel, folosind cuțite de precizie AA și regimuri de așchiere corespunzătoare, precizia maximă depinde doar de precizia mașinii-unelte și corespunde treptei 5 pentru mașinile precise, sau treptei 6 pentru cele de precizie normală. Aceasta se datorează faptului că forța de așchiere este mai scăzută și mai puțin variabilă decât la frezarea cu freze-melc.

Totodată, secțiunea așchiei detașată de la o cursă de mortezare, fiind constantă, asperitățile de așchiere formate sunt mai mici decât la frezare, atingând în condiții normale de lucru nivelul $R = 3,2 \mu\text{m}$.

3.2.3. Danturarea roților dințate cilindrice prin mortizare cu cuțite-pieptene

Danturarea roților dințate prin mortizare cu cuțitul-pieptene este un procedeu de prelucrare prin rulare cu divizare. Cremaliera generatoare este materializată de către cuțitul-pieptene, care este o sculă de forma unei cremalieri cu flancurile detalonate (fig.3.26). Parametrii așchierii sunt: mișcarea rectilinie alternativă de mortezare n_{cd} , în c.d./min, mișcarea secundară a avansului de rulare S_{rul} în mm/c.d., mișcarea secundară a avansului radial S_r , în mm/c.d.

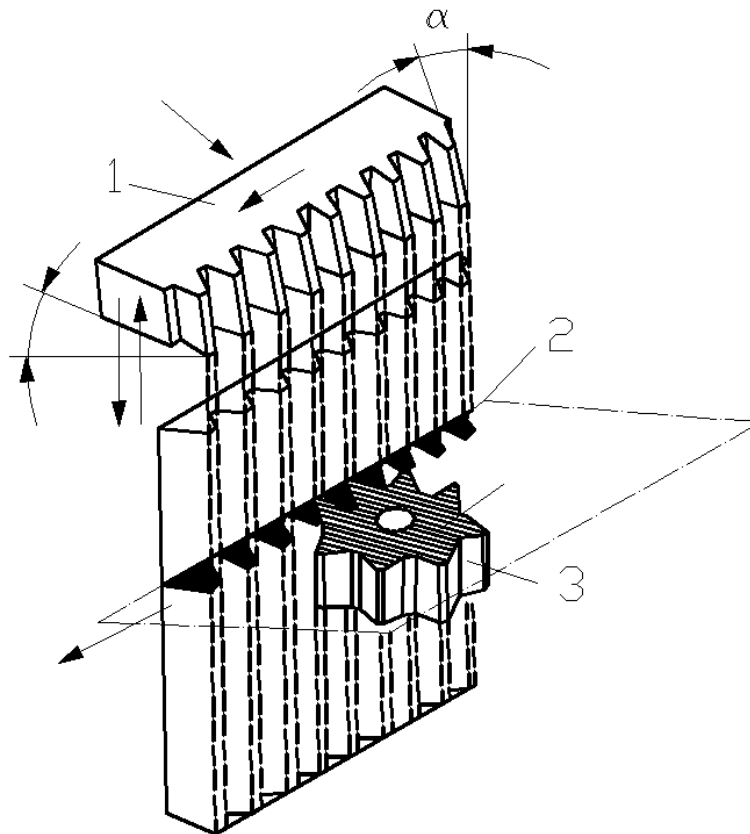


Fig. 3.28

Mișcarea avansului de rulare S_{rul} este intermitentă după fiecare cursă dublă a cuțitului; mișcarea avansului radial S_r încetează după pătrunderea sculei la adâncimea limită. În afară de aceasta, la întoarcerea sculei (cursă activă) se prevede o retragere a ei.

Danturarea cu cuțitul-pieptene se caracterizează prin obținerea unor roți dințate de precizie ridicată, deoarece scula are profilul similar cremalierii generatoare.

Domeniul de utilizare a procedurii cuprinde toate tipurile de roți dințate cilindrice cu dantură exterioară; de modul mare, prelucrarea danturilor interioare prin „metoda punctuală”, precum și la prelucrarea danturilor mici ale baladoarelor și a danturilor în V fără degajare.

Prelucrarea danturilor exterioare de modul mare are loc în trei etape: degroșare, semifinisare și finisare (fig.3.27).

În primele două etape, mișcarea secundară de rulare S_{rul} este anulată. Mai întâi scula pătrunde radial în material și execută canale dreptunghiulare (fig.3.27, a), de adâncime egală cu înălțimea danturii, în toate golurile dintre dinții danturii. În a doua etapă, aceste canale se lărgesc cu ajutorul unor scule în trepte (fig.3.27, b) a căror formă, deși mai complicată, are avantajul că sunt mult mai stabile la autovibrații decât cele cu profil trapezoidal, întrucât așchiile detașate au lățimea mai mică, $b < B$.

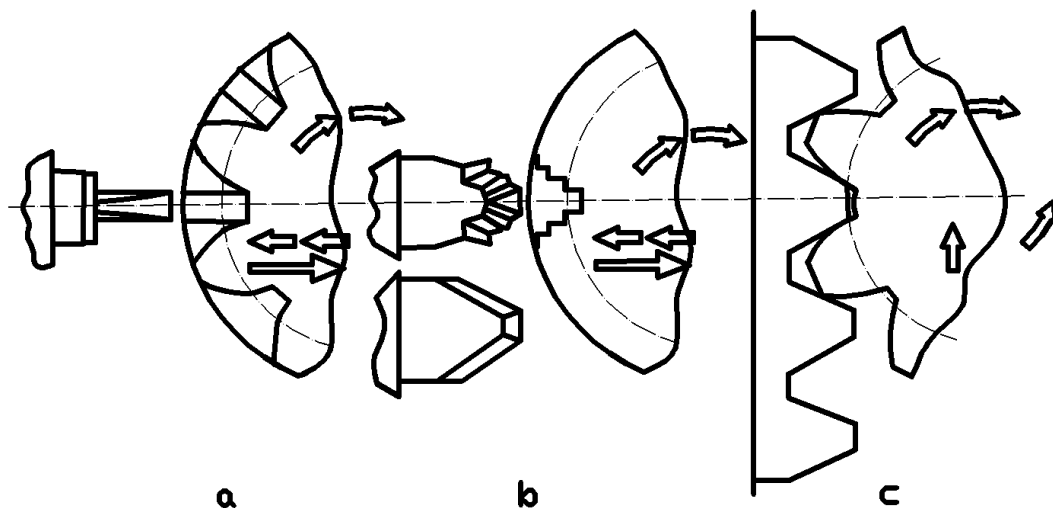


Fig. 3.29

În a treia etapă, prelucrarea se realizează prin rulare cu cuțite-pieptene, rezultând profilul evolventic al danturii.

În cazul danturilor interioare, primele două etape decurg la fel ca și la cele anterioare. Finisarea se execută prin așa-numita „metodă punctuală” (fig.3.30), la care generarea fiecărui flanc se obține materializând punctul generator M, cu ajutorul unui cuțit simplu de mortezat, imprimând piesei mișcarea de rulare pe cercul de bază. Cursa de lucru H poate fi calculată prin relația:

$$H = \sqrt{R_e^2 - R_b^2} - \sqrt{R_i^2 - R_b^2} [mm] \quad (3.7)$$

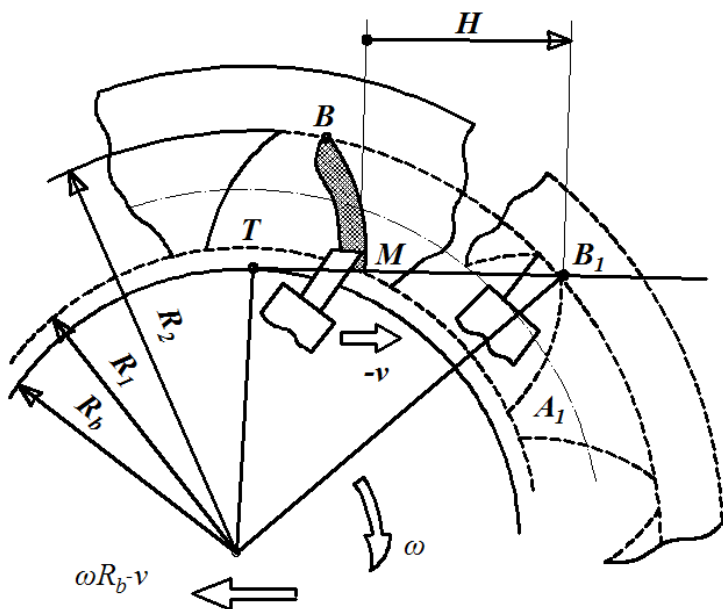


Fig. 3.30.

Danturile mici ale baldoarelor se mortezează cu cuțite-pieptene, întrucât din cauza spațiului redus de ieșire a sculei, frezarea cu freza-melc nu poate fi aplicată. Spațiul redus de ieșire a sculei impune că dacă dantura este înclinată, scula să aibă dinți înclinați (fig. 3.31a), deși în general o dantură poate fi prelucrată cu cuțite cu dinți drepecți, având modulul normal al piesei (fig. 3.31b).

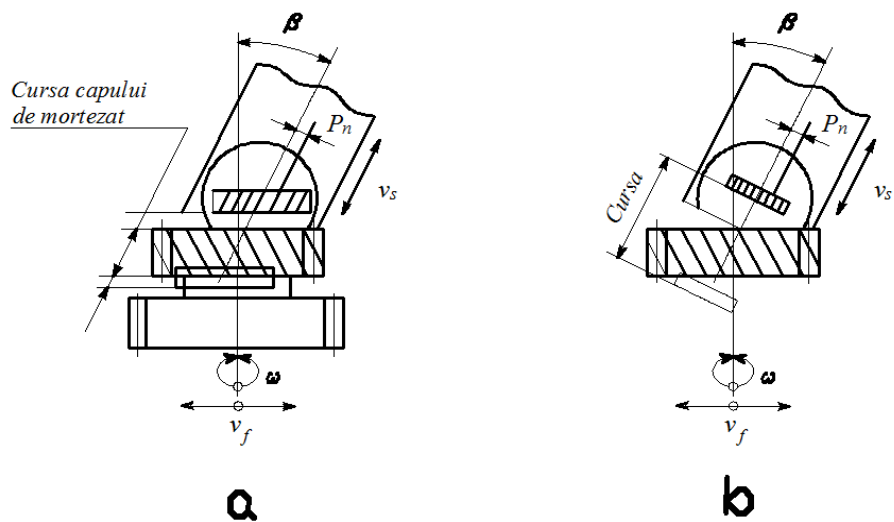


Fig. 3.31

Pentru a putea prelucra prin aşchiere dinţii cuţitului-pieptene au o geometrie specifică: aceasta pune în evidenţă unghiurile de degajare şi de aşezare. Pentru maşinile de mortezat – vertical (MAAG), unghiul de degajare γ rezultă din fixarea cuţitului (fig.3.32 a), iar pentru maşinile de mortezat (Parkinson), unghiul de degajare γ este realizat pentru construcţia sculei (fig.2.32 b).

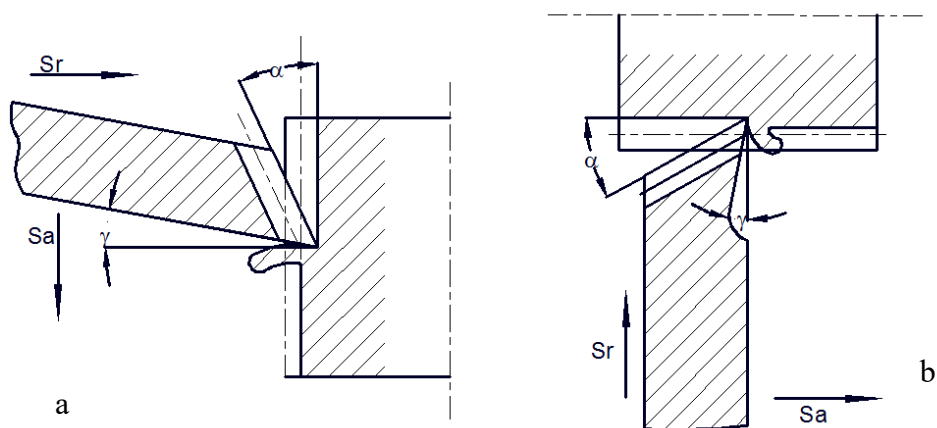


Fig. 3.32

E de remarcat că prin mortezare se pot realiza diferite tipuri de dinţi ale roţii sau cremalierii; ca urmare şi cuţitele de mortezat au profile foarte diferite.

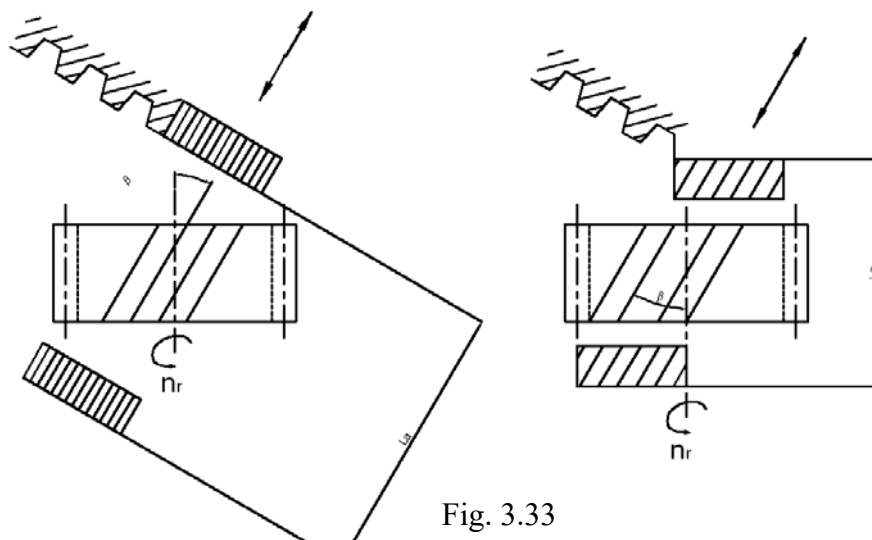


Fig. 3.33

În cazul danturilor elicoidale, culisoul port-sculă se înclină cu unghiul β de înclinare al danturii (fig. 3.33). Se observă că la prelucrarea roților dințate cu dinți elicoidali, cu cuțit pieptene cu dantura dreaptă, este necesară o cursă mai mare de lucru $L\theta$.

La dantararea roților dințate prin mortizare cu cuțit-pieptene, precizia de prelucrare corespunde treptelor 6...7 de precizie, iar asperitatea suprafeței se află în domeniul $R_a = (1,6...6,3) \mu\text{m}$.

3.2.4. Danturarea roților dințate cu dantura pe interior prin mortezare

Roțile dințate cu dantura pe interior pot avea profilul dinților în evolventă, dar cel mai frecvent au profil trapezoidal, putând avea dinți drepi sau înclinați.

Prelucrarea roții se face în funcție de mărimea ei, forma constructivă și modul.

Procedeele tehnologice prin care pot fi prelucrate aceste tipuri de roți sunt: danturarea cu freze-mele modul prin metoda rulării sau prin mortezare cu sculă-roată sau cu un singur dinte.

În general, danturarea se realizează cu cuțitul-roată, care poate avea profilul evolventic sau trapezoidal, prin rulare continuă sau cu divizare și cu un singur cuțit.

Când se danturează cu un singur cuțit, prelucrarea se face prin divizarea dinte cu dinte.

E de menționat că centrarea piesei, care se danturează cu scula-roată, se face lateral cu ajutorul bridelor, deci, nu se pune problema centrării pe dorn, fapt ce impune o centrare foarte pretențioasă.

Scula poate avea dinți drepi sau înclinați (fig.3.33), ca urmare culisoul, în funcție de sculă și tipul danturii, trebuie reglat corespunzător.

La mortezarea danturilor interioare trebuie să se țină cont că poate să apară fenomenul de interferență al dinților sculei cu piesa la avansul axial sau cel radial, care face ca dinții sculei-roată să subție dinții roții.

De aceea, se impune necesitatea alegerii cuțitelor-roată pentru interior în funcție de numărul minim de dinți ai roții care se prelucrează și cremaliera de referință, pentru a evita fenomenul de subțiere (interferință).

Regimurile de așchiere se calculează la fel ca pentru danturile exterioare, dar, în general, viteza de

așchiere se admite mai mică cu 20...30% față de cea exterioară datorită condițiilor deosebite de generare a danturii interioare.

Precizia de prelucrare prin mortizare pe interior depinde atât de precizia sculei, cât și de precizia divizării și corespunde treptelor 6...7 de precizie, iar asperitatea suprafeței se află în domeniul $R_a = (3,2...6,3) \mu\text{m}$.

Mortezarea danturilor pe interior cu dinți dreپți sau înclinați se realizează pe aceleași mașini-unelte de utilizare exterioară la care se folosește lanțul cinematic diferențial, în special la danturarea interioară înclinată.

3.3. Danturarea roților dințate cilindrice prin presare volumică la rece

3.3.1. Elementele de bază privind danturarea prin presare volumică la rece

Realizarea danturilor prin presare volumică la rece face parte din procedeele pentru generarea suprafețelor dințate dintre care principalele sunt: copierea, rularea, trefilarea și extrudarea.

Din datele prezentate în literatura de specialitate rezultă că, la ora actuală, în ceea ce privește prelucrarea prin presare volumică la rece a pieselor cu dantură, cele mai favorabile rezultate s-au obținut la realizarea danturilor roților dințate cilindrice cu dantură dreaptă și înclinată a roților melcate, a arborilor canelați și a suprafețelor striate.

În cazul generării danturii prin copiere se folosesc scule speciale, construite cu profilul conjugat golului danturii ce urmează a fi obținut. În cadrul acestei metode, o extindere mai mare o are procedeul de deformare plastică la rece prin ciocănire, la care piesa semifabricat este fixată între vârfuri și execută o

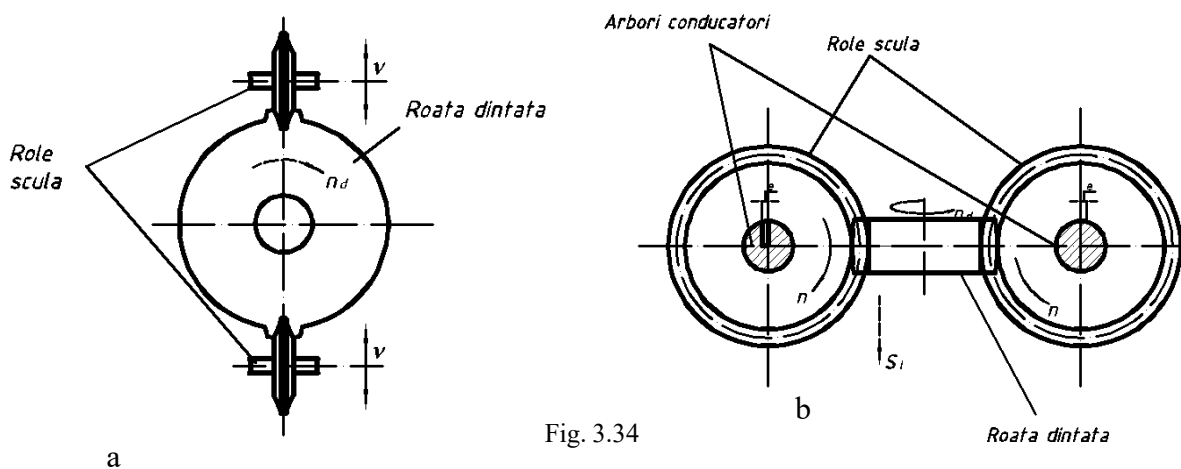


Fig. 3.34

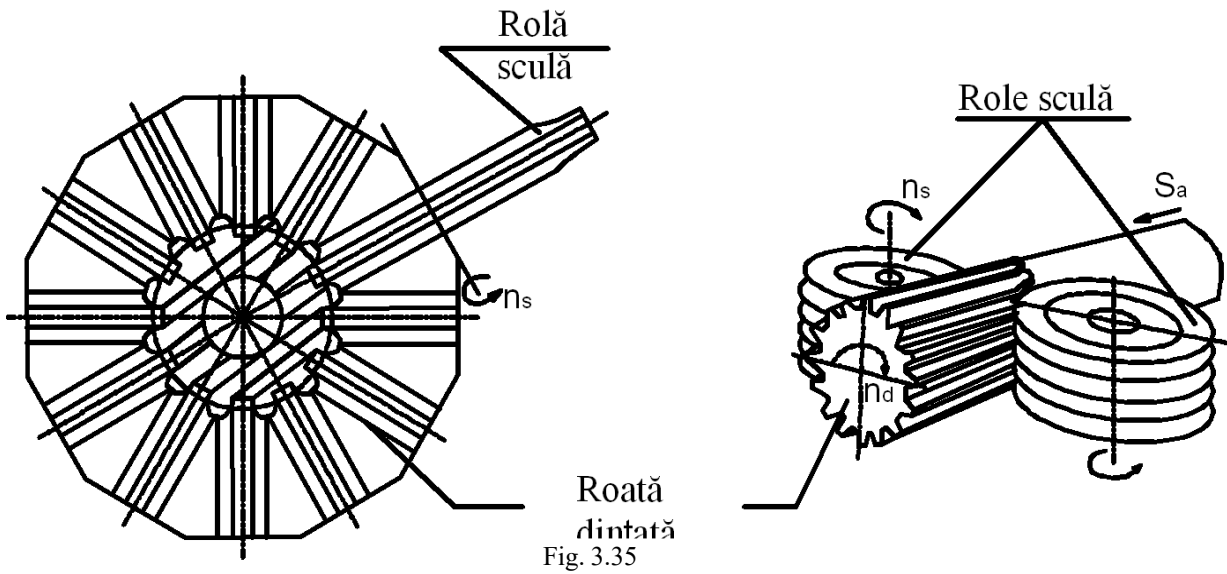
mișcare de rotație intermitentă pentru realizarea divizării n_d , precum și o mișcare de avans longitudinal S_l (fig.3.34a); ca scule se utilizează două role care execută o mișcare radială rectilinie alternativă V cu o frecvență de cca 1000...1400 c.d/min. Într-o altă variantă (fig. 3.34. b) rolele sunt fixate cu excentricitatea e în doi arbori simetrici care se rotesc cu turația $n = 1200...1500$ rot/min. și lovesc piesa la fiecare rotație, imprimându-se astfel profilul roților, identic cu profilul golului dintre dinți. În acest caz, piesa are o mișcare de rotație intermitentă pentru realizarea divizării n_d , precum și o mișcare de avans longitudinal S_l la sfârșitul fiecărei rotații complete.

Prelucrarea danturii prin rulare se poate realiza în două moduri:

- Prin deformare plastică profundă – cu afectarea întregii secțiuni a piesei. În acest caz (fig.3.35),

deformarea se realizează cu n cap de role profilate, cu număr egal cu cel al golurilor danturii ce se execută, rolele acționând simultan asupra semifabricatului roții.

Rolele au o mișcare de rotație n_s , iar semifabricatul o mișcare de avans axial. În cazul acestui procedeu se produc modificări ale structurii cristaline a materialului în toată secțiunea piesei, structura astfel obținută fiind defavorabilă solicitărilor statice și dinamice în exploatare.



- Prin deformare plastică succesivă (fig. 3.35), caz în care se acționează simultan două role față în față, care produc deformări parțiale (doar două goluri). Din punct de vedere al cinematicii, rolele au o mișcare de rotație n_s , iar semifabricatul o rotație continuă n_d și o mișcare de avans axial s_a . În acest caz, modificarea structurii cristaline se produce doar în zona danturată a semifabricatului.

Prelucrarea danturii prin trefilare se aplică în special în cazul fabricației de serie a roților dințate cu dinți drepți cu diametre de până la 80...85 mm (fig.3.36).

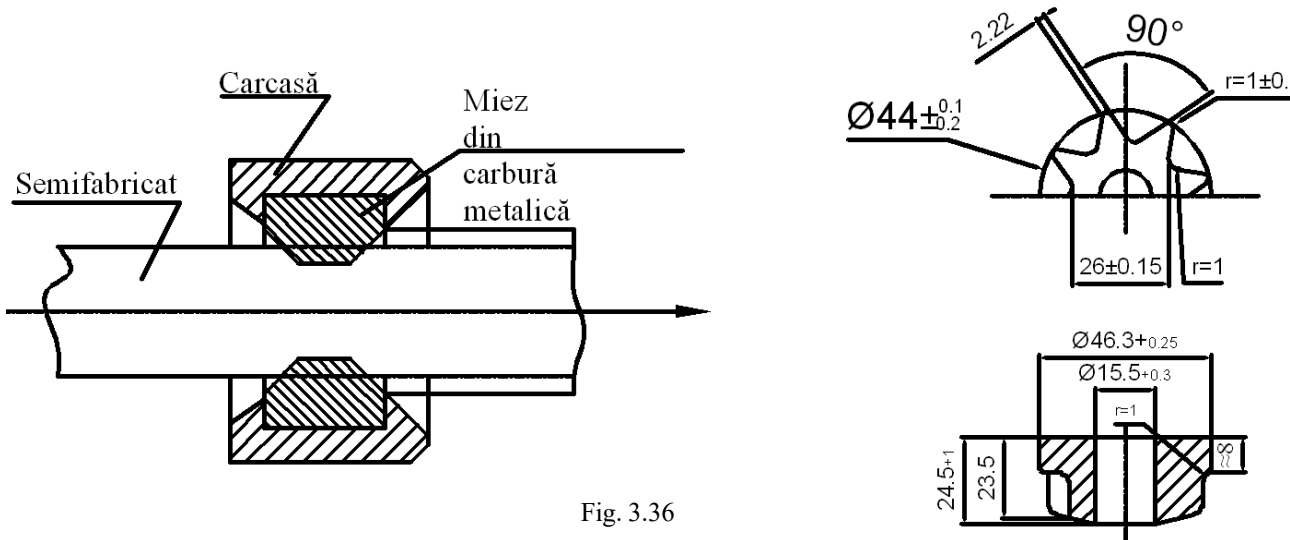


Fig. 3.36

Filierele de trefilat sunt de fapt roți dințate (din carburi metalice) cu dantura pe interior. Semifabricatul tras va avea dantură pe toată lungimea roților dințate, fiind obținute ulterior prin debitare.

Extrudarea pieselor cu dantură se aplică în special în cazul obținerii roților dințate din pulberi metalice sinterizate, dar și în cazul altor piese cu dantură din oțeluri crom-nichel (fig.2.36). Schema principală de lucru este aproape similară cu a trefilării, cu deosebire că în acest caz semifabricatul este împins prin matrița de extrudare.

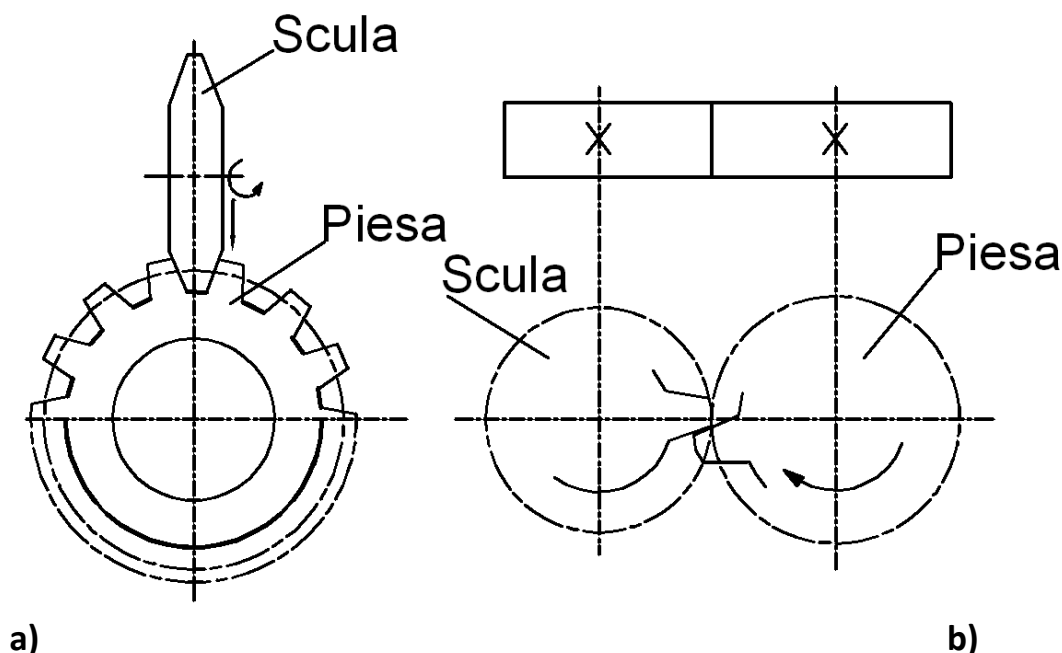


Fig. 3.37

3.3.2. Mașini-unelte pentru danturarea prin presare volumică la rece

Mașinile-unelte utilizate la prelucrarea danturilor prin presare volumică la rece, și în special, cele pentru rulare trebuie să satisfacă o serie de condiții privind precizia și rigiditatea lor. Astfel, rectilinitatea și paralelismul ghidajelor nu trebuie să depășească 0,02 mm pentru o lungime de 1000 mm, iar neparalelismul axului principal cu planele de deplasare ale cărucioarelor nu trebuie să depășească 0,01 mm pe lungimea de 300 mm.

În general, construcția acestor mașini-unelte, din punct de vedere cinematic, nu se deosebește de construcția mașinilor-unelte de prelucrare prin așchiere, ținând cont în primul rând de tipul legăturilor cinematice dintre sculă și piesă, și anume: deschisă (fig. 3.37, a) sau închisă (fig.3.37, b).

Prin construcția lor, mașinile-unelte de prelucrare a danturilor prin presare volumică la rece trebuie să asigure funcționarea corespunzătoare a sistemului tehnologic sculă-piesă în funcție atât de numărul și de tipul sculelor utilizate, cât și de cinematica specifică a acestora.

În aceste condiții, construcția mașinilor respective este corepunzătoare schemelor de prelucrare tipice, dintre care cele mai des întâlnite sunt următoarele: cu scule tip cremalieră (fig.3.38, a) cu care se pot obține roți dințate cu diametre de până la 75 mm și lungimi de până la 100 mm; cu scule tip roți dințate cu una (fig.3.38, b), două (fig.3.38, c) sau trei roți dințate cu mișcare de avans (fig.3.38, d...f) imprimată piesei sau

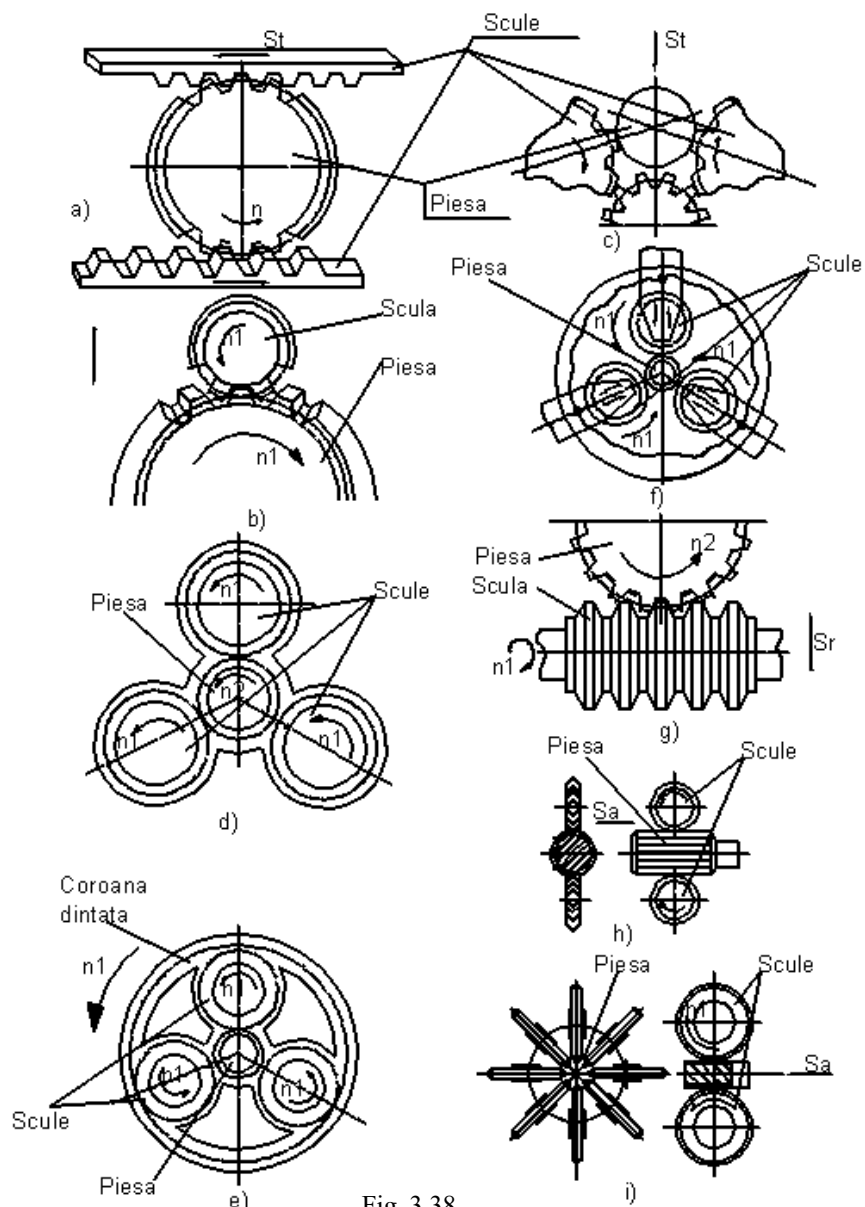


Fig. 3.38

sculei pe direcția axială s_a , radială s_r sau tangențială s_t , cu o sculă sau două scule-melc (fig.3.38, g) pentru prelucrarea roților melcate: cu două scule simetrice (fig.3.38, h) sau cu scule multiple pentru prelucrarea canelurilor (fig.3.38, i).

3.3.3. Tehnologii și regimuri de prelucrare la presarea volumică la rece

La ora actuală, pe plan mondial se remarcă o tot mai mare diversificare a metodelor și procedeeelor de realizare a danturilor prin presare volumică la rece, marea majoritate referindu-se la danturile roților dințate cu dinți drepecți, a roților melcate și a celor pentru transmisiile în lanț (fig.3.39), precum și a danturilor pinioanelor cilindrice cu dinți drepecți (fig.3.40).

Trebuie remarcat că în literatura de specialitate apar cu precădere soluții constructive ale echipamentelor, dispozitivelor și sculelor utilizate, precum și rezultatele experimentale ale cercetărilor efectuate, însă fără o justificare detaliată, pe baza unor cercetări teoretice corespunzătoare, datorită în special complexității fenomenologice deosebite a acestor procedee.

Ca urmare, parametrii regimurilor de prelucrare prin presare volumică la rece a danturilor se stabilesc în general experimental, în funcție de metoda de prelucrare aleasă.

Dintre componentele regimului de prelucrare cu cea mai mare influență asupra desfășurării procesului de deformare are viteza periferică și avansul axial sau radial al roților-sculă. De exemplu, cercetările experimentale efectuate la prelucrarea roților dințate din alamă (fig. 3.41, a) și din aluminiu (fig. 3.41, b) cu modulul $m = 1$ mm au evidențiat creșteri atât ale mărimilor componentelor forței de presare axiale P_x și radiale P_y , cât și ale puterii consumate N , odată cu creșterea mărimi avansului axial s_a al roților-sculă.

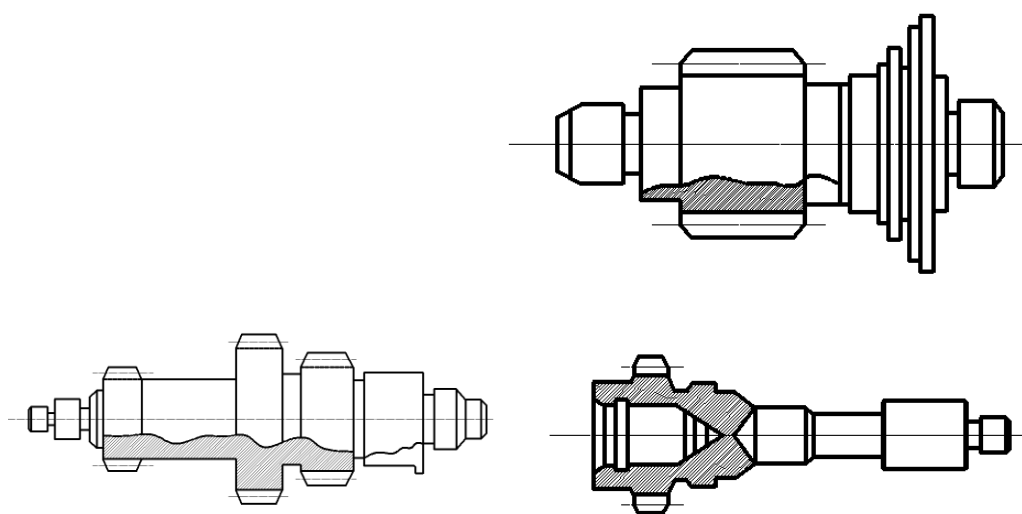
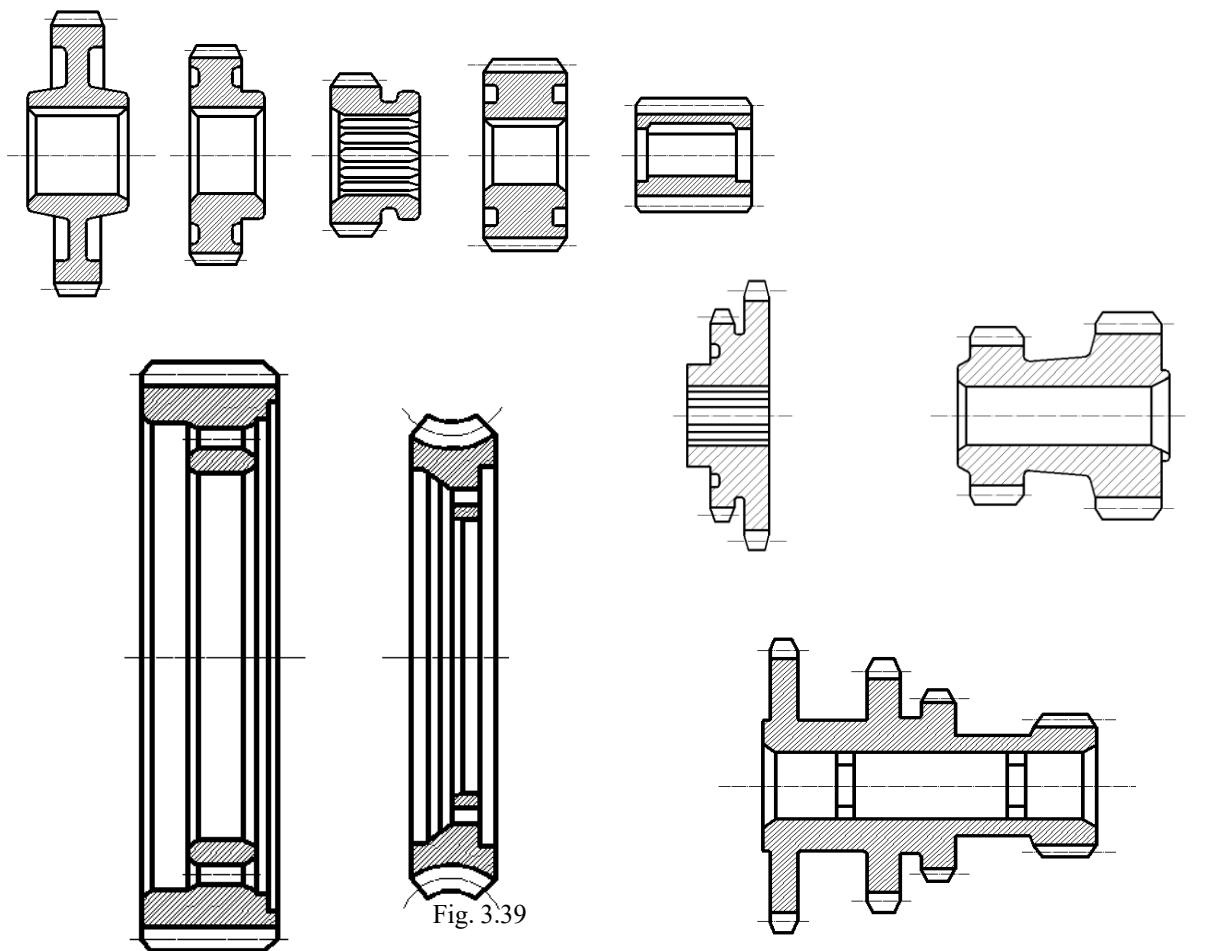


Fig. 3.40

Viteza periferică optimă pentru rularea roților dințate de modul mic și diametre cuprinse în intervalul (6...60) mm este de (3...30) m/min. pentru oțel, ajungând până la 100 m/min în cazul rulării roților dințate din materiale neferoase.

În ceea ce privește mărimea avansului, se recomandă să nu depășească 0,5 mm/rot. în cazul rulării roților dințate din materiale neferoase și 0,2 mm/rot. în cazul celor din oțel.

La prelucrarea cu scule de tip cremalieră a danturilor se recomandă viteza de rulare $V_r = (0,1 \dots 0,3)$ m/s. Trebuie remarcat faptul că la ora actuală se desfășoară tot mai intense cercetări experimentale în vederea analizei influenței diferiților parametri asupra caracteristicilor procesului de deformare.

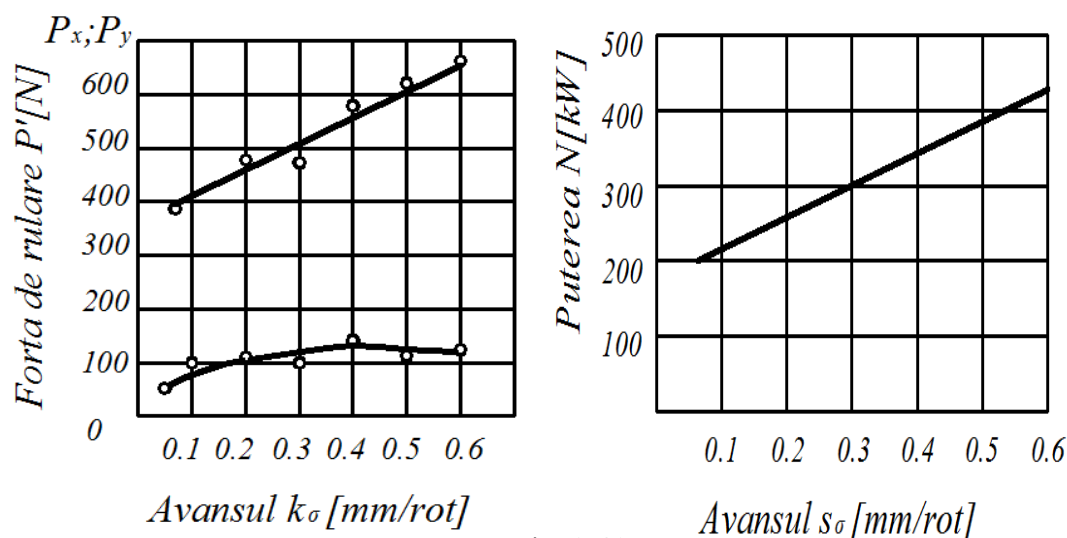


Fig. 3.41 a

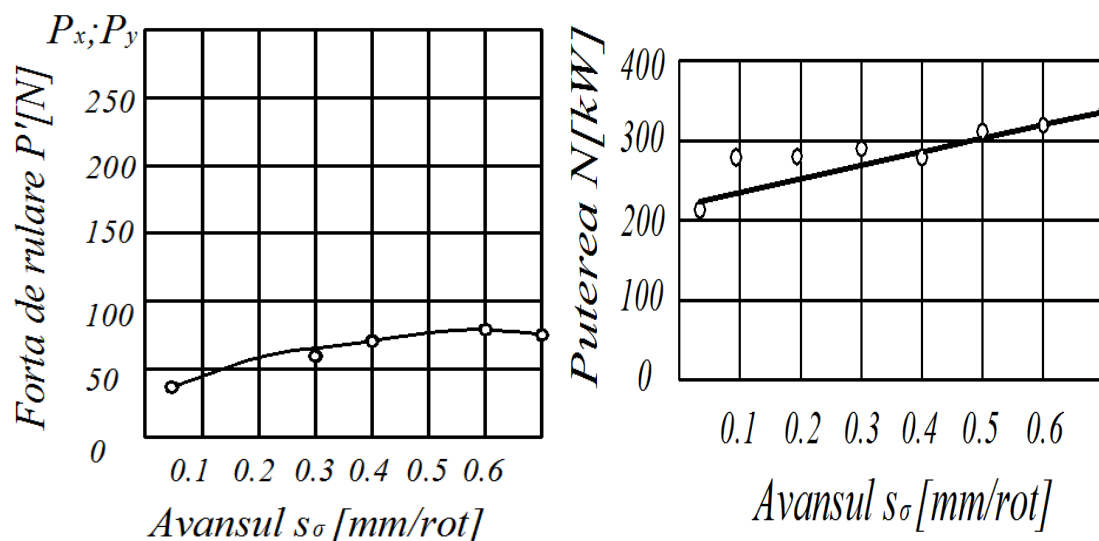


Fig. 3.41 b

3.4. Danturarea roților pentru lanțuri articulate cu role

Diversitatea mecanismelor utilizate în construcția de mașini impune utilizarea unei game tipodimensionale de lanțuri articulate cu role sau curelele cu dinți, care sunt antrenate de roți pentru lanțuri articulate cu role (roți de lanț). Roțile specifice acestor transmisii sunt reglementate prin STAS 5006-82,

STAS5174-66, în corelație cu recomandarea ISO/R-606.

E de subliniat că normativele în vigoare nu stabilesc un profil concret al danturii, ci două profile limită între care trebuie să se încadreze profilul nominal și efectiv. Forma profilului nominal și toleranțele lui, care sunt prescrise în standard, se stabilesc de întreprinderea producătoare de scule pentru danturat roți de lanț, cu condiția ca profilul obișnuit prin danturare să se încadreze între cele două profile.

Această considerație are la bază faptul că profilul nominal depinde în mare măsură de procedeul tehnologic de danturare. Astfel, danturarea roților pentru lanțuri articulate cu role se poate realiza prin rostogolire cu freză-melc sau prin copiere prin diferite procedee.

3.4.1. Danturarea roților pentru lanțuri articulate cu role prin metoda copierii

Procedeul de danturare a roților pentru lanțuri articulate cu role prin metoda copierii constă în realizarea golurilor dintre dinți prin transpunerea profilului muchiilor așchietoare ale sculei pe semifabricat: scula trebuie să vină în contact permanent cu semifabricatul pe toată lungimea profilului dintelui.

Formarea profilului pe întreaga lungime a dintelui se obține fie prin deplasarea semifabricatului de-a lungul sculei, fie prin deplasarea sculei universal pe semifabricat, caz în care roțile de lanț se prelucreează în pachet de 10...12 bucăți, în funcție de grosimea acestora. Realizarea individuală a fiecărui dinte constituie originea impreciziei de pas a roților de lanț, întrucât se transmit, în mod inevitabil, erorile cumulate de pas, acestea ajungând la valori care micșorează fiabilitatea, silențiozitatea și precizia de transmitere a mișcării lanțului.

Mașinile-unelte utilizate sunt mașina de frezat orizontal sau mașina de frezat universal. Precizia de prelucrare depinde și de precizia sculei așchietoare. Astfel, se folosesc freze-disc și freze-deget special construite pentru frezarea roților de lanț. Execuția precisă sau foarte precisă a acestor scule, fiind legată de o serie de dificultăți, profilul acestora însă nu se poate rectifica. Rezultă că precizia roților de lanț prelucrate prin metoda copierii este redusă. Deși utilizarea acestei metode este limitată, danturarea prin copiere poate fi folosită cu succes în fabricația de serie mare și de masă pentru executarea operației de degroșare, urmând ca operația de finisare să se execute prin rulare.

3.4.2. Danturarea roților pentru lanțuri cu role cu freza-melc prin rulare

Procedeul de danturare a roților pentru lanțurile articulate cu role cu freza-melc prin rulare este cel mai utilizat, asigurând o precizie și o productivitate ridicată. Scula utilizată este freza-melc (fig. 3.42), având profilul dintelui conform STAS 5006-82; roțile sunt folosite la transmisii prin lanțuri articulate cu role de uz general cu zale scurte sau lungi.

În acest procedeu, atât freza-melc pentru roțile de lanț, cât și semifabricatul roții execută mișcări de rotație continuă și uniformă, fără a mai fi nevoie de mișcarea de divizare și de mișcarea de reducere în poziție inițială. La un număr de rotații ale frezei-melc, egal cu numărul de dinți ai roții de lanț prelucrat, care în acest interval de timp face o rotație, scula a trecut odată peste toți dinții aceștia. Și în acest caz este necesar să fie realizată relația cinematică de angrenare între freza-melc și roata dințată.

Pentru prelucrare, roțile de schimb se calculează prin relația:

$$\frac{B_s}{A_s} = i_s \frac{Z_s}{Z_r} \quad (3.8)$$

Procedeul de danturare a roților pentru lanțuri articulate cu role cu freza-melc prin rulare este identic cu al frezării roților dințate cilindrice și roților melcate, în care frezele sunt diferite. Unul din marile avantaje ale frezelor-melc pentru roți de lanț rezultă din proprietatea cremalierii de a „angrena” cu orice număr de dinți din aceleași pas; ca urmare, cu aceeași sculă se pot prelucra roți cu un număr diferit de dinți.

3.5. Danturarea cremalierelor

Cremalierile sunt organe de mașini pentru transmiterea și transformarea mișcării la o gamă variată de mecanisme, dispozitive etc. Ele pot avea dinții drepecți, înclinați sau în V.

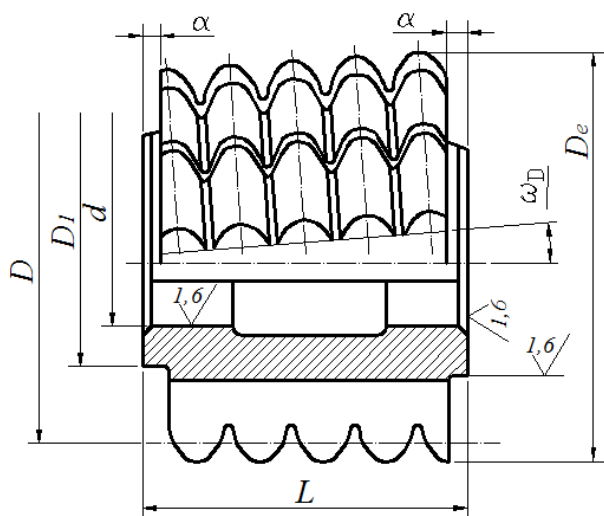
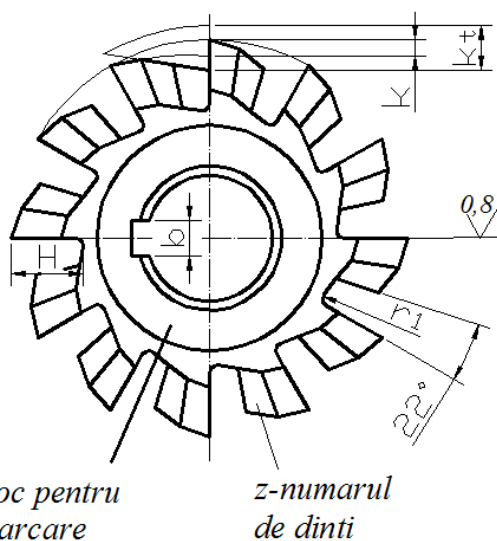


Fig. 3.42



Sectiunea normala a profilului

Sectiunea axiala a profilului

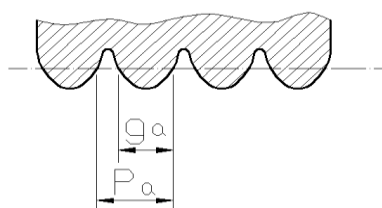


Fig. 3.43

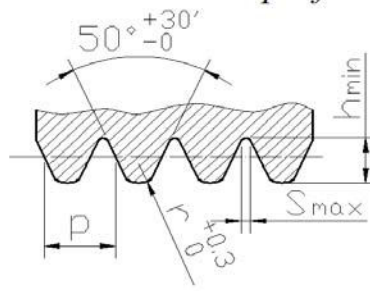


Fig. 3.44

Danturarea cremalierelor se poate realiza pe mașini de frezat orizontale, verticale și unuversale (prin metoda copierii) sau pe mașini de mortizat cu cuțite profilate (prin metoda copierii) sau cu cuțit roată de mortizat (prin metoda rostogolirii).

În cazul producției de unicat sau module mari, cremalierile se pot executa prin rabotare cu cuțite profilate. De asemenea, cremalierile de module mici, în cazul producției în serie, se pot executa prin ștanțare de precizie.

3.5.1. Danturarea cremalierelor prin copiere

În funcție de posibilitățile de lucru ale mașinilor de frezat, verticale sau universale, orientarea și fixarea

semifabricatului se poate face după oricare din direcțiile amintite. În schimb, când danturarea se face pe mașini de frezat orizontale sau universale, cu freza-disc modul, orientarea și fixarea semifabricatului nu poate fi făcută decât cu flancurile dintelui paralele cu direcția avansului longitudinal. În acest caz, divizarea de la dinte la dinte se face utilizând avansul universal al mașinii cu folosirea jocurilor de cale sau comparatoare, în scopul realizării unei divizări cât mai precise.

Pentru cremalierile de precizie mică se poate considera suficient de bună divizarea realizată cu ajutorul diviziunilor înscrise pe tamburul manetei de la avansul longitudinal sau transversal al mașinii de frezat.

În cazul cremalierelor de precizie ridicată, divizarea se face cu alte mijloace, mai precise, în funcție de dotarea secției sau uzinei care face prelucrarea.

Astfel, mașina-unealtă de frezat este echipată cu un cap divizor 1 fixat la una din extremitățile mesei 2, realizând cuplarea acestuia cu șurubul conducător (al mesei) 3, care are pasul P_s , prin intermediul roților de schimb A și B (fig.3.45).

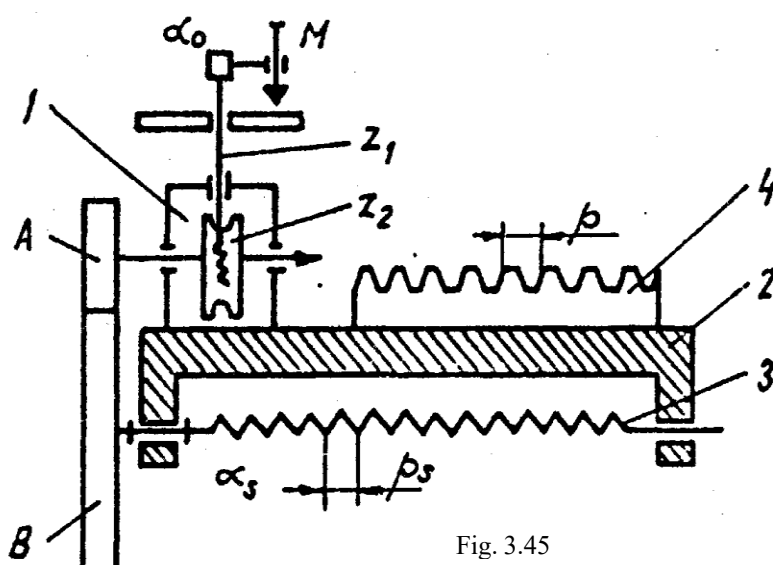


Fig. 3.45

Cu ajutorul manetei M fixată pe axul melcat Z_1 și al roții melcate Z_2 se transmite mișcarea de rotație la roțile de schimb A și B care vor roti șurubul conducător (al mesei) 3, ce va deplasa masa mașinii-unelte în sensul în care se face divizarea.

Pentru realizarea divizării rectilinii este necesar ca, după fiecare ciclu de prelucrare a unui dinte, masa mașinii-unelte pe care se găsește cremaliera să fie deplasată cu o mărime egală cu pasul P_c , se poate scrie relația:

$$\alpha_s = 360^\circ \frac{P}{P_s} \quad (3.9)$$

Unghiul cu care trebuie rotită maneta M, a capului divizor pentru deplasarea mesei cu un pas P_c , are expresia:

$$\alpha_0 = \alpha_s \frac{A^2 2}{B Z_1} \quad (3.10)$$

Notînd cu $k = Z_2/Z_1$ (caracteristica capului divizor) și înlocuind în relația (2.10) se obține:

$$\alpha_0 = 360^\circ \frac{P}{P_s} \frac{B}{A} k \quad (3.11)$$

Unghiul α_0 poate definit și prin raportul:

$$\alpha_0 = 360^n \frac{g}{G} \quad (3.12)$$

În care G reprezintă numărul total de găurit al discului capului divizor, iar n_g este numărul de găurit peste care se trece maneta M pentru deplasarea mesei cu un pas p .

În acest caz relația (2.11) va avea forma:

$$\frac{n_g}{G} = k \frac{p}{p_s} \frac{B}{A} \quad (3.13)$$

Dacă se exprimă pasul p în funcție de modulul cremalierii m relația (2.13) are expresia:

$$\frac{n_g}{G} = \frac{\pi m k}{p_s} \frac{B}{A} \quad (3.14)$$

Înlocuind valoarea lui $i = A/B$ se obține relația

$$\frac{n_g}{G} = \frac{\pi m k}{p_s} \frac{1}{i} \quad (2.15)$$

Calculul celor două (patru sau șase) roți de schimb (adică raportul i) se face astfel considerîndu-se că pentru deplasarea mesei pe distanța unui pas P_c de modul $m = 1$, la o rotație completă a manetei M ($n_g = G$), se poate scrie relația

$$1 = \frac{\pi k l}{p_s} \frac{1}{i} \quad (3.16)$$

Din relația (6,8) rezultă raportul:

$$1 = k \frac{\pi}{p_s} \quad (3.17)$$

Numărul π poate fi realizat practic prin diferite rapoarte de roți dințate astfel:

$$\pi = 22 / 7 = 3,142815; \quad \pi = (5 \cdot 71) / 113 = 3,141592$$

Ținând cont de relația (2.15) și cea a raportului (2.17), care indică numărul de găurit n_g , peste care trece maneta M pe discul G găurit, pentru deplasarea mesei cu un pas rezultă:

$$n_g = mG \quad (3.18)$$

La danturarea cremalierelor cu dinți înclinați (fig.2.46) este necesară rotirea mesei cu unghiul β de înclinare al danturii. Divizarea rectilinie se face ca în cazul danturării cremalierelor cu dinți drepecți, fiind valabile relațiile de calcul, ținînd seama de pasul normal P_N în planul $N-N$, perpendicular pe flancurile cremalierii.

Operația de divizare se poate obține mai precis cu ajutorul calelor calibrate. Acestea se grupează în seturi de lungime corespunzătoare ale unui pas p (fig. 3.47), introducându-se între opritorul fix și cel mobil al mesei mașinii de frezat. După frezarea golului unui dinte al cremalierii se extrage unul dintre seturile de pas și se face

avansarea mesei până la contactul opritorului în setul următor.

Reglarea contactului dintre opritorul mobil și setul de cale se face cu ajutorul unei lamele de interstiții calibrată inițial.

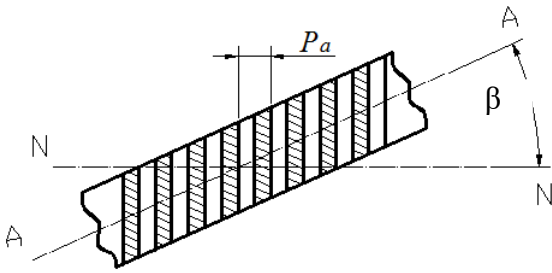


Fig. 3.46

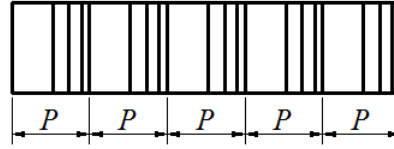


Fig. 3.47

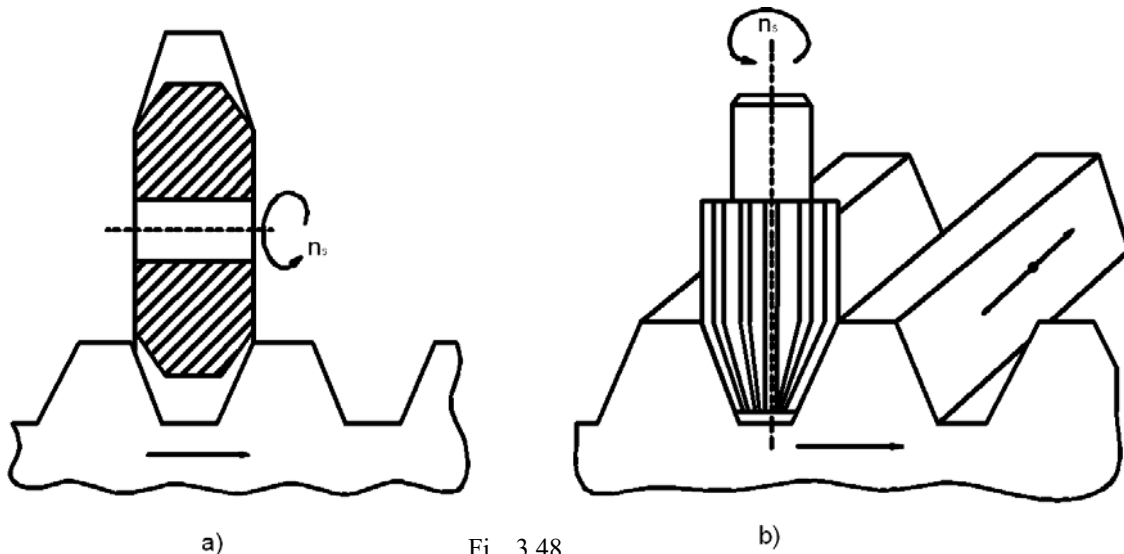
În funcție de modulul cremalierii, prelucrarea ei se poate realiza în două faze, una de degroșare și una de finisare sau din mai multe treceri de degroșare și una de finisare.

Pentru operațiile de degroșare cu freză-disc sau freză-deget modul (3.48) nu se impune o divizare de precizie, dar pentru fazele de finisare se impune ca divizarea să fie făcută cu o precizie mai ridicată.

3.5.2. Danturarea cremalierelor prin mortizare cu cuțite profilate

Cremalierile cu dinții drepecți sau înclinați pot fi prelucrate prin copiere prin mortzare, cu un singur cuțit-pieptene, cât și prin cuțit-roată de mortzat.

Tehnologia mortzării sau rabotării cu un singur cuțit impune ca în prealabil să se execute trasarea dinților cremalierii după șablon sau (în cele mai multe cazuri) prelucrarea direct după șablon. Aceasta datorită faptului că fiecare gol se realizează din mai multe treceri de degroșare și numai finisarea impune două-trei treceri, cu cuțite adecvate pentru fiecare în parte, ceea ce conduce la realizarea unei rugozități superioare celei obținute prin frezare ($R_a = 1,6...3,2 \mu m$). Acest procedeu se aplică, în general, la producția de unicat în serie mică și când nu se impune obținerea unei precizii ridicate.



Fi . 3.48

Pentru cremalierile cu dinți dreți sau înclinați care reclamă o precizie ridicată, prelucrarea se realizează pe mașini speciale de mortezat cu cuțit-pieptene (fig. 3.49) și care permit ca semifabricatul să fie deplasat (divizat) cu lungimea pe care o impune scula-pieptene după un ciclu de lucru. În acest scop, mașina este prevăzută cu dispozitivele necesare acestei operații de divizare.

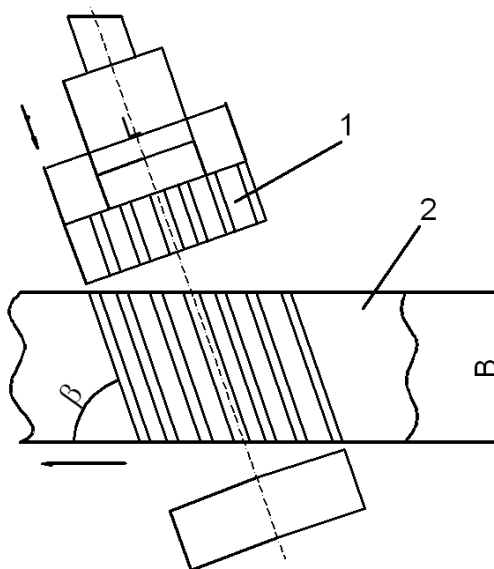


Fig. 3.49

Prelucrarea simultană a unui număr mare de dinți depinde de lungimea sculei: prelucrarea se face din mai multe treceri, în special pentru modulele mai mari. În timp ce scula are o mișcare alternativă, pentru a parcurge și a depăși lățimea semifabricatului, după fiecare cursă dublă a sculei, semifabricatului i se imprimă un avans pe direcția de lucru, perpendicular pe sculă.

Mărimea avansului depinde de modulul și materialul de fabricat: acest avans poate ajunge la $s = 0,11 \dots 0,27$ mm/c.d., iar vitezele de așchiere ajung la valori de 15...30 m/min pentru degroșare; pentru finisare vitezele de așchiere ajung la valori de 50...60 m/min.

Pentru cremalierile cu dinți înclinați, la mașină se poate înclina capul acesteia într-un sens sau altul, așa cum sunt înclinați dinții cremalierii. Prelucrarea se face asemănător numai că cuțitul-pieptene poate avea dinți dreți sau înclinați. Când aceasta are dinți dreți, cursa de lucru rectilinie-alternativă crește foarte mult. Acest fenomen este legat direct atât de numărul de dinți ai sculei, respectiv de lungimea ei, cât și de unghiul β de înclinare a dinților cremalierii. Deci, trebuie ca toți dinții sculei 1, să intre și să iasă succesiv din semifabricatul 2 (fig.3.49). Utilizarea cuțitelor-pieptene cu dinți înclinați corectează acest dezavantaj al sculelor cu dinți dreți, fapt pentru care în producția în serie este indicat a se utiliza scule-cremalieră cu dinți înclinați.

3.5.3. Danturarea cremalierelor prin mortezare cu cuțite-roată prin rulare

Rezultate deosebite privind productivitatea, precizia și rugozitatea flancurilor se obțin la prelucrarea cremalierelor cu dinți dreți sau înclinați, cu scula-roată pe mașini de mortezat dantura. Acest procedeu permite realizarea prelucrării continue prin rulare, eliminându-se operația de divizare dinte cu dinte.

În acest scop, mașinile-unelte sunt echipate cu un dispozitiv auxiliar de tip masă cu deplasare rectilinie continuă. Deoarece la danturarea cremalierelor rularea se produce între cerc și o dreaptă, reglarea lanțului cinematic de rulare – divizarea nu se mai face prin relația cunoscută pentru danturarea roților dințate, cilindrice. În acest caz, trebuie stabilită relația dintre viteza de deplasare v_p a semifabricatului cremalierii și turația sculei-roată n_s ; aceasta se poate scrie în forma:

$$v_p = C_R i_r n_s \text{ [mm]}. \quad (3.19)$$

Din relația (3.19) se calculează roțile de schimb pentru lanțul cinematic cu raportul i_r astfel:

$$i_r = \frac{I v_p}{C_R n_s} \quad (3.20)$$

Înlocuind raportul v_p/n_s , prin expresia legată de modul și numărul de dinți ai sculei-roată z_s , rezultă relația:

$$v_p / n_s = \pi m z_s . \quad (3.21)$$

Cursa de rulare a cuțitului-roată care de fapt reprezintă deplasarea semifabricatului se poate calcula după cazuri (3.50, a și b).

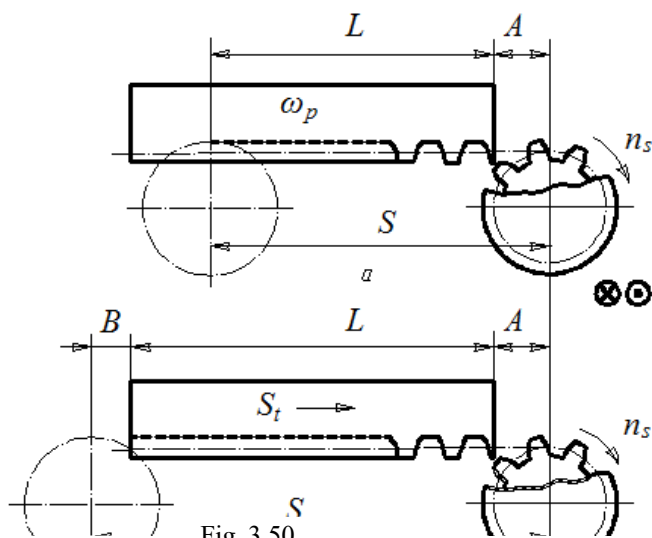


Fig. 3.50

În primul caz, când scula nu danturează întregul semifabricat L , cursa de rulare S se calculează ținând cont de diametrul sculei-roată care determină mărimea A și are valoarea:

$$S = (A + L) i \text{ [mm]}, \quad (3.22)$$

în care i este numărul de treceri; pentru module mici, $i = 1$, iar pentru module mari $i = 3 \dots 4$ sau mai mult.

Între treceri revenirea la poziția inițială, de începere a prelucrării, se face păstrând legătura cinematică dintre rotația cuțitului și deplasarea cremalierii. Cremaliera cu dantura în V poate fi monobloc și se obține numai prin mortezare cu cuțit-pieptene sau roată; ea poate fi realizată din două cremalieri simple, acestea având o înclinație într-un sens, cealaltă în celălalt sens, după care sunt asamblate.

3.6. Finisarea roților dințate cilindrice

Noile necesități tehnologice contemporane impun realizarea unor angrenaje dințate capabile de a lucra cu

viteze și încercări ridicate, în condițiile asigurării uniformității în mișcare, stabilitatea la vibrații și silențiozitate.

Aceste noi cerințe reclamă fabricarea roților dințate din oțeluri de bună calitate supuse în majoritatea cazurilor tratamentelor termice de durificare a flancurilor dinților acestora. Astfel, se impune ca aceste roți dințate să fie supuse unor operații de netezire a flancurilor prin rectificare, șeveruire, honuire, lepuire etc. În final trebuie să asigure o precizie și o rugozitate corespunzătoare a flancurilor. Treapta de precizie se alege în general atât după viteza periferică a roții dințate (tab. 3. 4), cât și după condițiile de funcționare concrete.

Tabelul 3.4. Alegerea treptei de precizie în funcție de viteza periferică

| Viteza periferică | 0...2 | 2...5 | 5...10 | 10...40 | Peste 40 |
|---|---------|--------|--------|---------|----------|
| Treapta de precizie pentru dinții drepți | 9...10 | 7...8 | 5..6 | 4 | - |
| Treapta de precizie pentru dinții înclinați | 11...12 | 9...10 | 7...8 | 5...6 | 4 |

3.6.1. Rectificarea roților dințate cilindrice prin copiere

Rectificarea roților dințate cilindrice se efectuează în cazurile în care roțile sunt tratate termic și revenite sau când sunt executate dintr-un material dur (carburi metalice) și se cere o precizie ridicată.

Operația de rectificare este în general costisitoare datorită faptului că se realizează printr-un număr relativ mare de treceri. Ca urmare, se impune, indiferent de modul de rectificare, ca adaosul de prelucrare pe flancurile dinților să fie cât mai posibil.

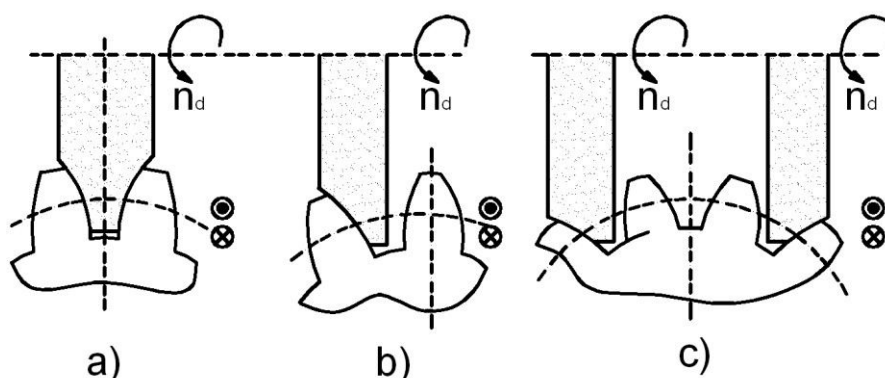


Fig. 3.51

În cazurile în care flancurile sunt cementate, călite, apoi revenite, trebuie avut în vedere faptul că are loc o creștere a adaosului de prelucrare ca urmare a creșterii stratului carburat.

În practică sunt cunoscute următoarele metode de rectificare prin copiere:

a) rectificarea ambelor flancuri cu unul și același disc abraziv al cărui profil coincide cu profilul golurilor dinților (fig.3.51, a), piesa având avans axial, procedeu cunoscut cu denumirea de ORCUTT;

b) rectificarea flanc cu flanc cu unul și același disc abraziv al cărui profil este construit după forma flancului dintelui (fig.3.51, b), procedeu cunoscut cu denumirea de SFEDR;

c) rectificarea a două flancuri opuse, aparținând la doi dinți diferiți, cu două scule profilate după forma flancurilor (fig.3.51, c), procedeu cunoscut cu denumirea SCHAUD;

Profilarea discului abraziv se face cu trei diamante, 1, 2 și 3 (fig. 3.52), două pentru flancuri și unul pentru zona de la bază. Profilele flancurilor se copiază după șabloanele 4 și 5 cu ajutorul unor dispozitive de copiere.

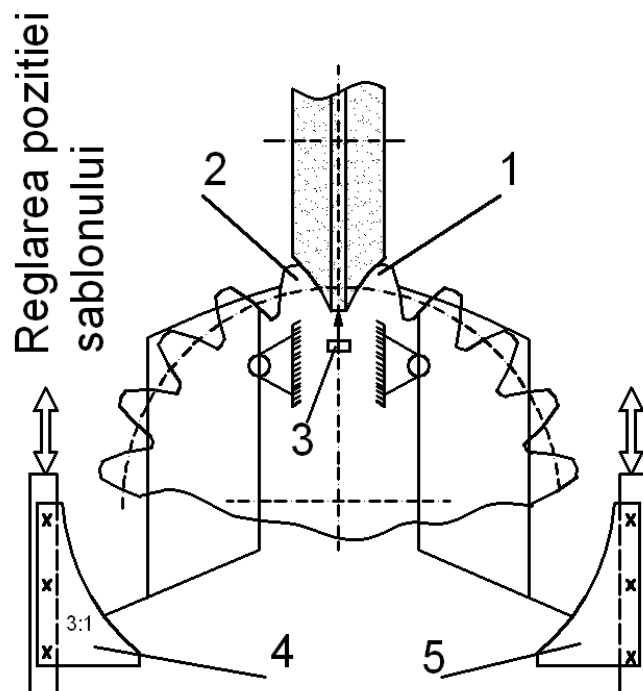


Fig. 3.52

Dispozitivul de copiere cu pantograf realizează copierea la scara 3:1 (sau 6:1), asigurând și reducerea erorilor la aceeași scară. Principalele neajunsuri ale procedurii – productivitatea relativ redusă și calitatea scăzută a suprafeței – se datorează faptului că, practic, cele două flancuri sunt materializate cu partea frontală a discului abraziv.

b) Rectificarea flanc cu flanc cu același disc abraziv al cărui profil este construit după forma flancului dintelui (fig.3.51, b), procedeu cunoscut cu denumirea de SFEDR. Discul abraziv materializează un singur flanc, dar în poziție dezaxată cu cota E (fig.3.53, a), ceea ce asigură plasarea mai favorabilă a profilului față de axa discului abraziv. Valorile maxime ale cotei E sunt limitate de faptul că discul poate interfera celălalt flanc al lobului.

Dacă se impune și rectificarea bazei golului (fig.3.53, c), atunci înclinării maxime a profilului, γ_m , îi corespunde concentricitatea maximă E_m , dată de relațiile:

$$E_m = R_i \sin \alpha_i \quad (3.23)$$

$$\gamma_m = \alpha_i + \frac{\pi}{2z} - e\nu\alpha + c\nu\alpha_i \quad (3.24)$$

în care: R_i este raza cercului interior, în mm; α și α_i – unghiurile de angrenare pe cercul de divizare și respectiv, cercul interior, în grade. Dacă se rectifică doar flancul, atunci excentricitatea maximă este E_m^I (3.53, d).

Mașinile-unelte, cunoscute sub denumirea SFEDR sunt echipate și pentru rectificarea interioară, centrică sau excentrică (fig. 3.53, b) a danturilor cu diametru de divizare $D = (160...350)$ mm.

Dispozitivul de diamantare ale discului abraziv are la bază un mod de aproximare a evolventei (fig. 3.54, a).

Tanagenta în T la cercul de bază rulează pe acest cerc. Două puncte M_1 și M_2 , aparținând tangentei, descriu evolventele E_1 și E_2 , ale căror raze de curbură sunt diferite $\rho_2 \neq \rho_1$. Ca urmare, în jurul punctului M_2 evolventa E_2 poate fi înlocuită cu un arc cu centrul în O_2 (fig. 3.54, b).

Diamantul 1 , plasat la capătul M_1 al tijei 3 , descrie suficient de exact evolventa E_1 . Reglarea dispozitivului pentru diferite profile constă în modificarea distanței O_1T și a coordonatelor centrului O_2 .

c) Rectificarea a două flancuri opuse, aparținând la doi dinți diferiți cu două scule profilate după forma flancurilor (fig. 3.51, c), procedeu cunoscut cu denumirea SCHAUD.

Păstrând avantajele de calitate datorită poziționării excentrice, se obține un plus de productivitate, prin prelucrarea simultană a ambelor flancuri.

Profilarea discurilor se execută cu diamantele 1 (fig.3.55) care, fiind solidare cu riglele 3 , rulează cu sectoarele 5 și descriu evolventele E_1 și E_2 .

Riglele 3 sunt legate de sectoarele 5 prin intermediul benzilor elastice 4 . Într-un sens, rularea riglelor este acționată de manetele 2 , iar în sens contrar, de cele două contragreutăți 6 legate prin fire de manetele 2 .

Rectificarea se realizează în toate cazurile prin treceri alternative după care se face divizarea dinte cu dinte.

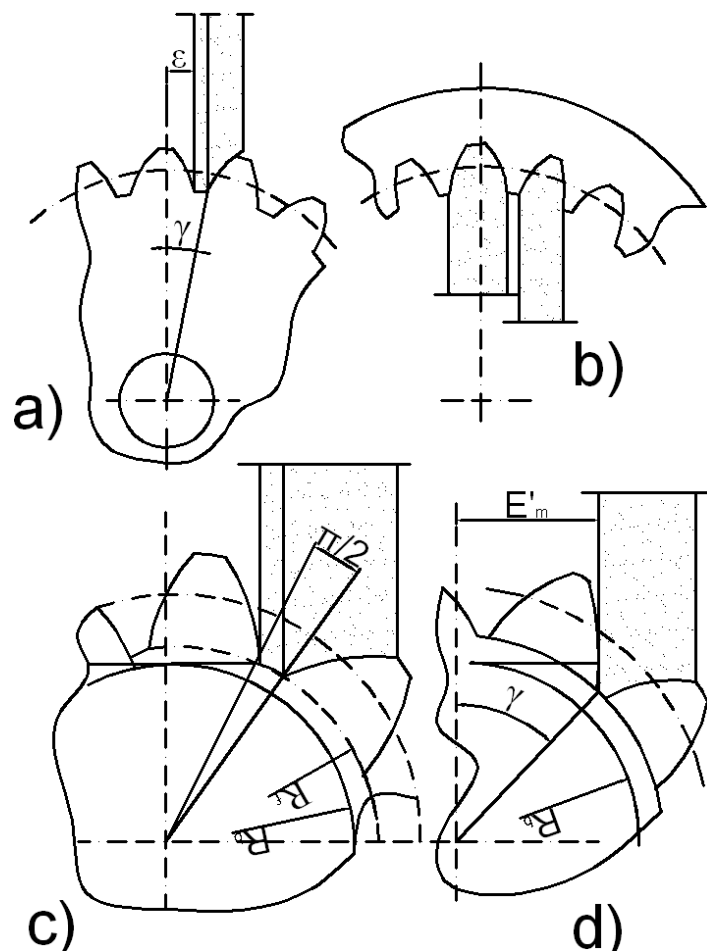


Fig. 3.53

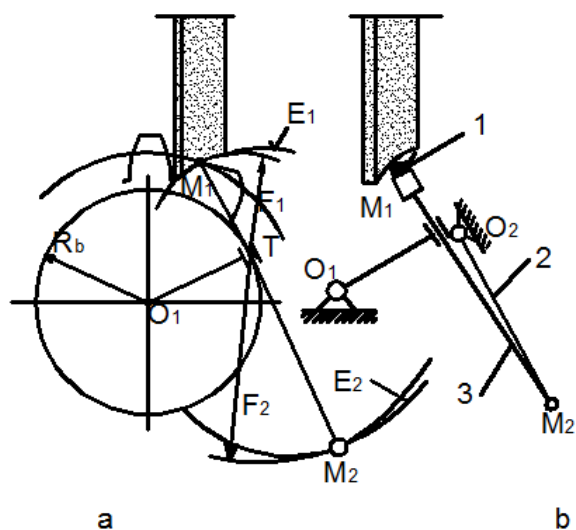


Fig. 3.54

După divizare este necesar ca după fiecare dinte sau după doi-trei dinți să se corecteze profilul discului abraziv. Adaosul pentru corectarea discului se compensează prin deplasarea verticală a discului sau a piesei. La rectificarea roților dințate cu dinți drepecți, mișcarea principală de așchiere este efectuată de către discul abraziv care asigură "o viteză de așchiere de 15...20 m/s, o mișcare de avans (în lungul flancului dintelui), o mișcare de avans vertical atât pentru reglarea la adâncimea de așchiere, cât și pentru compensarea adosului de corectare a discului abraziv.

În cazul rectificării roților dințate cu dinți elicoidali, în afară de mișcarea de avans pe lungimeaflancului, piesa trebuie să execute și o mișcare de rotație, astfel încât viteza de așchiere să rămână tot timpul tangentă la elicea dintelui. Dacă se notează cu v viteza mișcării de avans longitudinal și cu v_2 viteza mișcării circulare a piesei, rezultă următoarea expresie a unghiului de înclinare a danturii pe cilindrul de divizare:

$$v_2 / v_1 = \operatorname{tg} \beta_p . \quad (3.25)$$

În acest caz, este necesar ca discul abraziv și sistemul de corecție pantografic să fie înclinate după acest unghi. În ansamblu, rectificarea danturii comportă două etape: o rectificare de degroșare și o rectificare de finisare. Pentru rectificarea de finisare se lasă circa 15...30 adaos de prelucrare pe fiecare flanc, în funcție de modulul roții, iar pentru degroșare avansul de prelucrare poate fi de 30...50 μm pe flanc.

Ca succesiune tehnologică trebuie realizată degroșarea dinților din mai multe treceri (5-7). Ca urmare, și roata dințată va fi rotită de același număr de ori, după care se fac două-trei treceri de finisare, unde se recomandă ca adaosul pe trecere să nu depășească 4...5 μm .

Nu se recomandă prelucrarea dinte cu dinte la cota finală, deoarece în acest mod roata poate fi rebutată. Este recomandabil să se lucreze pe principiul rectificării simultane pe două flancuri, întrucât în acest mod se realizează și o echilibrare a forțelor de așchiere care apar în procesul de așchiere.

Regimurile de așchiere, în special adâncimea de prelucrare, precum și avansul axial trebuie să fie foarte bine determinate, în funcție de modul, pentru evitarea apariției pe flancurile dinților a microfisurilor sau a microarsurilor, care pot conduce la rebutare, în special la operațiile finale. Așadar, se recomandă răcirea abundentă cu lichide de ungere și de răcire. Trebuie evitat fenomenul de îmbăcsire a discului abraziv.

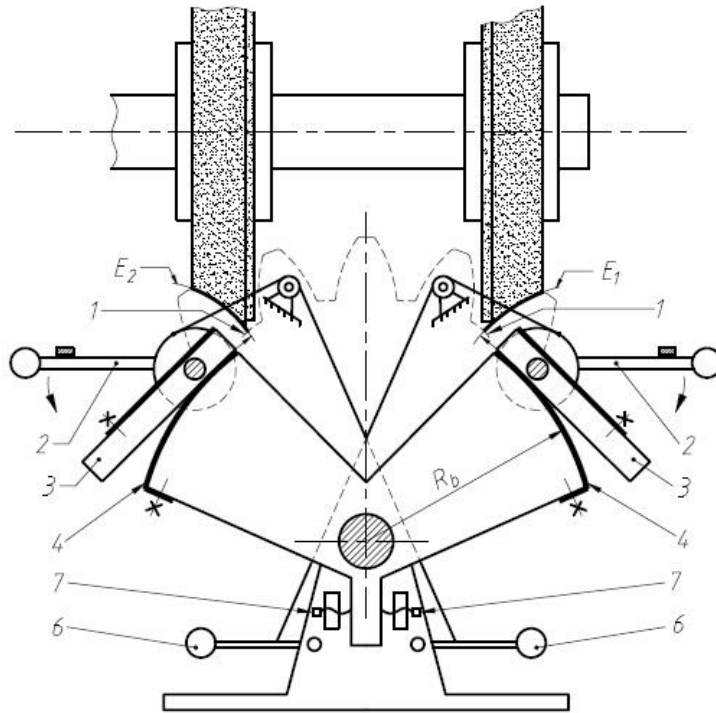


Fig. 3.55

Duritatea și granulația discului abraziv se aleg în funcție de natura materialului din care este fabricată roata dințată și de rugozitatea impusă flancurilor. În cele mai multe cazuri se recomandă utilizarea discului cu granulație mai mare pentru degroșare și cu granulație mai mică pentru finisare.

3.6.2. Rectificarea roților dințate cilindrice prin rulare cu un disc abraziv

Rectificarea roților dințate cilindrice prin rulare are la bază angrenarea dintre roata semifabricat și o cremalieră imaginată numită cremalieră generatoare materializată prin discurile abrazive. Ceea ce diferențiază procedeele de rectificare prin rulare este modul în care discul abraziv materializează profilul cremalierii generatoare (fig. 3.56).

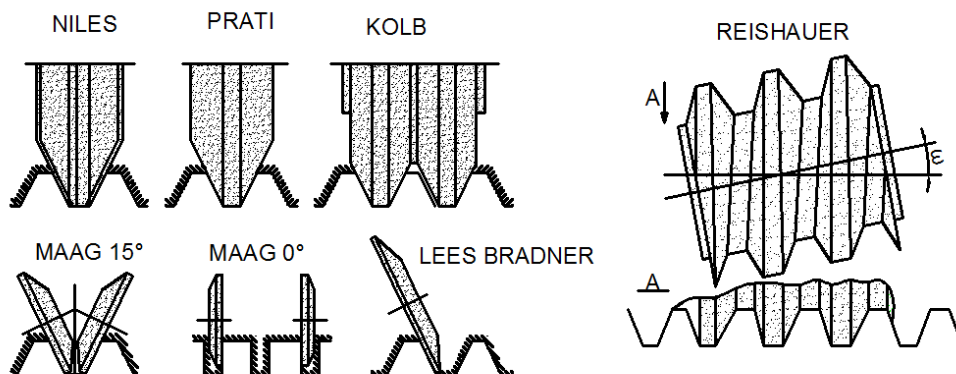


Fig. 3.56

Procedeul NILES se caracterizează prin faptul că discul abraziv are profil trapezoidal și execută o translație alternativă, materializând astfel dintele cremalierii generatoare.

Cinematica generării și modul de lucru pun în evidență trei variante ale procedurii MILES:

a) Varianta STANDARD (fig. 3.57) este caracterizată prin aceea că discul abraziv realizează succesiv flancurile unui dinte al cremalierii generatoare. Corespunzător, semifabricatul execută mișcarea de rulare compusă din rotația w și translația W dată de relația:

$$W = \omega R_p \quad (3.26)$$

în care R este raza de rulare, mm.

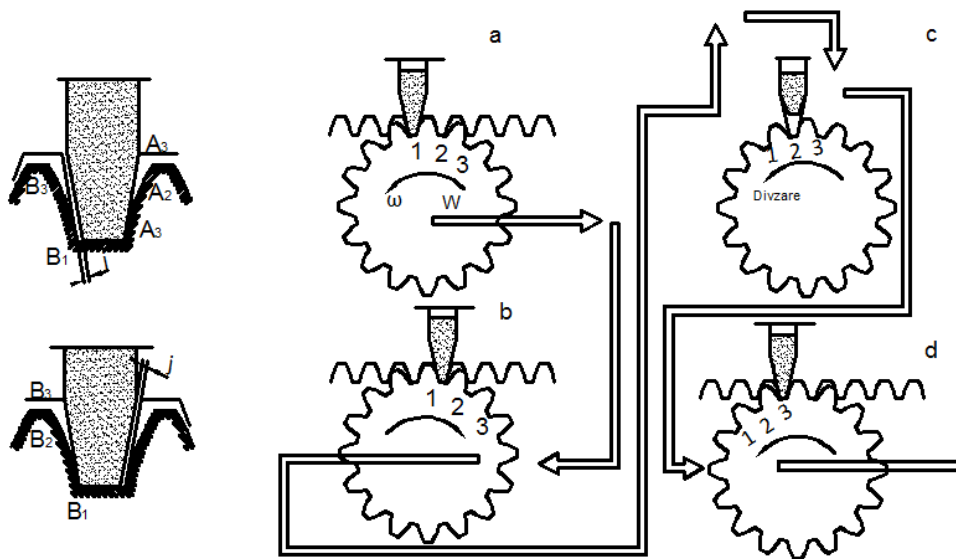


Fig. 3.57

Astfel, la rularea spre dreapta, cu avansul S : flancul $A_1 A_3$ al sculei rectifică flancul $A_1 A_2$ al golului danturii, în timp ce între flancul $B_1 B_3$ și celălalt flanc al golului danturii există jocul j , la capătul acestei curse sensul de rulare se inversează. Ca urmare se schimbă sensul de prelucrare a jocului, ceea ce face flancul $A_1 A_2$ al sculei să se îndepărteze cu jocul j de flancul ce l-a prelucrat.

Semifabricatul rulează apoi rapid până în poziția centrală, unde flancul $B_1 B_3$ al sculei contactează în B_1 flancul $B_1 B_2$ al piesei. În continuare, cursa de rulare este parcursă cu același avans tehnologic S_i . După rectificarea flancului $B_1 B_3$, piesa se divizează cu un dinte și, schimbându-și din nou sensul de rulare, revine rapid în poziția centrală pentru a începe un nou ciclu de lucru.

Parametrii regimului de așchiere în acest proces sunt: viteza periferică a discului abraziv

$V = (25...39) \text{ m/s}$; frecvența curselor discului în lungul dintelui prelucrat $n = (40... 150) \text{ c.d./min}$. stabilită astfel, încât viteza de avans a discului $v_f = (8...20) \text{ m/min}$, avansul de rulare $s_i = (0,2...1,2) \text{ min/c.d.}$; grosimea stratului de material detașat cu o trecere (o trecere reprezintă detașarea acestui strat de pe toți dinții piesei) $t = (0.01...0.06) \text{ mm}$ și numărul de treceri i necesar îndepărtării complete a adaosului de prelucrare $A_p = (0,2...0,4) \text{ mm}$. Timpul de bază se calculează prin relația:

$$T_b = \left(\frac{L}{S_1 n} + T_g \right) z \cdot i, \quad (2.27)$$

în care L - cursa de rulare, în mm; T_g - durata curselor în gol a unui ciclu; $T_g = (1...4)$ s, în min; z - numărul de dinți ai roții dințate; i - numărul de treceri.

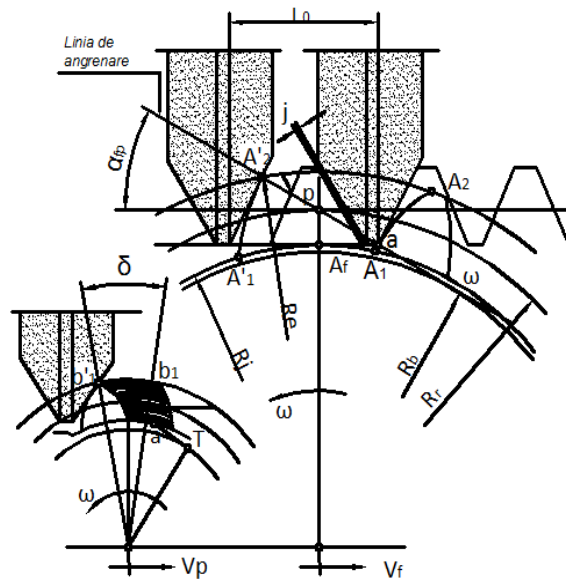


Fig.3.58

În figura 3.58 este prezentată schema pentru calculul cursei de avans (de rulare) executată de piesă, rectificarea unui flanc de dinte și ansamblul sculă-piesă, în poziție centrală, când se prelucrează punctul A_1 al flancului, și la capătul cursei de bază, L_0 , când se prelucrează punctul A_2 . Considerând angrenarea din planul frontal superior al piesei, rezultă:

$$L_0 = \frac{\alpha A'_1}{\cos \alpha_{fr}} [mm], \quad (3.28)$$

unde α_{fr} este unghiul de angrenare din planul frontal, măsurat pe cercul de rulare, de raza R_r . Dar

$$\alpha A'_1 = aP + PA'_1 = (R_r - R_i) \frac{L}{\sin \alpha_{fr}} + \sqrt{R_e^2 - R_b^2} - \sqrt{R_r^2 - R_b^2} [mm], \quad (3.29)$$

$$\text{iar } \tan \alpha_{fr} = \frac{\tan \alpha_s}{\cos \beta_r}, \quad (3.30)$$

unde α_s este unghiul flancurilor sculei, iar β_r unghiul de înclinare al danturii pe cilindrul de rulare.

Pentru a se prelucra flancul în întregime, este necesar ca piesa să ruleze în continuare cu unghiul δ (fig. 3.58, a), astfel ca profilul să fie generat complet și în planul frontal inferior. Cursa corespunzătoare acestui unghi este:

$$\Delta L_0 = \tan \beta_r [mm], \quad (3.31)$$

unde B este lățimea danturii.

b) Varianta PRATT este caracterizată prin aceea că discul materializează simultan ambele flancuri ale dintelui cremalierii generatoare (fig. 3.59). În acest caz, ciclul de lucru se simplifică, întrucât prelucrarea completă a unui

gol de dinte are loc la o singură cursă de rulare a piesei. Pentru calculul lungimii acestei curse, în cazul danturilor drepte, se va considera ansamblul sculă-piesă la mijlocul rulării (fig. 3.59, b), când scula generează punctele M_1 și M_2 ale celor două flancuri prelucrate. În vederea prelucrării complete a flancului A_0A , piesa trebuie să ruleze spre dreapta, cu cota L_0 și spre stânga cu L_0'' .

În același timp, prelucrarea completă a flancului BB_0 impune rularea spre stânga, cu L_0' și spre dreapta cu L_0'' . Rezultă că prelucrarea completă a golului A_0AB_0B se va realiza parcurgând de la un capăt la celălalt, cursa L' , dată de relația:

$$L' = 2 \max\{L_0', L_0''\} [mm]. \quad (3.32)$$

De cele mai multe ori, $L_0' > L_0''$ și de aceea $L' > 2L_0'$, unde:

$$L_0' = \frac{P_b}{\cos\alpha_{fr}} + PP_0 = \frac{1}{\cos\alpha_{fr}} \left(\sqrt{R_e^2 - R_b^2} - \sqrt{R_{re}^2 - R_b^2} \right) + \frac{\pi R_r}{2z} [mm]. \quad (3.33)$$

La danturi înclinate cursa de rulare are lungimea:

$$L' = 2L_0' + B \operatorname{tg}\beta [mm]. \quad (3.34)$$

c) Varianta KOLB reclamă montarea pe axul principal al mașinii-unelte a două discuri abrazive (fig. 3.56): unul pentru finisare și altul mai subțire, pentru degroșare. Ca urmare, în timp ce primul disc finisează un gol de dinte al danturii, cel de-al doilea degroșează golul următor, obținându-se o productivitate sporită.

3.6.3. Rectificarea roților dințate cilindrice prin rulare cu două discuri abrazive

Rectificarea roților dințate cilindrice prin rulare cu două discuri abrazive este procedeul cel mai larg utilizat. Scula abrazivă are forma unui disc abraziv de tip taler care materializează cremaliera generatoare, fapt ce poate asigura o precizie sporită în comparație cu rectificarea prin copiere. Prelucrarea se poate executa cu divizare periodică în cazul utilizării pietrelor-disc de tip taler sau cu divizare continuă, în cazul prelucrării cu melc abraziv. Rectificarea roților dințate cilindrice cu divizare periodică prezintă aspecte multiple determinate de caracteristicile mașinilor-unelte pe care se face prelucrarea. Procedeul de prelucrare poartă numele firmei care a definitivat procedeul.

Procedeul MAAG reclamă utilizarea a două discuri abrazive de tip taler, care materializează flancurile cremalierii generatoare. Procedeului îi sunt caracteristice următoarele două metode de rectificare, în funcție de poziția discurilor abrazive:

- rectificarea cu înclinarea discurilor abrazive la 15° (fig. 3.59, a) după unghiul de înclinare a flancurilor cremalierii de referință;
- rectificarea la 0° (fig. 3.59, b), adică cu discurile abrazive așezate în poziție verticală.

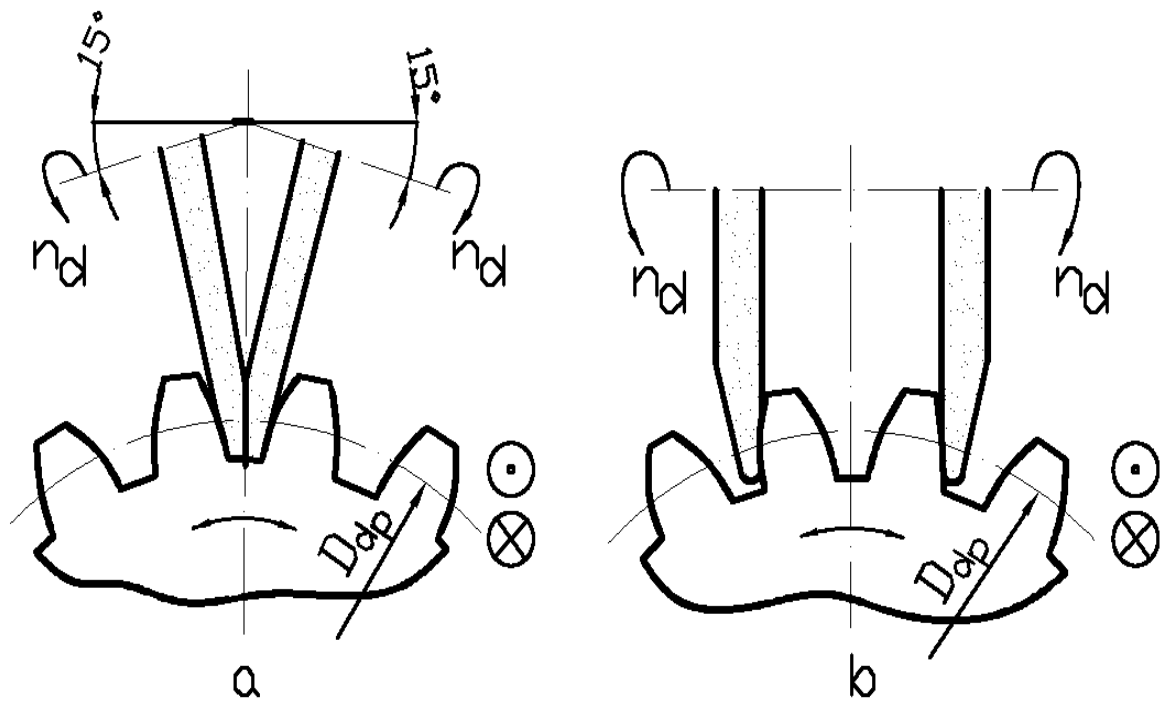


Fig. 3.59

Metoda se caracterizează prin faptul că cele două discuri abrazive prelucrează simultan flancurile corespunzătoare golului dintre doi dinți și la mai multe roți simultan.

Metodei rectificării la 0° îi este caracteristic faptul că cele două discuri abrazive prelucrează două flancuri opuse, aparținând la doi dinți diferiți.

La prelucrare piesa basculează într-un sens și în celălalt sens, realizând angrenarea cu cremaliera de referință materializată de suprafețele de lucru ale discurilor abrazive. Ca urmare, în primul caz, flancul dintelui roții rulează pe toată lungimea pe suprafața activă a discului de rectificat, iar în cazul al doilea are loc o alunecare a flancului roții pe o zonă limitată de pe suprafața de lucru a discului abraziv, fapt ce face ca aceste discuri să fie de o altă construcție cu o zonă îngustă care trebuie corectată.

Rectificarea are loc ca urmare a unor combinații de mișcări realizate de discul abraziv și de roata dințată, astfel:

- mișcarea de rotație a discurilor corespunde vitezei relative de așchiere;
- mișcarea basculantă alternativă în jurul axei roții dințate este tangentă la cercul de divizare;
- mișcarea de deplasare a discului abraziv în lungul dintelui care asigură profilarea pe întreaga lungime;
- mișcarea de divizare trebuie să corespundă unuia sau mai multor dinți care se rectifică succesiv.

E de menționat că în afară de aceste mișcări mai există și alte mișcări suplimentare, absolut necesare, cum ar fi mișcarea diamantului atât pentru corectarea și ascuțirea discului abraziv, cât și deplasarea axială a discurilor, pentru compensarea mărimii de corecție a fiecărui disc.

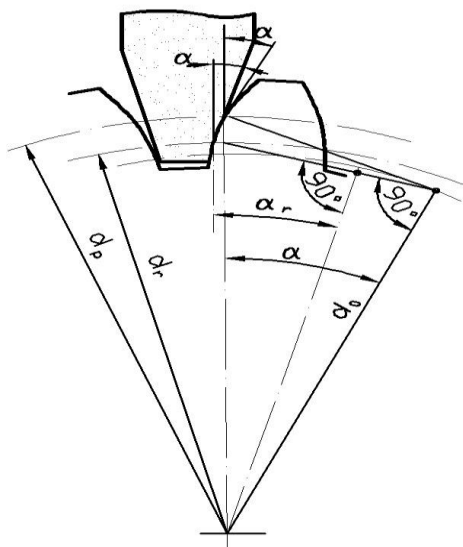


Fig. 3.60

Unghiul profilului cremalierii generatoare, materializată de corpurile abrazive, atât în primul caz, cât și în al doilea, diferă de unghiul de 20° standardizat (fig. 3.60).

Deci, cremaliera fictivă cu care angrenează în prelucrare roata dințată, nu corespunde cremalierii standardizate. Acest lucru trebuie cunoscut și avut în vedere atunci când se face reglarea mașinii-unele.

Dacă se notează cu d_{dp} diametrul de divizare al roții dințate în angrenajul formal, atunci:

$$d_{dp} = \frac{mz_p}{(\cos^2 \alpha_{np} / \cos^2 \alpha_{no}) - \sin^2 \beta_p} \text{ [mm]}, \quad (3.35)$$

în care: m este modulul normal al danturii, mm; z_p - numărul de dinți ai danturii; α_{no} - unghiul de angrenare normal care apare la angrenarea cu cremaliera STAS 3412-80; α_{np} - unghiul de angrenare normal pe parcursul prelucrării; β_p - unghiul de înclinare al danturii pe cilindru de divizare.

Diametrul pe care are loc rectificarea este în corespondență cu diametrul de bază d_0 și se determină prin relația:

$$d_{dp} = d_d \frac{\cos \alpha_{np}}{\cos \alpha_{no}} \text{ [mm]} \quad (3.36)$$

E de remarcat că diametrul de divizare în timpul prelucrării d_{dp} coincide cu diametrul de divizare la angrenarea cu cremaliera STAS numai $\alpha_{np} \neq \alpha_{no}$. Dacă în relația (2.35) se ține cont de acest fapt, se obține:

$$d_{dp} = mz / \cos \alpha = d_d \text{ [mm]} \quad (3.37)$$

Pentru cele două metode de prelucrare, mărimea diametrului de divizare de prelucrare d_{dp} se obține dând unghiului α_{np} valorile 15° și respectiv 0° . Pentru roțile dințate cu dinți drepecți se va considera $\alpha_{np} = 0^\circ$.

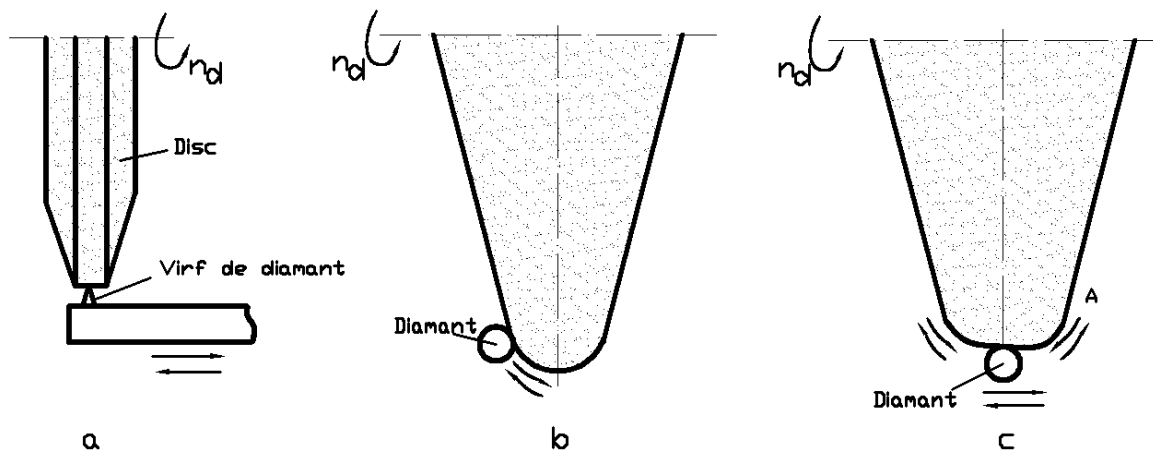


Fig. 3.61

Datorită uzurii pronunțate a discurilor abrazive, la prelucrarea danturilor late, după fiecare trecere de degroșare sau de finisare de-a lungul flancului dintelui, suprafața activă a discului abraziv trebuie să fie reascuțită și corectată.

Operația de corectare se face în funcție de profilul pe care trebuie să-l aibă discul de rectificat (fig. 3.61, a, b, c). Astfel, vârful de diamant poate avea mișcare rectilinie alternativă, circular-oscilantă sau o combinație a celor două mișcări, când profilul discului abraziv are o formă mai complexă.

Roțile dințate cilindrice de dimensiuni mai mari sunt rectificate pe mașini care permit centrarea roții cu axa în poziție verticală (fig. 3.62, a, c) sau, în funcție de dimensiuni, fixată pe dornuri de centrare.

Tipul de mașini MAAG sau TOS funcționează pe același principiu. Rectificarea se execută cu un singur disc cu profil trapezoidal (fig. 3.62, c), reprezentând un dinte al cremalierei de referință care intră în golul dintelui, realizându-se rectificarea ambelor flancuri prin deplasarea rectilinie a semifabricatului simultan cu rotirea cu un anumit unghi într-un sens sau în altul.

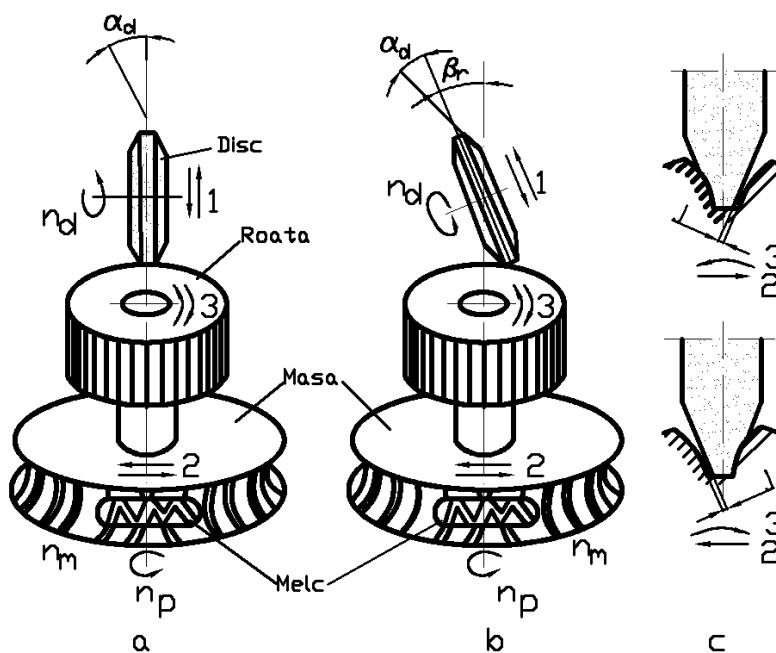


Fig. 3.62

Sunt mașini (fig. 3.64) la care rotirea semifabricatului se realizează într-un singur sens; deși se face o întoarcere rapidă 3 în poziția inițială după fiecare cursă de lucru a discului abraziv în lungul dintelui, el se retrage (mișcarea 7); după realizarea mișcării de întoarcere 3 are loc o rotire a piesei peste un număr de dinți. Ca urmare mișcarea de rulare este mai mare, după care discul abraziv intră într-un gol (mișcarea 6), făcând rectificarea. Aceasta se realizează pentru roțile dințate cu dinți drepecți (fig. 3.63, a) sau pentru dinți înclinați (fig. 3.63, b).

Rectificarea se realizează și cu două discuri care pot rectifica partea frontală (fig. 3.63, a, b) sau partea conică (TOS). Corectarea și compensația discurilor abrazive se face ca și în cazul precedent-automat.

La procedeul de rectificare NILES, metoda de rectificare este similară cazului precedent, discul de rectificat având profilul trapezoidal (fig. 3.64, a) care pune de fapt în evidență cremaliera de generare cu unghiul flancului de 20° .

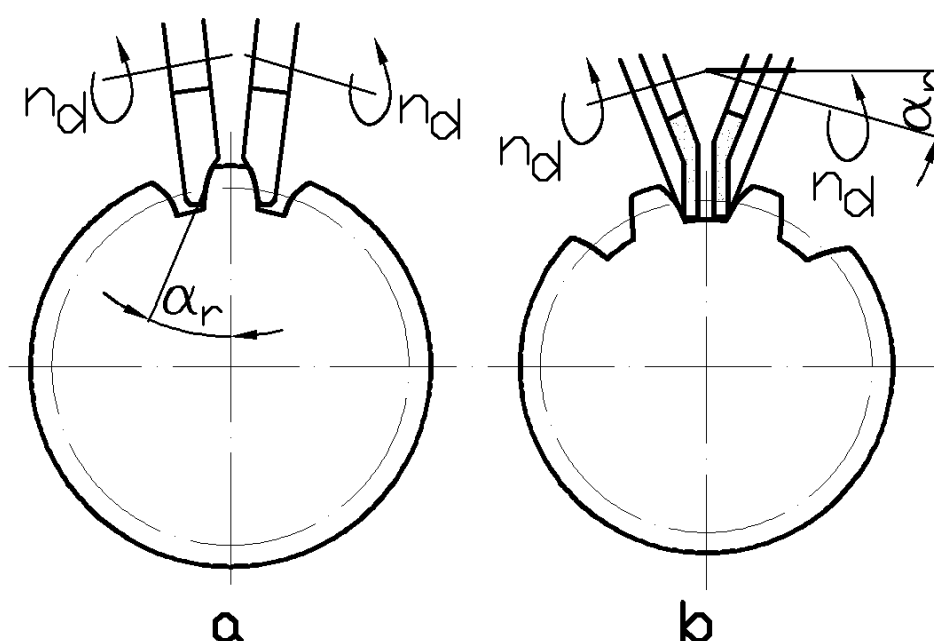


Fig. 3.63

În acest caz, profilul discului mai mic decât golul dintre dinți, intră cu joc între dinți. Ca urmare, fiecare flanc este rectificat independent prin combinarea mișcărilor.

Astfel, roata obține o mișcare orizontală rectilinie simultan cu mișcarea basculantă de rotire, timp în care discul abraziv are mișcarea de rotație care asigură o viteză de așchiere de circa $15...20$ m/s, simultan cu mișcarea rectilinie alternativă în lungul dinților roții. La inversarea sensului de rotire, discul abraziv se retrage tangent pe direcția dintre dinți, apoi se introduce la capătul de cursă pentru prelucrarea celuilalt flanc.

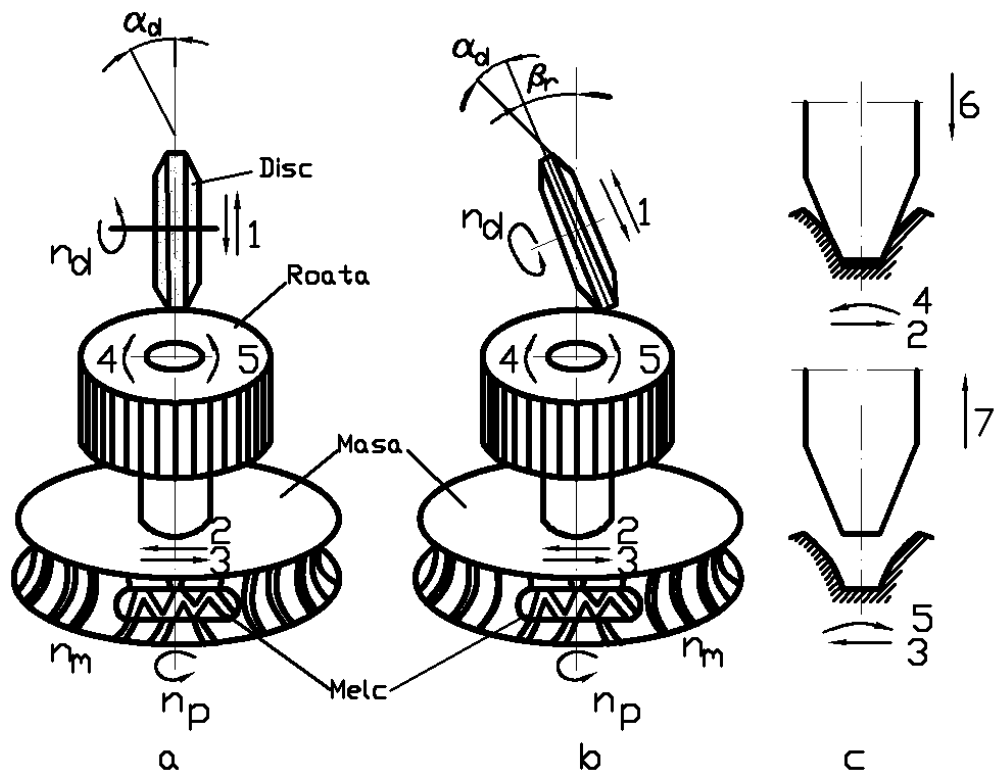


Fig. 3.64

Pentru roțile dințate cu dinți drepecți (fig. 3.65, *a*), precum și pentru cele cu dinți înclinați, lungimea de rulare pentru flecare flanc este mai mare, deoarece discul iese dintre flancuri pe direcția prelungită a lor. E de menționat că rectificarea cu un singur disc asigură precizie și o productivitate bună, dar utilizarea a două discuri care rectifică partea lor conică (fig. 3.63, *a*) asigură o precizie și o productivitate ridicată, iar discurile pot fi de mai multe ori corectate și ascuțite în comparație cu discurile-taler, rectificarea făcându-se pe ambele flancuri într-un sens de rulare a dintelui.

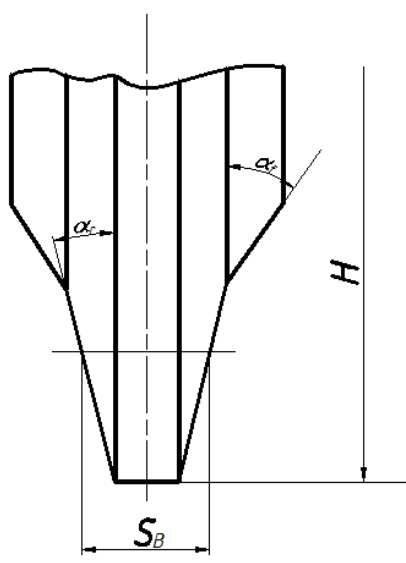


Fig. 3.65

Precizia cea mai ridicată, în special precizia profilului, se obține prin procedeul MAAG, ca urmare a preciziei de obținut la roata lisă. Rectificarea roților dințate prin procedeul KOLB se poate realiza cu un singur disc cu profil trapezoidal care să reprezinte dintele cremalierii de referință la fel ca și în cazurile precedente. Utilizarea unui singur disc se recomandă pentru modulele $m \sim (2...14)$ mm, dar se pot utiliza și două discuri înclinate la unghiul flancului cremalierii de referință, calculându-se pentru fiecare roată numărul de dinți.

Discurile pot rectifica flancurile a doi dinți învecinați, intrând în golul dintre ei, pentru roți cu modulul mai mare de 6 mm. Pentru module mai mici sau egale cu 6 mm, discurile intră în golul dintre dinți și rectifică fiecare câte un flanc, dintele fiind situat între discuri. Pentru roțile dințate cu dinți înclinați, se înclină discul sau discurile după unghiul de înclinare a danturii.

Odată cu rotirea discurilor este rotit și mecanismul cu vârf de diamant care ascute și corectează discurile abrazive.

Lungimea de lucru se calculează în funcție de lungimea dinților, diametrul discului etc. Și trebuie să asigure o depășire a lățimii roții de 8...10 mm.

Mișcarea rectilinie alternativă a suportului pe care este fixată piesa, precum și mișcarea basculantă a semifabricatului și divizarea se face la fel ca la procedeul MAAG.

Astfel, pentru operația de flancare este necesară corecția discului abraziv cu ajutorul vârfului de diamant, iar discul cu profil trapezoidal (fig. 3.65) va fi realizat după unghiul normal de lucru a_r după care se realizează și unghiul de flancare a_f .

Corecția unghiului de înclinare a discurilor pentru unghiul de lucru $a_r = 20^\circ$, în funcție de modulul danturii, este prezentată în figura 3.66.

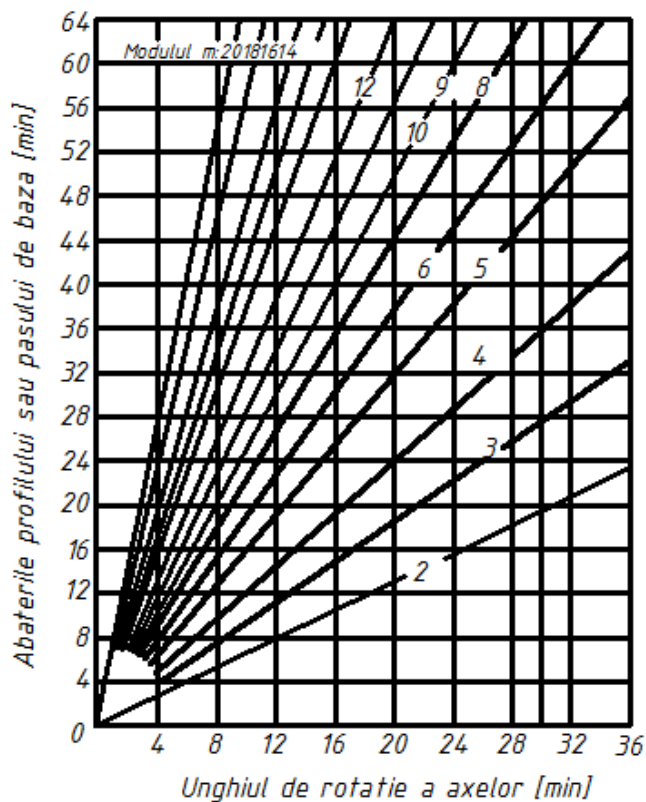


Fig. 3.66

3.6.4. Rectificarea roților dințate cilindrice cu melc abraziv

Spre deosebire de rectificarea roților dințate cilindrice prin copiere sau prin rulare cu discuri abrazive, unde este necesară divizarea, rectificarea cu melc abraziv se realizează în mod continuu, întrucât angrenarea dintre roata dințată și melcul abraziv, care se deplasează pe o direcție axială a dintelui, este continuă (fig. 3.67). Ca urmare, turația melcului abraziv de diametru mare este ridicată, pentru asigurarea vitezei de așchiere, iar roata are viteza V , care este de fapt un avans circular.

Axa roții dințate care trebuie rectificată se înclină după unghiul de înclinare al elicei melcului abraziv (fig. 3.68).

Dar, datorită diametrului mare al melcului abraziv, unghiul elicei w are valoare mică. Ca urmare, pentru roțile dințate cu dinți drepecți 1 axa melcului abraziv 2 este perpendiculară pe axa roții (fig. 3.68, a).

Pentru roțile cu dinți înclinați roata se orientează cu axul înclinat la unghiul ce rezultă pentru rectificare, p %, față de axa melcului abraziv 2. La această orientare se ține cont de faptul că prelucrarea roții se face cu lanțul cinematic de divizare directă (fig. 3.68, b) sau prelucrarea se face și cu utilizarea lanțului cinematic diferențial (fig. 3.68, c), caz în care roata primește un plus la mișcarea de rotație n_d , la mișcarea de rotație n . Pentru asigurarea unei execuții relativ ușoare a melcului abraziv, acesta se construiește după tipul melcului arhimedic, modificat. Ca urmare, scade precizia de prelucrare, deoarece profilul cremalierii generatoare se obține numai în cazul unui melc evolventic.

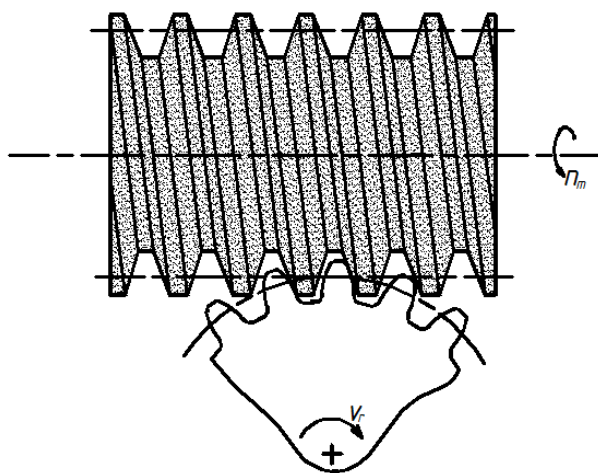


Fig. 3.67

În secțiunea normală, scula astfel construită, are anumite abateri. Profilul activ al melcului, datorită uzurii, se modifică; ca urmare scade precizia de prelucrare.

Acest procedeu se recomandă a se utiliza pentru rectificările de degroșare ale roților dințate. Când se prevăd și rectificări de finisare ale roților dințate, trebuie avut în vedere ca profilarea melcului abraziv să fie executată cât mai precis și la intervale optime. După fiecare corectare a profilului sculei, este necesară o nouă reglare a distanței dintre axe. Precizia de prelucrare și productivitatea acestui procedeu depind atât de precizia pe care o are melcul abraziv, cât și de materialul abraziv și liantul utilizat la construirea sa.

Ca urmare, este necesar ca, pe baza ecuațiilor parametrice ale danturii, să se determine cât mai exact profilul melcului abraziv și să se recalculeze cât mai exact înclinația elicei melcului după reascuțire.

Suprafața flancului melcului abraziv este considerată un elicoid evolventic riglat, care este în general de o dreaptă Δ , deplasat pe o curbă directoare evolventică (fig. 3.69), pe flancul din dreapta și pe flancul din stânga separat. Astfel, suprafața flancului spirei melcului abraziv devine înfășurătoarea acestei familii de plane. Această înfășurare este materializată de traiectoria vârfului de diamant. Dacă se consideră φ unghiul evolventei directoare, punctele discrete ale sculei sunt date de relația:

$$\bar{r}_1 = \bar{r}_2(\varphi). \quad (3.38)$$

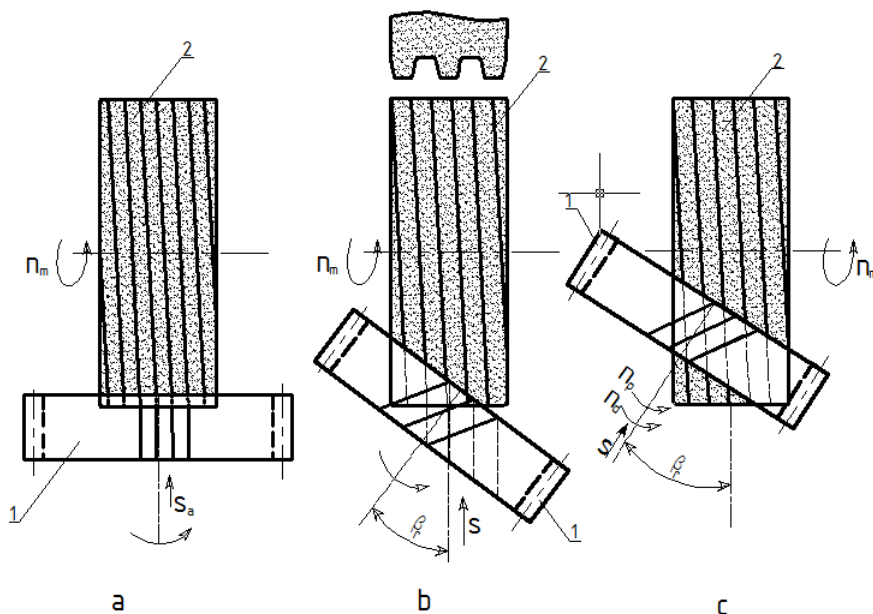


Fig. 3.68

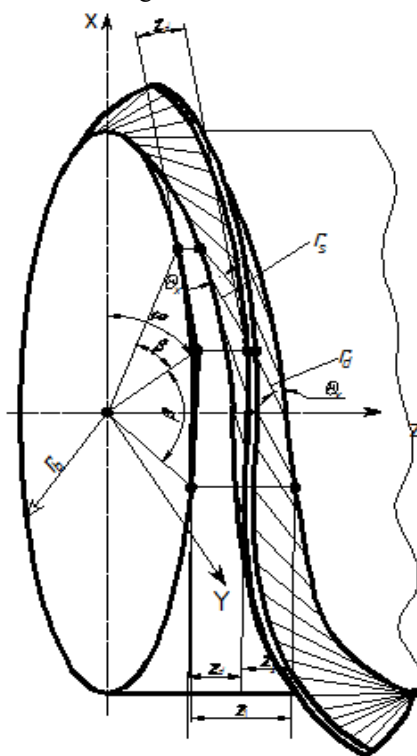


Fig. 3.69

Determinarea și trasarea punctelor este posibilă calculând derivatele în aceste puncte în funcție de variabilele r_s și r_d :

$$\frac{dr_s}{d\varphi} = \frac{dr_d}{d\varphi}(\varphi). \quad (3.39)$$

Aceasta permite efectuarea unor calcule destul de precise pentru melcul abraziv. Calculul profilului se face separat pentru flancul din dreapta și cel din stânga, în funcție de profilul flancului pe care îl au dinții roții care se rectifică.

Cunoașterea ecuațiilor parametrice ale diferitelor geometrii de melci (suprafețe cilindrice elicoidale) indicate în STAS 6845-75 pentru melci de tipul ZA, ZK-1 ZN-1, ZN-2 constituie baza determinării soluțiilor celor mai adecvate pentru generarea melcilor abrazivi. Calculele se fac rapid și precis, realizându-se concomitent trasarea cu precizie a profilului melcului abraziv cu ajutorul tehnicii de calcul electronic.

Prin acest procedeu pot fi rectificate roți dințate cu module de la 0,5 mm până la 7 mm și cu diametre de circa 10 mm până la 700 mm, cu lățimea danturii până la 280 mm și cu unghiul maxim de înclinare de 45°.

E de menționat că precizia de prelucrare este legată de numărul de dinți al roților dințate: cu cât numărul de dinți este mai mare cu atât precizia de prelucrare crește; dacă numărul de dinți ai roții este sub 27, scade precizia la rectificarea datorită modificărilor geometrice ale flancului melcului abraziv.

Profilarea melcului abraziv se realizează pe mașina de rectificat în următoarea succesiune: profilarea flancurilor, adâncirea miezului, corectarea flancurilor și corectarea dimensională a diametrului exterior cu diamant.

O atenție deosebită trebuie acordată sculelor diamantate cu care se corectează melcul abraziv, deoarece defectele lor se reflectă negativ asupra flancurilor melcului, respectiv, asupra preciziei de prelucrare și a rugozității flancurilor roții dințate.

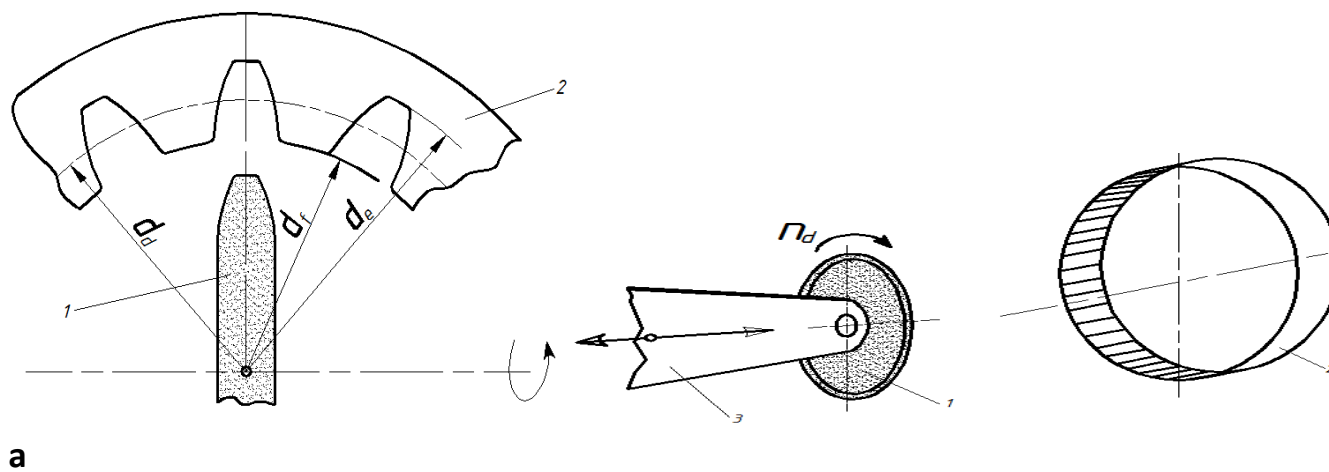


Fig. 3.70

3.6.5. Rectificarea roților dințate cilindrice cu dantura pe interior

Roțile dințate cilindrice cu dantura pe interior sunt, de fapt, coroane dințate cu dinți drepi sau înclinați, rectificarea lor prezentând anumite particularități în comparație cu roțile dințate cilindrice cu dinți pe exterior.

Coroanele dințate pot fi rectificate prin copiere sau prin rostogolire, dar, în general, se utilizează rectificarea

prin copiere datorită preciziei de prelucrare și a productivității ridicate care se obține.

Pentru coroanele dințate cu dinți drepți 2, discul de rectificat (fig. 3.70, a, b) este fixat într-un suport consolă 3 și are o mișcare alternativă pe întreaga lungime a flancurilor dinților de rectificat la turația n_d ,

Profilul discului abraziv 1 coincide cu golul dintre dinți al coroanei 2, care în acest caz are profil invers față de discurile de rectificat în exterior.

După două-trei treceri sau după doi-trei dinți rectificați se corectează profilul discului abraziv cu un vârf de diamant printr-un sistem pantograf, dar șablonul după care se face corecția are profilul spre exterior față de roțile cu dantura pe exterior la care șablonul are profilul pe interior.

Pentru coroanele dințate cu dinți înclinați 3 rectificarea se face în condiții mai dificile. Discul abraziv 1 (fig. 3.71) trebuie așezat cu consola 2 la unghiul de înclinare a danturii β_d , iar coroana dințară 3 trebuie să se rotească înainte și înapoi cu un unghi w_p , care depinde de unghiul de înclinare β_d și de lungimea dinților.

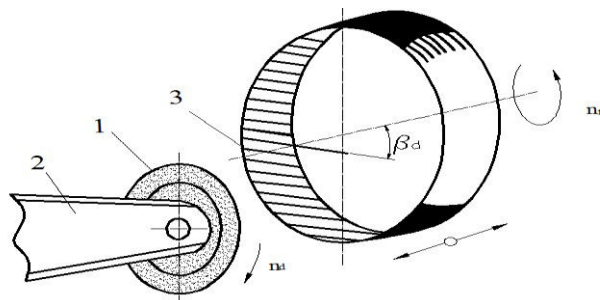


Fig. 3.71

Simultan cu această mișcare și cu cea a discului abraziv coroana dințată sau discul abraziv trebuie să efectueze o mișcare alternativă pe direcție axială, pentru ca discul să rectifice flancurile dinților pe toată lungimea. După fiecare trecere de degroșare se corectează discul abraziv, cu profilul corespunzător golului, deosebit de profilul evolventic, deoarece forma trebuie să corespundă profilului normal al golului dintre dinții coroanei dințate, după care se înclină discul.

Mișcarea basculantă w a coroanei dințate se obține similar ca și la celelalte procedee de rostogolire MAAG. Rectificarea se face din două sau mai multe treceri prin divizare, dinte cu dinte, întâi treceri de degroșare, apoi treceri de prefinisare și finisare, în funcție de precizia impusă și mărimea adaosului de prelucrare.

Întrucât profilul discului abraziv realizează o intersectare cu elicea dintelui, apare o eroare de profil redusă, fapt care impune acest procedeu ca singurul ce poate realiza rectificarea corespunzătoare a coroanelor dințate.

3.6.6. Șeveruirea roților dințate cilindrice

Șeveruirea este o angrenare cu așchiere, putându-se executa cu scula-cremalieră, scula-roată, scula-melc și este o operație de netezire a flancurilor dinților prin răzuire foarte fină și ecruisarea stratului superficial. În mod curent este folosit procedeul de șeveruire cu șeverul-roată cu dinți drepți sau înclinați pe care sunt plasate o serie de canale mici cu profil dreptunghiular (fig. 3.72, a, b, c, d).

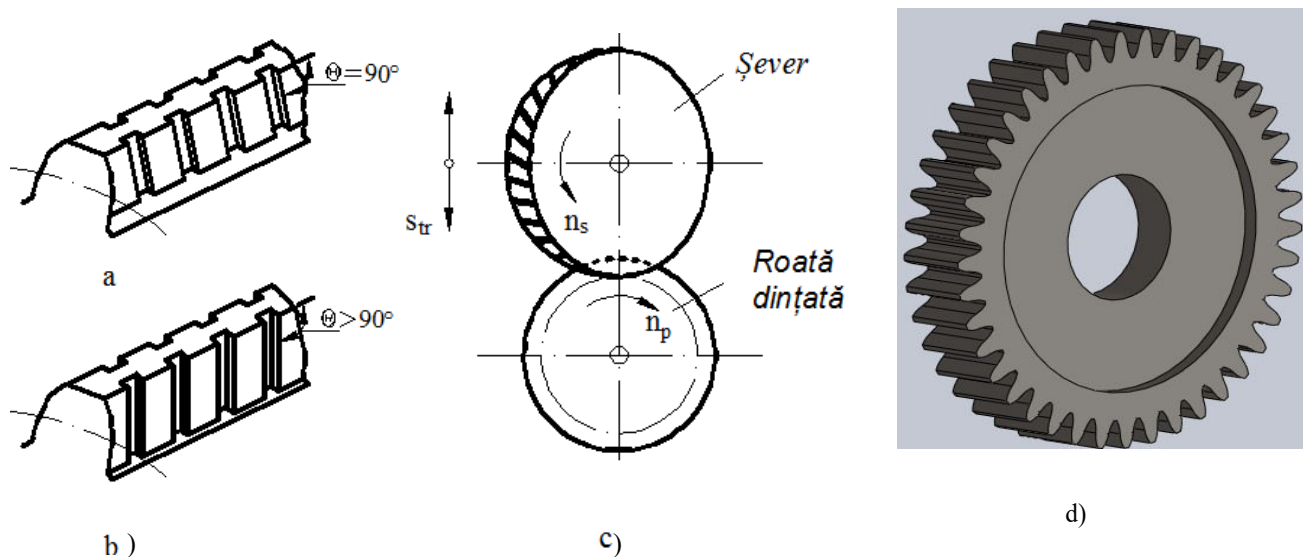


Fig. 3.72

În scopul favorizării procesului de răzuire a flancurilor roții dințate, șeverul-roată trebuie să aibă dinții înclinați cu valori de $5...15^\circ$ sau chiar mai mult (fig.3.72, c) astfel încât în procesul de angrenare, axele șeverului-roată și roții dințate să fie încrucișate cu acest unghi.

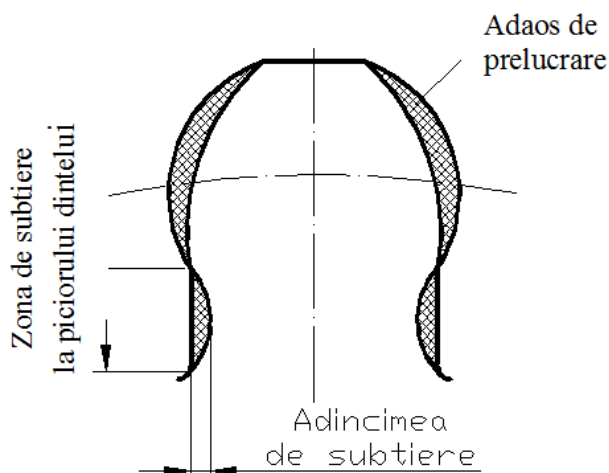


Fig. 3.73

Roțile dințate supuse șeveruirii trebuie danturate foarte îngrijit. Trebuie acordată atenție, în special, obținerii unei bătaii radiale a danturii pe cercul de divizare cât mai mică. Bătaia radială a roții se transformă, la operația de șeveruire, într-o eroare de pas care influențează direct precizia de prelucrare a roții dințate.

Acest fenomen are loc datorită faptului că, în porțiunea în care se manifestă bătaia radială a danturii, șeverul va îndepărta un adaos de prelucrare mai mare de pe flancuri, ceea ce conduce la subțierea diferită a dinților, variind astfel și cota peste dinți.

De asemenea, șeverul nu poate corecta eroarea cumulată a pasului provenită în urma prelucrării anterioare a danturii; ca urmare, trebuie luate măsuri ca această eroare să fie cât mai mică.

Pentru ca după șeveruire să nu apară praguri la baza (piciorul) dintelui, ca urmare a îndepărtării adaosului de prelucrare, la danturare trebuie să se realizeze o anumită subțiere a piciorului dintelui roții dințate (fig. 3.73).

Șeveruirea se aplică roților dințate necălite, tratate termic sau a celor din oțeluri a căror rezistență la rupere nu depășesc 70...90 daN/mn².

Șeverul-sculă este o sculă complexă, costisitoare, permițând prelucrarea a circa 5000 până la 25000 de piese, șeverul permițând 4...5 ascuțiri.

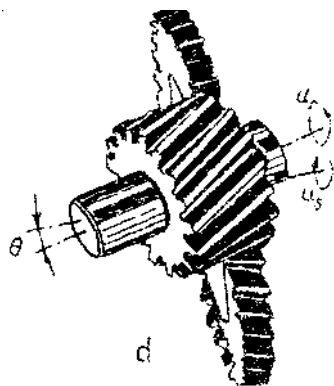


Fig. 3.74

În mod curent se pot șeverui roți dințate cu dinți drepecți sau elicoidali, simple sau roți baladoare, având diametrul cuprins între 20 mm și 600 mm. Cel mai larg utilizată este șeveruirea flancurilor dinților cu scula roată-șever (fig. 3.74) putând asigura indici tehnico-economici ridicați, iar în funcție de avansul imprimat sculei se disting trei metode:

- șeveruirea paralelă (fig. 3.75, a) cu avans longitudinal;
- șeveruirea transversală (fig. 3.75, b) cu avans transversal;
- șeveruirea diagonală (fig. 3.75, c) cu avans combinat.

Astfel, șeveruirea cu avans transversal este utilizată pentru roți dințate cilindrice cu dinți drepecți sau înclinați. Ca urmare, șeverul este o roată dințată cu dinți înclinați, în acest caz având loc o angrenare cu axele încrucișate (fig. 376, a, b, c).

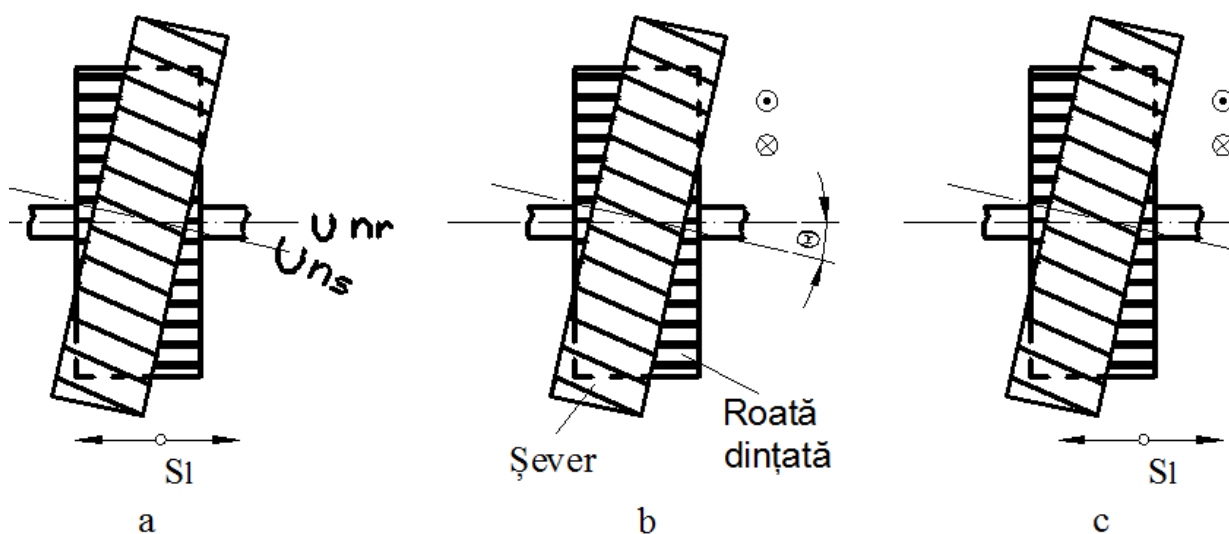


Fig. 3.75

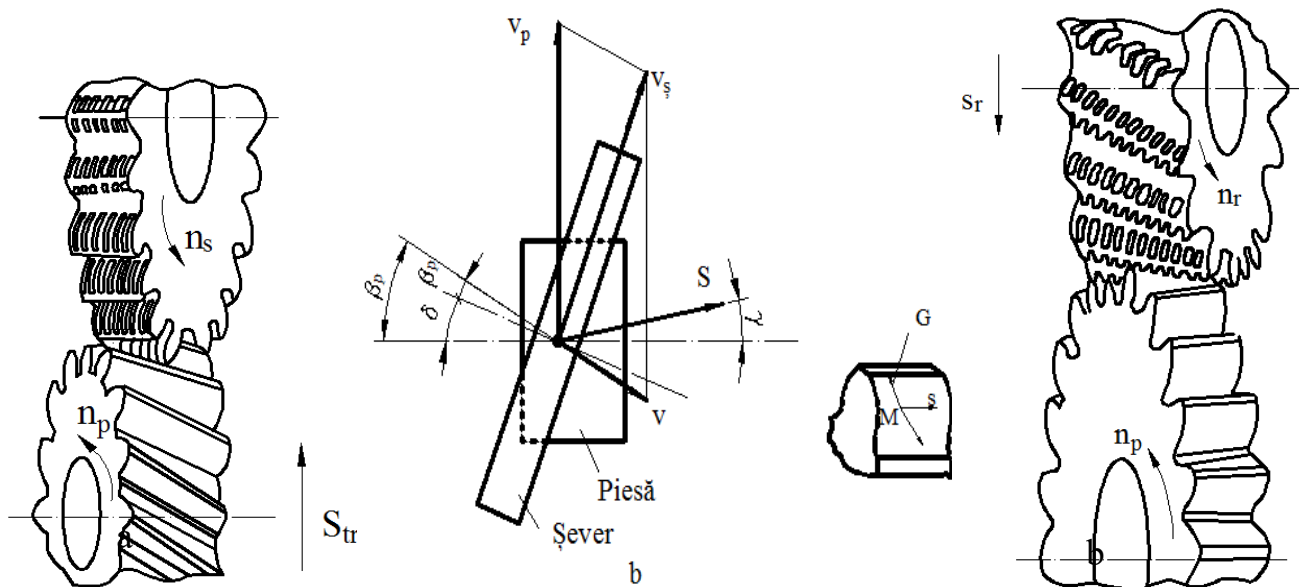


Fig. 3.76

Șeverului i se imprimă un avans transversal S_{tr} , care are și o mișcare motoare n_s pentru antrenarea roții dințate cu turația n_p . Avansul transversal poate avea limitele 0,015...0.03 mm/c.d (rotire într-un sens sau altul), iar scula este apăsată între dinții roții dințate, permițând contactul cu ambele flancuri, realizându-se simultan răzuirea lor.

Din aceste considerente, canalele de pe flancurile șeverului se fac înclinate, pe un flanc într-un sens, iar pe flancul celălalt în sens invers, pentru a echilibra sau micșora mărimea forțelor de direcție axială a sculei și roții dințate (fig.3.77).

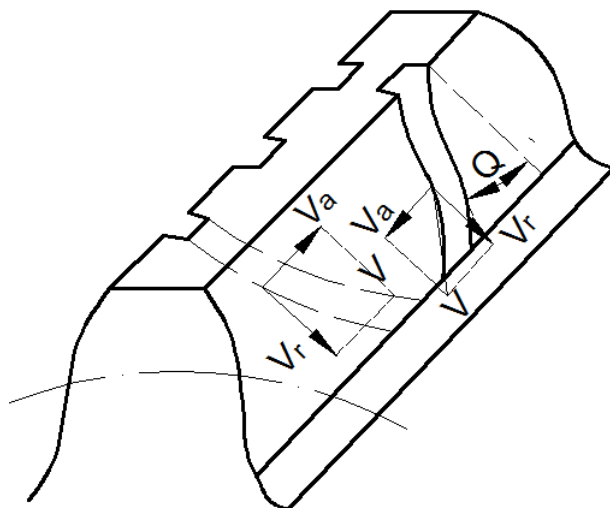


Fig. 3.77

La prelucrarea roților dințate cu dinți drepi se utilizează șevere cu dinți de $8^\circ \dots 10^\circ$, pentru prelucrarea fontei, și $10^\circ \dots 15^\circ$ pentru prelucrarea oțelului. Pentru prelucrarea roților cu dantură înclinată, dinții șeverului pot fi drepi sau înclinați, dar cu un unghi de înclinare diferit de cel al dinților roții care se prelucrează. Și în acest caz, în timpul prelucrării, între axele piesei și ale sculei, trebuie să se obțină un unghi de încrucișare de 10° sau 15° .

Numărul de dinți al șeverului trebuie, pe cât este posibil, să nu aibă divizori comuni cu numărul de dinți ai roții care se prelucerează, pentru a face posibilă parcurgerea fiecărui gol prelucrat de către fiecare dinte al șeverului. Astfel, pot fi evitate erorile de copiere de la șever la roată. Contactul dintre flancuri este, teoretic, punctiform și acest contact se deplasează, în timpul prelucrării, pe înălțimea dintelui, după o curbă. Pentru a face posibilă prelucrarea pe întreaga lungime a flancurilor conjugate ale șeverului și roții dințate, se creează presiunea de lucru care face punctul teoretic de contact să se transforme într-o zonă de formă eliptică (fig.3.78).

Diametrul de divizare al șeverului se calculează prin relația:

$$D_d = m_n z_s / \cos \beta_s \text{ [mm]} \quad (3.40)$$

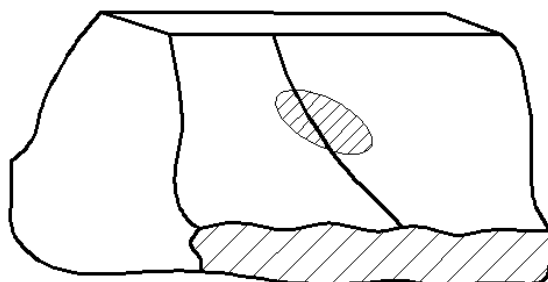


Fig. 3.78

în care: m_n este modulul normal, mm; z_s - numărul de dinți ai șeverului; β_s - unghiul de înclinare a dinților șeverului.

Diametrul de bază se calculează prin relația:

$$D_d = D_d \cos \beta_f \text{ [mm]}, \quad (3.41)$$

în care β_f este unghiul de angrenare funcțional. Diametrul exterior se calculează prin relația:

$$D_e = D_d + 2m_n + 2x_m \text{ [mm]}, \quad (3.42)$$

în care valorile lui x_m depind de mărimea roților; pentru roți mici și mijlocii acesta ia valorile 0,4...0,6 mm.

Se recomandă ca diametrele șeverelor să se aleagă astfel:

- pentru roți dințate mici și diametre mai mari de 100 mm, diametrul șeverului va fi de 50...79 mm;
- pentru roți dințate cu $d < 450$ mm, 150...280 mm;
- pentru roți dințate cu $d > 450$ mm, 180...300 mm.

Ca urmare a angrenării încrucișate dintre șever și roata dințată sub un anumit unghi apar două viteze relative de alunecare de-a lungul roții v_{ap} și o viteză de alunecare radială pe direcția dintelui de la șever v_{as} . Rezultă că viteza de deplasare a punctului de contact coincide cu viteza de așchiere v care are expresia:

$$v = v_{ap} \pm v_{as} \text{ [m/min]} \quad (3.43)$$

Ținând cont de vitezele tangențiale pe cercurile de rulare și de unghiurile de înclinare a danturii severului β_{rs} și roții β_{rp} pe cilindrii de rulare, rezultă:

$$v_{ap} = v_{tp} \sin \beta_{rp} \text{ [m/min]}; \quad (3.44)$$

$$v_{as} = v_{ts} \sin \beta_{rs} \text{ [m/min]}; \quad (3.45)$$

$$v = v_{tp} \sin \beta_{rp} \pm v_{ts} \sin \beta_{rs} \text{ [m/min]}. \quad (3.46)$$

Deoarece viteza după normala la elice în punctul de contact este aceeași pentru sever și piesă, se poate scrie:

$$v_n = v_{tp} \cos \beta_{rp} = v_{ts} \cos \beta_{rs} \text{ [m/min]}, \quad (3.47)$$

de unde rezultă:

$$v_{tp} = \cos \beta_{rs} / \cos \beta_{rp} \text{ [m/min]}. \quad (3.48)$$

Introducând relația (2.51) în expresia vitezei de așchiere (2.49), se obține expresia:

$$v = \pi z m_a (\cos \beta_{rs} \operatorname{tg} \beta_{rp} \pm \sin \beta_{rs}) / 1000 \text{ [m/min]}. \quad (3.49)$$

Semnul (+) se ia când sensul înclinării danturii coincide cu sensul înclinării danturii șerverului.

La șevemirea roților dințate mici și mijlocii, severul reprezintă roata conducătoare. În acest caz, roata-piesă se rotește liber între vârfuri, fiind antrenată de către sever, dar în același timp frânată. La șeveruirea roților mari, roata conducătoare este piesa, severul rotindu-se liber (dar frânat).

Șeveruirea flancurilor dinților cu scula șeverul-cremalieră este mai puțin utilizată datorită complexității mașinilor-uneite, dar precizia de prelucrare este mai ridicată.

Scula are forma unei cremaliere cu dinți drepecți sau înclinați (pe fețele cărora sunt practicate canale) de la cap către piciorul dintelui cremalierei (fig. 3.79, a, b).

În timpul prelucrării, șeverul-cremalieră execută o mișcare de translație v , în timp ce piesa se rostogolește pe sculă cu turația n_r . Datorită alunecării relative care are loc între flancurile roții și ale șeverului-cremalieră se produce o răzuire a flancurilor, având loc îndepărtarea adaosului de prelucrare pe flancurile dinților.

Ca și în cazul șeveruirii cu șever-roată, în timpul prelucrării trebuie să se realizeze o presiune de lucru.

Ca urmare, după fiecare trecere, scula capătă un avans radial de lucru față de axa roții $s_r = 0,015 \dots 0,030$ mm/c.d., pentru realizarea presiunii de lucru dintre dinți în zona de răzuire. De asemenea, se poate utiliza și în acest caz șeveruirea cu avans axial care, în principiu, este dat de roata dințată ce se prelucrează. În acest caz, este necesar, ca lățimea șeverului-cremalieră să fie mai mare decât lățimea roții, în special când roata are dantura înclinată.

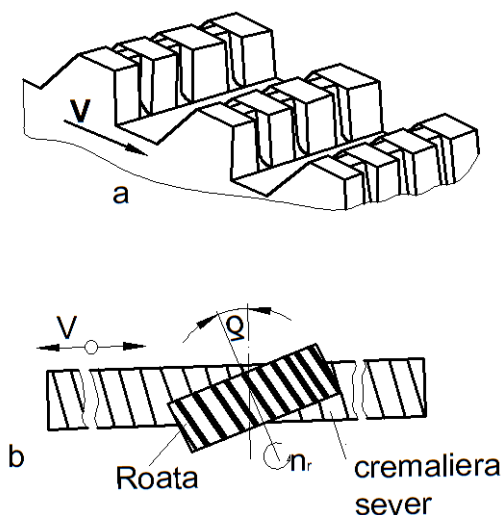


Fig. 3.79

Șeverul-cremalieră trebuie așezat deasupra roții pentru a se asigura o evacuare mai bună a așchiilor ce rezultă în procesul de răzuire. Când se utilizează șeverul-cremalieră cu dinți înclinați, trebuie ca înclinarea dinților să difere de cea a roții care se prelucurează. Șeverele-cremalieră se folosesc numai la prelucrarea roților dințate de dimensiuni mici, deoarece pentru roțile mari lungimea cremalierii ar depăși anumite limite și ar deveni neeconomice. Șeverele-cremalieră pentru module mari se execută cu dinți demontabili, din oțeluri rapide sau carburi metalice.

Cu un șever-cremalieră, de un anumit modul, se pot șeverui diferite tipuri de roți, cu număr diferit de dinți cu același modul.

Unghiul de înclinare a canalelor de pe flancurile dintelui-sculă se recomandă a fi pe un flanc într-un sens și pe celălalt în sens invers și la același unghi, astfel realizându-se echilibrul forțelor de așchiere pe direcție axială. E de menționat că unghiul de înclinare a canalelor influențează direct mărimea microneregularităților și productivitatea.

Viteza de așchiere reiese, ca și la șeverul-roată, din compunerea mișcărilor de alunecare relativă care are loc între sculă și roata dințată.

Șeveruirea flancurilor dinților cu scula șever-melc se realizează în mod similar cu freza-melc modul de danturat. Astfel, există o mișcare de rulare între șeverul-melc și roata dințată și un avans de generare în lungul flancului s , care de fapt reproduce angrenarea cu cremaliera de referință.

Procesul de așchiere are caracterul unei răzuiri pe flancul dintelui și se realizează datorită presiunii de lucru exercitată în timpul prelucrării între flancurile dinților din zona de lucru cu flancurile elicoidale ale șeverului- melc, pe care sunt executate canale radiale sau înclinate ce permit o evacuare ușoară a așchiilor.

Prelucrarea se face pe un flanc, apoi pe celălalt flanc prin frânarea roții, ceea ce impune utilizarea unor mașini-unelte specializate la care se poate regla momentul de frânare.

Se recomandă ca la șeverul-melc, acesta să aibă un singur început. Unghiul de înclinare a melcului-șever față de roata dințată se stabilește în funcție de unghiul danturii roții (cu dinți drepecți sau înclinați) într-un sens sau celălalt. Acest procedeu se aplică cu rezultate foarte bune la netezirea roților dințate melcate. Prelucrarea se face pe

mașina de danturat roți dințate, caz în care melcul-șever nu mai are unghi de înclinare, deoarece se reproduc condițiile de angrenare, axele fiind perpendiculare.

Presiunea de lucru dintre flancurile șeverului și cele ale roții melcate se realizează prin avans radial sau prin frânarea roții melcate, deoarece șeverul-melc are mișcarea motoare, antrenând roata dințată.

Canalele de așchiere de pe flancurile spirei sunt radiale, drepte sau înclinate, echidistante și au practic aceleași dimensiuni ca și în cazul șeverului-roată. Considerând șeverul-melc similar unui șever-roată cu unghi mare de înclinare a dinților, viteza relativă de așchiere se poate determina prin relația (3.49).

Tehnologia de execuție a acestor scule este foarte dificilă, fapt pentru care utilizarea lor devine rentabilă în cazul unei producții în serie mijlocie sau mare de roți dințate de un anumit modul și în special roți melcate.

3.6.7. Lepuirea și honuirea roților dințate cilindrice

Lepuirea roților dințate cilindrice se realizează prin combinarea unei mișcări de rotație a piesei cu mișcarea alternativă de translație a acesteia în lungul dinților și alta perpendiculară pe aceasta, folosindu-se ca sculă roți dințate din fontă cenușie cu același modul și numări de dinții $z_s \geq 40$.

Mediul de lepuire îl constituie micropulberea abrazivă din electroecridon sau oxid de crom cu granulație fină (M28...M10), într-un amestec de petrol lampant suprarafinat și ulei mineral cu viscozitatea $3,5^\circ\text{E}/50^\circ\text{C}$, în proporție volumetrică de 90% și 10%. Viteza de rotație a piesei este de 25...35 m/min, iar viteza mișcării de translație de-a lungul dintelui de 200...300 mm/min. Cealaltă mișcare de translație este o mișcare vibratorie cu frecvența între 4 și 10 Hz cu amplitudinea cuprinsă între 0,2 și 0,5 mm. În cursul lepuirii se nivelează microasperitățile suprafeței flancurilor, îndepărtându-se un strat de material de 2...8 p.m.

Rugozitatea obținută se află în limitele $R_a = (0,2...0,8) \mu\text{m}$.

Honuirea danturii roților dințate cilindrice se realizează prin combinarea următoarelor mișcări: o mișcare de translație alternativă în lungul dinților executată de bareta-abrazivă, o mișcare de translație vibratorie a baretei-abrazive în același sens și o mișcare de rulare combinată executată de sculă și piesă. Drept scule se folosesc barete-abrazive de granulație fină (M28...M10) din electrocorindon sau oxid de crom. Lichidul de răcire-ungere este ulei mineral cu viscozitatea $3,5^\circ\text{E}/50^\circ\text{C}$.

Viteza mișcării de translație este de 300...400 mni/min., frecvența mișcării vibratorii (6...12) Hz, cu amplitudinea (0,1...0,3) mm. Stratul de material îndepărtat de pe suprafața flancurilor dintelui variază între 2 și 8 μm . Rugozitatea obținută se află în limitele $R_a = (0,2...0,8) \mu\text{m}$.

Prin honuirea și lepuirea danturii nu se realizează decât netezirea suprafeței flancurilor, fără să se obțină o îmbunătățire substanțială a preciziei dimensionale, ca și în cazul rectificării și șeveruirii.

3.6.8. Netezirea și lustruirea electrochimică a roților dințate cilindrice

Netezirea și lustruirea electrochimică a roților dințate din oțel s-a implementat tot mai pregnant în ultimii ani datorită indicilor tehnico-economici ridicați, în condițiile utilizării unor echipamente tehnologice

nespecializate.

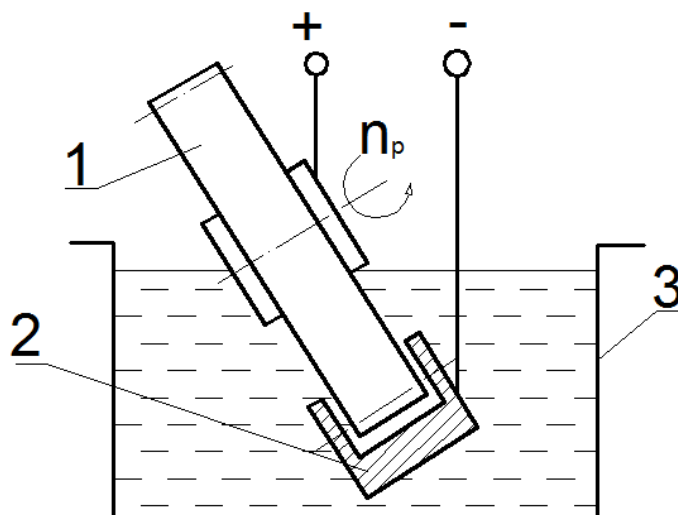


Fig. 3.80

La baza prelucrărilor electrochimice stă fenomenul de dizolvare anodică, piesa fiind conectată la polul pozitiv (anod), iar electrodul-sculă care acoperă total sau parțial roata dințată se conectează la polul negativ (catod) al unei surse de curent continuu cu tensiunea de 6...36V.

Electrodul cel mai frecvent utilizat este clorura de sodiu ($\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$) cu o concentrație de 10%. În funcție de compoziția chimică a materialului din care este executată roata dințată, electrolitul se constituie dintr-un amestec complex de acizi și săruri.

Dimensiunile roții dințate *1* impun forma și mărimea electrodului-sculă *2* (fig. 3.80) care poate îmbrăca parțial sau total roata, ce se scufundă total sau parțial în baia de electrolit *3*. În timpul prelucrării, când electrodul-sculă *2* îmbracă parțial roata dințată *1*, distanța dintre electrozi care trebuie să fie, pe cât este posibil, mică, trebuie astfel stabilită, încât să se evite generarea de scurtcircuitări, cu urmări negative asupra calității piesei.

Lustruirea electrochimică conferă îmbunătățiri demne de remarcat în ceea ce privește geometria danturii și rugozitatea suprafeței flancurilor dinților.

Avantajele enumerate mai sus, precum și simplitatea echipamentului tehnologic, fac posibilă utilizarea metodei la netezirea roților dințate destinate exploatarei la viteze și sarcini mari.

Mărimea adaosului de prelucrare, propriu netezirii electrochimice, impune utilizarea unor regimuri electrotehnologice specifice operațiilor de degroșare, prefinisare și finisare.

De exemplu, pentru operația de degroșare, în funcție de mărimea roții dințate, se recomandă următorul regim: densitatea de curent ($50\text{...}300$) A/dm^2 ; temperatura electrolitului ($13\text{...}26$) $^\circ\text{C}$; timpul de lucru ($4\text{...}6$) min.

Experiența a arătat că lustruirea electrochimică a roților dințate prelucrate prin frezare a redus uzura dinților la $1/7$, comparativ cu cea a roților dințate rectificatice care reduc uzura la jumătate în exploatare.

La roțile dințate care transmit sarcini mari, fenomenul de ciupire (pitting) apare la sarcini de două ori mai mari la roțile lustruite electrochimic decât la roțile dințate rectificatice.

Pe lângă coeficientul de frecare redus, lustruirea electrochimică a roților dințate conferă un grad sporit de silențiozitate transmisiei.

Lustruirea electrochimică este urmată de spălare, neutralizare, uscare și conservare a piesei astfel prelucrate.

3.6.9. Rodarea roților dințate cilindrice

Rodarea roților dințate se poate aplica atât roților tratate, cât și celor netratate termic. Aceasta se face numai cu scopul netezirii flancurilor danturii roților conjugate care după operația de redare, trebuie montate perechi într-un ansamblu.

Procedeul constă în aceea că roțile conjugate sunt montate pe un stand, unde funcționează sub sarcină timp de 20...30 ore cu ungere continuă. În tot acest timp se produce netezirea flancurilor de contact, adică utilizarea inițială sau de rodaj a flancurilor rodaj a flancurilor solicitate.

4. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȚILOR DINȚATE CONICE

4.1. Clasificarea roților dințate conice

Roțile dințate conice [53] sunt piese foarte răspândite în construcția de mașini cu o mare gamă constructivă și dimensională, în funcție de necesitățile tehnico-economice.

Angrenajele formate din roți dințate conice se utilizează în cazul în care axele celor doi arbori, între care are loc transmiterea mișcării de rotație, se intersectează în același plan (cel mai adesea), precum și în cazul în care axele pot fi încrucișate în spațiu sau deplasate în plan (dantură ciclo-paloidă, eloidă, paloidă), având între ele un unghi anumit determinat. Suprafețele de rostogolire au forma a două conuri, care au vârful comun în punctul de intersecție O al celor două axe de rotație conform figurii 4.1 (în cazul în care axele se intersectează în același plan). Se notează cu δ_A unghiul dintre axe și cu δ_{d1} și δ_{d2} semiunghiurile conurilor de rostogolire.

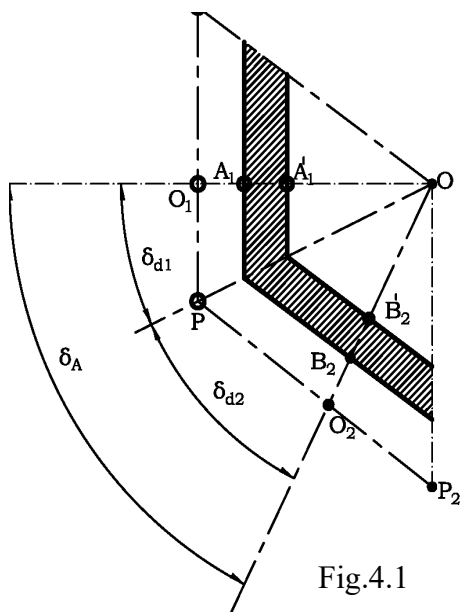


Fig.4.1

Cele două conuri sunt tangente de-a lungul generatoarei comune OP . Când unghiul dintre axe ia diverse valori, se obțin angrenaje diferite. Cel mai utilizat este $\delta_A = 90^\circ$, rezultând un angrenaj concurent ortogonal, când $\delta_{d2} = 90^\circ$, rezultă angrenaj conic cu roată plană, iar când $\delta_{d2} > 90^\circ$, - un angrenaj interior. Elementele geometrice ale angrenajului conic în cazul în care axele se intersectează în același plan, sunt definite în figura 4.2 în plan axial, în figura 4.3 în plan transversal, în figura 4.4 în planul de angrenare. Din punct de vedere al formei pe care o au liniile flancului (linia de intersecție dintre suprafața de rostogolire și flancul dintelui) pe planul de referință al roții plane, în funcție de dantură, se deosebesc următoarele tipuri de roți dințate conice mai des utilizate:

1. *Roți dințate conice cu dinți drepecți*, la care linia flancului este dreaptă concurentă cu axa roții plane (fig. 4.5).

2. *Roți dințate conice cu dinți înclinați*, la care linia flancului este o dreapta înclinată față de o rază dată a roții plane (fig. 4.6).

3. *Roți dințate conice cu dinți curbi:*

a) dantură în arc de cerc (Gleason), la care linia flancurilor este formată din două cercuri concentrice cu cercul cu raza r_c al cărui centru se află în O_c (fig. 4.7);

b) dantură spiro-conică eloidă (Spiromatic-Oerlikon) la care linia flancului este generată de un punct A al cercului C_r , care se rostogolește pe un cerc de bază C_b , curba obținută fiind o epicloidă alungită (fig. 4.8);

c) dantura spiro-conică paloidă (Klingelnberg) la care linia flancurilor este generată de un punct al unei drepte d care se rostogolește pe un cerc cu raza rb și centrul în O , curba obținută fiind evolventă (fig. 4.9);

d) dantură spiro-conică ciclopaloidă (Klingelnberg) la care directoarele dinților pe roata plană sunt arce din două epicloide alungite diferite (fig. 4.10);

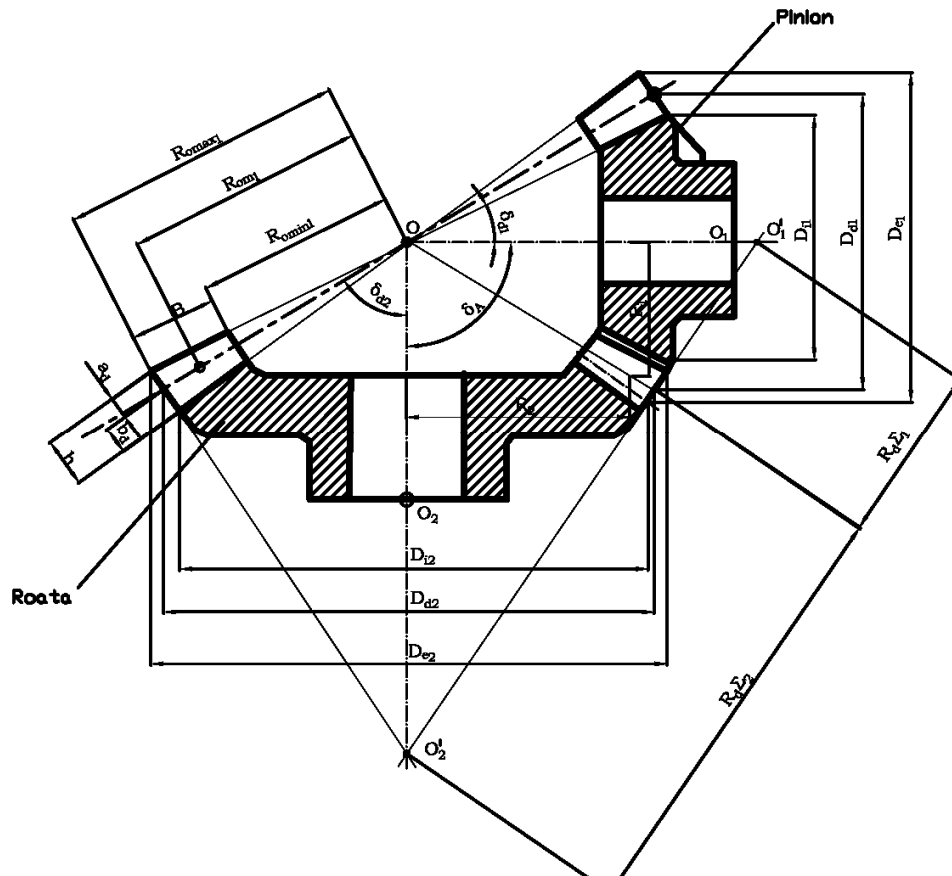


Fig. 4.2

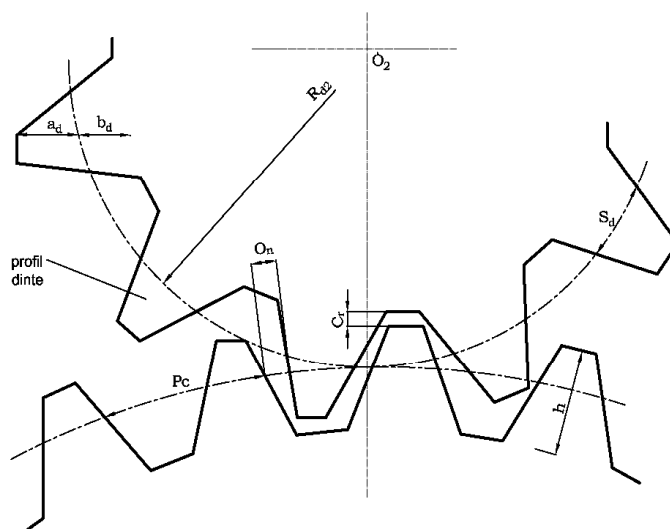


Fig. 4.3.

e) dantură spiroidă (Fiat-Mammano) la care directoarea dintelui pe roata plană imaginară este o epicycloidă alungită, iar pe roata-piesă este o cicloidă conică numită spiroidă (fig. 4.11);

f) dantură arhicon (Velicu) la care forma directoarei teoretice pe roata plană imaginară este o spirală arhimedică (fig. 4.12);

g) dantură epsinoidă (Gleason) la care linia flancurilor este o curbă epsinoidă, generată prin compunerea mișcărilor de translație alternativă combinată cu rularea oscilantă a unui punct ce reprezintă vârful sculei, cu mișcarea de rotație uniformă a roții de danturat (fig.4.13).

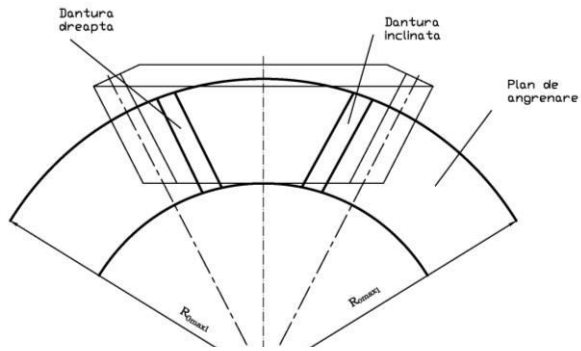


Fig. 4.4

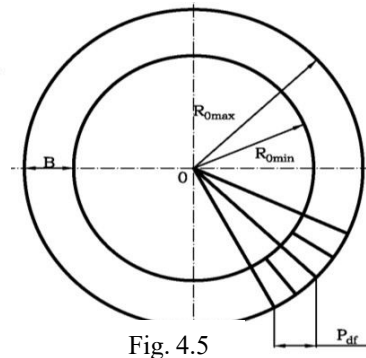


Fig. 4.5

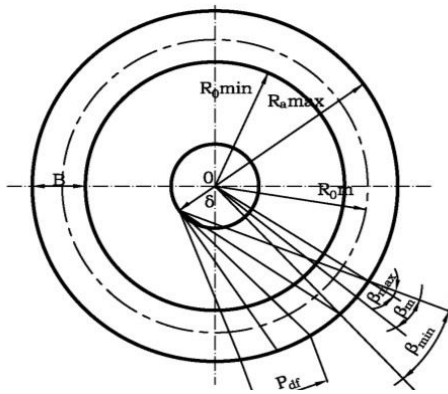


Fig. 4.6

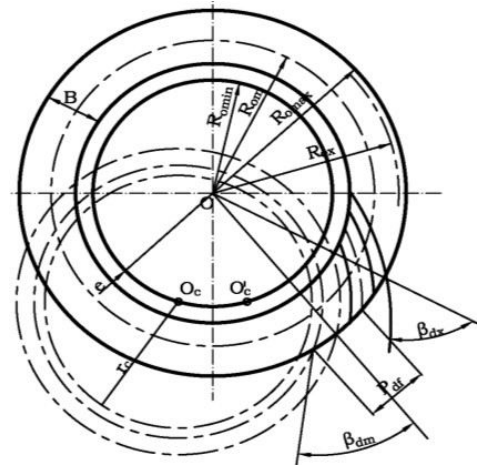


Fig. 4.7

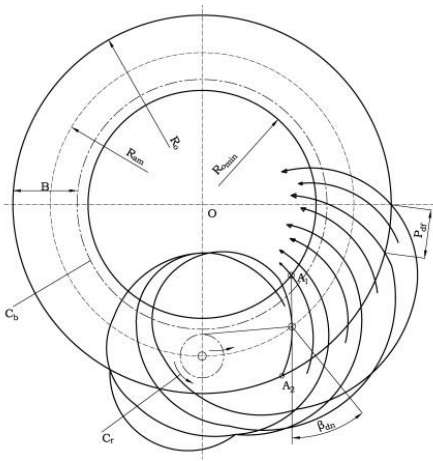


Fig. 4.8

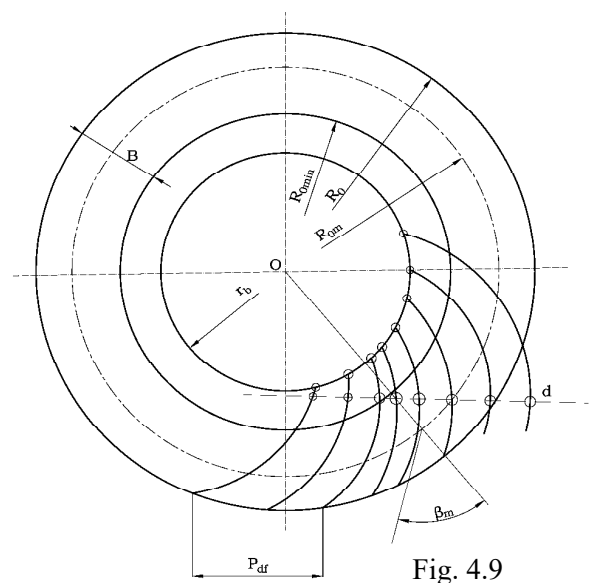


Fig. 4.9

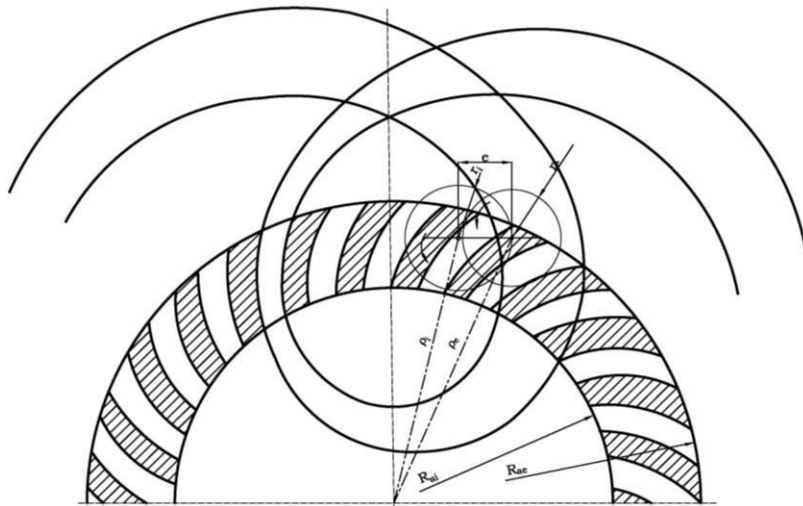


Fig. 4.10

4.2. Elemente de referință privind tehnologia danturării

La alegerea tipului constructiv al danturii conice utilizate într-un angrenaj, trebuie să se aibă în vedere în primul rând criteriul funcțional al angrenajului, apoi posibilitățile tehnologice de execuție a lui, corelate cu analiza economică corespunzătoare. Toate acestea trebuie să conducă, mai ales în cazul unei producții de serie mare, ca cea a autoturismelor, la un cost scăzut pe bucată.

Prelucrarea roților dințate conice se face, în principiu, prin două metode: copiere și rostogolire.

Prelucrarea prin copiere, de regulă frezarea cu freză-disc modul sau freză deget-modul frezare frontală prin pătrundere, broșare circulară cu broșe disc, broșare circulară cu broșă frontală, rabotarea prin copiere după șablon, actualmente se utilizează mai puțin. Aceasta datorită timpilor lungi de prelucrare, impreciziei prelucrării sau lipsei de economie la obținerea roții dințate în actualele exigențe moderne ale producției.

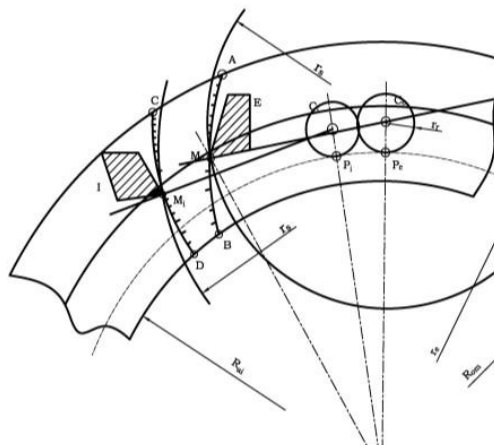
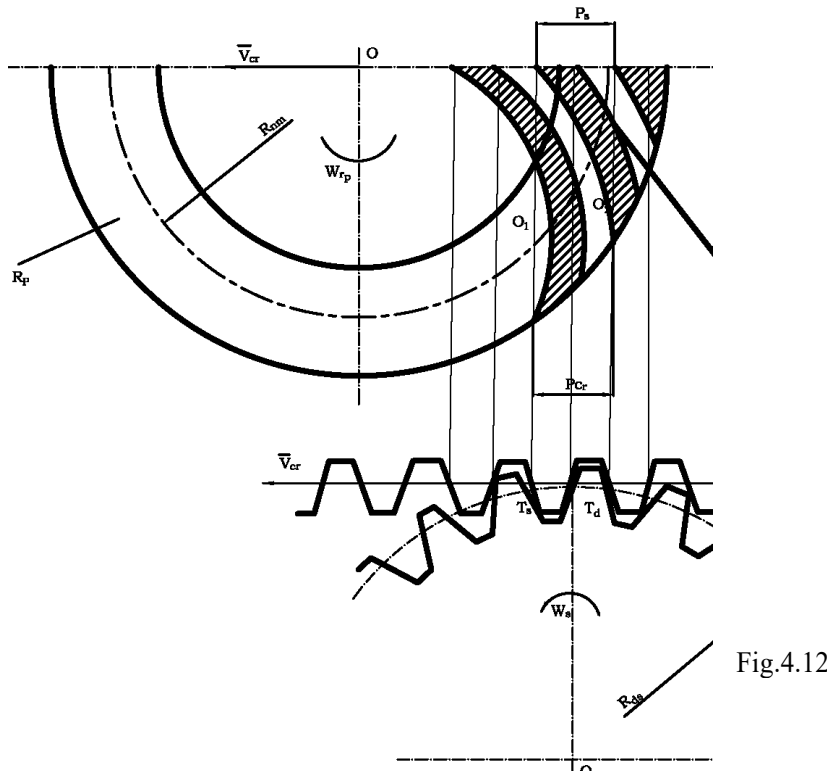


Fig. 4.11

La prelucrarea prin rulare, comparativ cu roțile dințate cilindrice, dintele unei roți conice trebuie să fie realizat prin curba înfașurătoare a muchiiilor așchietoare ale unei scule, având aceeași formă ca și a unei roți conice destinată să angreneze cu roata de generat. Cu toate acestea, nu se poate spune că problema este complet rezolvată pentru că dintele unei roți conice nu are o formă care se menține constantă pe toată lungimea sa

Ca urmare, se impune utilizarea unei scule aşchietoare-roată diferită pentru fiecare modul în funcție de lungimea dinților de generat. Se ajunge astfel la concluzia că pentru a utiliza o singură sculă pentru fiecare modul al danturii trebuie să se aleagă o roată cu dinți de înălțime constantă care angrenează cu roata de generat. Aceste condiții se realizează dacă se utilizează roata care se numește în mod frecvent "roata generatoare plană-conică", adică o roată care angrenează cu roata conică de generat și care prezintă un semiunghi al conului de rostogolire de 90° .



Această roată generatoare plană-conică este un element ideal utilizat pentru simplificarea modului teoretic de abordare. Doar în aceste condiții, de exemplu, dinții unei roți dințate conice cu dinți drepecți vor avea înălțimea egală pe toată lungimea lor și se vor prezenta în secțiune trapezoidală pe toată lungimea, deci cu flancuri, având generatoarele trecând prin centrul roții ca în cazul roților dințate conice cu dinți drepecți.

Ca urmare, danturarea prin rulare a roților dințate conice are loc printr-un proces tehnologic care reproduce angrenarea semifabricatului cu roata generatoare plană-conică-imaginară, ce definește angrenajul conic respectiv. Roata plană imaginară este materializată în procesul de aşchiere de către scula folosită la danturare. Reproducerea angrenării piesei cu roata plană imaginară, se poate realiza pe mașinile de danturat după următoarele principii:

- roata care se prelucrează angrenează cu roata plană imaginară care este fixă;
- roata plană imaginară angrenează cu roata care se prelucrează și care este fixă;
- atât roata plană imaginară, cât și roata care se prelucrează se rotesc în angrenare, axele lor fiind fixe.

Dintre aceste scheme teoretice de prelucrare, în practică se folosesc numai prima și ultima, deoarece realizarea prelucrării după schema a doua conduce la dificultăți serioase în construcția mașinilor de danturat și nu este justificată economic.

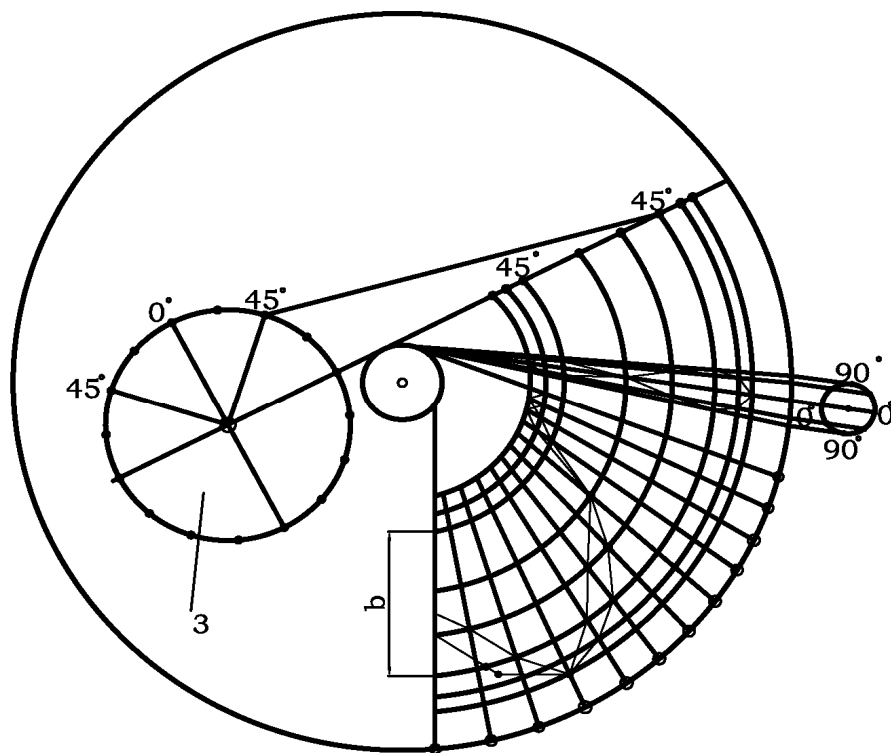


Fig.4.13

Funcție de procedeu ele prelucrare și tipul roții dințate conice mașinile-une respective și scule au caracteristici cinematice și constructive specifice procedeuului de realizare a danturii. De asemenea, un procedeu sau altul de prelucrare prin copiere sau rostogolire se utilizează în funcție de dantura care trebuie realizată, de precizia cerută, mărimea roții dințate, volumul producției și analiza economică pentru obținerea unui cost minim.

4.3. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați

Angrenajele conice cu dinți drepți (fig. 4.14), respectiv roți dințate conice cu dinți drepți, se folosesc la viteze periferice reduse $v = 2...3$ m/s, când unele abateri ale pasului sau profilului nu produc solicitări dinamice mari și zgomot. Roțile dințate conice cu dinți drepți sunt foarte sensibile la defectele de montaj și deformații sub sarcină, dar produc cele mai mici forțe axiale dintre toate tipurile de roți dințate conice.

Prelucrarea danturii roților dințate conice cu dinți drepți se poate face prin următoarele metode: danturarea prin copiere cu așchiera profilului dinților; danturarea prin rulare cu așchiera profilului dinților; danturarea prin deformare plastică la cald și rece; debavurarea și finisarea electrochimică a danturii; rotunjirea muchiilor danturii; obținerea roții danturate prin turnare; obținerea roților danturate din pulberi metalice prin presare în matriță.

Danturarea prin copiere se realizează prin următoarele procedee: frezarea cu freză-disc modul; frezarea cu freză-deget modul; broșarea cu broșe circulare (procedeu Gleason-Revacycle; rabotarea prin copiere după șablon (procedeu Heidenreich & Harbeck); frezarea prin copiere după șablon (procedeu Gleason).

Danturarea prin rulare se realizează prin următoarele procedee: rabotarea cu un singur cuțit (procedeu Bilgram-Reinecker); rabotarea cu două cuțite (procedeu Gleason-Heidenreich & Harbeck); frezarea cu freze-disc (procedeu Gleason-Coniflex); rectificarea; lepuirea; rodarea.

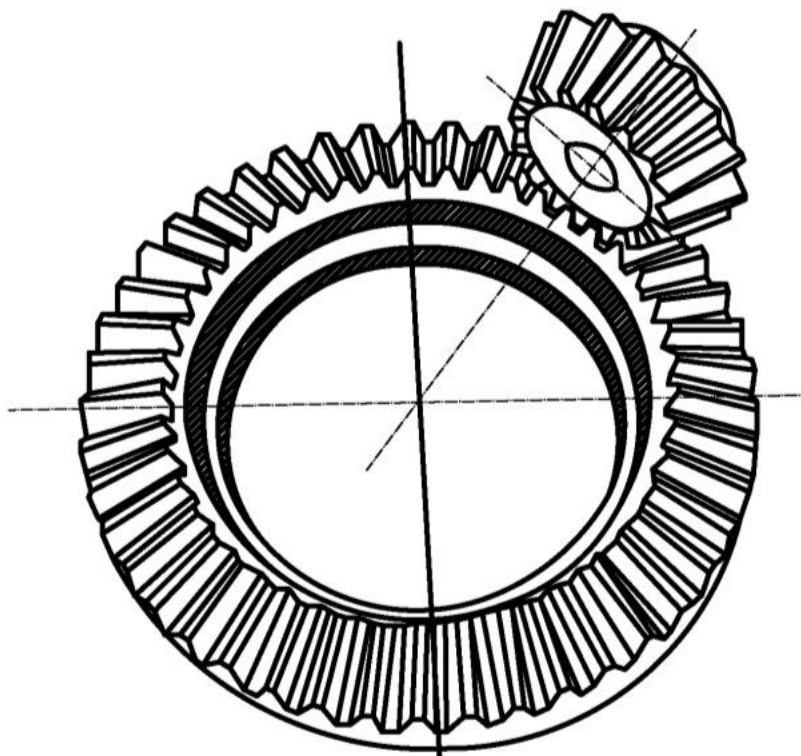


Fig. 4.14

Angrenajele, respectiv roțile dințate conice cu dinți înclinați, se folosesc la viteze periferice până la 12 m/s. Se preferă utilizarea lor în cazul roților mari care nu se pot fabrica pe mașini-unelte pentru roți dințate conice cu dinți curbi. Având în vedere productivitatea scăzută a prelucrării, în cazuri obișnuite se preferă în locul lor roți conice cu dinți curbi care se pot fabrica pe mașini de mare productivitate.

Precizia și rugozitatea flancurilor dinților prelucrați prin diferite procedee la roțile dințate conice cu dinți drepti și înclinați este dată în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Precizia și rugozitatea flancurilor dinților prelucrați prin diferite procedee

| Denumirea procedeeului de prelucrare | Modulul, mm | Treapta de precizie | Rugozitatea flancurilor R_a , μm |
|---|-------------|---------------------|---|
| Danturarea prin copiere după șablon cu unul sau două cuțite | 11...20 | 8 | 6,3...3,2 |
| | 21...30 | 8...9 | 12,5...6,3 |
| Broșarea circulară | 3...7 | 9 | 6,3...3,2 |
| Danturarea cu freză-deget modul | 3...10 | 9...10 | 6,3...12,5 |
| | 11...20 | | |
| | 21...30 | 10...11 | 12,5...25 |
| Danturarea prin rabotare cu unul sau două cuțite prin rostogolire | 3...10 | 7...8 | 3,2...1,6 |
| | 11...20 | | 6,3...3,2 |

4.3.1. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepecți și înclinați prin copiere cu freză-disc modul sau freză-deget modul

Danturarea prin copiere cu freză disc-modul (fig. 4.15, a) sau freză-deget modul (fig. 4.15, b) sunt procedee cu productivitate mică și precizie scăzută. Roțile dințate obținute se folosesc în domenii de mică importanță ca roți de înlocuire în unele echipamente, în general la module mici. Aplicarea procedeeului se recomandă la producția de unicat.

Flancurile golului dintre dinți se prelucrează succesiv cu o sculă profilată, respectiv seria de freze-disc modul sau freze-deget modul folosite la prelucrarea prin copiere a roților dințate cilindrice cu dantură nedeplasată. Prelucrarea se face în două faze: degroșare și finisare.

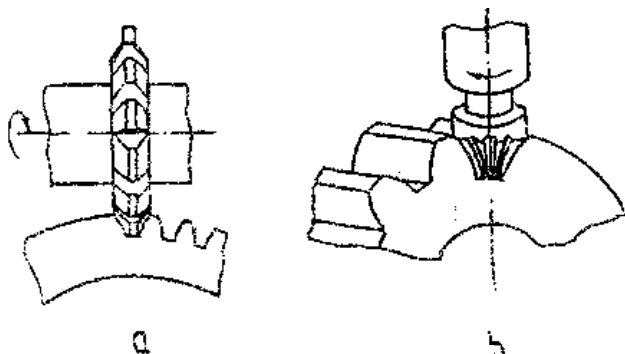


Fig.4.15

Pentru a se asigura o mai bună precizie și productivitate, finisarea se poate face ca operație separată cu prelucrări prin rostogolire de frezare, rabotare. Roata conică are pe lungimea dintelui un modul variabil, prelucrările cu freze-disc și deget modul dând naștere la deformări ale profilului dintelui. Rezultă că prelucrarea se face cu reglaje speciale ale dispozitivelor de prindere a sculei și piesei, pe mașini de frezat clasice, cu scopul obținerii de abateri cât mai mici posibile ale danturii. În cazul

prelucrării pe o mașină de frezat orizontal, schița operației corespunde figurii 3.16. Semifabricatul roată conică 1 este prins pe dornul 3, poziționat prin înclinarea capului divizor 4, astfel ca freza-disc 2 să aibă o traiectorie paralelă cu generatoarea conului interior. Avansul este realizat de masa frezei pe care se află roata dințată cu dispozitivul de prindere. Modulul frezei-disc este corespunzător modulului minim din partea inferioară a dintelui roții dințate. Numărul frezei se alege în funcție de numărul de dinți echivalent determinat de relația:

$$z_e = z \cos^3 \delta_0, \quad (4.1)$$

în care z_e este numărul de dinți al roții dințate și δ_0 este semiunghiul conului de divizare.

Divizarea se face prin intermediul capului divizor 4, calculul divizării fiind asemănător cu cel de la roțile dințate cilindrice. Operația de prelucrare se face prelucrându-se golul dintre dinți din două sau mai multe treceri, prin același ciclu de prelucrare.

După degroșarea tuturor dinților, este necesar să se execute două treceri prin fiecare gol dintre dinți, așezând discul roții deplasat de la centru. Aceasta se face pe de o parte, apoi pe de alta, pentru a se obține un dinte cât mai apropiat de forma corectă cerută. Pentru obținerea grosimii necesare egale a dintelui în partea lui îngustă și în cea groasă, masa mașinii de frezat este rotită cu capul divizor, iar roata de danturat cu un unghi α corespunzător pentru prelucrarea unuia din flancuri (fig. 4.17).

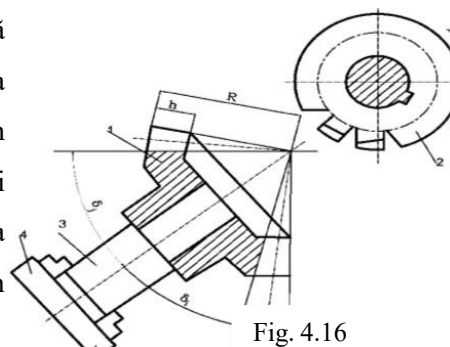


Fig. 4.16

După această regla/e se prelucrează flancurile pe o parte, succesiv la fiecare dinte prin divizare, realizând un flanc al fiecărui dinte. Flancurile opuse se prelucrează după o nouă rotire în sens opus al mesei frezei, care cuprinde deplasarea frezei de cealaltă parte a axei roții. Pentru determinarea poziției excentrice E a roții se folosește relația

$$E = S_d / 2 - K \cdot m, \quad (4.2)$$

în care: S_d este grosimea dintelui frezei disc pe cercul de divizare; m - modulul frezei; K - coeficient pentru determinarea dezaxării relative conform tabelului 4.2 determinat cu ajutorul coeficientului C_d cu relația:

$$C_d = R_{oe} / L, \quad (4.3)$$

în care R_{oe} este lungimea generatoarei conului de divizare calculat cu relația (4.4) și L este lățimea coroanei dințate,

$$R_{oe} = D_d / (2 \sin \delta_{d1}) = mz / (2 \sin \delta_{d1}) \quad (4.4)$$

Corespunzător numărului de dinți echivalent z_e din relația (4.1) se alege numărul frezei ca la roțile dințate cilindrice. Corespunzător numărului frezei și coeficientului C_d se alege coeficientul K . Deoarece lungimea dintelui este mai mică decât lungimea generatoare; conul de divizare, golul dintre dinți, va rezulta mult îngustat pentru capătul mic ai roți. Ca urmare, se alege o freză pentru modulul $(m-1)$ la care se calculează grosimea dintelui frezei-disc de cercul de divizare sau se măsoară efectiv.

Tabelul 4.2. Coeficientul pentru determinarea dezaxării relative K

| Nr. Frezei | Coeficientul C_d | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| | 3 | $3\frac{1}{4}$ | $3\frac{1}{2}$ | $3\frac{3}{4}$ | 4 | $4\frac{1}{4}$ | $4\frac{1}{2}$ | $4\frac{3}{4}$ | 5 | $5\frac{1}{2}$ | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 0,254 | 0,254 | 0,255 | 0,256 | 0,257 | 0,25 | 0,25 | 0,258 | 0,258 | 0,259 | 0,260 | 0,762 | 0,256 |
| 2 | 0,266 | 0,268 | 0,271 | 0,272 | 0,273 | 0,274 | 0,274 | 0,275 | 0,277 | 0,279 | 0,280 | 0,283 | 0,284 |
| 3 | 0,266 | 0,268 | 0,271 | 0,273 | 0,275 | 0,278 | 0,280 | 0,282 | 0,283 | 0,86 | 0,28 | 0,290 | 0,292 |
| 4 | 0,275 | 0,280 | 0,285 | 0,287 | 0,291 | 0,293 | 0,296 | 0,298 | 0,298 | 0,302 | 0,305 | 0,308 | 0,311 |
| 5 | 0,280 | 0,285 | 0,290 | 0,293 | 0,295 | 0,296 | 0,298 | 0,300 | 0,302 | 0,307 | 0,309 | 0,313 | 0,315 |
| 6 | 0,311 | 0,318 | 0,323 | 0,328 | 0,330 | 0,334 | 0,33 | 0,340 | 0,343 | 0,348 | 0,352 | 0,356 | 0,362 |
| 7 | 0,289 | 0,298 | 0,308 | 0,316 | 0,324 | 0,329 | 0,334 | 0,338 | 0,343 | 0,350 | 0,360 | 0,370 | 0,376 |
| 8 | 0,275 | 0,286 | 0,296 | 0,309 | 0,319 | 0,331 | 0,338 | 0,344 | 0,352 | 0,361 | 0,368 | 0,380 | 0,386 |

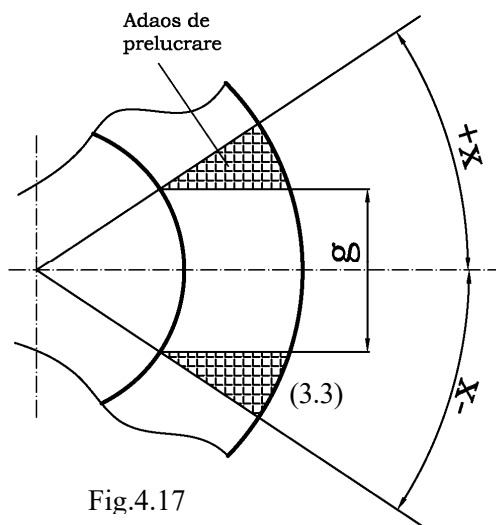


Fig.4.17

După reglarea excentrică a roții se fac treceri de verificare. Verificarea mărimii excentricității se face măsurând grosimea dintelui la capătul îngust (g_{di}) și la cel gros (g_{dg}) care trebuie să fie egale.

Pentru măsurarea grosimilor cu calibra, trebuie respectată condiția ca rapoaul dintre înălțimea dintelui ia capătul îngust și înălțimea dintelui la capătul gros să fie egală cu raportul $(R_{oe}-L)/R_{oe}$. Efectuând verificări repetate se obține poziționarea corectă a scuiei.

Procedeu se aplică numai în producția de unicate și până la un modul $m = 3$, erorile de prelucrare fiind foarte mari pentru module mai mari. Frezele-deget modul sunt folosite pentru prelucrarea roților conice de modul mai mare, apiiându-se același procedeu. Degroșarea se execută la modulul cel mai mic, și apoi frezarea fiecărui flanc în parte.

Pentru prelucrarea roților dințate conice cu dantură înclinată se aplică reglajul suplimentar al mesei și capului divizor ca la roțile dințate cilindrice cu dinți înclinați.

Ca urmare, se înclină masa mașinii de frezat cu unghiul β de înclinare a danturii. Roata dințată are în același timp o mișcare de rotație corelată cu avansul longitudinal al mesei printr-un lanț cinematic, care preia mișcarea de la șurubul conducător al mesei cu o liră și roțile de schimb respective împreună cu un dispozitiv cu ax orizontal rotativ și divizare. În rest se folosesc aceleași reglări ca și la roțile dințate conice cu dinți dreți. Procedeu, din cauza erorilor ridicate și impreciziei prelucrării, este mai rar utilizat.

Rugozitatea suprafețelor prelucrate, respectiv a flancurilor dinților, prin frezare cu freză-disc modul și freză-deget modul se afla în domeniul $R_a = (6,3...12,5) \mu m$.

4.3.2. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți dreți cu broșe circulare prin copiere

Broșarea danturii roților dințate conice cu dinți dreți (procedeu Gleason-Revacycle) ca procedeu de prelucrare cu productivitate ridicată se aplică la pinioanele cu un număr mic de dinți, de dimensiune mică și în cazul producției de masă. Procedeu nu se aplică la roțile dințate conice cu dantură înclinată.

Scula utilizată este o broșă circulară l cu diametrul $(500...700) mm$, având grupe de cuțite așchietoare așezate în 15...17 segmente 2, cu câte 4...6 dinți fiecare și lucrând la turație constantă (fig. 4.18). Dinții așchietori ai broșei pentru prelucrarea danturii roții 3 sunt împărțiți în următoarele grupe: grupa de degroșare (zona a) din aproximativ 5 segmente și 30 dinți destinată fazei de degroșare; grupa de semifinisare (zona b) cu 7 segmente și 32 dinți destinată fazei de semifinisare; grupa de finisare (zona c) de aproximativ 5 segmente și 20 dinți destinată fazei de finisare. În timpul procesului de așchiere, cuțitele prelucrează golul dintre dinți prin divizarea adaosului de prelucrare, procedeu caracteristic broșării, obținându-se astfel treptat, în final, profilul danturii (fig.4.19). În porțiunea broșei fără dinți așchietori, la unghiul θ , are loc divizarea cu un gol dintre dinții roții de prelucrat 3. Astfel, procesul de prelucrare are un caracter cotinuu, reducând la minim timpi neproductiv.

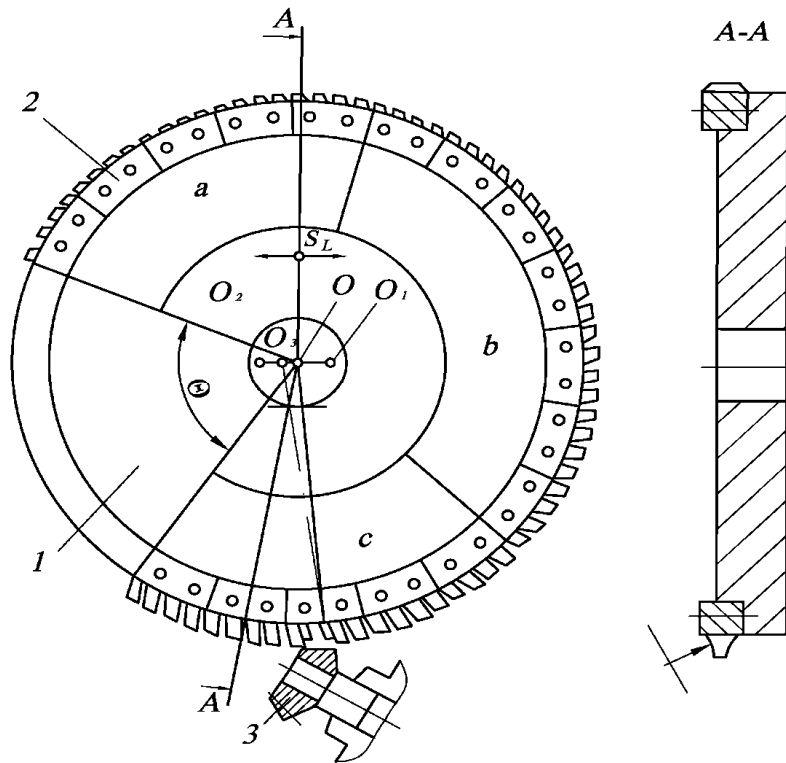


Fig. 4.18

Timpul necesar pentru executarea unui gol dintre dinți este cuprins între (2...7) sec., în funcție de caracteristicile roții dințate și sculei. Astfel, la un pinion conic cu zece dinți se poate prelucra dantura în 30 sec. Utilizând un dispozitiv de alimentare automat cu piese, se pot prelucra 100 astfel de pinioane într-o oră. Mișcarea principală de așchiere este de rotație cu turație constantă a broșei circulare în jurul axei sale.

Prelucrarea golului dintre dinți este posibilă doar datorită unei mișcări suplimentare rectilinii de avans transversal, după o direcție paralelă cu generatoarea conului interior al roții dințate. Între fazele operației de prelucrare a golului dintre dinți, rotația broșei și mișcarea de avans transversal există următoarea corelare:

a) faza de degroșare: broșa în mișcare de rotație parcurge în mișcare de avans transversal distanța $O_1 O$, ce corespunde arcului de rotație a broșei

egal cu cel pe care sunt dispuse segmentele cu dinții de degroșare a . În punctul O , mișcarea de avans este întreruptă pentru un timp scurt. Dinții care au prelucrat, au supraînălțarea după o spirală arhimedică. Cât timp mișcarea de avans transversal este întreruptă, dinții așchietori au înălțimea constantă;

b) faza de semifinisare: centrul O al broșei în mișcare de rotație parcurge în mișcare de avans transversal distanța OO_2 , ce corespunde arcului de rotație a broșei egal cu cel pe care sunt dispuse segmentele cu dinți de semifinisare b , dinții așchietori ai broșei având supraînălțarea după o spirală arhimedică;

c) faza de finisare: la broșa circulară, după ieșirea din așchiere a ultimului dinte de semifinisare și înainte de intrarea în așchiere a primului dinte de finisare are loc inversarea sensului mișcării de avans transversal. Centrul O al broșei în mișcare de rotație parcurge în mișcare de avans transversal distanța $O_2 O_3$, ce corespunde arcului de rotație a broșei egal cu cel pe care sunt dispuse segmentele cu dinți de finisare c . La unele tipuri de broșe

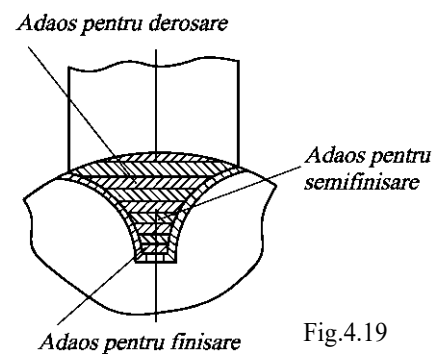


Fig.4.19

circulară, la sfârșitul zonei c este prevăzut un cuțit rotativ special, de debavurare mecanică, având axa de rotație pe raza broșei. Acesta are rolul de a înlătura așchiile rezultate în zona finală a golului dintre dinți la ieșirea din așchiere a dinților broșei;

d) faza de divizare: centrul O al broșei în mișcare de rotație parcurge distanța $O_3 O_1$, corespunzător arcului de rotație a broșei egal cu cel în care nu sunt dinți așchietori, θ . În această fază se face divizarea prin rotirea roții conice cu un unghi corespunzător pentru prelucrarea următorului gol dintre dinți, ciclul de prelucrare fiind reluat. Prelucrarea va reîncepe cu centrul broșei O în punctul O_1 . Ciclul de mișcări de translație a broșei, concomitent cu așchiera golului dintre dinți al piesei de danturat, se execută pe piesa având poziție fixă.

Bombarea de-a lungul lățimii dintelui se realizează automat din combinarea mișcării de avans transversal al capului portsculă broșe cu profilul tășurilor dinților așchietori ai broșei. Construcția broșei, fiind foarte dificilă, pentru simplificarea executării dinților broșei se schimbă profilul de evolvență al dinților așchietori, printr-un circular. Razele profilurilor circulare sunt egale la toți dinții, având poziția centrelor arcelor diferită, în funcție de variația profilului flancurilor pe lungimea dintelui roții dințate. Ca urmare a acestor modificări, dinții așchietori ai broșei pot fi rectificati în întregime, cu aceeași sculă de rectificat. Viteza de așchiere la prelucrare este de 20...30 m/min.

Viteza de avans transversal depinde de turația broșei, numărul de dinți ai broșei și lungimea cursei saniei portsculă. Rugozitatea suprafețelor prelucrate este $R_a = (3,2, \dots, 6,3) \mu\text{m}$.

La un număr mare de dinți precizia de prelucrare scade datorită erorilor cumulate de divizare la piesa prelucrată. Ca urmare a faptului că profilul dinților nu mai este evolventic, având profil circular, roțile dințate prelucrate se pot utiliza doar la turații mici. Roțile dințate obținute au avantajul că sunt mai puțin sensibile la erorile de montaj și la deformațiile elastice ale dinților.

4.3.3. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți dreți și înclinați folosind rabotarea prin copiere după șablon

Rabotarea prin copiere după șablon a danturii roților dințate conice cu dinți dreți sau înclinați (procedeele Heidenreich & Harbeck) se aplică la roțile de module mari (peste 20 mm).

Tabelul 4.3. Gama șabloanelor utilizate la prelucrarea prin copiere a danturilor conice pe mașina 5A 283

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nr.șablonului | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Semiunghiul conului de divizare | 6°1' | 6°44' | 7°37' | 8°52' | 10°39' | 13°3' | 15°55' | 18°53' | 22°41' | 26°36' |
| Nr.șablonului | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Semiunghiul conului de divizare | 30°37' | 34°40' | 38°49' | 42°56' | 45°0' | 47°3' | 51°11' | 55°20' | 59°23' | 63°24' |
| Nr.șablonului | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | — |
| Semiunghiul conului de divizare | 67°18' | 70°52' | 74°04' | 76°67' | 79°29' | 81°07' | 82°23' | 83°5' | 83°58' | |

Se utilizează două scule așchietoare cu flancurile rectilinii care se mișcă în mod alternativ. Prelucrarea se face utilizând trei rânduri de cuțite, unul pentru degroșare și altele două pentru finisare, în mod succesiv. Sculele

așchietoare sunt ghidate după șablonul care are forma flancului dinților.

Deci, dacă se cunoaște profilul dintelui într-o secțiune și poziția față de vârful conului de generare, se poate utiliza șablonul 2, care se realizează mărit de câteva ori și după care apoi este prelucrat întreg flancul dintelui 1 (fig. 3.20, a, b) cu cuțitele 3 care au o mișcare rectilinie alternativă de așchiere, simultan cu avansul de rotire în jurul axei Oz , care se numește și avans de transport s_t , și un al doilea avans de rotire în jurul axei Oy , care este avansul de copiere s_r . Toate aceste mișcări converg către vârful conului O , realizând astfel profile ometetice.

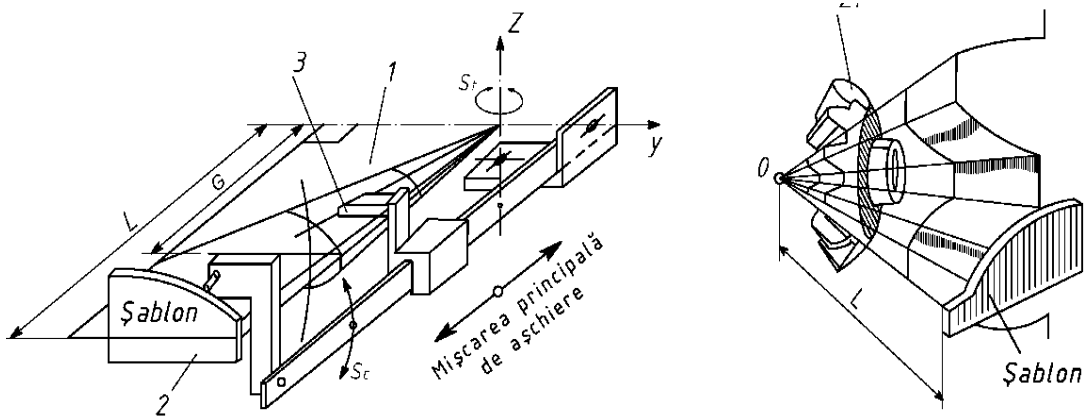


Fig. 4.20

La roțile dințate de modul mare, cele două cuțite 3 de degroșare sunt reglate în poziție simetrică. Acestea execută degroșarea într-una sau două faze (fig. 4.21, a). La degrosarea în două faze, la început cuțitele 3 pătrund în semifabricatul 1 până la adâncimea necesară. Pentru aceasta, avansul radial s_r este numai un avans de pătrundere, iar avansul de copiere s_c este neîntrerupt. Prin această operație este prelucrată o cantitate mare din adaosul de prelucrare.

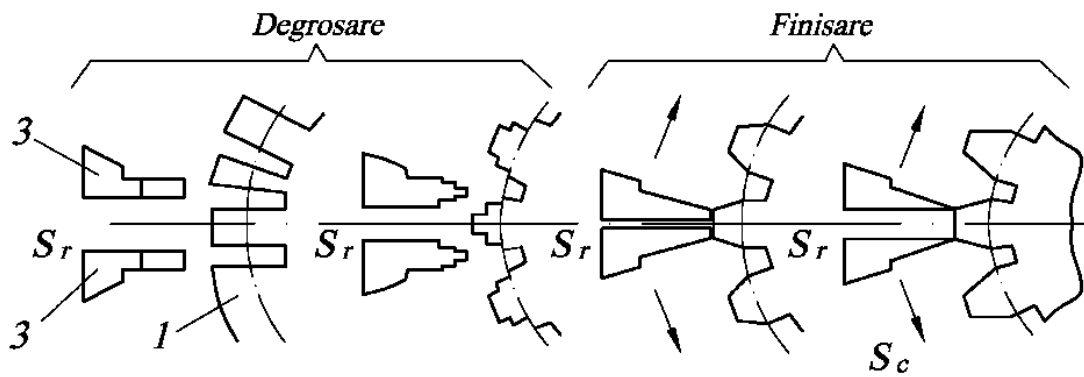


Fig. 4.21

În a doua fază de degroșare sunt utilizate cuțite cu muchiile așchietoare în trepte (fig. 4.21 b), cu care se lărgeste golul dintelui. Aceste cuțite dau o stabilitate mai bună sistemului tehnologic decât cuțitele trapezoidale, deoarece generează așchii de secțiuni mici.

De asemenea, finisarea se poate realiza dintr-o singură fază sau două (fig. 4.21). Pentru aceasta se utilizează două cuțite care au raza la vârf egală cu raza palpatorului care urmărește șablonul. În faza de finisare sunt realizate atât cele două avansuri, cât și mișcarea rectilinie alternativă pentru realizarea profilului flancurilor dinților.

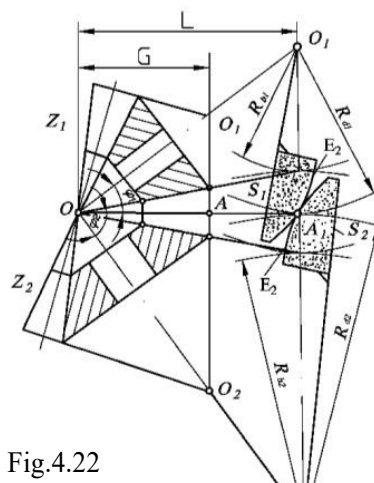


Fig.4.22

Vitezele de aşchiere la degroşare pot ajunge la circa 10...35 m/min, iar la finisare circa 20...40 m/min. În funcţie de modulul roţii, se obţine o precizie de prelucrare în treptele 8...9 (tab. 4.1). E de menţionat că precizia de prelucrare este strict legată de precizia de realizare a şabloanelor. Ca urmare, se acordă o atenţie deosebită calculului, trasării, execuţiei şi montajului şablonului.

Pentru proiectarea şabloanelor se consideră cele două roţi în angrenare (fig 4.22) pentru care se desfăşoară conurile complementare, ce au generatoarea $O_1 A$ şi $O_2 A$ şi desfăşurate dau profilele evolventice E_1 şi E_2 . Dacă se ia una dintre aceste evolvente, cu ea pot fi generate prin omotetie toate roţile conice de unghi φ_1 şi φ_2 . În acest caz, se impune strict ca şablonul realizat să respecte raportul de omotetie.

Ca urmare, şabloanele vor fi realizate pentru cele două roţi care au cercurile de divizare de raze R_{d1} şi R_{d2} care se determină cu relaţiile:

$$R_{d1} = L \operatorname{tg} \varphi_1, \quad R_{d2} = L \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (4.5)$$

Dacă raportul de transmisie este $i = z_2 / z_1$, valoarea unghiulară se determină prin relaţiile:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = R_{d1} / (i \cdot L); \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = R_{d2} \cdot i / L \quad (4.6)$$

Rezultă că razele celor două cercuri de divizare pe care ie vor avea şabloanele vor fi:

$$R_{d1} = L \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 / i; \quad R_{d2} = L \cdot i \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 [mm] \quad (4.7)$$

Ca urmare, cota L este bine determinată pentru montarea şablonului pe maşină, iar profilul lui depinde de raportul de transmisie i . În general, se consideră

că sunt suficiente 29 de şabloane care pot acoperi o gamă de rapoarte de transmitere de la 1/1 la 8/1 (vezi tabelul 4.3), de unde se alege numărul şablonului în funcţie de semiunghiul φ al conului de divizare.

Fixarea şablonului pe maşină şi reglarea lui în poziţia de lucru se realizează prin deplasarea orizontală Δl (fig 4.23), deplasarea pe verticala cu Δh şi apoi rotirea cu unghiul ψ în jurul punctului A . La fel se procedează când trebuie realizate atât corecţii radiale sau tangenţiale ale danturii, cât şi ale unghiului de angrenare, dacă acesta nu este cel normal de 20° .

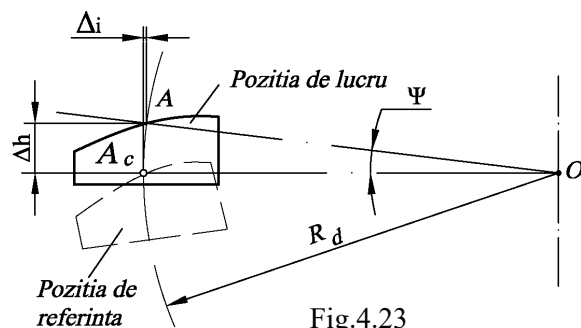


Fig.4.23

4.3.4. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepti și înclinați folosind frezarea prin copiere după șablon

Având drept scop creșterea productivității față de rabotare, frezarea prin copiere după șablon se utilizează pentru roțile dințate cu dimensiuni de peste 1000 mm. Firma Gleason a fabricat mașini-unelte de prelucrat prin frezare după șablon până la roți dințate cu diametrul de 5000 mm. Productivitatea mare generată de aceste mașini-unelte permite realizarea oricărui profil. Așchiile rezultate din prelucrare sunt mai mici, astfel încât generarea la profile speciale ale dinților se poate face fără probleme, chiar și în cazul dinților conici bombați.

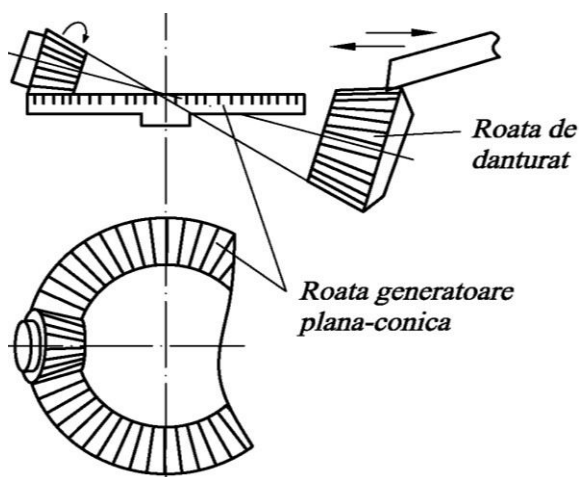


Fig.4.24

4.3.5. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepți înclinați folosind prelucrarea de rabotare cu un singur cuțit prin rulare

Danturarea prin rulare, utilizând rabotarea cu un singur cuțit, procedeul cunoscut cu denumirea de procedeul Bilgram-Reincker, folosește o sculă cu profil constant și secțiune trapezoidală, care reprezintă un dinte al roții generatoare plană-conică. Lățimea sculei la vârful este mai mică decât distanța minimă dintre dinți (golul dintre dinți). Aceasta înseamnă că pentru a genera complet flancurile dinților roții dințate, adică golul dintre dinți, trebuie traversate trei faze:

- 1) degroșarea golului dintre dinți;
- 2) finisarea flancului drept;
- 3) finisarea flancului stâng;
- 4) Principiul prelucrării este arătat schematic în figura 4.24.

Roată dințată conică 1 se rotește în jurul axei proprii fără să aibă o deplasare relativă, pe o coroană dințată circulară sector conic 2, care reprezintă roata generatoare plană-conică. Semifabricatul roată dințată de prelucrat 3 este solidar cu roata dințată conică printr-un ax 7, astfel încât la orice cursă dublă a sculei așchietoare 4 se poate roti piesa 3 cu o mică cantitate.

Astfel, zona de așchiere se deplasează pe poziții succesive, apropiate ale flancului dintelui, generându-se profilul evolventic. Acest mod de generare prin rulare este efectuat prin intermediul angrenajului melcat compus

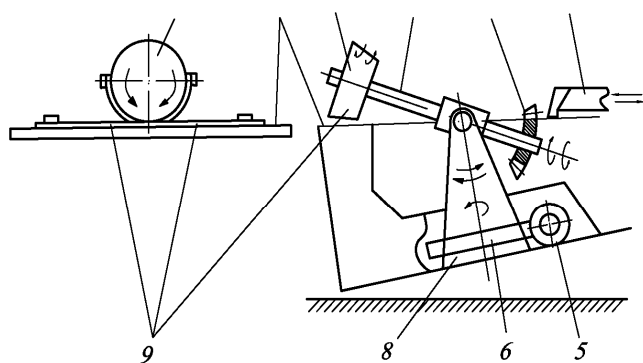


Fig. 4.25

din melcul 5 și roata melcată 6. Mișcarea de rotație a roții melcate 6 face să se rotească întregul sistem în jurul axei roții plane-conice 2 (fig. 4.25). Bineînțeles, arborele 7, care leagă roata dințată conică cu semifabricatul roată de prelucrat, trebuie să fie montat liber prin lăgăruire pe suportul 8. Pentru a împiedica o deplasare relativă de alunecare între coroana circulară dințată sector conic 2 și roata dințată conică 1, această roată 1 vine fixată prin intermediul a două benzi de oțel 9 conform

figurii 4.25. Ca urmare, rotația sectorului conic 2 determină mișcările de mică amplitudine necesare pentru ca scula să descrie profilul dintelui la așchierea prin rulare.

Întregul sistem se poate roti în jurul axei normale pe planul figurii. Pentru fiecare cursă dublă a sculei, un dispozitiv de divizare permite rotația piesei cu o cantitate egală cu pasul danturii. Aceasta înseamnă că nu este prelucrat complet golul dintre dinți înainte de a trece la cel succesiv, dar toate golurile dintre dinți se prelucrează gradual.

Astfel, erorile de prelucrare datorate uzurii sculei așchietoare se repartizează uniform pe toți dinții prelucrați.

Mișcarea de divizare descrisă mai sus se face pentru fiecare din fazele necesare obținerii danturii, adică: degroșare gol dintre dinți, finisare flanc drept, finisare flanc stâng.

Posibilitatea de rotație a întregului sistem în jurul axei roții plano-conice se utilizează și pentru obținerea danturii înclinată la roata conică de prelucrat, obținând flancul rectiliniu al danturii în planul longitudinal. Ca urmare, generatoarea flancurilor dinților roții prelucrate nu este pe axa roții plane-conice, fiind tangentă la un cilindru coaxial cu roata plană-conică, caracteristic pentru roțile dințate conice cu dinți înclinați (fig. 4.26).

4.3.6. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați folosind prelucrarea de rabotare cu două cuțite prin rulare

Danturarea prin rulare, utilizând rabotarea cu două cuțite, procedeul cunoscut cu denumirea de procedeul Gleason-Heidenreich & Harbeck, folosește două cuțite așchietoare cu flancuri rectilinii care se mișcă în mod alternativ-rectiliniu de-a lungul dintelui de prelucrat. Generarea danturii se asigură având atât roată conică-plană, cât și roată piesă în mișcare de rotație, semifabricatul rulând (angrenează) cu roata plană imaginată.

Ghidajele pe care se mișcă sculele așchietoare sunt fixate pe o masă care se poate roti în jurul unei axe orizontale cu o viteză egală cu cea pe care ar avea-o roata plană-conică care ar angrena cu roata conică piesa de prelucrat. În figura 4.26 este dată o schemă simplificată a principiului de prelucrare.

Dispozitivul port-piesă 1 se poate deplasa rectiliniu pe ghidajele 2 și se poate roti pe placa 3 pentru mișcările necesare de prelucrare. Pe partea frontală a capului de prelucrat 4 a mașinii-unelte se găsește o placă 5, care se poate roti în jurul axei orizontale a capului ce coincide cu axa roții generatoare plane-conice. Pe placa 5 se găsesc poziționate două ghidaje 6, pe care se pot deplasa în mișcare rectilinie alternativă port-scule 7.

Pentru fiecare cursă dublă a sculelor așchietoare se rotește placa 5 și piesa de prelucrat 8, conform raportului de transmitere existent între pinion și roata plană-conică.

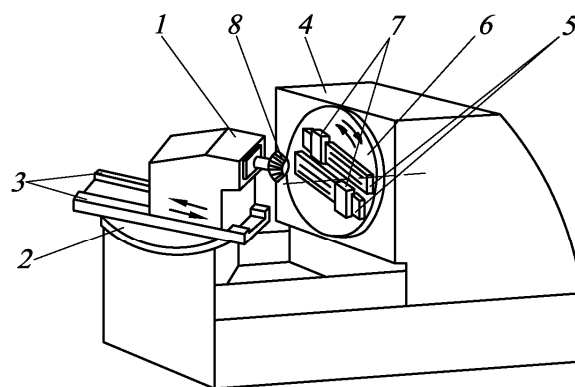


Fig. 4.26

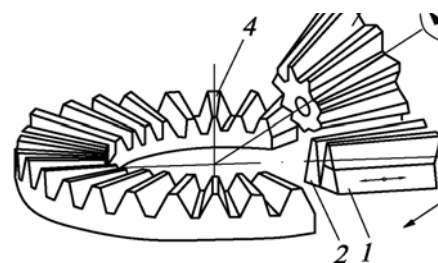


Fig. 4.27

Astfel, se obține mișcarea de generare a profilului dintelui. Mișcarea de divizare urmează după ce este prelucrat complet un gol dintre doi dinți succesivi.

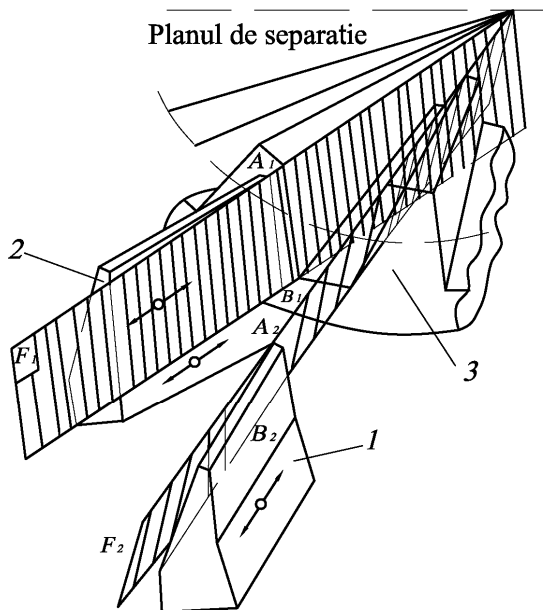


Fig. 4.28

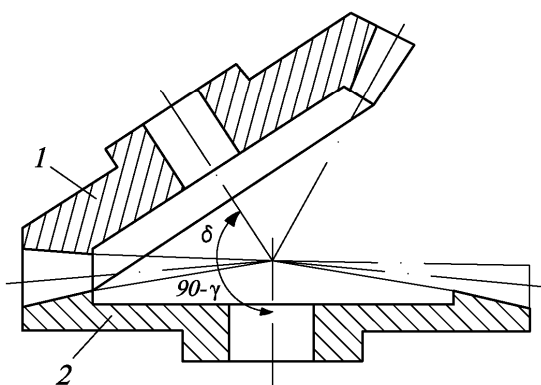


Fig. 4.29

La roțile dințate cu dinți drepti (fig. 4.27), dacă dinții roții plane 4 sunt egali cu golurile celeilalte roți conice 3, rezultă că roata plană se poate materializa prin sculele 1 și 2. Pentru prelucrarea roții 3, cuțitele de rabotat 1 și 2 cu mișcarea rectilinie alternativă în lungul dintelui 3 converg spre central O, după planele F1 și F2, generând două flancuri complete (fig. 4.28). Cuțitele au mișcarea alternativă în lungul flancului pentru a putea pătrunde în golul dintre dinți pe rând, în timp ce semifabricatul rulează cu roata plană-conică imaginară. La roțile dințate cu dinți înclinați, cuțitele de rabotat au aceeași mișcare în lungul dintelui, cu generatoarea flancului tangentă la un cilindru coaxial cu roata plană-conică imaginară.

Pentru simplificarea construcției mașinilor de rabotat, roata plană 2 este modificată, ea având semiunghiul conului de rulare δ cu semifabricatul 1, în funcție de unghiul τ , deci, $\delta = 90^\circ - \tau$ (fig. 4.29) față de axa roții plane imaginare, sau poate fi și perpendiculară.

La prelucrarea roților dințate de module mari $m > 10$ mm se utilizează roata plană modificată; ca urmare se înclină suportul cuțitelor de rabotat cu unghiul τ . Pentru roțile de module mici nu se mai face acest reglaj, iar erorile de prelucrare sunt mai mici.

În scopul creșterii productivității, operația de degroșare prin rabotare se poate realiza numai cu un avans de pătrundere, fără mișcarea de rulare. În acest sens sunt utilizate mașini de construcție mai simplă și mai rigide. Prefinisarea și finisarea sunt realizate prin rulare pe mașini speciale de rabotat folosind diferite procedee de rabotat, cel mai frecvent cu două muchii așchietoare (tabelul 4.4).

La operația de degroșare, pentru module mici $m < 5$ mm, sunt utilizate aceleași cuțite cu care se face

finisarea. Ele nu mai sunt schimbate, deci fără o nouă reglare. Pentru module mijlocii $5 \leq m \leq 8$ mm, prelucrarea se realizează în două operații. Astfel, cuțitele 1 și 2 fac degroșarea (fig. 4.30) cu avans de pătrundere s_p , dinte cu dinte, fără ca semifabricatul să aibă avans circular ci numai mișcare de rulare. După aceasta se execută operațiile de prefinisare și finisare, cu alte două cuțite, care au muchiile așchietoare după profilul trapezoidal, iar semifabricatul are mișcare de rulare, pentru realizarea profilului evolventic la fiecare dinte.

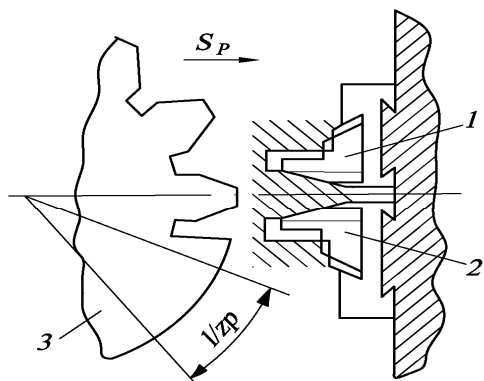
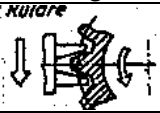

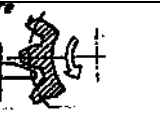

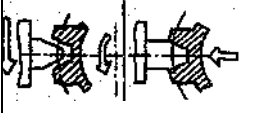


Fig. 4.30

Tabelul 4.4. Generarea danturilor conice în cazul rabotării prin rulare

| Principiul generării | | Schema de generare |
|--|--|---|
| Semifinisarea sau finisarea unui semifabricat degroșat | Două muchii tăietoare materializează flancurile unui gol de dinte al roții plane și prelucrează, într-un ciclu, un dinte al semifabricatului |  |
| | Două muchii tăietoare materializează flancurile unui dinte al roții plane și prelucrează, într-un ciclu, un gol de dinte al semifabricatului |  |
| | O muchie tăietoare materializează un singur flanc al roții plane și prelucrează flancul corespunzător al semifabricatului |  |
| crare din plin într-o singură trecere | Două muchii tăietoare materializează flancurile unui gol de dinte al roții plane și prelucrează câte un dinte al semifabricatului |  |
| | Două muchii tăietoare materializează flancurile unui dinte al roții plane și prelucrează câte un gol de dinte al semifabricatului |  |

Pentru modulele mai mari $m > 8$ mm, degroșarea dinților se face în două trei faze cu cuțite în trepte, cu avans de pătrundere, dinte cu dinte, după care apoi se efectuează operațiile de prefinisare și finisare, cu cuțite care au profilul trapezoidal, prin rulare și tot prin divizare dinte cu dinte.

Danturarea pentru module mici se face direct prin rabotare, dar pentru module mari este indicat ca dinții roții conice să fie degroșati prin alte procedee, în special frezare și matrițare, astfel încât prin rabotare să se facă numai operațiile de prefinisare și finisare a dinților. În acest caz, rabotarea se poate realiza în mai multe moduri (tab. 4.4), în care se urmărește ca sculele să fie încărcate la așchiere cât mai uniform. În acest sens, este larg utilizată varianta 1, cu două cuțite pentru roți conice cu dantura degroșată. Dacă dinții nu sunt degroșati, atunci un cuțit este încărcat și solicitat foarte mult, deoarece așchiază în plin, iar celălalt funcționează aproape în gol. Ca urmare, este indicat să se facă prelucrarea cu un singur cuțit, care materializează flancurile unui singur dinte al roții plane imaginare și poate prelucra un gol dintre dinți.

Precizia de prelucrare a roților dințate conice, folosind rabotarea cu două cuțite prin rulare, depinde de parametrii: cinematica mașinii; precizia de execuție și reglarea sculelor; modul de prindere și centrarea semifabricatului etc. Ca urmare, se acordă o atenție deosebită în special prinderii și centrării semifabricatului, care pot avea abateri axiale și radiale cuprinse în anumite limite (tabelul 4.5).

În tehnologia de danturare se pot realiza cicluri normale sau modificate. Astfel, un ciclu normal de prelucrare a unui dinte constă în următoarele:

- prelucrarea unui dinte prin rularea într-un sens al roți-piesă, cu roata plană imaginară, materializată de cele două cuțite;
- inversarea sensului de rulare până la ieșirea cuțitelor din zona de așchiere;
- divizarea piesei cu un pas;
- inversarea sensului de rulare și începerea unui nou ciclu de prelucrare. Ciclul normal de lucru se utilizează la danturarea roților dințate de modul mic și în general, când loturile prelucrate sunt mici.

Tabelul 4.5. Abaterile axiale și radiale în funcție de treapta de precizie și unghiul conului de divizare

| Unghiul conului de divizare, în grade | | Treapta de precizie | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|---------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|------------|-------|-------|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|------------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|---|------------|
| | | 6 | | | | | | 7 | | | | | | 8 | | | | | | 9 | | | | | | | | | |
| | | 50...120 | | | 120...500 | | | 500...1000 | | | 120...500 | | | 50...120 | | | 120...500 | | | 500...1000 | | | 50...120 | | | 120...500 | | | 500...1000 |
| E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | E_r | E_d | | |
| 8...20 | 6 | 15 | 10 | 25 | 20 | 25 | 25 | 8 | 25 | 15 | 40 | 25 | 50 | 12 | 45 | 20 | 75 | 30 | 100 | 15 | 60 | 20 | 110 | - | - | - | - | - | |
| 20...35 | 10 | 20 | 15 | 30 | 25 | 40 | 15 | 30 | 20 | 55 | 35 | 70 | 22 | 55 | 30 | 80 | 45 | 140 | 25 | 80 | 25 | 80 | 30 | 130 | - | - | - | - | |
| 35...65 | 15 | 25 | 25 | 35 | 40 | 45 | 25 | 35 | 35 | 65 | 45 | 80 | 35 | 65 | 40 | 85 | 60 | 160 | 30 | 100 | 30 | 100 | 45 | 150 | 70 | 200 | - | - | |
| 65...80 | 20 | 30 | 30 | 40 | 45 | 60 | 35 | 45 | 45 | 70 | 50 | 90 | 40 | 75 | 50 | 90 | 70 | 180 | 40 | 120 | 40 | 120 | 60 | 280 | 190 | 250 | - | - | |

La ciclurile tehnologice modificate de danturare, scopul este asigurarea unei productivități ridicate. Astfel, ciclul de prelucrare este următorul:

- prelucrarea de degroșare a două goluri prin pătrunderea radială a sculelor până aproape de fundul dintelui (fig. 4.31);
- retragerea rapidă a cuțitelor pe direcția radială de pătrundere;
- divizarea cu doi dinți;
- prelucrarea prin rulare, de degroșare a următoarelor două goluri.

După degroșarea tuturor dinților urmează operația de finisare, dinte cu dinte, în ciclu normal de lucru, dar cu schimbarea cuțitelor care sunt special construite și reglate pentru operația de finisare.



Fig. 4.31

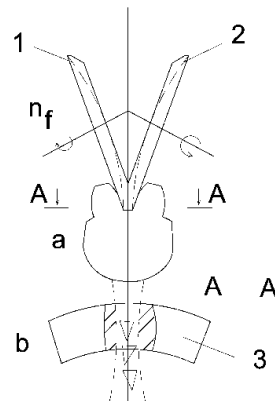


Fig. 4.32

În vederea asigurării unei prelucrări corecte, o atenție deosebită trebuie acordată centrării cuțitelor la primul reglaj și după fiecare reascuțire. În acest scop, mașina se livrează cu un calibru special care se folosește la poziționarea cuțitelor în raport cu centrul O al mașinii-unelte.

În cazul prelucrării danturilor înclinate, suportul cuțitelor trebuie rotit astfel, încât cuțitele să fie aduse din poziția radială, într-o poziție corespunzătoare unghiului de înclinare a danturii.

E de menționat că și în acest caz reproducerea angrenării semifabricatului cu roata plană imaginată trebuie să îndeplinească relația cinematică, în funcție de viteza de așchiere prin rabotare v_r și cursa de lucru L a cuțitelor atât pentru lanțul cinematic de divizare, cât și pentru lanțul cinematic de rulare. Roțile de schimb pentru fiecare lanț se calculează prin relația:

$$\frac{A_p}{B_p} = i_p \frac{v_r}{L} \quad (4.8)$$

În cadrul lanțului cinematic de divizare, roțile de schimb se calculează prin relația:

$$\frac{A_d}{B_d} = i_d \frac{v_r}{z_p}, \quad (4.9)$$

în care i_p și i_d sunt rapoartele de transmitere ale lanțurilor cinematice. Mărimea de reglare a lanțului cinematic de rulare se calculează în funcție de semiunghiurile conurilor de divizare ale roții imaginare și roții care se prelucrează, cu relația:

$$\frac{A_R}{B_R} = i_R \frac{\sin \delta_o}{\sin \delta} z_p = i_R \frac{\cos \gamma}{\cos \delta_1} z_{rp} \quad (4.10)$$

Reglarea lanțului cinematic de pendulare a capului portcuțite, la prelucrarea unui dinte în ciclu, într-un sens

și altul, corespunzător unui arc λ se calculează cu relația:

$$\frac{A_c}{B_c} = i_p \quad (4.11)$$

Roțile de schimb, corespunzătoare, care determină viteza de rulare, adică avansul circular al semifabricatului și al roții plane imaginare, se calculează în funcție de timpul t_c necesar unui ciclu de prelucrare cu relația:

$$\frac{A_c}{B_c} = i_c \frac{1}{t_c} \quad (4.12)$$

În ansamblu, cu relațiile (4.9)...(4.12) sunt calculate roțile de schimb pentru lanțurile cinematice ale mașinii, pentru rabotarea roților dințate conice prin rulare. Așa cum s-a amintit mai sus, pentru unele roți de module mijlocii și mari se face numai degroșarea cu avans de pătrundere și apoi divizarea. Ca urmare, lanțul cinematic este mai simplu, fără să fie impusă precizia ca în cazul rulării, când trebuie utilizate toate lanțurile cinematice care să asigure prelucrările roților dințate la precizia impusă. Prin rabotare cu rulare se pot obține roți dințate conice în treptele 5, 6, 7 și 8, ia o rugozitate pe flancurile dinților care ajunge până la $R_a = 3,2...1,6 \mu\text{m}$.

Productivitatea este mai ridicată ca în cazul prelucrării prin copiere, dar mai scăzută ca în cazul frezării.

Un alt avantaj al prelucrării prin rabotare cu rulare, este că în timpul prelucrării, printr-o reglare corespunzătoare se poate face bombarea danturii în secțiunea transversală sau longitudinală. Aceasta împiedică concentrarea de tensiuni în dantură ia imperfecțiuni ale montajului angrenajului și în timpul angrenării.

4.3.7. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepti folosind prelucrarea de frezare cu freze-disc prin rulare

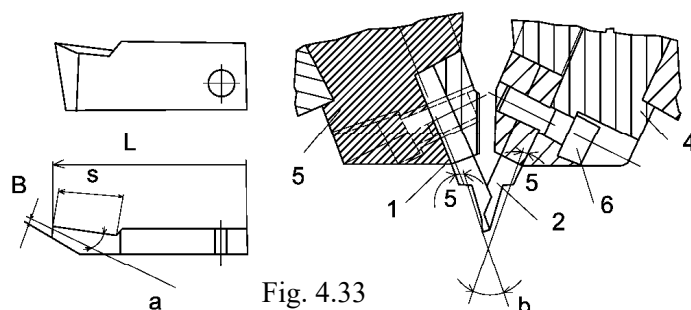


Fig. 4.33

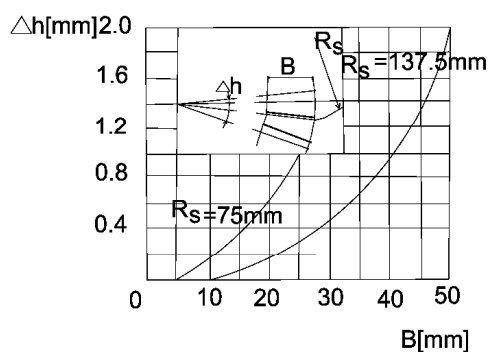


Fig. 4.34

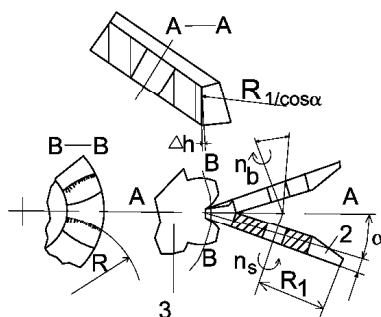


Fig. 4.35

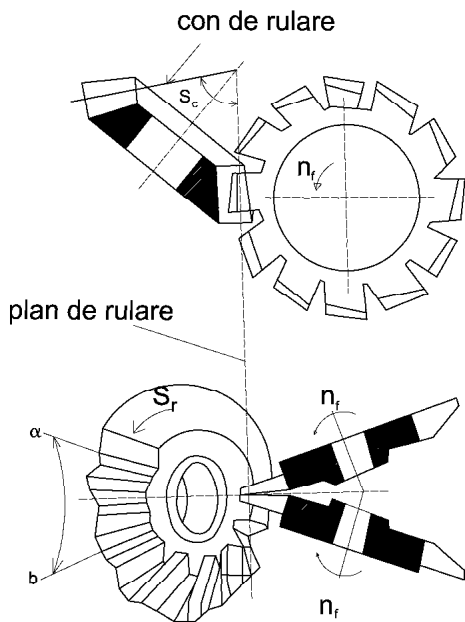


Fig. 4.36

cu o fixare clasică pe discurile-suport (4.33).

Datorită faptului că diametrul portcuțite este relativ mare, rezultă că abaterea de la rectilinitate Δh la fundul dintelui este redusă (fig. 4.35). Ca urmare, nu există avans în lungul dintelui, astfel încât flancurile dinților vor fi bombate longitudinal după raza R (fig. 4.35). În continuare, se asigură roții dințate și angrenajului o funcționare corespunzătoare, fără solicitarea capetelor danturii.

Direcția de avans de lucru trece de-a lungul generatoarei conului primitiv, deci, și a generatoarei danturii prelucrate. Dinții uneia dintre frezele 1 și 2 prelucrează flancul drept al unui gol, iar dinții celeilalte freze - flancul stâng al aceluiași gol al danturii piesei 3 (fig. 4.35). După prelucrarea prin rulare are loc divizarea cu un dinte, ceea ce dă procedului un caracter de discontinuitate, cu o scădere a preciziei de prelucrare.

Și în acest caz, se poate lucra cu ciclul normal sau cu cicluri modificate. Ciclul normal se realizează astfel:

- degroșarea unui gol dintre dinți prin pătrunderea radială s_p , a frezelor 1, în timp ce roata dințată de prelucrat este fixă (fig. 4.37, a), pătrunderea se face pe adâncimea corespunzătoare înălțimii dintelui pentru degroșare;
- continuarea degroșării profilului prin oprirea avansului de pătrundere al frezelor, după care se dă o mișcare de rulare a semifabricatului (fig. 4.37, b):

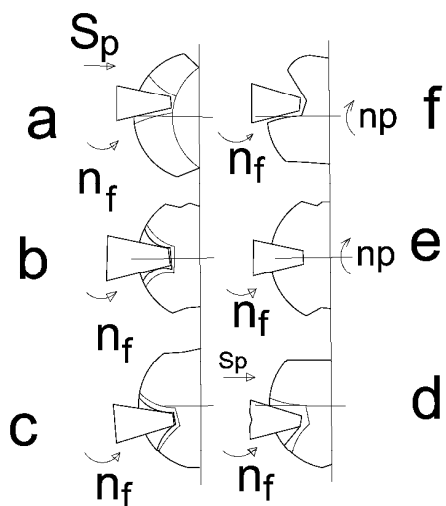


Fig. 4.37

Danturarea prin rulare utilizând frezarea cu freze-disc, procedeu cunoscut sub denumirea de procedeu Gleason-Coriflex, are o productivitate mult mai mare față de metodele precedente. Danturarea se face pe mașini-unelte de danturat Gleason-Coniflex sau Klingelnberg. Sculele sunt două capete de frezat disc cu dinții având secțiuni trapezoidală care simulează astfel flancurile dinților roții generatoare plane-conice. Dinții așchietori ai capetelor de frezat intră în golul dintre doi dinți ai roții de prelucrat, prelucrând succesiv, astfel încât se întrepătrund ca și când ar angrena. Aceasta impune ca turația capetelor de frezat să fie sincronizată, iar pasul dintre cuțitele lor să permită evacuarea corespunzătoare a așchiilor (fig. 4.31).

Astfel, cuțitele 1 și 2 care prelucrează semifabricatul 3 sânt fixate pe discurile 4 și 5 de diamet (600...900) mm. Construcția cuțelilor este specială și se face în funcție de modulul roții dințate care se prelucrează,

- rotirea într-un sens cu roata plană imaginară până la poziția finală (fig. 4.37, c);
- rularea în sens invers după ce din nou frezele primesc un, avans de pătrundere s_r (fig. 4.37, d) până la adâncimea finală a dintelui;
- schimbarea sensului de rulare, după care avansul de pătrundere s-a oprit și începe, de fapt, operația de finisare (fig. 4.37, e);
- retragerea sculelor și a semifabricatului;
- divizarea cu un dinte și reluarea ciclului de prelucrare pentru alt dinte;

La prelucrare trebuie să se calculeze roțile de schimb pentru diferite lanțuri cinematice. aic mașinii, ținând seama de ciclul tehnologic. Astfel, calculul roților de schimb pentru lanțul cinematic principal se face cu relația:

$$\frac{A_p}{B_p} = i_p n_s \quad (4.13)$$

în care n_s este turația frezelor determinată după viteza economică de așchiere, care se calculează ca și în cazul frezeior-disc. Roțile de schimb pentru lanțul cinematic de avaus se calculează cu reiața;

$$\frac{A_s}{B_s} = i_s \frac{1}{t_c}, \quad (4.14)$$

în care t_c este timpul cursei de prelucrare.

Pentru lanțul cinematic; de rulare a semifabricatului, roțile dințate se calculează cu relația

$$\frac{A_R}{B_R} = i_R \frac{z_a}{z_{rp}}, \quad (4.15)$$

în care: z_a este numărul de dinți peste care se face divizarea; z_{rp} - numărul de dinți al roții plane imaginare.

Pentru lanțul cinematic, de divizare, roțile dințate se calculează cu relația:

$$\frac{A_D}{B_D} = i_D \frac{z_a}{z_p} \quad (4.16)$$

La frezarea prin rulare a roților dințate conice, vitezele de așchiere sunt de 35...45 m/min.

Precizia roților dințate conice se încadrează în clasele de precizie 5, 6, 7 și 8, iar rugozitatea în limitele $R_a = 1,6...0,8 \mu\text{m}$.

Totodată, pata de contact, respectiv distribuția eforturilor pe flancurile dinților, este mult mai bună în comparație cu dinții prelucrați prin rabotare.

4.3.8. Tehnologia rectificării danturii roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați

Rectificarea danturii roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați, ca operație de finisare, are drept scop asigurarea unei precizii ridicate, o bună rugozitate a flancurilor prelucrate, cât și realizarea cu localizarea petei de contact, într-o zonă cât mai centrală situată pe flancurile dinților. Totodată, se are în vedere că roțile dințate respective sunt executate din oțeluri de calitate, care după prelucrările de danturare sunt supuse la tratamente termice și termochimice de cementare, călire și revenire. Ca urmare a deformațiilor survenite în timpul tratamentelor, rectificarea are drept scop și anularea deficiențelor cumulate intervenite atât în procesul de așchiere, cât și în procesul de tratament termic. Pentru aceasta, încă de la prelucrarea prin așchiere, se lasă un adaos pe flancurile dinților pentru operația de rectificare. La stabilirea adaosului se ține cont de tratamentul termic care se face în special la cementare. Acest tratament duce, în general, la creșterea adaosului de prelucrare pe flancuri, ca urmare a măririi stratului care este carburat.

Rectificarea danturilor roților conice se realizează prin rulare cu divizare dinte cu dinte pe mașini specializate.

Roțile dințate cu dinți drepți și înclinați se rectifică cu ajutorul unor discuri abrazive de construcție specială care în prelucrare înfășoară flancurile roții plane imaginare. Ca urmare, cele două discuri se deplasează în jurul flancurilor dinților roții de prelucrat, timp în care roata dințată se rostogolește peste roata plană imaginară.

Deoarece operațiile de rectificare ale danturilor roților conice sunt costisitoare, iar mașinile-unelte de rectificat au construcție specială deci sunt foarte scumpe, fapt pentru care sunt rar întâlnite, este indicat ca aceste operații să se facă numai în cazuri de extremă necesitate.

Metodele utilizate în prezent pentru rectificarea danturilor roților conice se bazează pe următoarele procedee:

- procedeul MAAG pentru danturi conice drepte și înclinate;
- procedeul Gleason-Heidenreich & Harbeck pentru danturi conice drepte.

a) Prin procedeul MAAG, dantura roților dințate conice cu dinți drepți sau înclinați se rectifică cu ajutorul a două pietre abrazive, în formă de taler, care materializează flancurile roții plane imaginare. Rectificarea are loc prin rularea flancurilor și divizarea dinte cu dinte. După prelucrarea a două flancuri de dinți opuși are loc divizarea pentru flancurile următoare.

În timpul divizării, cele două pietre abrazive (care se află una în fața dintelui, iar cealaltă în poziție opusă) sunt scoase din zona de așchiere.

Deoarece discurile abrazive au o uzură în timp, mașina este prevăzută cu un dispozitiv de compensare automată a uzurii și de corectare a pietrei. Operația de corectare se face cu un vârf de diamant. De asemenea, aceste mașini de rectificat au posibilitatea de a realiza și unele corectări la danturi, în special flancări și bombări ale dinților. Aceste operații se realizează atât în scopul îmbunătățirii condițiilor de angrenare, cât și pentru localizarea petei de contact, în zona de mijloc a dinților.

Rectificarea se face la două flancuri opuse ale dinților, din mai multe treceri. Astfel, adaosul de prelucrare pe trecere se recomandă a fi de circa 8...10 μm la degroșare și circa 3...6 μm la finisare; vitezele de așchiere ajung la 15...20 m/s.

Discurile-sculă de rectificare au diametre de circa 220...250 mm și pot fi reglate pentru unghiuri de angrenare cuprinse între $14^{\circ}30'$ și 26° , iar suportul pe care sunt montate efectuează o mișcare rectilinie alternativă spre vârful conului. Se pot rectifica roți dințate cu diametre de divizare cuprinse între 300 mm și 420 mm, cu module normale de 2,5...8 mm, având lungimea dinților de 12...100 mm. Semiunghiul conului de divizare este cuprins între 7° și 90° . La roțile dințate cu dinți înclinați unghiul de înclinare β poate ajunge până la 30° . Roțile dințate care pot fi rectificate pot avea un număr de dinți cuprins între 10 și 120. În ultimii ani, aceste procedee de rectificare au început din nou să fie utilizate datorită perfecționărilor mașinilor-unelte de danturat atât prin

utilizarea comenzilor numerice, cât și prin utilizarea unor discuri abrazive de duritate mult mai ridicată. Este vorba de discurile-taler din diamant policristalin și din nitrură cubică de bor, turnate pe suporturi de metal care au permis creșterea vitezelor de așchiere la 25...40 m/s, datorită durabilității lor crescute, permițând să așchieze și adaosuri mai mari pe o trecere.

Toate acestea au făcut ca rectificarea roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați să devină mai economică, iar calitatea acestora (în special a flancurilor)

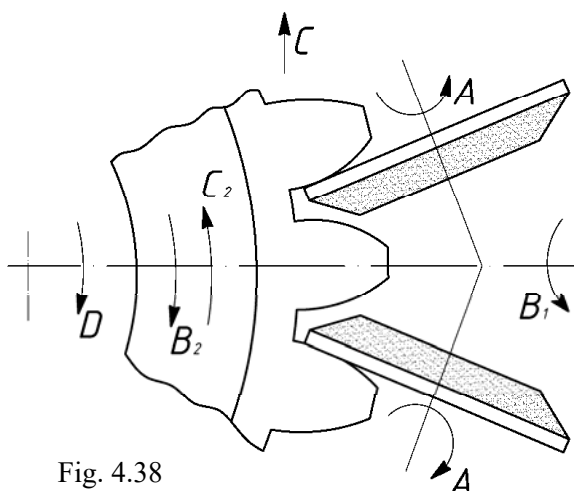


Fig. 4.38

să crească. ($R_a = 0,8 \mu\text{m}$), microduritatea lor fiind păstrată.

b) Prin procedeul Gleason-Heidenreich & Harbeck, mașinile de rectificat cu comandă hidraulică lucrează prin metoda avansului de pătrundere ca și la prelucrarea prin frezare cu freze-disc a danturii conice cu dinți dreți prin rulare.

Avansul de pătrundere se execută având cele două discuri abrazive înclinate la un unghi de 20° , acestea materializând flancurile unui dinte al roții plane imaginare.

Rectificarea se face din mai multe treceri de pătrundere, cu afișarea mărimilor adaosului de prelucrare pe care îl îndepărtează și care poate fi de $0,005... 0,01 \text{ mm}$. Pentru module mari, discurile pătrund în același gol, iar pentru module mici în goluri diferite. Și în acest caz discurile sunt corectate cu vârf de diamant pe partea care lucrează.

E de menționat că prin acest procedeu nu se pot rectifica decât roțile dințate conice cu dinți dreți care au fost frezate prin frezare de rulare cu freze disc. Ca urmare, discurile abrazive care sunt plane pot pătrunde până la fundul dintelui, care este de fapt rotund după raza frezelor cu care s-a efectuat danturarea.

În aceste condiții, discurile abrazive pot rectifica pe întreaga lățime și adâncime a flancului dintelui, fără să bombeze dintele roții, așa cum ele rezultă din frezare.

Pentru realizarea bombării, adică dintele să fie subțiat la ambele capete cu circa $20...40 \mu\text{m}$, în funcție de modul, este necesar ca discurile abrazive să nu mai fie plane, ci puțin concave, pentru a putea realiza bombarea. Concavitățile acestor discuri este continuu controlată de sistemul automat al mașinii-unelte. Când concavitățile scade (scoțând dintele din toleranța de bombaj), palpatorul dispozitivului de comandă înregistrează eroarea, echipamentul electronic al mașinii-unelte compară valoarea, sesizează mărimea erorii și comandă oprirea rectificării, precum și aducerea concavității la valori cuprinse în toleranța de bombaj; după realizarea acestei operații, se reia operația de rectificare a flancurilor dinților. Aceste mașini-unelte păstrează bombarea tot timpul, deci, discurile sunt corectate și ascuțite în momentul când concavitățile scade.

Pentru roțile conice, danturate prin rabotare, cu fundul dinților drept, există o mașină de rectificat a cărei construcție diferă complet de cea precedentă. În acest caz, suportul pe care sunt fixate pietrele execută o mișcare de translație alternativă. Uzura pietrelor fiind relativ redusă, necesitatea profilării pietrei apare după rectificarea a 100 de dinți. Această operație se efectuează cu o sculă, având vârf diamantat care se deplasează de-a lungul unui ghidaj, urmând o traiectorie care trece prin vârful conului generator. Pentru profilare, piatra trebuie așezată într-o anumită poziție, cu ajutorul unor magneți.

Se pune apoi în funcțiune motorul echipamentului de profilare, iar vârful diamantat, deplasându-se înainte și înapoi în ghidaj, profilează discul abraziv. Roata dințată este rectificată în trei sau în patru treceri, în funcție de adaosul de prelucrare. Adâncimea de rectificat, pe fiecare flanc al dintelui, la fiecare trecere, este cuprinsă de regulă între $0,02$ și $0,04 \text{ mm}$. Avansarea pietrelor are loc odată cu deplasarea întregului suport în direcția adâncimii dintelui.

Limitatoarele pentru limitarea avansului de pătrundere sunt reglabile. Ele pot fi astfel reglate, încât capul portsculă poate fi blocat în acea poziție, în care pietrele abia ating flancurile dinților prevăzute cu adaos de rectificat, ceea ce se recunoaște după primele scântei vizibile. În această situație, se poate stabili deplasarea capului portpiatră de poziție zero, prin citire pe o scală circulară cu gradații mari. Astfel se poate deduce numărul trecerilor de rectificare necesare. Avansul se realizează cu ajutorul unor releuri, iar numărul trecerilor de

rectificare - cu un contor. La mașină sunt prevăzute două contoare: unul este necesar pentru fixarea numărului de dinți ai roții conice de rectificat (ca la mașina de rabotat), iar celălalt pentru fixarea numărului de treceri ale discului de rectificat. După terminarea fiecărei treceri, contorul al doilea primește un impuls de la primul. Acest impuls este transmis, totodată, mecanismului automat de avans al capului portpietre.

După deplasarea stabilită, corespunzătoare mărimii de avans, contorul de număr al dinților primește un impuls pentru întoarcere și operația se repetă până ce sunt parcurse toate suprafețele de rectificare. La începerea ultimei treceri de rectificare, deci după ce toate avansurile pietrelor au fost efectuate, se aprinde un bloc de semnalizare pentru tot timpul cât durează această ultimă trecere de rectificare, după care capul portpiatră se retrage în poziția de repaus. Reglarea pietrelor de rectificat se realizează prin rigle gradate și verniere prevăzute pe mașină, citirea cu o precizie de 0,01 mm fiind asigurată de o instalație-optică.

Calitatea suprafeței flancurilor dinților depinde îndeosebi de gradul de curățenie al uleiului de răcire. Dacă acesta este încărcat cu așchii provenite din rectificare și în această stare este condus prin circuit la pietrele abrazive, rezultă o calitate necorespunzătoare a suprafeței flancurilor. Pentru eliminarea acestui neajuns, mașina este prevăzută cu o pompă centrifugă care separă din ulei așchiile și granulele desprinse ale pietrei în timpul rectificării.

4.3.9. Tehnologia rodării danturii roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați

Roțile dințate conice cu dinți drepți și înclinați pot fi netezite și corectate pe flancuri prin operația de rodare atât după așchierarea lor, cât și după tratamente termice.

Rodarea roților dințate conice cu dinți drepți sau înclinați se poate realiza în două moduri:

a) Rodarea cu o roată conjugată, executată din fontă, care este și roata motoare; conjugata este executată din oțel și este finisată. În timpul rodării, când roțile sunt în angrenare, se picură între dinții lor un ulei fin, având în suspensie abrazivi. Granulele abrazive fiind mai dure, prin presare, în timpul procesului de angrenare, o parte dintre acestea se fixează în roata de fontă, pentru un timp, fapt ce face ca, prin alunecarea dintre dinți să aibă loc un proces de așchiere foarte fin. Particulele așchiate sunt foarte fine și mici, ele depinzând de mărimea și felul granulelor abrazive, de tipul acestora, de felul materialului și de frânarea roții conduse. Astfel, se recomandă, dacă adaosul de prelucrare pe flancurile roților dințate este mai mare (în funcție de modul), rodarea să se facă în două operații. Prima rodare trebuie să fie de degroșare, caz în care se folosesc abrazivi cu granulație mai mare. După prima rodare se spală foarte bine roata din oțel, care este de rodat, se schimbă roata-sculă, din fontă; apoi se reia ciclul de rodare (a doua rodare), folosindu-se un abraziv cu o granulație mult mai mică, în funcție de rugozitatea care trebuie obținută pe flancuri. De reținut că nu este indicat să se folosească aceeași roată-sculă, din fontă, pentru ambele operații.

Timpii și regimurile de rodare se stabilesc în mod experimental prin determinări și măsurători continue, în funcție atât de rugozitatea flancurilor, cât și de localizarea petei de contact, aceasta trebuind să se situeze în zona centrală a flancurilor dinților. De asemenea, trebuie avut în atenție ca angrenajul prelucrat prin rodare să aibă un mers silențios.

Rodarea se face la roțile dințate conice cu dinți drepți sau înclinați în ambele sensuri, prin reglarea automată a cuplului de finisare.

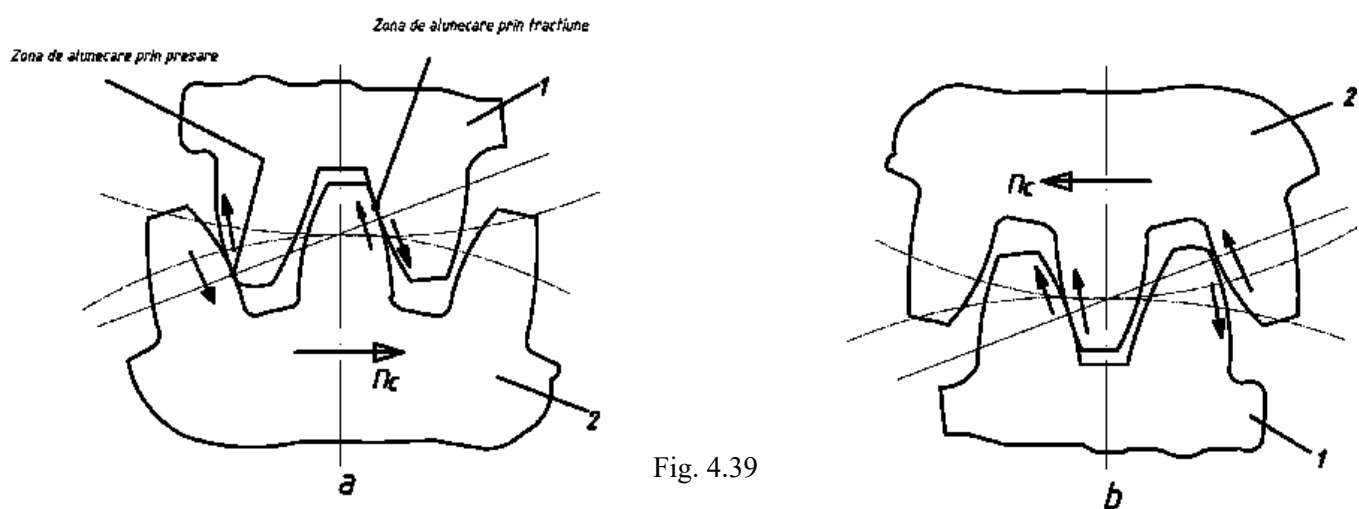
b) Rodarea cu roata conjugată din angrenajul funcțional, care este tot din oțel, ambele fiind prelucrate prin așchiere, tratate sau netratate termic și în aceleași condiții. Coroana este frânată cu o anumită valoare a

momentului, iar pinionul transmite momentul motor. În timpul angrenării se picură ulei cu suspensie abrazivă.

În funcție de rugozitatea cerută, rodarea trebuie făcută tot în două operații succesive: o rodare de degroșare, în care granulele abrazive sunt de dimensiuni mai mari, după care se spală cu petrol lampant foarte bine cele două roți conice, apoi se efectuează operația de rodare de finisare, cu o granulație a abrazivului mult mai mică, administrat într-o suspensie de ulei. E de menționat că momentul de frânare a coroanei se reduce cu 50%. În acest caz, nu se mai schimbă pinionul, deoarece el este pinionul conjugat în angrenajul real.

Astfel, se poate obține, pe suprafața flancurilor, o rugozitate $R_a = 0,8 \dots 0,4 \mu\text{m}$ și o corectare corespunzătoare a erorilor de prelucrare. Se evidențiază că nu trebuie confundată noțiunea de rodare cu cea a rodajului. De aceea, după ce roțile sunt rodade, apoi montate în ansamblul unde vor funcționa, acestea sunt supuse operației de rodaj, când ele trebuie să funcționeze câteva ore în condițiile în care vor fi exploatate.

Ca urmare, se vor adăuga și erorile ce apar la asamblarea angrenajului conic și care este dependent de aproape toate elementele și echipamentele mecanice care intră în subansamblul sau ansamblul respectiv.



Pentru operația de rodare trebuie să se țină cont atât de flancarea și bombarea dinților curbi, cât și de modul și de zona în care trebuie să se situeze pata de contact, pentru ca angrenajul să poată asigura un mers silențios și o durabilitate bună în funcționare.

Operația de rodare se realizează pe mașini specializate, care permit ca în timpul funcționării cele două roți să fie apropiate una de cealaltă atât prin deplasarea axială a pinionului, cât și prin deplasarea coroanei. Rodarea se recomandă, în cele mai multe cazuri, să se facă cu roata conjugată și nu cu una din fontă. Aceasta impune ca și montajul lor, în ansamblul în care vor funcționa, să se facă împreună. Se mai poate efectua o altă variantă de rodare, și anume: operația de rodare se realizează combinat, la început cu roată sau cu pinion din fontă pentru degroșare, apoi rodarea cu roata conjugată, când se execută operația de finisare. Procedul se realizează atunci, când pata de contact trebuie localizată foarte bine pe flancurile dinților.

Mișcările de deplasare și abaterile celor două roți, în timpul procesului de rodare, permit ca pata de contact să fie deplasată în funcție de condițiile de angrenare. Dar, în general, pata de contact trebuie localizată la mijlocul flancurilor dinților.

În procesul de rodare s-a constatat că la angrenarea celor două roți 1, 2 (fig. 4.39) în zonele de presare, unde se produce contactul de alunecare, pe profilul dintelui, are loc un proces mai intens de îndepărtare a materialului, în comparație cu zonele de tracțiune, adică de desprindere (de rupere) a contactului de alunecare, aceasta și în

funcție de sensul de rotire și frânare a roților.

Se observă (fig. 4.39 *a, b*) că în zona de angrenare are loc un proces de alunecare situat spre piciorul dintelui roții conducătoare 1 sau 2. Ca urmare, se impune ca angrenarea să se facă cu roata la care zonele de contact urmează a fi deplasate de la piciorul dintelui către zona de vârf a dinților, fapt ce conduce la o funcționare lină a angrenajului.

Lichidul utilizat la rodare trebuie să fie tot timpul curat și picurat pe toată perioada desfășurării prelucrării. Timpul necesar pentru realizarea operației de rodare se stabilește experimental, depinzând de raportul de transmitere, de granulația materialului de rodare și de mărimea momentului de frânare.

4.3.10. Tehnologia lepuirii danturii roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați

Lepuirea roților dințate conice cu dinți drepți și înclinați are drept scop corectarea parțială a deformațiilor termice pe care le-au suferit dinții roții la tratamentul termic, cât și îmbunătățirea rugozității pe flancurile dinților. Prelucrarea se face după tratamentul termic sau după prelucrarea prin așchiere, prin angrenarea celor două roți pereche, la care pinionul este elementul motor, iar coroana este frânată cu un anumit moment. În timpul funcționării, între dinți se introduc, diverse paste abrazive sau lichide vâscoase cu suspensie de abrazivi, care au un efect mai mare decât cele care fac prelucrarea prin rodare. Aceste paste abrazive sau lichide vâscoase pentru lepuire se caracterizează prin aceea că pot realiza o oxidare a vârfurilor microneregularităților, fenomen însoțit și de un proces de așchiere.

Și în acest caz se acordă o atenție deosebită granulației care, în general, trebuie să fie foarte fină, fapt ce permite să se obțină o rugozitate $R_a = 0,4...0,2 \mu\text{m}$, iar în unele cazuri și mai mică. Compoziția chimică a pastelor și lichidelor vâscoase are la bază rețete complexe.

Adaosurile de prelucrare la lepuire trebuie să fie foarte reduse pe flancurile dinților în funcție de modul.

La operația de lepuire, trebuie să se țină seama atât de flancarea și bombarea danturii, cât și de modul și zona în care trebuie să se situeze pata de contact, pentru ca angrenajul să poată asigura un mers silențios și o durabilitate în funcționare.

Prelucrarea prin lepuire se realizează pe mașini-unelte specializate care permit ca în timpul funcționării cele două roți să fie apropiate una de cealaltă atât prin deplasarea axială a pinionului, cât și prin deplasarea coroanei. Aceste deplasări sunt controlate exact și ele au loc succesiv în timpul angrenării celor două piese de lepuire; în acest timp între ele se picură ulei cu suspensie abrazivă sau se pune periodic pastă de lepuire. Deoarece coroana este frânată cu o anumită valoare a momentului de frânare, care nu rămâne constantă în tot timpul rodării, forțele de transmitere vor apărea după cele trei planuri; procesul de lepuire se produce, de fapt, în planul roții plane imaginare (fig. 4.40).

Lepuirea se recomandă să se facă cu roata conjugată și mai rar cu roata-sculă din fontă. Aceasta impune ca și montajul lor, în ansamblul în care vor funcționa, să se facă împreună. În cazul în care se utilizează o roată-sculă din fontă care angrenează cu roata de prelucrat prin lepuire; roata-sculă este elementul motor, piesa fiind frânată cu un anumit moment. Această tehnologie se utilizează când se folosește o lepuire de degroșare după care urmează o lepuire de finisare prin angrenarea roților dințate pereche care vor funcționa în angrenajul respectiv. Se realizează astfel o pată de contact foarte bine localizată pe flancurile dinților.

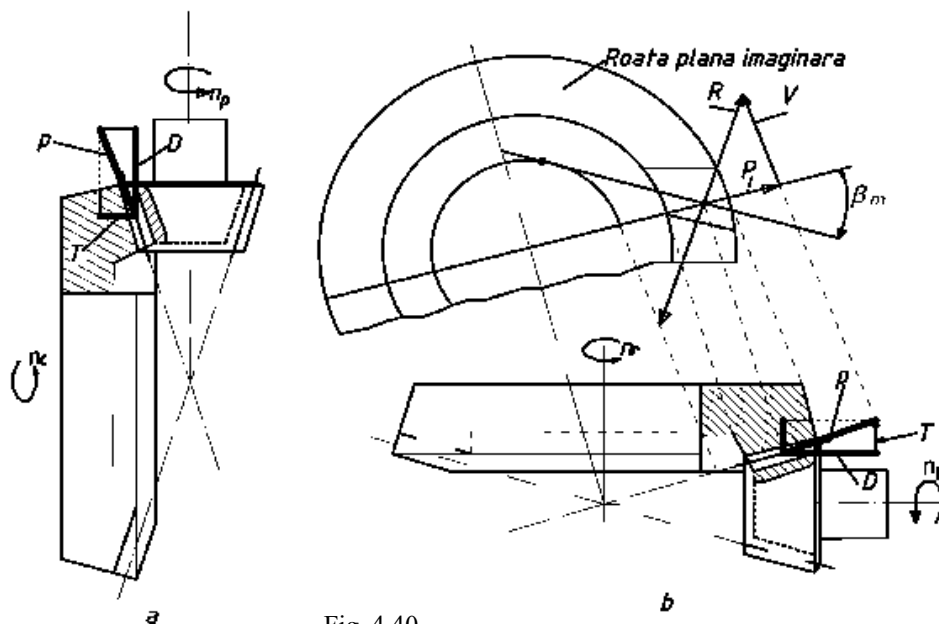


Fig. 4.40

4.3.11. Tehnologia rotunjirii muchiilor danturii roților dințate conice cu dinți drepti și înclinați

În general, după ce sunt danturate roțile dințate, acestea mai sunt supuse unor operații de rotunjire, teșire, curățare de grad etc., care pot fi executate atât înainte, cât și după efectuarea tratamentelor termice.

Aceste operații sunt realizate prin frezare cu freze cilindro-frontale (deget) (fig.4.41. a., b) special construite pentru realizarea diverselor forme ale capetelor dinților. La producția în serie sunt folosite mașini de rotunjit (raionat) care dau sculei mișcări mai complexe.

Când roțile dințate sunt călite, operațiile de rotunjire (raionare), teșire etc. nu mai pot fi realizate; ca urmare ele trebuie prelucrate înainte de tratamentul termic. Rugozitatea este în general $R_a = 12.5 \dots 6.3 \mu\text{m}$.

Pentru roțile dințate conice cu dinți drepti sau curbi, operația de teșire și curățare a gradului este mai dificilă, în special la capul interior al dintelui, unde se folosesc numai freze-deget cilindro-frontale, special construite, iar operația se realizează numai prin divizare dinte cu dinte, fapt ce mărește timpul de fabricație a roților dințate. E de menționat și faptul că mai ușor și mai repede sunt teșite și curățate capetele exterioare ale roții conice. Această parte a dinților poate fi prelucrată și cu freze-disc sau freze cilindro-frontale.

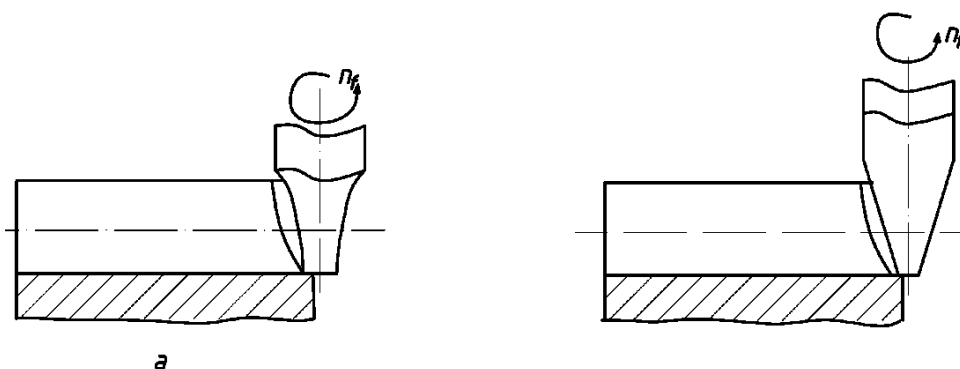


Fig. 4.41

4.3.12. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți drepti prin deformare plastică la cald și la rece

Roțile dințate conice cu dinți drepti care nu necesită o precizie de prelucrare ridicată se pot executa

prin deformare plastică la rece și în special prin deformare plastică la cald. Roțile dințate de dimensiuni mai mici (până la 100 mm), de module mici, din materiale neferoase sau chiar din oțel de duritate mică sunt prelucrate prin

deformare plastică la rece. Roțile dințate de dimensiuni de până la 300 mm din oțel sunt prelucrate prin deformare plastică la cald.

Prin deformare plastică la rece sau la cald se obține danturarea la cota finală fără să mai fie necesare alte operații de finisare a danturii, pentru o precizie scăzută. Când dantura roților dințate necesită o precizie mai ridicată, după prelucrarea prin deformare plastică, acestea pot să fie finisate prin rodare.

Prelucrarea danturii roților dințate conice cu dinți drepți prin rulare cu deformare la cald se face printr-o deformare plastică succesivă a stratului superficial al piesei încălzit la temperatura de forjare. Deformarea se face cu o sculă de forma roții dințate conjugate conform figurii 4.42.

Partea superioară a mașinii cuprinde arborele principal 1, pe care sunt montate roata superioară de sincronizare 2, scula 4 și bucușă exterioară și interioară 3 și, respectiv, 5 pentru centrarea sculei.

La partea inferioară a mașinii, pe arborele 8, se fixează semifabricatul 6, roata de sincronizare 7, care angrenează cu conjugata ei 2.

Înainte de începerea ciclului de prelucrare, ansamblul superior al mașinii se găsește retras în poziția limită de sus. În această poziție se introduce semifabricatul 6, apoi se pune în mișcare arborele vertical 8 cu roata de sincronizare inferioară 7. Inductorul, care asigură încălzirea superficială a roții dințate, este adus în zona de lucru, unde se trimite, simultan, un gaz inert de protecție contra oxidării suprafeței acesteia. Când încălzirea s-a realizat, la temperatura necesară stabilită, inductorul este deconectat și scos din zona semifabricatului, în timp ce scula, cu roata superioară de sincronizare, se apropie și începe rularea danturii, asigurându-se angrenarea celor două roți de sincronizare 7 și 2.

După ce semifabricatele au fost supuse rulării, se face curățirea și ajustarea bavurilor, apoi se execută o finisare sumară a danturii acestora. În unele cazuri se pot obține roți dințate prelucrate complet, mai ales când calibrarea a fost făcută corect.

După această operație, în cazul în care structura necesară nu a rezultat din încălzirea înaintea și în timpul rulării, se mai execută un tratament termic, după care roțile sunt supuse unor operații de finisare.

În cazul rulării danturii la cald, precizia geometrică a semifabricatelor trebuie să fie foarte bună. În acest scop, suprafețele ce urmează a fi rulate se prelucrează corespunzător. Se impun, de asemenea, restricții în ceea ce privește compoziția chimică a oțelurilor din care sunt confecționate semifabricatele, restricții care se referă în principal la conținutul de sulf și plumb, care nu trebuie să depășească anumite limite permise, deoarece aceste elemente favorizează exfolierea și apariția fisurilor. Prelucrarea prin rulare la cald a danturilor duce la scurtarea ciclului de fabricație cu circa 60...70%. În același timp, rezistența statică și la oboseală a danturii crește cu 15...20% comparativ cu dantura prelucrată prin așchiere, ca urmare a faptului că dantura are un fibraj continuu (fig. 4.43). La aceasta se adaugă avantajul esențial al costului scăzut cu 40...60%, corelat cu creșterea calității produselor.

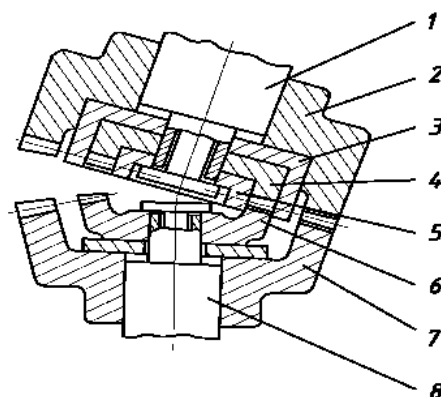


Fig.4.42

La prelucrarea prin deformare plastică în matriță, o atenție deosebită trebuie acordată executării matriței, întrucât de precizia ei depinde și precizia roților dințate conice executate.

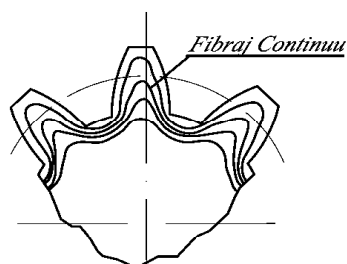


Fig. 4.43

Matrițele sunt în general din oțel de calitate, fiind executate prin electroeroziune. Electroscula este de regulă din cupru electrolitic, având geometria roții dințate de prelucrat cu dimensiunile ținându-se cont de interstițiul de lucru.

Prelucrările matriței se fac prin electroeroziune de degroșare, finisare și eventual lustruire mecanică, în funcție de starea materialului din care este făcută matrița. Dacă matrița este făcută din curburile metalice, ca în cazul roților conice de dimensiuni mici, prelucrarea se face doar prin electroeroziune, iar lustruirea zonei active a matriței eventual și prin procedee de microașchiere mecanică. Chiar dacă costul matrițelor este ridicat, datorită productivității mari a prelucrării prin deformare plastică, acestea se amortizează rapid.

Calitatea roților dințate este foarte bună, o rezistență crescută la ruperea danturii, întrucât fibrajul materialului este continuu fără să mai fie întrerupt ca în cazul prelucrărilor prin așchiere.

4.3.13. Dispozitivul de moletare a profilurilor dințate

Dispozitivul se propune pentru prelucrarea prin deformare plastică a angrenajelor pe semifabricate de tip inel.

Este cunoscut dispozitivul pentru moletarea profilurilor dințate pe semifabricate de tip inel, care conține o carcasă, colivii așezate în carcasă cu elemente de moletare și mecanism de avans radial, scula pentru lărgire cu mecanismul său de avans axial și reazem pentru semifabricat.

Neajunsul dispozitivului dat constă în aceea că deplasarea sculei lărgitoare și avansul elementelor de moletare se realizează independent una față de alta, fapt ce nu permite o productivitate înaltă și o stabilitate tehnologică a procesului și, corespunzător, o calitate bună a produsului. Încă un neajuns al dispozitivului constă în faptul că acesta nu poate fi utilizat și pentru alte tipuri de angrenaje cilindrice exterioare, conice ș.a.

Scopul dispozitivului constă în mărirea preciziei și extinderea posibilităților tehnologice prin asigurarea contactului multiplu încontinuu în angrenaj și obținerea dinților nu numai cu o curbură diferită a profilului, ci și cu modificarea longitudinală a dinților.

Scopul formulat este atins prin faptul că în dispozitivul pentru moletarea profilurilor dințate se conține o matriță pentru fixarea semifabricatului, amplasată simetric cu arborele conducător. Pe acesta este așezat corpul cu posibilitatea de a se roti și sculele de moletare, ce au axa de rotire a arborelui conducător, roți dințate etalon, cinematic legate cu sculele de moletare, caracterizate prin matrița ce este compusă din două părți.

Aceasta are profilul-etalon al angrenajului în interiorul căruia se instalează semifabricatul. Semifabricatul face contact cu tijele amplasate simetric față de arborele conducător, sculele de moletare au contact cu ambele jumătăți ale matriței, iar axele lor de rotire sunt convergente într-un centru de precesie. Ultimele elemente au o legătură cinematică cu o roată dințată așezată, la rândul său, pe un arbore condus, simetric celui conducător.

De asemenea, în dispozitivul pentru moletarea profilurilor dințate, sculele de moletare pot avea forma unui hiperboloid de rotație cu o pânză, iar semimatrițele – profil invers.

Soluția tehnică, conform invenției, asigură următoarele avantaje:

- mărirea preciziei de prelucrare a angrenajului;
- extinderea posibilităților tehnologice ale procesului de prelucrare;
- posibilitatea obținerii profilului cu modificare longitudinală.

În figura 4.45 este prezentată schema prelucrării în faza inițială, iar în figura 4.46 – schema prelucrării în faza finală.

Dispozitivul din figura 4.44 conține sculele de moletare 1, iar roata care se moletează va avea un număr Z_2 de dinți. Sculele de moletare au legături cinematice cu semimatrițele (roți dințate etalon) 2 și 3, care sunt fixate rigid de capacul 4. Blocul-satelit 5 are două coroane: prima formată din sculele de moletare 1, iar a doua formată din rolele 6. Blocul-satelit se montează pe sectorul înclinat al arborelui-manivelă 7.

Arborele conducător se rotește în rulmenții 8 și 9. Blocul-satelit 5 cu coroane dințate angrenează concomitent cu dinții roților dințate centrale (semimatrițele 2 și 3) dintr-o parte, iar din cealaltă parte – cu roata centrală 10. Ultima este legată rigid de arborele condus 11, așezat și el în rulmenți. Roata centrală 10 se va roti cu un raport de transmitere.

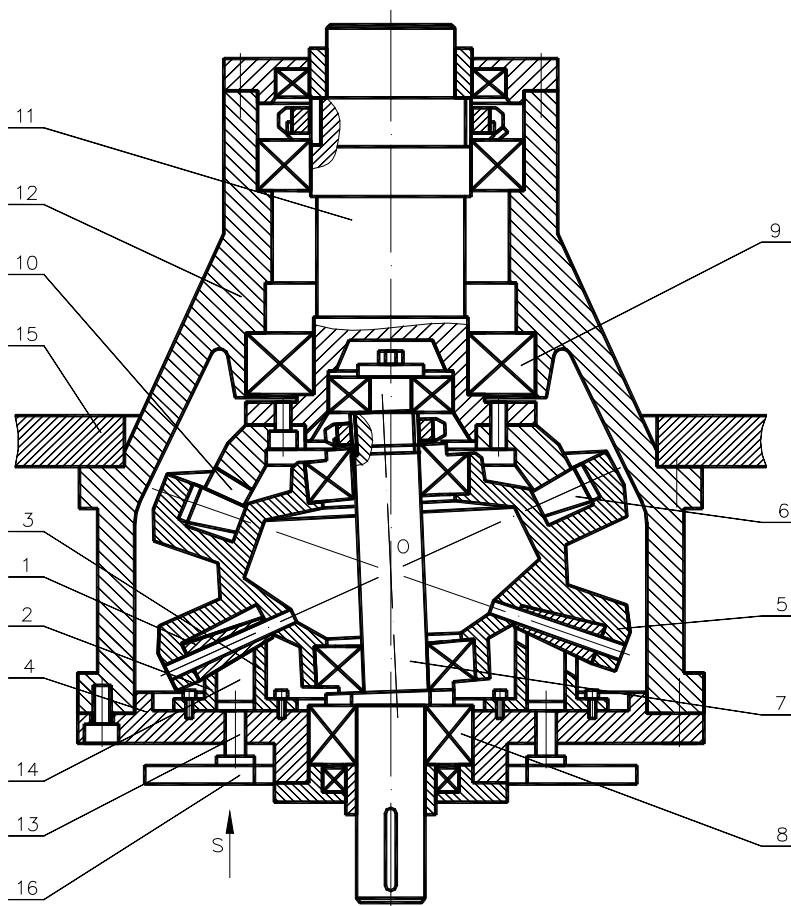


Fig. 4.44

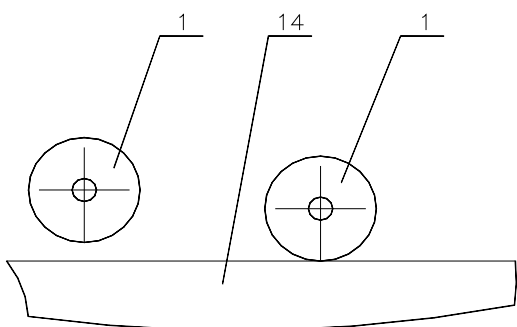


Fig. 4.45

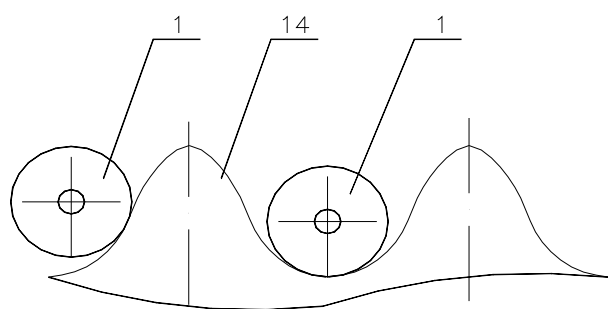


Fig. 4.46

Axele sculelor de moletare 1 și cele ale roților 6 se intersectează într-un punct O , numit *centru de precesie*. Generatoarele profilului angrenajului semimatrițelor 2 și 3 și cele ale roții centrale 10, de asemenea, se intersectează în centrul de precesie. Capacul 4 al arborelui conducător 7 și cel condus 11, prin intermediul rulmenților, se instalează într-o carcasă 12. În capacul 4 sunt fixate roțile-etalon 2 și 3, între care se instalează semifabricatul 14, căruia i se transmite un avans prin intermediul tijelor 13 de către căruciorul 16. Carcasa 12 se prinde de o masă 15.

4.3.14. Tehnologia debavurării și finisării electrochimice a roților dințate conice cu dinți dreți și înclinați

Aplicarea debavurării și finisării electrochimice se impune datorită faptului că procedeele mecanice de prelucrare sunt însoțite în general de formarea bavurilor, chiar de dimensiuni mai mici, la finisare. Utilizarea unor scule așchietoare pentru eliminarea bavurilor nu poate da un rezultat satisfăcător, bavura fiind eliminată printr-un procedeu de același tip cu cel care a creat-o. Ca urmare, debavurarea și finisarea mecanică duc la apariția propriilor ei bavuri, de foarte mici dimensiuni, dar care nu pot fi neglijate, existența lor creând amorse de uzură în timpul funcționării.

În cazul danturilor conice cu dinți dreți și înclinați, se disting următoarele tipuri de bavuri poziționate pe suprafața danturii (fig. 4.47, a):

a) bavuri datorate curgerii laterale a metalului; apar în timpul prelucrării prin forfecare, și așchiere, localizate ca bavuri de intrare la începutul flancului dintelui și bavuri laterale la începutul fundului danturii.

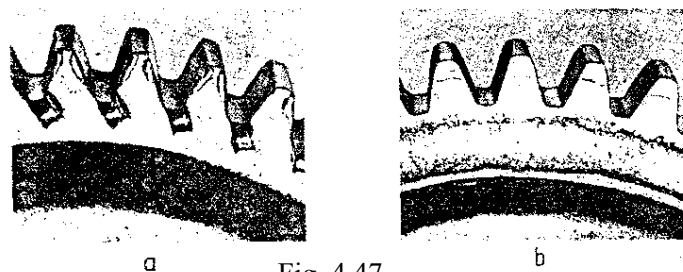


Fig. 4.47

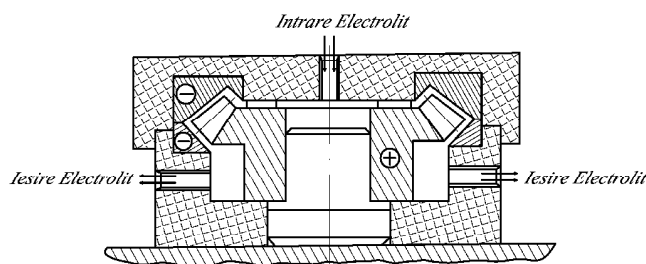


Fig. 4.48

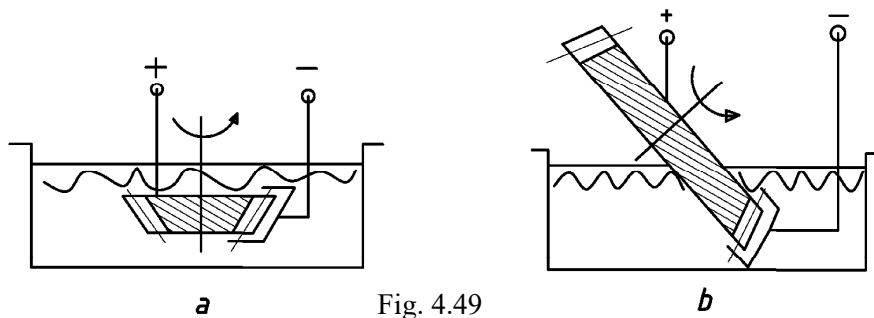


Fig. 4.49

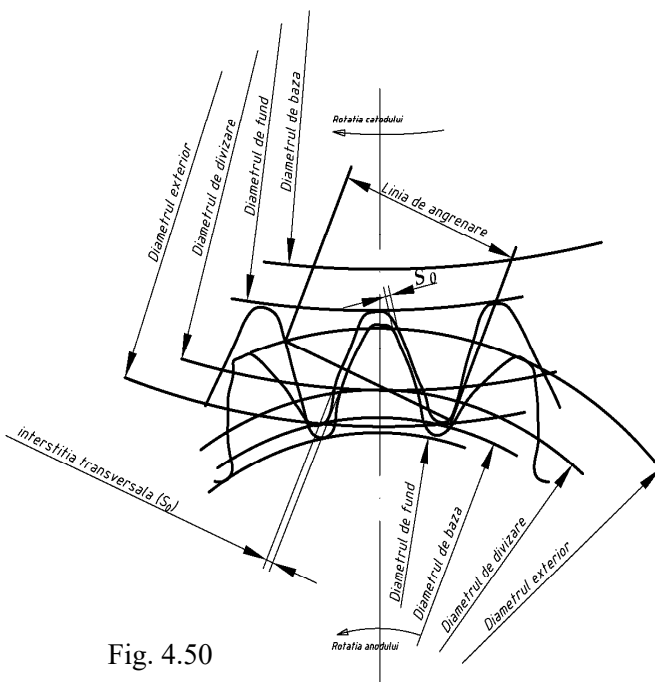


Fig. 4.50

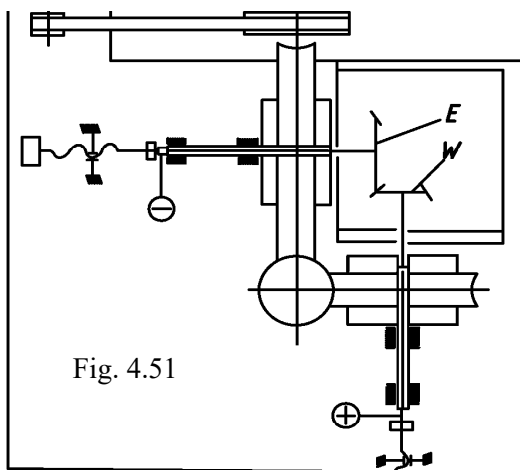


Fig. 4.51

b) bavuri datorate îndoirii așchii la sfârșitul cursei sculei așchietoare, pe flancul dintelui și fundu danturii în sfârșit, unde forfecarea așchii este incompletă;

c) bavuri rezultate ca urmare a forfecării laterale datorită muchiilor secundare, la piciorul dintelui, în zona de intersecție dintre flancul dintelui și fundul danturii;

d) bavuri rezultate pe suprafața dintelui, pe suprafața exterioră de vârf a dintelui și pe fundul danturii.

Dantura roților dințate poate fi finisată și totodată debavurată, obținându-se o calitate corespunzătoare cu o rotunjire a muchiilor active,

utilizând procedeul electrochimic care are la bază principiul de dizolvare anodică controlată (fig. 4.47, b).

Se asigură o rugozitate bună, uniformă pe flancurile dinților, dar fără să se asigure precizia dimensională sau corectarea unor abateri de la precizia danturii.

Finisarea și debavurarea electrochimică se face folosind echipamente, relativ simple, cu surse de curent continuu de 500...1000 A și 6...30 V, prin următoarele procedee:

1. utilizarea unei camere de contrapresiune de finisare electrochimică în care este poziționată piesa de prelucrat, caz în care se utilizează o schemă de debavurare conform figurii 4.48;
2. introducerea parțială sau totală a roții de finisat în baia electrochimică, cu electrod sculă fix și piesă în mișcare de rotație lentă (5...8 rot/min), conform figurii 4.49;
3. angrenarea electrodului sculă-roată (E) cu roata dințată - piesă de finisat (W), fără ca flancurile acestora să fie în contact,

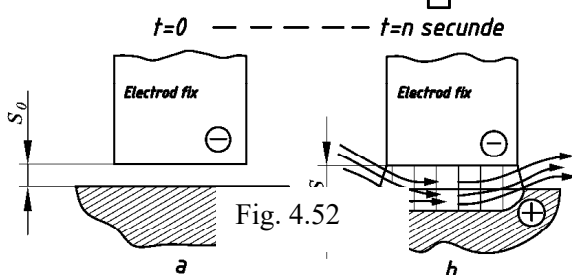


Fig. 4.52

conform schemei de prelucrare din figurile 4.50 și 4.51.

În toate cele trei procedee, prelucrarea electrochimică statică se caracterizează prin absența avansului electrodului sculă în timpul prelucrării. Electroductul este fixat în apropierea zonei de prelucrare, la o distanță fixă de suprafața de prelucrat, S_0 (fig. 4.52, a).

Electrolitul curge în interstițiul de prelucrare. Cuplarea sursei de curent conduce la începerea prelucrării.

Are loc o prelevare a materialului de pe suprafața de prelucrat, cu o creștere a interstițiului până la interstițiul final dorit (fig. 4.52, b), după o lege de variație parabolică (fig. 4.53), într-un interval de timp t , de n secunde. Densitatea de curent maximă va fi mai mare în zonele în care electrodul este mai apropiat de piesă, respectiv bavurile.

Dizolvarea anodică va începe în zona de vârf a bavurii, conducând la dispariția ei și în final rezultând o muchie rotunjită (fig. 4.54).

Disponerea elementelor active ale electrodului-sculă trebuie să fie făcută în mod judicios, pentru ca acestea să-și poată îndeplini funcția de prelucrare. Astfel, zona activă a electrodului se poate găsi deasupra bavurii (fig. 4.55 a), caz în care bavura este mică.

Se are în vedere că interstițiul dintre marginea superioară a bavurii și electrod trebuie să fie de minim 0,2...0,6 mm. În cazul în care bavurile sunt mai mari, zona activă a electrodului se poziționează la baza bavurii (fig. 3.55, b).

Prin această soluție se preîntâmpină scurtcircuitarea anod-catod în timpul prelucrării.

Electrolitii și densitățile de curent se aleg în funcție de tipul operației de degroșare sau finisare și de gabaritul piesei ce prelucrat.

Densitatea de curent este maximă în vârful dintelui și marginile acestuia, unde dizolvarea anodică se face mult mai intens, deoarece depinde de distanța dintre cei doi electrozi sculă-piesă. Finisarea, ca urmare, este mai intensă pe vârful dintelui și marginilor lui, scăzând treptat pe flancuri, și minimă la fundul danturii, rezultând în final muchii rotunjite.

Timpul de prelucrare este în general mic, de câteva minute.

Roțile dințate finisate electrochimic sunt caracterizate printr-o uzură foarte mică prin reducerea coeficientului de frecare. Astfel, de exemplu, pentru roțile dințate prelucrate prin frezare și finisate electrochimic pe flancuri, uzura s-a redus cu 15%, iar pentru cele care au fost și rectificat uzura s-a redus cu 50%.

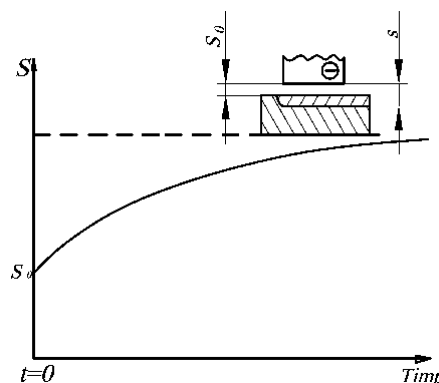


Fig. 4.53

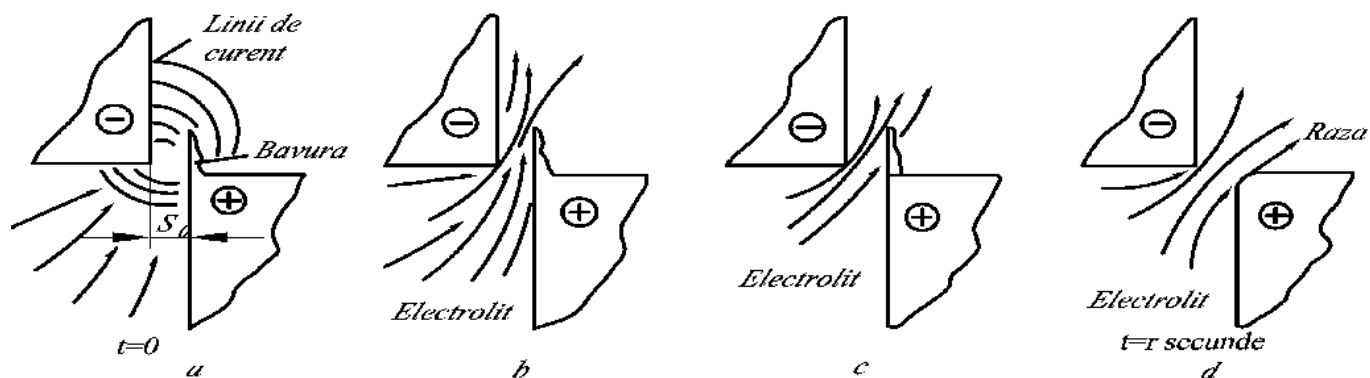


Fig. 4.54

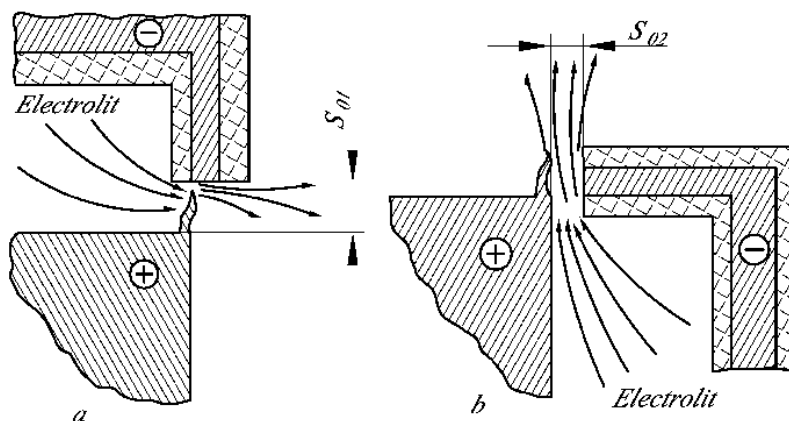


Fig.4.55

La roțile dințate care transmit sarcini mari și sunt finisate electrochimic, fenomenul *pitting* apare la sarcini de două ori mai mari în comparație cu roțile rectificată.

E de menționat că aceasta are o influență favorabilă asupra mersului ușor și a reducerii vibrațiilor în timpul funcționării. Calitatea suprafețelor flancurilor dinților depinde de natura electrolitului, starea și temperatura lui, densitatea de curent, durata finisării, puritatea electrolitului și starea inițială a suprafeței dinților. Așadar, după cum se poate urmări, acest procedeu este folosit pentru roțile dințate cu flancurile dinților călite sau nu, dar în ambele cazuri se impune ca suprafețele să fie bine prelucrate și cu rugozitatea flancurilor cât mai mică.

4.3.15. Procedeu pentru rodarea elementelor conjugate ale mașinilor

Procedeu face parte din categoria procedeele de prelucrare electrofizice și electrochimice [2, 7, 14], mai concret din categoria rodajului prin electroeroziune a suprafețelor conjugate ale elementelor constructive ale mașinilor, de exemplu, ale roților dințate, șuruburilor pompelor cu șurub etc.

Este cunoscut dispozitivul pentru rodajul prin electroeroziune a roților dințate în care, prin intermediul unor contacte alunecătoare spre arborii roților dințate, se transmit impulsuri de curent de la generatorul electroeroziv. Reazemele arborilor sunt izolate de corpul dispozitivului. Trecând prin stratul uleiului de ungere, impulsurile curentului electric provoacă eroziunea profilurilor conjugate ale dinților. Procedeu are neajunsul că are un randament scăzut, din cauza pierderilor de energie în conducte.

Se cunoaște dispozitivul pentru rodajul elementelor conjugate ale mașinilor compus din corp metalic, reazeme amplasate în corp, arbori cu elemente conjugate (de exemplu, roți dințate) și miez magnetic cu circuit închis cu bobinaj, conectat la generatorul cu impulsuri.

Dar acest dispozitiv nu poate fi utilizat pentru rodarea simultană a mai multor roți dințate ale reductoarelor

în trepte, a roților cu angrenaje interioare, transmisiilor armonice și transmisiilor precesionale.

Scopul procedurii este mărirea preciziei și extinderea posibilităților tehnologice prin asigurarea contactului multiplu, încontinuu în angrenaj și pe lungimea dinților.

Scopul formulat este atins prin faptul că satelitul este cuprins de miezul magnetic și este instalat pe reazeme ce nu conduc curentul electric. O roată conjugată are legătură directă cu corpul și nu se rotește, iar alta – pe reazeme, care conduc curentul electric, și are posibilitatea de a se roti.

Soluția tehnică, conform invenției, asigură următoarele avantaje:

- mărirea preciziei de prelucrare a angrenajului;
- extinderea posibilităților tehnologice de prelucrare;
- sporirea productivității procedurii.

În figura 4.56 este prezentat dispozitivul pentru rodajul simultan al roților dințate din componența reductorului în trepte.

Dispozitivul [14] este compus din mecanismul de acționare 1, generatorul impulsurilor 2, miezul 3 cu bobinaj, corpul 4 din material care conduce curentul electric, reazeme ce conduc curentul electric 5 și 6, reazeme ce nu conduc curentul electric 7 și 8. Arborii cu elemente care sunt supuse prelucrării și satelitul 9 sunt solidarizate de miezul 3.

Dispozitivul funcționează în modul următor. La conectarea mecanismului de acționare 1 și a generatorului de impulsuri 2, arborii reductorului împreună cu satelitul încep să se rotească, în timp ce spre bobinajul miezului 3 se aplică tensiunea impulsivă. Bobina secundară o formează următorul lanț: corpul 4 – reazemele 5 și 6 care conduc curentul – intervalul scânteietor în zona angrenării – roata conjugată cu reazemul – corpul. În lanț apare tensiune aplicată în zona conjugării dinților. Are loc eroziunea electrică a angrenajului și rodajul reciproc al roților.

Prelucrarea cuplelor angrenajelor cuprinse de miez se desfășoară paralel.

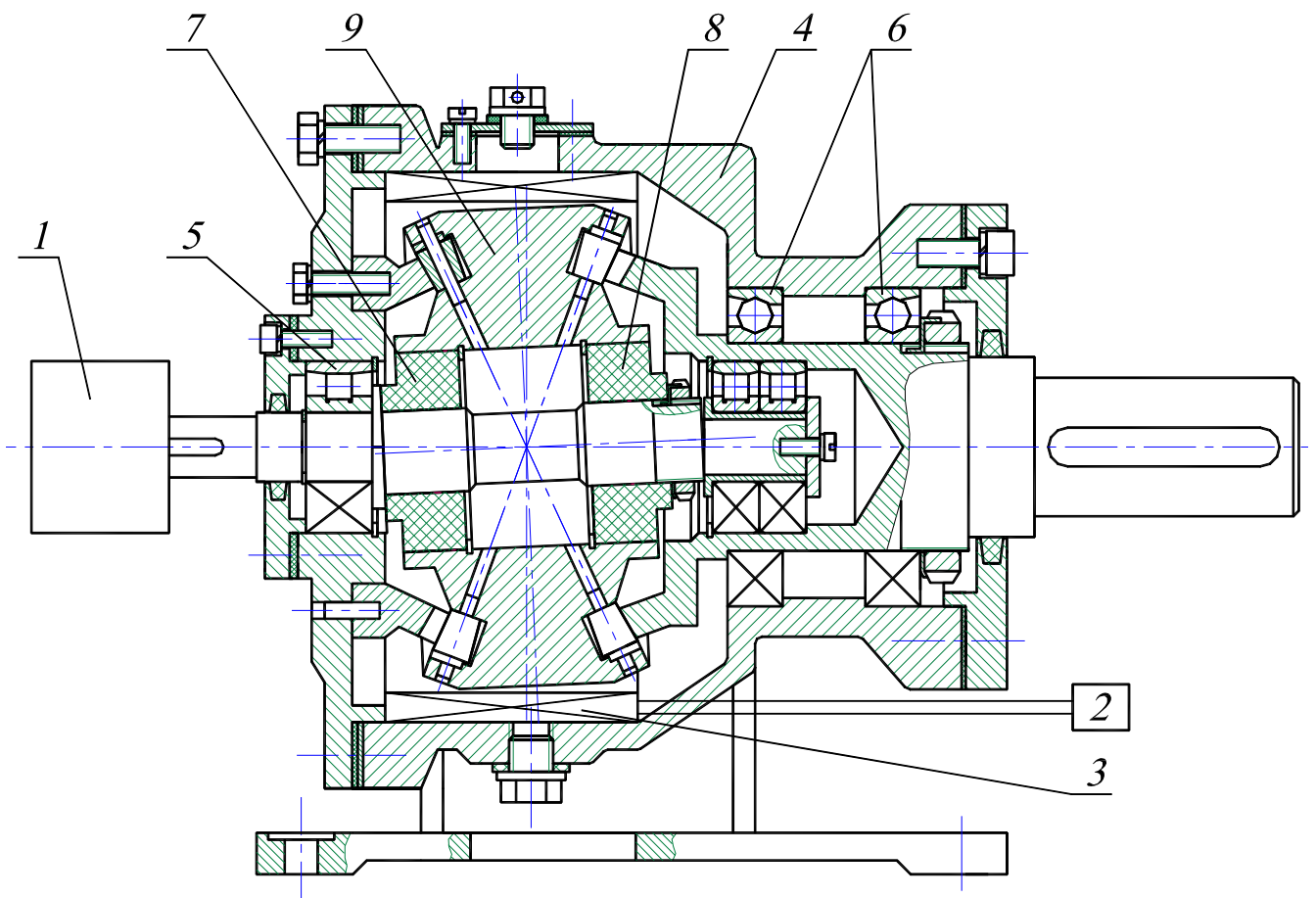


Fig. 4. 56.

Dispozitivul permite mărirea preciziei de prelucrare, extinde posibilitățile tehnologice și crește productivitatea procedului de rodaj prin electroeroziune. În acest mod, este posibil să realizăm rodajul simultan al roților dințate cu mai multe trepte ale reductoarelor, transmisiilor planetare și melcate, armonice, cu modul mic, și al celor precesionale în ansamblu.

4.3.16. Procedul de prelucrare prin electroeroziune

Procedul se referă la procedeele de prelucrare electrofizice și electrochimice, mai concret prin electroeroziune a suprafețelor conjugate ale elementelor constructive ale mașinilor, de exemplu, a roților dințate, a șuruburilor pompelor cu șurub etc.

Este cunoscut procedul de prelucrare prin electroeroziune în care sculei-electrod în formă de corp de rotație i se comunică mișcarea corelată de rotire în direcție inversă față de deplasarea longitudinală a piesei. Procedul are neajunsul că scula se uzează și la micșorarea diametrului exterior scade precizia de prelucrare [1, 3, 10].

De asemenea, este cunoscut procedul de prelucrare prin electroeroziune în care sculei în forma unui corp de rotație i se transmite o mișcare de rotație și un avans spre piesă de la mecanismul de urmărire al mașinii-unelte [24,53]. Acest procedeu are neajunsul că nu permite creșterea preciziei de prelucrare a angrenajelor, micșorarea timpului de prelucrare la schimbarea regimurilor de prelucrare; are o evacuare nesatisfăcătoare a produselor eroziunii din zona de prelucrare, din cauza valorii extrem de mici a jocului dintre electrozi și cursei sporite de prelucrare.

Scopul procedurii este mărirea preciziei de prelucrare, extinderea posibilităților tehnologice prin asigurarea contactului multiplu încontinuu în angrenaj și pe lungimea dinților, sporirea productivității prelucrării și obținerea angrenajului cu profil modificat longitudinal.

Scopul formulat este atins prin aceea că [10] sculei-electrod executate în formă de corp de rotație, care imită condițiile cinematice reale de executare prin deplasări coordonate în raport cu sistemul de coordonate mobil (X_I, Y_I, Z_I) și cel fix (XYZ) , a căror origine coincide cu centrul mișcării de precesie, axa Z_I formând cu axa Z unghiul de nutație și descriind o suprafață conică cu vârful în centrul de precesie, i se comunică o mișcare suplimentară față de coordonatele X_I și Y_I în conformitate cu ecuațiile:

$$X = (j + r / \operatorname{tg} \beta)(1 - \cos \Theta) \cos \psi \sin \psi,$$

$$Y = (j + r / \operatorname{tg} \beta)(\sin^2 \psi + \cos \Theta \cos^2 \psi),$$

$$Z = (j + r / \operatorname{tg} \beta)(\sin \Theta \cos \psi),$$

unde: β – unghiul conicității sculei; r – raza sculei; j – jocul dintre electrozi; Θ – unghiul de nutație, egal cu unghiul dintre axele Z și Z_I ; ψ – unghiul de precesie, axa sculei trecând prin centrul mișcării de precesie sub un unghi față de planul format de axele X_I, Y_I .

La realizarea procedurii de prelucrare la o rotație a axului principal, scula-electrod execută o mișcare de precesie, iar piesa se rotește la un unghi $\psi = (Z_1 - Z_2)2\pi/Z_2$, unde Z_1 este numărul de dinți ai roții dințate, iar Z_2 – numărul ciclurilor de precesie.

La realizarea procedurii de prelucrare, scula este executată ca element par, în formă de hiperboloid de rotație. Prin acest procedeu se execută prelucrarea roților călite (cu diametre mari și mici în formă de coroană, care nu pot fi prelucrate prin alte procedee de așchiere). În figura 4.57 este prezentată schema de prelucrare prin electroeroziune după procedeu propus.

Pentru a descrie traiectoria mișcării sculei-electrod 1, o legăm cu sistemul de coordonate mobil $OX_I Y_I Z_I$, iar mașina-unealtă – cu sistemul fix $OXYZ$. Centrele coordonatelor ambelor sisteme coincid în punctul O , numit și *centru de precesie*. Semifabricatul prelucrat (de exemplu, roata dințată) 2 se rotește cu o viteză unghiulară ω_f în jurul axei care coincide cu axa Z . Axa sculei-electrod $O-O$ se amplasează sub un unghi $\beta \geq 0$ față de planul format de axele X_I și Y_I . Scula-electrod execută o mișcare de rotație în jurul axei $O-O$, căreia i se comunică mișcări oscilatorii și suplimentare față de dinții prelucrați. În același timp, axa Z_I a sistemului de coordonate mobile $OX_I Y_I Z_I$ (legat cu scula-electrod) se amplasează față de axa Z sub un unghi de nutație Θ și descrie o suprafață conică (redată cu linii întrerupte) cu vârful amplasat în centrul de precesie. Totodată, sistemul de coordonate mobil $OX_I Y_I Z_I$ se fixează față de sistemul $OXYZ$ astfel ca axele X_I și Y_I să se deplaseze în jurul axelor corespunzătoare după traiectorii cu parametri caracterizați cu unghiurile lui Euler – nutație Θ și precesie ψ .

Totodată, axa sculei-electrod $O-O$ trece prin centrul mișcării precesionale sub unghiul $\beta \geq 0$ față de planul format de axele X_I, Y_I .

În timpul prelucrării roții dințate care lucrează în pereche cu roata-satelit, axa $O-O$ a sculei-electrod coincide cu axa Y_I , iar la prelucrarea dinților roții ce lucrează în cuplu cu satelitul cu angrenaje interioare, axa $O-O$ a sculei-electrod este înclinată sub unghiul β față de planul format de axele X_I și Y_I .

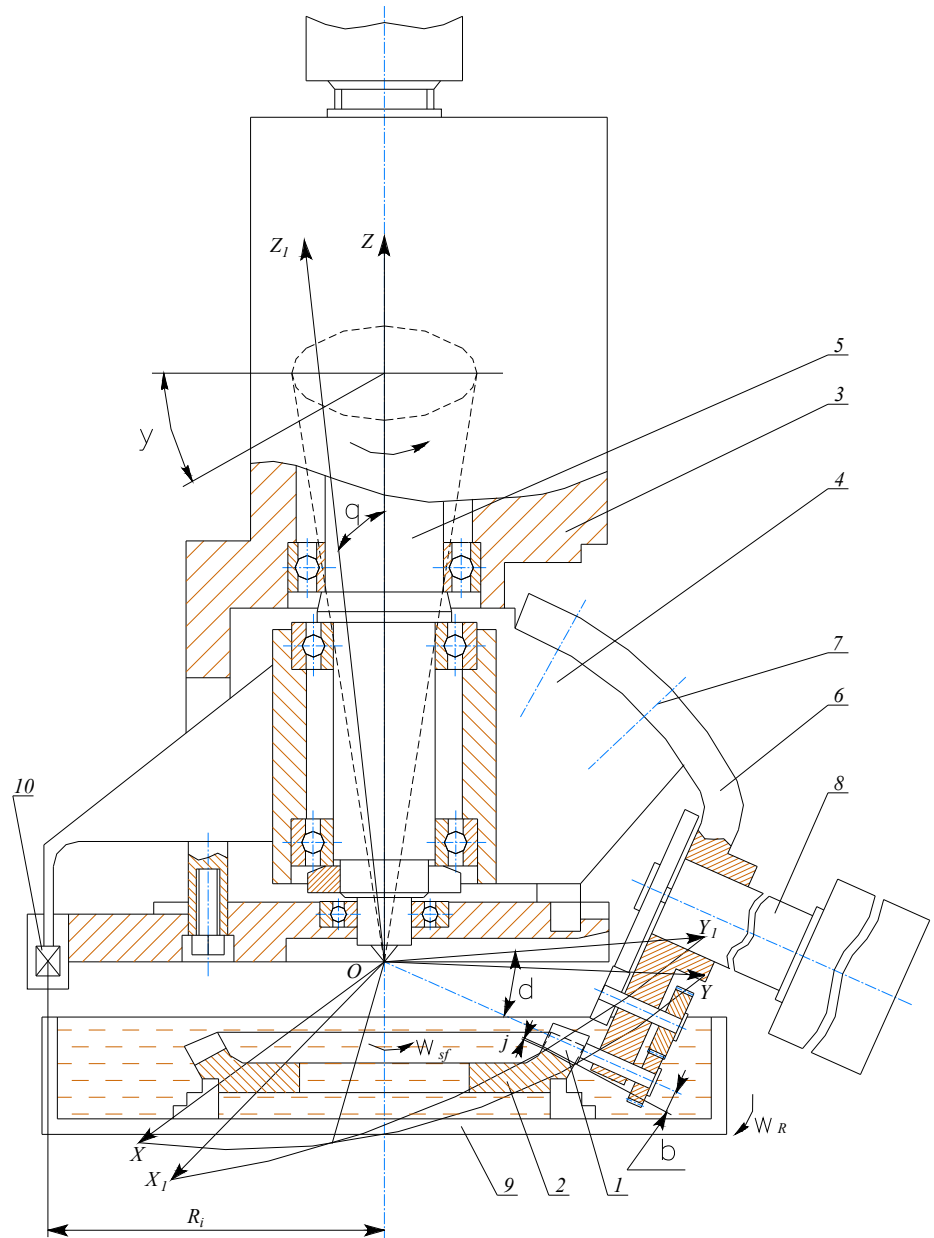


Fig. 4.57.

Așadar, când $\beta = 0$, orice punct pe axa $O-O$ a sculei-electrod descrie aceeași traiectorie ca și punctele care se află pe axa Y_1 , iar când $\beta > 0$, traiectoria descrisă de punctele aflate pe axa sculei-electrod diferă de traiectoria descrisă de punctele axei Y_1 după formă și dimensiuni. Cu cât este mai mare unghiul β de înclinare a sculei-electrod, cu atât e mai mare diferența dintre aceste traiectorii.

Prin suprapunerea traiectoriei mișcării sculei-electrod față de sistemul fix $OXYZ$, descris de ecuații, și traiectoriei mișcării oscilatorii a sculei față de acest sistem se obține profilul angrenajului.

La realizarea procedurii dat poate fi utilizat dispozitivul propus de către autor. Acesta este compus din carcasa 3, având un reazem semicilindric pentru prinderea sa în lăcașul căruciorului mașinii-unelte; traversa 4 este prinsă de șuruburile spre suprafața frontală a carcasei 3, manivela 5, balansierul 6. Acesta din urmă, echipat cu ghidajele 7 pentru prinderea mecanismului de acționare 8 cu scula-electrod 1, are posibilitatea de a se roti.

Mecanismul de acționare 8 poate varia unghiul β dintre axa geometrică $O-O$ a sculei-electrod și planul format de axele X_I, Y_I .

Axa fixă și cea mobilă a manivelei 5 se intersectează într-un punct (centru de precesie) amplasat pe axa semifabricatului 2. Semifabricatul este așezat în dispozitiv și prins de masa rotativă 9. Balansierul 6 este legat cu sistemul de coordonate mobil $OX_I Y_I Z_I$, iar carcasa 3 – cu sistemul de coordonate fix $OXYZ$. Axa manivelei 5 coincide cu axa Z_I , iar axa semifabricatului rotitor – cu axa Z .

La rotirea arborelui-manivelă 5, a balansierului 6 și a sculei-electrod 1, mișcarea oscilatorie se transmite în jurul punctului cu centrul de precesie – punctul de intersecție a axelor fixe și celor mobile ale manivelei 5.

Balansierul oscilator nu se rotește în jurul axei geometrice proprii, el are posibilitatea de a balansa în jurul axei Z a sistemului fix $OXYZ$, cu unghiul θ . Balansierul este blocat la rotire de mecanismul legăturii cinematice 10; acest mecanism mai are o funcție, și anume aceea de a transmite sculei-electrod o mișcare suplimentară, descrisă de relațiile prezentate mai sus. Schimbarea unghiului β de poziționare a sculei-electrod se realizează prin deplasarea suportului cu scula-electrod 1 pe o suprafață în arc de cerc.

Procedeul se realizează în felul următor. Scula-electrod 1 profilată, care are forma unui corp de rotație, se rotește împreună cu semifabricatul 2. Acesta este prins de masa rotativă a mașinii-unelte și transportă tensiunea de lucru de la sursa de alimentare, utilizată la prelucrarea prin electroeroziune. În zona de prelucrare, unde se află semifabricatul și sculei-electrod, există lichidul de lucru. Sculei-electrod i se comunică mișcare de avans de la mecanismul de acționare a mașinii-unelte. La apropierea semifabricatului și sculei-electrod până la o valoare anumită j (jocul), apar descărcări electrice care conduc la îndepărtarea materialului de pe suprafața semifabricatului-electrod și scula-electrod. În urma acestor descărcări, jocul dintre acestea se mărește și, ca efect, descărcările se opresc și mecanismul de urmărire a mașinii-unelte le apropie din nou. După o serie de deplasări periodice, scula-electrod pătrunde în semifabricat și astfel se obține suprafața necesară.

Regimurile electrice utilizate la realizarea procedurii propus coincid totalmente cu regimurile cunoscute, utilizate la prelucrări prin electroeroziune, și depind de: suprafața de prelucrare (în cazul de față – suprafața de contact a sculei-electrod cu piesa), rugozitatea necesară de prelucrare etc.

Utilizarea procedurii propus permite mărirea preciziei de prelucrare a angrenajelor, extinderea posibilităților tehnologice de prelucrare, creșterea productivității procedurii și obținerea unor dinți cu modificare longitudinală.

4.3.17. Procedurul de prelucrare prin electroeroziune a pieselor cu contur complex

Procedurul se referă la procedee de prelucrare electrofizice și electrochimice, mai concret – prin electroeroziune a suprafețelor conjugate cu electrodul-sârmă al elementelor constructive ale mașinilor, de exemplu a roților dințate, matrițelor, ștanțelor, presformelor, formelor de turnat etc.

Este cunoscut procedurul de prelucrare prin electroeroziune a suprafețelor profilate, când sculei-electrod i se transmite mișcare de avans și, simultan, o mișcare orbitală, pe o traiectorie circulară, perpendiculară pe direcția avansului [12].

Procedurul are neajunsul că oferă suprafeței prelucrate o rugozitate sporită. Aceasta se explică prin faptul că, la prelucrarea piesei nemișcate cu o sculă-electrod, cu mișcare de avans, în spațiul dintre electrozi curentul format este frânat de rugozitatea suprafeței sculei. Rugozitatea suprafeței piesei fiind, de asemenea, o frână în timpul

mișcării fluxului de lichid, se înrăutățesc și condițiile de evacuare a căldurii și a rezultatelor eroziunii, care, la rândul lor, conduc la creșterea rugozității suprafeței prelucrate.

Este cunoscut procedeul de prelucrare a pieselor cu contur complicat cu suprafețe înclinate, conform căruia prelucrarea se realizează cu electrodul-sârmă, care se înfășoară pe două bobine amplasate de ambele părți ale piesei și care au posibilitatea deplasării independente prin intermediul unor reglări copiatori [3, 12].

Procedeul are neajunsul că electrodul-sârmă nu permite de a obține conturul real al angrenajului, deoarece prelucrarea se realizează după un șablon; totodată, procedeul nu permite o creștere a preciziei de prelucrare a angrenajelor sau o micșorare a timpului de prelucrare la schimbarea regimurilor de prelucrare. De asemenea, evacuarea produselor eroziunii din zona de prelucrare este greoaie, din cauza valorii extrem de mici a jocului dintre electrozi și cursei sporite de prelucrare.

Scopul procedurii este mărirea preciziei de prelucrare, extinderea posibilităților tehnologice prin asigurarea contactului multiplu încontinuu în angrenaj și pe lungimea dinților, sporirea productivității prelucrării și obținerea angrenajului cu profil modificat longitudinal.

La realizarea procedurii de prelucrare, la o rotație a axului principal, electrodul-sârmă, așezat pe o rolă, execută o mișcare de precesie și o mișcare oscilatorie în jurul axei rolei, iar piesa se rotește la un unghi $\psi = (Z_1 - Z_2)2\pi/Z_2$, unde Z_1 este numărul de dinți ai roții dințate, iar Z_2 – numărul ciclurilor de precesie.

La realizarea procedurii de prelucrare, pe suprafața rolei este executat un canal cu secțiune circulară amplasat sub un unghi α față de axa rolei, iar electrodul-sârma așezat în el are diametrul egal cu secțiunea canalului.

Soluția tehnică, conform invenției, asigură următoarele avantaje:

- mărirea preciziei de prelucrare a angrenajelor;
- extinderea posibilităților tehnologice de prelucrare;
- sporirea productivității procedurii;
- prelucrarea roților călite (cu diametre mari sau mici în formă de coroană, care nu pot fi prelucrate);
- micșorarea costului produsului.

În figura 4.58 este prezentată schema de prelucrare prin electroeroziune conform procedurii propusă, în figura 4.59 – poziția I-I din figura 4.58.

Pentru a descrie traiectoria mișcării, electrodul-sârmă 1 îl rigidizăm de sistemul de coordonate mobil $OX_1Y_1Z_1$, iar mașina-unealtă – cu sistemul fix $OXYZ$. Centrele coordonatelor ambelor sisteme coincid în punctul O , numit centru de precesie. Semifabricatul prelucrat (de exemplu, roata dințată) 2 se rotește cu o viteză unghiulară ω_{sf} în jurul axei, care coincide cu axa Z . Axa rolei pe care se amplasează electrodul-sârmă $O-O$ se amplasează sub un unghi $\delta \geq 0$ față de planul format de axele X_1 și Y_1 . Electrodul-sârmă execută o mișcare de rulare în jurul axei $O-O$, care va urmări dinții prelucrați prin mișcări oscilatorii și suplimentare. În același timp, axa Z_1 a sistemului de coordonate mobile $OX_1Y_1Z_1$ (e redată cu electrodul-sârmă) se amplasează față de axa Z sub un unghi de nutație Θ și descrie o suprafață conică (e redată cu linii întrerupte) cu vârful amplasat în centrul de precesie. Totodată, sistemul de coordonate mobil $OX_1Y_1Z_1$ se fixează față de sistemul $OXYZ$ astfel ca axele X_1 și Y_1 să se deplaseze în jurul axelor corespunzătoare, după traiectorii cu parametri caracterizați de unghiurile lui Euler – nutație Θ și

precesie ψ . Totodată, axa rolei pe care se amplasează electrodul-sârmă O–O trece prin centrul mișcării precesionale sub unghiul $\delta \geq 0$ față de planul format de axele X_1, Y_1 .

În timpul prelucrării roții dințate, care lucrează în pereche cu roata-satelit, axa O–O a rolei pe care se amplasează electrodul-sârma coincide cu axa Y_1 , iar la prelucrarea dinților roții ce lucrează în cuplu cu satelitul cu angrenaje interioare, axa O–O a rolei este înclinată sub unghiul δ față de planul format de axele X_1 și Y_1 .

Așadar, când $\delta = 0$, orice punct pe axa O–O a rolei descrie aceeași traiectorie ca și punctele care se află pe axa Y_1 , iar când $\delta > 0$, traiectoria descrisă de punctele aflate pe axa rolei diferă de traiectoria descrisă de punctele axei Y_1 după formă și dimensiuni. Cu cât este mai mare unghiul δ de înclinare a rolei, cu atât e mai mare diferența dintre aceste traiectorii.

Suprapunerea traiectoriei mișcării rolei cu cea a electrodului-sârmă pe sistemul fix OXYZ, descris de ecuații, și a traiectoriei mișcării oscilatorii electrodului-sârma față de acest sistem ne permite să obținem profilul angrenajului.

La realizarea acestui procedeu poate fi utilizat dispozitivul compus din carcasa 3, având un reazem semicilindric pentru prinderea în lăcașul căruciorului mașinii-unelte, traversa 4, prinsă de șuruburile spre suprafața frontală a carcasei 3, manivela 5, balansierul 6. Balansierul 6 este echipat cu pana 7 pentru ghidarea lui față de axa Z_1 și reglarea axei rolei 8 în centrul de precesie O.

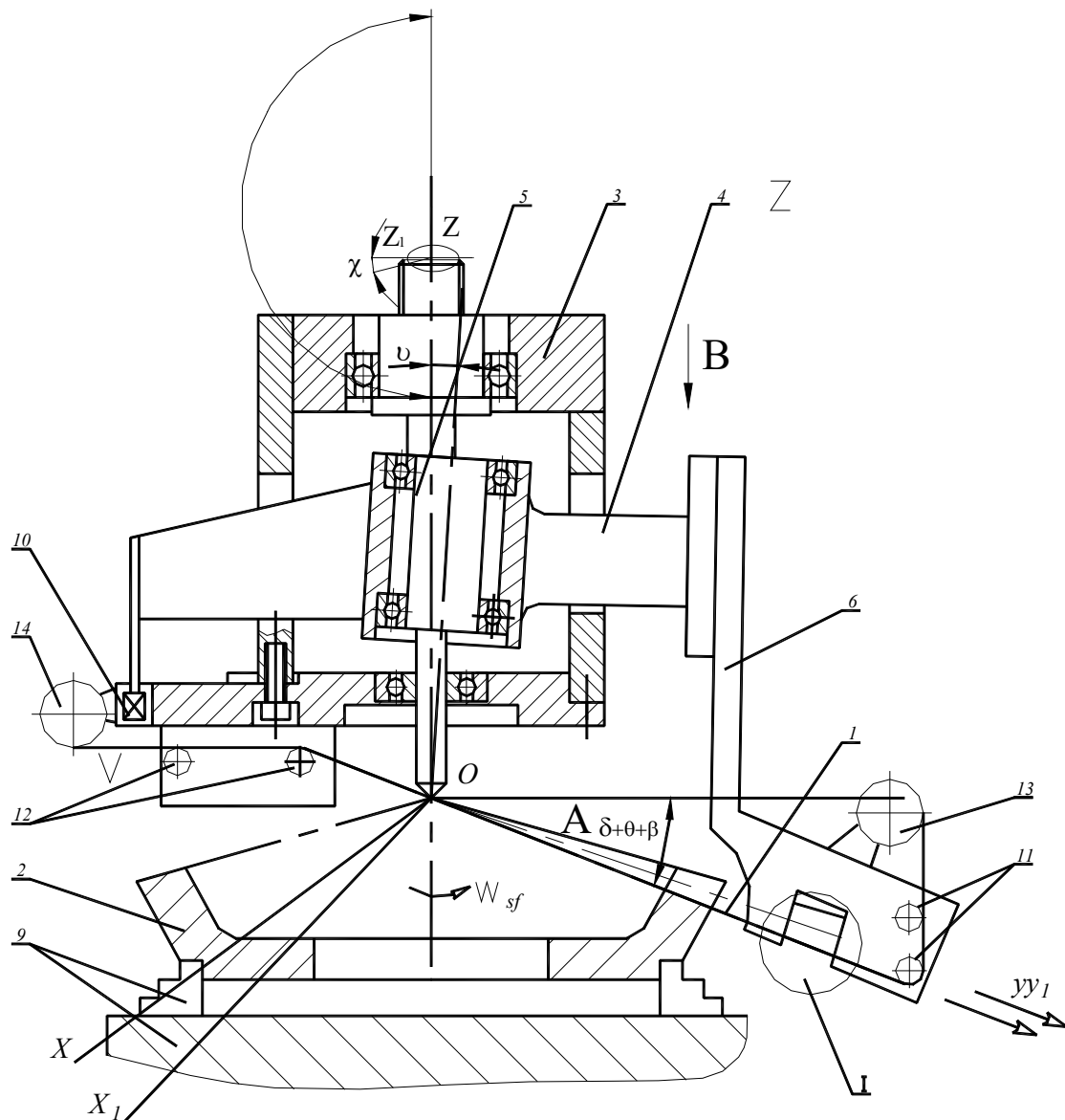


Fig. 4.58

Axa fixă și cea mobilă ale manivelei 5 se intersectează într-un punct (centru de precesie) amplasat pe axa semifabricatului 2. Semifabricatul este așezat în dispozitiv și prins de masa rotativă 9. Balansierul 6 este legat cu sistemul de coordonate mobil $OX_1Y_1Z_1$, iar carcasa 3 – cu sistemul de coordonate fix $OXYZ$. Axa manivelei 5 coincide cu axa Z_1 , iar axa semifabricatului rotitor – cu axa Z .

La rotirea arborelui-manivelă 5, a balansierului 6 și a electrodului-sârmă 1, se suprapune mișcarea oscilatorie în jurul punctului cu centrul de precesie – punctul de intersecție a axelor fixe și mobile ale manivelei 5.

Balansierul oscilator nu se rotește în jurul axei geometrice proprii, ci are posibilitatea de a balansa în jurul axei Z a sistemului fix $OXYZ$, cu unghiul θ . Balansierul este blocat la rotire de mecanismul legăturii cinematice 10. Acest mecanism mai are o funcție, și anume, de a transmite electrodului-sârmă și rolei 8 o mișcare suplimentară, descrisă de relațiile prezentate mai sus.

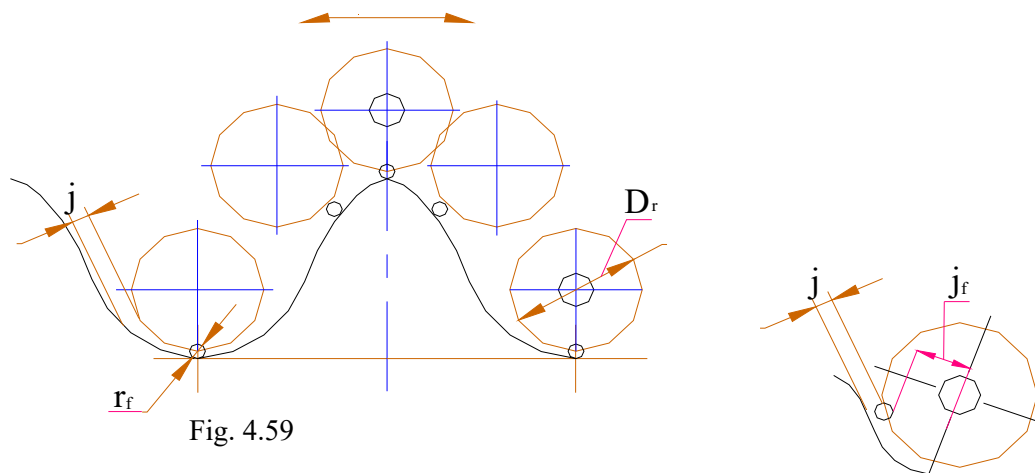


Fig. 4.59

Schimbarea unghiului δ de amplasare a electrodului-sârmă se realizează prin schimbarea unui alt balansier cu unghi respectiv. Electrocul-sârmă este tras prin reazemele 11 și 12, fiind deplasat și întins de bobinele 13 și 14. La deplasarea electrodului-sârmă, rola 8, fiind așezată pe o axă 15, iar ea, la rândul său, pe lagărele 16, obține o mișcare de rotație în jurul axei 15. Rola 8 are o legătură cinematică cu mecanismul 17. Pe suprafața conică a rolei este executat un canal spiroidal cu o secțiune circulară cu unghiul de pantă α .

Procedeul se realizează în felul următor. Spre electrodul-sârmă 1 și spre semifabricatul 2, fixat de masa rotativă a mașinii-unelte, se transportă tensiune de lucru de la sursa de alimentare, utilizată la prelucrarea prin electroeroziune. În zona de prelucrare, unde se află semifabricatul și electrodul-sârmă, se trimite lichidul de lucru. Electrocul-sculă i se comunică mișcare de avans axial de la mecanismul de acționare a mașinii-unelte, iar semifabricatului – mișcare de rotație. La apropierea semifabricatului și electrodului-sârmă până la o valoare anumită j (jocul) fig. 4.59, apar descărcări electrice, care conduc la pătrunderea sârmei în semifabricat. În urma acestor descărcări, sârma, executând mișcări de rulare, oscilatorii și suplimentare, va decupa din semifabricat piesa finită cu conturul necesar.

Regimurile electrice, utilizate la realizarea procedurii propus, coincid totalmente cu regimurile cunoscute folosite la prelucrările prin electroeroziune, și se indică în funcție de următoarele considerente: suprafața de prelucrare (în cazul de față, suprafața de contact al electrodului-sârmă cu piesa), rugozitatea necesară de prelucrare etc.

Utilizarea procedurii propus permite mărirea preciziei de prelucrare a angrenajelor, extinderea posibilităților tehnologice de prelucrare, creșterea productivității procedurii, reducerea timpului pentru ajustarea manuală a pieselor și oferă posibilitatea de a obține dinți cu modificare longitudinală.

Se propune procedeul de formare a depunerilor de grafit cu utilizarea electrozilor compacți și cu contactarea periodică a acestora cu suprafața prelucrată a piesei [159].

Problema pe care o rezolvă procedeul este majorarea durabilității pieselor metalice prin formarea depunerii de grafit, însoțită de durificarea substratului și păstrarea formei geometricei piesei prelucrate, rugozitatea acesteia rămânând constantă ori micșorându-se.

Procedeul dat contribuie la sporirea rezistenței refractare a suprafeței pieselor și celei de uzură prin formarea pe ele a peliculelor de grafit, precum și la durificarea substratului suprafețelor metalice prin interacțiunea surselor punctiforme de impulsuri de căldură și a câmpurilor electrice create de descărcările prin impulsuri, însoțite

de transferul grafitului pe suprafața piesei, cristalizarea lui pe suprafață cu formarea depunerii de $7 \dots 17 \mu\text{m}$ și difuzia lui în aceasta, însoțită de modificarea compoziției chimice în substrat, cu formarea carburilor metalice și micșorarea rugozității ei din contul întreținerii descărcărilor electrice prin impulsuri pe petele electrodeice reci.

A fost demonstrat experimental că grafitul erodează mult mai efectiv la polaritate directă în faza solidă, iar materialul erodat de pe suprafața catodului este transferat pe cea a anodului, cristalizându-se pe aceasta și formând o peliculă subțire, din care apoi are loc difuzia în substratul suprafeței prelucrate și care decurge mai puțin intensiv în cazul conectării piesei în calitate de catod. În cazul utilizării numai a impulsului de polaritate directă, procesul de difuzie este mai puțin efectiv, din motivul formării pe suprafața piesei a unui strat gros de grafit, care izolează termic suprafața prelucrată, pe de o parte, iar pe de altă parte, la interacțiuni repetate cu canalul de plasmă, acesta crește în grosime și este mai puțin supus eroziunii, are loc formarea legăturilor interatomice nemetalice, materialul de depunere fiind nemetal.

Suprafața prelucrată a piesei suportă transformări de compoziție chimică și de natură termică, astfel, la încălzirea suprafeței de ordinul a $4 \dots 12 \text{ mm}^2$ (pentru un impuls), transferul polar al grafitului, însoțit de cristalizarea lui pe acesta, provoacă formarea depunerii și efecte de difuziune a grafitului în suprafața metalică, însoțită de formarea așa-numitului strat alb, a cărui grosime este în funcție de cantitatea de energie degajată în interstițiu și de numărul de treceri (șocuri termice) la care aceasta este supusă.

De asemenea, în mod experimental a fost stabilită creșterea grosimii piesei și micșorarea rugozității suprafeței prelucrate.

Generatorul conține un bloc de impulsuri de amorsare, bloc de impulsuri de putere și bloc de dirijare. Durata impulsurilor de putere, asigurată de blocul de dirijare, nu va depăși $250 \mu\text{s}$, timp suficient pentru apariția și dezvoltarea petelor electrodeice „calde”, ceea ce provoacă fenomene electroerozive și de transfer polar. Totodată, are loc topirea suprafeței la adâncimi de $0,05 \dots 0,1 \mu\text{m}$, ceea ce asigură amestecarea parțială a fazei lichide a metalului cu grafitul transferat de pe catod, grafitul nedizolvat servește în calitate de germene pentru cristalizarea de mai departe a acestuia și formarea depunerii. La acțiunea repetată a impulsurilor de curent crește grosimea depunerii și are loc difuziunea grafitului în adâncul suprafeței piesei din contul acțiunii termice pe adâncimi de ordinul a $3 \dots 7 \mu\text{m}$.

Continuitatea deplină a stratului de depunere din grafit se asigură pentru suprapunerea petelor de interacțiune anodică cu pasul de $0,5 d_z$ (unde d_z este diametrul zonei de interacțiune termică a canalului de plasmă cu suprafața prelucrată) a avansului longitudinal și transversal.

Pentru formarea straturilor de depunere antirefractare și antipriză pe suprafețele metalice cu descărcări electrice prin impulsuri în regim de subexcitare, este necesar de asigurat următorii parametri: interstițiul - 1 mm , capacitatea bateriei de condensatoare $600 \mu\text{F}$, tensiunea de încărcare a acestora 200 V , durata impulsului de putere $250 \mu\text{s}$, iar pentru impulsurile de amorsare $C = 0,1 \mu\text{F}$, tensiunea în impuls fiind de $10 \dots 12 \text{ kV}$.

4.4. Tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți curbi

4.4.1. Elemente de referință privind tehnologia danturării roților dințate conice cu dinți curbi

Angrenajele conice cu dinți curbi sunt utilizate când momentele de torsiune și forțele mecanice de transmisie sunt mari, cu viteză periferică de funcționare de la 3 mm/s până la 40 mm/s , fiind impus un zgomot redus în funcționare pe tot domeniul vitezelor periferice. Rezolvarea favorabilă a acestor condiții de utilizare de

către angrenajele conice cu dinți curbi față de angrenajele conice cu dinți dreپți se datorează faptului că angrenajele conice cu dinți curbi au un grad de acoperire mai mare din cauza curbării flancului dintelui. De asemenea, prin procesul de fabricare, unele danturi au flancul bombat (dantura arc de cerc zero, angrenajele spiroconice, ciclopaloide, paloide, eloide), sau se execută operații suplimentare pentru bombarea danturii, care au efecte pozitive în funcționare.

Totodată, la rapoarte de transmitere mari, utilizarea roților dințate cu dinți curbi permite întotdeauna reducerea gabariturii transmisiei. Aceasta datorită faptului că gradul de acoperire mare, realizat prin înclinarea dinților, permite utilizarea unui număr mai mic de dinți la pinion decât în cazul roților conice cu dinți dreپți, obținându-se în același timp și o funcționare silențioasă.

Prelucrarea danturii roților dințate conice cu dinți curbi se face în funcție de forma curbă a flancului dintelui prin următoarele metode: danturarea prin copiere cu așchiera profilului dinților, danturarea prin rulare cu așchiera profilului dinților; debavurarea și finisarea electrochimică a danturii; rotunjirea muchiilor danturii.

Danturarea prin copiere se realizează prin procedeul de frezare cu profilare, având divizare discontinuă (Formate-Gleason) doar în cazul roților dințate conice cu dinți curbi în formă de arc de cerc.

Danturarea prin rulare se realizează prin procedee corespunzătoare fiecărui tip de dantură curbă: a) roți dințate conice cu dantură în arc de cerc, având flancurile dinților în formă de cerc la care pentru așchiera danturii se utilizează procedeul Gleason cu divizare discontinuă, având variantele: simplu unilateral, simplu bilateral, bilateral dublu, curvex, octoid-unitool și pentru rectificarea danturii, rectificarea cu discuri oală; b) roți dințate conice cu dantură spiroconică eloidă, având flancurile dinților în formă de epicicloidă (procedeul Spiromatic-Oerlicon cu divizare continuă); c) roți dințate conice cu dantură spiroconică paloidă, având flancurile dinților în formă de evolventă alungită – (procedeul Klingelberg cu divizare continuă); d) roți dințate conice cu dantură spiroconică ciclopaloidă, având cele două flancuri ale dinților în formă de două epicicloide alungite diferite (procedeul Klingelberg cu divizare continuă); e) roți dințate conice cu dantură spiroidă, având flancurile dinților în formă de cicloidă conică – (procedeul Fiat-Mammano cu divizare continuă); f) roți dințate conice cu dantură arhicon, având flancurile dinților în formă de spirală arhimedică – (procedeul Velicu cu divizare continuă); g) roți dințate conice cu dantură episinoidă, având flancurile dinților în formă de curbe episinoide – (procedeul Gleason de rabotare cu divizare continuă); h) pentru toate tipurile de dantură curbă – (rodarea, lepuirea, rotunjirea muchiilor danturii), debavurarea și finisarea electrochimică a danturii; i) roți dințate conice cu dinți curbi în formă de arc de cerc - rectificarea danturii prin rulare cu discuri-oală, utilizând aceeași cinematică de danturare; j) roți dințate conice cu dantură curbă - eloidă, paloidă, ciclopaloidă, spiroidă - rectificarea danturii cu discuri-oală sau cu sculă-roată de rectificat pe mașini cu comandă numerică.

Acest fapt a determinat apariția diferitelor metode și procedee de prelucrare a acestor tipuri de dantură cu realizarea unei game variate de mașini de danturat. Roțile dințate cu dinți curbi pot avea înălțimea variabilă sau înălțimea și lățimea dinților constantă, soluție utilizată mai ales datorită preciziei ridicate în funcționare.

Prelucrarea roților dințate cu dantură eloidă, paloidă, ciclopaloidă, spiroidă, arhicon prin rulare cu divizare continuă este similară cu cea a roților dințate cilindrice prin rulare. Profilarea dinților curbi după diverse curbe are loc în mod continuu prin formarea succesivă în lungul dinților profilului care trebuie realizat, rezultat din suprapunerea mișcărilor roții plane imaginare și ale sculei de prelucrat. Se pot realiza danturi cu înălțimea constantă sau variabilă a dinților.

Pentru dantura eloidă, ciclopaloidă, spiroidă, arhicon, prelucrarea se face cu capete de frezat pe care sunt fixate cuțite așchietoare de construcție specială. Acestea sunt dispuse într-un mod caracteristic în fiecare caz în parte, iar împreună cu mișcările capului portcuțite și ale piesei se generează flancurile dinților după curba respectivă. În funcție de procedeul utilizat, se pot realiza roți dințate conice pentru angrenaje cu axe intersectate, încrucișate sau deplasate. În cazul danturii paloide, prelucrarea se realizează cu o freză-melc modul conică, care generează suprafețele în lungul dintelui sub formă de evolventă. În acest caz particular, se pot dantura roți conice pentru angrenaje cu axe încrucișate sau deplasate.

În cazul danturii episinoide prelucrarea se face prin rabotare cu cuțit trapezoidal, domeniul de utilizare fiind: roți dințate conice cu dantură curbă de dimensiuni foarte mari.

Rectificarea danturii roților dințate conice cu dantură curbă sub formă de arc de cerc se face prin rulare cu divizare continuă, utilizând două discuri oală de rectificat pentru flancurile concav și convex al danturii, cu respectarea cinematicii de generare a danturii prin așchiere.

Rectificarea danturii roților dințate conice cu dantură eloidă, paloidă, ciclopaloidă și spiroidă se face prin rulare cu divizare discontinuă, utilizând două discuri oală de rectificat pentru flancurile concav și convex pe mașini cu comandă numerică. În acest caz, cinematica de rectificare este deosebită de cea de danturare prin așchiere, folosind optimizarea aproximării curbelor respective cu arc de cerc pe porțiuni mici și deplasarea sculei și piesei cu comandă numerică.

Rectificarea danturii roților dințate conice cu dantură eloidă se face și prin rulare cu divizare continuă, utilizând angrenarea roții de rectificat cu o roată-sculă de rectificat.

4.4.1. Tehnologia danturării prin copiere cu frezare de profilare a roților dințate conice cu flancurile dinților în arc de cerc

La danturarea angrenajelor conice cu dinți curbi în formă de arc de cerc, dantura coroanei poate fi realizată printr-o frezare de profilare (procedeul Formate-Gleason) asemănătoare cu o broșare circulară, cu un cap portcuțit bilateral, care prelucrează simultan ambele flancuri ale dinților, fără mișcare de rulare (metoda bilaterală simplă). Împerechind această coroană dințată cu flancuri rectilinii cu un pinion având dinți cu flancuri curbe, prelucrați dintr-o prelucrare de rulare, se obține angrenajul de semirulare sau „Formate”.

După așchiera completă a unui gol dintre doi dinți succesivi cu cap portcuțite (fig.4.60), se realizează mișcarea de divizare la următorul gol. Așchiera se efectuează numai cu un avans de pătrundere în adâncime, care poate fi realizat pe două căi:

- prin dispunerea în trepte a cuțitelor în capul portcuțite;
- prin mișcări de apropiere a capului portcuțite și a piesei.

La prima variantă, cu dispunerea în trepte a cuțitelor în capul portcuțite, piesa nu-și schimbă poziția în timpul, așchierii, iar capul portcuțite, având cuțitele cu înălțime treptat crescândă, aplicate frontal, prelucrează fiecare gol dintre dinți în cursul unei singure rotații a capului portsculă, de aici și denumirea de Single Cycle. Ultimele două cuțite ale capului portcuțite execută finisarea golului prin așchiere succesivă fără a se deranja reciproc, deoarece distanțele de amplasare sunt mai mari.

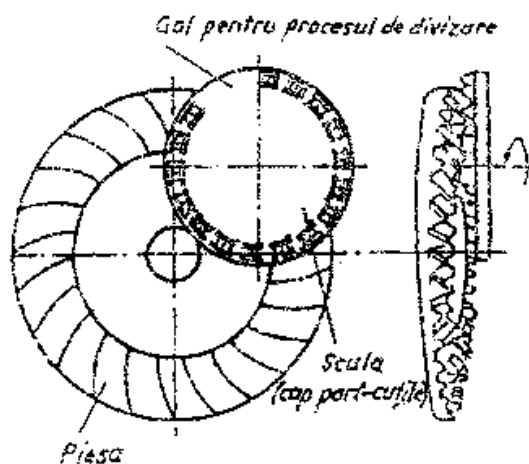


Fig. 4.60

Spațiul liber dintre ultimul cuțit de finisare și primul cuțit de degroșare este necesar pentru efectuarea divizării. Discul de divizare al mașinii este fixat direct pe axul piesei, iar piesa nu se deplasează axial în cursul operației de divizare. Reglarea în direcție verticală a capului portsculă se realizează prin deplasarea suportului sculei pe căile de ghidare ale unei sănii înclinată la 30° , iar reglarea în direcție orizontală se efectuează prin deplasarea saniei pe ghidajele plăcii de bază.

Prin suprimarea mișcării de rulare s-a putut simplifica mult construcția mașinilor de danturate. Astfel, mașinile Single Cycle, fiind mașini speciale numai pentru broșarea golurilor, se caracterizează printr-o rigiditate mare.

Întrucât danturarea pinionului corespunzător angrenajului „Formate” impune mașinii de danturare prin rulare, acest sistem de lucru devine rentabil numai în fabricația în serie mare.

Varianta a doua, la care avansul de adâncime se realizează prin mișcări de apropiere a capului portcuțite, denumită și metoda Cyclex, dă posibilitatea danturării coroanei frezate prin profilare și a pinionului pe aceeași mașină. Mașinile Cyclex, de danturat prin rulare, sunt echipate cu un dispozitiv pentru deplasarea suportului pisesei. La acest procedeu însă, fiecare gol se degroșează în prealabil, apoi finisează succesiv cu două cuțite de finisare a capului portcuțite.

Capul portcuțite Cyclex este prevăzut cu cuțite de așchiere interioare și exterioare. Capul portcuțite din figura 4.61 are 6 segmente de cuțite, în total 18 cuțite, a căror înălțime crește uniform, treptat, de la segmentul 1 la segmentul 4. Segmentul 5 conține numai cuțitul de finisare interior, iar segmentul 6 - numai cuțitul de finisare exterior, corespunzător unui gol dintre dinți.

În cursul danturării de degroșare, capul portcuțite face mai multe rotații, în timp ce piesa execută, la anumite intervale, mișcări de apropiere față de sculă. În acest timp, cuțitele de finisare nu așchiază, întrucât înălțimea lor se află sub a cuțitelor de degroșare. După degroșarea completă a golului dintre dinți, piesa se deplasează rapid înainte, în poziția de finisare, menținându-se în această poziție până când ambele cuțite de finisare termină procesul de așchiere. După ce, printr-o deplasare în sens invers al suportului piesei, se evită posibilitatea așchierii ulterioare a cuțitelor de degroșare, piesa iese complet din poziția de așchiere și se realizează divizarea.

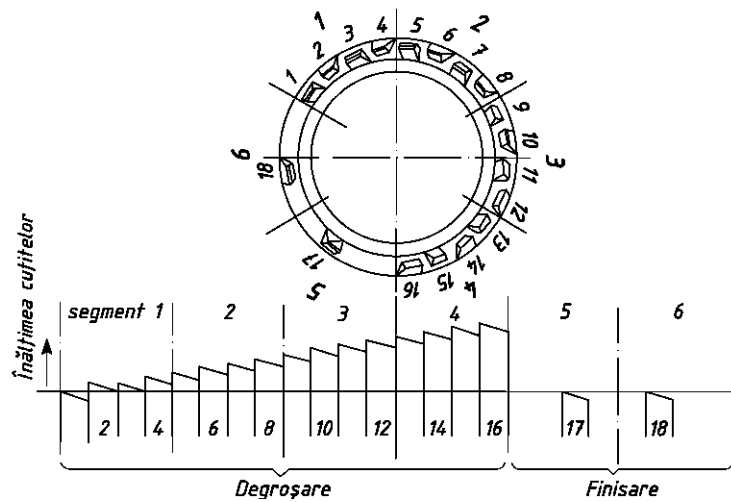


Fig. 4.61

La mașinile de danturare mai noi, care lucrează după acest procedeu, s-a suprimat operația de degroșare separată, folosind un cap portcuțit conform figurii 4.62.

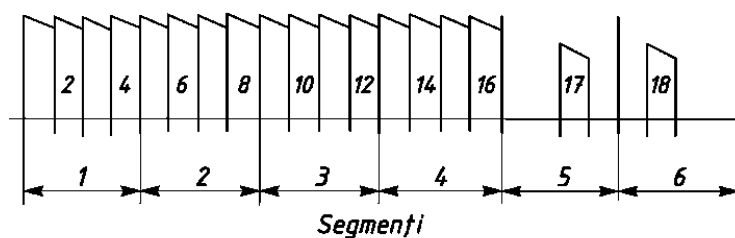


Fig. 4.62

În acest caz, cuțitele de degrosare au toate aceeași înălțime, iar cele două cuțite de finisare se găsesc puțin mai jos, având o anumită distanță între ele. În cursul degroșării, care se distribuie iarăși pe mai multe rotații ale capului portcuțite, acesta execută o mișcare constantă de apropiere.

Mișcarea de apropiere încetă se întrerupe însă de fiecare dată după terminarea danturării de degroșare, iar printr-o deplasare axială rapidă a capului portcuțite se creează posibilitatea finisării succesive a golului de către cuțitele de finisare, corespunzător segmentelor 5 și 6.

4.4.3. Tehnologia danturării prin rulare a roților dințate conice cu flancurile dinților în arc de cerc

Roțile conice cu dantura în arc de cerc au directoarea dintelui, pe roata plană de referință, sub forma unui arc de cerc. Prelucrarea se face cu o sculă tip cap de frezat în construcție monobloc sau cu dinți aplecați, dispuși circular (procedeu Gleason) pe mașini Gleason-USA, Modul-Germania sau Saratov-Rusia.

Dantura conică este generată printr-o mișcare de rotație A a capului portcuțite în jurul axei proprii care este mișcarea principală de așchiere ce dă forma directoarei și două mișcări de rotație B ale tamburului și C ale piesei, corelate prin condiția cinematică de rulare, pentru realizarea generatoarei dintelui.

Capul portsculă are și o mișcare de avans de pătrundere către fundul golului dintre dinți până la atingerea adâncimii necesare a golului dintre dinți. Prelucrarea făcându-se prin rulare cu divizare discontinuă după ce s-a executat complet un gol dintre dinți, are loc retragerea sculei din așchiere și divizarea unghiulară cu un pas unghiular corespunzător unui gol dintre dinți. Principiul prelucrării este arătat în figura. 4.63, iar în figura 4.64 este arătată zona de prelucrare.

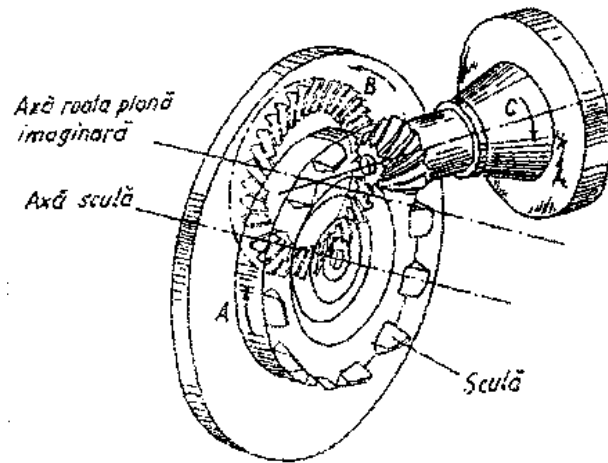


Fig. 4.63

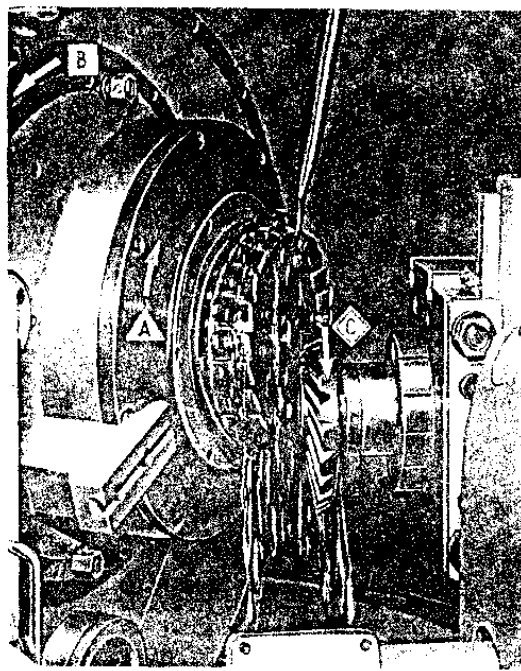


Fig. 4.64

În acest mod se pot obține dinți cu înălțime variabilă (fig. 4.65 - forma dintelui I și II *a) b)* și cu înălțime constantă (forma dintelui III).

Dantura cu înălțime variabilă, cu toate avantajele care rezultă din variația proporțională a înălțimii dintelui cu modulul, are abateri de formă și prezintă pericolul apariției fenomenului de contact diagonal, de aceea este mai puțin răspândită decât dantura cu înălțime constantă.

În ceea ce privește execuția, dantura cu înălțime variabilă, nefiind teoretic exactă, necesită o serie de corecții pentru a se obține conjugarea profilelor dinților. Calculul reglajelor pentru frezare și rectificare, incluzând corecții sub forma aproximațiilor, însumează circa 500 de relații. În final, pentru realizarea unui contact corect între flancuri este necesară o fază de analiză denumită „dezvoltarea petei de contact”.

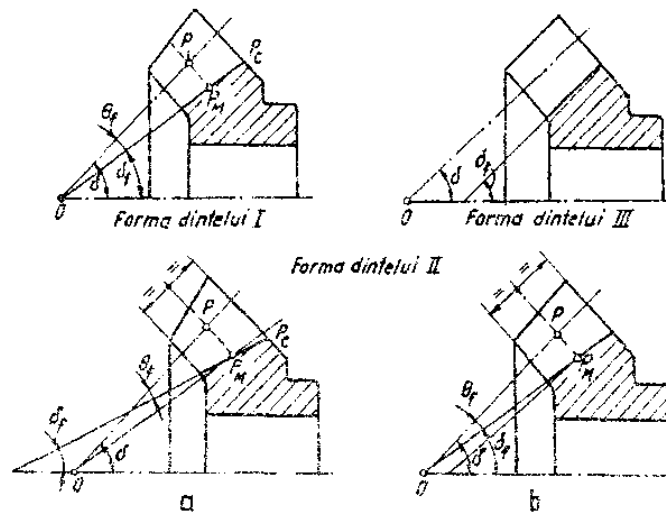


Fig. 4.65

Principalul avantaj al acestui tip de dantură - reglaje mai simple și scule universale - o fac utilizabilă atât la producția de unicat în serie mică cât și la producția în serie mare. Dezavantajul subtăierii și ascuțirii mai pronunțate a dintelui la diametrul interior al roții plane este diminuat printr-o deplasare a profilului dintelui.

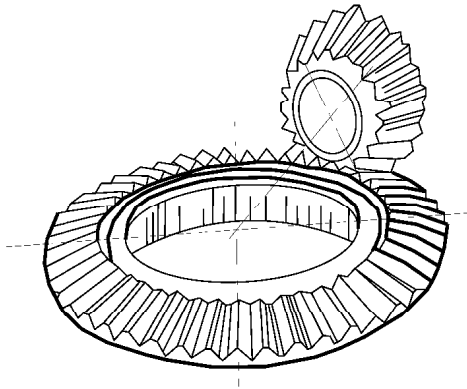


Fig.4.66

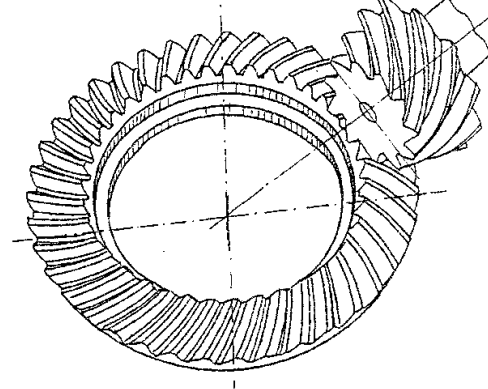


Fig.4.67

Din punct de vedere al unghiului de înclinare pe arcul mediu al roții plane a flancului dinții or în arc de cerc angrenajele conice cu dinți în arc de cerc se execută în două variante:

- a) *angrenaje* la care curba directoare a danturii este un arc de cerc al cărui unghi de înclinare, pe cercul mediu al roții plane, este $\beta_m \neq 0$ (fig. 4.67);
- b) *angrenaje zero*, la care unghiul de înclinare $\beta_m = 0$ (fig. 4.66).

Prelucrarea semifabricatului 1 se face cu capetele de frezat 2, pe care sunt fixați dinții 3, dispuși la montare după un con imaginar (fig. 4.68).

Vârful conului imaginat O_s este poziționat în planul roții imaginare astfel, încât conul înfășurat de muchiile tăietoare ale capului de frezat să se suprapună peste flancurile corespunzătoare ale roții plane. Poziția lui O_s se calculează prin relațiile:

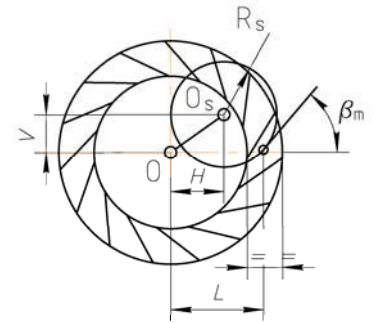
$$H = L - R_s \sin \beta_m ;$$

$$V = R \cos \beta_m$$

în care: L este lungimea medie a generatoarei, mm;

R_s - raza capului la care sunt fixate cuțitele, mm;

β_m - unghiul mediu de înclinare a danturii, grade.



Roata plană care stă la baza construcției mașinilor de danturat este modificată în așa fel, încât ea devine o roată cu vârf plan. În felul acesta se simplifică foarte mult reglajele necesare a fi făcute la mașină. Dar, datorită modificării, profilul dinților nu mai este trapezoidal.

Din această cauză, pentru obținerea unei danturi corecte, tășul cuțitelor trebuie construit după o curbă evolventă. Realizarea practică a unor astfel de cuțite întâmpină dificultăți, fapt pentru care cuțitele se execută tot cu profil rectiliniu. Folosirea unor astfel de cuțite conduce, evident, la obținerea unor danturi cu abateri. Dar aceste abateri sunt foarte mici și ele se manifestă numai în primele ore de funcționare a angrenajului.

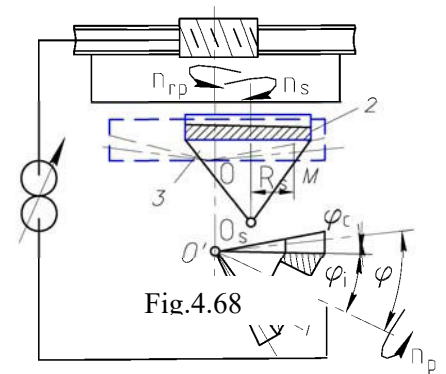


Fig.4.68

Mașinile pentru prelucrat dantura în arc de cerc pot fi universale. În sensul că pe ele se poate executa orice

dantură în arc de cerc, sau specializate, în sensul că acestea sunt destinate unui singur tip de roți cu dantura în arc de cerc sau specializate, în sensul că acestea sunt destinate unui singur tip de roți cu dantura în arc de cerc.

În practică s-au pus ia punct mai multe variante de procedee de prelucrare, după cum urmează:

a) *Procedeul simplu unilateral.* Acesta constă în faptul că, fiecare flanc al dintelui se prelucurează separat cu câte un cap portcuțite ele două tipuri: unul la care cuțitele au tășuri exterioare și execută flancul concav și altele la care cuțitele au tășuri interioare și execută flancul convex.

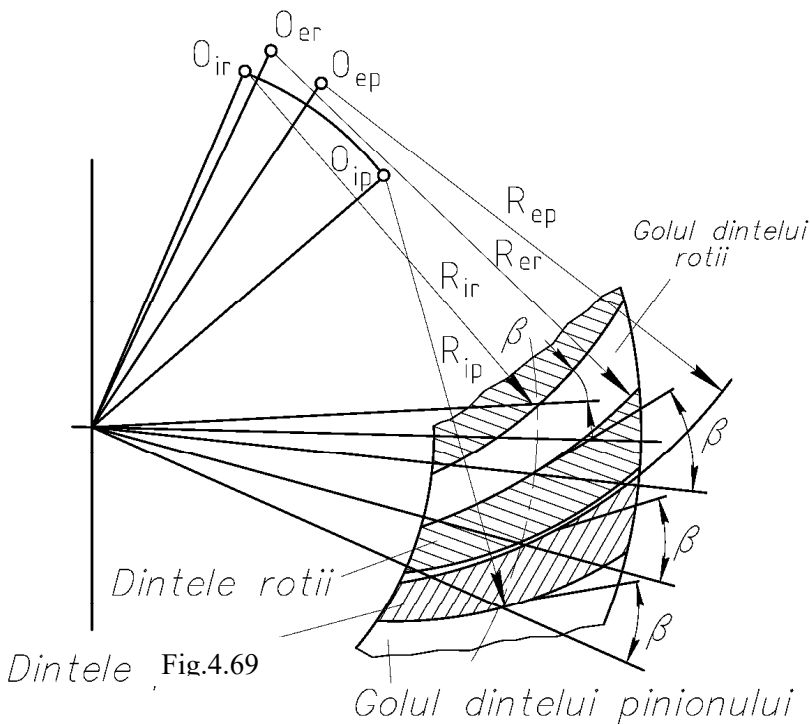


Fig.4.69

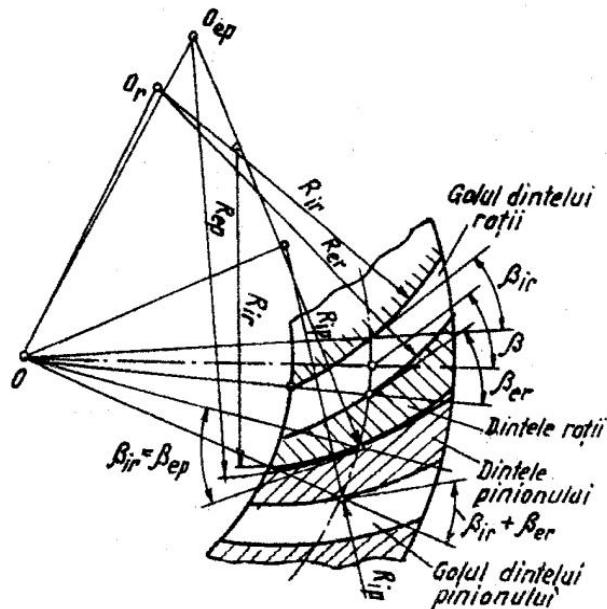


Fig.4.70

Ca urmare flancurile convexe ale dinților se prelucurează cu muchiile interioare ale cuțitelor de pe flancul de frezat, cu raza $R_i = R_{ir} = R_{ip}$ centrul conului în O_{ir} , de frezat cu raza (fig. 4.69). Datorită diferenței dintre raza exterioară și cea interioară $R_e > R_i$, rezultă că pata, de contact va fi localizată la mijlocul lungimii flancurilor $\Delta R - R_e - R_i$ și nu poate fi reglată. Pentru a ameliora acest dezavantaj prelucrarea pino- nului și coroanei unui angrenaj se face, după această metodă, cu patra capete portcuțite succesiv, ceea ce conduce la o productivitate scăzută. De aceea prelucrarea după metoda unilaterală este specifică producției de serie mică și tot mai puțin întâlnită.

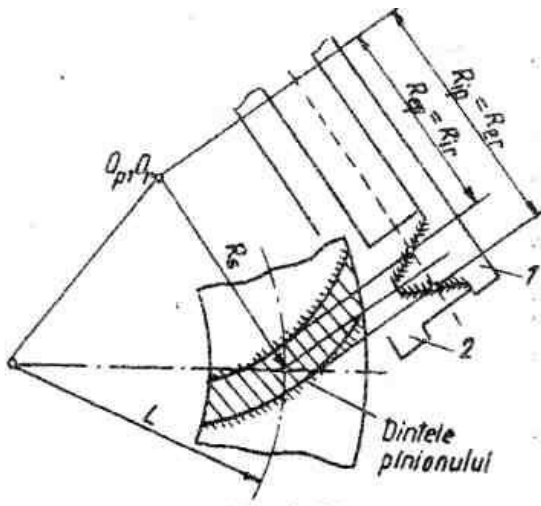


Fig.4.71

b) *Procedeul simplu bilateral* Acesta constă în aceea că, prelucrarea roții se face cu un cap de frezat bilateral și muchiile tăietoare ale dinților capului de frezat generează flancurile opuse a doi dinți succesivi ai roții dinate; într-o trecere se prelucurează ambele flancuri dintr-un gol de dinte.

Coroana conică se danturează după procedeul Formate, fără rulare, iar pinionul se prelucurează, prin rulare, după procedeul simplu bilateral. Deoarece dinții coroanei au profil rectiimiu, dantura pinionului trebuie supusă unor corecții după danturate. Astfel, dantura pinionului nu mai este definită de o dantură de referință (a roții plane) ci de o dantură individuală (a roții conjugate),

Rezultă că flancul convex al roții care are unghiul de înclinare β_{ir} (fig. 4.71) angrenează cu flancul concav al pinionului care are unghiul de înclinare β_{ep} este necesar deci ca cele două unghiuri să fie egale $\beta_{ir} = \beta_{ep} \cdot p_n$, iar Tabelul 4.6. Domeniile de utilizare a procedeului de danturare a roților conice cu dinți în arc de cerc.

Tabelul 4.6. Domeniile de utilizare a procedurii de danturare a roților conice cu dinți în arc de cerc

| Denumirea procedurii | Modulul frontal maxim, mm | Unghiul de angrenare | Unghiul de înclinare al dinților | Diametrul capetelor de frezat normalizate Înch sau mm | Raportul de transmitere | Numărul minim de dinți pentru i | | | | Felul producției |
|----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------------------------|
| | | | | | | 1,0... 1,5 | 1,5... 2,5 | 2,5... 3,5 | 3,5... 10 | |
| Simplu unilateral | 1,75... 30 | 20° | 10°... 35 | 3,5"; 4,5"; 6"; 7,5"; 9"; 18" (înch) 630; 800; 900; (mm) | 1...10 | 19 | 16 | 13 | 10 | Unicat si serie mică |
| Simplu bilateral | 3... 30 | 20° | 10°... 35 | 3,5"; 4,5"; 6"; 7,5"; 9"; 12"; 18" (inch) 630; 800 (mm) | 1...10 | 23 | 18 | 14 | 10 | Serie mică, mijlocie mare |
| Dublu bilateral | 0,5... 4,25 | 16° | 10°... 40 | 20; 25; 32; 40; 50; 60; | 1...10 | 23 | 18 | 14 | 10 | Serie Mijlocieși de masă |

Dantura roților conice cu dinți în arc de cerc prelucrată prin una din metodele simplu unilateral, simplu bilateral, bilateral dublu are o înălțime variabilă a dintelui. Aceasta este caracterizată prin faptul că dintele descrește ca înălțime de la diametrul mare către cel mic al roții conice. O astfel de dantură prezintă dezavantajul că unghiul de angrenare se modifică în lungul liniei flancului dintelui, ceea ce are ca urmare imposibilitatea unui reglaj corespunzător și exact care să asigure o anumită pată de contact pe flancurile dinților în timpul angrenării.

Rezultă că localizarea petei de contact nu se poate face decât prin încercări repetate care cer consum mare de timp și nu sunt neeconomice în producția de serie.

Între descreșterea înălțimii dintelui și micșorarea grosimii lui există o relație bine definită. De asemenea, micșorarea grosimii dintelui impune o creștere a razei capului de frezat.

Dacă dinții au înălțimea constantă, raza capului de frezat trebuie să aibă o valoare bine determinată (tab. 4.7). În unele cazuri raza capului portcuțite poate fi atât de mică, încât să apară o așchiere suplimentară a flancurilor deja prelucrate. De asemenea, în cazul dinților de înălțime constantă, pata de contact se poate determina mult mai sigur și reglajul mașinii se face mult mai rapid.

d) *Procedeu Curvex*. Acest procedeu de prelucrare a danturii la roțile dințate cu flancurile dinților în arc de cerc și dantura de înălțime constantă, înlătură deficiențele procedurilor anterioare.

Se utilizează două capete de frezat I și 2 din punct de vedere teoretic, excentrice unul față de celălalt (fig. 4.72, a , b , c), fiecare prelucrând simultan câte un flanc al golului roții, după roata plană imaginată. Capul portsculă de prelucrat include cuțitele celor două capete de frezat teoretice. Cuțitele celor două capete de frezat se întrepătrund (fig. 4.72, b) și se rotesc sincronizat. Axele lor O_i și O_e pot fi reglate în raport cu axa roții dințate de prelucrat O , pentru realizarea schemei tehnologice de generare (fig. 4.72, b).

Tabelul 4.7. Dimensiunile capetelor portcuțite

| Unghiul β° | Diam. normalizat al capetelor portcuțite, d_c | | R_0 | mf | h | B |
|-----------------------|---|-------|-----------|------|-----|-----|
| | tolii | mm | mm | mm | mm | mm |
| 0...15 | $3\frac{1}{2}$ | 88,9 | 20...40 | 3,5 | 3,7 | 20 |
| 15 | | | 35...65 | | | |
| 0...15 | 6 | 152,4 | 30...70 | 4,5 | 10 | 30 |
| 15 | | | 60...100 | 5 | | |
| 0...15 | 9 | 228,6 | 60...120 | 6,5 | 15 | 50 |
| 15...25 | | | 90...160 | 7,5 | | |
| 25 | | | 90...160 | 8 | | |
| 0...15 | 12 | 304,8 | 90...180 | 9 | 20 | 65 |
| 15...25 | | | 140...210 | 10 | | |
| 25 | | | 140...210 | 11 | | |
| 0...15 | 12 | 457,2 | 160...240 | 12 | 28 | 100 |
| 15...25 | | | 190...320 | 14 | | |
| 25 | | | 190...320 | 15 | | |
| 30...40 | 18 | | 320...420 | 15 | 28 | 100 |

Razele celor două capete de frezat R_e și R_i teoretic trebuie să fie egale, deoarece după ele sunt reglate cuțitele de lucru, pentru ca cele două roți conjugate să se poată angrena. Practic, însă, este necesară o schimbare a lor, astfel încât să rezulte o mică diferență de raze ΔR care permite să fie localizată pata de contact.

Ca urmare, este necesar să se modifice poziția axelor capetelor de frezet O_I și O_e . Astfel rezultă că razele vor avea valorile:

$$R_i = R_i + \Delta R \text{ și } R_e = R_e - \Delta R. \quad (4.18)$$

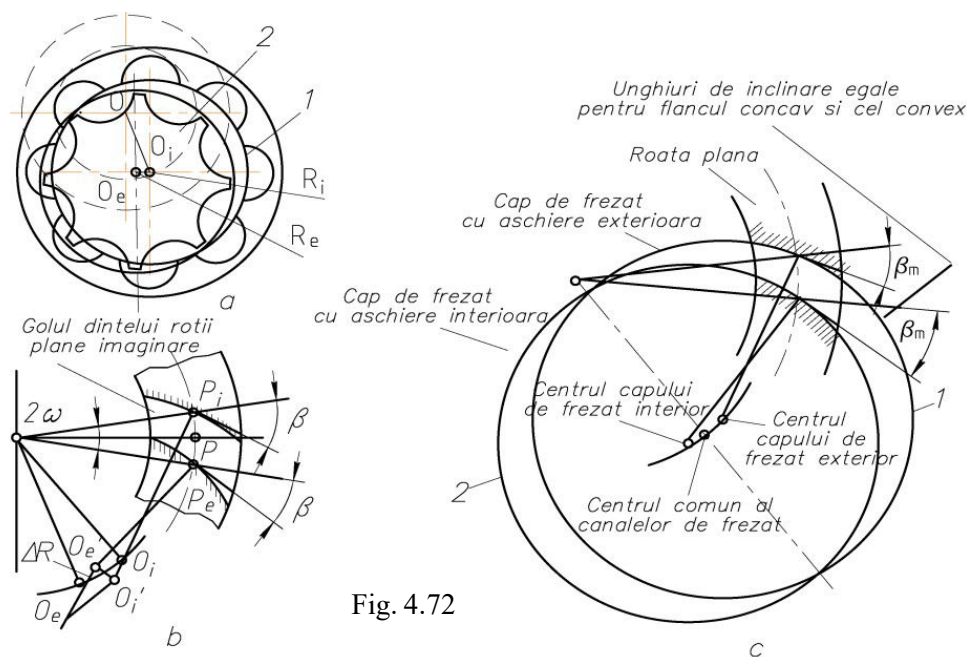


Fig. 4.72

E de menționat că procedeul este mult mai productiv, la prelucrarea roților conice rezultând o precizie sporită și o rugozitate mai bună, iar prin reglajele care se fac în condiții mult mai simple, poate fi ușor localizată pata de contact. Pentru îndeplinirea acestor condiții se impune totuși o execuție și o reglare foarte bună a cuțitelor pe capul de frezat.

e) *Procedeul Octoid-Unitool*. Procedeul se aplică la prelucrarea danturii octoide, aceasta realizându-se tot cu un cap de frezat 1, la care profilul dinților de frezat 2 sunt dispuși după o curbă evolventică. Scula folosită la

prelucrare este însă un cap de frezat portcuțite de construcție specială. Cuțitele acestuia au tăișurile, atât cele exterioare, cât și cele interioare, în formă de arc de cerc cu razele R_i și R_e (fig. 4.72 a și b), având centrele de curbura decalate în O_i și O_e .

Raza de curbura a tăișului exterior este ceva mai mare decât raza de curbura a sferei care definește dantura octoidă, iar raza tăișului interior este ceva mai mică, cuțitele fiind decalate față de axa capului de frezat. Acest lucru determină la prelucrare o bombare pe înălțimea dintelui. De regulă, atât degroșarea, cât și finisarea se execută cu același cap de frezat, schimbându-se doar vitezele de așchiere, acestea fiind mai mari la operația de finisare. Pentru producția de serie mare se pot folosi capete separate de degroșare și finisare.

Pe direcția radială, cuțitele 2 sunt deplasate cu ajutorul adaosurilor 3 și al penei 4,

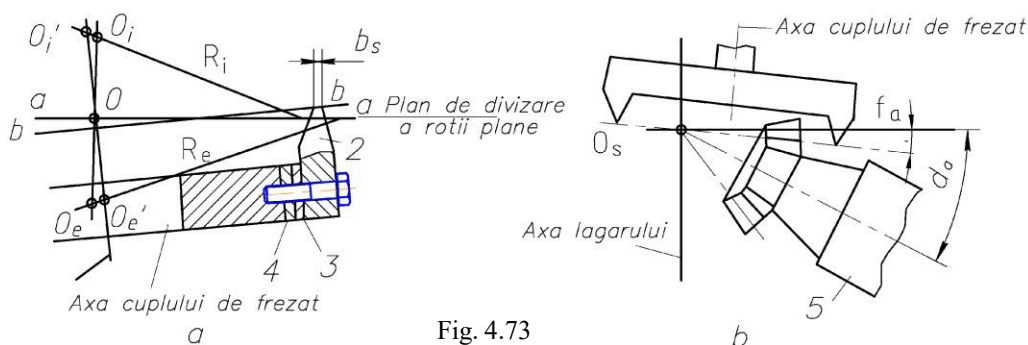


Fig. 4.73

Distanțele OO_i și OO_e sunt proporționale cu razele R_i și R_e . Profilele cuțitelor sunt înclinate cu același unghi în planul $a-a$, care trece prin O . Unghiul de înclinare μ al liniei ce trece prin centrele O_i și O_e este cu atât mai mic cu cât dimensiunea cuțitului este mai mare.

Acest unghi determină mărimea bombării pe înălțimea dinților, iar bombarea pe lungimea dinților este determinată de raza capului de frezat.

Capetele de frezat pe care sunt fixate cuțitele profilate nu necesită un reglaj complicat, operația de reglare realizându-se ușor și simplu. Capetele se execută pentru unghiurile de angrenare de 20° sau pot fi folosite și pentru alte unghiuri cuprinse între $17^\circ 30'$ și $22^\circ 30'$ (tabelul 4.8), prin reglări speciale ale mașinii-unelte. Axa capului de frezat l (fig. 4.73) pe conul de fund al roții este înclinată în planul roții plane imaginare cu unghiul φ_0 , iar planul trece prin vârful conului de divizare a semifabricatului O care este înclinat și el la unghiul δ_0 .

Raportul de rulare al sculei și semifabricatului depinde direct de raportul dintre numărul de dinți al roții plane imaginare și cel al semifabricatului care poate fi coroană dințată sau un pinion.

E de reținut că pentru prelucrarea roților conice prin acest procedeu, cuțitele sunt mai greu de realizat, din cauza profilului pe care îl reclamă

Tabelul 4.8. Coeficientul f_{of} și ω_{of} pentru dantura în arc de cerc

| Numărul de dinți al pinionului | Unghiul de înclinare al dintelui | Coeficienții | | Raportul de transmitere |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------|---------------|-------------------------|
| | | f_{of} | ω_{of} | |
| 10 | 0...15 | 1,00 | 0,2 | 1...10 |
| | 15...30 | 0,92 | | |
| 8 | 30 | 0,82 | 0,16 | 4...10 |
| 7 | 38...40 | 0,78 | | |
| 6 | 40...42 | 0,75 | | |
| 5 | 42...45 | 0,0 | | |

Utilizând unul sau altul dintre procedeele descrise pentru realizarea diferitelor mișcări pentru scule, piesă și roata plană imaginară, la prelucrarea coroanelor sau pinioanelor se impune calculul roților de schimb pentru lanțurile cinematice.

Astfel, pentru capul de frezat, roțile de schimb A_C / B_C se calculează prin relația:

$$A_C / B_C = i_C n_C, \quad (4.19)$$

în care i_C este constanta cinematică, iar n_C este turația capului de frezat, în rot/min, pentru viteza economică de așchiere, care este calculată sau aleasă din normogramele mașinii-unelte.

Roțile de schimb A_S / B_S pentru avansul circular se determină prin relația:

$$A_S / B_S = i_S / t_C, \quad (4.20)$$

în care t_S este timpul ciclului de prelucrare pentru un dinte la degroșare sau finisare, iar i_S este constanta cinematică.

Roțile de schimb A_R / B_R pentru lanțul cinematic de rulare se determină prin relația:

$$A_R / B_R = i_R n_s, \quad (4.21)$$

în care: z_a reprezintă numărul de dinți ai semifabricatului peste care se face divizarea; z_{rp} - numărul de dinți ai roții plane; i_r - constanta cinematică.

Roțile de schimb A_D / B_D pentru lanțul cinematic de divizare se determină prin relația:

$$\frac{A_R}{B_R} = i_R \frac{z_n}{z_{rp}}, \quad (4.22)$$

în care: i_m reprezintă un raport de transmitere dat în cartea mașinii; z_a - numărul de dinți peste care se face divizarea; z_p - numărul de dinți ai semifabricatului; i_D - constanta cinematică.

E de menționat că în tehnologia de danturate, în principiu, după operația de prelucrare prin așchiere cu frezare de degroșare și semifinisare, roțile dințate conice sunt supuse, în continuare, unor operații de tratament termic, urmând operația de finisare prin rectificare, rulare, lepuire apoi se constată modul în care este localizată pata de contact.

4.4.4. Tehnologia danturării prin rulare a roților dințate conice cu dantură spiro-conică eloidă

Roțile dințate conice cu dantură spiroconică eloidă, având dantura executată pe mașini de danturat Spiromatic-Oerlicon, au înălțimea dintelui constantă și flancurile dinților curbi în secțiunea longitudinală după o epicycloidă alungită, procedeul având la bază metoda Mammano (Italia). Domeniul de utilizare a angrenajelor spiroconice eloide este industria constructoare de mașini și în special angrenajele punților diferențialelor de la autoturisme, camioane, tractoare.

Curba dinților în formă de epicycloidă alungită rezultă din rulara cercului de rulare 1 cu centrul O_C (fig. 4,74) al capului de frezat 2, pe cercul de bază 3 al roții plane imaginare 4. Pe capul de frezat sunt fixate cuțitele 5 care în timpul rularii descriu epicycloida alungită 6. Capul de frezat are turația proprie n_C în jurul centrului O_C .

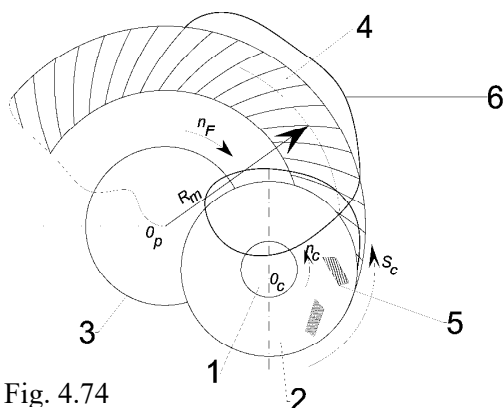


Fig. 4.74

turație ce va da viteza de așchiere. Roata plană are turația n_p , care va da avansul circular. Capul de frezat se deplasează în jurul axului roții plane imaginare O_p , cu o mișcare de rotație s_c , care este avansul de generare.

În același timp, pentru realizarea înălțimii totale a dinților, capul de frezat are un avans de pătrundere s_p . Cu același cap de frezat se prelucrează coroanele și pinioanele corespunzătoare angrenajului. Prelucrarea se face dintr-o singură prindere, separat pentru coroană și pinion, cu divizare continuă, executându-se degroșarea și finisarea succesiv. În funcție de raza cercului de rulare l , raza cercului de bază 3 și raza capului de frezat 2 , unghiul mediu de înclinare a axei dinților este de obicei cuprins între 30° și 45° . Cu cât este mai mare unghiul de înclinare al axei dinților cu atât este mai mare pata de contact, fapt ce duce la o funcționare mai silențioasă.

Angrenajele spiroconice eloide, cu axe intersectate și cu axe încrucișate (angrenaje hipoide) prezintă, în funcție de forma dintelui, metodele de danturare, metodele de calcul și în funcție de așezarea sculelor, parametri diferiți.

Elementul de bază caracteristic, forma dintelui, este caracterizat de raza medie de curbura a curbei generatoare - epicycloida alungită și de unghiul mediu de înclinare al axei dinților. Funcție de acești parametri se pun în evidență tipurile de dantură A , G și O cu caracteristicile corespunzătoare de danturare.

Dantura de tip N are raza medie de curbura a curbei spirale de divizare r_m , conform relației (4.23):

$$r_m = R_m \sin \beta_m \quad (4.23)$$

în care R_m este raza cercului de divizare a roții și β_m , este unghiul mediu de înclinare al axei dinților care la acest tip de dantură are valorile $30^\circ \dots 55^\circ$. Sub sarcină, petele de contact au tendința de a se deplasa către interior. Portscuieie folosite pentru așchiere sunt de tip EN sau FN .

Dantura de tip G are raza medie de curbura a curbei spirale de divizare r_m mai mare decât valoarea calculată prin relația (4.23). Unghiul β_m trebuie să se aleagă arbitrar între 0° și 30° . Sub sarcină, petele de contact au tendința de a se deplasa către exterior. Utilizarea danturii G este pentru angrenaje hipoide cu o dezaxare relativ mare.

Dantura tip O este un caz special al formei G la care $\beta_m = 0$ în cazul în care se întâlnește folosirea notației " H " înaintea literelor N și G , înseamnă că este vorba de un angrenaj cu roți conice spirale hipoid (axe încrucișate). Orice denumire fără H , arată un angrenaj cu axe care se intersectează. Notația „ X ” înaintea literelor N , G , sau O înseamnă că este vorba de un angrenaj cu axe care se intersectează, în cazul în care unghiul capului și unghiul piciorului nu sunt egale cu unghiurile teoretice de divizare. Prelucrarea danturilor spiroconice eloide se face pe mașini de danturat Spiromatic-Oerlikon tip S1, SKM1, SKM2, SM3, S17, fiecare dintre ele având caracteristici tehnologice specifice bazate pe același procedeu. Astfel, curbele primitive ale danturi rezultă din combinarea a două mișcări de rotație: a piesei de prelucrat și a capului portsculă, care este prevăzut cu grupe de cuțite așchietoare, prelucrând succesiv golul dintre dinți. În figura 4.75 se arată zona de prelucrare a

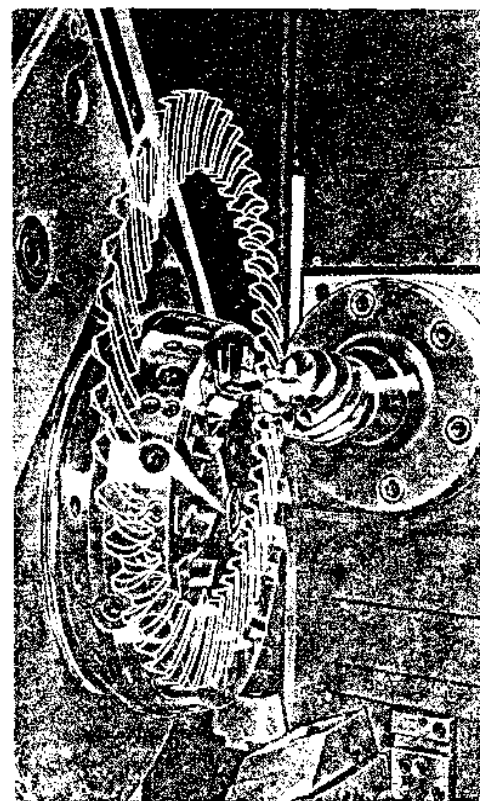


Fig. 4.75

danturii la mașini Spiromatic-Oerlikon, pentru danturarea unui pinion (în alb, figurată, roata plană imaginată).

În figura 4.76 este reprezentată schema unei mașini de danturat Spiromatic-Oerlikon, pentru dantură spiroconică eloidă cu indicarea principalelor mișcări. Mișcările B, D, A sunt mișcări principale de așchiere pentru generarea prin rulare cu divizare continuă a danturii, iar celelalte mișcări X, Y, Z, C, E, F, V sunt de poziționare pentru prelucrare.

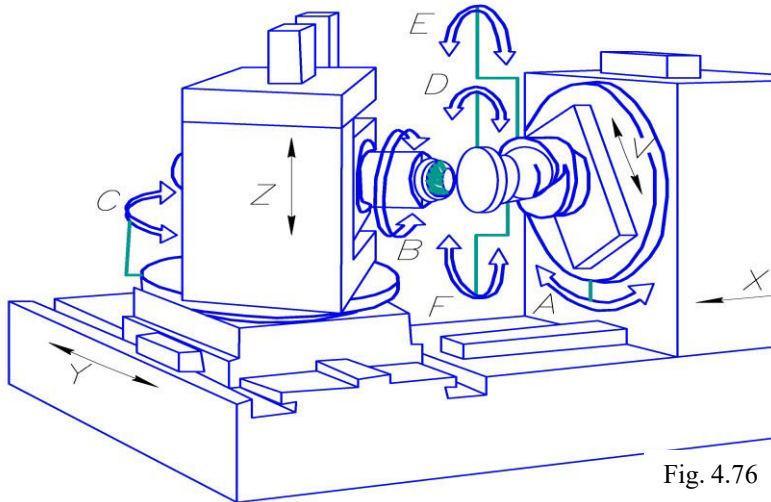


Fig. 4.76

Raportul dintre turațiile piesei și ale capului portsculă este egal cu raportul dintre numărul de grupe de cuțite așchietoare al capului portsculă și numărul de dinți de prelucrat ai piesei. Acest raport se obține printr-un procedeu de divizare continuă cu ajutorul unui lanț cinematic prevăzut cu roți de schimb. Astfel, fiecare grupă de dinți din cele 5 grupe ale unui cap portsculă tip EH conține 3 dinți caracteristici (fig. 4.77): un cuțit de degroșare „ V ” care lucrează doar prin muchia așchietoare de la vârful;

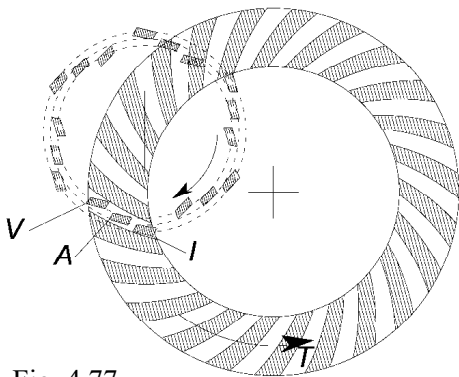


Fig. 4.77

laterală, prelucrând pe exterior flancurile concave ale danturii; un cuțit de finisare „ A ” care așchiază cu muchia laterală, prelucrând pe interior flancurile convexe ale danturii. Cele două curbe primitive ale dinților, având raze de curbura diferite, asigură bombarea danturii și o obținere a petei de contact prin intermediul cinematicii mașinii.

Ca urmare a relațiilor matematice geometrice exacte care există între diferitele raze de curbura ale cuțitelor așchietoare și repartitia unghiulară a acestora, lungimea petei de contact pe fiecare flanc al danturii se poate determina înainte, prin călcat.

Prelucrarea danturii se face în două faze succesive ale aceleiași operații, dintr-o singură prindere a coroanei sau a pinionului pe mașină (fig. 4.78). În timpul primei faze, capul de prelucrat, având mișcarea de rotație în jurul axei proprii, execută doar o mișcare axială de avans de pătrundere de degroșare a golului dintre dinți. Adâncimea golului dintre dinți, fiind atinsă pentru prima trecere, mișcarea de avans axială se oprește și tamburul de generare pe care se găsește capul de prelucrat poziționat excentric pe o sanie cu ghidaje începe să se rotească. Generarea profilului danturii se bazează pe principiul roții plane imaginare. În timpul mișcării de generare, muchiile așchietoare rectilinii ale sculelor materializează flancurile dinților roții plane, iar capul de prelucrat se mișcă în jurul axei roții plane (axa tamburului de generare a mașinii) ca și cum roata plană s-ar angrena cu piesa de danturat.

Această rulare, denumită mișcare de generare, conduce la generarea profilului evolventic pe piesă. La mașina-unealtă, mișcarea de rulare de generare a sculei se suprapune cu mișcarea de divizare continuă a piesei prin roți de schimb de generare. După atingerea adâncimii totale a golului dintre dinți are loc retragerea capului portsculă.

Această metodă permite determinarea preliminară a petei de contact, o precizie ridicată a prelucrării cu concentricitate bună a danturii. Prin această metodă, bombarea danturii se obține prin utilizarea a două capete portsculă cu raze diferite sau producerea bombării pe cale cinematică. În scopul substituirii celor două procedee de bombare se pot utiliza procedeele SPIROFLEX și SPIRAC.

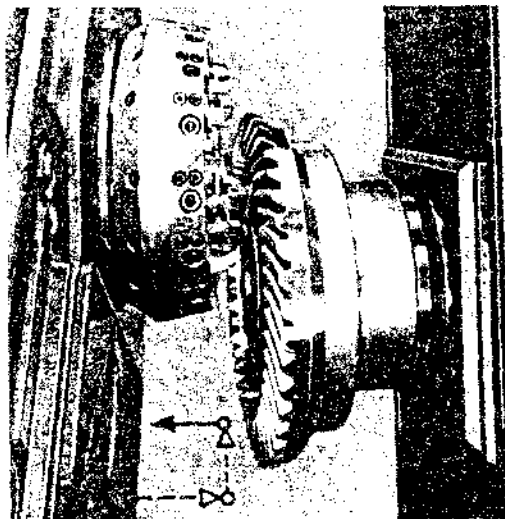


Fig. 4.78

În procedeul SPIROFLEX, bombarea dinților se obține prin înclinarea în plan vertical a capului portsculă.

Cele două extremități ale dinților sunt tăiate puțin mai adânc decât în centrul corespunzător petei de contact. Acest procedeu nu este legat de geometria danturii și nu o modifică, fiind independent de dimensiunea roților, modulul și unghiul mediu al spiralei.

În procedeul SPIRAC, coroana se danturează dintr-o singură prindere doar prin avans axial de pătrundere, obținându-se dinți cu flancuri drepte, în timp ce pinionul corespunzător angrenajului se generează pentru obținerea profilului evolventic al danturii în secțiunea transversală. La pinion, danturarea se obține cu

înclinarea capului portsculă, prin rulare, prelucrarea făcându-se dintr-o singură prindere și obținându-se dinți cu flancuri în evolventă. Timpul de prelucrare se reduce cu 40%.

Capetele portsculă sunt de mai multe feluri, în funcție de procedeul de danturare și tipul danturii.

Capetele portsculă tip EN (fig. 4.79) permit prelucrarea danturii N , cu un unghi mediu al spiralei de $0^\circ \dots 40^\circ$, pentru angrenaje cu axe intersectate, precum și hipoide, având o dezaxare de până la $1/7$ din diametrul exterior al coroanei și sunt utilizate la autocamioane. Capetele de prelucrare se pot face pentru spirală înclinată la dreapta sau la stânga cu doi factori diferiți ai bombării.

Capetele portsculă de tip EH se caracterizează printr-o distribuție regulată a sculelor, ceea ce permite o durabilitate mai mare și o creștere a capabilității de așchiere. Bombarea angrenajelor se obține prin reglaje ale mașinii. Se pot prelucra angrenaje de dimensiuni mici cu axe intersectate și unghiul spiralei de 0° sau angrenaje hipoide cu o dezaxare mai mare de



Fig. 4.79

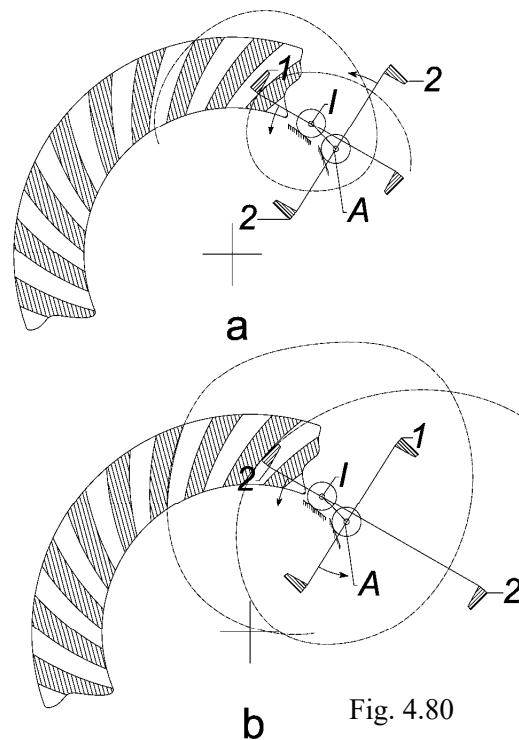


Fig. 4.80

1/7 din diametrul exterior al coroanei, fiind utilizate la autoturisme. *Capetele portsculă universale de tip UT* cu trei cuțite *UQ* cu patru Cuțite caracterizate printr-un reglaj radial ușor și orientabile permit obținerea oricărei suprafețe de contact

Capetele portsculă TC sunt prevăzute cu cuțite pentru așchiera combinată de degroșare și finisare, cu module de (2,65...7,5) mm. Grapele de cuțite sunt formate din trei cuțite: anterior de degroșare ce așchiază cu toate cele trei tăișuri, având unghiul de degajare mic; exterior ce finisează flancul concav; interior ce finisează flancul convex. Fundul golului rezultă din așchiera cu cuțit anterior, având o reglare în înălțime mai mare cu (0.05...0.2) mm decât celelalte două cuțite de finisare.

Capetele portsculă *NC*, (fig. 4.80) care au grupa de cuțite compuse numai din câte un cuțit exterior și unul interior, în timpul prelucrării, cuțitul interior prelucrează primul și, în acest caz, așchiază cu trei muchii.

Alegerea capetelor portsculă se face cu ajutorul diagramelor, caracteristice fiecărei mașini de danturat Spiromatic-Oerlikon, tip Spiromatic 1, tip Spiromatic 2, S25, S35 etc. în funcție de generatoarea medie a conului de divizare și de modulul frontal mediu.

4.4.5. Tehnologia danturării prin rulare a roților dințate conice cu dantură spiro-conică ciclopaloidă

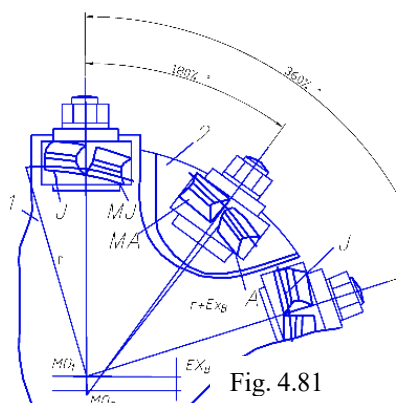


Fig. 4.81

Roțile dințate conice cu dantură spiroconică ciclopaloidă, având dantura executată pe mașini de danturat Klingelberg, au înălțimea dinților constantă, iar flancurile dinților curbi în secțiune longitudinală sunt după două epicloide alungite cu raze de curbură diferite, având unghiul mediu de înclinare al axei dinților între 0°...50°. Domeniul de utilizare este cel al transmisilor de forță de până la 6000 CP, pentru serie mică cu eficiență economică la echipamente petroliere și de foraj, industria navală, industria energetică, industria minieră. Diametrul maxim al coroanei poate avea de la 4

mm până la 2200 mm, modul normal de la 0,2 mm până la 35 mm cu un unghi între axe de 5°...90°. Angrenajele spiroconice ciclopaloidă pot avea axe intersectate și cu axe încrucișate (hipoide). Spre deosebire de dantura eloidă - Spiromatic Oerlikon, dantura ciclopaloidă Klingelberg are golul dintre dinții roții prelucrate ca rezultat al mișcărilor generate de un cap portsculă realizat prin suprapunerea a două capete portsculă, unul pentru flancul concav și altul pentru flancul convex, ale căror cuțite se întrepătrund (fig. 4.81).

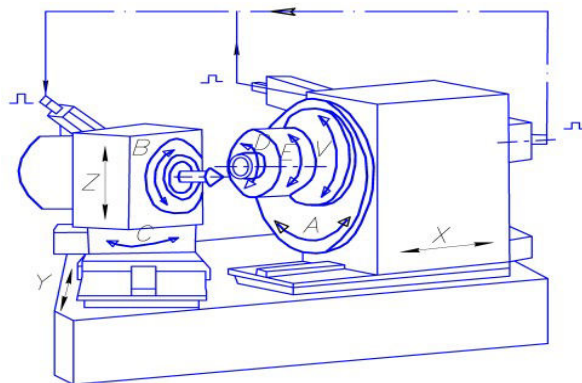


Fig. 4.82

Principiul de generare reprezentat în figura 4.81 pune în evidență capul portsculă I cu cuțitele 1 interioare care materializează în mișcare flancul concav (fig. 4.81, *a*), iar capul portsculă A cu cuțitele 2 exterioare care materializează în mișcare flancul convex al roții plane (fig. 4.81, *b*). Rularea celor două capete portsculă componente se face pe cercuri de bază de rulare cu diametre diferite, fapt ce conduce la obținerea epicicloidelor alungite diferit.

Capul portsculă real cu care se face prelucrarea este compus din două scule separate dintre care una este echipată cu cuțite interioare, iar cealaltă cu cuțite exterioare, fiind în ansamblu un cap de frezat frontal, cu un început în cazul folosirii unui singur grup de cuțite (constând din două cuțite) sau cu mai multe începuturi în cazul folosirii mai multor grupe de cuțite (fig. 4.82). Un grup de cuțite este format din câte un cuțit interior și unul exterior, dispuse succesiv, care trec printr-un gol dintre dinții roții de prelucrat. Pentru îmbunătățirea condițiilor de prelucrare, grupul de cuțite poate fi suplimentat printr-un cuțit de mijloc cu care se realizează degroșarea golului. Schema unui cap portsculă cu mai multe grupuri de cuțite, fiecare grup constând din două cuțite pentru flancul concav și flancul convex, este arătată în figura 4.82.

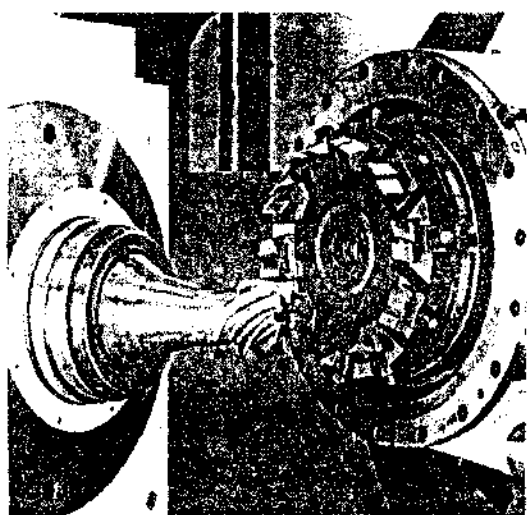


Fig. 4.83

Utilizarea a două cuțite așchietoare pentru fiecare flanc efectuează divizarea adaosului de prelucrare cu îmbunătățirea condițiilor de prelucrare. Astfel, s-au folosit notațiile: 1 - grup de cuțite interioare (*J* - cuțit interior, *MJ* - cuțit mediu interior); 2 - grup de cuțite exterioare (*A* - cuțit exterior, *MA* - cuțit mediu exterior); $M01$ - centrul axei de rotație a cuțitelor interioare; $M02$ - centrul axei de rotație a cuțitelor exterioare; $z0$ - nr. de grupe portcuțite; r - raza traiectoriei cuțitelor interioare; EXB - excentricitatea datorită distanțelor dintre centrele de rotație; $r + EXB$ - raza traiectoriei cuțitelor exterioare. Ambele linii ale flancurilor dinților au (din condiția de existență a angrenajului) în

punctul de mijloc al petei de contact aceeași normală. Prin reglarea distanței EXB , paralelă cu normala la flancurile dinților, suprafața de contact poate fi reglată după necesitate. Această posibilitate de reglaj continuu al excentricității permite obținerea optimă a bombării longitudinale a danturii și, prin urmare, mărirea petei de contact pe flancul dintelui.

Pentru prelucrarea după carburare a danturii roții dințate se utilizează două procedee: HPG - care utilizează cuțite așchietoare din carburi metalice cu fixare mecanică; HPG-S care utilizează cuțite așchietoare cu plăcuțe hnuate din nitrură cubică de bor. Calitatea suprafeței prelucrate, precizia de prelucrare și productivitatea sunt mult îmbunătățite la procedeul HPG-S, față de procedeul HPG cât și față de procedeul clasic care utilizează cuțite așchietoare monobloc din oțel rapid acoperite cu straturi dure pentru prelucrarea danturilor netratate termochimic. Prelucrarea danturii spiro-conice ciclopaloide se face cu un cap portsculă pe mașini-unelte de danturat Kiingelberg tip AMK250, AMK630, AMK850, AMK1600, KNC40, KNC60, FK41B cât și cu două capete portsculă pe mașini-unelte tip AMK400,

În figura 4.82 se prezintă schema unei mașini de danturat Kiingelberg KNC60 pentru dantură spiro-conică

ciclopaloidă cu evidențierea principalelor mișcări. Mișcările A, B, D sunt mișcări principale de așchiere pentru generarea prin rulare cu divizare continuă a danturii, iar celelalte mișcări, X, Y, Z, C, E, V , sunt de poziționare pentru prelucrare.

În figura 4.83 este dată zona de prelucrare pentru un pinion utilizând capul de prelucrat cu mai multe grupe de cuțite, fiecare grup fiind alcătuit din două cuțite, respectiv pentru flancurile concav și convex ale unui gol dintre doi dinți.

Ca urmare, se pune în evidență cinematica pentru generarea danturii spiro-conice ciclopaloidă prin rulare, cu divizare continuă, fiind alcătuită din trei mișcări de rotație continue (fig. 4.84) după cum urmează:

1 - rotația capului portcuțite în jurul axei proprii (n_1); 2 - rotația piesei de danturat (coroană sau pinion) în jurul axei proprii (n_2); 3 - rotația capului portcuțite în jurul axei platoului portsculă a mașinii pe care este montat capul portsculă (n_3). Axa platoului portsculă coincide cu axa roții plane imaginare, iar mișcarea n_3 dă avansul de rulare.

Astfel, grupul de cuțite 1 (interior și exterior) prelucrează golul dintre dinții 1, grupul 2 de cuțite golul dintre dinții 2, iar grupul 3 de cuțite golul dintre dinții 3. Primele două mișcări n_1 și n_2 sunt în funcție de raportul de transmitere determinat de numărul de dinți ai piesei de danturat z_p și numărul de grupe portcuțite (fig. 4.77, sunt date 3 grupe de portcuțite).

Avansul de rulare n_3 corespunde cinematic cu o rotație suplimentară a roții plane de generare, compensată printr-un diferențial și roți de schimb în rotația piesei.

Unghiul de înclinare a spiralei danturii ciclopaloide poate fi ales în anumite limite stabilite, determinate de dimensiunile și raportul de transmitere a angrenajului prelucrat, cât și de diametrul capului portcuțite de prelucrat. După necesitate, pot fi danturate roți cu unghiul de înclinare al danturii de la 0° (roți beta-zero) până la valorile maxime, utilizate.

În cazul producției de serie a angrenajelor spiroconice ciclopaloide cu axe încrucișate (hipoide) se utilizează prelucrarea pe mașini tip AMK400 Klingelberg prin procedeul de generare a formei denumit Cyclomet. În acest caz, dantura coroanei conice este prelucrată doar prin prelucrare cu avans de pătrundere, iar pinionul prin generare, fapt care permite economisirea de timp considerabili în comparație cu prelucrarea prin generare. Astfel, la danturarea coroanelor, folosind procedeul Cyclomet, timpul de prelucrare reprezintă 30..40% din timpul de prelucrare prin metoda clasică de avans de pătrundere urmat de generare. Acest procedeu poate fi utilizat doar pentru angrenaje la care coroana este în mod evident plană, având un raport al diametrelor de la 1 la 3 sau de maxim 1 la 2,5. Pentru prelucrarea pinioanelor prin generare, la procedeul Cyclomet, trebuie înclinată axa capului portsculă până la un unghi de aproximativ 40° în raport cu axa tamburului de generare. Astfel, pentru prelucrarea pinioanelor prin rotirea capului portsculă cu unghiul primitiv de referință al coroanei se materializează cu muchiile așchietoare ale cuțitelor, o roată generatoare corespunzătoare coroanei, în jurul axei căreia se face mișcarea de generare.

Operația de prelucrare a danturii se poate face prin mai multe tipuri de succesiuni de faze denumite cicluri de prelucrare, cu selectare automată, în afară de fazele de alimentare cu piese, adică prinderea și desprinderea pieselor. Alegerea ciclului de prelucrare optim se face în funcție de dimensiunile și numărul de piese de danturat. Astfel, se pun în evidență următoarele cicluri de prelucrare:

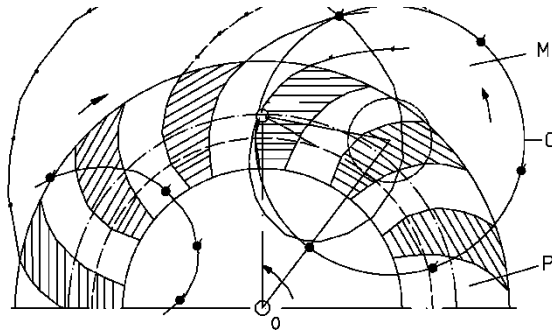


Fig. 4.84

1. *Prelucrare prin impulsuri individuale.* La acest tip de ciclu de prelucrare, prin programul de reglaj, diversele funcții pentru reglajul mașinii-unelte sunt acționate individual, iar deplasarea corpului portplatou pe sănii și a platoului portsculă se face prin impulsuri de comandă.

2. *Prelucrarea doar cu avans axial de pătrundere.* La acest tip de ciclu de prelucrare, capul portsculă cu cuțitele așchietoare sub formă de barete monobloc nu execută nici o mișcare de rotație orbitală suplimentară. Capul portsculă execută doar mișcarea de rotație în jurul axei proprii, corespunzătoare vitezei de așchiere, cu o variație continuă. Avansul de pătrundere are o variație continuă în funcție de adâncimea de pătrundere. Pentru aceasta, tamburul de generare este blocat hidraulic pe corpul portplatou al mașinii. Acest ciclu se utilizează pentru prelucrarea coroanelor, prin procedeul Cyclomet și pentru fabricarea economică a danturilor frontale.

3. *Prelucrarea doar cu avans de generare.* Acest tip de ciclu de prelucrare corespunde frezării utilizate pe mașinile mai vechi de prelucrat roți conice. Are aplicare doar pentru prelucrarea de finisare a coroanelor deja degroșate, în afară de cazul noului sistem cu două capete portsculă. Acest ciclu constituie o formă particulară a avansului axial de pătrundere simplu urmată de generarea cu o cursă de avans zero. Viteza de avans de generare este variabilă în mod continuu ca și viteza de așchiere. Pentru mișcarea de generare, există un dispozitiv de programare de modificare a avansului de generare în funcție de cursa de generare, permițând un câștig de timp considerabil în comparație cu avansul de generare constant.

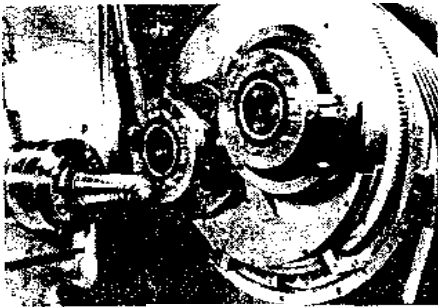


Fig. 4.85

Astfel, se poate permite reducerea treptată a avansului de generare, începând de la o valoare inițial ridicată, pentru a atinge apoi o valoare constantă pe un parcurs determinat, urmând creșterea din nou în mod progresiv.

4. *Prelucrarea cu avans de pătrundere urmat de un avans de generare.* Acesta este un ciclu de prelucrare des utilizat. Capul portsculă este la început adus până la adâncimea totală de așchiere prin avans de pătrundere înainte de generarea prin rotație a platoului.

5. *Prelucrarea cu două avansuri de pătrundere urmate de avansuri de generare.* Acest procedeu este utilizat în cazul pinioanelor pentru coroane foarte plane. Are drept scop obținerea de timpi de prelucrare foarte mici. Astfel, avansul de pătrundere se face în două etape succesive de generare, în loc de a efectua un avans de pătrundere unic înainte de finisarea danturii prin generare.

6. *Prelucrarea cu avans de pătrundere simultan cu avans de generare de degroșare în sens opus, urmat de un avans de generare de finisare în sens direct.* Acest procedeu conduce la un timp de prelucrare mai scurt decât la variantele 4 și 5.

La o poziție a avansului de generare determinat se face un avans de pătrundere simultan, începând de la o adâncime a prelucrării determinate. Continuându-se avansul de pătrundere simultan până la atingerea adâncimii maxime a golului dintre dinți, generarea va avea loc prin frezare clasică. Prelucrarea continuă până la atingerea poziției inițiale a generării, de la care dantura va fi finisată prin generare (frezare) într-o singură trecere.

6. *Prelucrarea automată cu ciclu dublu având prima fază ca la punctele 2 și 5 și a doua fază după schimbarea automată a capului portsculă aplicabil doar la mașinile echipate cu mecanism cu două capete portsculă.* Acest procedeu aplicabil la producția de serie, utilizează schimbarea automată a celor două capete portsculă. În funcție de procedeu de prelucrare se poate alege pentru prima fază unul din ciclurile 5 sau 2, după care, folosind o reglare generală, are loc doar un avans de generare în faza a doua. Între prima și a doua fază, capul portsculă dublu este automat rotit în așa fel, încât al doilea cap portsculă vine în poziția de lucru în locul celui utilizat pentru prima fază. Schimbarea capetelor se face prin rotația posturilor lor de montaj în jurul unei axe

paralele cu axele lor de rotație. Pentru obținerea unei bombări longitudinale corespunzătoare a flancurilor convexe și concave ale danturii, cuțitele așchietoare sunt situate pe raze de traiectorie diferite. Se asigură totodată calitatea foarte bună a petei de contact. Golurile dintre dinți sunt degroșate prin avans de pătrundere cu primul cap portsculă în poziție de lucru (fig. 4.86). Profilul flancului convex este obținut prin generare, utilizând ciclul 4. În acest timp, al doilea cap portsculă se rotește cu aceeași viteză unghiulară, în poziție de așteptare

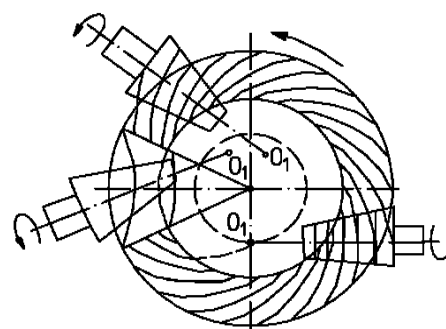


Fig. 4.86.

fără a atinge piesa. După generarea flancurilor convexe terminate are loc retragerea rapidă a capului 1. Capul al doilea vine în poziție de lucru, iar capul 1 în poziție de așteptare. Flancurile concave se profilează doar prin mișcări de generare ale capului portsculă 2. Astfel, capul 2 are grupe de cuțite făcute dintr-un singur cuțit așchietor, mai puțin încărcate de forțe de așchiere în raport cu cele ale capului 1, care efectuează și un avans de pătrundere. Ca urmare, prelucrarea se face cu capul al doilea cu o viteză mai mare de așchiere. În cazul danturilor prelucrate fără bombare longitudinală, pentru ridicarea calității suprafețelor prelucrate, îmbunătățirea preciziei de prelucrare și creșterea durabilității sculelor așchietoare se pot folosi două tipuri de capete portsculă în cele două posturi de pe platoul mașinii. Astfel, un cap portsculă este de degroșare, iar altul de finisare, prelucrarea făcându-se dintr-o singură prindere a piesei. Degroșarea danturii este obținută printr-un avans de pătrundere urmat de un avans de generare al primului cap. Al doilea cap efectuează finisarea, înlăturând doar adaosul de finisare de pe flancurile danturii.

Având în vedere avantajele tehnico-economice deosebite, acest procedeu cu două capete portsculă tinde să aibă o aplicație tot mai largă.

Principalul avantaj al roților dințate spiroconice ciclopaloide este cel al determinării cu precizie ridicată, prin calcule prealabile prelucrării, a poziției și mărimii petei de contact în funcție de ciclul de danturare ales.

4.4.6. Tehnologia danturării prin rulare a roților dințate conice cu dantură spiro-conică paloidă

Roțile dințate conice cu dantură spiroconică paloidă sunt caracterizate prin însăși denumirea lor care derivă din termenul grecesc „pallein” ce înseamnă oscilație. Aceasta definește proprietatea lor cea mai importantă, și

anume, că funcționarea bună nu este afectată de deplasările datorate erorilor de montaj și nici de deplasările funcționale datorate solicitărilor variabile funcționale, angrenajul permițând mici deplasări față de poziția teoretică de montaj. Alte caracteristici favorabile angrenajelor paloide sunt: zgomotul mic și lipsa vibrațiilor la funcționare; capacitatea ridicată de transmitere a forțelor și momentelor funcționale; fiabilitate foarte bună a angrenajului; creșterea petei de contact în funcție de creșterea încărcării cu deplasarea ei către zona având unghiuri mai mici ale spiralei, fapt care face ca solicitarea flancurilor și componenta axială a forțelor rezultante să nu crească.

Domeniul de utilizare a angrenajelor paloide este cel al angrenajelor de putere și în special de la punțile motoare posteriore ale autovehiculelor.

Dantura spiroconică paloidă, din punct de vedere geometric, este caracterizată prin directoarea dinților care este o evolventă obținută prin rularea unei cremaliere de referință de lățime infinit mică, pe cercul de bază ce aparține piesei. Înălțimea dinților este constantă pe toată lățimea, având bombare longitudinală. Diametrul roților danturate este între 4 mm și 2000 mm, normale sau hipoide.

Prelucrarea se face pentru roțile angrenajelor normale cu axe intersectate și pentru roțile angrenajelor hipoide dezaxate pe mașini specializate Klingelnberg tip AFK151 AVAU, AFK153, AFK201 AVAU, AFK203, FK41B. Așchierea danturii are loc prin frezare de generare continuă, fără operația de divizare, cu freză-melc modul conică detalonată cu muchii așchietoare multiple, după principiul frezării tangențiale cu ciclul de lucru automat.

Materializarea cremalierei se face cu freza-melc modul conică cu flancuri rectilinii, având un unghi de profil egal cu unghiul de angrenare α_0 . Freza trebuie să ocupe poziția *A*, pentru ca dinții acesteia să genereze flancurile evolventice (fig. 4.86). Deoarece unghiul de înclinare al elicei conice variază cu creșterea diametrului conului (pasul rămânând constant), dinții roții ce se prelucrează ar rezulta teșțiți. Pentru micșorarea acestui efect, fără a-l elimina complet, freza-melc va ocupa poziția *B*. Axa frezei ocupă o asemenea poziție încât tangenta la elicea conică în zona diametrului mic al frezei să fie tangentă la evolventa dintelui din zona interioară a roții plane.

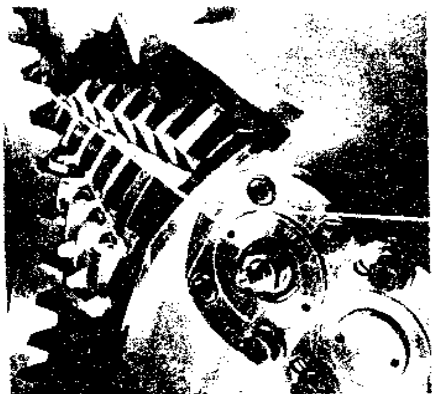


Fig. 4.88

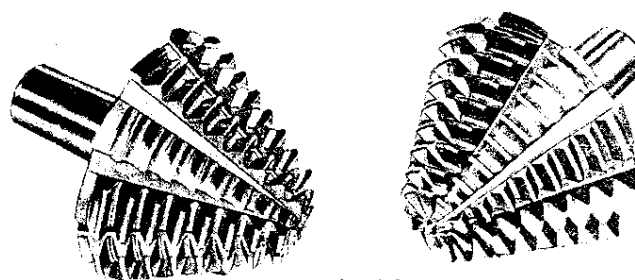


Fig. 4.87

Deoarece generatoarea frezei conținută în roata plană nu coincide cu generatoarea roții de prelucrat, ci o intersectează, rezultă că pentru ca punctul de intersecție să parcurgă toată lungimea generatoarei piesei trebuie ca scula să execute o mișcare de basculare în jurul centrului roții plane până în poziția *C* care corespunde poziției finale. În fig. 4.87 sunt prezentate freze melc modul conice pentru dantură paloidă/paloidă care datorită formei rectilinii a muchiiilor așchietoare și a unui unghi de așchiere progresiv la vârful de 0° și la bază de 10° permit așchierea corespunzătoare (fig. 4.88).

Prelucrarea danturii paloide este caracterizată de trei mișcări de rotație de aceeași formă, având legătură cinematică între ele:

- a) rotația frezei în jurul axei proprii pentru realizarea vitezei de așchiere;
- b) rotația piesei conice de danturat în jurul axei proprii pentru realizarea prelucrării prin rulare a tuturor dinților;
- c) rotația platoului portsculă în jurul axei platoului care corespunde cu axa roții plane imaginare, mișcare ce corespunde avansului circular, axa frezei fiind tot timpul tangentă la cercul de bază. Ca urmare, pentru danturarea coloanei paloide, la început freza se găsește într-o poziție inferioară (fig.4.89) pentru ca apoi să ajungă în poziția finală superioară (fig. 4.90). Pentru danturarea pinionului, freza se găsește într-o poziție inițială superioară (fig. 4.91), pentru ca apoi la sfârșitul prelucrării să se găsească în poziția finală inferioară (fig. 4.92).

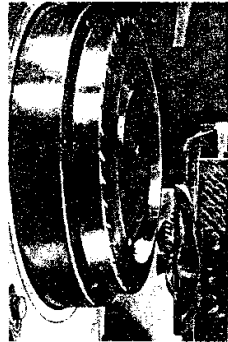


Fig. 4.89

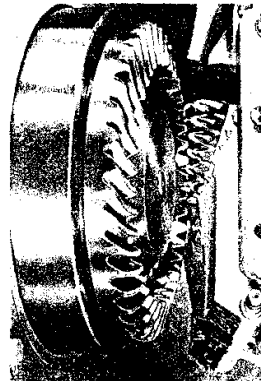


Fig. 4.90

Matematic, procedeul are la bază o spirală arhimedică transpusă pe un con și oglindindu-se pe un plan în jurul centrului roții imaginare generează o evolventă sau, în jurul frezei conice, mai multe evolvente care de fapt sunt tocmai golul dintre dinți.

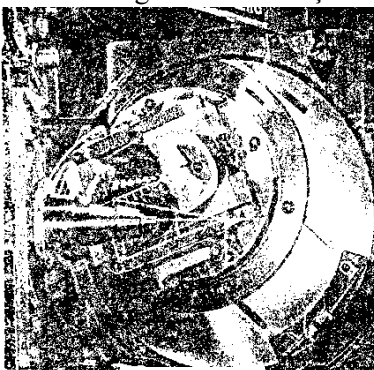


Fig. 4.91

Aceasta se referă numai la conul de divizare al roții de prelucrat și a roții plane imaginare, deoarece unghiul conului de divizare a frezei-melc conice se modifică, fapt ce face să varieze și direcția spiralei și a subnormalei polare.

Din considerentele necesare generării, la danturarea roților conice paloide se impune ca freza-melc conică, care are o construcție specială, să aibă un flanc al dinților convex, pentru prelucrarea dinților pe flancul concav, iar celalalt flanc al dinților așchietori ai frezei trebuie să aibă flancul concav, pentru prelucrarea flancului convex al danturii roții.

De aici rezultă că și profilul de elice este asimetric, condiție care trebuie îndeplinită la danturare. Ca urmare, frezele-melc conice nu au, în secțiune axială, un profil la fel ca al cremalierii care generează profilul dinților, ci mai mult seamănă cu un șurub melc evolventic, cu unul sau mai mulți dinți care reproduce angrenarea cu semifabricatul roții de realizat.

Diametrul arcului de bază D_f (rulare) se calculează din condiția de egalitate între viteza periferică v_p (fig. 4.92) și tangențială v_t a punctelor de pe începuturile muchiilor așchietoare, care se calculează prin relațiile:

$$v_p = 2\pi n_p R_{ob} \text{ [m/min]} \quad (4.23)$$

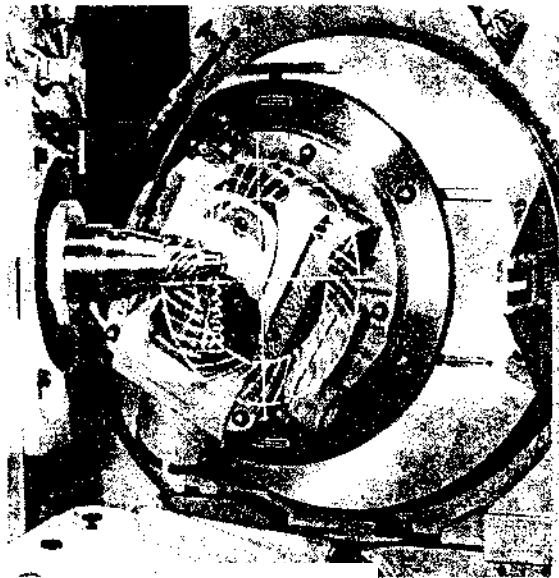


Fig.4.92

$$v_t = n_f h = 2\pi m_n n_f z_f \left[\frac{m}{min} \right] \quad (4.24)$$

Se impune condiția:

$$v_p = v_r \quad (4.25)$$

de unde rezultă:

$$R_{ob} = z_f m_n n_f z_f / z_0 m_n \left[mm \right] \quad (4.26)$$

În aceste relații, semnificația termenilor este următoarea: n_p este turația roții plane imaginare, în rot/min; n_f - turația frezei-melc modul conică, în rot/min; h - pasul spiralelor, în mm; z_f - numărul de începuturi ale frezei.

Valoarea subnormalei polare se calculează prin relația:

$$a = m_n z_f \left[mm \right] \quad (4.27)$$

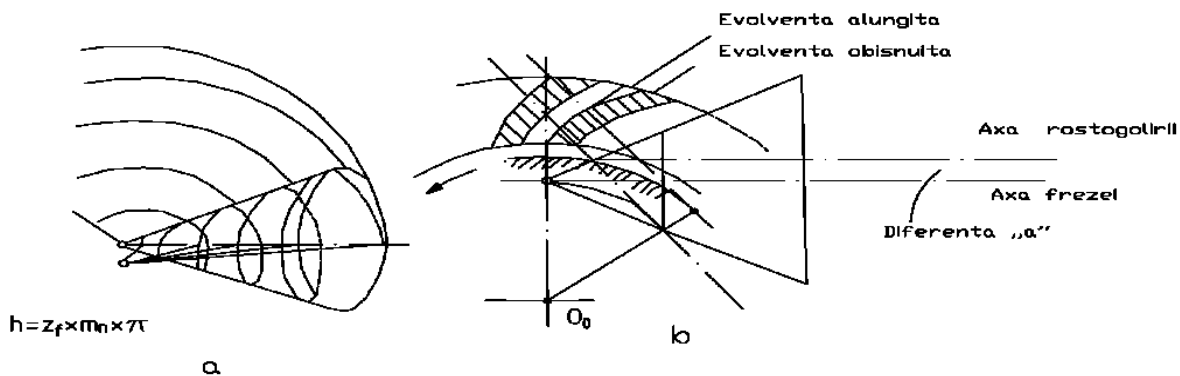


Fig.4.92

Pentru determinarea unghiului de înclinare a dinților β_m , se ține cont de unghiul conului frezei 2ϕ și de variația lui în jurul flancului. Semifabricatele trebuie să aibă întotdeauna diametrul interior, pe care se termină dinții, mai mare decât diametrul conului de rulare, pentru a se evita tăierea din dinte la sfârșit, acolo unde curba evolventei este mai mică. Diferența între diametrele celor două cercuri corectează aceasta, dar nu trebuie luate diferențe mari, căci aceasta duce și la mărirea marginilor spirale.

De subliniat că datorită abaterilor profilului dinților sculei se ajunge la abateri de la unghiul pasului (cu excepția planului de divizare), fapt ce face ca dintele să fie mai mult așchiat la picior și cap, ceea ce îmbunătățește condițiile de angrenare.

În timpul prelucrării, coroana dințată C , care trebuie să fie danturată (fig. 4.93, b), este în angrenare cu roata plană imagină P . Pentru generarea danturii se dă un avans circular continuu frezei F din poziția 1 până în poziția 3 , freza având turația cu care trebuie să așchieze la o anumită valoare. Se observă că, în timpul acestui avans circular, axul frezei melc rămâne tot timpul tangent la cercul de bază R_0 , pornind din punctul de tangență V până ce acesta ajunge în punctul U . Diametrul interior este mai mare decât al conului de bază, respectiv $R_I > R_0$.

Pentru realizarea rulării complete este necesar ca în planul tangențial comun roții și frezei unde este roata

plană imaginară (fig. 4.93, a), să se asigure frezei conice o mișcare de rotație suplimentară în jurul punctului N (fig. 4.93, a). Aceasta corespunde de fapt cu frezarea cu freză-melc modul a roților cilindrice cu avans tangențial.

Din condițiile cinematice se calculează roțile de schimb pentru fiecare lanț cinematic, care să permită realizarea celor trei mișcări în procesul de danturare. Ca urmare, din turația semifabricatului și a frezei-melc modul conică, care de fapt reproduce angrenarea cu roata plană imaginară generatoare și care în acest punct de control au aceeași viteză periferică, rezultă relația:

$$n_f z_f = n_r z_r \text{ sau } i = n_f / n_r = z_f / z_r \quad (4.28)$$

în care: n_f - turația frezei corespunzătoare vitezei de așchiere; n_r - turația roții care va da un avans circular; z_f - numărul de dinți ai frezei (număr de începuturi); z_r - numărul de dinți care trebuie să-i aibă roata.

Dar atât pentru așchieria dinților pe toata lungimea lor, cât și pentru realizarea corectă a formei dinților, se dă un avans suplimentar frezei, cu o anumită viteză unghiulară ω_j . Pornind de la condiția că în fiecare punct al roții și frezei vitezele unghiulare trebuie să fie aceleași, inclusiv pentru avansul suplimentar, care are viteza unghiulară ω_s , piesei trebuie să i se comunice o mișcare de rotație suplimentară pentru ca să poată fi frezată întreaga dantură. De aici rezultă relația:

$$v_f = v_c = R_j \omega_f = R_0 \omega_s = R_p \sin \delta_0 \omega_s \quad (4.28)$$

de unde

$$\omega_s = \omega_f / \sin \delta_0 \text{ și } n_s = n_0 / \sin \delta_0 \quad (4.29)$$

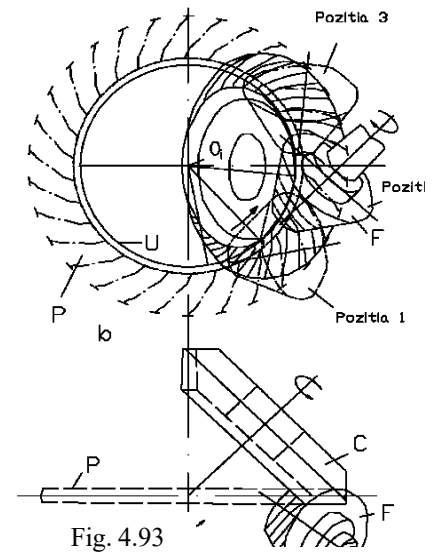
în care: n_s este numărul de rotații suplimentare ale piesei, R_j - raza frezei într-un punct dat; R_0 - raza piesei într-un punct dat, la rotirea suplimentară; δ_0 - unghiul de înclinare al frezei față de semifabricatul roții.

Dacă elicea frezei-melc conică este pe dreapta sau pe stânga, trebuie să se țină seama de rotația suplimentară a semifabricatului. Astfel, dacă dinții care sunt așchiați sunt cu înclinare pe stânga, semifabricatul trebuie să se rotească cu:

$$1 - n_0 / \sin \delta_0 [\text{rot}], \quad (4.30)$$

iar dacă sunt înclinați spre dreapta, mișcarea suplimentară are valoarea:

$$1 + n_0 / \sin \delta_0 [\text{rot}] \quad (4.31)$$



Această mișcare, în plus sau în minus, la rotirea semifabricatului se obține printr-un mecanism diferențial și constituie, de fapt, cea de-a patra mișcare cinematică la danturare, având un lanț cinematic corespunzător.

Bombarea pe lungimea flancului urmărește îmbunătățirea condițiilor de angrenare și în special localizarea petei de contact. În acest scop, când este reglată freza-melc modul conică la mașina-unealtă de danturat, se urmărește ca generatoarea conului de divizare să nu fie exact în planul de divizare al roții plane imaginare, ci să fie înclinat față de aceasta la un unghi mic Θ (fig. 4.94); în acest caz, dinții frezei conice vor fi în planul $I-I$, respectiv $II-II$ și vor așchia mai mult la capetele dinților decât la mijlocul lungimii acestora, realizând astfel o bombare a lor. Ca urmare, în acest fel poate fi modificată și lungimea petei de contact prin schimbarea valorii unghiului de înclinare Θ , în limita a câtorva grade. Aceasta impune ca reglarea să se facă cu precizie, deoarece determină poziția petei de contact, precum și localizarea ei pe lungimea flancului.

Frezele-melc modul conice se aleg după lungimea danturii de așchiat (scurtă, mijlocie și mare) (A , B , C) și ele sunt în general mai lungi decât dantura de prelucrat.

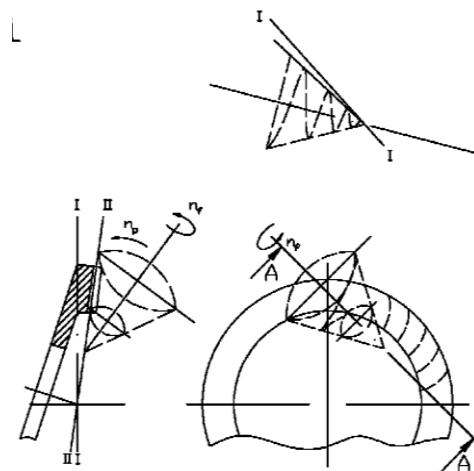


Fig. 4.94

Frezele-melc modul conice se aleg și în funcție de raportul grosimii dinților de la pinioane și coroana dințată, fiind clasificate în patru grupe. În prima grupă atât grosimea dinților pinionului, cât și al coroanei au aceeași mărime, iar pentru celelalte trei grupe, pinionul având dinții mai groși. Pot fi construite freze-melc modul conice speciale pentru bombarea dinților, dar care nu sunt justificate economic față de procedeul descris mai înainte.

Roțile dințate paloide pot fi prelucrate dintr-o singură operație în care se face degroșarea și finisarea dinților. Aceasta ca urmare a faptului că freza conică începe așchieră cu dinții de diametru mare ai sculei, efectuând de fapt degroșarea, apoi, după ce s-a realizat un anumit unghi de rulare, încep să așchieze dinții dinspre capătul mic al frezei, care efectuează, numai finisarea dinților. Roata se realizează în acest mod în cazul unei producții de serie mică.

Pentru roțile dințate de dimensiuni mai mari și în producția de serie mare este indicat ca degroșarea, apoi finisarea să se facă separat. Aceasta datorită faptului că trebuie să se țină cont de uzura frezelor-melc conice. De asemenea, este indicat ca această operație să se facă pe mașini separate, fapt ce permite să se prelucreze cu viteze de așchiere ridicate și să se obțină în special o precizie de rugozitate bună a flancurilor dinților.

În general, este recomandat ca pinioanele să fie prelucrate dintr-o singură operație în care să se facă degroșarea și finisarea. Aceasta datorită faptului că ele au un număr redus de dinți, fapt ce face ca sculele să fie

mai mici, iar precizia de prelucrare este bună.

În cazul unor producții de serie mare, ca de exemplu, în industria de automobile, tractoare, camioane etc. este economic și tehnic ca pinioanele să fie prelucrate pe o mașină la care freza-melc conică are sens de elice, iar coroanele dințate trebuie să fie prelucrate pe alte mașini la care freza-melc are elicea în sens invers celor cu care se danturează pinioanele. Vitezele de așchiere depind direct de diametrul minim și maxim al frezei-melc modul conice. Se ajunge în general la o viteză medie de așchiere de circa 12... 16 m/min, iar rugozitatea pe flancuri $R_a = 3.2 \mu\text{m}$. Rugozitatea flancurilor depinde de numărul tăieturilor înfășurătoare realizate de fiecare dinte al frezei atât pe înălțimea danturii roții, cât și de avansul de rulare al sculei. Regimurile de așchiere sunt indicate în cartea mașinii, de unde în funcție de natura materialului, modulul roții, sculă etc. se alege viteza de așchiere. Aceasta variază și în funcție de numărul de dinți.

4.4.7. Tehnologia danturării prin rulare a roților dințate conice cu dantură spiroidă

Roțile dințate conice cu dantură spiroidă, având dantura executată pe mașini de danturat FIAT DIS 400 prin procedeul denumit Fiat-Mammano au la bază, un brevet italian din 1936 mai puțin folosit astăzi. Acest procedeu a stat la baza realizării altor metode de prelucrare prin generare. Procedeul Fiat-Mammano are avantajul de a elimina modulul discontinuu de prelucrare prin divizarea dinte cu dinte, evitând erorile ce apar la divizare printr-o prelucrare de generare continuă.

Directoarea flancului dintelui pe roata plană imaginată este o epicicloidă alungită, iar pe roata-piesă conică o cicloidă conică numită spiroidă, dinții având înălțime constantă cu profil evolventic și formă simetrică.

Generarea directoarei se face asemănător ca la dantura eloidă cu deosebirea că cercul de rulare de rază r este foarte mic în comparație cu cel de rază r_b , iar grupurile de cuțite ale sculei au un singur cuțit așchietor (fig. 4.11).

Scula așchietoare are o mișcare de rotație $n_{a\mathcal{S}}$ corespunzătoare vitezei principale de așchiere, concomitent cu o rulare fără alunecare a cercului de rulare r_r solidar cu aceasta peste cercul de bază r_b solidar cu piesa. Având în vedere viteza de rotație mică a piesei în raport cu scula și datorită diferenței mari de raze dintre cercurile de rulare, curbura reală descrisă de muchiile așchietoare ale cuțitelor este foarte mică. Ca urmare, arcul de epicicloidă descris este foarte apropiat de un arc de cerc de rază egală cu raza sculei r_s . Rotația continuă a sculei și a piesei permite tăierea consecutivă a golurilor dintre dinți la roata conică de prelucrat fără ca să fie necesară frezarea unui gol dintre dinți urmată apoi de fiecare dată de o divizare unghiulară. Unghiul de înclinare β_m al axei dinților la acest tip de dantură variază între limitele $0...40^\circ$. Între înclinarea dinților β_m și excentricitate (ca distanță dintre cele două centre succesive de rotație a doi dinți succesivi ai capului de frezat) există relația;

$$e = \sqrt{R_{0m}^2 + r_s^2 - 2R_{0m} \cdot \sin \beta_m}, \quad (4.32)$$

în care r_s este raza vârfurilor așchietoare ale sculei, iar R_{0m} raza medie a roții plane imaginare.

Prelucrarea danturii se face cu un cap de frezat frontal de tipul unei scule frontale cu un început pe care sunt montate 18 cuțite după o spirală. Diametrul capului portcuțite este de 120, 180, 260 mm, iar cuțitele sunt reglate prin intermediul unor pene și plăci paralele. La fiecare rotație a capului (portsculă) cuțitele așchietoare parcurg un gol dintre dinții piesei de prelucrat, materializând un dinte al roții plane imaginare (fig. 4.95).

Toate cuțitele așchietoare parcurg mai întâi un gol dintre dinți, intrând apoi în golul următor. Cuțitele

așchiitoare au destinații bine precizate: degroșare, finisare și bombare-corecție pentru fiecare flanc în parte.

Așchiile rezultate la prelucrarea cu cuțitele de finisare și cele de corecție au secțiuni foarte reduse față de așchiile rezultate la prelucrarea cu cuțitele de degroșare. Astfel, cuțitele 1, 2, 3 sunt cuțite de degroșare

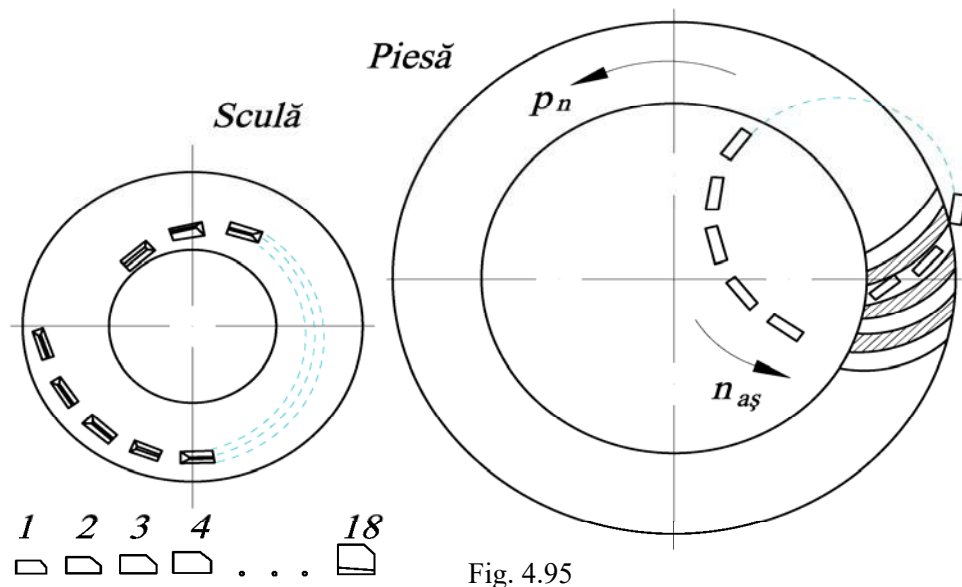


Fig. 4.95

pentru flancul convex al dintelui, cu profile de diferite grosimi și înălțimi, fiecare cuțit preluând aproximativ aceleași forțe de așchiere. După cuțitele de degroșare urmează cuțitele suplimentare 4, 5, 6 care prelucurează în continuare flancul convex al dintelui în așa fel, încât cuțitele de corecție pentru finisare și bombare au drept scop îmbunătățirea calității și preciziei suprafeței flancului. Cuțitele 7 și 9 sunt cuțite de corecție, determinând bombarea longitudinală a flancului convex, iar cuțitul 8 este cuțitul de finisare a flancului convex. Ultimele trei cuțite determină forma flancului și linia longitudinală a flancului convex.

Aceasta se face prin reglarea lor pe capul de frezat în așa fel, încât să permită acestora descrierea anumitor traiectorii care se intersectează pentru realizarea corecțiilor, respectiv a bombării flancului.

Flancul concav al dintelui se realizează în aceleași condiții după cum urmează: cuțitele 10, 11, 12 fac prelucrarea de degroșare; cuțitele 13, 14, 15 sunt cuțite suplimentare-ajutătoare care fac prelucrarea de prefinisare; cuțitele 16 și 18 sunt cuțite de corecție și bombare; cuțitul 17 este de finisare.

Prin folosirea unui singur cuțit de finisare pe flanc, se evită formarea de trepte pe profilul dintelui cauzate de erorile de reglaj. Cele două cuțite de finisare 8 și 17 sunt plasate la 180° unul față de celălalt. La corecția prin deplasarea tangențială, deplasarea unghiulară necesară se compensează prin raze diferite ale cuțitelor. Eroarea de reglaj se reflectă numai printr-o grosime mai mare sau mai mică a golului dintre dinți. Pentru pinion și coroană sunt necesare două capete portcuțite, unul cu spirala pe dreapta și altul cu spirala pe stânga. Reglarea cuțitelor se face foarte precis cu un dispozitiv special.

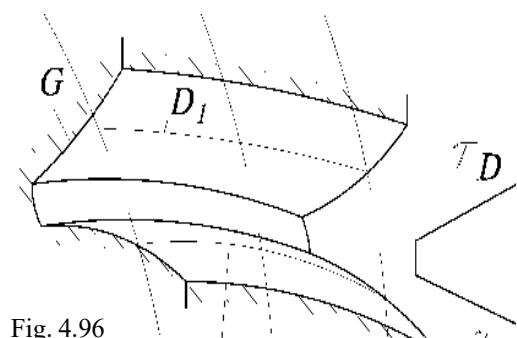


Fig. 4.96

Scula și roata de prelucrat se rotesc în timpul procesului de așchiere cu o viteză periferică uniformă în jurul axelor proprii. Utilizând sincronizarea rotațiilor capului portcuțite și ale roții de prelucrat, se realizează generarea continuă prin deplasarea roții cu un pas la fiecare rotație a sculei. În timpul prelucrării, însă, viteza periferică a roții de prelucrat se modifică puțin, printr-un mecanism diferențial, în scopul obținerii mișcării pentru generarea profilului în evolventă. În acest scop, roții plane imaginare i se comunică o mișcare de rotație, iar viteza periferică a roții de prelucrat trebuie să fie adaptată în raport cu viteza periferică a roții plane în așa fel, încât cele două elemente să se rotească fără alunecare. Pentru a realiza mișcarea de rotație a roții plane în jurul axei mașinii, este necesar ca arborele portsculă să capete o mișcare planetară prin rotirea unui tambur.

Vitezele de așchiere se determină din tabelele care sunt în cartea mașinii, având valori între 25...35 m/min în funcție de materialul de prelucrat.

4.4.8. Tehnologia danturării prin rulare a roților dințate conice cu dantură arhicon

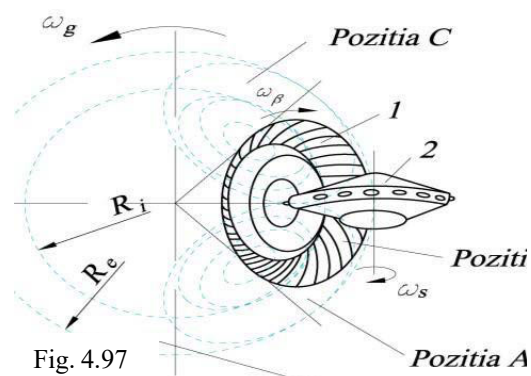
Danturarea roților dințate conice cu dantură curbă arhicon se realizează prin metoda rulării pe mașina de frezat roți dințate cilindrice prin rulare, dinții prelucrați angrenând cu dinții așchietori ai sculei-disc. Forma directoarei teoretice pe roata plană imaginară este o spirală arhimedică.

Prelucrarea se realizează printr-o strunjire-frezare asemănătoare procedurii de prelucrare a melcilor pe mașina de danturat roți dințate cilindrice cu cuțitul-roată. Astfel, are loc înlocuirea roții plane ideale cu o sculă-disc cu cuțite așchietoare așezate pe partea cilindrică și poziționarea ei încât cercul de divizare să se afle în planul axial al conului piesei și tangent la conul de divizare a roții-piesă. Matematic, procedeul se bazează pe considerentul că o spirală conică se poate genera coordonând o mișcare de rotație a conului având viteza unghilară constantă cu o mișcare de translație continuă de-a lungul generatoarei conului. În acest fel, dinții sculei-disc pot profila câte un gol între două spirale echidistante în care se poate angrena dintele roții conjugate. Prin rularea conului de divizare a piesei cu un plan în jurul centrului roții plane ideale, spirala arhimedică de pe mantaua conică se transpune pe roata plană. Curbele directoare D_1 și D_2 pe roata plană imaginară se generează cu raze diferite de curbura pentru ca flancurile conjugate să fie suprafețe concav-convexe cu contact, localizat (teoretic punctiform, fig. 4.96).

Generarea profilului dintelui G are la bază rularea con cu con, conul de divizare al piesei C_1 și conul de divizare al roții C_2 , cu care formează angrenajul real, prin așa-numita „methode des envelopes”.

Flancurile dinților piesei sunt prelucrate cu muchii așchietoare ale sculei care materializează cinematic un dinte al roții conjugate. Mișcarea de rulare-divizare este continuă ca și mișcarea de rulare con pe con, care din punct de vedere tehnologic corespunde unei mișcări de avans circular. Pe lângă cele două mișcări de rotație uniforme ale sculei și ale piesei, necesare pentru realizarea directoarei și divizare, există și o mișcare de basculare a platoului ω_g (fig. 4.97).

Astfel, roata conică de prelucrat I se rotește în jurul axei platoului din poziția A în poziția C , rămânând permanent în angrenare cu roata plană imaginară. Avansul de generare se efectuează continuu, începând din poziția A , când scula pătrunde în piesă, corespunzător unui avans circular și părăsind-o în poziția C . Din poziția A



până în poziția B , când se atinge adâncimea maximă a golului, se prelucurează un flanc al dintelui, după care din poziția B până în poziția C se prelucurează celălalt flanc. Compensarea rotației suplimentare a piesei pentru avansul de generare se face printr-un mecanism de tip diferențial care cuprinde și roți de schimb (ARG/BRG) pentru realizarea generatoarei, executat chiar în carcasa platoului. Roțile de schimb se stabilesc în funcție de numerele de dinți ale roților angrenajului. Pentru prelucrarea pinionului și a coroanei se poate folosi aceeași sculă, dar pentru că sensul de înclinare a danturii este diferit și implicit se modifică și sensul de așchiere, este necesară rotirea cuțitelor la 180° pentru scula care prelucurează coroana față de cea care prelucurează pinionul. Pe același suport, cu aceleași cuțite se obține o sculă cu sensul de așchiere spre dreapta și una cu sensul de așchiere spre stânga. Pinionul și coroana pot fi prelucrate complet, dintr-o singură operație, cu faze de degroșare și finisare. În urma prelucrării danturii cu scula-disc care se rotește în jurul axei proprii și semifabricatul piesă care se rotește în jurul axei sale, precum și în jurul axei fixe a platoului, rezultă următoarele mișcări:

- a) mișcarea principală de așchiere, executată de piesă prin intermediul lanțului cinematic principal;
- b) mișcarea de rulare-divizare care corelează rotația piesei cu rotația sculei, astfel încât să se genereze pe cale cinematică directoarea flancului sub formă de spirală arhimedică;
- c) mișcarea de rulare în vederea realizării generatoarei prin mișcarea de basculare a platoului portpiesă în jurul axei sale;
- d) mișcarea de poziționare, prin poziționarea planului median al sculei în planul median al piesei, precum și poziționarea cercului de divizare a sculei tangent la conul de divizare al piesei la jumătatea lățimii danturii.

Corespunzător acestor mișcări, schema structurală a unei mașini de frezat roți dințate cilindrice prin rulare, adaptată pentru prelucrarea danturii arhicon, cuprinde următoarele lanțuri cinematice, puse în evidență în figura 4.98:

- a) lanț cinematic principal reglat prin roțile de schimb A_V, B_V ;
- b) lanț cinematic de rulare pentru realizarea generatoarei suprafeței dintelui pe cale cinematică prin rulare; aceasta rezultă ca o înfășurătoare a pozițiilor succesive ale muchiilor sculei așchietoare, piesa având o mișcare planetară. Reglarea se face cu roțile ARG/BRG , ținând cont de numărul de dinți ai pinionului Z_{p1} și ai roții Z_{p2} prin formulele:

$$ARG/BRG = Z_{p2}/Z_{p1}, \text{ la prelucrare dantură pinion;} \quad (4.33)$$

$$ARG/BRG = Z_{p1}/Z_{p2}, \text{ la prelucrare dantură coroană.} \quad (4.34)$$

Spre deosebire de toate procedeele de danturare conică la care generatoarea se realizează cinematic prin rularea roții-piesă cu roata plană și rotirea roții plane, la procedeul arhicon, generatoarea se realizează prin rularea roții de prelucrat cu roata conjugată a angrenajului, scula materializând un dinte al roții conjugate și nu al roții plane. Roata de prelucrat are o mișcare planetară în jurul axei roții conjugate din angrenaj;

- d) Lanț cinematic de rulare-divizare pentru realizarea direcției cinematice, dintr-o combinație de două mișcări de rotație între ele prin lanțul cinematic de rulare-divizare;
- e) mișcarea de rotație a sculei și mișcarea de rotație a piesei n_p conform relației;

$$n_s z_s = n_p z_p \quad (4.35)$$

Prelucrarea se face cu un cuțit de rabotare trapezoidal. Degroșarea se execută fără mișcare de rulare, iar la finisare se prelucrează, prin rulare, întâi flancurile din dreapta și în continuare flancurile din stânga. Pentru danturarea roții conjugate, se inversează sensul de rotație al piesei, deplasând simetric sania sculei.

Direcția mișcării sculei este îndreptată ca și la danturarea roților conice cu dinți înclinați, tangențial la un cerc concentric, în jurul centrului tamburului de rulare. Scula efectuează, într-o sanie ghidată liniar, o mișcare de translație alternativă, datorită unei acționări simple cu un mecanism bielă-manivelă, care, împreună cu mișcarea de rotație uniformă a roții, conduce la realizarea curbelor de tip episinoidă, formând linia flancurilor dinților prelucrați. Scula este așezată într-un tambur de rostogolire 1, care execută o mișcare oscilantă suplimentară provocată prin excentricul 4. La fiecare rotire a discului cu manivela 3, care acționează scula, se efectuează două rotiri ale excentricului 4.

Această mișcare suplimentară a tamburului de rostogolire 1 compensează neuniformitățile vitezei de așchiere provocate de mecanismul bielă-manivelă (fig. 4.99).

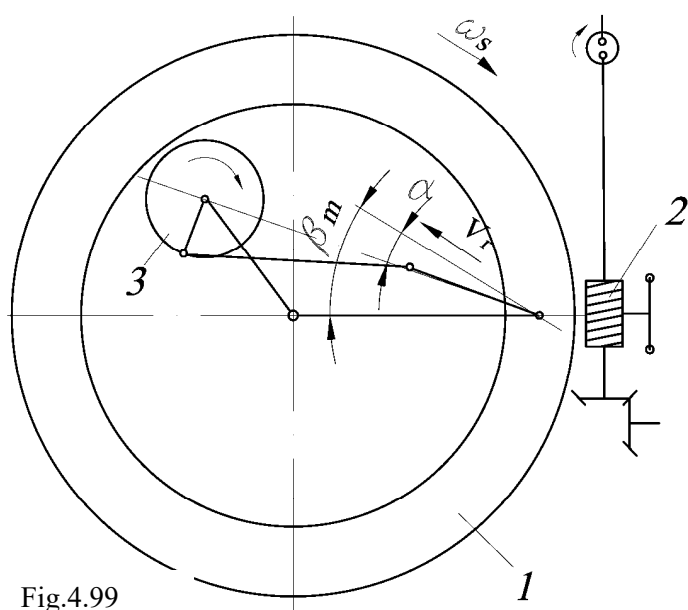


Fig.4.99

Mișcarea poate fi folosită și pentru schimbări, în limite largi, ale curburilor flancurilor (bombare longitudinală). Ca urmare a mișcării relative rezultate, a sculei se produce apoi, pe roata plană, linia de flanc de tip episinoidă. În mod practic, se folosesc numai părțile curbelor care corespund pozițiilor manivelei sub 45° .

Cursa manivelei este reglabilă în funcție de lungimea dinților.

Unghiul elicei se determină prin reglarea suportului rabatabil al sculei prin raportul format

de viteza de așchiere și de viteza periferică a roții. El poate fi ales între 0 și 30° . Avansul în adâncime se obține prin deplasarea suportului piesei, iar mișcarea de rulare printr-o mișcare de rotație uniformă, foarte lentă, a tamburului de rulare, prin care cuțitul de rabotat obține o rabatere înainte sau înapoi. În jurul centrului mașinii. Mișcarea tamburului de rulare este comandată prin angrenajul melcat 2. Această mișcare de rulare se manifestă ca o mișcare relativă între cuțitul de rabotat (respectiv între tambur de rulare portsculă) și piesă, astfel încât acesta din urmă rulează pe sculă care, în mișcare reprezintă un dinte al roții plane. Printr-un mecanism diferențial, se suprapune peste rotația uniformă a piesei, rotația suplimentară corespunzătoare.

Acest tip de dantură este mai puțin folosit având în vedere caracteristicile dimensionale și ale pieselor prelucrate, cu caracter de unicat.

4.4.10. Tehnologia rectificării prin rulare a danturii roților dințate conice cu dantură în arc de cerc

Roțile dințate conice cu dantură în formă de arc de cerc pot fi rectificate cu respectarea principiilor de generare, după tratamentul termic al danturii. La rectificarea danturilor în arc de cerc trebuie utilizate discuri abrazive-oală (fig. 4.100, *a, b*) care trebuie să aibă practic același diametru ca cel al sculei cu care s-a danturat roata. De asemenea, trebuie să ocupe în timpul prelucrării aceeași poziție. Felul discului de rectificat se alege atât în funcție de modulul pe care îl au roțile de rectificat, cât și de procedeul de rectificare. Astfel, pentru module mari, peste 4 mm, rectificarea se face succesiv cu două pietre-oală *I*; cu una se rectifică flancul concav la toți dinții, cu exteriorul pietrei, care are diametrul corespunzător, după care piatra este înlocuită cu cea de-a doua piatră-oală aceasta din urmă rectificând flancurile convexe *2* ale dinților roții, cu suprafața interioară a discului (fig. 4.101).

Pentru module mai mici de 4 mm inclusiv, rectificarea flancurilor concave și convexe, adică golul unui dinte, se face simultan (metoda Duplex).

Pentru producția de serie mică și module mici, sub 1,3 mm, este indicat ca, după ce roțile au fost tratate termic (în special călite și revenite), tăierea danturii să se facă direct prin rectificare, cu piatra de rectificat. Astfel, la început se efectuează degroșarea dinților cu o piatră-oală, după care, cu aceeași piatră, însă corectată și ascuțită, se face finisarea dinților.

În cazul când dinții sunt rectificați separat, pe flancurile concave și convexe, este necesar ca rectificarea să se facă din mai multe treceri de degroșare pe flancul concav și convex. Pentru această operație pietrele-oală trebuie ascuțite și corectate periodic, astfel încât profilul să rămână rectiliniu cu înclinarea pe care au avut-o și cuțitele de danturat. Ascuțirea și profilarea discurilor-oală se realizează cu dispozitive automate sau cu comandă numerică. Comanda numerică dă elemente de corecție la trei vârfuri de diamant, corespunzătoare la cele trei suprafețe ale discurilor-oală. Astfel, un diamant corectează și ascute suprafața frontală, iar celelalte două operează suprafețele exterioară și interioară ale discului. Această corectare și ascuțire se face după un număr de dinți rectificați pe suprafețele concavă și convexă sau de câte ori este necesar.

Pentru operația de finisare, această ascuțire și corectare este obligatorie, deoarece condiționează precizia de rectificare a roților. Se impune să se păstreze strict diametrul discului de rectificat, ținându-se cont de bombarea și flancarea dinților. În acest caz, discul este corectat automat de sistemul mașinii-unelte, corespunzător pentru flancurile convexe și concave. Cu rezultate deosebite sunt folosite discurile cu diamant și nitrură cubică de bor, care au o durabilitate ridicată, fapt ce face ca ascuțirea și corectarea acestora să se efectueze după un număr mare de roți prelucrate. Aceasta influențează direct creșterea calității roților când sunt rectificate, precum și productivitatea, iar durabilitatea discurilor este mult mai mare în comparație cu celelalte, clasice. Prelucrarea danturii se face pe mașini-unelte speciale, în figura 4.102 arătându-se schematic zona de lucru.

Divizarea trebuie să fie realizată în mod automat și foarte precis, deoarece în acest caz rectificarea se face dinte cu dinte din mai multe treceri. Rezultă că divizarea pentru fiecare dinte, pentru flancurile concav și convex, se va face de mai multe ori.

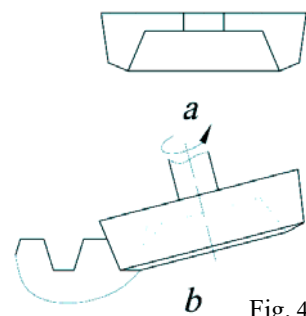


Fig. 4.100

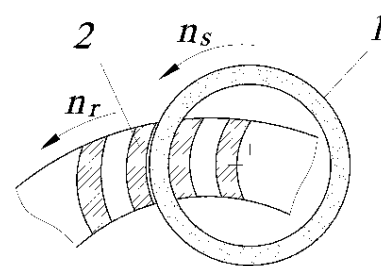


Fig. 4.101

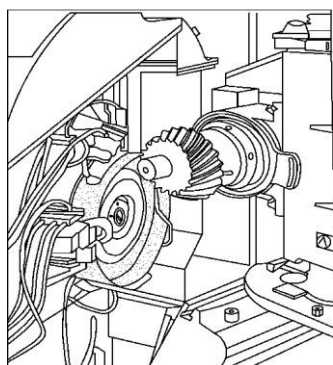


Fig. 4.102

E de menționat că în cazul rectificării trebuie realizată aproape aceeași cinematică de mișcare a roții dințate și sculei ca tăierea dinților, pentru a se putea rectifica flancurile corect. Astfel, în timp ce discul-oală are turația necesară realizării vitezei de așchiere, are loc și mișcarea de rulare, pentru a putea fi rectificat dinte pe toată lungimea. Se face deci înfășurarea pe tot profilul. După rectificarea unui dinte sau unui flanc concav sau convex, se face divizarea cu un pas, în timp ce discul abraziv a fost retras și întreg ansamblul a fost adus în poziția inițială. Urmează un nou ciclu de rectificare. Pentru roțile având profilul flancurilor

drept, tip Formate, are loc prelucrarea fără rulare, pentru rectificarea coroanelor. Pentru pinioanele conjugate, care au profilul flancurilor curb, este necesar ca la rectificare să aibă loc și procesul de rulare.

Mișcarea la unele mașini este însoțită și de mișcarea de bombare. Discul de rectificat lucrează numai în cursa când roata rulează în sus și nu când se întoarce în poziția inițială. După ce sunt parcuși toți dinții, pentru o nouă trecere, se reglează adaosul de prelucrare prin avansarea roții dințate. Aceasta se face în funcție de numărul de treceri necesare pentru rectificarea flancurilor concave sau convexe, sau pentru ambele flancuri simultan. E de subliniat că, în general, rectificarea roților dințate cu dinți curbi în arc de cerc este foarte scumpă, având o productivitate scăzută. Ca urmare, operația de rectificare se aplică pentru roțile dințate conice cu precizie ridicată, care lucrează la viteze periferice mari cu solicitări mari. De aceea, este necesar să fie utilizate și alte metode și procedee, care nu impun utilizarea unor mașini-unelte scumpe cu o cinematică complexă.

4.4.11. Tehnologia rectificării prin rulare a danturii roților dințate conice cu dantură eloidă, paloidă, ciclopaloidă și spiroidă

Tehnologia clasică de prelucrare a roților dințate conice cu dinți curbi cuprinde: frezarea danturii prin rulare cu divizare continuă conform procedurii corespunzător; operația de tratament termic de durificare a danturii prin cementare și călire în presă sau călire și niturare ionică; rectificarea alezaj și suprafața frontală de așezare; lepuirea și rodarea danturii. Ca urmare a deformațiilor rezultate în urma tratamentului, treapta de precizie a roților dințate conice este de 8-11-DIN 3965 față de treapta de precizie 5-7-DIN 3965 rezultată prin frezare.

Pentru eliminarea parțială a deformațiilor termice rezultate s-a dezvoltat tehnologia de rectificare a flancurilor cu discuri-oală pe mașini cu comandă numerică. Aceasta are la bază principiul optimizării abaterii dintre curba flancurilor dintelui (respectiv, arc de epicloloidă alungită sau spiroidă, evolventă) și arcul de cerc. Se are în vedere că arcul de cerc poate fi generat cu discuri-oală, utilizând două discuri, respectiv pentru flancul concav și convex. Teoretic, danturile

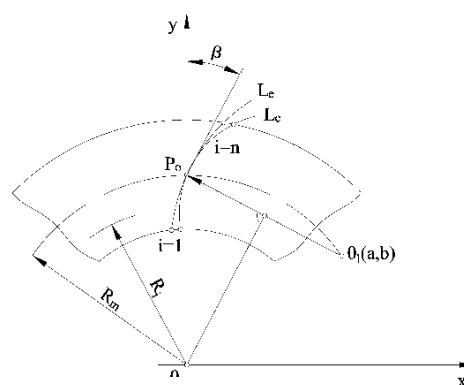


Fig. 4.103

eloidă, ciclopaloidă, paloidă, spiroidă nu pot fi rectificate prin rulare datorită imposibilității de a realiza scule de rectificat care să respecte principiul de generare. Folosind însă optimizarea abaterii, prin minimizarea ei, acestea se pot rectifica. Astfel, pentru optimizarea abaterii dintre epicloloidă alungită și arcul de cerc, la dantura eloidă se iau în considerare coordonatele $P_i(x_i, y_i)$ ale punctelor unei epicloide alungite L_e . Aproximarea arcului de epicloloidă alungită cu arcul de cerc de cea mai bună aproximare, L_c și evaluarea abaterii Δ dintre cele două curbe este dată în figura 4.103.

Cele două arce L_e și L_c sunt tangente în punctul comun $P_0(x_0, y_0)$ de tangentă al epicloidelor corespunzătoare flancului roții plane pentru pinionul și roata conică. Ca urmare au aceeași normală O_1P_0 și același unghi β de înclinare al tangentei. Centrul cercului de aproximare $O_1(a, b)$ al arcului L_c cu aceeași normală, tangentă și unghi β se găsește inițial pe normala comună a celor două arce de epicloidă, raza cercului de aproximare inițială fiind egală cu r , respectiv raza de curbură a epicloidei în punctul P_0 . Abaterea Δ_i dintre epicloidă alungită L_e și arcul de care L_c este dată de relația

$$\Delta_i = (x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2, \text{ unde } i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.43)$$

în care $i=1$ este pentru raza mică a coroanei și $i=n$ este pentru raza mare a coroanei. Pentru optimizarea aproximării arcului de epicloidă alungită cu arcul de cerc se utilizează un procedeu numeric bazat pe metoda celor mai mici pătrate. Astfel se definește funcția pătratică

$$\Delta_{i0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2]^2 \quad (4.44)$$

Această funcție are valoarea minimă în raport cu a , b și r , dacă L_c este de cea mai bună aproximare, față de L_e

Prin rezolvarea acestei probleme se obțin valorile parametrice ale lui a și b care apoi definesc raza cercului optim:

$$\Delta_c^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2] \quad (4.45)$$

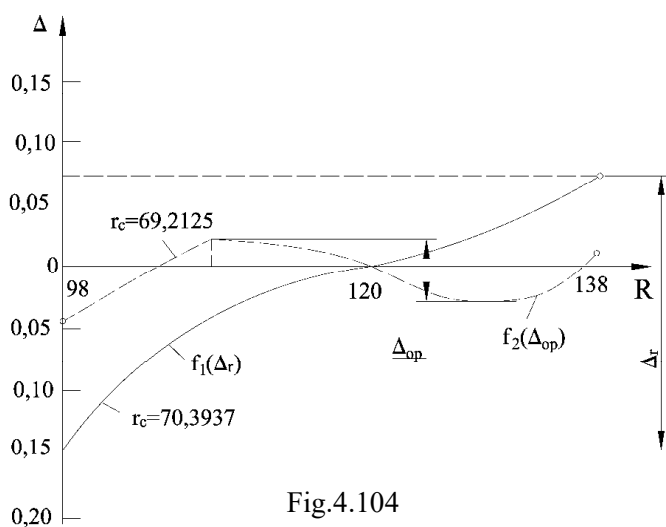


Fig.4.104

Cunoscând (x_i, y_i) prin algoritmul descris în relațiile de mai sus, pentru fiecare punct corespunzător unei generatoare G_i se determină abaterea Δ_i arc de epicloidă alungită - arcul de cerc. Astfel, de exemplu, în cazul unei danturi eloide, abaterea arc de epicloidă alungită - arc de cerc funcție de lățimea danturii la pinion $z=16$ dinți, $m_n = 3,75$, cap de prelucrat EN5 - 70', $p = 35^\circ$, este în cazul neoptimizat $\Delta_r = 0,2318$ mm cu $r = 70,3937$ mm și în cazul optimizat $\Delta_{op} = 0,046$ mm cu $r = 69,8125$ mm (fig. 4.104).

Ca urmare, a optimizării rezultă că, adaosul de prelucrare la rectificarea cu discuri-oală a danturii eloide se reduce de 6 ori fiind de 0,046 mm pe flanc. Același principiu se aplică și pentru celelalte tipuri de dantură curbă, făcând aproximarea curbilor de generare cu 'arce de cerc. Pentru aplicarea acestui procedeu se utilizează mașini cu comandă numerică după cinci axe Klingelberg tip WNC 30, WNC 80, W 800 CNC, WNC-80 CNC care folosesc sistemul Wiener. Modulul normal al roților de rectificat este de 1...18 mm cu un diametru maxim 800 mm. Comanda numerică utilizează programul de rectificare KMOS.

În figura 4.105 este reprezentată schema unei mașini de rectificat Klingelberg WNC 80 pentru rectificarea prin rulare dantură curbă eloidă, paloidă, ciclopaloidă, spiroidă, prin rulare cu divizare discontinuă, utilizând două discuri-oală cu axele paralele.

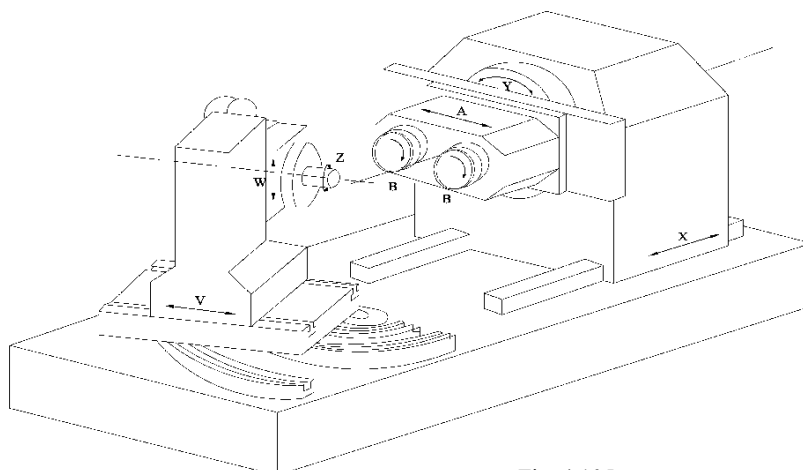


Fig. 4.105

Mișcările B (rotație disc de rectificat), Y (rotație de rulare platou portsculă), Z (rotație de rulare piesă) sunt mișcări principale de așchiere pentru rectificarea prin rulare cu generarea profilului arc de cerc.

Mișcările A, X, V, W sunt mișcări de poziționare pentru prelucrare.

În figura 4.106 este dată zona de prelucrare cu cele două discuri-oală și roata de rectificat, iar în figura 4.107, *a*), este dată finisarea prin rectificare pentru roată, în figura 4.107, *b*), pentru pinion, la dantura eloidă.

Discurile-oală de rectificat pot fi din ceramică (fig. 4.108, *a*) sau nitrură cubică de bor (CBN) (fig. 4.108, *b*). De asemenea, mașina este prevăzută cu instalație de comandă numerică pentru profilare cu diamant a discurilor. Determinările experimentale de fiabilitate au demonstrat că roțile conice cu dantură curbă rectificată au o durabilitate de funcționare de 10 ori mai mare decât cele nerectificate, treapta de precizie obținută 5-DIN 3965 și creșterea capacității portante de 1,25 ori.

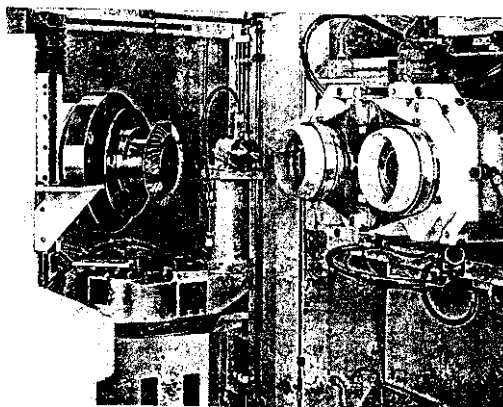


Fig. 4.106

Acest fapt impune generalizarea procedurii chiar dacă este foarte scump.

Un alt procedeu de rectificare dezvoltat de firma Oerlikon pentru dantura eloidă este procedeu Oerlikon-Spirex, prin rulare cu divizare continuă. Se utilizează pentru rectificarea rotii dințate conice cu dinți curbi, cu deplasare hipoidă, având flancurile acoperite cu nitrură cubică de bor aplicată prin procedeu galvanic (fig. 4.109). Durabilitatea sculei este de aproximativ 10000 roți de rectificat, având în vedere că turația ridicată a sculei de rectificare (de cca. 16000 rot/min), are ca efect autocurățirea sculei (aceasta datorită forțelor centrifugale foarte mari). Scula-roată de rectificat se execută subdimensionată pentru a permite acoperirea cu nitrură cubică de bor.

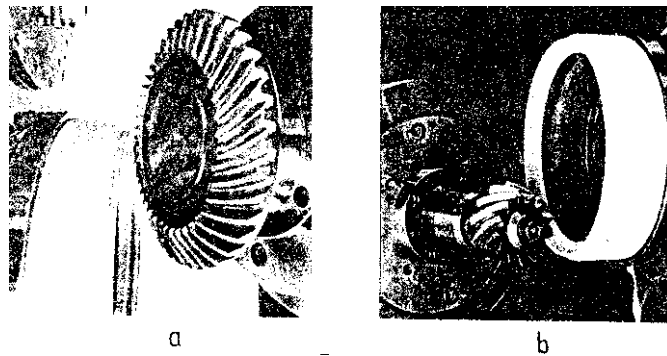


Fig. 4.107

În figura 4.109 este dat principiul de rectificare pentru roată și pinion în care AK este dezaxarea pe montaj pentru angrenajul hipoid AK1, iar AK2 este dezaxarea pentru rectificarea roții și respectiv pinionului, iar Σ a unghiul dintre axe.

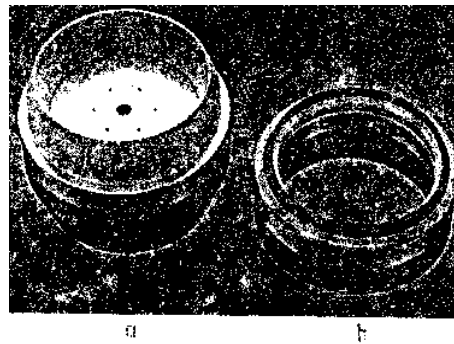


Fig. 4.108

Se evidențiază faptul că scula de rectificat pentru roată și pinion este în ambele cazuri o roată sculă de rectificat acoperită cu nitrură cubică de bor (CBN).

Procedul s-a dezvoltat pentru angrenaje de dimensiuni mici (diametrul roții conice < 280 mm) și la producția de serie mare.

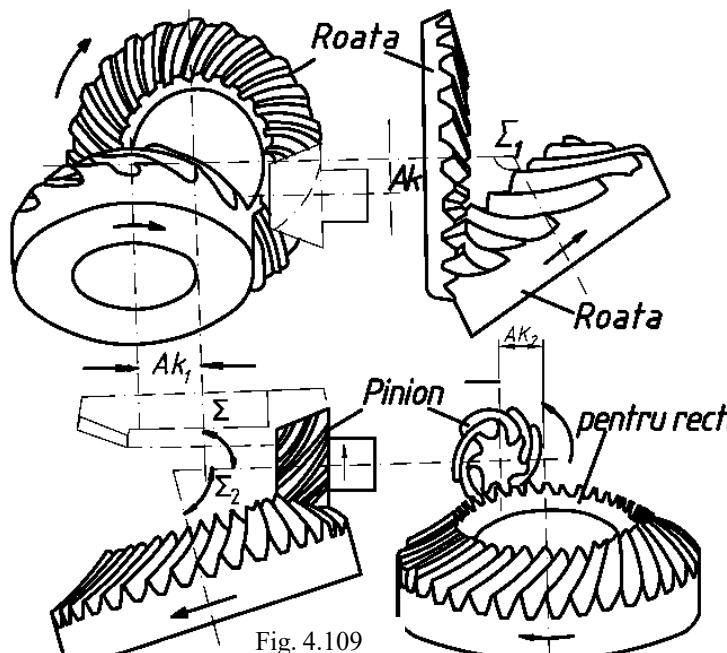


Fig. 4.109

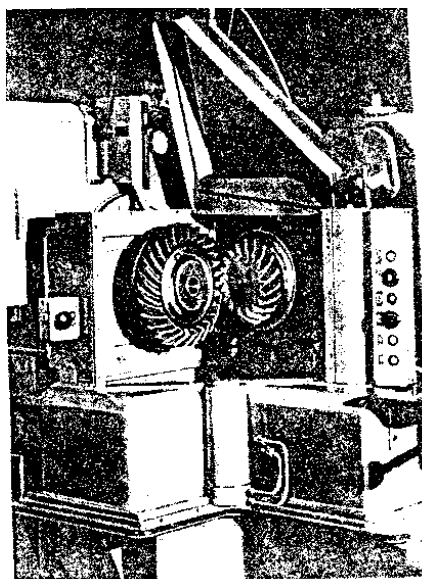


Fig. 4.110

4.4.12. Tehnologia rodării și lepuirii danturii roților dințate conice cu dinți curbi.

Roțile dințate conice cu dinți curbi, indiferent de forma curbei, sunt în general tratate termic prin cementare, călire și revenire. La cele care nu sunt tratate termic în matrițe, deoarece deformațiile termice sunt foarte mari, se poate ajunge la rebuturi. De aceea, după tratamentul termic, spre deosebire de roțile conice cu dinți dreți sau înclinați, roțile conice cu dinți curbi trebuie supuse obligatoriu unor operații de radare, lepuire, rulare, rodaj etc. Aceste operații se aplică atât pentru a putea fi corectate parțial deformațiile termice pe care le-a suferit dantura, cât și pentru îmbunătățirea rugozității pe flancurile concave și convexe.

Operațiile de rodare și lepuire ale roților dințate conice cu dinți curbi respectă în general condițiile tehnologice de prelucrare a roților dințate conice cu dinți dreți și înclinați.

Coroana este frânată cu o anumită valoare a momentului de torsiune admisibil, iar pinionul transmite momentul motor (fig. 4.110). În timpul rulării lor în zona de angrenare se picură suspensie.

Pentru operația de rodare sau lepuire trebuie să se țină seama atât de flancarea și bombarea dinților curbi, cât și de modul și zona în care trebuie să se situeze pata de contact. Aceasta pentru ca angrenajul să poată asigura un mers silențios și o durabilitate în funcționare.

Operațiile de lepuire și rodare se realizează pe mașini specializate cu comandă numerică care permit ca în timpul funcționării, cele două roți să fie apropiate una de cealaltă atât prin deplasarea pinionului, cât și prin deplasarea coroanei pe direcțiile H , J , V (fig. 4.111). Aceste deplasări sunt controlate exact și ele au loc succesiv în timpul angrenării celor două piese de lepuit. În același timp, între ele se picură ulei cu suspensie abrazivă sau se pune periodic pastă de lepuit. Deoarece finisarea coroanei este realizată cu o anumită valoare a momentului de frânare, care nu rămâne constantă în timpul rodării, forțele de transmitere vor apărea după cele trei

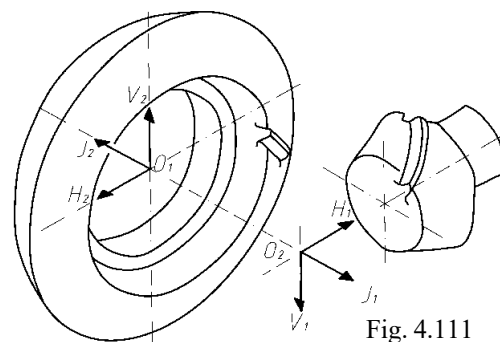


Fig. 4.111

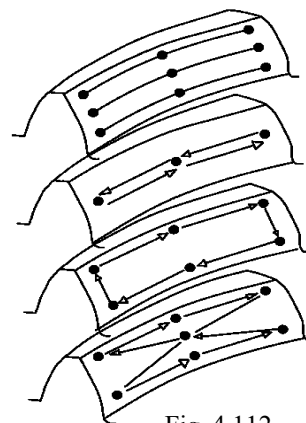


Fig. 4.112

plane OH , OJ , OV (fig. 4.112). Procesul de rodare se produce de fapt, în special, în planul roții plane imaginare.

Pentru roțile dințate conice cu dinți curbi, care au dinții bombați și flanțați, este necesar ca în timpul rodării sau lepuirii să se păstreze mărimile zonei flanțate și bombate. Ca urmare, este necesar ca în timpul funcționării una dintre roțile care se rodează să se rabată cu un anumit unghi și în planul OV , în timp ce aceasta se deplasează pe direcțiile OH și OJ .

Ca urmare a acestor deplasări, programul de lepuire în comandă numerică poate avea una din formele reprezentate în figura 4.112.

Operația de netezire a dinților se face pe ambele flancuri (concau și convex), fiind necesar, deci, să se schimbe și sensul de rotire după un anumit timp. Chiar dacă roțile ar funcționa numai într-un sens, se impune ca rodarea sau lepuirea să se facă și pe celălalt flanc, ținându-se seama că roțile trebuie să fie la fel de îngrijit prelucrate pe ambele flancuri.

Rodarea și lepuirea sunt operații recomandate, în cele mai multe cazuri, să se facă cu roata conjugată și nu cu una din fontă. Aceasta impune ca și montajul lor, în ansamblul în care vor funcționa, să se facă împreună. Se mai poate realiza însă și o altă variantă, și anume: operația de rodare se efectuează combinat, la început cu roată sau pinion din fontă pentru degroșare, apoi rodarea cu roata conjugată, când se execută operația de finisare. Acest procedeu se realizează atunci, când pata de contact trebuie localizată foarte bine pe flancurile dinților.

La grupurile conice de la diferențialele automobilelor, centrul petei de contact la coroană trebuie să se afle pe flancul de desprindere, sub cercul de divizare (fig. 4.106) și pe flancul de angrenare a contactului, deasupra cercului de divizare (rulare). Aceasta presupune ca și contactul, pe lungimea flancului dintelui curb, să se realizeze tot în zona centrală a dinților (fig. 4.113). Asupra localizării petei de contact și a bunei funcționări a angrenajului o influență covârșitoare o are precizia de montaj, la care trebuie acordată o atenție deosebită, deoarece altfel este compromisă și operația de rodare sau de lepuire.

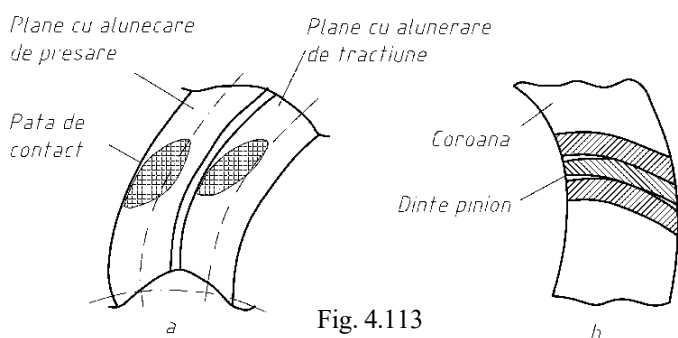


Fig. 4.113

E de subliniat că la roțile dințate conice care sunt călite, printre deformațiile termice care au loc, trebuie evidențiată și faptul că dinții se alungesc în direcția fibrajului materialului, ceea ce conduce la deplasarea petei de contact pe cele două flancuri în sens opus, realizându-se astfel un contact diagonal al dinților (fig. 4.114). În acest mod, pata de contact se

deplasează, pentru flancurile de desprindere, spre piciorul dinților, iar pentru flancurile de angajare aceasta se deplasează spre vârful dinților.

Acest fenomen poate fi ușor eliminat la montaj, când roata conică sau pinionul sunt reglate să se deplaseze mai mult pe direcția axială, adică angrenarea să se facă cu o întrepătrundere mai adâncă între dinți. Aceasta face ca pata de contact să fie localizată la mijlocul flancurilor dintelui, în scopul unei funcționări silențioase și fiabile.

La mașinile la care antrenarea se face numai cu pinionul, apare o deplasare accentuată a petei de contact spre piciorul dintelui. Ca urmare, presiunea de contact care apare la angrenare și desprindere va produce zgomote în timpul funcționării angrenajului. Dacă operațiile de rodare sau lepuire se fac pe mașini la care și coroana poate fi motoare, atunci pata de contact poate fi localizată în zona respectivă, pe flancul dinților de pe ambele roți.

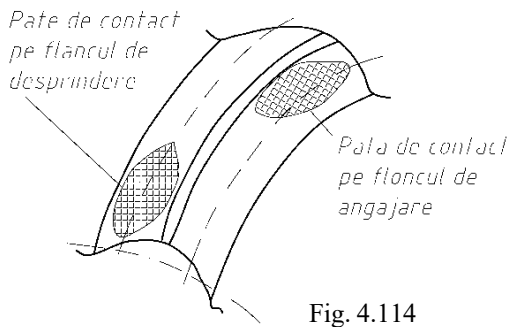


Fig. 4.114

Asupra deplasării petei de contact un rol deosebit îl are și presiunea de pe flancurile dinților și care este reglată în mod automat, cu ajutorul anumitor valori ale momentului. În acest mod, pata de contact poate fi deplasată după necesități. Ca urmare, prin momentul de frânare se poate stabili mărimea și sensul de deplasare al petei de contact. Dacă momentul crește, pata de contact se deplasează spre vârful dinților și invers cândse reduce.

E de menționat că și deplasarea coroanei pe direcție verticală în limitele a 0,02... 1 mm influențează poziția diagonală a petelor de contact. Astfel, cu cât petele de contact sunt mai înclinate, cu atât mai puține sunt neajunsurile care apar la deplasările ocazionale la montaj și exploatare. Aceasta are influență asupra creșterii zgomotelor angrenajului în timpul funcționării.

La deplasarea coroanei în planul vertical al mașinii-unelte, al dispozitivului de lepuire sau rodare sau al ansamblului în care aceasta funcționează, jocul dintre dinți rămâne același, el crescând doar cu îndepărtarea adaosului de pe flancurile dinților. O influență deosebită asupra rezultatelor obținute în urma operațiilor de rodare și lepuire o are lichidul utilizat, acesta trebuind să fie cât mai curat și picurat pe tot parcursul procesului. Timpul necesar pentru realizarea acestor operații se stabilește în mod experimental, depinzând atât de raportul de transmitere, cât și de mărimea momentului de frânare.

4.4.13. Tehnologia debavurării și finisării electrochimice a danturii roților dințate conice cu dinți curbi

Debavurarea și finisarea electrochimică a roților dințate conice cu dinți curbi respectă în general tehnologia corespunzătoare roților dințate conice cu dinți drepecți.

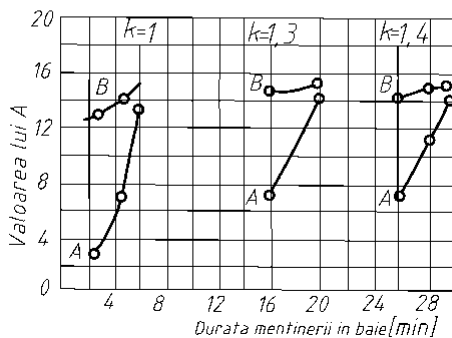
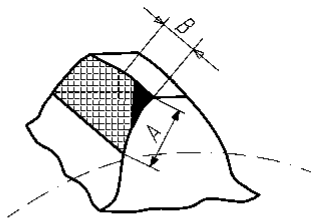


Fig. 4.115

Procedeul are la bază fenomenul de dizolvare anodică controlată, fără să necesite echipamente cu un grad înalt de tehnicitate. Debavurarea și finisarea electrochimică poate fi utilizată la toate tipurile și dimensiunile de roți dințate conice cu dinți curbi, fără să se asigure precizia dimensională sau corectarea unor abateri de formă și poziție a danturii prelucrate. Procedeele de prelucrare electrochimică asigură însă o rugozitate bună, uniformă pe flancurile dinților, iar bavurile care apar la capetele dinților pot fi ușor îndepărtate dacă nu sunt prea mari. Procedeele de prelucrare sunt aceleași ca la dantura conică cu dinți drepecți și înclinați.

Pentru debavurarea electrochimică a roților dințate din oțel înalt aliat sunt utilizați diferiți electroliți și diferite regimuri electrice de lucru. Astfel, pentru operația de degroșare se amestecă 50% acid sulfuric (greutate specifică 1,84) cu 50% acid fosforic (greutate specifică 1,5), la o temperatură de lucru de 18...20° C și cu o densitate a curentului de 2 A/cm². În acest caz, operația nu durează mai mult de 3...4 minute.

Pentru operația de finisare, când trebuie obținută și o rugozitate finală bună, operația se execută cu același dispozitiv, schimbându-se electrolitul care se obține astfel: se amestecă acid ortofosforic 78...80% cu 9...12% anhidridă cromică, 9...12% apă. Temperatura de lucru este de 75...85°C, cu o densitate a curentului de 15...24 A/cm² timp de 1,5...2 min.

Când este necesar să se lustruiască și fundul dinților, sunt utilizați și alți electroliți rezultați din combinarea

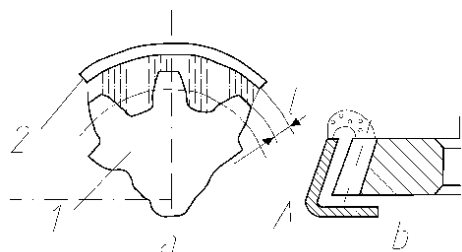


Fig. 4.115

acidului sulfuric cu acid azotic sau alte combinații chimice, în funcție de natura și compoziția chimică a oțelului înalt aliat.

E de menționat că densitatea de curent este maximă pe flancurile dinților, în special în regiunea vârfului dintelui și a marginilor acestora, unde dizolvarea anodică se face mult mai intens, deoarece ea depinde de distanța dintre cei doi electrozi (piesă-sculă).

Astfel, valorile lui A și B (fig. 4.115, a , b) sunt, în funcție de durata prelucrării electrochimice și de diferitele valori ale raportului $K = l/h$, în care l reprezintă distanța dintre catod și vârful dintelui, în mm, iar h este înălțimea dintelui, în mm. Ca urmare rezultă că lustruirea dinților este mai intensă spre capul dintelui, unde distanța dintre electrozi este mică și scade spre fundul dinților unde distanța este mai mare.

Concentrarea liniilor de curent la marginea flancurilor dinților, care sunt de fapt muchii ascuțite și cu grad pronunțat, face ca acestea să fie puțin rotunjite. În acest scop, când este necesară o rotunjire corespunzătoare la capătul dinților roții 1, electrodul sculă 2 este construit mai lung (fig. 4.116, a , b) numai pe o singură parte, acolo unde este necesar ca rotunjirea să fie pronunțată.

În unele cazuri, lustruirea electrochimică este folosită și pentru corectarea unor erori de prelucrare care apar pe flancurile dinților roților (ondulații, abateri de la poziția reciprocă, grosime etc.). Acest fapt permite realizarea unei pete de contact corespunzătoare și situată în zona de la mijlocul dinților.

Când roțile dințate sunt de dimensiuni mici și mijlocii, acestea pot fi lustruite simultan pe toți dinții (fig. 4.116, a , b).

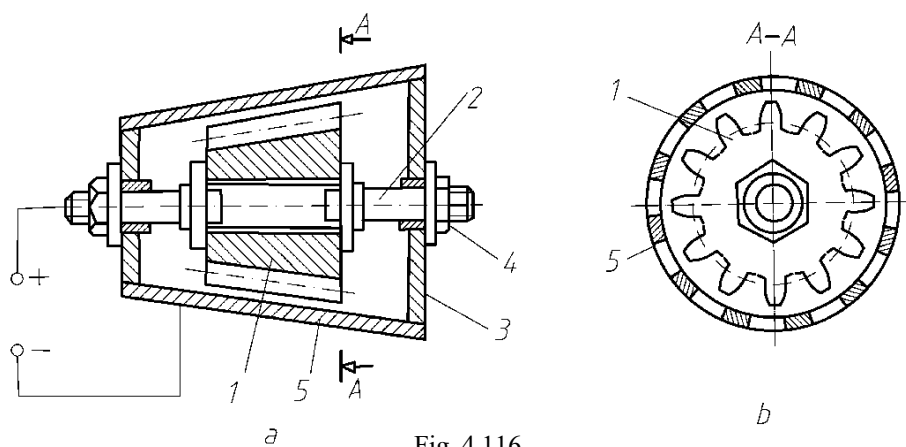


Fig. 4.116

Astfel, roata dințată 1 este fixată pe axul 2, care prin intermediul flanșelor 3 și al piuliței 4, este așezată în interiorul electrodului-sculă 5. Acesta are practicate ferestre în dreptul corpului dintelui cu lățimea mai mare decât lățimea capului dintelui. Diferența aceasta dintre cote permite să se asigure atât o dezvoltare mai uniformă

pe flancurile dinților, cat și rotunjirea la capătul acestora.

Acest dispozitiv se introduce într-o baie electrolică, după ce a fost conectat la sursa de curent. Dacă roata este așezată în poziție orizontală, este indicat ca dispozitivul să se rotească foarte lent, pentru ca hidratul de fier care provine din dizolvare să cadă în baia electrolică și să nu frâneze procesul de lustruire. Când dispozitivului este așezat în poziție verticală, scufundat complet în baia electrolică, nu mai este necesară rotirea lui, deoarece pelicula pasivată moale se desprinde singură de pe flancurile dinților și cade în baia electrolică.

Pentru lustruirea roților dințate de dimensiuni mai mari, catodul se execută în formă de segmente mai mici, așezate în baia electrolică, în funcție de tipul și forma roții dințate (fig. 4.117, a, b) căreia i se comuna o mișcare lentă de rotire prin fața catodului. Poziționarea roții dințate

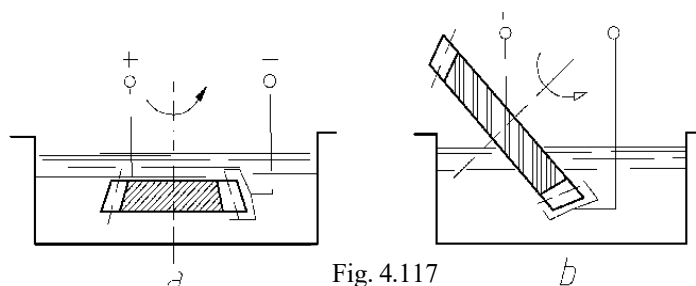


Fig. 4.117

trebuie făcută în așa fel, încât bulele de gaz care se formează în timpul procesului de dizolvare anodică să se degaje ușor. Astfel, axa roții poate fi verticală sau înclinată, deoarece nu necesită o construcție de băi electrolice mari neeconomice.

În ultimii ani s-au întreprins cercetări intense privind lustruirea electrochimică a roților dințate conice cu dinți curbi prin angrenarea cu roată-sculă, care este de fapt o roată dințată construită din cupru electrolic, cu dinții mai subțiri. Aceasta în scopul de a nu se realiza un contact între cele două roți, ci să se păstreze un joc între flancurile dinților acestor roți (sculă-piesă) de circa 1,2...1,4 mm, sau chiar mai mult, pentru circulația electrolitului. Cu rezultate deosebit de bune este aplicat acest procedeu și pentru debavurarea și rotunjirea muchiilor. Tehnologia rotunjirii muchiilor danturii la roțile dințate conice cu dinți curbi

Operația de rotunjire a muchiilor danturii, numită în producție și operație de raionare, se aplică după danturarea roților dințate. În cadrul acestei operații se mai pot face teșiri în lungul dinților, curățare de grad etc. În cazul roților dințate călite, prelucrările de raionare, teșire etc. nu mai pot fi realizate. Ca urmare, acestea trebuie prelucrate înainte de tratamentul termic, de durificare.

Rugozitatea este în general $R_a = 12,5...6,3 \mu\text{m}$, neavând prea mare importanță. De aceea, nici nu se urmărește obținerea unei rugozități mai bune, deoarece aceasta ar conduce la creșterea nejustificată a costului pentru aceste suprafețe care nu au un rol funcțional important.

La producțiile de serii mici și unicate operația se realizează pe mașini de frezat universale, de regulă, de sculărie din grupa FUS sau chiar la bancul de lăcătușerie manual cu pila.

La producțiile de serii mijlocii și mari se folosesc mașini-unelte speciale, care dau sculei mișcări mai complexe, aceste mașini fiind numite mașini de raionat.

Pentru roțile dințate conice cu dinți curbi, operația de raionare, teșire și curățare a gradului este mai dificilă, în special la capul interior al dintelui, unde se folosesc numai freze cilindro-frontale (deget), special construite, iar operația se realizează numai prin divizare dinte cu dinte, fapt ce mărește timpul de fabricație a roților dințate. Demn de menționat este și faptul că mai ușor și mai repede sunt teșite și curățate capetele exterioare ale dinților roților conice (de diametru mai mare). Această parte a dinților poate fi prelucrată cu freze-disc sau freze cilindro-frontale care sunt mai productive.

5. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȚILOR DINȚATE PRECESIONALE

5.1. Cinematica sistemului de generare a danturii

În lucrările [1, 3-6, 7, 13] sunt descrise procedeele de generare prin rulare a danturilor roților conice cu profil convex-concav al dinților, realizate pe mașini-unelte de danturat cu mișcare sferospațială a sculei în formă de trunchi de con și de cilindru. Prin procedeele respective nu se pot fabrica danturi cu dinți de dimensiuni mici, deoarece scula așchietoare trebuie să reproducă geometria bolțurilor conice din dantura satelitului (în cazul procedeeului cu sculă “trunchi de con”) sau diametrul sculei cilindrice trebuie să fie egal cu diametrul rolei din coroanele satelitului (în cazul procedeeului de generare cu sculă în formă de cilindru).

Dezavantajele acestor procedee constau în productivitatea de generare mică și imposibilitatea de a fabrica danturi cu dinți de dimensiuni mici. De asemenea, aceste procedee necesită un control riguros al dimensiunilor și formei geometrice a sculei, care au o durată mică de lucru.

Pentru a asigura generarea suprafețelor flancurilor dinților cu dimensiuni mici și majorarea productivității procesului tehnologic, se propune procedeele de generare prin rulare cu sculă de forma unui disc profilat periferic în arc de cerc cu mișcare sferospațială a conturului generator.

Schema cinematică a procesului de generare prin rectificare [3, 7, 12] cu scula-disc profilat periferic în arc de cerc este prezentată în figurile 5.1, a) (varianta I) și 5.1, b) (varianta II). Cinematica procedeeului în varianta I include următoarele mișcări:

1. *Mișcarea autonomă* – mișcarea principală de așchiere – rotirea sculei cu frecvența n_1 , care determină viteza de așchiere sau de rectificare $V = \pi D n_1$, unde D este diametrul traiectoriei de așchiere (diametrul traiectoriei punctului de contact al sculei cu semifabricatul). De valoarea vitezei acestei mișcări depinde productivitatea procesului, calitatea suprafeței prelucrate (rugozitatea), existența sau lipsa arsurilor și

intensitatea uzurii sculei abrazive.

2. *Mișcarea de așchiere auxiliară* – reprezintă o mișcare liniară a sculei de-a lungul dintelui în direcția generatoarei conului roții imaginare cu viteza avansului transversal. Această mișcare se realizează cu avansul S_{EO} . De valoarea vitezei mișcării de avans transversal S_{EO} esențial depinde: rugozitatea suprafeței prelucrate, existența sau lipsa arsurilor, intensitatea uzurii sculei abrazive. Totodată, este necesar a lua în considerație faptul că în cazul dat viteza sumară se determină astfel:

$$V_r = \sqrt{V^2 + S_{EO}^2} \quad (5.1)$$

3. *Mișcarea de rulare* – rotirea discretă a semifabricatului la un unghi $\Delta\psi$, coordonată prin cinematica lanțului mașinii-unelte „ax principal–masă rotativă”. Valoarea unghiului de rotire a semifabricatului în mișcarea de rulare se stabilește prin calculul acestui lanț cinematic.

4. *Mișcarea oscilatorie coordonată cu rulara roții* – deplasarea capului portsculă pe direcția vectorului vitezei mișcării relative „sculă–semifabricat” în punctul lor de contact (este asigurată de construcția dispozitivului).

Mișcările de rulare 3 și 4 în ansamblu determină forma profilului flancului dintelui generat, precum și precizia generării, caracterizată prin valoarea poligonalității suprafeței flancului dintelui, formate drept consecință a mișcărilor discrete ale sculei în procesul de generare a danturii.

5. *Mișcarea de avans a sculei pe direcția axială S_{00}* a semifabricatului (de pătrunderea sculei în semifabricat).

Totalitatea acestor mișcări ale conturului generator al sculei în raport cu semifabricatul în rotație conduce la formarea suprafeței flancului dintelui. În rezultatul mișcării sferospațiale a sculei, centrul conturului generator al acestuia descrie o traiectorie, înfășurătoarea familiei de contururi ale sculei cu centre plasate pe această traiectorie reprezintă profilul dintelui. Cu alte cuvinte, înfășurătoarea conturilor generatoare poziționate în spațiu la o turație completă a arborelui conducător al dispozitivului reprezintă forma integră a unui dinte.

Mașina-unealtă, prin lanțul său cinematic, asigură la fiecare ciclu precesional $\theta = 2\pi$ al sculei la rotirea roții la un unghi de poziționare între doi dinți vecini. Caracterul îndepărtării adaosului și calitatea prelucrării suprafeței depind de energia procesului de așchiere. Eficacitatea procesului de așchiere la formarea profilului dinților prin procedeul nou propus constă în productivitatea mai mare a procesului de generare, în majorarea calității suprafeței prelucrate, în diminuarea intensității uzurii sculei etc. Acestea depind de regimurile de așchiere, în funcție de proprietățile materialului prelucrat și ale sculei, de stabilitatea dinamică și precizia de poziționare a mecanismelor mașinii-unelte.

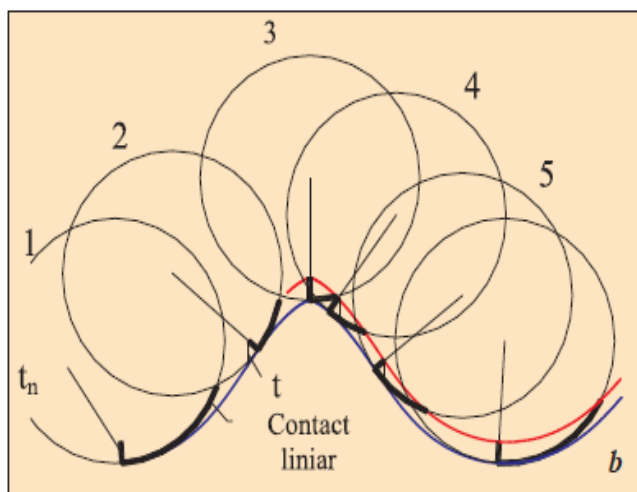


Fig. 5.2

Cinematica procedeeului în varianta II diferă de varianta I prin mișcarea 2:

2. *Mișcarea alternativă de așchiere auxiliară* – S_{EO} , este o mișcare alternativă a sculei-disc pe direcția generatoarei conului roții imaginare cu un ciclu „du-te–vino” la fiecare avans $\Delta\psi$ al semifabricatului. Această mișcare se efectuează pe mașinile-unelte care asigură efectuarea mișcării rectilinii alternative a portsculei.

5.2. Linia de contact teoretică dintre sculă și roata dințată la generarea profilului nestandardizat

Din studiul traiectoriei punctului (liniei) de contact dintre sculă și roata dințată în procesul de generare a profilului dinților rezumă următoarele constatări și descrieri analitice.

La rectificarea sau frezare, pentru diferite adâncimi de așchiere t în direcția axei semifabricatului, condițiile de prelucrare diferă pe durata prelucrării unui dinte [3, 22]. Din schemele de prelucrare (figurile 5.1, 5.2) se

constată că cele mai lejere condiții predomină la prelucrarea vârfului dintelui. Contactul liniar dintre sculă și profilul convex-concav al dintelui trece dintr-o formă în alta. Scula în pozițiile 1–2 lucrează în condițiile de rectificare cilindrică interioară, în poziția 2 (punctul de inflexiune) – de rectificare plană, în pozițiile 2–3 – de rectificare cilindrică exterioară. Din figura 5.2 se observă că adâncimea așchierii t în direcția axei semifabricatului este diferită de cea în direcția normalei pe profilul dintelui t_n .

Pentru studiul contactului liniar, descriem forma profilului dintelui cu ecuații parametrice pentru diferite adâncimi de așchiere t . În acest scop, inițial descriem traiectoria mișcării centrului conturului generator al sculei identificat prin punctul D [1, 3, 4, 25, 26], în funcție de unghiul de rotire ψ al arborelui principal, prin ecuațiile:

$$\begin{aligned} X_D &= R \cos \delta (-\cos \psi \sin(Z_1 \psi / Z_2) + \sin \psi \cos(Z_1 \psi / Z_2) \cos \theta) - R \sin \delta \sin \psi \sin \theta; \\ Y_D &= -R \cos \delta (\sin \psi \sin(Z_1 \psi / Z_2) + \cos \psi \cos(Z_1 \psi / Z_2) \cos \theta) + R \sin \delta \cos \psi \sin \theta; \\ Z_D &= -R \cos \delta \cos(Z_1 \psi / Z_2) \sin \theta - R \sin \delta \cos \theta, \end{aligned} \quad (5.2)$$

unde: ψ – unghiul (precesie) de rotire a axului principal al mașinii-unelte; θ – unghiul (nutație) de înclinare a arborelui cotit al dispozitivului; δ – unghiul de înclinare a axei sculei față de suprafața mesei mașinii-unelte (axoidei conice); r – raza de profilare a sculei (conturului generator).

Pentru a identifica linia de contact *sculă–profil*, în sistemul de coordonate $OXYZ$ la diferite adâncimi de prelucrare, deducem ecuațiile ce descriu forma profilului roții dințate.

Punctul D (centrul conturului generator al sculei) se mișcă pe suprafața sferică cu raza R cu centrul în punctul de precesie $O_t(0, 0, +t)$. Cunoscând traiectoria mișcării punctului D , găsim poziția punctului E_t de contact al sculei cu profilul dintelui roții dințate. Punctul de contact E_t pentru un oarecare unghi ψ se află la distanța razei conturului generator al sculei r pe planul normal la vectorul vitezei punctului $D - V_D$ (care coincide cu centrul conturului generator al sculei). Pentru descrierea profilului suprafeței generate de sculă în procesul de prelucrare a roții dințate, găsim proiecțiile vectorului vitezei punctului $D - V_D$. În acest scop, derivăm în raport cu timpul ecuațiile (5.2):

$$X'_D = R \psi' \cos \delta [\sin \psi \sin(Z_1 \psi / Z_2) - (Z_1 / Z_2) \cos \psi \cos(Z_1 \psi / Z_2) + \cos \psi \cos(Z_1 \psi / Z_2) \cos \theta - (Z_1 / Z_2) \sin \psi \sin(Z_1 \psi / Z_2) \cos \theta] - R \psi' \sin \delta \cos \psi \sin \theta;$$

$$Y'_D = -R \psi' \cos \delta [\cos \psi \sin(Z_1 \psi / Z_2) + (Z_1 / Z_2) \sin \psi \cos(Z_1 \psi / Z_2) - \sin \psi \cos(Z_1 \psi / Z_2) \cos \theta - (Z_1 / Z_2) \cos \psi \sin(Z_1 \psi / Z_2) \cos \theta] - R \psi' \sin \delta \sin \psi \sin \theta \quad (5.3)$$

$$Z'_D = R \psi' (Z_1 / Z_2) \cos \delta \sin(Z_1 \psi / Z_2) \sin \theta;$$

unde ψ' – viteza unghiulară a arborelui-manivelă a mașinii-unelte.

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + (z - t)^2 = R^2 \\ (x - x_D)^2 + (y - y_D)^2 + (z - (z_D + t))^2 = 4R^2 \sin^2(\beta/2) \\ x'_D (x - x_D)^2 + y'_D (y - y_D)^2 + z'_D (z - (z_D + t))^2 = 4R^2 \sin^2(\beta/2) \end{cases} \quad (5.4)$$

Ecuațiile (5.4) descriu poziția punctului E_t pe planul normal P_N la vectorul vitezei punctului D_t (centrului conturului sculei), iar ecuațiile (5.5) reprezintă deplasarea punctului de contact *sculă–profil* generat E_t la valoarea unghiului conicității β al rolei transmisiei reale.

Notăm:

$$x = k_1 z + d_1; y = d_2 - z k_2. \quad (5.5)$$

Obținem o ecuație cu rădăcinile:

$$Z_{1,2} = [-(k_1 d_1 - k_2 d_2 - t) \pm [(k_1 d_1 - k_2 d_2 - t)^2 - (k_1^2 + k_2^2 + 1)(d_1^2 + d_2^2 + t^2 - R^2)]^{1/2}] / [k_1^2 + k_2^2 + 1], \quad (5.6)$$

unde k_1, d_1, k_2, d_2 – coeficienți pentru rezolvarea sistemului.

Se știe că $Z_E < Z_D$, deci și $Z_{1,2} < Z_D$:

Înlocuind (5.5) în (5.6), obținem coordonatele profilului generat al roții dințate. Valoarea unghiului ψ , conform căreia se generează profilul complet a n dinți întregi, este $\psi = 2\pi n Z_2 / Z_1$, unde $n = 0, 1, 2, 3 \dots$.

Coordonatele profilului generat al dintelui E_{10} se află pe sferă, cu centrul $O_0 (0, 0, 0)$, iar pentru proiectarea lui pe planul normal al dintelui, scriem sistemul de ecuații

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \\ \frac{x}{x_{et}} = \frac{y}{y_{et}} = \frac{z-t}{z_{et}-t} \end{cases} \quad (5.7)$$

Profilul dinților proiectat de pe sferă pe planul normal P_1 se descrie prin ecuațiile:

$$Y_{EP} = [(BZ_{E1} - CY_{E1})n_x + (CX_{E1} - AZ_{E1})n_y + (AY_{E1} - BX_{E1})n_z] / [(BZ_E / Y_E - C)n_x + (CX_E - AZ_E)n_y / Y_E + (A - BX_E / Y_E)n_z]; \quad (5.8)$$

$$X_{EP} = Y_{EP} X_E / Y_E; \quad (5.9)$$

$$Z_{EP} = Y_{EP} Z_E / Y_E, \quad (5.10)$$

unde: Y_{E1} și $C = Z_{E2} - Z_{E1}$; $A = X_{E2} - X_{E1}$, $B = Y_{E2} - Y_{E1}$, $C = Z_{E2} - Z_{E1}$.

Profilul generat al dinților, plasat (descriș) pe sferă, se proiectează pe planul normal al dinților $P=f(p)$ prin ecuațiile:

$$\begin{aligned} (E_1 E_2)^2 &= (X_{E2} - X_{E1})^2 + (Y_{E2} - Y_{E1})^2 + (Z_{E2} - Z_{E1})^2; \\ v^2_1 &= (X_{EP} - X_{E1})^2 + (Y_{EP} - Y_{E1})^2 + (Z_{EP} - Z_{E1})^2; \\ v^2_2 &= (X_{EP} - X_{E2})^2 + (Y_{EP} - Y_{E2})^2 + (Z_{EP} - Z_{E2})^2; \\ p_{En} &= [(E_1 E_2)^2 + v^2_1 - v^2_2] / 2(E_1 E_2); \\ P_{En} &= (v^2_1 - p^2)^{1/2}. \end{aligned} \quad (5.11)$$

Profilul generat al dintelui proiectat pe plan se determină prin funcția $P_E = f(p_{En})$, iar proiecția traiectoriei centrului conturului generator al sculei se descrie prin:

$$\begin{aligned} Y_{DP} &= [(BZ_{E1} - CY_{E1})n_x + (CX_{E1} - AZ_{E1})n_y + (AY_{E1} - BX_{E1})n_z] / \\ & [(BZ_D / Y_D - C)n_x + (CX_D - AZ_D)n_y / Y_D + (A - BX_D / Y_D)n_z]; \\ X_{DP} &= Y_{DP} X_D / Y_D; \\ Z_{DP} &= Y_{DP} Z_D / Y_D; \\ (E_1 E_2)^2 &= (X_{E2} - X_{E1})^2 + (Y_{E2} - Y_{E1})^2 + (Z_{E2} - Z_{E1})^2; \\ s^2_1 &= (X_{DP} - X_{E1})^2 + (Y_{DP} - Y_{E1})^2 + (Z_{DP} - Z_{E1})^2; \\ s^2_2 &= (X_{DP} - X_{E2})^2 + (Y_{DP} - Y_{E2})^2 + (Z_{DP} - Z_{E2})^2; \\ p_D &= [(E_1 E_2)^2 + s^2_1 - s^2_2] / 2(E_1 E_2); \\ P_D &= (s^2_1 - p^2)^{1/2}. \end{aligned} \quad (5.12)$$

Traietoria mișcării centrului conturului generator al sculei se determină cu funcția $P_D = f(p_{Dn})$.

Prin metoda grafică, pentru parametrii constructivi ai roții fabricate $Z_1 = 24$, $Z_2 = 25$, $\theta = 2.5^\circ$, $\delta = 22.5^\circ$, $\beta = 3.83^\circ$, $R = 75$ mm, cercetăm următoarele valori ale avansurilor axiale s_z : 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.1 mm (figurile 5.3, 5.4). Analiza graficului din figura 5.3 demonstrează că lungimea liniei de contact a sculei cu profilul

generat este maximă la piciorul dintelui și descrește, devenind minimă la vârful acestuia.

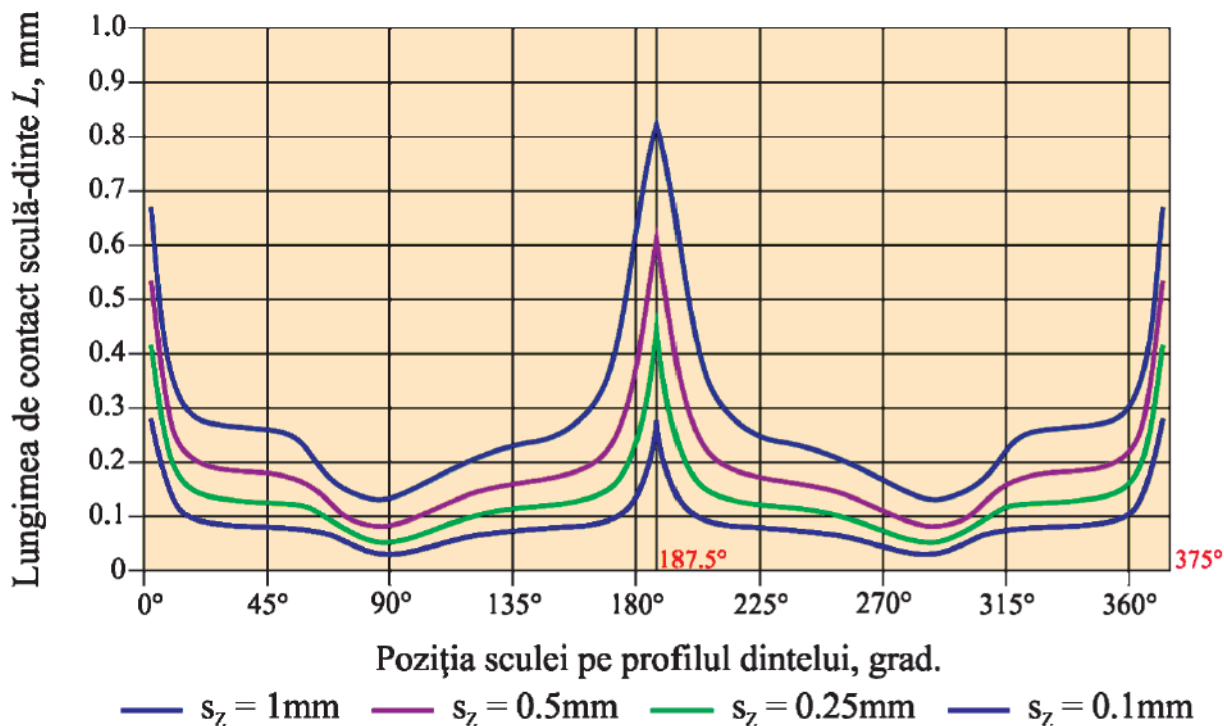


Fig. 5.3

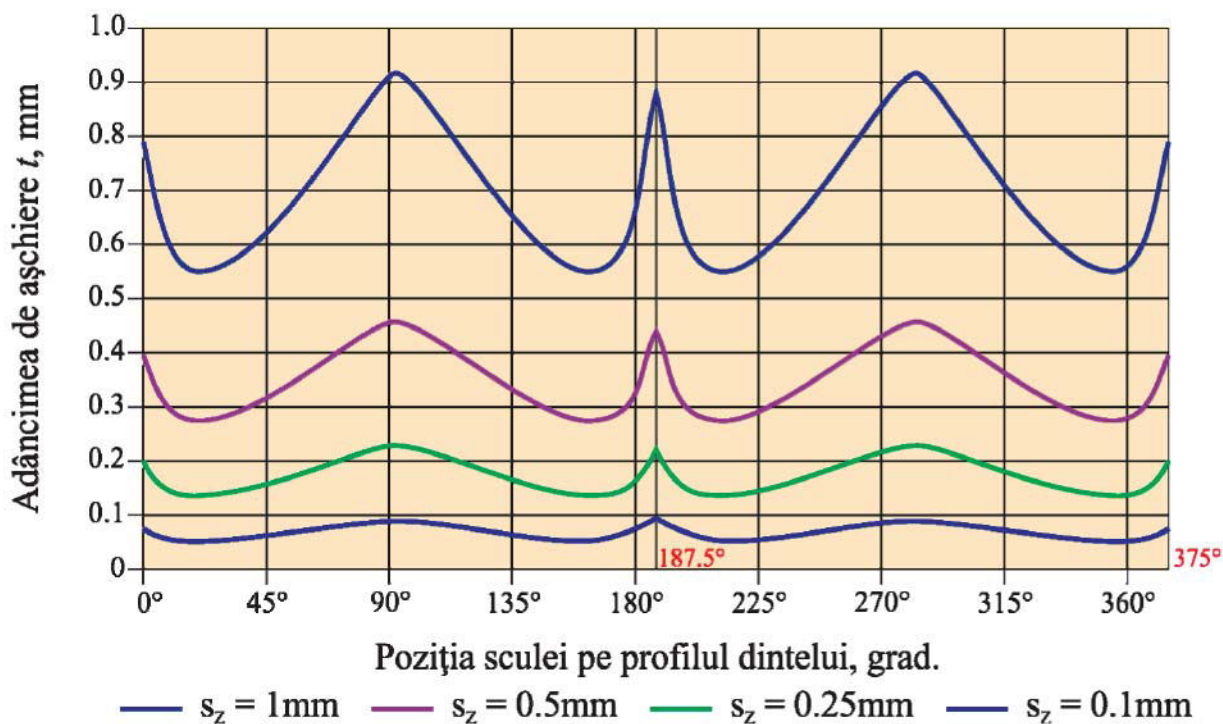


Fig. 5.4

5.3. Variația secțiunii transversale teoretice a așchilor dintre sculă și roata dințată

Procesul de rectificare se deosebește de cel cu sculă cu o muchie așchietoare prin aceea că așchiera adaosului se realizează nu numai de o muchie, ci de o mulțime de muchii așchietoare. Mulțimea dată este limitată de dimensiunea granulelor abrazive ale discului, totodată, sub acțiunea forței axiale în zona de contact pe toată înălțimea discului (ori a porțiunii de lucru), așchiază simultan mai multe granule, care se includ în metal la o adâncime mai mică în comparație cu procedeul de așchiere cu o singură muchie așchietoare].

În funcție de forța de așchiere P_y variază și arcul de contact al sculei cu roata dințată (figura 5.2). La 1 mm de lungime a discului se va schimba și numărul de granule care simultan se află în contact cu piesa. De exemplu, odată cu sporirea forței axiale, simultan cu adâncirea granulelor în metal se schimbă și suprafața zonei de contact ca urmare a majorării arcului. Deci, simultan cu mărirea arcului de cerc sporește și numărul n al granulelor abrazive, până când la suprafața sumară a secțiunii de abrazare de la toate granulele care se află în contact nu vor echilibra sarcina exterioară. Atunci când $F_c = ts$ (de la un grăunte) și de la sumara $\Sigma F_c = tsn$, lucrul efectuat de disc va avea forma:

$$\sum F_c = \frac{P_y}{k_1 \sigma_i} - k_2 l_3(t) sn, \quad (5.13)$$

unde: k_1 – coeficientul în care se ia în considerație raportul tensiunilor de contact în direcția acțiunii forței P_y pentru geometria dată; k_2 – coeficientul în care se ia în considerație raportul tensiunilor de contact ce acționează sub plăcuța de contact în direcția acțiunii forței P_y ; σ_i – intensitatea stării tensionate la viteza de deformare și temperatura dată (rezistența deformării plastice).

Creșterea P_y va conduce la majorarea corespunzătoare a suprafeței de contact a granulelor sumare, care se găsesc simultan în contact. Dacă suprafața de contact crește de două ori, atunci numărul granulelor de asemenea se majorează de două ori.

Totodată, tocirea granulelor trebuie să se mărească tot de aproximativ două ori (deoarece acrul de cerc se majorează de două ori). Deci, suprafața sumară de așchiere de la toate granulele la o sarcină majorată va crește de patru ori (la $s = const$). Așadar, mărirea grosimii de așchiere t de la un grăunte rămâne în urmă de creșterea P_y . Se poate prognoza că odată cu mărirea arcului de contact va apărea o valoare critică a lui t mai mare decât această valoare. Grosimea de așchieru va crește, deoarece granulele precedente vor lăsa celor din urmă o parte de metal neașchiat și, în acest caz, varierea arcului de cerc (cu creșterea P_y) va cauza majorarea ΣF_c doar în urma creșterii simultane în zona de contact al granulelor (la $t_{max} = const$). Se constată că valoarea t va varia la rectificarea de la 0 până la t_{max} . Această valoare depinde de granulația discului, de duritate și structură (distanța dintre granulele așchietoare). Studiarea așchiilor la microscopul *Vega TS 5130* permite a determina că la o granulație de 25-50, la diferite forțe radiale, t variază de la 5 la 7 μm .

Determinarea productivității la rectificarea după formula (5.13) este incomodă și complicată față de [1, 17] pentru cazul prelucrării cu un singur tăiș, din cauza variației celor trei componente ale suprafeței sumare de așchiere (t , s și mai ales n).

Pentru a elabora modelul fizic de calcul al procesului de rectificarea, este necesar a lua în considerație prelucrarea simultană a metalului cu mai multe granule în zona de contact cu discul ori a examina o schemă plană de așchiere cu un singur grăunte cu acțiunea forței care revine la 1 mm de lungime convențională a muchiei așchietoare. În realitate, muchia grăuntelui este cu mult mai mică.

La rectificarea și frezare pentru diferite adâncimi de așchiere t în direcția verticală a mașinii-unelte, condițiile de prelucrare a profilului roților dințate conice cu profil nestandardizat sunt diverse. Studiind schema de prelucrare (figurile 5.1 și 5.2), se observă că cele mai favorabile condiții se creează la vârful dintelui când scula trece din poziția 2 în poziția 3.

Secțiunea transversală a așchiilor dintre sculă și profil se micșorează. În cazul dat este cercetat dintelul cu forma convex-concavă. Pentru a cerceta secțiunea transversală a așchiilor, vom aplica ecuațiile ce descriu forma

profilului pentru diferite adâncimi de aşchiere t [54, 57, 58, 59, 63, 66, 72]. Suprafaţa secţiunii transversale se determină prin relaţia (5.14):

$$S = V \cdot L \text{ [mm}^2\text{/min]}, \quad (5.14)$$

unde: V – viteza tangenţială la profil, mm/min.; L – lungimea liniei de contact, mm.

În figura 5.5 este reprezentată dependenţa variaţiei vitezei tangenţiale la profil.

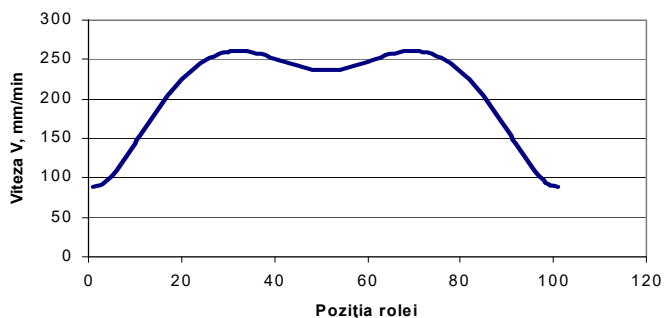


Fig. 5.5

Folosind metoda grafică pentru parametrii constructivi $R = 75 \text{ mm}$, $\delta = 22.5$, $\theta = 2.45$, $\beta = 3.83$ şi pentru adâncimile 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,1 mm, se obţin graficele din figurile 5.6 şi 5.7.

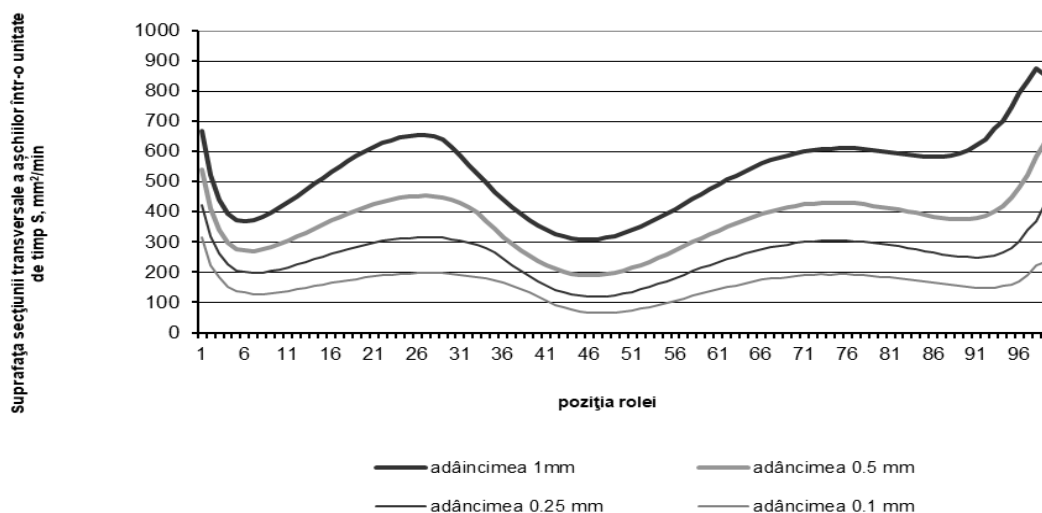


Fig. 5.6

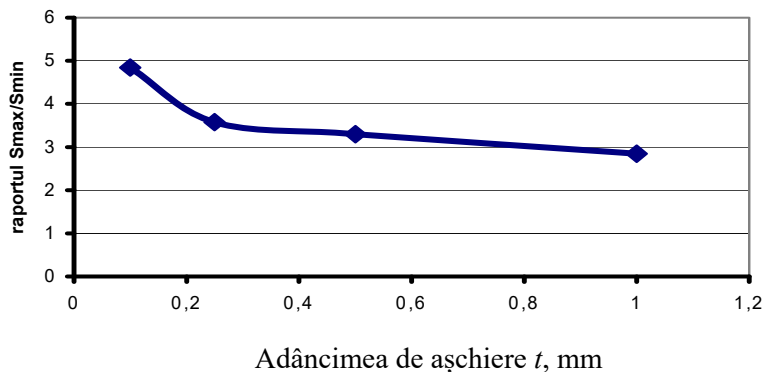


Fig. 5.7

La examinarea graficelor variaţiei secţiunii transversale a aşchilor se observă că scula este încărcată maximal la fundul dintelui şi este asemănătoare procesului de rectificare interioară (poziţiile 1–20 şi 75–100) şi

constituie aproximativ 40-45% din lungimea totală a dintelui. În pozițiile 20-37 și 61-75, sculei i se atribuie procesul de rectificare plană și ea constituie aproximativ 30-35%. Restul drumului (vârful dintelui), scula va lucra în proces de rectificare exterioară, cu suprafața mică a secțiunii transversale a așchiilor.

Așadar, regimurile de așchiere pentru rectificarea roților dințate conice cu profil nestandardizat vor fi alese pentru condițiile de rectificare conică interioară.

5.4. Descrierea analitică a poligonalității profilului format în procesul de generare cu sculă în formă de disc

Vom examina schema generării profilului convex-concav prin rectificare conform metodei expuse în p. 5.1. În figura 5.1 este prezentată schema de formare a suprafeței danturii conice cu profil convex-concav cu sculă în formă de discprofilat la periferie în arc de cerc. În figura 5.8 este prezentată schema formării poligonalității profilului dintelui generate la i/z_2 cicluri de precesie a sculei și i deplasări complete alternative („du-te-vino”) a acesteia în direcția spre centrul de precesie, unde: z_2 este numărul de dinți ai roții fabricate, i – numărul curselor de deplasare alternativă (du-te-vino) a sculei pe direcția spre centrul de precizie la generarea a Z_2 dinți ai danturii.

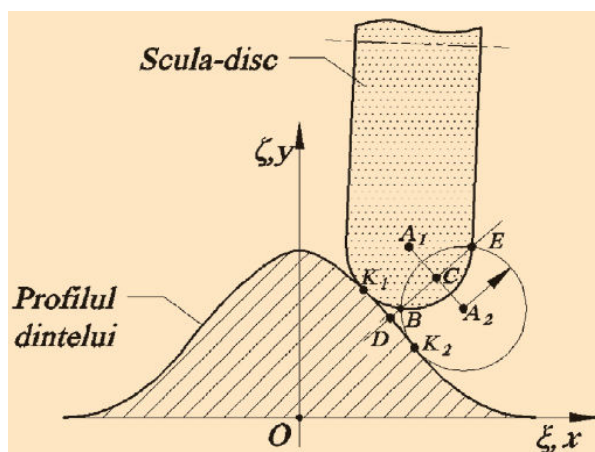


Fig. 5.8

Mișcările sferospațială și alternativă (du-te-vino) ale sculei sunt coordonate între ele, astfel încât punctele de contact K_1, K_2 (sculă-profil) în mișcarea lor evolutivă să fie plasate pe profilul dinților, descris și cu ecuațiile parametrice (5.3).

În procesul de generare a profilului dinților, coordonarea mișcărilor sculei trebuie să asigure următoarele condiții: când centrul conturului generator al sculei (central razei de curbura a profilului periferic) se plasează în punctual A_1 , scula contactează cu profilul dintelui în punctul K_1 ; după o deplasare completă de du-te-vino a sculei, aceasta contactează cu profilul dintelui în punctul K_2 .

Poligonalitatea profilului generat în secțiunea normală și pe lungimea dintelui depinde așadar de cinematica procesului de generare, exprimată prin coraportul i și z_2 .

Pentru determinarea poligonalității trebuie determinat segmentul DB , format în timpul unei deplasări alternative (du-te-vino) a sculei, lungimea căruia reprezintă calitatea suprafeței generate. Valoarea maximă a poligonalității predomină în zona trecerii formeii profilului din concavă în convexă, localizată în vecinătatea vârfului dintelui.

Valoarea și varierea poligonalității profilului depind de următorii factori:

- forma geometrică a dintelui (în diferite zone ale dintelui poligonalitatea este diferită);
- precizia lanțului cinematic al mașinii-unelte prin care se realizează interacțiunea sculei cu semifabricatul;
- precizia mecanismelor de poziționare a sculei și stabilitatea dinamică a mașinii-unelte.

Pentru determinarea analitică a segmentului DB , ne conducem de geometria contactului sculei generatoare cu profilul creat, prezentată în figura 5.8. În acest scop, determinăm coordonatele punctelor-reper, care geometric reprezintă interacțiunea sculei în mișcare cu profilul generat.

Inițial, scriem ecuația circumferinței cu rază r plasată în punctul A_1 :

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r^2; \quad (5.15)$$

și ecuația aceleiași circumferințe cu centrul deplasat în punctul A_2 :

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r^2; \quad (5.16)$$

Egalând ecuațiile 3.15 și 3.16, obținem:

$$\begin{aligned} x^2 - 2xx_1 + x_1^2 + y^2 - 2yy_1 + y_1^2 &= x^2 + x_2^2 - 2xx_2 + y^2 + y_2^2 - 2yy_2; \\ 2y(y_2 - y_1) &= x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 + 2x(x_1 - x_2); \end{aligned} \quad (5.17)$$

$$y = Ax + B,$$

$$\text{unde: } A = \frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1}, B = \frac{x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2}{2(y_2 - y_1)}.$$

În continuare determinăm coordonatele punctelor B și E de intersecție a conturilor generatoare ale sculei cu centrele în A_1 și A_2 . Operând o serie de transformări, obținem:

$$(x - x_1)^2 = r^2 - (Ax + B - y_1)^2; \quad (5.18)$$

$$X_B = \frac{-b - \sqrt{b^2 - c(A^2 + 1)}}{A^2 + 1};$$

$$X_E = \frac{-b + \sqrt{b^2 - c(A^2 + 1)}}{A^2 + 1};$$

$$\text{unde: } y = Ax + B; A = \frac{x_2 - x_1}{y_1 - y_2}; B = \frac{x_1^2 - y_1^2 - x_2^2 - y_2^2}{2(y_1 - y_2)};$$

$$y_E = Ax_E + B. \quad (5.19)$$

Punctul C are coordonatele:

$$x_c = \frac{x_B + x_E}{2}; y_c = \frac{y_B + y_E}{2}. \quad (5.20)$$

Pentru determinarea coordonatelor punctului D , scriem ecuația dreptei BE :

$$y = Ax + B = \frac{8}{9}x + \frac{61}{36} = \frac{32}{36}x + \frac{61}{36}; \quad (5.21)$$

$$DB = DC - BC;$$

$$x = \frac{d - \sqrt{d^2 - (A^2 + 1)e}}{A^2 + 1}, \quad (5.22)$$

$$\text{unde: } d = x_c - A(B - y_c); e = (B - y_c)^2 - r^2 + x_c^2;$$

$$(x_D - x_c)^2 + (y_D - y_c)^2 = r^2. \quad (5.23)$$

Determinăm lungimea segmentului BC :

$$BC = \sqrt{(x_c - x_B)^2 + (y_c - y_B)^2};$$

$$DB = DC - BC.$$

În procesul de generare a dintelui, punctul de contact sculă–profil K_I se deplasează pe profil. Admitem ca punctul K_I coincide cu D , care aparține atât profilului, cât și sculei, conturul generator al căreia efectuează o mișcare sferospațială cu un punct fix. Punctul D de pe sculă descrie o traiectorie, pe care o prezentăm în coordonate

parametrice, conform formulelor (5.2):

$$\begin{aligned} X_D &= X_D(\Psi), \\ Y_D &= Y_D(\Psi), \\ Z_D &= Z_D(\Psi), \end{aligned}$$

unde Ψ reprezintă unghiul de rotire a arborelui-manivelă a mecanismului de comunicare sculei a mișcării sferospațiale și este în funcție de timpul t :

$$\Psi = \omega t, \quad 0 \leq \Psi \leq \frac{Z_2}{Z_1} 2\pi \text{ rad.}$$

Coordonatele punctului D în mișcarea sferospațială a sculei sunt următoarele:

$$Z_D = -R \cos \delta \cos \left(\frac{Z_1}{Z_2} \Psi \right) \sin \theta - R \sin \delta \cos \theta; \text{ este funcție de timp } t:$$

$$Z_D(\Psi = 0) = -R \cos \delta \sin \theta - R \sin \delta \cos \theta = R [\sin \theta \cos \delta + \cos \theta \sin \delta] = -R \sin(\delta + \theta);$$

$$Z_D \left(\Psi = \frac{Z_2}{Z_1} 2\pi \right) = -R \cos \delta \cos \left(\frac{Z_1}{Z_2} \frac{Z_2}{Z_1} 2\pi \right) \sin \theta - R \sin \delta \cos \theta = -R \sin(\delta + \theta);$$

$$\Psi_1^0 = \frac{Z_2}{Z_1} (i-1); \quad 0 \leq \Psi_1 \leq \frac{Z_2}{Z_1} 360^\circ; \quad i=1,2,\dots,361. \quad (5.24)$$

Profilul dintelui prezentat în figura 5.8 este proiectat în secțiunea lui transversală, cu plasarea centrului conturului generator al sculei A_1 în aceeași secțiune. Proiectarea profilului dintelui în secțiunea lui transversală a fost efectuată prin metodologia descrisă în p. 5.1. Conform metodologiei menționate, traiectoria mișcării centrului conturului generator al sculei și profilul dintelui au fost descrise prin ecuații parametrice pe sferă, mai apoi au fost proiectate în plan perpendicular pe dinte. În mod analogic notăm A_1 și A_2 – două puncte pe traiectoria descrisă de central conturului generator al sculei pe planul III (transversal) al dintelui, perpendicular pe planul OE_1E_2 , unde O este centrul precesiei, E_1 și E_2 – puncte de picior a doi dinți vecini de pe sfera cu rază R cu centrul în punctul O ; r – raza conturului generator al sculei; B și E – punctele de intersecție a conturilor generatoare ale sculei cu rază r (cu centrele în punctele A_1 și A_2). Cu D notăm punctul comun al sculei și dintelui plasat pe dreapta BE la distanța $CD = r$.

Introducem notațiile (figura 5.8):

$$x = \xi_1, \quad y = \zeta_1. \quad (5.25)$$

Notăm coordonatele punctelor A_1 și A_2 cu x_1, y_1 , respectiv x_2, y_2 . Valorile coordonatelor pot fi exprimate ca funcții ale Ψ . La generarea unui dinte, unghiul Ψ variază în limitele 0 și $2\pi \frac{Z_2}{Z_1}$, unde Z_1 și Z_2 sunt numerele de dinți

ai roților angrenajului aflate real în angrenaj, deci:

$$0 \leq \Psi_1 \leq \frac{Z_2}{Z_1} 2\pi. \quad (5.26)$$

În continuare, scriem ecuațiile conturilor generatoare ale sculei (în formă de cercuri), considerând coordonatele centrelor lor în punctele A_1 și A_2 :

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r^2;$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r^2. \quad (5.27)$$

și determinăm coordonatele punctelor B și E de intersecție a conturilor generatoare ale sculei:

$$x^2 - 2xx_1 + x_1^2 + y^2 - 2yy_1 + y_1^2 = x^2 - 2xx_2 + x_2^2 + y^2 - 2yy_2 - y_2^2;$$

$$y = Ax + B,$$

$$(x - x_2)^2 + (Ax + B - y_2) - r^2 = 0;$$

$$\text{unde: } (A^2 + 1)x^2 + 2bx + c = 0, \quad (5.28)$$

$$\text{unde: } b = A(B - y_1) - x_1, \quad c = x_1^2 + (B - y_1)^2 - r^2.$$

$$A = \frac{x_2 - x_1}{y_1 - y_2}, \quad B = \frac{x_1^2 - y_1^2 - x_2^2 - y_2^2}{2(y_1 - y_2)}.$$

$$x_b = \frac{-b - \sqrt{b^2 - c(A^2 + 1)}}{A^2 + 1};$$

$$x_e = \frac{-b + \sqrt{b^2 - c(A^2 + 1)}}{A^2 + 1}; \quad (5.29)$$

$$y_B = A * X_B + B;$$

$$y_E = A * X_E + B. \quad (5.30)$$

Utilizând coordonatele punctului C :

$$x_c = \frac{x_b + x_e}{2}, \quad y_c = \frac{y_b + y_e}{2}, \quad (5.31)$$

determinăm coordonatele punctului D , din sistemul de ecuații:

$$\{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2;$$

$$\{y = Ax + B.$$

$$x^2 - 2x * x_c + x_c^2 + (-y_c + Ax + B)^2 = r^2;$$

$$(A^2 + 1)x^2 - 2d * x + e = 0,$$

$$\text{unde: } d = x_c - A(B - y_c); \quad e = (B - y_c)^2 - r^2 + x_c^2.$$

$$x_D = \frac{d - \sqrt{d^2 - (A^2 + 1)e}}{A^2 + 1},$$

$$y_d = A * x_d + B. \quad (5.32)$$

Pentru determinarea poligonalității profilului exprimat în lungimea segmentului BD , determinăm mai întâi lungimea segmentului BC :

$$BC = \sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2}, \quad (5.33)$$

apoi lungimea segmentului BD , ce reprezintă înălțimea rugozităților formate de sculă în procesul de rectificare:

$$BD = r - BC. \quad (5.34)$$

Procesul de rectificare se desfășoară prin deplasarea alternativă (du-te-vino) a sculei de-a lungul dintelui, cu rotirea concomitentă a semifabricatului la unghiul $\Delta\theta$:

$$\Delta\theta = \frac{2\pi}{zN}, \quad (5.35)$$

unde: z – numărul de dinți ai roții-semifabricat; N – numărul de curse duble ale sculei la generarea profilului.

Timpul unui ciclu poate fi determinat prin relația:

$$\tau = \frac{1}{zNn_k}; \quad (5.36)$$

unde n_k este frecvența de rotire a mesei mașinii-unelte coordonate cu cursele duble ale sculei.

Timpul unui ciclu du-te-vino al sculei mai poate fi determinat și prin drumul parcurs și viteza deplasării acesteia:

$$\tau = \frac{l}{S_1} + \frac{l}{S_2}, \quad (5.37)$$

unde l – drumul parcurs de-a lungul dintelui, determinat conform [342] prin relația:

$$l = B + (3+10)mm, \quad (5.38)$$

unde: B – lungimeadintelui; S_2 – viteza rectilinie de deplasare a sculei în poziția inițială.

Astfel, din egalitatea expresiilor timpului ciclurilor du-te-vino ale sculei, obținem:

$$\frac{1}{zN_k} = \frac{(S_1 + S_2)}{(S_1 \cdot S_2)}, \quad (5.39)$$

de unde: $N = \frac{S_1 \cdot S_2}{z \ln_k(S_1 + S_2)},$

unde $k = 1, 2, 3, \dots$ este numărul de dinți rectificați.

Utilizând expresia n_k , aflăm numărul de curse la care se obține poligonalitatea respectivă:

$$n_k = \frac{S_1 \cdot S_2}{N_x IK(S_1 + S_2)}. \quad (3.40)$$

5.5. Elaborarea sistemului tehnologic de generare a danturilor cu mișcare sferospațială a sculei în formă de disc

Tehnologia de generare a profilurilor convex-concave cu sculă precesională în formă de trunchi de con, descrisă în [1, 3, 4, 25-32], nu poate fi utilizată pentru crearea profilurilor roților conice cu diametrul mai mic de 80–100 mm din cauza micșorării dimensiunilor sculei abrazive.

Dezavantajul acestui procedeu în cazul rectificării profilurilor constă și în uzarea neuniformă a sculei abrazive pe lungimea ei, fapt ce provoacă formarea ridurilor perpendiculare pe axa dintelui, apariția arsurilor și microfisurilor – toate acestea conduc la scăderea calității suprafeței prelucrate.

Procedeul de generare a danturilor conice cu sculă în formă de disc urmărește scopul de a înlătura dezavantajele menționate și de a asigura fabricarea roților cu dimensiuni mici.

Procedeul (figura 5.1) constă în comunicarea sculei în formă de disc a unei mișcări sferospațiale cu un punct fix, care ar imita mișcările relative la angrenarea dinților în angrenajul precesional real. Mișcările transmise sculei urmează a fi coordonate în raport cu un sistem mobil de coordonate ($X_l Y_l Z_l$) și cu unul fix (X, Y, Z), originea cărora să fie plasat pe axa mesei mașinii-unelte și să coincidă cu central mișcării sferospațiale.

Pentru realizarea tehnologiei de generare a danturilor cu mișcare sferospațială a sculei în formă de disc

descrise în p. 5.1, a fost elaborat dispozitivul prezentat în figura 5.9, care conține un corp 1 cu un element de reazem executat în formă de semicilindru pentru rezemarea lui în lăcașul mașinii-unelte, traversa 2 prinsă prin buloane de corpul 1, arborele-manivelă 3 pe care este montat balansierul 4, brațul reglabil 5. Așezarea simetrică a brațului se asigură prin intermediul unei pene prismatice 6. Scula 7 împreună cu mecanismul de acționare constructiv sunt legate cu brațul 5, cu asigurarea posibilității varierii unghiului de poziționare a sculei ($\beta + \delta$) (figura 5.9). Schema cinematică a dispozitivului a fost elaborată astfel, încât axele fixă Z și mobilă Z_1 ale arborelui-manivelă 3 să se intersecteze într-un punct (central mișcării sferospațiale) amplasat pe axa semifabricatului 9. Totodată, balansierul 4 este legat cu sistemul mobil de coordonate $OX_1Y_1Z_1$, corpul 1 – cu sistemul imobil de coordonate $OXYZ$, axa arborelui-manivelă 3 coincide cu axa Z_1 , iar axa de rotire a semifabricatului 9 – cu axa Z .

La rotirea arborelui-manivelă 3, balansierului 4 și sculei 1 li se comunică o mișcare sferospațială în jurul punctului O de intersecție a axelor fixă și mobilă ale arborelui-manivelă 3, denumit *centru de precesie*. Totodată, cu ajutorul mecanismului 10, sculei i se comunică o mișcare alternativă du-te-vino spre centrul de precesie, astfel încât punctul de contact al sculei cu profilul dintelui să coincidă cu generatoarele suprafețelor flancurilor dinților. Mecanismul 10 cu acționare electromecanică sau pneumatică, la rândul său, deplasează căruciorul 11, pe care se instalează scula 7 cu mecanismul său de acționare (care poate fi un electromotor sau o turbină de turație mare). Pentru o deplasare rectilinie corectă, căruciorul 11 este instalat pe ghidaje.

Balansierul oscilant este limitat de rotirea în jurul propriei axe geometrice și execută doar oscilații în jurul axei Y a sistemului de coordonate fix $OXYZ$ cu unghiul Θ . Aceasta se asigură prin blocarea balansierului cu ajutorul unui mecanism 12 de legătură cinematică, ce realizează încă o funcție – comunică sculei 7 o mișcare auxiliară, descrisă de unghiurile Euler Θ și Ψ . Varierea unghiului $\beta + \delta$ de înclinare a sculei 7 se asigură prin rotirea unui tub filetat 13, care permite varierea poziționării unghiulare a căruciorului 11.

Prelucrarea abrazivă se realizează cu ajutorul sculei 7 (figura 3.10), formate din trei discuri abrazive 14, 15, 16, profilate astfel încât interstițiul dintre ele să fie variabil. Discurile sunt așezate pe un dorn 17, distanțate de șaibe 18 și prinse cu o piuliță 19. Scula 7 primește o mișcare de rotație de la un motor (pe figuri nu este prezentat). Discurile sunt amplasate sub un unghi mai mare decât unghiul de nutație Θ . O astfel de construcție a sculei 7 ne permite să asigurăm la prelucrare o mișcare a granulelor abrazive în direcția axei sculei. Zona de așchiere la o rotație a acesteia își schimbă poziția, adică la o rotație a sculei 7 cu discurile abrazive 14, 15, 16 toate punctele periferice ale zonelor de așchiere execută o mișcare de-a lungul axei de rotire a sculei 7.

Datorită acestei mișcări a muchiilor așchietoare ale discurilor 14, 15, 16, are loc o rectificare cu întrerupere în timp, fapt ce conduce la micșorarea temperaturii în zona de așchiere față de cea tradițională.

În procesul de rectificare cu o asemenea sculă nu apar arsuri și microfisuri. Unghiul de înclinare a discurilor 14, 15, 16 permite să sporim numărul granulelor abrazive care participă la așchiere.

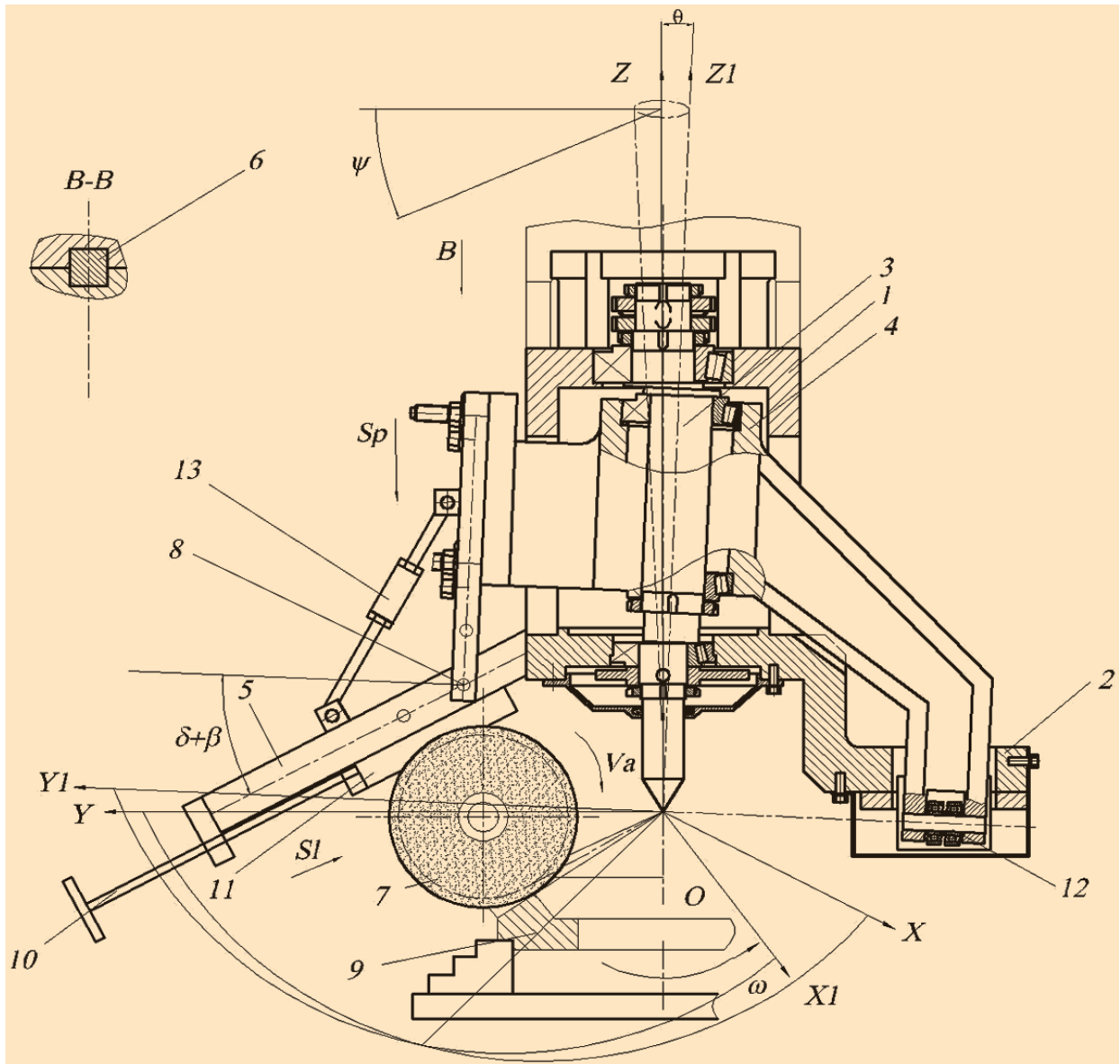


Fig. 5.9

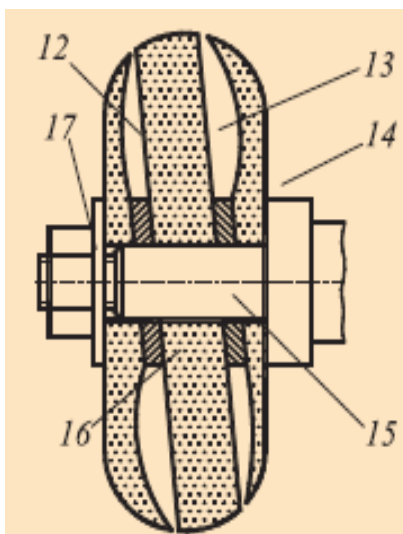


Fig. 5.10

Productivitatea unui astfel de procedeu de rectificare este de 2-5 ori mai mare decât a celui obișnuit. În același timp, uzura sculei abrazive 7 se reduce cu 30%.

La rectificarea tradițională, la așchiere participă cca 5–15% din granule, iar în cazul rectificării cu scule (figura 5.9), numărul acestora crește considerabil, în funcție de unghiul de înclinarea discurilor 14, 15, 16. Discurile laterale 14, 16 sunt fabricate pe baza unui liant de vulcanit sau cauciuc.

Părțile flexibile ale discurilor, indiferent de forța normală pe semifabricat, lucrează în condiții de presiuni variabile.

În cazul în care scula efectuează mișcarea de precizie, elementele flexibile contactează consecutiv cu profilul dintelui, prelucrându-l alternativ din diferite părți. La așchiera combinată cu deplasarea granulelor în direcție longitudinală și axială, se formează o rețea de urme și un microrelief analogic celui de la rectificarea cu mișcări vibratoare.

În figura 5.10 a), b), c) este prezentat discul abraziv ale cărui muchii aşchietoare alestratului abraziv au o lungime variabilă de la o secţiune la alta. Proeminenţele au o lungime aşchietoare diferită în fiecare secţiune a discului, definită de relaţia:

$$l_i = \frac{2\pi Dz}{z_{\max} n},$$

unde D este diametrul discului abraziv; z_i – mărimea adaosului din piesa prelucrată, înlăturat de către o proeminenţă; Z_{\max} – mărimea maximă a adaosului înlăturat din piesă; n – numărul par de proeminenţe aşchietoare pe disc; l_i – lungimea curbei proeminenţei aşchietoare a profilului discului.

Uzura sculei cu o astfel de formă a muchiilor aşchietoare nu modifică profilul discului, deci, decade necesitatea profilării acestuia. Prin urmare, creşte productivitatea procesului, scad cheltuielile legate de profilare şi de costul prelucrării.

Conform figurii 5.11, scula 7 este compusă din corpul 20, cu un strat care conţine abrazivi, cu muchii

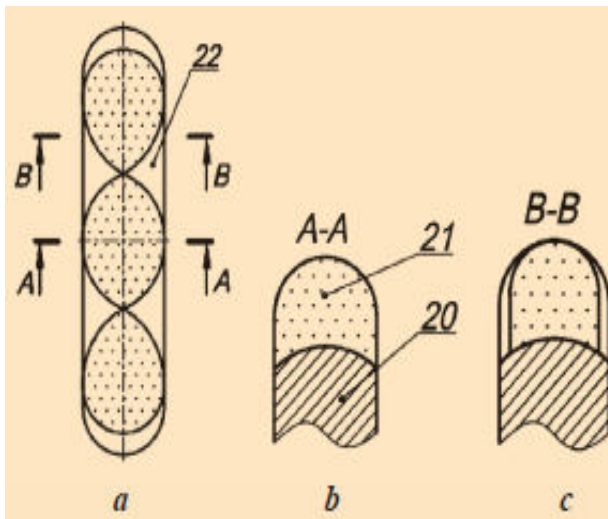


Fig. 5.11

aşchietoare 21 urmate de adâncituri 22. Deoarece muchiile aşchietoare 21 se rânduiesc cu adânciturile 22, a căror lungime este direct proporţională cu valoarea adaosului înlăturat, lucrul specific efectuat, ce revine uneigrăunte abraziv, este acelaşi pe toate muchiile. Datorită acestui fapt, stratulabraziv se uzează uniform, se păstrează neschimbat profilul discului şi nu apare necesitatea de a fi reprofilat. Datorită adânciturilor 22, zona de aşchiere de pe suprafaţa discului se răceştemai bine şi se îndepărtează mai eficient produsele apărute în urma procesului deaşchiere.

În figura 5.12 este prezentat discul abraziv, pe

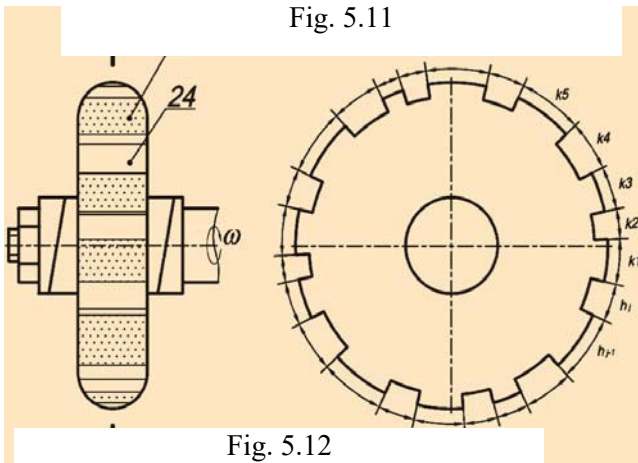


Fig. 5.12

suprafaţa de lucru a căruia sunt executate muchii aşchietoare 23 şi adâncituri 24 (proeminenţe), repartizate pe cerc cu pas neuniform. Această sculă îşi păstrează dimensiunile datorită micşorării temperaturii din zona de contact şi este mai puţin vulnerabilă trepidaţiilor radiale alediscului.

Scăderea temperaturii în zona de contact se datorează raportului uniform al lungimii muchiilor aşchietoare ($k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$) cu adânciturile ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$), adică unde n este un număr par de adâncituri de pe o jumătate din discul abraziv.

Scula din figura 5.13 conţine discurile abrazive 25, 26, 27 distanţate cu şaibe 28, amplasate pe dornul 29 cu găuri radiale 30. Gaura centrală a dornului este divizată de separatorul 31 în două canale pentru alimentarea zonei de rectificarea cu două amestecuri eterogene de ungere-răcire. Canalele axiale 30 comunică cu găurile radiale 32 şi cu canalele 30, executate pe suprafaţa exterioară a dornului în locurile de montare a discurilor abrazive, iar celelalte 33 comunică prin găurile radiale cu canalele executate pe suprafaţa interioară a alezajului. Discurile abrazive sunt prinse prin şaibe 34 şi piuliţele 35. Discurile

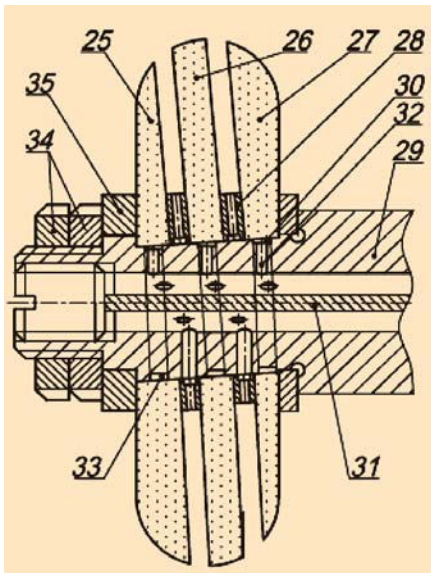


Fig. 5.13

25, 26 și 27 sunt montate pe porțiunea înclinată a dornului sub un anumit unghi față de axa de rotație a acestuia. Asamblarea discurilor cu șabițe între ele cu grosime diferită formează între muchiile așchietoare un interstițiu liniar sau ondulat. La rotirea dornului, muchiile așchietoare ale discurilor efectuează o mișcare cu bătaie axială cu amplitudinea dependentă de unghiul de înclinare a porțiunii dornului și diametrul sculei. Această mișcare influențează substanțial asupra calității suprafeței rectificatoare.

Scula abrazivă reprezentată în figura 5.14 este un ansamblu analogic cu cel din figura 5.13, dar fără interstițiu între discurile 41. Scula abrazivă din figura 5.15 reprezintă un ansamblu format din două discuri abrazive 38, fixate pe corpul 39 cu interstițiul reglabil. Interstițiul liniar se reglează cu grosimea unei șabițe de distanțare.

Scula abrazivă prezentată în figura 5.16 constructiv se deosebește de scula din figura 5.15 doar prin forma ondulatorie a interstițiului format de muchiile de așchiere ale discurilor 40 și 41.

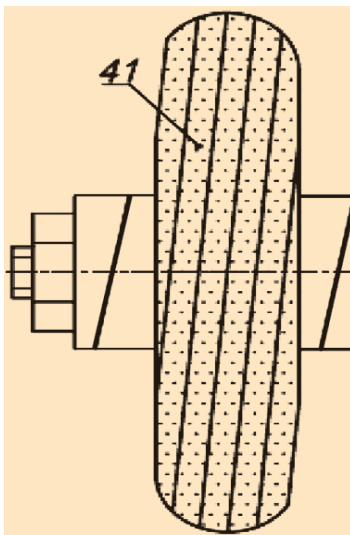


Fig. 5.14

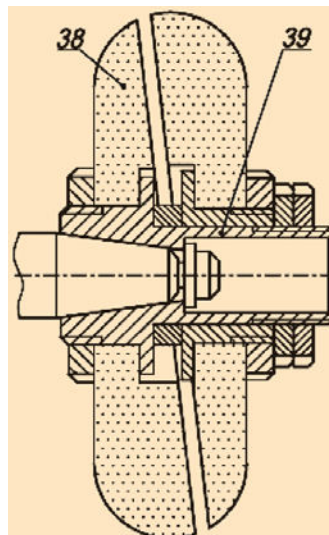


Fig. 5.15

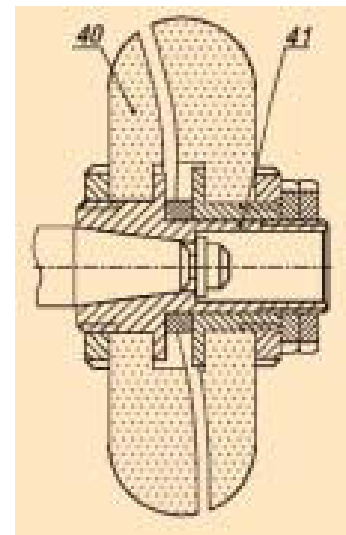


Fig. 5.16

În ambele construcții, unghiul de înclinare a discurilor este mai mare decât unghiul de nutație a mișcării sferospațiale a sculei. Sculele cu interstițiu oscilatoriu contribuie la sporirea vibrostabilității și la micșorarea tensiunii termice a procesului de rectificare. Prin utilizarea oscilației zonei de așchiere prin discuri și întreruperea zonei de rectificare în direcția transversală putem înăspri regimurile de așchiere, spori vibrostabilitatea și micșora tensiunea termică a procesului.

Scula abrazivă din figura 5.16 este un ansamblu format din două discuri abrazive 40 fixate pe un corp 41 cu spațiu liber de formă curbilinie între ele, discurile abrazive sunt așezate sub un unghi mai mare ca unghiul de nutație θ . Pentru realizarea tehnologiei de generare a danturilor prin rectificare cu sculă abrazivă precesională în formă de disc, a fost proiectat și fabricat dispozitivul special, prezentat în figura 5.17 (agregatizat cu mașina-unealtă de danturat modelul 53A30P).

5.6. Descrierea utilajului și a metodei de rectificare a dinților



Fig. 5.17

Prelucrarea profilurilor descrise în [1, 3, 4, 25, 36] prin metoda tradițională, practic, este foarte complicată, fiindcă pentru fiecare relație a parametrilor Θ , δ , β , și z este necesar să se execute scule cu profiluri corespunzătoare. Se știe că asupra formei profilului dinților influențează valoarea unghiului axoidei conice δ , unghiul conicității roților β , unghiul de nutație Θ , numărul dinților roților z_1 , și z_2 și raportul dintre ele. De aceea, a fost propusă metoda care asigură generarea unei mulțimi de profiluri aledinților cu utilizarea aceleiași scule.

Unei rotații a semifabricatului în jurul axei sale trebuie să-i corespundă: n cicluri depline de precesie, efectuate de sculă (unde $n = z_1$ – numărul de dinți ai semifabricatului). Pentru generarea dinților cu modificare longitudinală, sculei i se dă forma hiperboloidului de rotație.

Esența metodei constă în aceea că sculei rotitoare, care are forma hiperboloidului de rotire cu o pânză, discului de rectificat i se comunică o serie de mișcări coordonate față de semifabricatul rotitor. Totodată, suprafața descrisă de partea periferică a sculei față de semifabricatul rotitor reproduce un oarecare corp imaginar, care are forma roții generatoare.

Utilizând lanțul cinematic de rulare al mașinii de danturare a roților dințate, semifabricatul roții dințate și scula se aduc într-o mișcare coordonată – mișcarea de rulare, care reproduce angrenarea roții generatoare cu semifabricatul. La fiecare schimbare elementară a poziției sculei rotitoare în spațiu față de semifabricat, din acesta se scoate o parte din metal. În consecință, suprafața dintelui roții prelucrate se obține ca înfășurătoarea unei serii consecutive de poziții ale periferiei sculei rotitoare față de semifabricat.

Pentru realizarea mișcărilor necesare ale sculei, a fost elaborat dispozitivul [3, 7], care poate fi adaptat la mașinile de danturat mărcile *5K32P*, *53A11*, *53A30P*, *53A50*, *53A80*, *5342*, executate conform clasei de precizie P GO37 8–77.

Vom examina particularitățile acțiunii reciproce a sculei cu dintele roții prelucrate pentru mașina de danturat *53A30P* și dispozitivul pentru ea (figura 5.17). Dispozitivul conține două suprafețe de așezare semicilindrice, una care se instalează în locașul căruciorului tangențial al mașinii de danturat și care, cu ajutorul pătratului de rotire a căruciorului, se instalează în poziția verticală. Prin rotirea pătratului și a manivelei de reglare a distanței dintre axe, suprapunem axa arborelui-manivelă cu axa mesei. În arborele-tijă al căruciorului se instalează axul-prizon al transmisiei fără joc, se fixează în arborele-tijă cu ajutorul coardei.

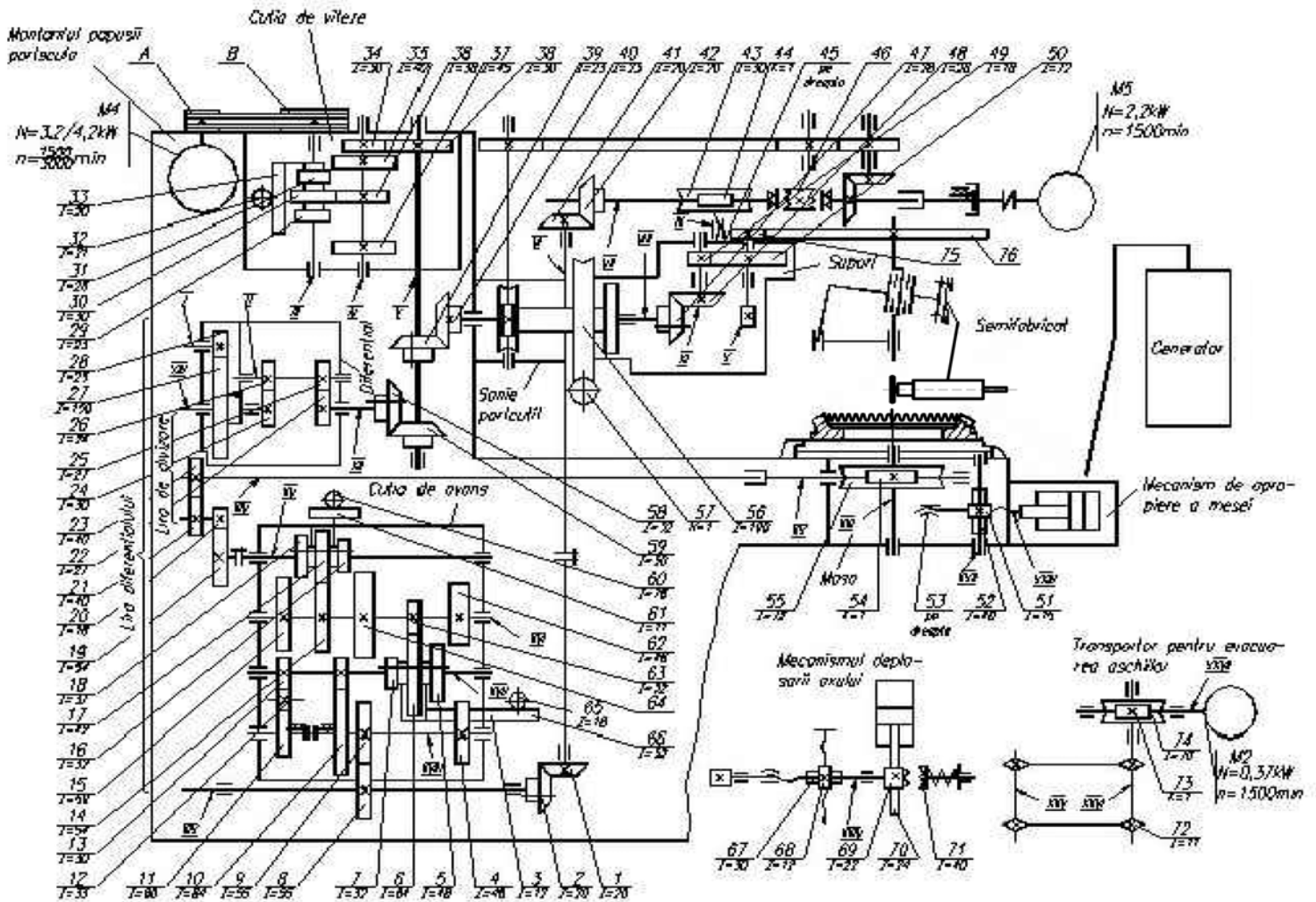


Fig. 5.18

Pentru menținerea strictă a dispozitivului pe axa arborelui-tijă se utilizează a doua suprafață cilindrică efectuată în corp, instalată în locul menținerii dornului sculei.

Corpul dispozitivului se strânge cu ajutorul prizoanelor de corpul căruciorului tangențial al mașinii de danturat.

În [3, 4] s-a stabilit că în transmisiile precesionale 2K-H, mecanismul de legătură al satelitelui cu corpul și mișcarea lui sferică introduc o anumită eroare în poziția arborelui condus, care determină neuniformitatea rotirii lui la rotirea uniformă a arborelui conducător. Acest neajuns se elimină prin metoda de prelucrare folosită, adică prin deplasarea erorii poziției arborelui condus pe profilul dinților prelucrați. Aceasta se realizează culegând construcția mecanismului de legătură și al traversei cu corpul dispozitivului și balansierului cu manivela executată în formă de sistem cu camă, care asigură stabilitatea funcției de transfer a lanțului cinematic: *arbore – tijă – scula – semifabricat*. La prelucrarea dinților prin metoda propusă, profilul lor se corijează la valoarea erorii unghiulare a arborelui condus, introdusă de mecanismul de legătură al satelitelui cu corpul și mișcarea sferică a satelitelui.

Punctul intersecției axei fixe și a celei mobile a manivelei (centrul precesiei) se află pe axa arborelui principal al mașinii de danturat. Vom examina particularitățile interacțiunii dintre sculă și dintele roții prelucrate ($\delta > 0$), a cărei axă coincide cu axa-tijă a mașinii.

Balansierul oscilant al dispozitivului (figura 5.9) se leagă cu sistemul de coordonate $OXYZ$, unde axa OZ coincide cu axa mobilă a manivelei, axa OY trece prin axa articulației mecanismului de legătură, iar corpul dispozitivului îl legăm cu sistemul nemișcat (suportul mașinii-unelte) de coordonate $OXYZ$, axa OZ se suprapune cu axa fixă a manivelei. Centrul sistemelor fixe și celor mobile de coordonate se găsește în punctul de intersecție a axei mobile cu axa fixă a manivelei (punctul de precesie). Prin rotirea arborelui X și a perechii dințate 75, 76, transmitem mișcarea de rotație arborelui-manivelă, adică axei OZ_1 , care aparține sistemului de coordonate $OX_1Y_1Z_1$, unde găsim suprafața conică cu vârful în punctul O . Toate punctele axelor X și Y descriu o anumită traiectorie închisă. Dimensiunile traiectoriei în planul OXZ le găsim luând în considerație distanța punctului de la centrul O și de la unghiul δ , iar dimensiunile traiectoriei în planul XY și forma ei le determinăm cu ajutorul mecanismului de legătură al arborelui-manivelă cu balansierul.

5.6.1. Succesiunea reglării mașinii de danturat

Alegem regimul de funcționare a semiautomatului din cele șapte cicluri semiautomate. Pentru dispozitivul dat corespunde ciclul de lucru cu „pătrunderea radială și avans cu întâmpinare”.

Reglarea semiautomatului pentru danturarea roților dințate se reduce la următoarele operații: instalarea numărului de turații; reglarea lirei mecanismului de divizare; instalarea valorii avansului radial; instalarea capului-sculă; instalarea unghiului δ de înclinare a capului-sculă; instalarea semifabricatului; instalarea direcției avansului; blocarea instalării avansului axial; blocarea distanței dintre centre; reglarea valorii pătrunderii radiale; instalarea limitatoarelor lungimii de prelucrare.

a) *Instalarea roților de curea.* Schimbarea roților de curea se efectuează pentru reglarea turației arborelui-tijă a căruciorului și se alege corespunzător vitezei necesare de rotire, care se află în funcție directă cu precesia profilului dinților și cu calitatea danturării.

b) *Instalarea valorii avansului radial.* Valoarea avansului radial se admite în funcție de cerințele față de rugozitatea și precizia roților danturate și se alege după tabelul corespunzător.

c) *Reglarea lirei mecanismului de divizare.* Reglarea lirei de divizare [65] (figura 5.19) se efectuează în funcție de numărul dinților danturați, conform tabelului din pașaportul *tehnice al mașinii-unelte*, prin relația:

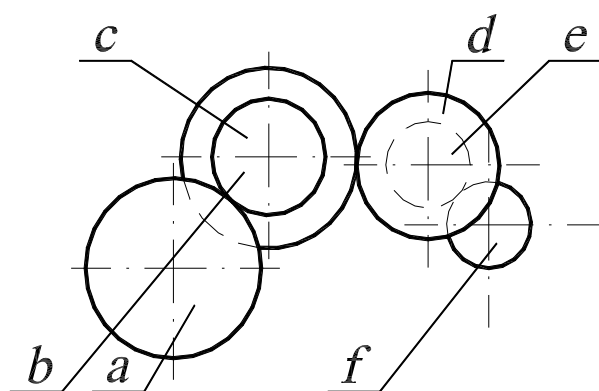


Fig. 5.19

$ac/bd=24/z$, unde: z – numărul dinților danturați; a, b, c, d – numărul dinților roților de schimb.

Mecanismul de înclinare a lirei de divizare (figura 3.19) se fixează cu trei șuruburi. În liră e prevăzută o pereche de roți de schimb e, f . În reglarea obișnuită, aceste roți au câte 45 de dinți și se instalează așa cum este indicat în figura 3.19. În cazul schimbării direcției de rotire a mesei, pinionul f se instalează pe bolțul inversării rotirii.

d) *Instalarea sculei.* În scopul evitării erorilor, este

necesară centrarea precisă a axei sculei în centrul de precesie. Pentru aceasta, în suportul oscilant instalăm dornul de centrare a vârfului și deplasăm suportul în sus pe pana situată între el și balansier până la atingerea vârfului arborelui-manivelă al punctului O (centrul de precesie) cu dornul, apoi fixăm suportul în poziția dată.

La reglare, este necesar a se folosi cât mai pe larg mărimea posibilă de deplasare a sculei, pentru a nu permite deplasarea excesivă, care iese din limitele profilării.

e) *Instalarea limitatoarelor adâncimii de danturare*. Deplasarea deplină a sculei pe adâncimea de danturare se reglează prin limitatoare. La contactul limitatorului cu întrerupătorul de cursă, la sfârșitul deplasării se aprinde becul de semnalizare și ciclul următor nu se conectează.

Pasul deplasării la fiecare ciclu se instalează cu ajutorul unui șurub. Valoarea pasului deplasării se alege astfel, încât în timpul deplasării sculei din partea stângă în partea dreaptă, numărul total de deplasări să fie egal cu numărul ciclurilor de danturare și să corespundă durabilității sculei.

f) *Instalarea semifabricatului*. Semifabricatul, în funcție de formele și dimensiunile lui, se instalează sau pe dorn, în dispozitivul de instalare care se centrează, după ajustaj, în tija mesei, sau în mandrină cu autocentrare. Trebuie de menționat că precizia prelucrării depinde, în mare măsură, de precizia instalării semifabricatului. Se recomandă instalarea acestuia cu bătaia care nu depășește 0,005...0,015 mm pe partea frontală și cea axială.

5.6.2. Schema cinematică modificată a mașinii de danturat

Particularitățile schemei cinematice (figura 5.18) a semiautomatului se manifestă prin prezența cutiei de viteze, cutiei de avans și a mecanismului apropierii mesei.

Mecanismul principal de acționare este antrenat de electromotorul $K4$. Prin roțile de curea A și B de schimb, prin cutia de viteze cu trei poziții, printr-o pereche cilindrică 34 și 38, prin perechile conice 39 și 40, 47 și 48, prin perechea cilindrică a căruciorului 49 și 50, momentul se transmite la transmisia fără joc 75 și 76, legată cu arborele-manivelă al dispozitivului. Lanțul de divizare este antrenat de lanțul principal prin intermediul arborelui V cu perechea conică 59 și 58, diferențialul cilindric, lira de divizare, prin perechea 54 și 55 la rotirea mesei după acele ceasornicului, sau prin roțile 21 și 23 și perechea de divizare 54 și 55 la rotirea inversă, mișcarea se transmite semifabricatului.

Avansul tangențial este posibil în cazul în care semiautomatul este completat cu mecanismul avansului tangențial și căruciorul tangențial. În acest caz, rotirea se transmite până la cuplajul cu craboți 46, ca și în avansul axial de la arborele al XIV-lea prin roțile 23 și 21, 20 și 19, cutia de avans cu nouă trepte prin roțile 9 și 8, perechile conice 2 și 1, 41 și 42, cuplajul cu craboți 46, care este unit cu craboții roții conice 91, roțile 90, 89, 88 și 87, perechea melcată 85 și 86, roțile 84 și 82, perechea conică 81 și 80 la piulița 75, care, rotindu-se, deplasează, prin șuruburile 76, căruciorul în direcția avansului. Întoarcerea saniei căruciorului se efectuează de la electromotorul $M5$ al deplasărilor accelerate.

Pătrunderea radială este posibilă în cazul în care semiautomatul este completat cu mecanismul pătrunderii radiale. Avansul se efectuează de la hidrocilindru, tija-cremalieră 99, pinioanele 95 și 96. Pinionul 96, totodată și piulița, rotindu-se, se deplasează pe șurub cu viteza avansului radial.

5.7. Modelarea fizico-matematică a procesului de rectificare cu determinarea productivității, durității sculei și calității suprafeței prelucrate

În compartimentele precedente nu s-a examinat nici un indice efectiv al procesului de rectificare a roților dințate din punctul de vedere al: productivității, rezistenței sculei; calității suprafeței și stratului prelucrat al dintelui

roții. Acești indici au legătură strânsă cu caracteristicile sculei, regimurile de rectificare, metoda de prelucrare și proprietățile materialului prelucrat.

Dacă în calitate de N_x (5.40) se acceptă numărul curselor duble pe minut realizate la mașina-unealtă în funcție de caracteristica tehnică a acesteia, va fi corectă și relația:

$$n_k = \frac{N_x k}{z}, \quad (5.41)$$

unde $k = 1, 2, 3, \dots$ este un coeficient în funcție de numărul de dinți examinați.

Substituind valoarea n_k din egalitatea (5.40) în egalitatea (3.41), vom obține numărul de curse după care se obține poligonalitatea:

$$n_k = \frac{S_1 \cdot S_2}{N_x I K (S_1 + S_2)}. \quad (5.42)$$

Valoarea unghiului de profil al dintelui este valabilă la un R constant al porțiunii exterioare a dintelui.

Dacă folosim o ecuație aproximativă, legată de acest calcul, atunci valoarea R_{ex} a dinților va fi:

$$R_{ex} = r_b + 2,25 (2R \sin \theta). \quad (5.43)$$

În prima variantă, valoarea unghiului α poate fi calculată prin expresia:

$$\alpha_i = \frac{3}{\sqrt{z}}. \quad (5.44)$$

Valoarea maximă a profilului dintelui poate fi determinată prin relația:

$$\delta_k(\max) = 3r_b \frac{1 - \cos \frac{\pi}{zN}}{\sqrt{z} \cos \frac{\pi}{zN}}, \quad (5.45)$$

Unde N se calculează din egalitatea (5.41).

Dacă folosim metoda de calcul după max. și min. pentru numere întâmplătoare, care se supune legii distribuției normale, se impune ca primă poziție a profilului discului în fundul dintre doi dinți să se considere ca fiind ideală. Ultima poziție a discului, după legea probabilității egale, va fi o poziție posibilă cu aproximativ 50%, care determină abaterea maximă de la cea teoretică dată. Valoarea acestei abateri depinde de:

- 1) bătaia axială (δ_a) și cea radială (δ_r) a discului abraziv în proiecția sa pe vectorul pe cota care se verifică;
- 2) eroarea unghiului de rulare ($\delta\theta$), care depinde de jocurile în mecanismul de coordonare a rotirii mesei cu cursele „du-te-vino” ale sculei;
- 3) eroarea deplasării mesei (δ_l), mai precis a mecanismului lui la rotire cu unghiul (α_i), și a arborelui manivelă de ridicare și coborâre a sculei;
- 4) deformarea elastică a piesei și a discului rectificator sub acțiunea componentei forței de așchiere, îndreptate de-a lungul valorii erorii poligonalității (figura 5.8).

Astfel, eroarea maximă a profilului nestandardizat va fi egală cu:

$$\delta_{II} = \delta_{\kappa} + \Delta K; \delta_p = \delta_2 + DK. \quad (5.46)$$

Ținând cont de $\Delta\theta = \Delta\theta + \delta\theta, \Delta K$ – componenta dinamicității procesului, care se determină astfel:

$$\Delta K = \delta_p \cdot \sin(\alpha_{w.}) + \delta_o \cdot \cos(\alpha_{w.}) + \delta_t + \delta_y; \quad (5.47)$$

unde:

$$\delta_y = K \cdot F. \quad (5.48)$$

În această egalitate, K este tangenta unghiului de pantă, aproximată cu linia de curbură a rigidității sistemului tehnologic, unde ordonata este valoarea cedării în direcția vectorului (figura 5.8) față de piesă, iar abscisa – forțade aşchiere P_a .

Valoarea forței de aşchiere, conform datelor din literatura de specialitate [19, 20, 130] poate fi calculată după relația:

$$F_R = 3.4 \sigma_R \cdot S_{II.K.} \text{ sau } P_a = 3,4 \sigma_a S_{s.c}, \quad (5.49)$$

unde: $\sigma_R = \sigma_B(1 + 1,35\psi)$ – tensiuni de distrugere pentru materialul prelucrat (P_a); $S_{s.c}$ – suprafața de contact simultană care participă la aşchiere cu materialul prelucrat; σ_B – tensiuni de rezistență (P_a); ψ – coeficientul de corecție.

Conform figurii 5.20 și schemei de rectificare cu avans transversal de-a lungul dintelui, numărul dinților care participă simultan la aşchiere va varia în funcție de valoarea avansului sculei la pătrundere (îndepărtarea adaosului prin urme consecutive cicloidale de prelucrare) și de erorile cinematice, care apar de la variația lungimii segmentului de rectificare.

Lățimea maximă a acestui segment de rectificare se regăsește undeva la fundul dintelui și o vom nota cu μz . Valoarea acestui segment μz se obține prin relația:

$$\mu z = \left[2r \left(\frac{\pi}{z} \right) \left(1 + \frac{1}{N} \right) + h_H \right] \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{zN} \right) = \left[\pi m \cos \alpha_n \frac{1}{N} + h_H \right] \operatorname{tg} \frac{\pi}{zN}. \quad (5.50)$$

Numărul grăunților care participă simultan la aşchiere, conform datelor din lucrările [19, 20, 130], se determină:

$$z_3 = \frac{\mu z}{1.5 d_3}. \quad (5.51)$$

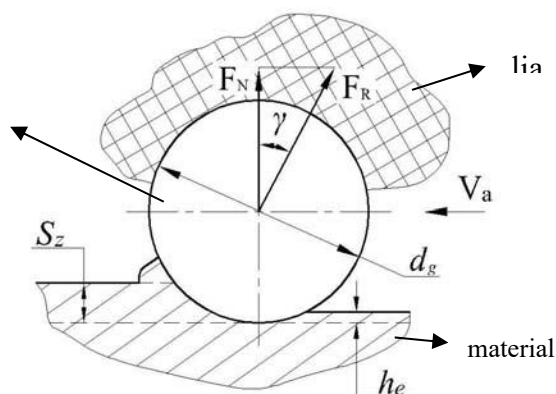


Fig.5.20

Suprafața de contact a unui grăunte cu material prelucrat, ca parte a sferei care se include la o adâncime a adaosului δ_a și a strângerii h_e , va fi:

$$\Delta S = S_g \cdot h_s, \quad (5.52)$$

unde S_g – avansul la un grăunte al abrazivului amplasat la diametrul d_g cu un pas de-a lungul vectorului de mișcare a avansului cu viteza S_l (m/s).

Atunci suprafața de contact va fi:

$$S_{s.c.} = \frac{\left[h_H \cdot S_g \cdot \pi \cdot m \cdot \cos \alpha_w \left(1 + \frac{1}{N} \right) + h_H \right] \operatorname{tg} \frac{\pi}{2N}}{1,5d_g} \quad (5.53)$$

Componenta forței de așchiere F_H , care acționează asupra grăuntelui și provoacă o cedare a discului rectificator, va depinde de adaosul la i treceri ori de valoarea deformării dinamice (h_g), fiind egală (figura 5.20):

$$F_H = F_r \cos(\gamma) \quad (5.54)$$

Din figura 5.20 stabilim că componenta care ne interesează F_H provoacă cedarea discului abraziv de la suprafața prelucrată, valoarea unghiului γ , conform datelor lucrărilor [19, 20 130, 131], la viteze mai mari de 10 m/s, valoarea restabilirii elastice (h_e) tinde spre 0. Deci, putem neglija această valoare, iar valoarea unghiului γ putem să o calculăm după următoarea relație:

$$\gamma = \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{2S_z}{d_3} \right)} \quad (5.55)$$

Așadar, pot fi folosite expresiile obținute oriun model matematic de prognozare a abaterilor profilului obținut la rectificare prin metoda examinată. Vom realiza o prognoză, în baza unor date despre utilaj, sculă și produs, prin exemple. La prelucrarea roții din oțel 40 H cu duritatea HRC 53÷56 cu parametrii $d_r = 150$ mm; $z = 31$; $\beta = 4^\circ$ și lățimea coroanei $B = 15$ mm. Conform datelor din lucrările [19, 20, 53, 130, 131] $\sigma_B = 1760$ MPa ; $\Psi = 0.35$; $\sigma_R = 2592$ MPa .

În calitate de sculă s-a folosit un disc din corindon cu diametrul de $D_i = 800$ mm, cu o rază la extremitate de 4 și o înălțime 8 mm, granulația $d_z = 60$ μ m pe liant în bază de ceramică. Prelucrarea se efectuează prin metoda rulării cu discul profilat sub raza rolei, rigiditate și precizie normală, la care: $\sigma_p = 7$ μ m ; $\delta_o = 3$ μ m ; $\delta_i = 7$ μ m ; eroarea unghiulară de rulare $\sigma_0 = 7^4 = 0,002$ ($^\circ$).

Se instalează un avans pe grăunte $S_r = 20$ μ m. Vom accepta avansul $S_l = 100$ mm/s; $S_2 = 1000$ mm/s la o $l = 7$ mm.

Calculul conform relației (5.55) va da o valoare $\gamma = 39^\circ$. Din raportul (3.55), $N = 55$ la realizarea a 100 de curse duble pe min; $n_k = 2,27$ rot/min; $k = 1$.

Din relația (5.42), numărul grăunților care așchiază simultan și care sunt amplasați la un pas ($1,5 d_z$) pe o rază în limita unghiului de cuprindere va fi egal cu $z_3 = 7,5$.

Suprafața sumată de contact, conform egalității (5.53), $S_{s.c} = 0,028$ mm², iar $F_N = 0,777 \cdot 249,2 = 194$ (N). Ca forță frontală pe discul rectificator și roata egală cu 194 N, valoarea deformării elastice nu va depăși 3 μ m.

Astfel, conform egalității (5.45), componenta dinamică sumată a roții profilului va fi egală cu:

$$\Delta K = 7 \times 0,34 + 3 \times 0,94 + 7 + 5 = 17,2 \mu\text{m} .$$

În baza egalității (5.47), putem calcula eroarea totală maximă a profilului dintelui la vârful, ca $\sigma_c(\max) = 2,5$ μ m .

Astfel, componenta erorii cinematice a profilului este mai mică decât cea a componente dinamice, aceasta depinzând de organele de execuție ale mașinii-unelte de circa 7 ori. În baza modelului cinematic al procesului elaborat, obținut în baza preciziei statistice a organelor de realizare a MU, influența cedării elastice de la apariția forțelor de așchiere maximă, putem formula următoarea concluzie: fără a urmări o pondere foarte mică a

componentei erorii de profil, care apare din motive pur cinematice. Acest proces nu asigură obținerea unei precizii sporite de formă a profilului dintelui. Ca urmare, este necesar a sincroniza mișcările principale și secundare de formare a profilului la așchiere, ce duce la apariția unui număr semnificativ de erori.

Precizia maximă a profilului dinților roților cu dimensiunile expuse în p. 5.2 după o astfel de schemă de generare, având un utilaj de precizie și rigiditate ridicate, eroarea profilului nu este mai mică de $\delta = 17 \mu\text{m}$, adică procesul poate fi recomandat pentru profilarea roților de precizie mijlocie.

Vom examina cauzele ce influențează asupra productivității de formare, care se determină în funcție de timpul de prelucrare a roții dințate T_m . Procesul de rectificare se finalizează în cazul în care roata va efectua o rotație, adică $T_m = 1/n_r$. Ținând cont de formulele (5.41) și (5.42), vom obține:

$$T_m = \frac{\left(\frac{n_k \approx}{k}\right) Z(S_1 + S_2)}{c \quad c \quad D} + \pi m t g + (3 \div 10). \quad (5.56)$$

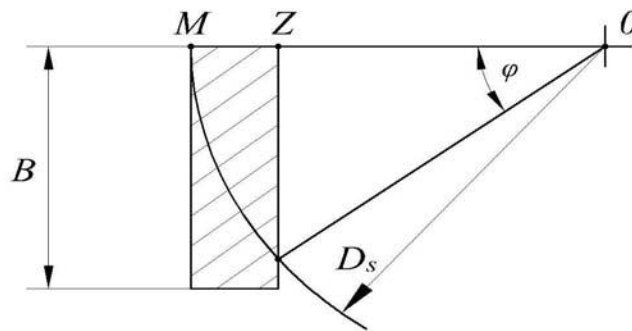


Fig. 5.21

Analizând relația (5.56), observăm că complexitatea rectificării roții dințate crește odată cu numărul dinților. Însă se micșorează poligonalitatea profilului dinților conform relației (5.45). Complexitatea crește odată cu sporirea lui S_1 și S_2 . Dar creșterea valorilor avansului longitudinal este determinată de valoarea rezultantei vitezei de așchiere, care provoacă o creștere a sarcinii asupra grăuntelui și, ca urmare, se micșorează rezistența sculei. Astfel, asupra eficacității procesului de rectificare are acțiune directă rezultanta vitezei de așchiere. De valoarea acestei viteze depinde atât temperatura în zona de așchiere, cât și sarcina asupra grăuntelui în liant și, desigur, și asupra uzurii[36].

Ținând cont de concluziile din lucrarea [20] despre caracterul impulsiv de distrugere a materialului la viteze mari și de ipotezele din [53], forța de așchiere are o valoare maximă la așchiere, care poate fi calculată conform relației (5.57). Valoarea medie integrată a forțelor de așchiere, conform [50 și 53], depinde de timpul de integrare și de frecvențele oscilațiilor forței, adică:

$$F_{R(cp)} = \frac{3.4 \sigma_R S_S C C \cdot A \cdot X}{\pi V^2 \tau_I}, \quad (5.57)$$

unde: C – constanta proprietăților fizico-mecanice ale materialului prelucrat:

E – modulul de elasticitate;

μ – coeficientul lui Poisson;

$A = \lambda / (C \rho)$ – conductibilitatea de temperatură (m^2/s);

X – valoarea din tabel ce caracterizează zona de restabilire a proprietăților elastice la modelarea proceselor

termodinamice ale procesului de distrugere prin aşchiere (de exemplu, pentru oţel 40 H) cu HRC = 50–53; $N = (1558)$; $V = \sqrt{(\pi D_i n_i)^2 + S_1^2}$ – rezultanta vitezei orientate spre materialul prelucrat;

τ_i – timpul integrării.

Pentru acest caz de rectificare, τ_i este timpul de aşchiere cu un grăunte. Vom găsi această valoare, folosind raportul geometric de amplasare a grăunţilor în scula abrazivă prezentată în figura 5.21.

Se cunoaşte că timpul poate fi calculat prin expresia:

$$\frac{2\pi n_i}{\varphi} = \tau_i, \quad (5.58)$$

unde n_i este frecvenţa rotirii sculei.

Unghiul φ poate fi determinat din relaţia:

$$\varphi = \arccos \left[\left(\frac{D_i - \mu_z}{D_i} \right) \right]$$

sau

$$\varphi = \arccos \left(\frac{1 - 2\mu z}{D_i} \right), \quad (5.59)$$

$$\text{unde } \mu z = \left[\pi m \cos(\alpha_\rho) \left(1 + \frac{1}{N} \right) + \frac{h_H \pi}{zN} \right],$$

iar conform egalităţii:

$$N = \frac{S_1 + S_2}{(S_1 + S_2) N_x l k}. \quad (5.60)$$

Ținând cont de relaţia menţionată (5.58), va avea forma:

$$\tau_i = \frac{2\pi m}{\arccos(1 - 2\mu z D_{11})} = \frac{2\pi m}{\arccos \left[1 - \frac{2\pi m \left(1 + \frac{N_x l k}{S_1 S_2} \right) \cos \alpha_\rho + \frac{\pi N_x l k (S_1 + S_2)}{Z S_1 S_2}}{D_u} \right]}. \quad (5.61)$$

Din analiza ecuaţiei (5.57) se observă că componenta integrală a forţei de aşchiere, la un regim stabil, scade odată cu majorarea vitezei de aşchiere şi a avansului (S_i), fiind o componentă rezultantă a acţiunii de deformare exterioară a forţei de aşchiere. Totodată, scade odată cu creşterea traiectoriei de aşchiere neîntrerupte, deoarece, în acest caz, creşte φ şi τ_i în ecuaţie, dacă $V = \text{const.}$, iar diametrul sculei creşte.

Această analiză a egalităţii obţinute corelează foarte bine cu expresia cunoscută a lui Newton pentru calcule: $F = ma$. Deoarece $a = V^2/L$, odată cu creşterea cursei la o viteză constantă scade acceleraţia şi, în mod corespunzător, valoarea integrală a forţei de aşchiere.

Totodată, sporirea vitezei de rectificare permite stabilizarea şi minimizarea forţei de aşchiere şi, corespunzător, creşterea vitezei şi calităţii rectificării. Sporirea rezistenţei sculei, în acest caz, se justifică prin micşorarea sarcinii pegranulă, urmată de diminuarea cazurilor de măcinare a granulelor, la variaţia forţelor de

dezechilibru al discului rectificator.

De asemenea, o majorare a vitezei de aşchiere provoacă creşterea temperaturii în zona de aşchiere şi, în mod corespunzător, încălzirea straturilor exterioare ale materialului sculei aşchietoare. Totodată, dacă valoarea temperaturii materialului sculei va depăşi începutul transformărilor de fază, atunci, inevitabil, uzura din faza stabilizată va trece în faza catastrofală.

Utilizând conţinutul lucrărilor [130 şi 131], vom determina viteza-limită de aşchiere după valoarea-limită a temperaturii stratului exterior al materialului grăuntelui abraziv, a temperaturii minime după valoarea distructivă la 20–30°C, utilizând formula lui Kelvin pentru transformarea sursei cu impulsuri de emiter.

Conform formulei lui Kelvin [130 şi 131] pentru sursa de emiter cu impulsuri, temperatura materialului sculei în zona de aşchiere pe suprafaţa de emiter intensivă a temperaturii din aşchiile materialului prelucrat va fi:

$$T_{S.C} = \frac{0,85\sigma_R S_z h_H \delta L_i K_m \left(2\sqrt{\frac{L_x}{\delta L_i}} + \sqrt{\frac{\delta L_1}{L_x}} - 1,5 \right)}{\delta L_H h_H \sqrt{\frac{\pi\lambda_2 C_2 \rho_2 L_2}{V}}}. \quad (5.62)$$

Deoarece funcţia temperaturiidependente de viteză are caracter extrem, este mai bine a o transcrie, pentru cazul determinat, la minimumul acesteia (5.62):

$$T_{S.C} = \frac{1,13\sigma_R S_z K_m V}{\sqrt{\pi\lambda_2 C_2 \rho_2 C \cdot A \cdot X}}; \quad (5.63)$$

de unde:

$$V = \frac{T_{S.C} \sqrt{\pi\lambda_2 C_2 \rho_2 C A X}}{1,13\sigma_R S_z K_m}; \quad (5.64)$$

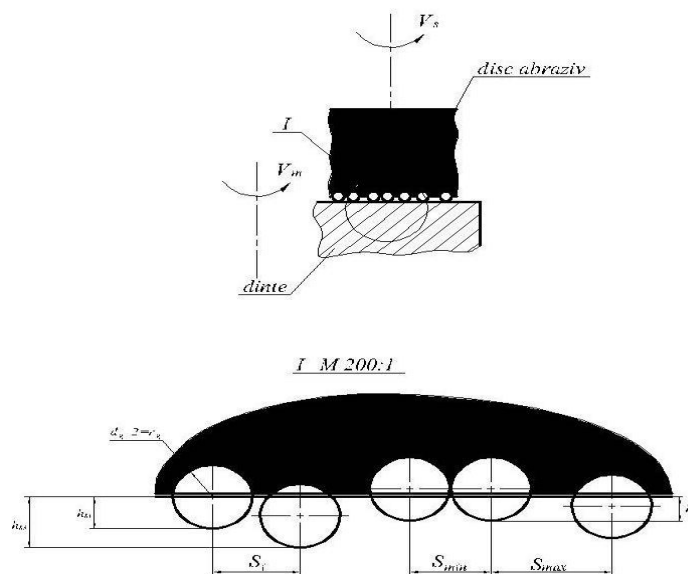


Fig. 5.22

unde:
$$K_m = \frac{\sqrt{\lambda_2 C_2 \rho_2}}{\sqrt{\lambda_2 C_2 \rho_2 + \sqrt{\lambda_1 C_1 \rho_1}}}$$

Folosind relația (5.64) obținută, determinăm temperatura-limită dată de viteza de așchiere și a mișcării principale, dacă cea auxiliară este dată. Din datele cunoscute: $s_1 = 0$; pentru oțel 40 H; HRC = 52–53; $E = 214$ GPa; $\sigma_R = 2592$ MPa; $A_1 = 11.2$ m/s; $\lambda_1 = 41$ BT/M/°C; $C_{1\rho_1} = 3,66 \cdot 10^6$ J/°C/M; $C = 0,0185$; $N = 1558$; coeficientul de proporționalitate al absorbției temperaturii din materialul prelucrat în electrocorund $K_3 = 0.44$.

Pentru oțel marca 45H, HRC = 52-563; $E = 206$ GPa; $\sigma_R = 2333$ MPa; $A_1 = 11,26$ m/s; $\lambda_1 = 41$ BT/M/°C; $C_{1\rho_1} = 3,64 \cdot 10^6$ J/°C/M; $C = 0,0173$; $N = 1597$; $K_s = 0,44$.

Pentru oțel marca 25HPT, HRC = 57-63; $E = 212$ GPa; $\sigma_R = 2513$ MPa; $A_1 = 9,58$ m/s; $\lambda_1 = 37$ BT/M/°C; $C_{1\rho_1} = 3,86 \cdot 10^6$ J/°C/M; $C = 0,08$; $N = 1597$; $K_s = 0,45$.

Pentru materialul părții așchietoare a discului rectificator din electrocarindon: $d_g = 0,06 \cdot 10^{-3}$ m; $D_g = 0,15$ m; $T_g = 1400$ °C; $\lambda_1 = 41,9$ BT/M/°C; $C_{2\rho_2} = 2,3 \cdot 10^6$ J/°C/M.

Așadar, dacă excludem S_l din considerente că are o valoare mică în raport cu valoarea mișcării principale de așchiere, atunci putem calcula după formula (5.64) viteza de așchiere, ce va fi utilizată pe MU la rectificare cu discuri abrazive, cu avansul la pătrundere ales $h_0 = \frac{d_3}{6} = 0,01 \cdot 10^{-3}$ (m) pentru oțelurile prezentate mai sus. Pentru exemplele considerate, valorile vitezei vor fi: $V = 42$ (m/s); $V = 38$ (m/s); $V = 31$ (m/s).

Dacă există posibilitatea micșorării avansului la pătrundere (mai ales din punct de vedere dinamic), atunci viteza poate fi calculată prin relația (5.64). Este necesar ca aceasta să fie majorată, fapt ce ar permite reducerea sarcinii pe grăunte și, în mod corespunzător, preîntâmpinarea uzurii, legată de măcinarea grăunților în liant, sub acțiunea forțelor de așchiere.

Dacă discul rectificator se aseamănă cu o freză, cu un număr cunoscut de dinți, atunci putem stabili legătura dintre frecvența de rotație a discului ori a vitezei de așchiere (la un P_s acceptat) și avansul transversal, viteza de așchiere. Vom examina scula abrazivă ca o freză frontală cu mai mulți dinți Z_{tot} (figura 5.22).

După cum se observă din figura 5.22, granulele abrazive cu supraînălțarea h_0 se ating de suprafețele de prelucrare și, corespunzător, dacă există mișcările D_g și $D_{s,p}$, va începe sau nu procesul de microașchiere. De regulă, în momentul inițial acționează avansul radial și, în mod corespunzător: $D_g = 0$; $D_{sup} = 0$; $D_{s,p} \neq 0$.

Când granulele cu supraînălțare (h_{i3}) pătrund în material la adâncimea h_n , în funcție de proprietățile materialului prelucrat și avans, va depinde și forța care acționează pe grăunte.

Suprafața de contact, ca parte a sferei, este limitată de h_n și după integrare va fi egală:

$$S_{s,k} \approx \pi r_g h_{11} = \pi d_g h_{11}, \quad (5.65)$$

unde: r_g – raza grăuntelui în (m); d_g – diametrul grăuntelui.

Conform legii probabilității egale, care prevede o plasare haotică a granulelor în abraziv, pasul amplasării granulelor variază de la max. până la min. Din condițiile reale fizice, putem accepta:

$$S_{\min} = d_g; S_{\max} = 2 d_g. \quad (5.66)$$

Totodată:

$$S_{\text{med}} = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2} = \frac{2d_g + d_g}{2} = 1,5d_g. \quad (5.67)$$

Săgeata grăunților, din punct de vedere fizic, poate fi mediată de valoarea: $h_{B(i)} h_{B(l)} \approx \frac{d_g}{2}; \pm \Delta; \Delta \approx 0$, cele care ies din liant:

$$h_{B(3)} \approx \left(d_g - \frac{d_g}{4} \right) \approx \frac{3}{4} d_g, \pm \Delta; \quad (5.68)$$

a granulelor căzute: $h_{B(2)} \approx \frac{d_g}{4}; \pm \Delta.$

În cazul în care granulele se află la distanță, $h_{B(3)} \approx \left(d_3 - \frac{d_3}{4} \right) \approx \frac{3}{4} d_3, \pm \Delta$ acest caz va fi exclus, deoarece această amplasare a granulelor determină și măcinarea lor inevitabilă, fiindcă:

$$F_{\max} \approx 1.7 \sigma_R S_{S.C.}, \quad (5.69)$$

unde: $\sigma_R = \sigma_B(1+1,35\psi)$ – valoarea tensiunilor de distrugere a materialului; σ_B – limita rezistenței materialului; ψ – coeficientul de corecție.

Atunci, pentru cazul dat:

$$\text{dacă } F_{\max} \approx 1.7 \sigma_R \frac{3}{4} \pi d_g^2 = 1,27 \sigma_R \pi d_g^2,$$

atunci forța specifică care menține grăunțele în liant:

$$F_{sp} = \sigma_{B.Lnt.} (\pi d_g^2 / 4) \quad (5.70)$$

$$F_{sp} < F_{\max}, \quad 1,27 \pi d_g^2 > 0,25 \pi d_g^2,$$

atunci putem determina:

$$Z_{cut} = \frac{\pi D_g}{S_{mea}} \cdot \frac{N}{3}. \quad (5.71)$$

Din cele prezentate urmează că numărul de granule pe olungime L va fi calculat prin relația:

$$N = \frac{L}{4,5 d_g}. \quad (5.72)$$

Expresia (5.72) are la bază aceeași lege de proprietăți egale de amplasare a granulelor în liant și în spațiul liant, în 3D.

Numărul granulelor pe diametrul sculei, ca număr al dinților frezei, va fi egal cu:

$$Z_g = \frac{\pi D_H}{4,5 d_g}. \quad (5.73)$$

După cum se știe, la o secțiune dată a așchiei, la un avans (S_1), există:

$$\frac{S_g}{n_g} = \frac{S_1}{Z_g} = \frac{4,5 d_g S_1}{\pi D_H n_g} = \frac{4 \pi d_g S_1}{V}; \quad (5.74)$$

de unde:

$$S_1 = \frac{S_g V}{4,5 d_g}. \quad (5.75)$$

Egalitatea (5.75) permite să se calculeze viteza avansului la a cărei valoare electrocorindonul își va pierde proprietățile de așchiere. De aceea, vom analiza funcția (5.75) și în baza unor parametri acceptați ulterior. În acest caz, vom găsi valoarea avansului ca fiind:

$$S_1 = 0.01 \cdot 10^{-3} * 30 / (4.5 \cdot 0.06 \cdot 10^{-3}) = 1.1 \text{ m / s.}$$

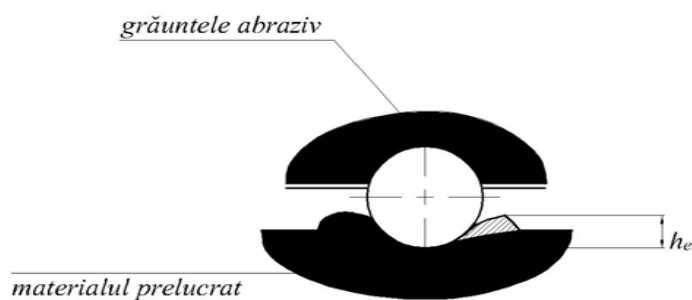


Fig.5.23

Deci, pe mașina-unealtă putem instala un avans care nu depășește 1 m/s. Atunci putem considera că viteza avansului, practic, nu influențează asupra alegerii vitezei rezultante pentru această metodă de prelucrare. Totodată, valoarea S_z caracterizează secțiunea așchii îndepărtate, care nu este posibil a fi depășită din două considerente: în primul rând, valoarea ei determină temperatura din zona de așchiere; în al doilea rând, aceasta determină forța care acționează asupra grăuntelui. La depășirea unei dimensiuni și a unei poziții nefavorabile de amplasare în liant, grăuntele va fi rupt ori uzat catastrofic din motive mecanice sau datorită efortului de așchiere.

Din cele menționate reiese că pentru realizarea posibilității dirijării procesului în funcție de productivitate și de calitatea rectificării și, desigur, a uzurii sculei, este necesar și suficient să avem egalitățile (5.64) și (5.76). Totodată, trebuie să fie determinată valoarea avansului care se instalează pe grăunte, adică S_z (figura 5.23):

Pentru a realiza calculul avansului S_z la nivelul unui grăunte (figura 5.24), dar fără a afecta o selectare după o valoare stabilită h_{II} , este necesar a lua în considerație rezistența mecanică a liantului discului abraziv și temperatura de distrugere a materialului. În figura 5.24, schematic este prezentat procesul de așchiere cu un grăunte la un avans unic pe aceasta. Conform desenului, suprafața marcată de punctele ABC va depinde de valoarea forței și energiei procesului de așchiere, deci a forței de rezistență a materialului liantului până la distrugere, precum și de momentul dat de forța care participă la măcinarea grăuntelui.

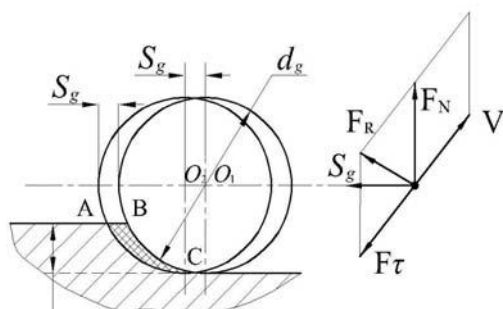


Fig. 5.24

Deoarece valoarea maximă a forței, conform [96, 97, 130], se determină ca:

$$F_R = 3.4 \sigma_R S_z h_H, \quad (5.76)$$

valoarea medie a forței de rezistență a liantului până la distrugere, la o amplasare a granulelor în liant la o adâncime $0,5d_g$, o putem calcula conform relației:

$$F_{sp.} = 1.7\sigma_B \pi d_g^2 / 2 \approx \sigma_{B2}, \quad (5.77)$$

unde σ_{B2} – limita de rezistență a materialului în liant (Pa).

Deoarece $F_{sp} \geq F_R$, putem accepta:

$$\pi d_g^2 \sigma_{B2} = 3,4\sigma_R S_z h_H. \quad (5.78)$$

Alegând valoarea h_n la o sculă care se rotește și luând în considerație numai eroarea de instalare la așezarea sculei, se poate calcula S_z conform relației:

$$S_z \leq \frac{\pi d_g^2 \sigma_{B2}}{\sigma_R d_g^2 h_H} \text{ ori} \\ S_z \leq \frac{0,5\sigma_{B2}}{\sigma_R d_g^2 h_H}. \quad (5.79)$$

În acest caz, uzura discului abraziv, din cauza măcinării, va avea loc numai pentru granulele care au o săgeată mai mare din liant (mai mult de 0,5 d_g).

În baza pozițiilor teoretice prezentate și a calculelor practice, se pot formula următoarele recomandări: pentru alegerea regimurilor de așchiere, condițiilor de rectificare, parametrilor construcțiilor și stării sculei mașinii-unelte, în funcție de materialele prelucrate, starea acestora, precizia necesară de prelucrare, de rezistența maximă a sculei și necesitatea calității prelucrării.

Pentru alegerea regimurilor de rectificare conform parametrilor consecutiv-tehnologici ai procesului de prelucrare și conform parametrilor calității suprafețelor prelucrate, este folosit softul Matcad.

E de menționat că majorarea vitezei de așchiere conduce la micșorarea temperaturii în liant, la răcirea suprafeței prelucrate și la o îndepărtare suficientă a așchiilor. Temperatura la suprafața liantului, conform formulei Kelvin, pentru o sursă impulsivă de emiterie a căldurii, va fi egală:

$$T_{int} = \frac{\sigma_R S_z V K_m^2}{\sqrt{\pi \lambda_i C_i \cdot A \cdot X \cdot N \exp \frac{d_s}{16 A \tau_1}}}, \quad (5.80)$$

unde: τ_1 se calculează conform (5.61); K_δ – coeficientul lui de proporționalitate ales, care determină trecerea unei părți a căldurii din granule în liant; $\lambda_i^* C_i^* \rho_i$ – conductibilitatea căldurii, conectarea căldurii și densitatea relativă aliantului.

Analiza egalităților denotă faptul că, la o mărire a vitezei, crește și indicele puterii exponențiale, care se află la numitor, și este cu mult mai mare decât valoarea vitezei de la numitor.

La creșterea vitezei are loc o mărire a temperaturii locale de contact. Datorită caracterului impulsiv al emiterii căldurii, se micșorează timpul de transmitere a căldurii de la grăunte la liant, iar procesul schimbului de temperatură se supune legii exponențiale.

Procesul are loc rapid în timp iar viteza lui depinde de valoarea conductibilității materialului.

6. CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A PROCESULUI DE RECTIFICARE A DANTURII TRANSMISIILOR PRECESIONALE PRIN RULARE

6.1. Metodica cercetărilor experimentale



Fig. 6.1

Cercetările au fost realizate pe o mașină de danturat *53A30P*, modificată pentru a rectifica danturi. Caracteristica tehnică: lungimea dintelui rectificat $s = 20\text{--}100$ mm, numărul de curse duble $n = 100\text{--}315$ min^{-1} , valoarea avansului mesei $p_o = 80\text{--}800$ mm/min. Caracteristicile de precizie ale mașinii-unelte au fost cercetate conform [53, 120], *GOST 8001-78* și *GOST 13 142-90*.

Avansul necesar obținerii adâncimii de rectificare a fost reglat prin rotirea manivelei mecanismului cu șurub 57 (figura 5.18). Mașina-unealtă a fost echipată cu un dispozitiv de îndreptare a pietrei abrazive. În calitate de disc abraziv a fost utilizat discul tip *IIO*, $D = 20\text{--}100$ mm, lățimea discului $H = 5\text{--}15$ mm, granula abrazivă 99A: mărimea granulei 60–80; duritatea H, I, J, K, L, M ; structura 5, 7, 8, 25; liant V [95]. Duritatea discului abraziv a fost cercetată prin metoda Grindo-Sonic.

Echilibrarea dinamică a discului a avut loc pe mașina *K300BR Rava Torno*. Valoarea dezechilibrului a fost determinată pe un aparat electronic cu compensarea momentului.

Precizia dezechilibrului discului abraziv a fost în limita bătăii de 1 μm . Viteza la echilibrare a fost de 10000 min^{-1} . Discul abraziv a fost îndepărtat și echilibrat după fiecare turație a roții; adâncimea de îndreptare a fost stabilită de 0,05 mm la o viteză de 0,1 mm/min.

Au fost rectificate roțile dințate conice cu profil nestandardizat cu dinți drepți, înălțimea dintelui $h = 10\text{--}15$ mm, lungimea dintelui $b = 10\text{--}25$ mm, cu un număr de dinți $z = 20\text{--}32$, executate din oțel *40H, 45H, 12H2N4A, 20H2N4A*, cu o duritate 40–62 HRC [90, 95, 161] (figura 5.1).



Fig. 6.2



Fig. 6.3

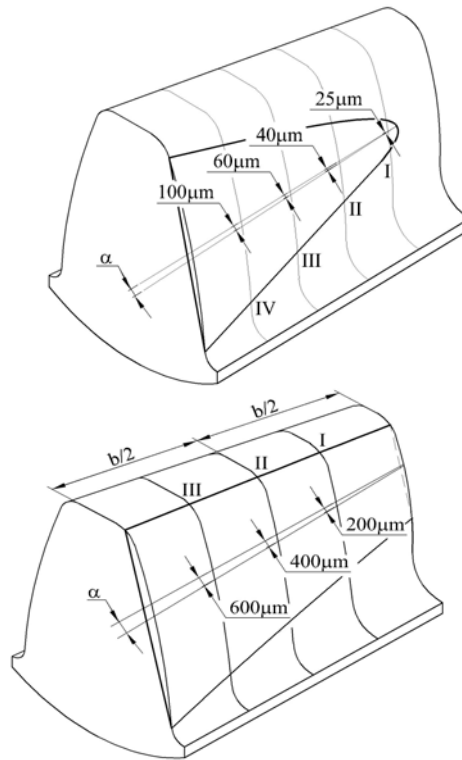


Fig. 6.4

Adâncimea rectificării dintelui a fost de $0,03 \pm 0,12$ mm, iar adaosul pe o parte a dintelui – în limitele de $0,12 \pm 0,35$ mm. În calitate de LUR s-a utilizat ulei cu emulsie ER, cu un raport de 1:40, care a fost transportat în 257

zona de rectificare cu viteza de $15 \text{ dm}^3/\text{min}$, cu o valoare admisibilă de poluare de $40 \mu\text{m}/\text{l}$. Tensiunile remanente, amplasate în stratul subțire al dinților roților dințate, au fost cercetate pe capul dintelui, în partea de mijloc, și în piciorul dintelui, prin utilizarea metodei B Röntgen [49, 58]. Suprafața a fost supusă atacului prin metoda electrochimică (65% soluție H_3PO_4 cu densitatea electrolitică 8–8, 2 A), cu măsurarea și calculul ulterior al tensiunilor prin metoda Hailsa. În cercetările realizate, tensiunile remanente s-au determinat pe baza de difracție de raze X, pe difractometrul *MSF/PSF-3M*. S-au utilizat generatorul *PW 1130*, goniometrul *PW 1050*, Firma *AMR*; goniometrul *HZG3* și aparate de înregistrare.

Au fost cercetate: duritatea, microduritatea, aspectul metalografic, precizia și rugozitatea suprafeței angrenajului (figurile 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 și 6.6).

În procesul cercetărilor stării stratului exterior au fost utilizate următoarele aparate: dispozitiv universal pentru măsurarea roților dințate (Firma *Carl Zeis–Jena*) cu traductor opto-test, valoarea preciziei de măsurare $1 \mu\text{m}$, și profilometrul universal *VG450*, aceeași firmă, cu limitele de măsurare $0\div 65 \mu\text{m}$ și precizia de măsurare $0,001 \text{ mm}$; role de măsurare tip *MLCbA* și micrometrul tip ceas *Mm CC*, cu precizia de măsurare $0,002 \text{ mm}$; profilometrul *Carl Zeis* tip *ME–10*, dispozitivele de măsurare a durității tip *Rokwell* (Firma *Kabial Press*) și tip *PRL –510*, microscopul metalografic *Neophot-2* (Firma *Carl Zeis*) cu dispozitiv pentru măsurarea microdurității, tip *Hanemann*, microdurometrul *PMT-3* și microscopul-scanner *IDOL*.



Fig. 6.5

6.2. Influența oscilațiilor apărute în procesul rectificării asupra tensiunilor remanente în stratul exterior al dinților roților dințate

Oscilațiile în sistemul tehnologic sunt provocate nu numai de dezechilibrul discului abraziv, dar și de reacția sau acțiunea insuficientă a sculei [57, 63, 64, 66, 75,76, 77]. De aceea, pentru obținerea proprietăților necesare ale stratului exterior, dezechilibrul discului rectificator are o valoare considerabilă. Conform autorului acestei lucrări, dezechilibrul provoacă mărirea rugozității și ondulației suprafeței prelucrate a dintelui, înrăutățește proprietățile fizice ale suprafeței exterioare a dintelui prin neuniformitatea lor.



Fig. 6.6

Pentru tensiunile remanente care apar în stratul superficial al dinților, aceasta înseamnă modificări esențiale ale valorii tensiunilor cu caracter de întindere în partea de jos a dintelui și ale tensiunii de comprimare în partea de sus.

Apreciind modificarea microdurității în legătură cu dezechilibrul sculei, putem menționa că apar straturi cu duritate redusă în paralel cu cele cu densitate crescută. De aceea, minimizarea dezechilibrului discului permite reducerea erorilor de formă și dimensiune, care apar în secțiunile transversală și longitudinală, și, desigur, obținerea unor proprietăți fizico-chimice mai favorabile în

stratul exterior al dintelui rectificat.

Dar nu numai dezechilibrul, în acest caz, este considerabil. Autorul [19] descrie și alți factori care apar la prelucrarea prin metoda rulării cu disc abraziv.

Sistemul *disc-rectificare piesă prelucrată* se caracterizează prin acumularea energiei de deformare, ce influențează rezistența liantului abrazivului, de care depinde frecvența oscilațiilor libere.

Pentru procesul de rectificare au o însemnătate majoră oscilațiile parametrice, numite componente sumate ale așchierii la rectificare – normale și tangențiale și rigiditatea dinamică a sistemului.

S-a stabilit că mișcarea sinusoidală relativă a discului rectificator și a roții dințate prelucrate este însoțită, în procesul de rectificare, de modificarea forțelor de așchiere [19, 21, 25], în direcțiile normală și tangențială. Amplitudinea acestor modificări se aplică ca modificările sinusoidale ale forței de rectificare asupra componentei tangențiale. Aceste forțe cresc la majorarea frecvențelor oscilațiilor, ca rezultat al instabilității stratului eliminat la prelucrare și al micșorării volumului discului abraziv.

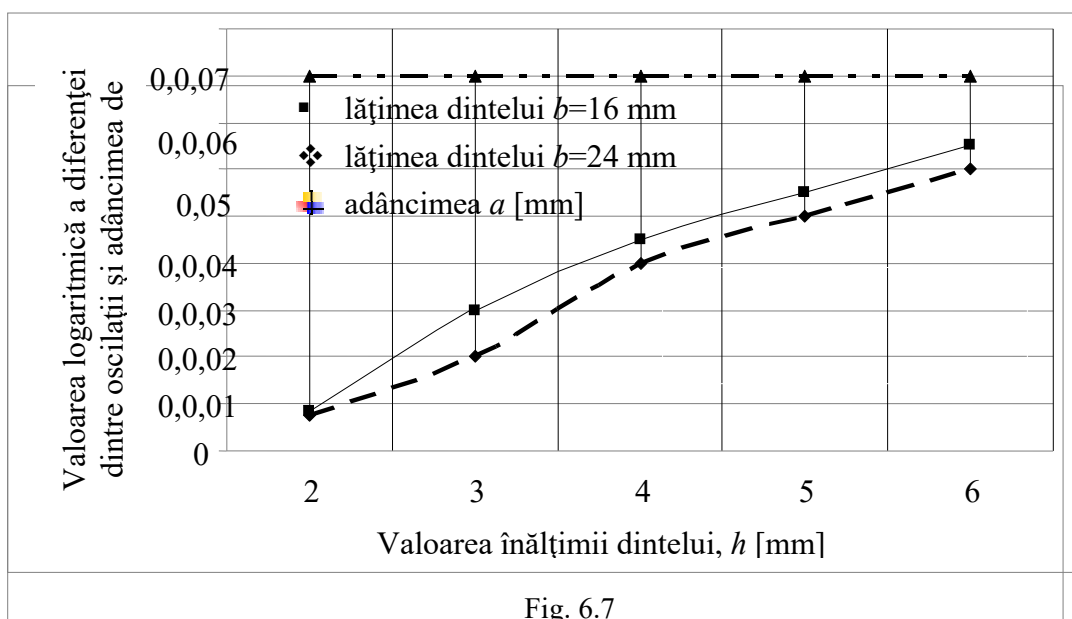


Fig. 6.7

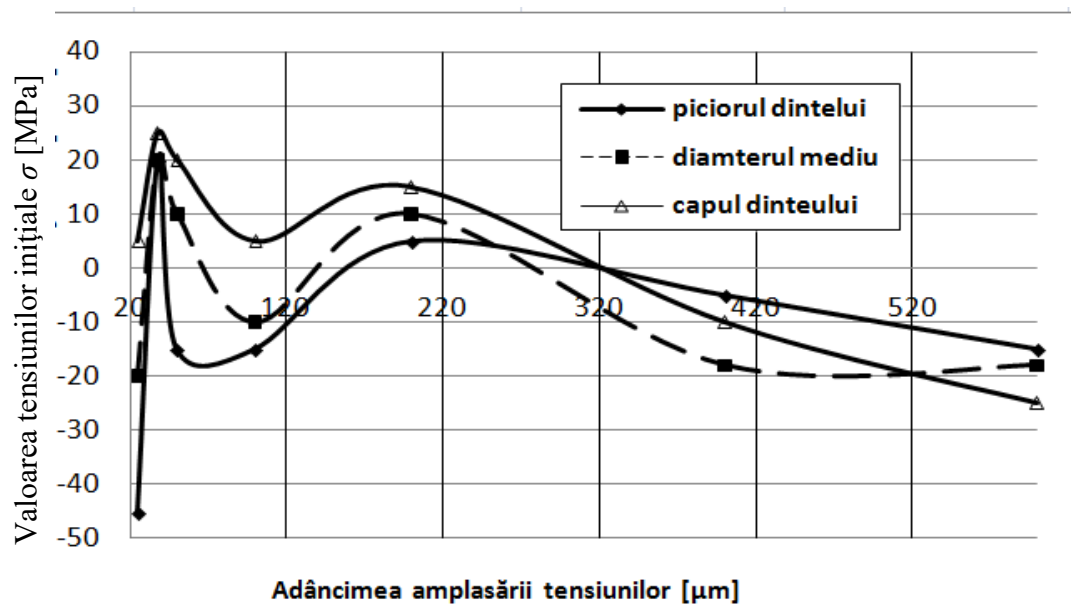


Fig. 6.8

În punctul de contract al discului abraziv cu dintele roții dințate, mișcarea compusă a discului rectificator față de profilul dintelui apare ca urmare a sumării componentelor mișcării. Totodată, ele sunt o imagine a oscilațiilor din acest sistem.

În figura 6.7 este prezentată modificarea adâncimii de rectificare provocată de modificarea amplitudinii oscilațiilor în procesul rectificării.

Caracteristicile prezentate în figura 6.8 permit selectarea unei adâncimi de rectificare (a), care să fie mai mare decât amplitudinea oscilațiilor. În acest caz, este cunoscut că, în funcție de valoarea înălțimii și a lățimii dintelui roții dințate, adâncimea rectificării trebuie să fie mai mare decât valoarea indicată în figura 5.8. Astfel, vom avea o garanție că va avea loc un proces de rectificare, și nu de frecare. Acest fapt are o importanță esențială din punctul de vedere al asigurării preciziei necesare de execuție a dinților roților dințate asupra posibilității apariției arsurilor în urma rectificării și, totodată, apariției și distribuției tensiunilor remanente în stratul superficial al dintelui, legate de procesul de rectificare prin metoda rulării. Distribuția, caracterul și modificarea tensiunilor remanente permit să apreciem starea stratului dintelui roții dințate (figura 6.8).

Cercetările realizate au arătat că tensiunile remanente, amplasate în stratul superficial al dintelui roții dințate, sunt de întindere pe înălțimea dintelui. Mai întâi, la o adâncime de 25 μm se observă tensiuni de comprimare, care apoi, la o adâncime de 38 μm, trec în cele de întindere. La o adâncime de 50 μm, tensiunile remanente din nou se modifică în tensiuni de întindere. În același moment, în stratul superficial al piciorului dintelui se observă tensiuni de comprimare. Modificările prezentate ale tensiunilor remanente sunt legate de modificarea volumului de metal, care este cel mai mare la baza dintelui. Apoi, la o adâncime de aproximativ 100 μm se observă tensiuni de comprimare, ale căror valori, de-a lungul dintelui, au fost de întindere, iar valoarea lor a fost de cca 10 MPa. Odată cu majorarea adâncimii de rectificare, aceste tensiuni se modifică în cele de comprimare, cu o tendință de creștere.

Se observă că, de fiecare dată, valoarea tensiunilor în stratul superficial al piciorului dintelui era mai mică

față de cea de la capul dintelui ori de la suprafața din zona de trecere din concavă în convexă. Acest fapt dovedește că amplitudinea oscilațiilor are legătură cu adâncimea de rectificare și cu tensiunile apărute.

Un rol important le aparține frecvenței oscilațiilor și avansului, fapt dovedit prin experimente de către autor, pentru metoda de rulare cu disc profilat [56, 58, 62]. Majorarea avansului provoacă creșterea valorii amplitudinii. Amplitudinea, la rândul său, influențează asupra frecvenței oscilațiilor în zona de contact al sculei cu semifabricatul prelucrat. Dacă amplitudinea oscilațiilor are o influență importantă, în comparație cu adâncimea de așchiere, atunci ar putea crește influența frecării în zona de așchiere. Totodată, pot apărea deformații plastice și elastice. Aceasta conduce la creșterea temperaturii și, ca urmare, la apariția tensiunilor de întindere în stratul exterior al dinților roților dințate.

Modificarea adâncimii de rectificare, așa cum s-a observat, depinde de valoarea amplitudinii oscilațiilor și este în strânsă dependență de valorile înălțimii și lățimii dintelui roții ce se prelucrează. Astfel, cu cât mai mare este masa roții dințate, cu atât mai mare este valoarea cu care se modifică amplitudinea. Dacă în urma rectificării amplitudinea oscilațiilor va fi mai mare decât adâncimea rectificării (figura 6.7), atunci poate exista o zonă în care discul rectificator nu așchiază metalul, ci are loc doar o frecare a acestui disc cu suprafața dintelui roții dințate.

6.3. Influența condițiilor de rectificare asupra caracteristicii calității stratului exterior

A fost cercetată influența numărului de curse duble ale discului rectificator, a avansului rotativ al mesei, a sculelor și adâncimii de așchiere asupra tensiunilor remanente în stratul exterior al dinților roților dințate. Numărul de curse duble ale sculei (n_s) acționează puternic asupra tensiunilor de întindere, la o adâncime de cca 100 μm (figura 6.9).

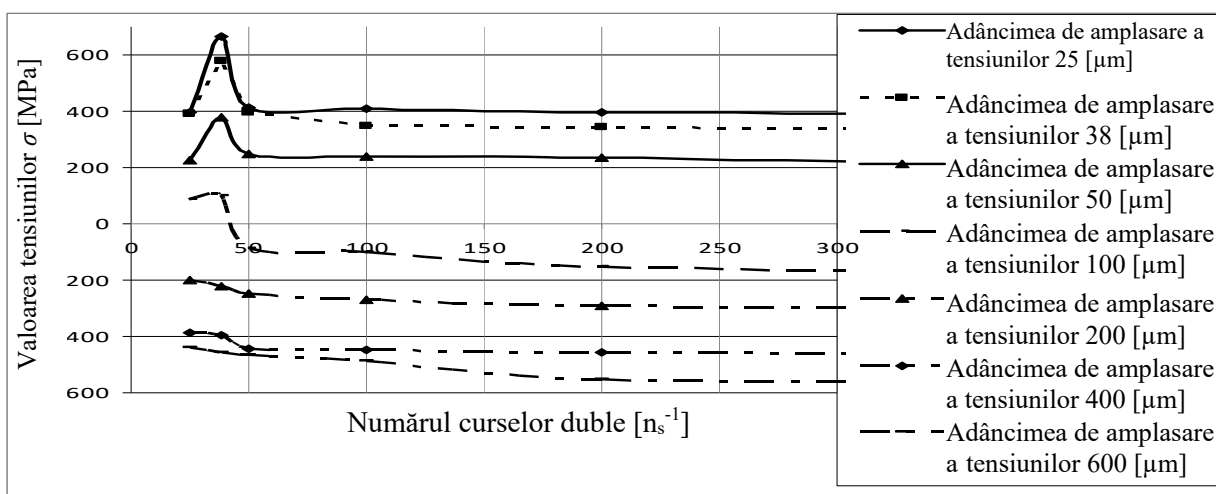


Fig. 6.9

Odată cu creșterea numărului de curse duble ale discului rectificator, valoarea tensiunilor de întindere se micșorează și ele trec în tensiuni de comprimare. Tensiunile remanente, apărute odată cu creșterea numărului de curse duble ale discului rectificator, își micșorează valoarea împreună cu adâncimea lor de amplasare și trec în tensiuni de comprimare (figura 5.9). Acest fapt este provocat de creșterea vitezei de deplasare a discului rectificator față de suprafața rectificată a dinților roții dințate, care micșorează cantitatea de căldură degajată și duce la răcirea mai rapidă a stratului exterior al dinților. În consecință, are loc majorarea tensiunilor de comprimare la adâncimi mari.

După cum au arătat cercetările, simultan cu creșterea avansului rotativ se majorează și valoarea tensiunilor

remanente (figura 6.10), care, la o adâncime mai mult de 100 μm , devin tensiuni de comprimare.

Valoarea tensiunilor remanente este variabilă pe adâncimea amplasării lor. Odată cu creșterea adâncimii de amplasare a tensiunilor remanente de întindere în stratul exterior, ele se micșorează la o adâncime de cca 100 μm , modificându-și semnul și trecând în cele de întindere. La un avans rotativ maximal al mesei de cca $p_o = 800$ mm/min, valoarea tensiunilor de întindere se micșorează și ele se transformă în tensiuni de comprimare, atingând valoarea maximă la cea mai mare amplasare pe adâncime. Acest fapt demonstrează influența considerabilă a căldurii. Valoarea influenței acesteia este stabilită în [59, 71] și apare în zona de contact al discului rectificator cu dintele prelucrat [59].

Influența volumului mai mare de material apare la adâncimi mai mari de 200 μm . Aici apar tensiuni de comprimare, a căror valoare se micșorează însă odată cu creșterea avansului rotativ al mesei (figura 6.10).

Dacă se ține cont de tensiunile remanente de întindere, considerabile la o valoare maximă a avansului, trebuie să evităm utilizarea lor din motivul mărimii și adâncimii de amplasare a acestor tensiuni în stratul exterior. Astfel, micșorând valoarea avansului rotativ, vom reduce valoarea tensiunilor de întindere în stratul exterior, care duc la modificări structurale.

Ațiunea adâncimii de rectificare asupra formării tensiunii inițiale în stratul exterior al dinților roților dințate se manifestă prin creșterea valorilor tensiunilor. Caracterul modificării tensiunilor remanente, pe adâncimea lor de amplasare, este același la rectificare cu diferite adâncimi în câmpul de valori de la 0,05 până la 0,1 mm.

Aceste tensiuni la suprafață sunt de întindere și se micșorează odată cu adâncimea față de suprafață, de la 400 MPa până la 0, la o distanță de cca 500 μm de la suprafață (figura 6.11). Aceasta are loc din cauză că, pe de o parte, există o influență a căldurii care trece în materialul prelucrat din zona de contact, iar pe de altă parte – datorită variației forțelor de așchiere [129]. Căldura induce modificări în structura stratului exterior, care conduc la apariția tensiunilor remanente de întindere.

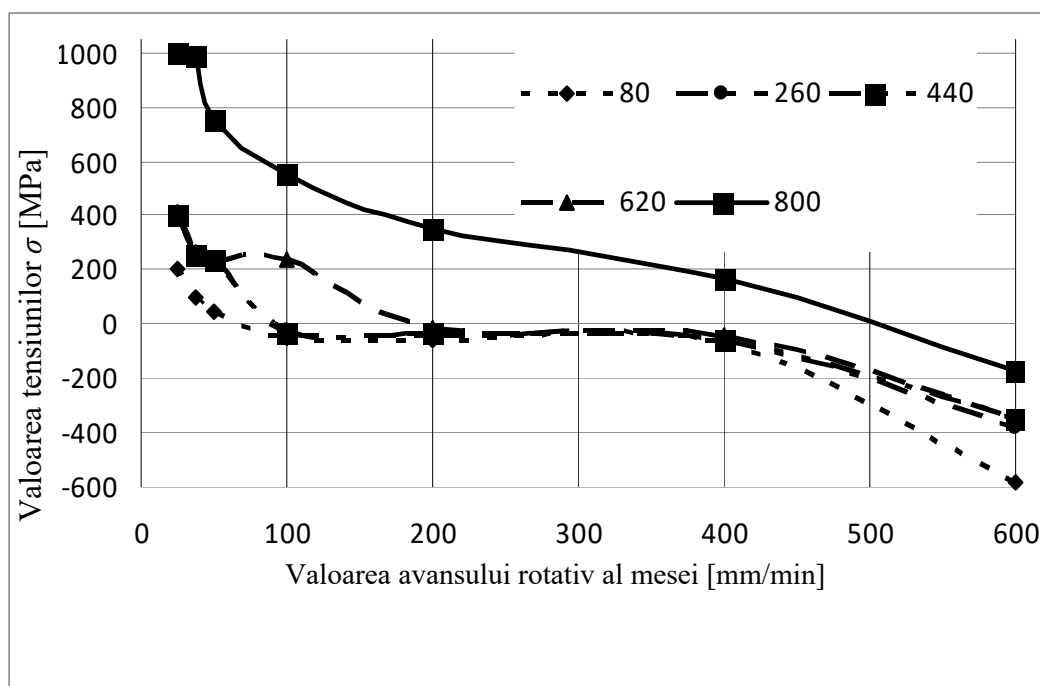


Fig. 6.10

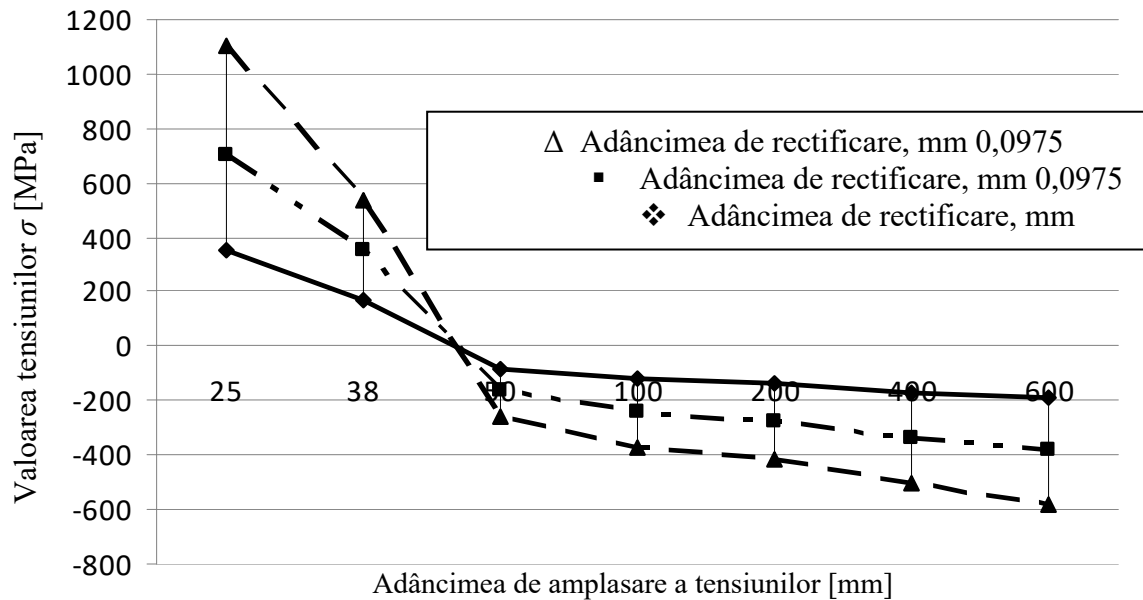


Fig. 6.11

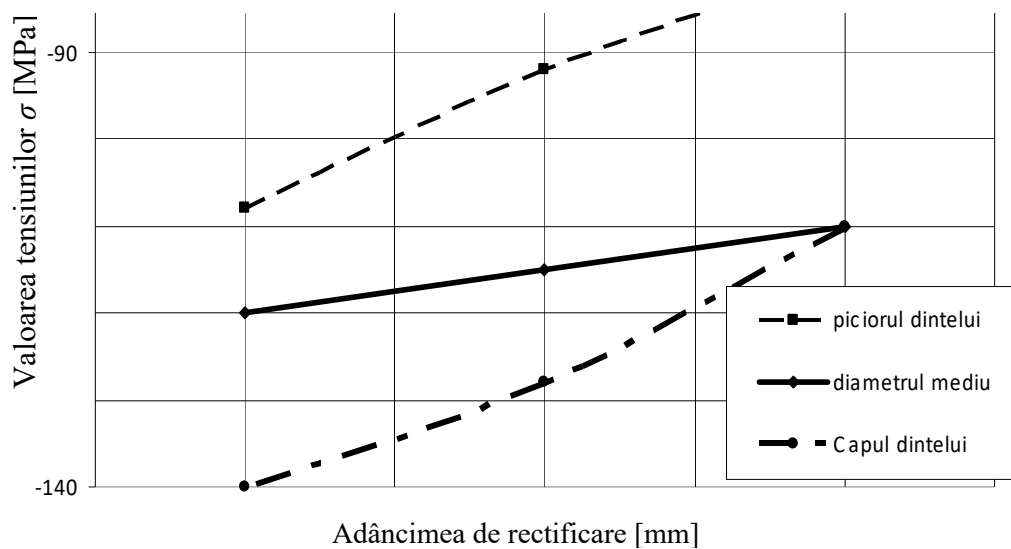


Fig. 6.12

La adâncimi de rectificare nu prea mari, în stratul exterior al dinților roților dințate, pot fi observate tensiuni remanente de o valoare nu prea mare.

La adâncimi considerabile [129], tensiunile remanente au caracterul unor tensiuni de comprimare (figurile 6.12, 6.13, 6.14) atât de-a lungul înălțimii dintelui, cât și în piciorul acestuia, indiferent de adâncimea de rectificare [129]. Cercetările au arătat că valoarea tensiunilor de comprimare, pentru adâncimi mai mici de rectificare, este mai mică și crește împreună cu adâncimea de amplasare a lor în stratul exterior.

În urma analizei epurelor tensiunilor remanente pe înălțimea dintelui, cele mai mici tensiuni de comprimare s-au observat în zona diametrului mediu, indiferent de adâncimea de rectificare.

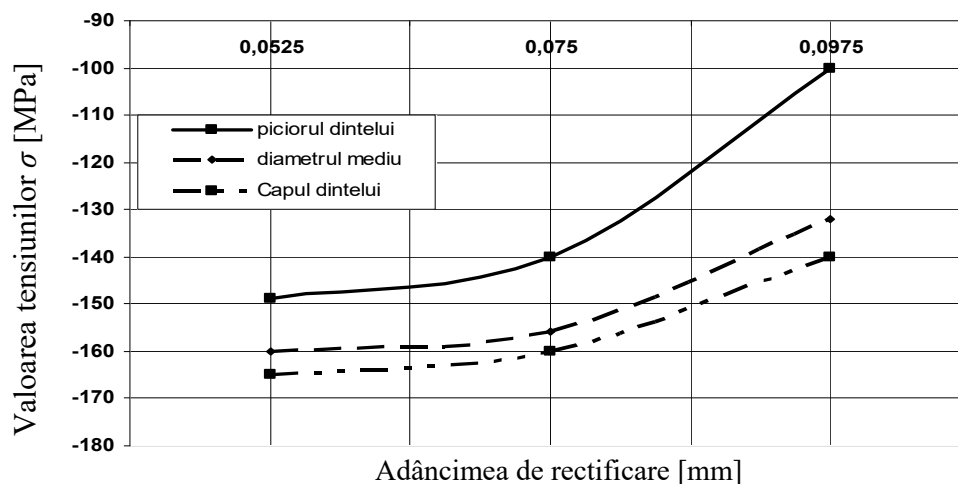


Fig. 6.13

Sporirea tensiunilor de comprimare are loc mai pronunțat în stratul exterior al piciorului dintelui roții dințate (figurile 6.12–6.14). Valoarea acestor tensiuni crește odată cu adâncimea de așchiere, cauza fiind volumul mare de material îndepărtat de pe suprafața dintelui, dar și sporirea considerabilă a forțelor de așchiere ca urmare a creșterii volumului de metal îndepărtat de pe suprafața dintelui.

6.4. Influența excentricității dinților roților dințate asupra tensiunilor remanente care apar în stratul exterior

Pe baza rezultatelor obținute în urma cercetărilor efectuate (figura 6.15), putem stabili că o creștere a excentricității dinților roților dințate influențează considerabil starea tensiunilor remanente. Totodată, s-a observat că atunci când se mărește distanța de la profilul dintelui roții dințate, valoarea tensiunilor se micșorează.

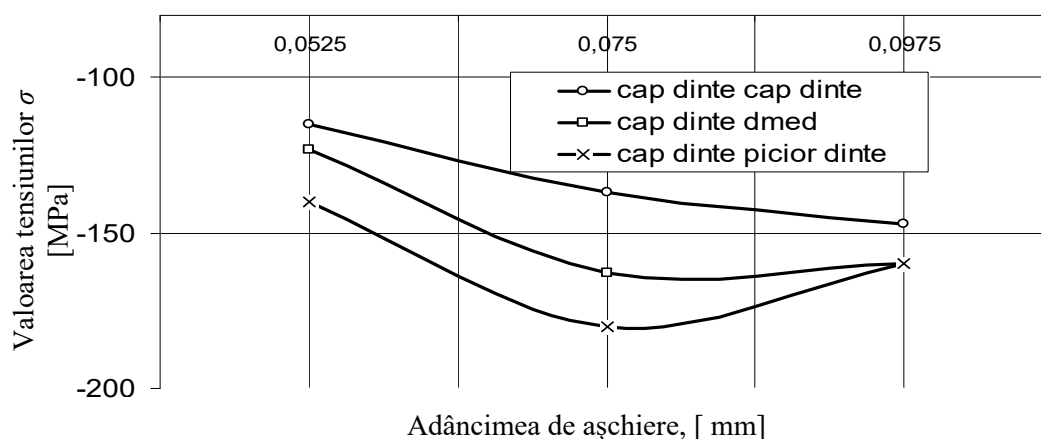


Fig. 6.14

Menționăm că variația excentricității influențează asupra grosimii stratului îndepărtat de la cap spre piciorul dintelui. Ultimele variații se răsfrâng asupra modificării conținutului de căldură care trece în interiorul metalului, urmate de modificări structurale, determinând valoarea și caracterul distribuției tensiunilor remanente în stratul exterior al dinților. Valoarea considerabilă a tensiunilor remanente din stratul exterior demonstrează că în procesul de rectificare are loc o influență simultană a valorilor variabile ale cantității de căldură și ale forțelor de așchiere.

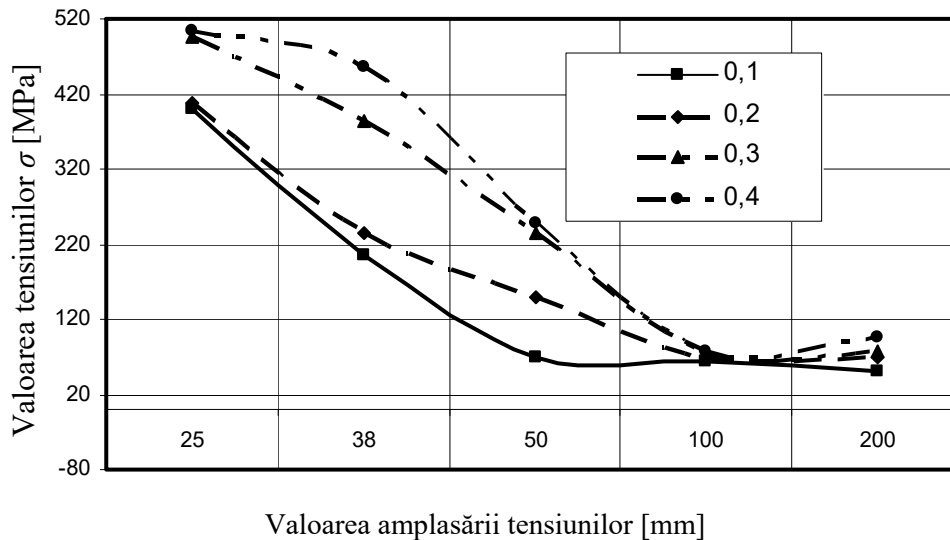


Fig. 6.15.

Cauza constă în creșterea excentricității (cu 25%), care conduce la o sporire a tensiunilor remanente în stratul exterior până la 77%. De aceea, minimizarea valorii excentricității are o importanță esențială în procesul de rectificare, deoarece se micșorează consumul de căldură în zona de contact al sculei cu materialul prelucrat, diminuând astfel valoarea tensiunilor de întindere.

6.5. Modificarea durității stratului exterior al dintelui roților dințate rectificat

Modificarea durității stratului exterior al dintelui roții dințate rectificat ține de modificarea tensiunilor remanente. Această modificare depinde de metoda de rectificare în poziția în care în zona de contact a discului rectificator cu dintele roții dințate se formează o cantitate mare de căldură, care pătrunde în adâncimea metalului, urmată de modificări structurale.

În consecință apar tensiuni remanente de întindere, însoțite de micșorarea durității (figura 6.16). Micșorarea sau creșterea durității ține de dispersarea valorilor durității, ceea ce înseamnă că duritatea nu este constantă, indiferent de faptul dacă regimurile de așchiere pentru toți dinții rectificați ai roții dințate sunt constante.

Acest fapt demonstrează că la o amplitudine minimă a oscilațiilor (figura 6.16) se măresc tensiunile de întindere, iar la amplitudinea maximă are loc sporirea tensiunilor de comprimare în stratul exterior rectificat al dintelui roții dințate. Legitatea menționată demonstrează că procesul dat este unul ciclic.

Cercetând repartizarea durității pe adâncimea suprafeței exterioare a dintelui (figura 6.17), s-a determinat faptul că, începând de la suprafața exterioară spre interior, duritatea se micșorează până la 7 μm , apoi crește lent și atinge valoarea de 60 HRC la o adâncime de 90 μm . Aceasta înseamnă că în stratul cercetat există tensiuni de comprimare, care apoi trec în tensiuni de întindere, influențând asupra modificării durității.

De aici rezultă că există o tendință nu numai de sporire a durității pe adâncimea dintelui, dar are loc și minimizarea tensiunilor inițiale de comprimare. Acest fapt demonstrează dependența grafică (de regulă, trebuie să fie o expresie matematică, nu un grafic) a egalității din figura 6.17. Putem să ne așteptăm, în același timp, și la creșterea tensiunilor de comprimare.

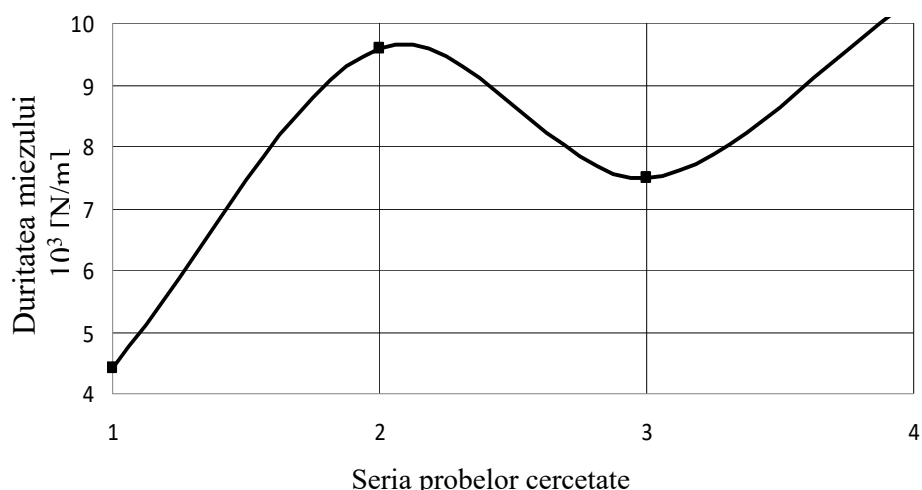


Fig. 6.16

În scopul analizei mai profunde a celor menționate mai sus, a fost cercetată microduritatea stratului exterior al dinților după rectificarea lor.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor (figura 6.18) prezintă în sine valori ale modificărilor microdurității pe adâncimea stratului exterior al dintelui roții dințate. Valoarea maximă a durității, care a fost obținută, se regăsește pe suprafața dintelui. De la suprafață spre adâncimea dintelui, valoarea microdurității se micșorează. La o adâncime de 60 μm atinge chiar valoarea de 320 MPa.

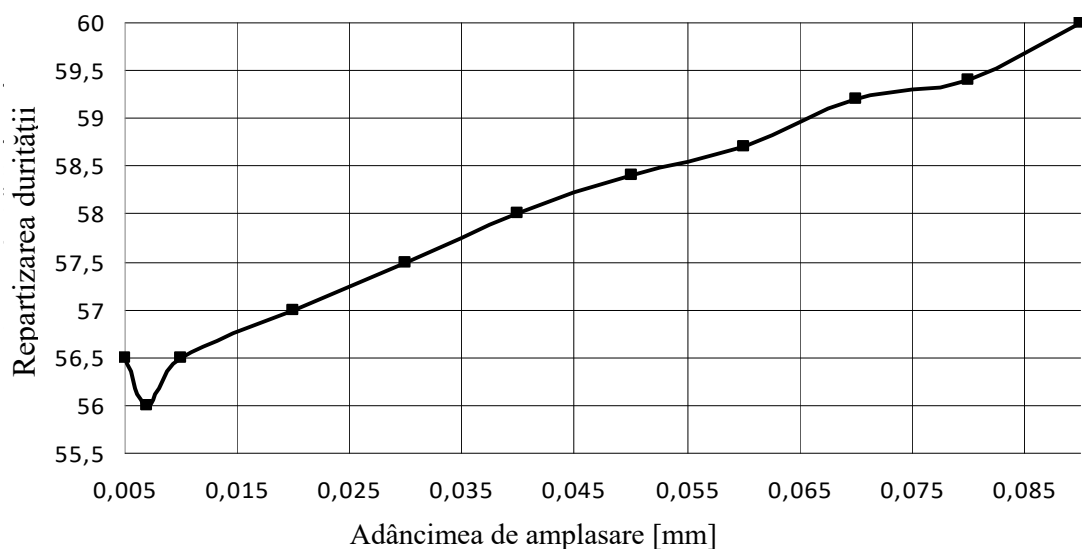


Fig. 6.17

Analizând diagrama din figura 6.18, se poate stabili influența amplitudinii asupra caracterului modificării microdurității. Existența valorilor maxime în amplitudinea modificărilor demonstrează că în stratul exterior există tensiuni remanente de comprimare, care se modifică în tensiuni de întindere, împreună cu trecerea amplitudinii modificării microdurității în valoarea ei minimă. Aceasta nu înseamnă trecerea momentană a tensiunilor remanente de la un semn la altul. Aceste modificări au loc treptat, într-o direcție și în alta.

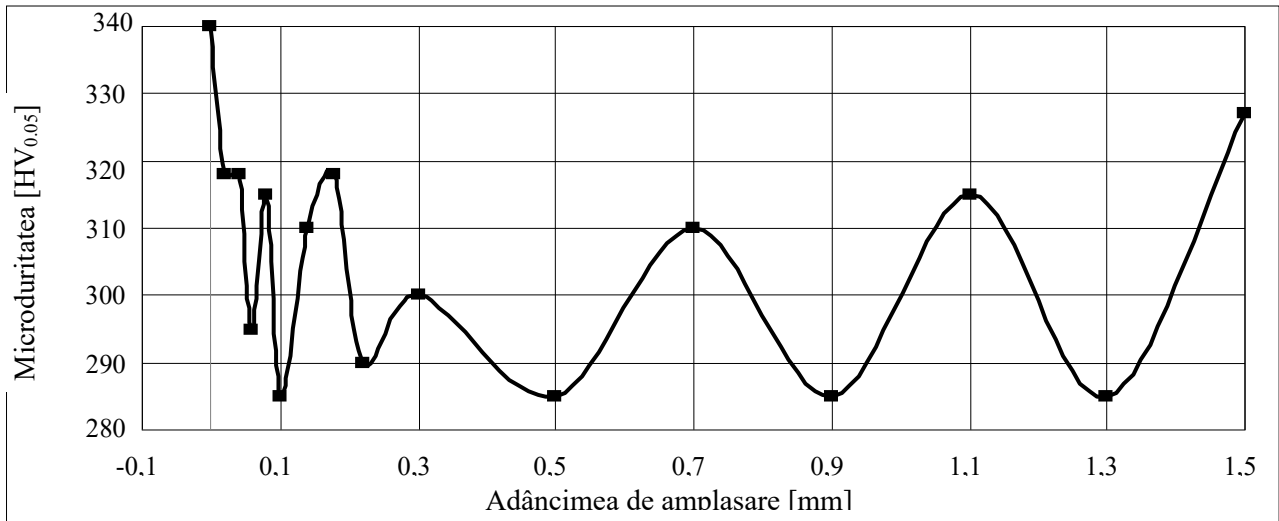


Fig. 6.18

6.6. Formarea rugozității suprafeței dinților roților dințate

Autorii lucrărilor [40, 125, 165] afirmă că înălțimea neregularităților suprafeței dinților roților dințate variază de la 2,5 la 0,16 μm . Rugozitatea are o importanță considerabilă pentru starea stratului exterior [35, 69], fapt care solicită cercetarea înălțimii microneregularității suprafeței dinților roților dințate, cum este prezentat în figurile 6.19, 6.22.

Mai întâi de toate, trebuie remarcat faptul că înălțimea neregularităților este influențată de numărul de curse duble ale discului abraziv (figura 6.19), care are o amplitudine ciclică cu un maxim mai pronunțat la 150 și 275 min^{-1} , cu o tendință spre micșorare după 315 min^{-1} . Astfel, pentru a obține o rugozitate minimă a suprafeței dintelui, este necesar de realizat un proces de rectificare cu cca 314 min^{-1} curse duble ale discului rectificator (figura 6.19).

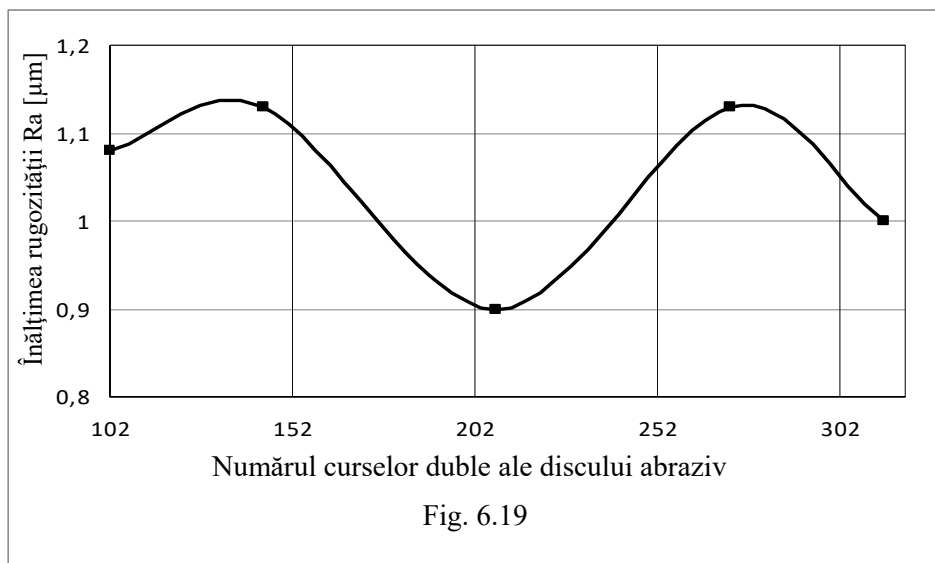


Fig. 6.19

Un astfel de efect a fost urmărit în cazul analizei dependenței rugozității suprafeței dintelui de avansul rotativ al mesei (figura 6.20). În același timp, caracterul ciclic de modificare a rugozității se dezvoltă altfel, dar totuși are un maximum și un minimum al său. Valoarea minimă a înălțimii rugozității se observă la un avans rotativ

al mesei de 440 mm/min, iar cea maximă – la o valoare a avansului mesei de 660 mm/min. Este cazul să menționăm că valoarea optimă a avansului, pentru o rugozitate favorabilă, nu întotdeauna corespunde valorilor obișnuite, deoarece datele respectiv pot să nu coincidă din punctul de vedere al formării tensiunilor (comprimare) remanente ori al altor proprietăți fizico-mecanice.

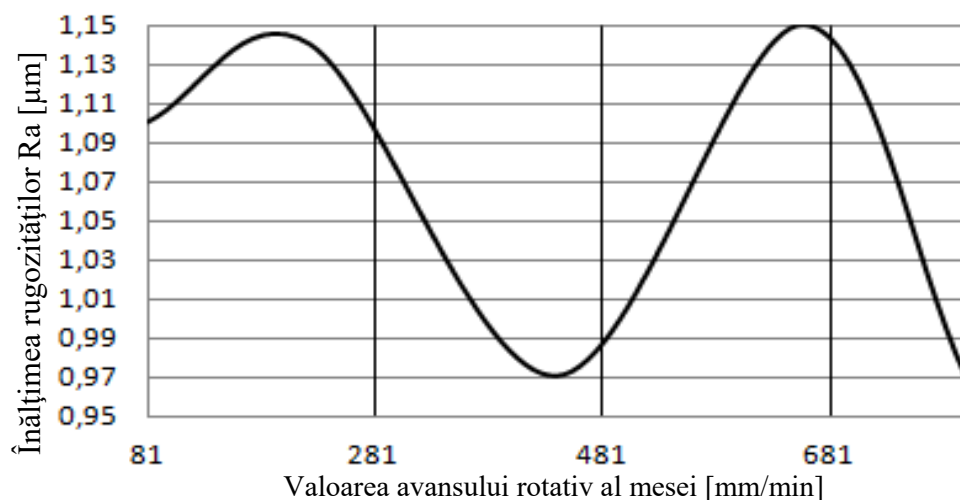


Fig. 6.20

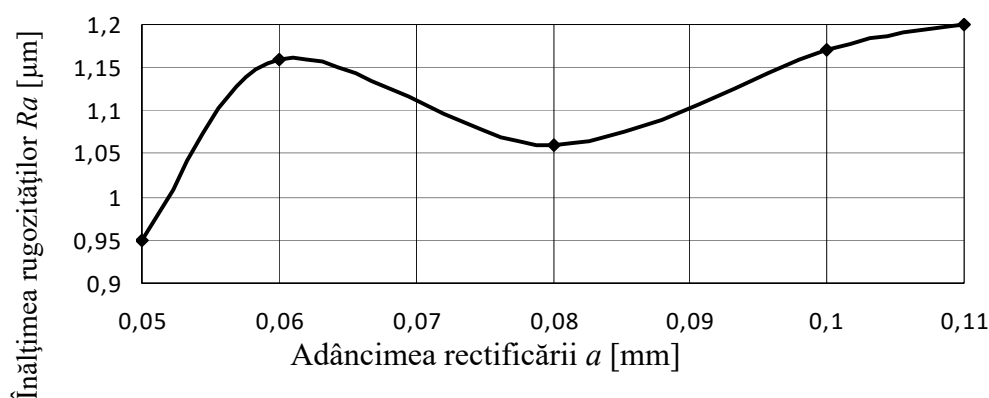


Fig. 6.21

Asupra rugozității suprafeței dintelui influențează și adâncimea de așchiere (figura 6.21). La o adâncime de rectificare $a = 0,05$ mm se obține o înălțime de rectificare minimă. Împreună cu creșterea adâncimii de rectificare are loc și majorarea neregularităților, apoi acestea se micșorează la o adâncime de 0,08 mm. La o creștere ulterioară a adâncimii de rectificare, mărimea neregularităților sporește ușor. Putem remarca o dependență analogică a înălțimii neregularităților de adâncimea de așchiere și la determinarea ciclicității procesului de modificare a rugozității. Aceasta se dezvoltă invers proporțional cu dependențele prezentate mai sus (figurile 6.19 și 6.21).

Când determinăm caracterul modificării rugozității, legat de adâncimea rectificării, putem menționa valoarea minimă a valorii la o adâncime de rectificare de 0,05 mm, iar valoarea maximă – la o adâncime de rectificare de 0,11 mm. Apreciind influența parametrilor prezenți ai regimurilor de rectificare (figurile 6.19–6.22) asupra înălțimii neregularităților suprafeței, putem constata ușor că valorile extreme ale rugozității sunt diferite și se dezvoltă în mod diferit (figura 6.22).

De aceea, pentru a obține o valoare minimă a înălțimii neregularităților, trebuie analizată starea stratului

exterior al profilului dintelui în funcție de parametrii regimurilor de rectificare indicați

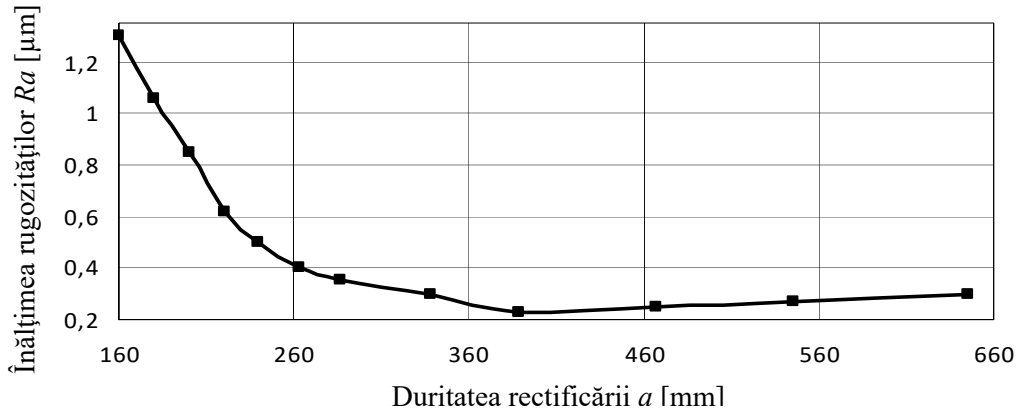


Fig. 6.22

Se cunoaște totodată că valorile minime ale parametrilor regimului de rectificare, cum este adâncimea, permit să se obțină o înălțime minimă a neregularităților. O astfel de prelucrare este însă însoțită de mari cantități de căldură degajată, provocată de modificările tensiunilor remanente și structurale care au loc în stratul prelucrat la o adâncime de 25–50 μm , și însoțite de modificări ale austenitei remanente și ale durității (figura 6.22).

Legătura dintre rugozitățile și duritatea suprafeței rectificate a dintelui (figura 6.22) se confirmă printr-o dependență logaritmică, ce indică faptul că la creșterea durității înălțimea neregularităților scade.

6.7. Modificarea conținutului de austenită reziduală în stratul exterior al dinților roților dințate

În oțelul cu un conținut bogat de carbon (figura 6.23), modificările martensitice au loc doar parțial [125], deoarece se formează o stare de echilibru în care, paralel cu prezența unei austenite reziduale care nu s-a transformat, există și martensită [125]. Aceasta are loc din cauza deplasării sfârșitului liniei modificărilor martensitice M_1 , pentru un conținut chimic concret al oțelului, adică cu cât mai joasă este ea, cu atât mai multă austenită reziduală este (figura 6.24).

În principiu, pot fi evidențiate două cauze ca urmare a cărora în oțel persistă austenită remanentă, în timp ce procesul de răcire are loc încontinuu la rectificarea stratului exterior al dinților: autofrânarea procesului transformărilor martensitice; temperatura joasă M_f , adică a sfârșitului de formare a martensitei ($< 20^{\circ}\text{C}$).

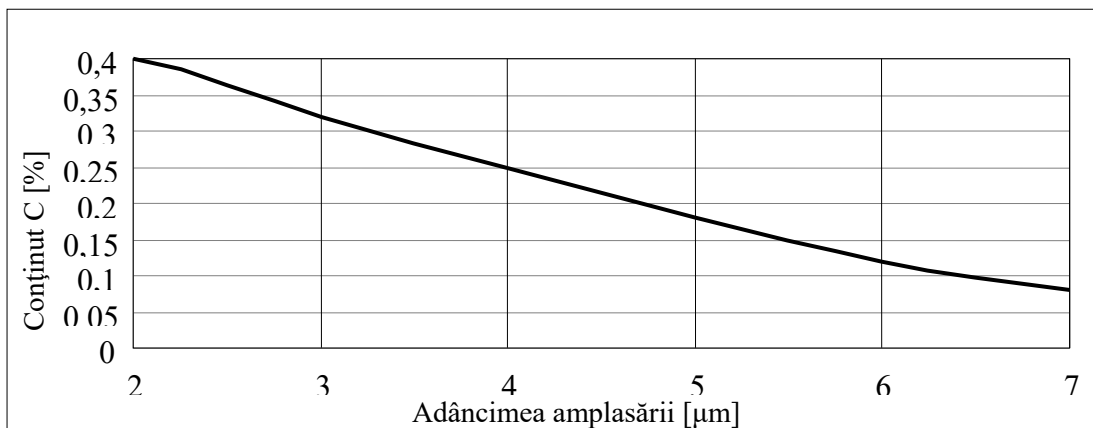


Fig. 6.23

Totodată, autofrânarea procesului transformărilor martensitice are loc ca urmare a incubării tensiunilor inițiale de comprimare în stratul exterior, cărora le favorizează existența unui conținut neesențial de austenită

reziduală. În acest caz, sporește numărul de carburi proeutectice care se dizolvă în austenită, provocând coborârea punctelor M_s și M_f . Amintim faptul că austenita majorează plasticitatea oțelului, exprimată prin reducerea durității (austenită – 200 HB), iar martensita se caracterizează printr-o plasticitate mică și o duritate mare (700 HB).

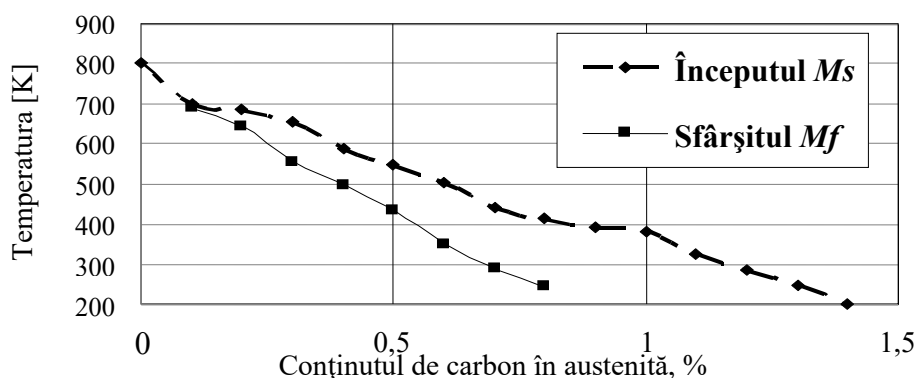


Fig. 6.24

Așadar, un conținut sporit de austenită reziduală va trebui să aibă o influență mai favorabilă asupra stării de tensiuni remanente și durității stratului exterior. Din păcate, lucrurile se desfășoară altfel, deoarece creșterea austenitei reziduale conduce la micșorarea rezistenței la oboseală și la sporirea tensiunilor remanente de întindere [87]. Din această cauză au fost efectuate cercetări suplimentare, pentru a determina cantitatea austenitei reziduale în stratul exterior al dinților roților dințate rectificat. Rezultatul acestor cercetări este prezentat în figurile 6.25 și 6.26.

Din figurile prezentate se observă că conținutul de austenită reziduală crește spre adâncimea stratului exterior, fapt ce se confirmă și prin ecuația curbei obținute prezentate. Apar însă unele dubii asupra valorilor acestei dependențe.

Majorarea cantității de austenită reziduală modifică locul punctului de amplasare a modificărilor structurale în adâncimea dintelui (figura 6.26), care se observă chiar de la 0,4 mm. Unii cercetători [142] afirmă că conținutul austenitei reziduale poate atinge valoarea de 54%, la o adâncime de 10 μm . Aceasta demonstrează că proprietățile stratului exterior al roților dințate se modifică, iar împreună cu aceasta vor apărea modificări ale formei și dimensiunilor, care conduc la apariția rebutului roților dințate [71, 125].

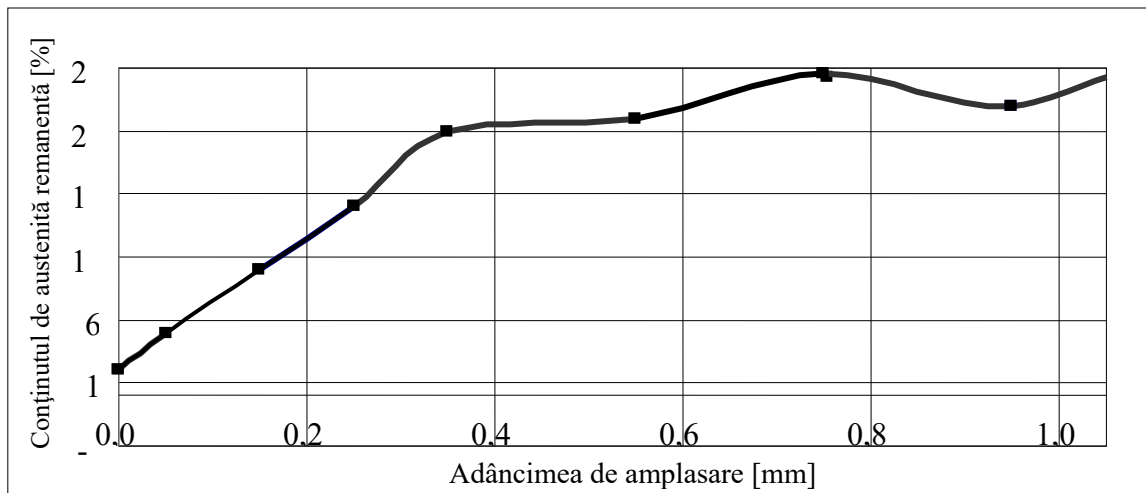


Fig. 6.25

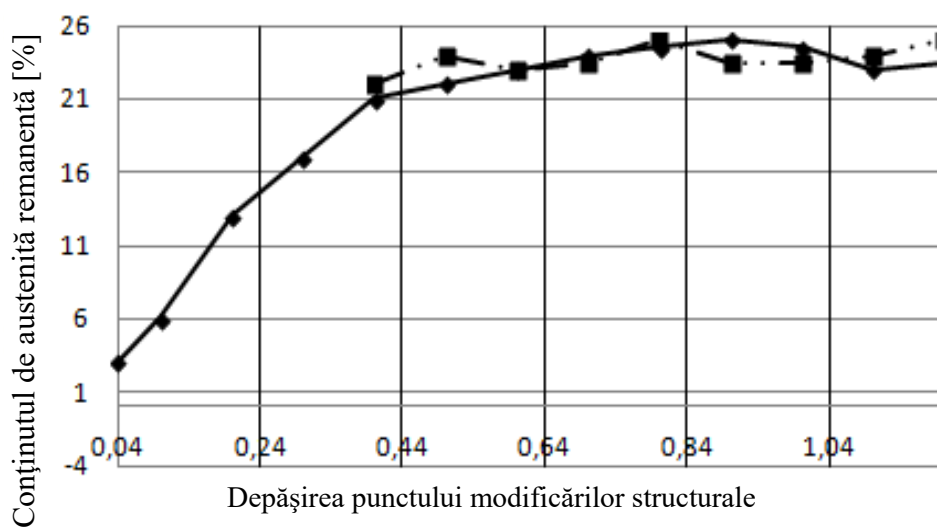


Fig. 6.26

6.8. Caracteristica structurală a stratului exterior al roților dințate rectificat

În procesul de rectificare se modifică proprietățile stratului exterior al dinților roților dințate [142]. Modificările au loc ca urmare a influenței temperaturii și acțiunii forțelor de așchiere ce apar în locul rectificării dinților. Pentru a determina aceste modificări, au fost realizate cercetări ale microstructurii acestui strat. Acestea ne-au permis să stabilim faptul că, inițial, în structura oțelului *12H2N4A* există ferită aliată cu aspect metalografic deschis, pe al cărei fond este prezentă perlita (figura 6.27). Pentru oțelul *40H* (figura 6.28), în structura inițială găsim ferită cu perlită și o rețea pronunțată de cementită la limitele grăunților.

După rectificare apare martensita de revenire (figura 6.29) și austenita reziduală, cauza fiind influența căldurii, care provoacă formarea germenilor structurii stratului alb la călire secundară. Apariția arsurilor de la rectificare influențează grosimea stratului alb după călirea secundară, prezența martensitei de revenire și a austenitei reziduale (figurile 6.30, 6.31).

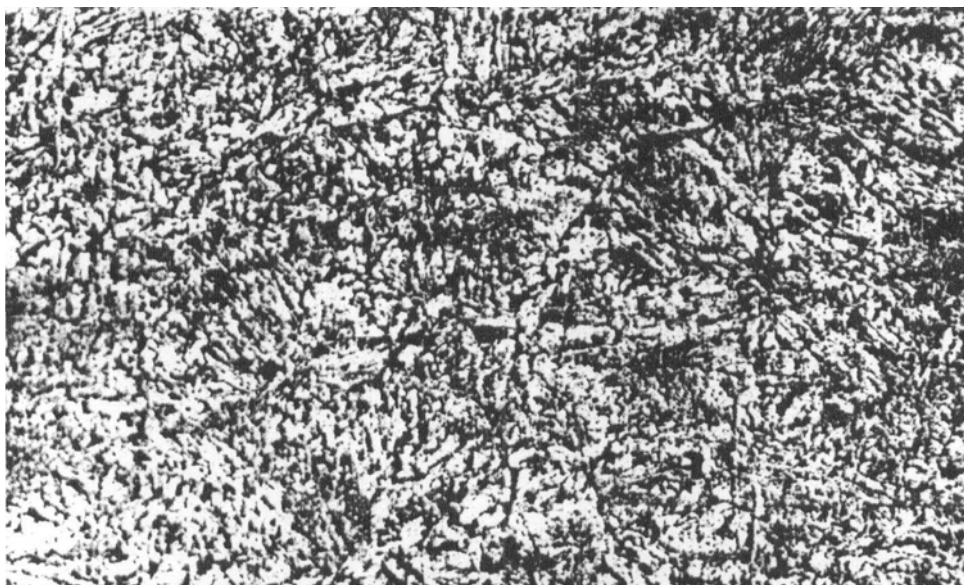


Fig. 6. 27



Fig. 6.28

Pentru oțel *40H*, structura stratului exterior are o granulație fină (figurile 6.32, 6.33), cu limite pronunțate ale grăunților (figura 6.32). Se observă de asemenea prezența perlitei, cu rețea de cementită secundară. Vom remarca modificări de structură pe adâncime de la suprafața dintelui roții dințate.

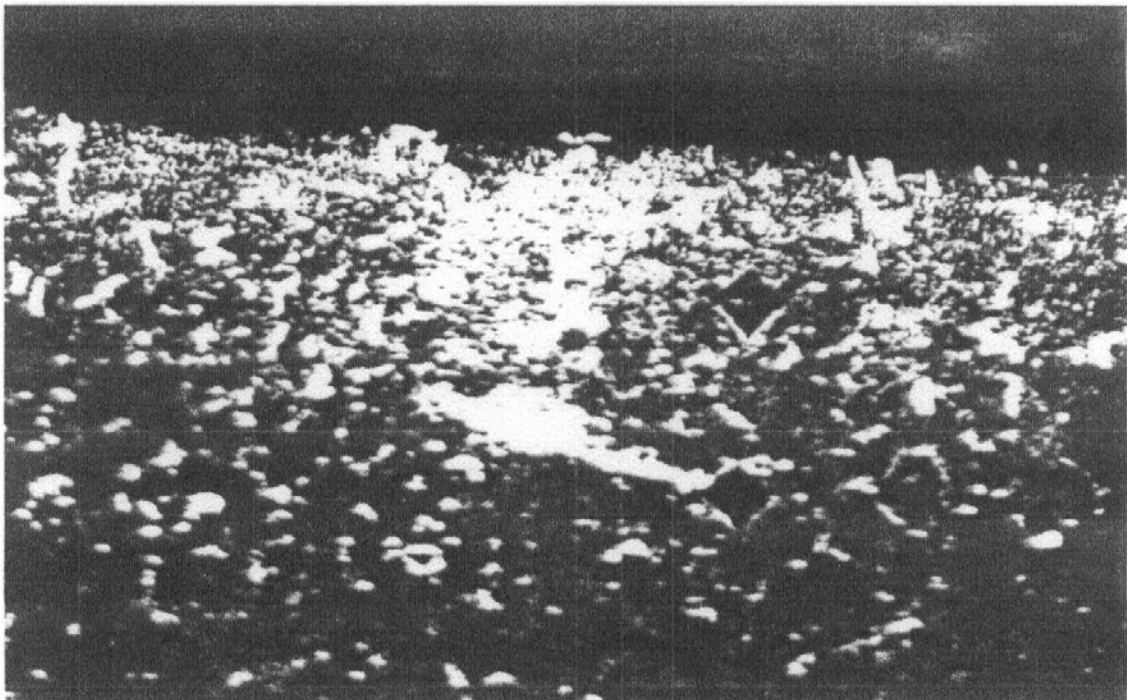


Fig. 6.29

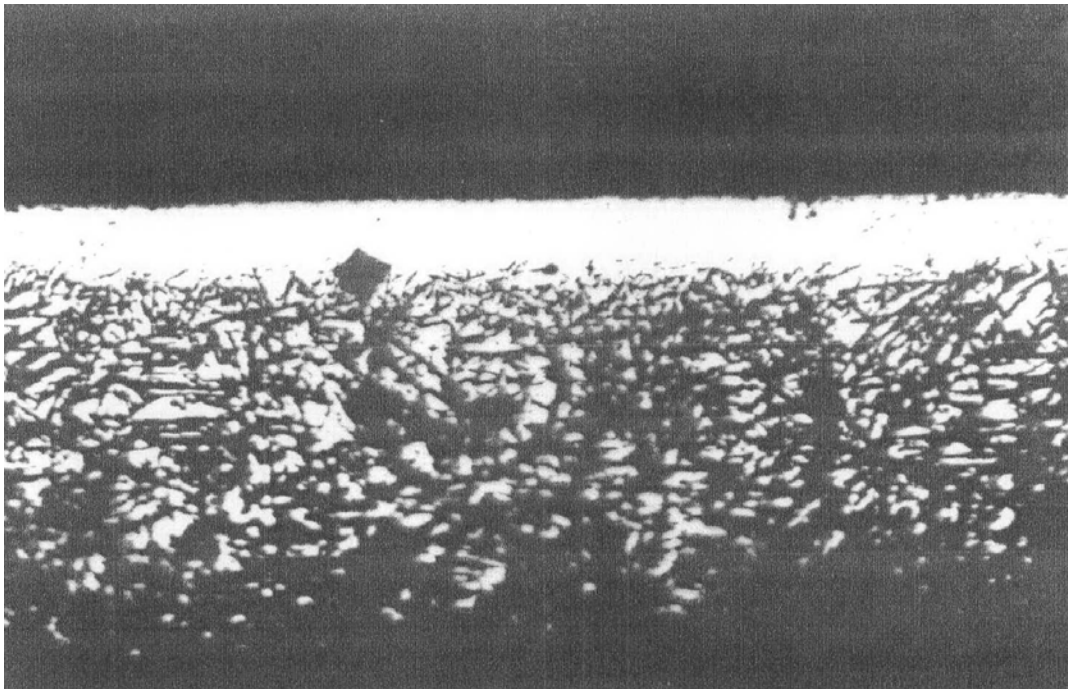


Fig. 6.30

Cercetarea ulterioară a dinților roților dințate, executate din oțel *12H2N4A*, a arătat că lățimea liniei difracționale se reduce odată cu adâncimea de rectificare (figura 6.34). În afară de aceasta, lățimea liniei difracționale depinde de materialul discului rectificator. La rectificare cu electrocorund, lățimea liniei difracționale se micșorează (figura 6.34) asemănător unei rectificări cu adâncime mare.

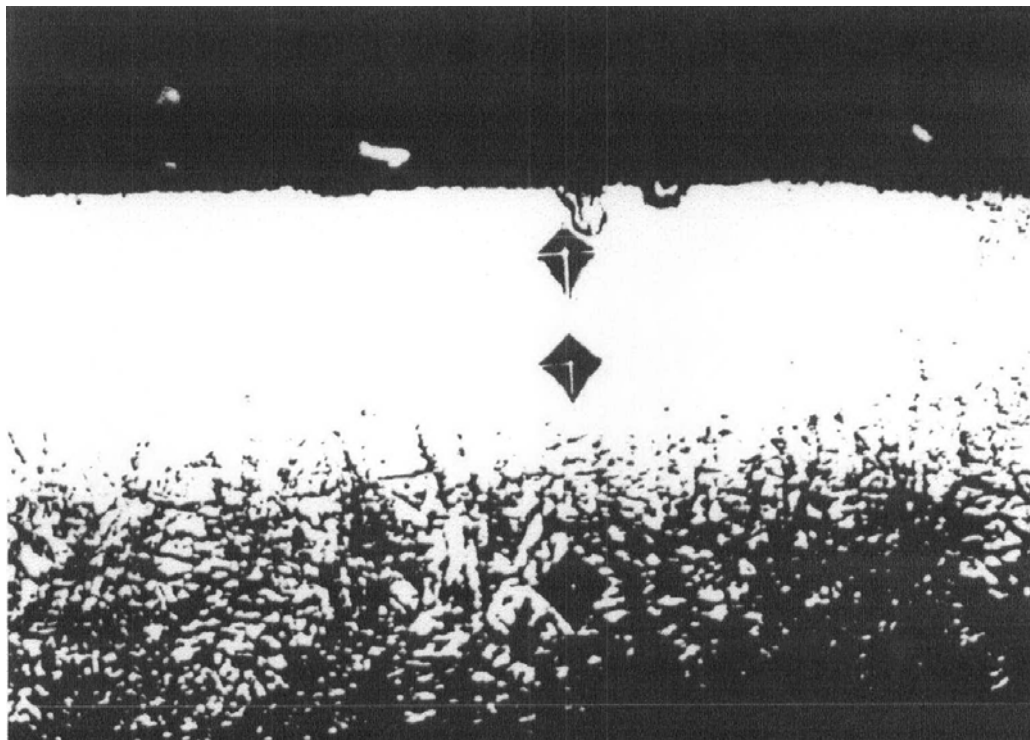


Fig. 6.31

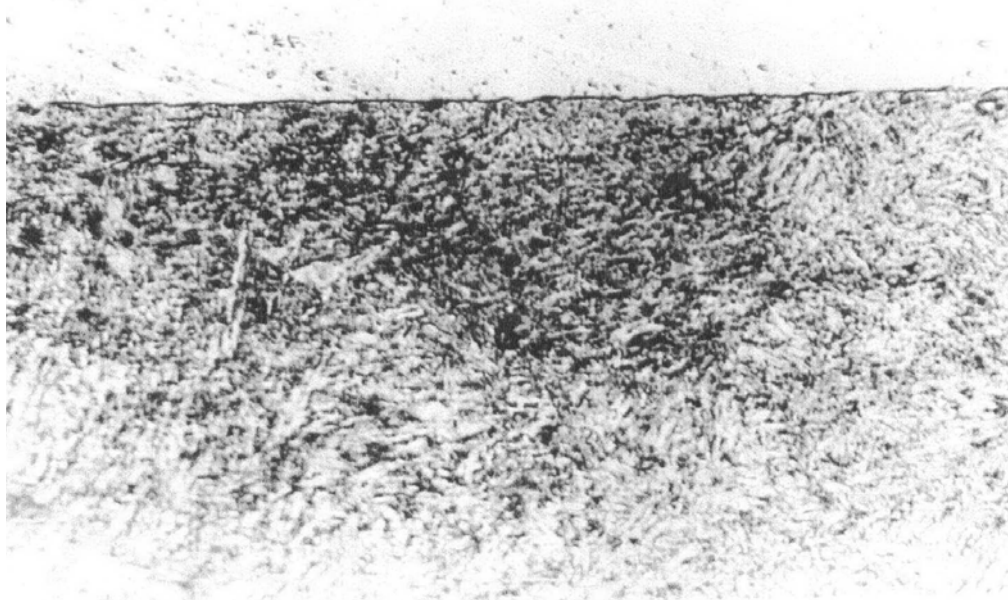


Fig. 6.32

La o adâncime de cca 0,02 mm, lățimea liniei difracționale este mai mică cu aproximativ 45%, iar în cazul rectificării cu discuri cu diamant – cu doar 14%. Se modifică totodată și dimensiunile blocului mozaic (figura 6.35).

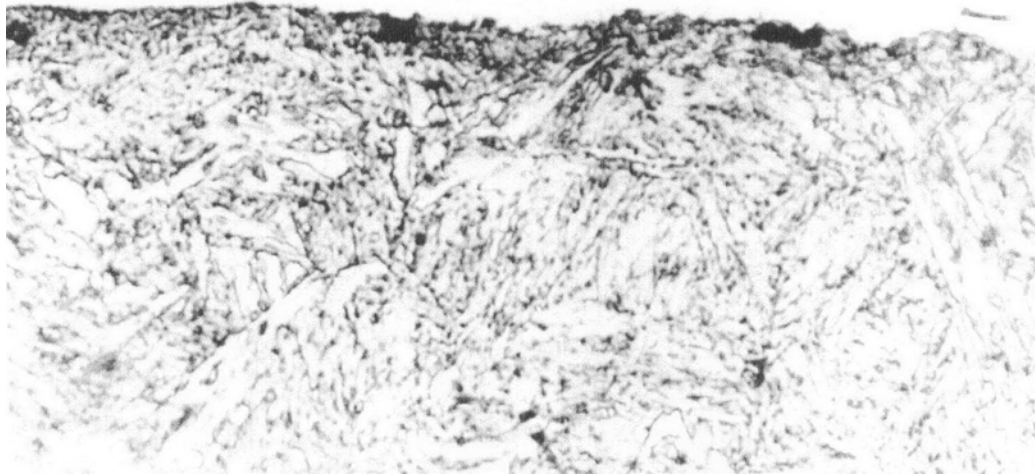


Fig. 6.33

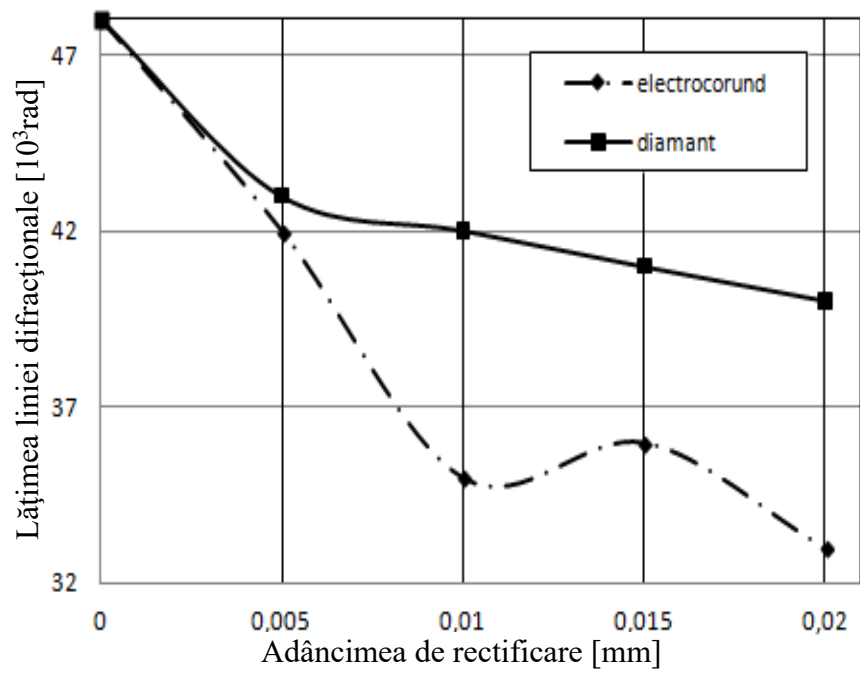


Fig. 6.34

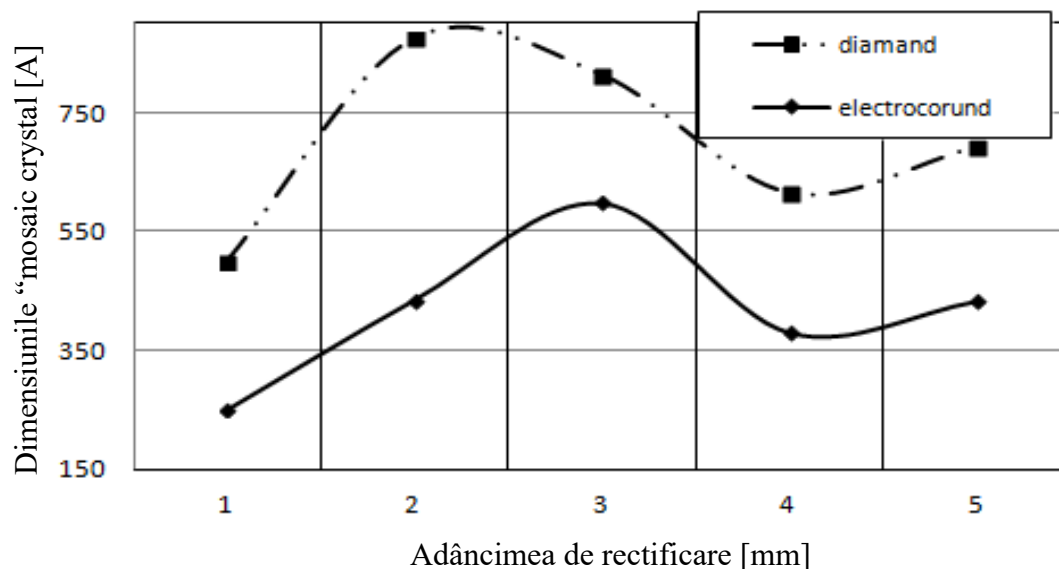


Fig. 6.35

În cazul utilizării discului abraziv din electrocorund, blocul mozaic are dimensiuni semnificative. Dacă este rectificat cu disc cu diamantat, blocul mozaic este considerabil mai mic. Adâncimea de rectificare, la utilizarea discurilor din electrocorund, exercită o influență negativă, cu majorarea ei până la 0,01 mm, deoarece are loc creșterea blocului mozaic.

La o rectificare cu discuri diamantate, creșterea dimensiunilor blocului mozaic nu este pronunțată, chiar și la o majorare a adâncimii de așchiere.

Pentru discuri abrazive din electrocorund, valoarea blocului mozaic crește cu circa 240%, iar pentru discuri cu diamant – cu doar 8%.

Altfel, microdeformațiile rețelei structurale se formează în funcție de adâncimea de rectificare utilizată (figura 6.36). Valoarea ei minimă la rectificare cu disc abraziv din electrocorund, la o adâncime de așchiere de 0,01 mm este mai mică cu 38% decât cea inițială, iar utilizând discul cu diamant – cu 33% la o adâncime de rectificare de 0,02 mm.

De aceea, materialul abraziv din electrocorund pentru discul rectificator este mai indicat, deoarece provoacă micordeformații mai mici ale rețelei cristaline. Totodată, s-a demonstrat că în stratul exterior al dinților roților dințate au loc deformații mai mici, legate de procesul de rectificare. Se observă o creștere nu prea mare a microdurateții, legate de creșterea adâncimii de rectificare, dar nu pot fi considerate mari, în comparație cu procesul de rectificare cu discuri cu diamant.

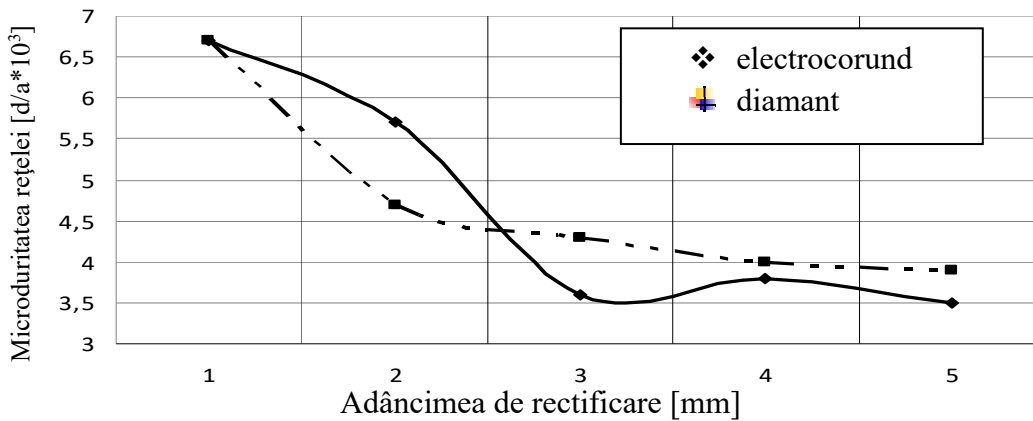


Fig.6.36

Așadar, s-a adeverit presupunerea expusă privind modificarea proprietăților stratului exterior, provocată nu numai de influența căldurii, dar și de modificările structurale, care au loc în procesul de rectificare. Modificările apar în microstructura stratului exterior rectificat, pe lățimea liniei cristaline și a dimensiunilor blocului mozaic.

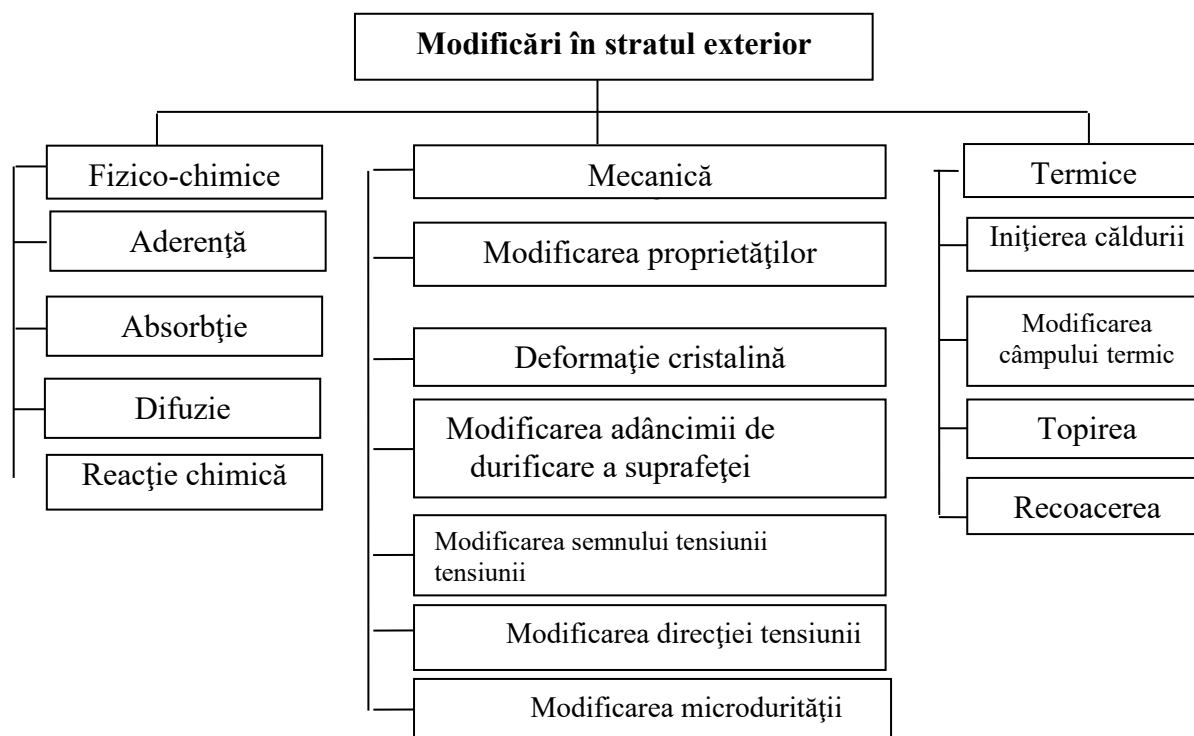
6.9. Influența stării stratului exterior al dintelui roții dințate asupra rezistenței la uzură

În stratul exterior apar modificări chiar în timpul executării semifabricatului. Ele depind, de exemplu, de valoarea diferenței de temperatură dintre stratul exterior și miezul roții dințate, de grosimea semifabricatului și conductibilitatea termică. Din momentul formării semifabricatului, apar o serie de modificări care se supun transformărilor ulterioare în timpul procesului de prelucrare [165], în funcție de ereditatea tehnologică a semifabricatului. Aceste modificări pot fi utile sau dăunătoare, în funcție de tehnologia utilizată. Ele se referă la stratul exterior și se manifestă prin transformări chimico-fizice și mecanice (figura 6.37). De aceea, este bine-venită determinarea caracteristicilor unui astfel de strat, ținând cont de modificările apărute la suprafață, în substrat și în cazul semifabricatului (piesei) (figura 6.38).

Este clar că pe tehnologi îi interesează mai mult stratul exterior, în care au loc modificările mecanice, fizice și chimice (figurile 6.39, 6.40).

Nu trebuie să uităm nici de defectele care pot apărea în material chiar din momentul executării. Ele se manifestă la adâncimi diferite, mai frecvent însă în stratul exterior, iar valoarea defectelor și adâncimea amplasării lor depind de tipul prelucrării. Deseori acest caracter este diferit. Procesul tehnologic poate înlătura aceste defecte sau să nu le creeze (de exemplu, arsurile și fisurile la rectificare). Dacă defectele apar ca un rezultat al procesului tehnologic, aceasta denota faptul că condițiile de prelucrare și scula au fost alese incorect sau că în procesul tehnologic există erori dinamice sau statice.

Stratul exterior al suprafețelor de contact în angrenaj, în realitate, este limitat de straturile obținute în mod diferit prin interacțiunea lor chimică, fizică și mecanică în procesul de prelucrare, precum și în procesul de exploatare. De aceea, se poate vorbi de așa-numitul *strat tehnologic și de exploatare*, ale cărui proprietăți se modifică continuu.



Interacțiunea acestor suprafețe diverse în procesul de exploatare are loc în cadrul multiplelor contacte punctiforme, modificând considerabil condițiile în care funcționează suprafețele angrenajului la exploatare.

În afară de modificările chimico-fizice și mecanice, care au loc în procesul de execuție a roților dințate, noi modificări în stratul exterior existent au loc în timpul exploatării roților dințate. Ca urmare a acestor modificări, stratul exterior al roților dințate se distruge și are loc deteriorarea lor înainte de termen. Deoarece condițiile de exploatare sunt diverse, defectele suprafețelor dinților roților dințate sunt diferite. O altă cauză poate fi și lipsa de colaborare efectivă a constructorului, tehnologului și tribologului.

Pentru a preîntâmpina uzura intensivă și prematură a stratului exterior al dinților roților dințate, este necesară realizarea rațională a procesului tehnologic de execuție a lor, în care stratului exterior i se va da o astfel de stare finită, care îi va asigura proprietățile necesare de exploatare.

Uzura dinților roților dințate este o problemă majoră, deoarece este determinată de caracterul proceselor de frecare dintre elementele conjugate din angrenaj și reflectă diversitatea și mărimea sa [40]. Analiza proceselor de uzură a angrenajului arată că uzura uniformă a stratului exterior are loc în aproximativ 65% din cazurile cercetate, cuprinzând cca 0,106 mm din profilul suprafeței dintelui. În același timp, 21% din mărimea uzurii se localizează în zonele capului dintelui și piciorului dintelui, cu o uzură de cca 0,04 mm. Aproximativ 9% constituie uzura suprafeței dintelui în zona diametrului mediu, cu o valoare de cca 0,06 mm.

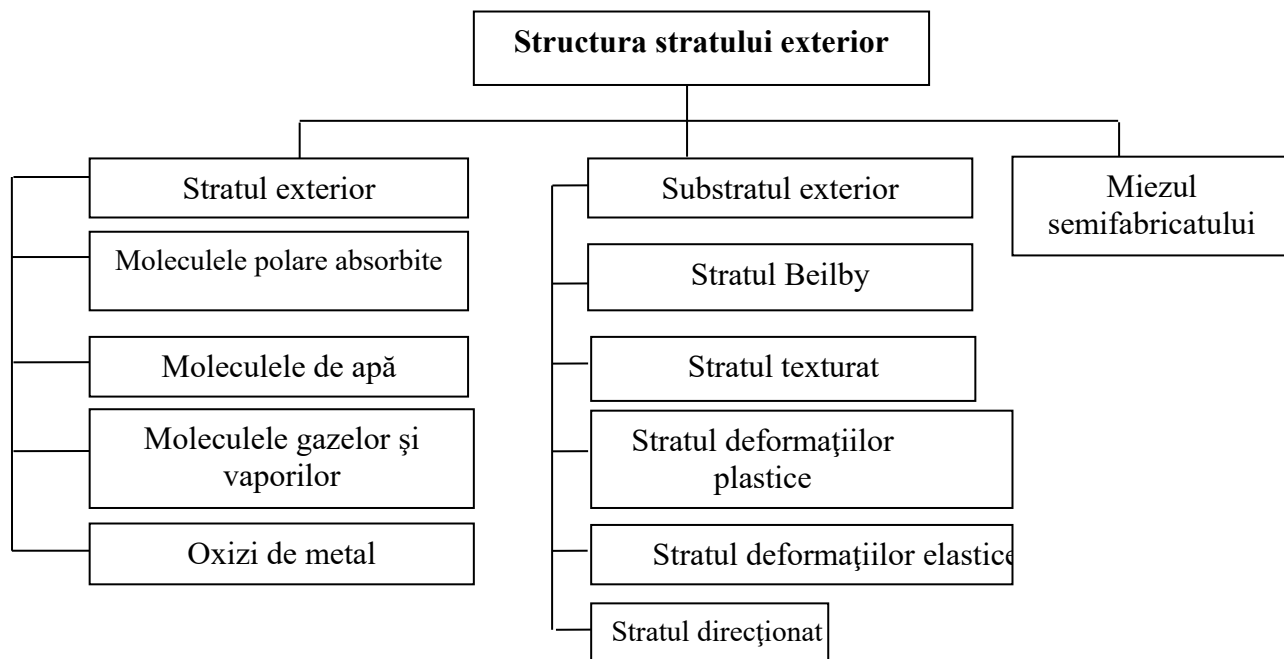


Fig. 6.38

Cercetările prezentate demonstrează că formarea stratului exterior al dinților roților dințate are o importanță considerabilă în ceea ce privește rezistența înaltă la uzură. De regulă, stratul exterior deja format poate contribui la reducerea semnificativă a uzurii profilului dinților roților dințate.

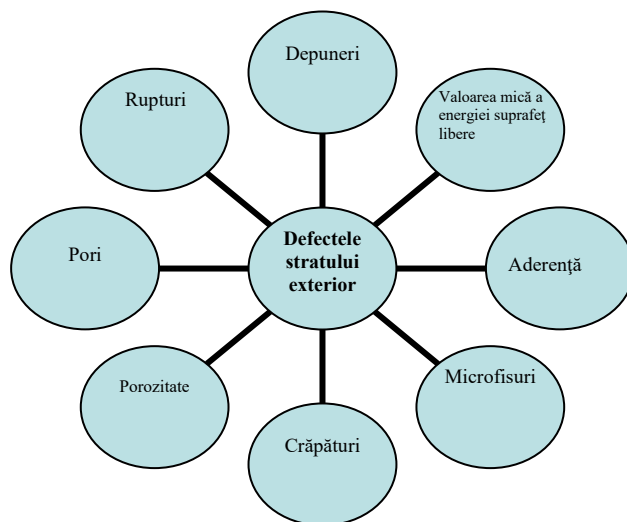


Fig. 6.39

6.10. Influența cinematicii procesului de așchiere asupra generării modificărilor în stratul exterior al profilului dinților

Starea stratului exterior al dinților roților dințate depinde în mare măsură de utilajul tehnologic utilizat. Calitatea suprafeței prelucrate depinde de schema cinematică, ce influențează asupra procesului de rectificarea a profilului dinților roților dințate, în același timp depinde și de stabilitatea procesului de prelucrare.

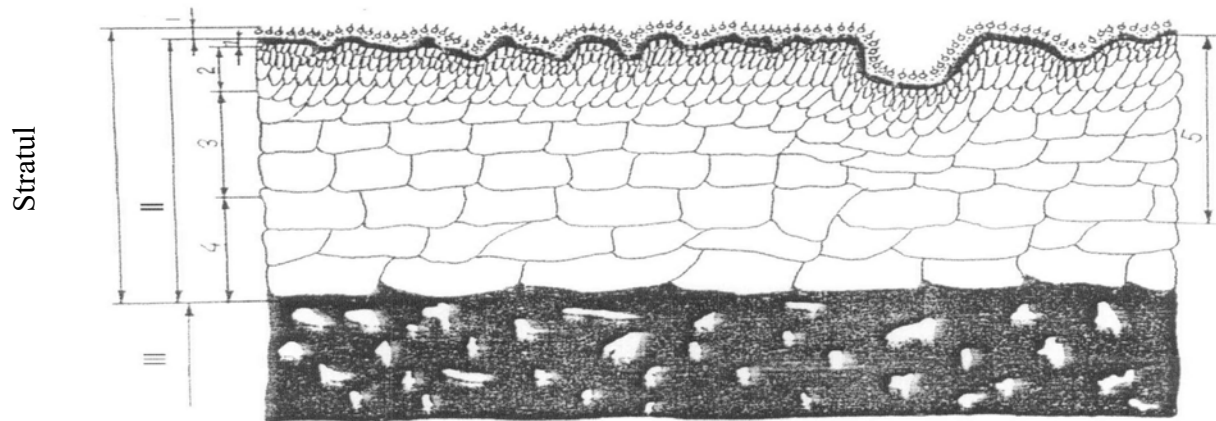


Fig. 6.40

În lucrarea de față se utilizează o mașină-unealtă de rectificat dantura prin metoda rulării cu un disc abraziv profilat la extremitate cu o rază [12]. Schema cinematică folosită permite să se obțină o formă a profilului nestandardizat al dintelui, prin metoda rulării, cu utilizarea unui disc abraziv. Astfel, în urma prelucrării prin rectificare, discul abraziv se deplasează perpendicular spre axa roții dințate ce se rectifică. Această metodă asigură o precizie de rectificare până la 0,002 mm [12].

Într-un astfel de proces de rectificare, apare eroarea razei circumferinței inițiale, legată de bazarea roții dințate pe mașina de rectificat (figura 6.41) [149].

Astfel, grosimea dintelui la bază va fi mai mare decât valoarea nominală a acestuia. În același timp, în diametrul mediu, grosimea dintelui nu se va schimba. Așadar, starea stratului exterior de-a lungul profilului dintelui va fi diferită din cauza instabilității procesului de rectificare. Ca urmare, vom avea suprafețe ale profilului dintelui roților dințate care vor fi folosite în exploatare, iar unele porțiuni ale profilului nu vor fi folosite [92].

În urma funcționării, vom obține o uzură neuniformă și intensivă a dinților roților dințate, deoarece stratul exterior este diferit pe înălțimea profilului dintelui. Va avea loc deplasarea locului de contact în angrenaj față de cel teoretic, fapt care va înrăutăți suplimentar condițiile de funcționare a roților dințate și va accelera esențial modificările stării stratului exterior în unii dinți, putând să apară efecte ca *scuffing* și *spalling* [16]. Valoarea și

caracterul modificărilor acestui profil vor depinde de mărimea abaterilor și de numărul de dinți ai roții dințate.

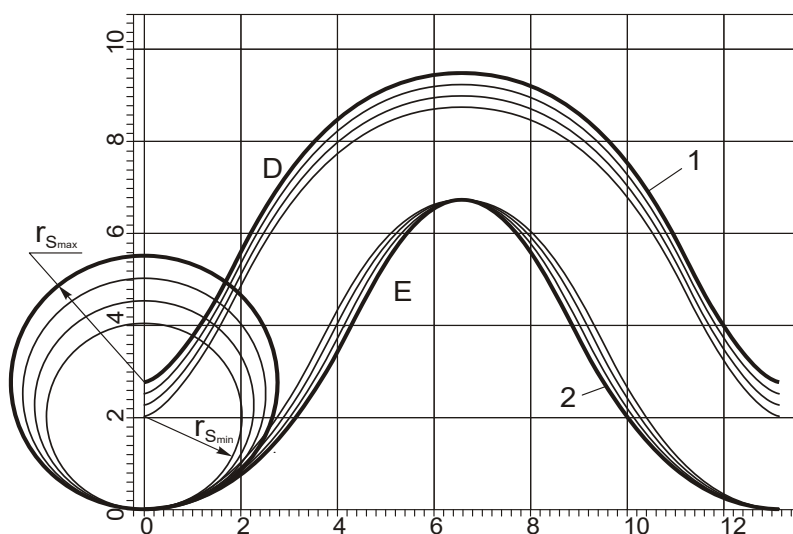


Fig. 6.41

Având în vedere cele expuse mai sus, se cere formularea unor cerințe suplimentare față de procesul tehnologic. Acesta va trebui să fie realizat astfel, încât să înlăture ori să minimizeze apariția erorilor care conduc la uzura prematură a stratului exterior al roților dințate sau la deteriorarea lor în timpul exploatării.

6.11. Formarea stratului exterior în procesul de rectificare a danturii

Este cunoscut faptul că procesul de rectificare a danturii diferă de procesul de rectificare a suprafețelor plane ori cilindrice prin varierea parametrilor regimurilor de prelucrare. Dirijarea procesului de modificare a acestor parametri prezintă unele dificultăți, iar asupra lor execută o influență profilul dintelui și construcția roții dințate. În procesul rectificării profilului dintelui cu o adâncime variabilă (deoarece profilul este complicat și nestandardizat), se modifică nu numai starea stratului exterior, ci și caracteristicile geometrice ale dinților, mai ales că aceste modificări au legătură reciprocă. Erorile apărute ale formei, ale poziției reciproce (relative) ale elementelor suprafeței profilului și ale dimensiunilor legate de modificarea stării stratului exterior vor influența, la rândul lor, caracteristicile geometrice și de precizie.

Această influență se răsfrânge mai ales asupra modificării formei, de exemplu, prin redistribuirea tensiunilor remanente, a transformărilor structurale, fazice și altor modificări în procesul rectificării. Aceste efecte sunt provocate de acțiunile termice care au loc în procesul de rectificare, dar și de cele de modificare a deformațiilor, ce au loc sub acțiunea forțelor de așchiere. De aceea, în această lucrare s-au efectuat cercetări de determinare complexă a stării stratului exterior și a caracteristicilor geometrice de precizie, care se modifică în urma procesului de rectificare cu regimuri de așchiere variabile.

S-au efectuat cercetări ale influenței parametrilor procesului de rectificare a dinților roților executate din diferite materiale, cu microstructură diferită, asupra caracterului influenței comune a modificării stării stratului exterior al profilului nestandardizat și a caracteristicilor de precizie, în condițiile în care în procesul așchierii are loc apariția erorilor sistematice.

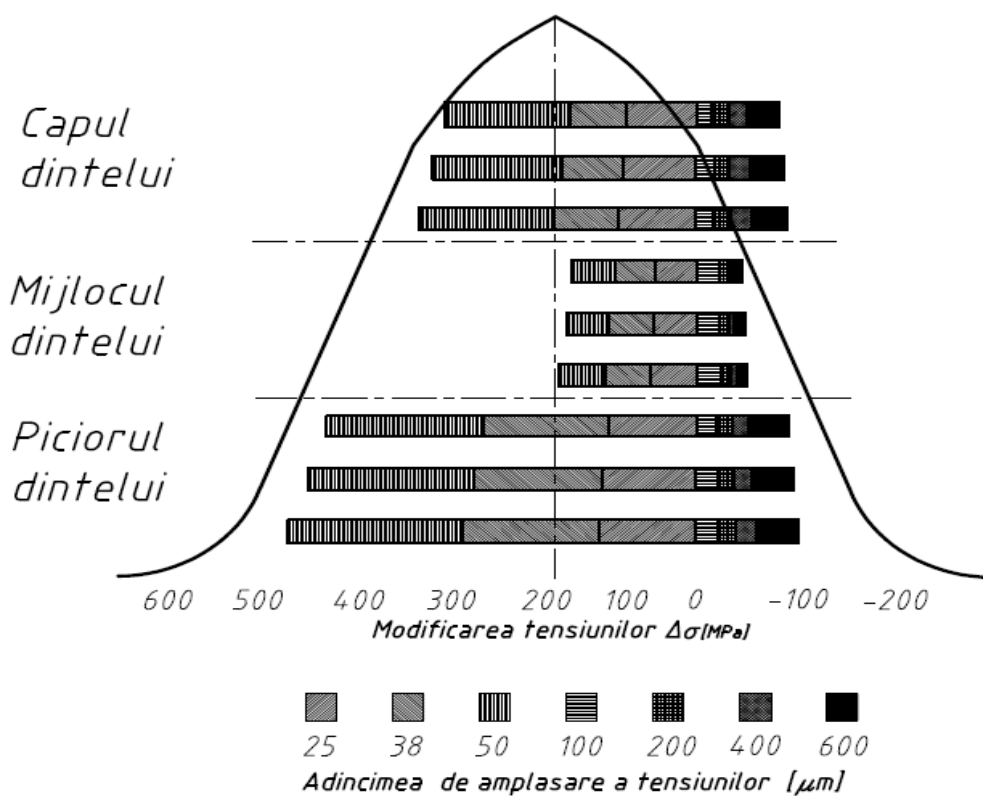


Fig. 6.42

Starea stratului exterior se determină după modificarea tensiunilor remanente, iar caracteristicile de precizie – după modificarea abaterii de la profilul dintelui, acumularea erorii pe pasul circular și valoarea bății dintelui.

Modificările tensiunilor remanente în stratul exterior, în procesul rectificării dinților, au fost analizate prin metodele statisticii matematice și ale analizei de regresie. Pentru determinarea epurelor tensiunilor remanente s-au utilizat, de asemenea, și caracteristicile prelucrării rezultatelor matematice ale cercetărilor:

- limita modificărilor tensiunilor remanente:

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min};$$

- amplitudinea oscilațiilor tensiunilor remanente:

$$\Delta_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2;$$

- valoarea medie a tensiunilor remanente:

$$\Delta_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2;$$

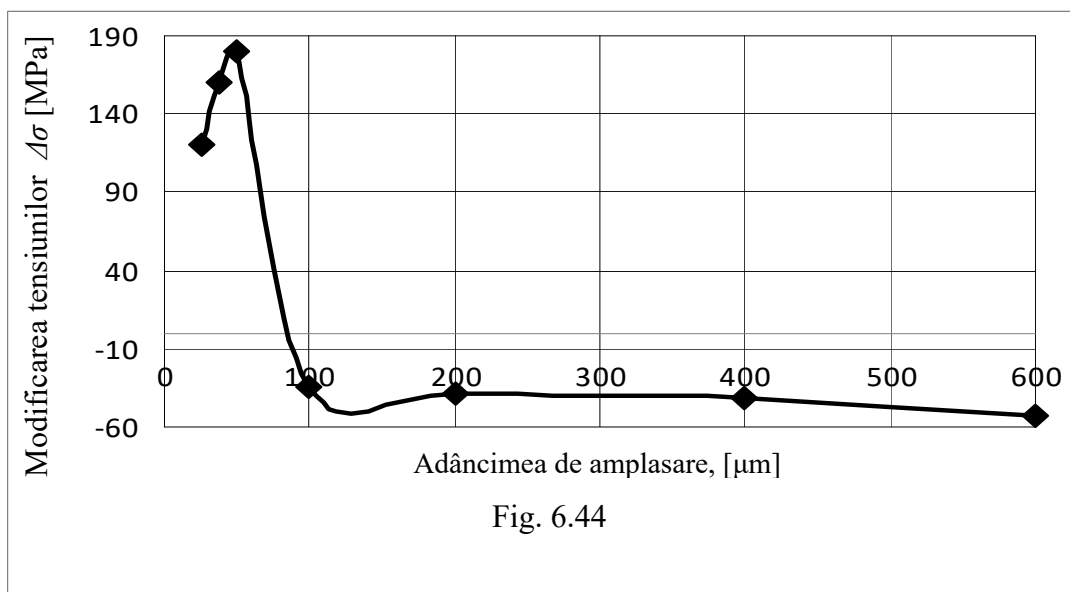
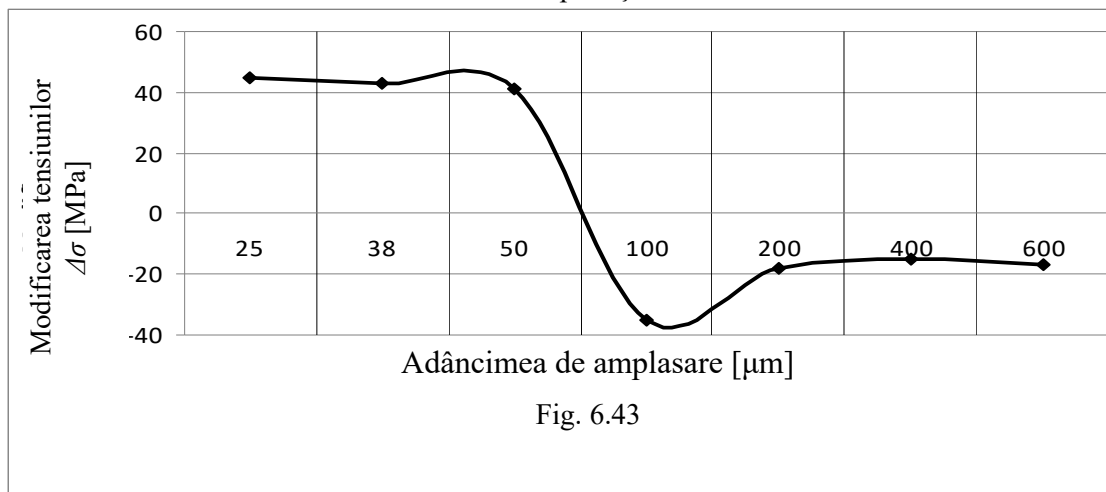
- coeficientul modificării amplitudinii tensiunilor remanente:

$$W_a = \sigma_{min} / \sigma_{max};$$

- coeficientul modificării formei:

$$\alpha_k = \sigma_{max} / \sigma_{min}$$

Valoarea și caracterul modificărilor tensiunilor remanente în stratul exterior al dintelui roții executate din oțel 40H depind de locul amplasării pe înălțimea dintelui, fapt care se observă în figurile 6.42–6.45, referitoare la modificarea limitei $\Delta\sigma$ a tensiunilor remanente la suprafață.



Putem menționa că pe toată suprafața dintelui, de la cap până la baza piciorului acestuia, tensiunile

remanente sunt de întindere, cu amplasarea lor până la 100 μm în adâncime. Totodată, valoarea lor maximă se află la adâncimea de 50 μm , cu creștere de la capul spre piciorul dintelui, și, practic, fără schimbări în partea de mijloc a acestuia. Apoi, în adâncime epura are unul și același caracter – tensiuni remanente de comprimare, cu o valoare de cca 30–50 μm , fără modificări pe adâncimea de la 100 până la 600 μm .

Caracterul expus al modificărilor epurei poate fi explicat prin condițiile de rectificare a profilului complicat al dintelui, în care, ca urmare a modificării continue a parametrilor regimurilor de rectificare a angrenajului, pe înălțimea profilului au loc procese complicate pe suprafața exterioară a dintelui (termice și de forță). Încălzirea și răcirea stratului pe adâncime au acțiune majoră asupra modificărilor de fază și structurale. Modificările amplitudinii tensiunilor remanente depind, totodată, și de locul amplasării lor în stratul exterior: în capului dintelui (figura 6.45.), în partea de mijloc (figura 6.46.) sau în piciorul acestuia (figura 6.47).

Limitele amplitudinii tensiunilor remanente pot fi caracterizate prin stabilitatea procesului de formare a acestora în procesul de rectificare, ceea ce poate fi observat în figurile menționate. În același timp, caracteristica statistică indicată depinde de condițiile de răcire a sectoarelor concrete ale dintelui. În partea de sus a acestuia, la o adâncime de 25 μm , amplitudinea tensiunilor remanente are o valoare pozitivă, de circa 70÷80 MPa (unde tensiunile remanente sunt preponderent de întindere).

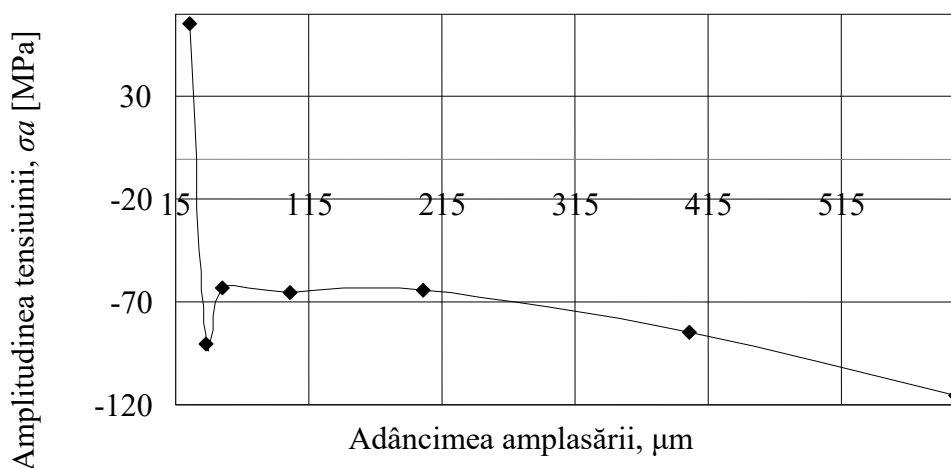


Fig. 6.45

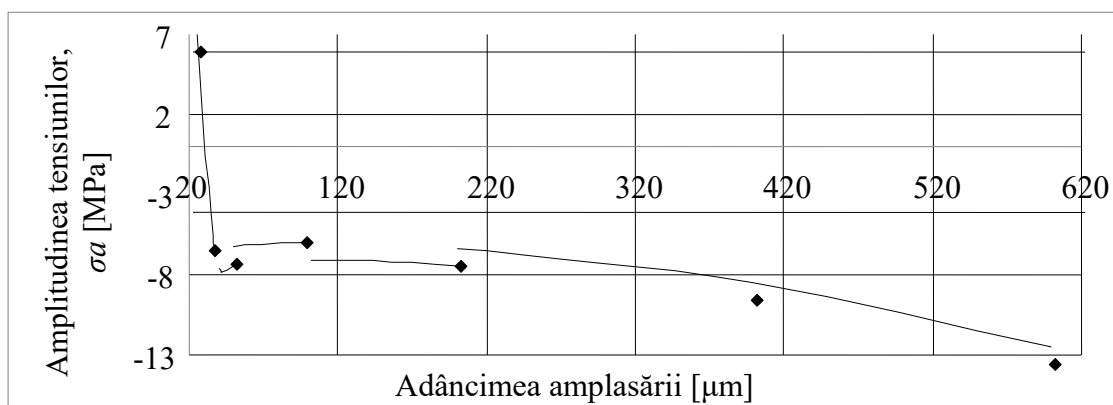


Fig. 6.46

Apoi, în adâncime, această amplitudine se modifică în valoarea negativă, în limita de 6÷12 MPa,

nemodificându-se până la adâncimea de $500\div 600\ \mu\text{m}$ (figura 6.50). În stratul exterior al părții de mijloc a dintelui, la aceeași adâncime de $25\ \mu\text{m}$ ca și în capul dintelui, valoarea amplitudinii tensiunilor este cu mult mai mică (de 7–8 ori). Apoi, în adâncime, caracterul de modificare a amplitudinii este același ca și în stratul exterior al capului dintelui. O modificare a amplitudinii tensiunilor remanente cu alt caracter se observă în stratul exterior al piciorului dintelui, care se deosebește prin faptul că valorile maxime negative s-au depistat la o adâncime de cca $100\ \mu\text{m}$ (figura 6.51).

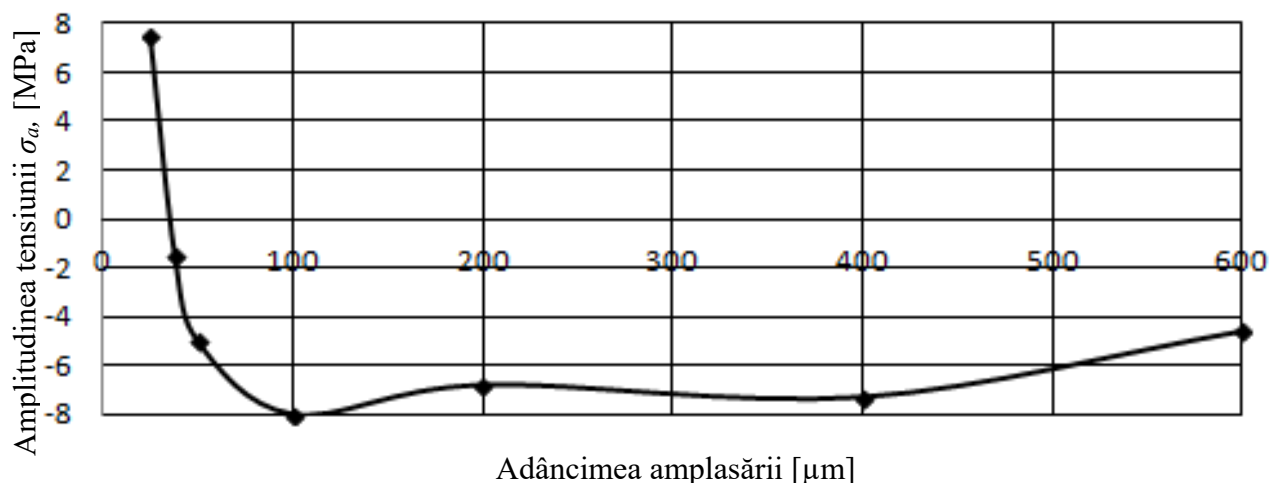


Fig. 6.47

Alt caracter, indiferent de locul amplasării pe înălțimea dintelui în zonele examinate, au modificările amplitudinii tensiunilor remanente, care se caracterizează prin faptul că, valorile negative maxime se regăsesc la o adâncime de $100\ \mu\text{m}$ (figura 6.51). Deci, indiferent de locul amplasării pe înălțimea dintelui în limitele parametrilor de cercetare a procesului de rectificare, în stratul exterior, la o adâncime de $25\text{--}30\ \mu\text{m}$,

Alt caracter, indiferent de locul amplasării pe înălțimea dintelui în zonele examinate, au modificările amplitudinii tensiunilor remanente, care se caracterizează prin faptul că, valorile negative maxime se regăsesc la o adâncime de $100\ \mu\text{m}$ (figura 6.51). Deci, indiferent de locul amplasării pe înălțimea dintelui în limitele parametrilor de cercetare a procesului de rectificare, în stratul exterior, la o adâncime de $25\text{--}30\ \mu\text{m}$, predomină valorile pozitive ale amplitudinii tensiunilor cu valoarea maximă de cca $80\ \text{MPa}$ în partea de sus a dintelui.

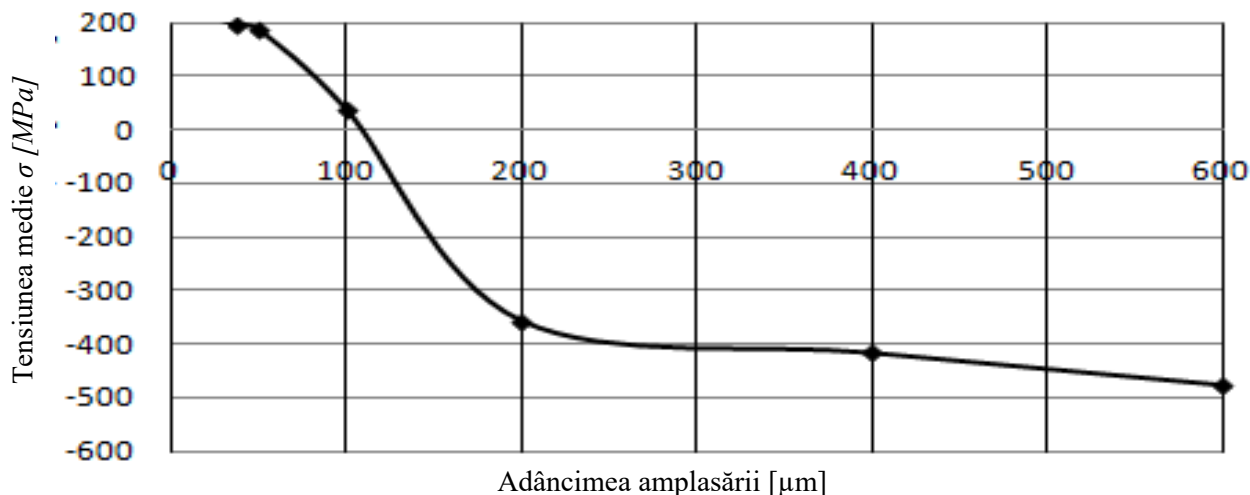


Fig. 6.48

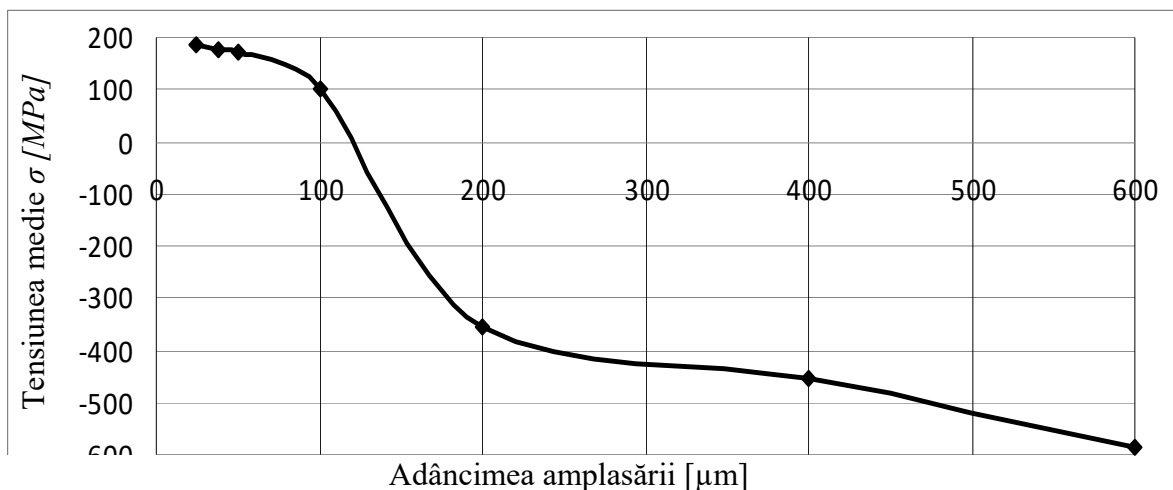


Fig. 6.49

Ultima afirmație poate fi explicată prin modificările condițiilor de răcire a stratului exterior, la trecerea de la partea de sus a dintelui spre picior. Viteza de răcire, în același timp, se micșorează din cauza faptului că se mărește masa de răcire când ne apropiem de baza dintelui (picior).

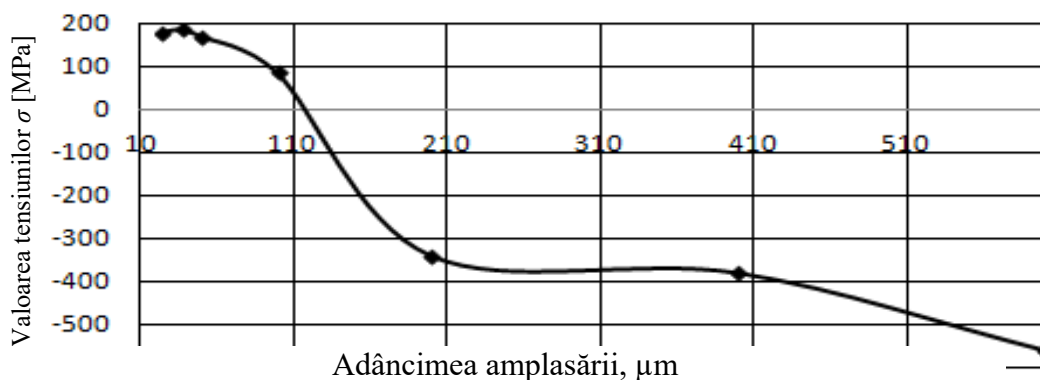


Fig. 6.50

Determinând caracterul modificării valorilor medii ale tensiunilor remanente (figurile 6.48–6.50), putem constata că deosebiri esențiale între ele, în capul dintelui (figura 6.48), în partea de mijloc (figura 6.49) și în piciorul dintelui (figura 6.50), nu s-au observat.

În stratul exterior al sectoarelor dintelui, tensiunile de întindere se modifică de la 150 până la 200 MPa și trec în tensiuni de comprimare la o adâncime de 100 μm , atingând 500 MPa la o adâncime de 600 μm (figura 6.51).

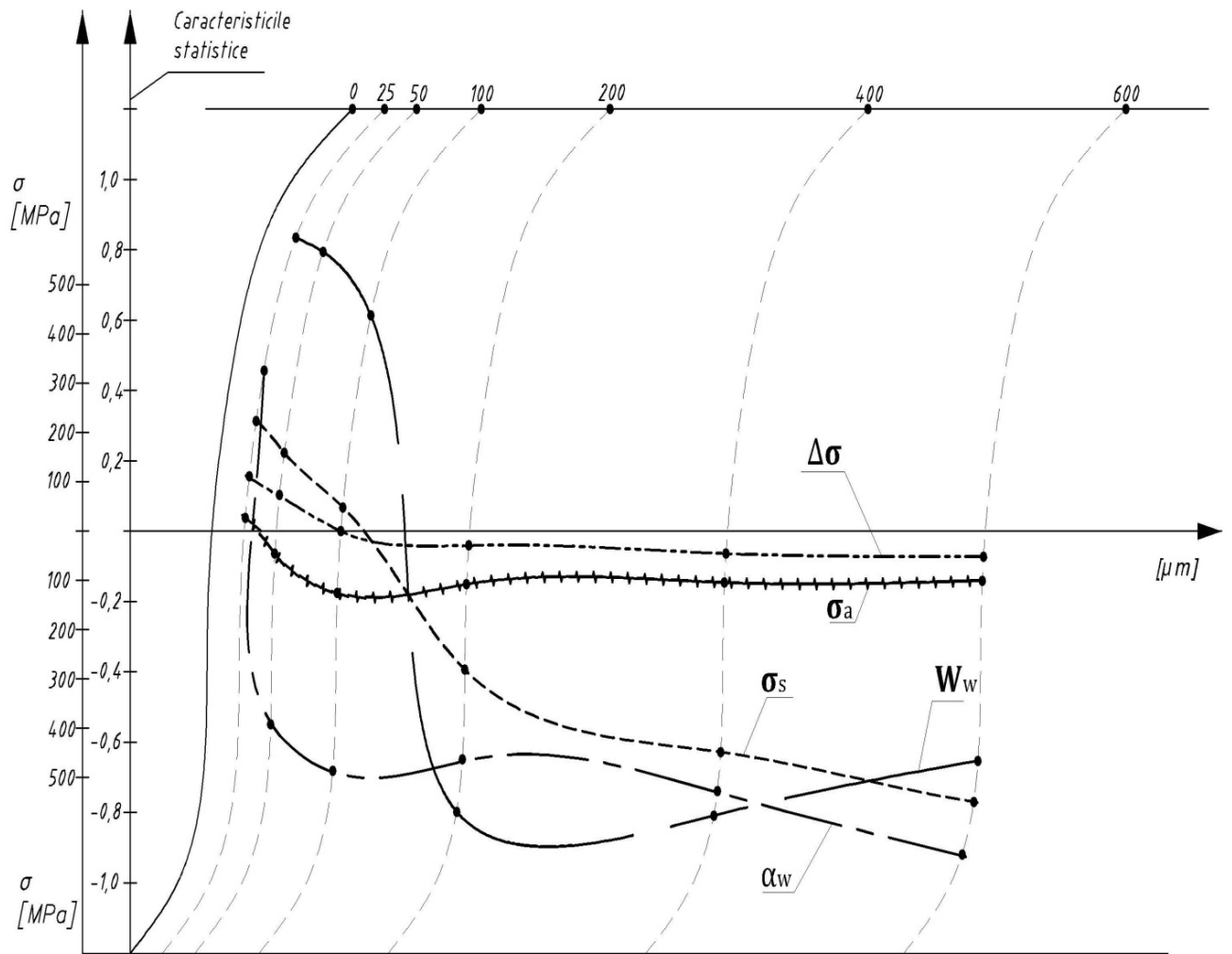


Fig. 6.51

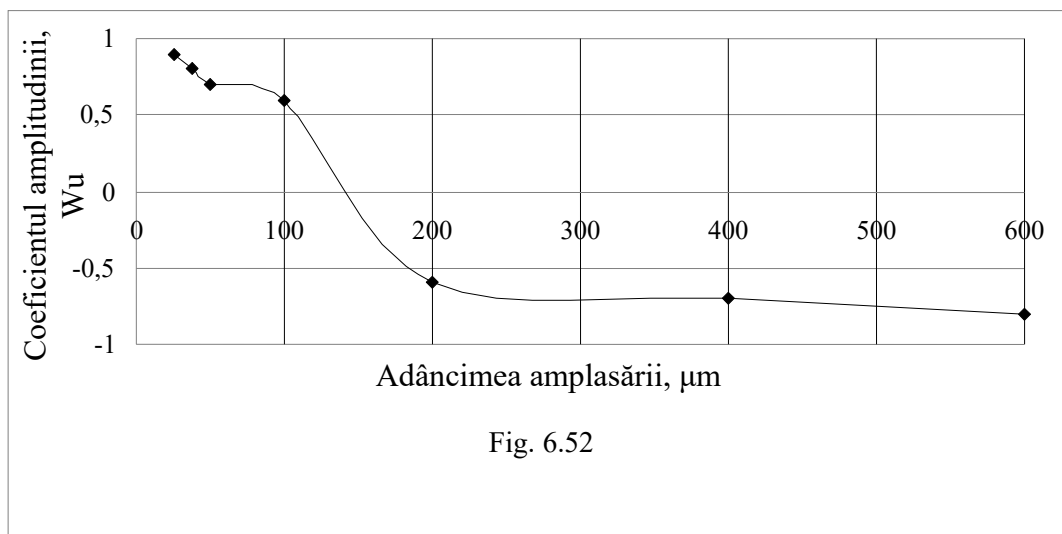
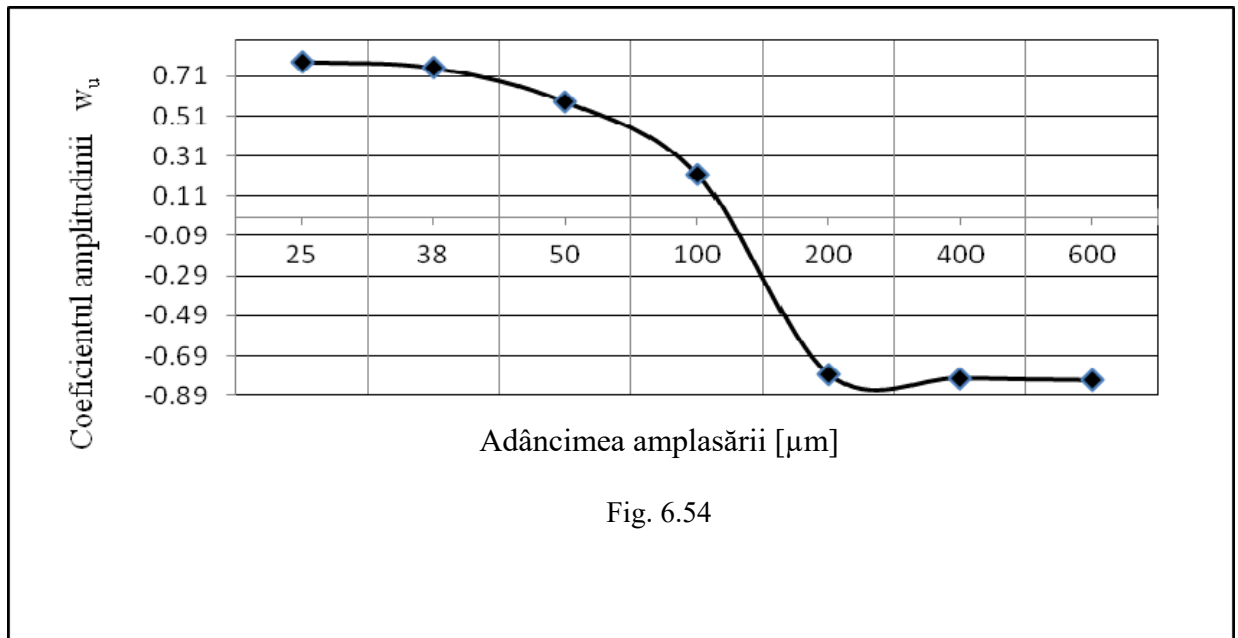
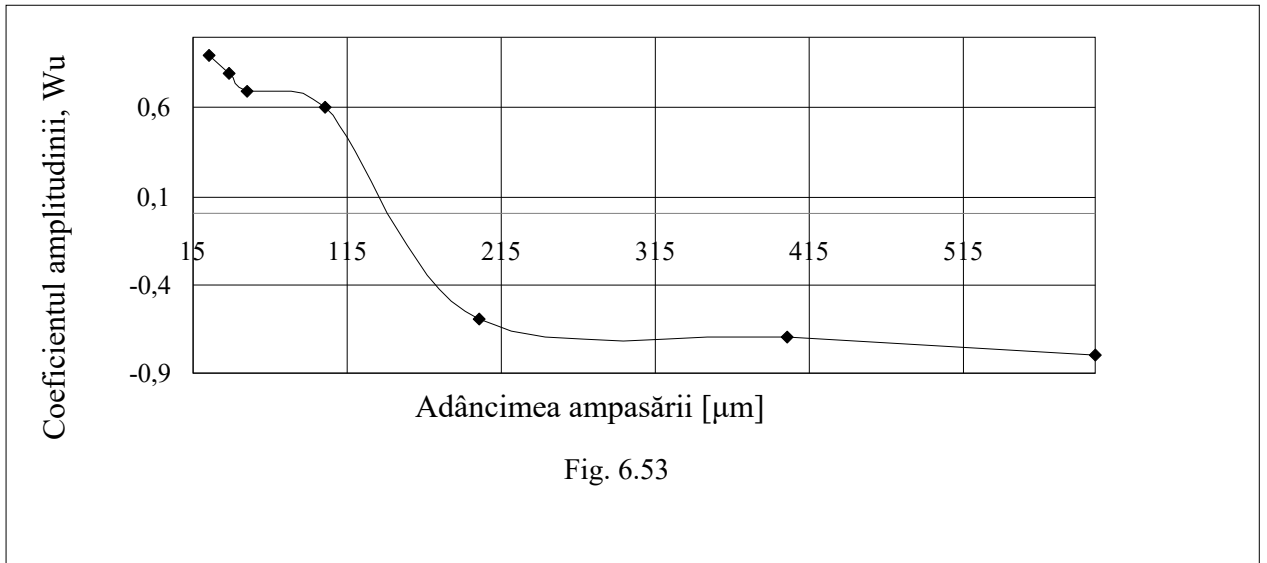


Fig. 6.52



Un alt tablou se observă la modificarea coeficientului amplitudinii tensiunilor (figurile 6.52–6.54). În capul dintelui (figura 6.52), valoarea acestuia se micșorează lent până la o adâncime de 100 μm , mai sus de ea are loc un salt al valorii acestui coeficient în direcția tensiunilor de întindere. Peste 200 μm , valoarea lui se apropie încet de unitate, la adâncimea de 600 μm .

În partea de mijloc a dintelui, observăm efectul creșterii coeficientului amplitudinii tensiunilor până la o adâncime de 50 μm (figura 6.53), iar mai sus de această adâncime are loc căderea lui.

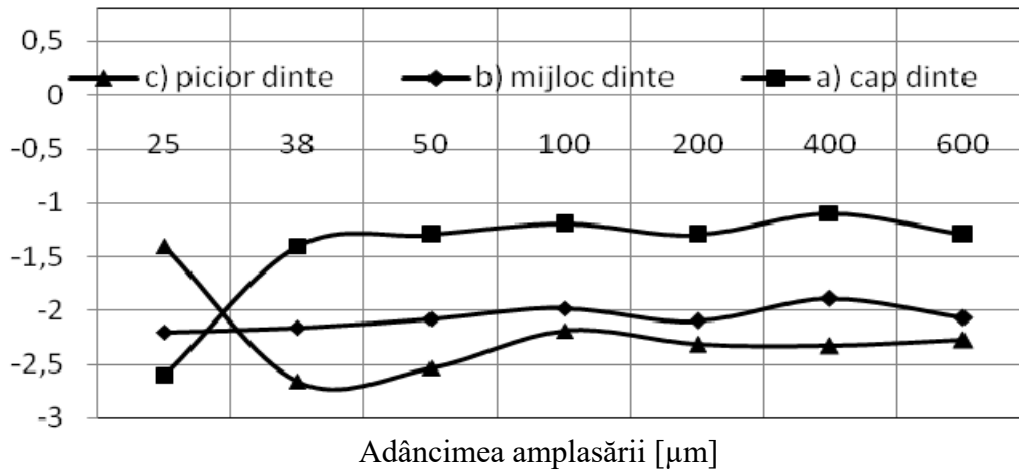


Fig. 6.55

La adâncimi de peste 100 μm , valoarea acestui coeficient se modifică brusc în direcția tensiunilor de comprimare. Apoi, pe adâncimea amplasării, valoarea lui crește până la 0,8 (figura 6.53).

În suprafața piciorului dintelui (figura 6.54), amplitudinea tensiunilor se micșorează treptat până la adâncimea de 100 μm , trecând apoi în zona tensiunilor de comprimare, valoarea coeficientului mărindu-se și atingând, la adâncimea de 600 μm , valoarea de 0,8. Un astfel de caracter de modificare a coeficientului amplitudinii tensiunilor corelează cu caracterul modificării valorilor medii ale tensiunilor remanente, fapt ce poate fi explicat prin argumentele expuse mai sus.

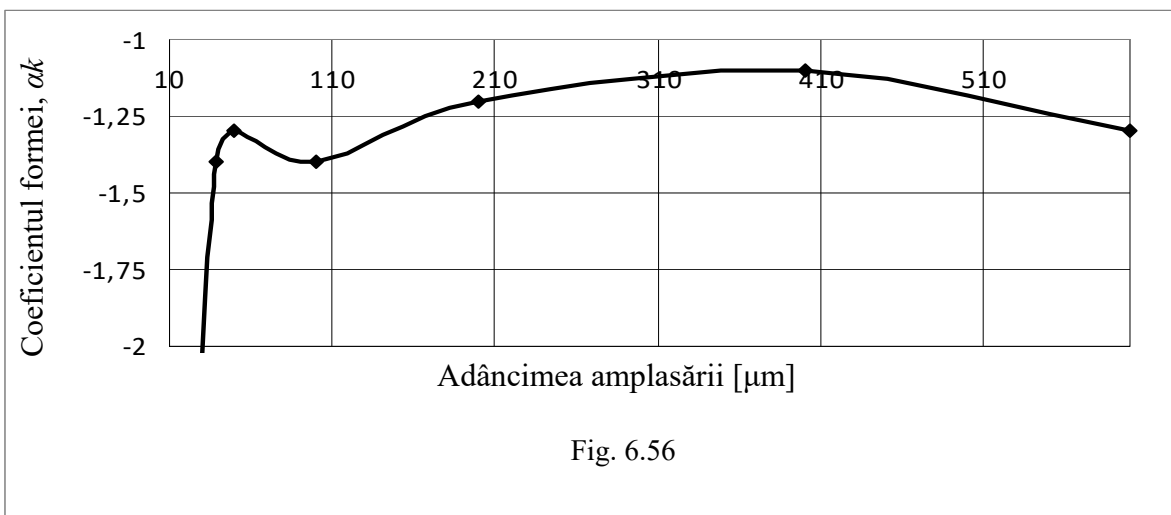


Fig. 6.56

Coefficientul formei tensiunilor remanente, în stratul exterior al dinților roților dințate, se modifică după caracter și valoare, în funcție de locul amplasării în adâncime: în capul dintelui (figura 6.55 a), în partea de mijloc (figura 6.55 b) sau în piciorul acestuia (figura 6.55 c).

Pentru capul dintelui roții dințate, valoarea coeficientului formei tensiunilor (figura 6.56) în adâncimea dintelui se micșorează, iar de la adâncimea de 38 μm , coeficientul variază aproape de valoarea constantă până la o adâncime de 600 μm . Semnul negativ al acestui coeficient indică faptul că el se află în zona tensiunilor de comprimare.

Coeficientul formei tensiunilor cu diametrul mediu al roții (figura 6.57) se dezvoltă în sens invers, valoarea lui la suprafață aflându-se în zona tensiunilor de întindere, iar mai sus de adâncimea de 25 μm trece în zona tensiunilor de comprimare. Caracterul modificărilor acestui coeficient depinde de adâncimea de amplasare și se transformă cantitativ până la o adâncime de 50 μm , atingând valoarea de - 0,8 μm , apoi practic nu suportă mari schimbări.

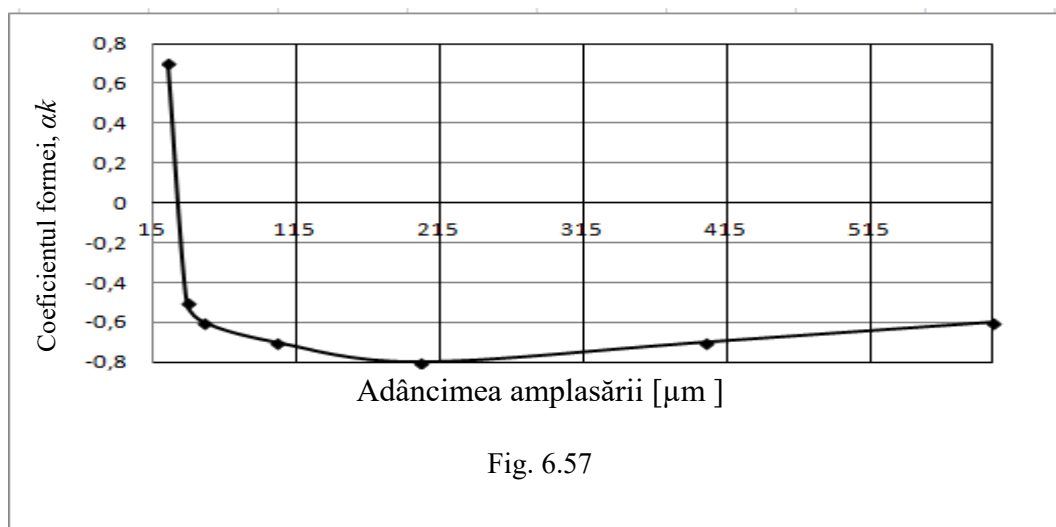


Fig. 6.57

Cu mici schimbări, același caracter îl are coeficientul formei tensiunilor în stratul exterior și pentru piciorul dintelui. În cazul dat, la o adâncime de mai mult de 38 μm , el trece în zona tensiunilor de comprimare, modificându-se cantitativ, și la o adâncime de 600 μm atingând valoarea de -0,9.

Analiza ulterioară și determinarea stării stratului exterior au arătat că după rectificarea dinților roților dințate pot fi observate (figurile 6.58-6.60): abateri de la pasul circular (figura 6.61) și abateri de la profilul dintelui (figurile 6.62-6.63).

Bătaia dinților roților dințate se formează diferit, în funcție de parametrii de rectificare utilizați (figurile 6.58-6.60). Creșterea numărului de curse duble ale discului abraziv (figura 6.58) micșorează bătaia dinților roților dințate, dar analiza dependenței logaritmice arată că această tendință se reduce treptat (figura 6.58). Această legitate se demonstrează prin valoarea R_a , calculată în procesul analizei de regresie.

Influența valorii avansului asupra bătaii dinților roților are un alt caracter (figura 5.59). Valoarea bătaii dinților roților dințate la o valoare minimă a avansului mesei constituie 0,03 mm, și odată cu creșterea avansului mesei această bătaie se micșorează până la 0,02 mm. Sporirea ulterioară a avansului mesei provoacă majorarea valorii bătaii dinților roților dințate, care obține valori maxime aproape de 0,035 mm, la un avans al mesei de 800 mm/min.

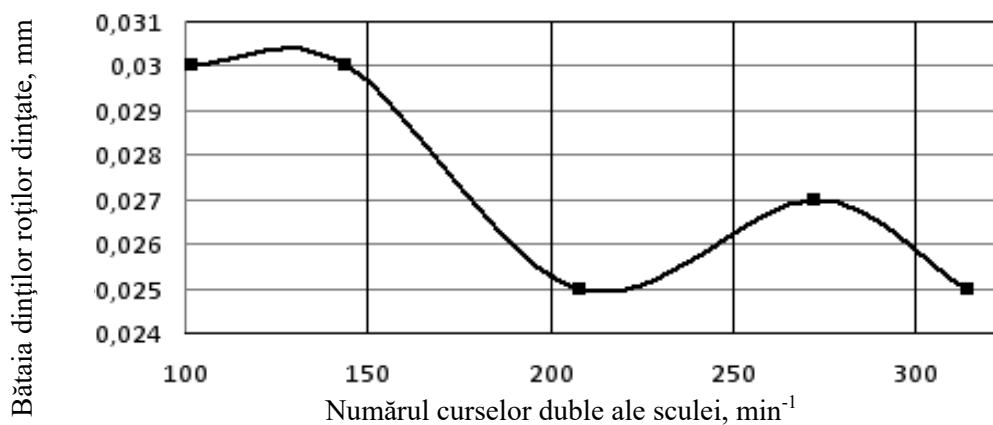


Fig. 6.58

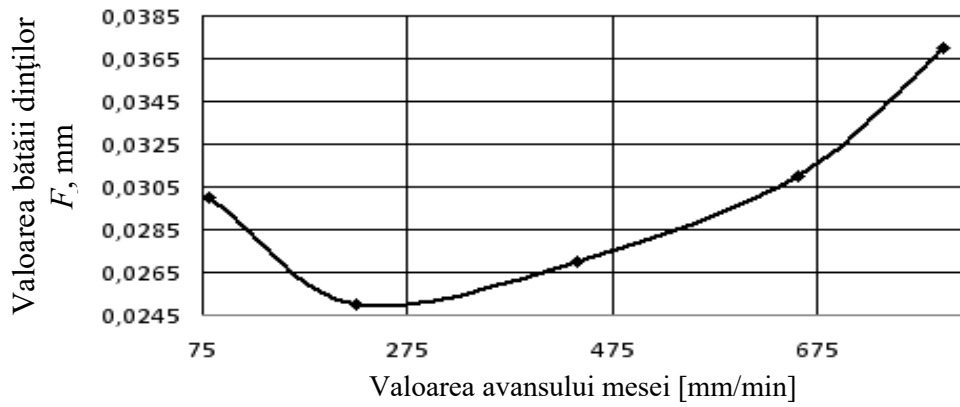


Fig. 6.59

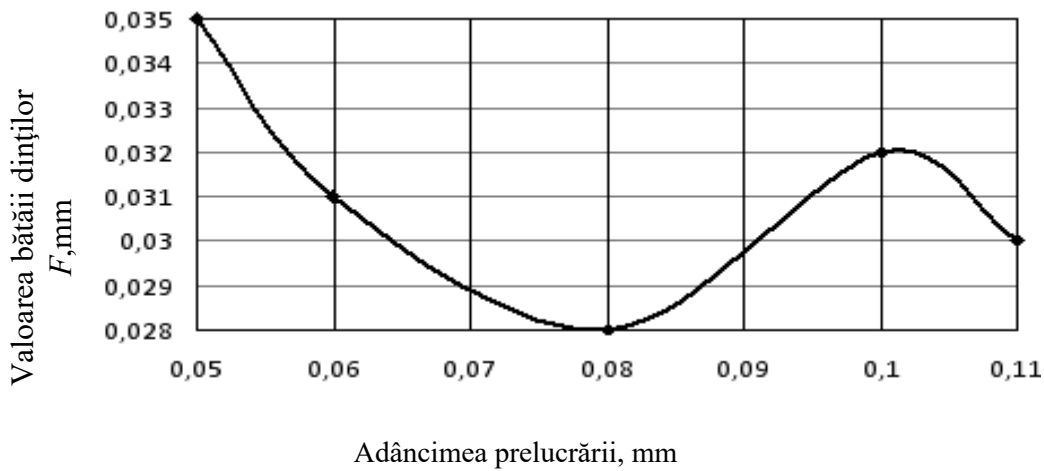


Fig. 6.60

Asupra modificării valorii bătăii dinților roților dințate are o influență considerabilă și adâncimea de rectificare (figura 6.60).

În principiu, valoarea bătăii dinților roților dințate se micșorează odată cu creșterea adâncimii de rectificare (figura 6.60). Dar la o adâncime mai mare de 0,08 mm, valoarea bătăii dinților roților dințate se mărește până la 0,032 μm . Putem presupune că la rectificare cu adâncimi mai mici ($< 0,08$ mm) predomină procesul de frecare și mai puțin cel de așchiere, majorând astfel instabilitatea lui și provocând sporirea bătăii dinților.

Creșterea adâncimii de rectificare peste 0,11 mm nu provoacă o mărire considerabilă a bătăii dinților roților dințate.

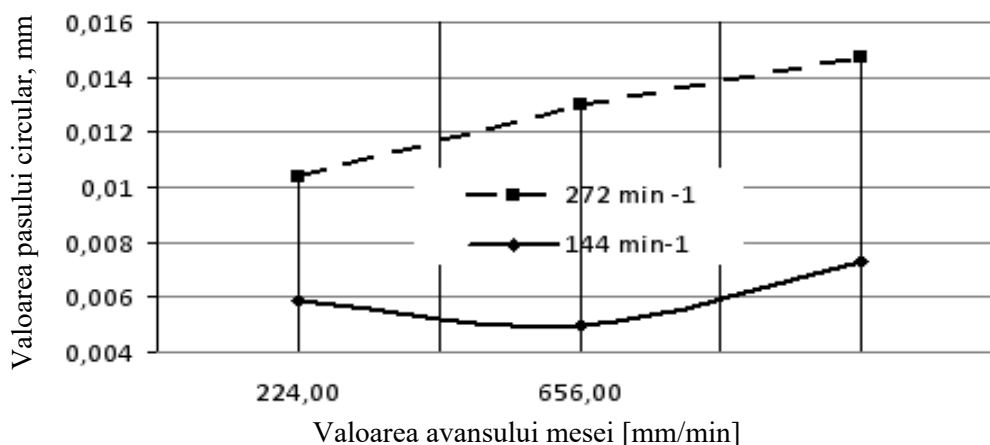


Fig. 6.61

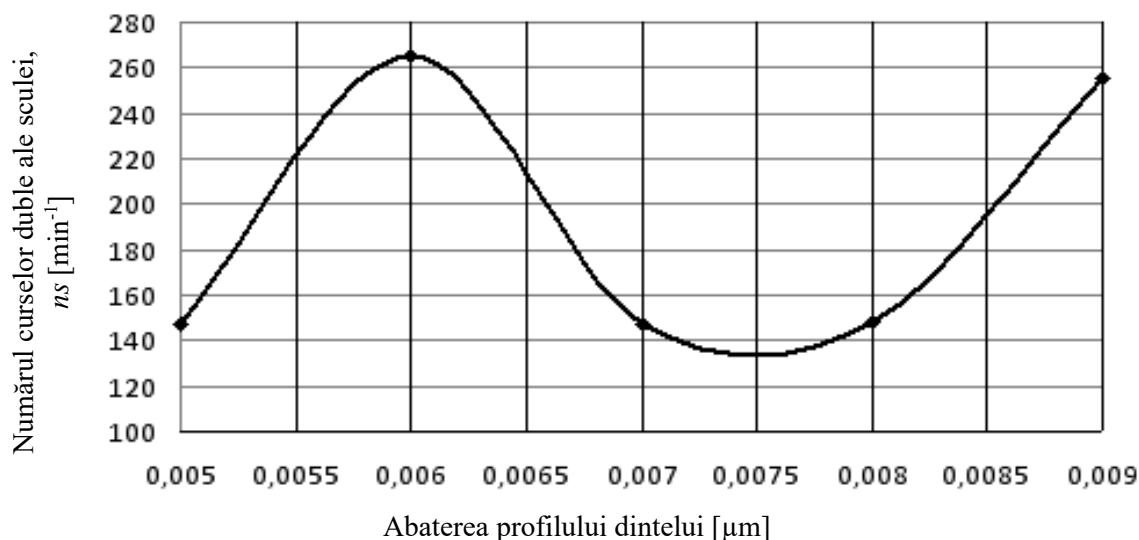


Fig. 6.62

Modificările care au loc în stratul exterior al dinților roții dințate sunt legate și de apariția abaterii pasului circular (figura 6.61) și depind de modificările parametrilor procesului de rectificare a danturii.

După cum demonstrează rezultatele cercetărilor realizate, valoarea abaterii pasului de bază depinde de acțiunea comună a avansului mesei și a curselor duble ale discului rectificator și sunt maxime atunci când avansul depășește valoarea de 225 mm/min (figura 6.61). Totodată, la valori considerabile ale avansului discului rectificator (650 mm/min) observăm o abatere înaltă a pasului circular, atât la un număr mic de curse duble, cât și la un număr mai mare al acestora.

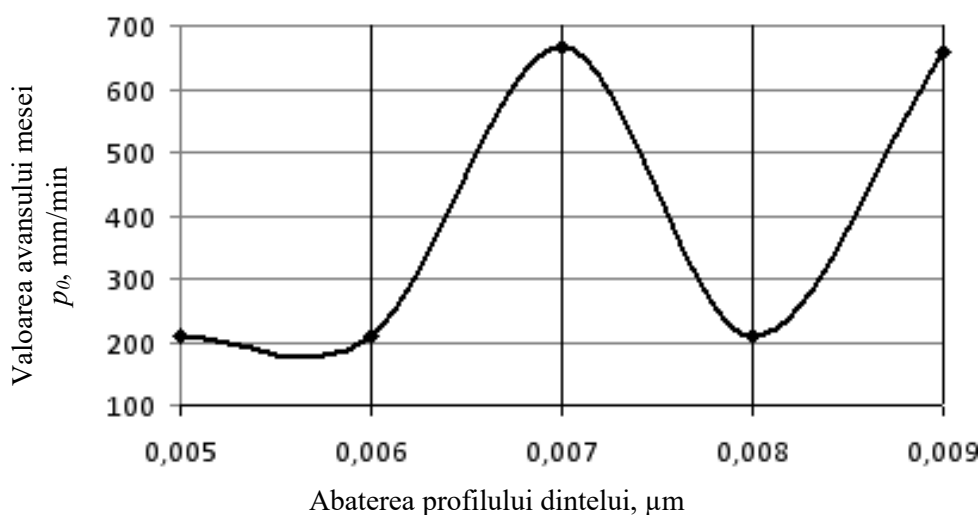


Fig. 6.63

Parametrii procesului de rectificare a danturii (curse duble ale discului rectificator, valoarea avansului mesei și adâncimea rectificării) exercită influență și asupra abaterii de la profilul dintelui roții dințate (figurile 5.62–5.64).

Analiza influenței numărului curselor duble ale discului rectificator asupra abaterii profilului dintelui demonstrează că odată cu creșterea valorii numărului curselor duble ale discului rectificator peste 270 [min^{-1}] crește și abaterea profilului dintelui de până la 0,003 mm. Caracterul curbei dependenței specificate și exprimarea ei

matematică confirmă faptul că creșterea ulterioară a numărului de curse duble ale discului rectificator poate fi cauza sporirii abaterii profilului dintelui (figura 5.62). Ca să minimizăm această valoare a abaterii, numărul curselor duble ale discului rectificator este adus la un nivel de cca 150 [min⁻¹].

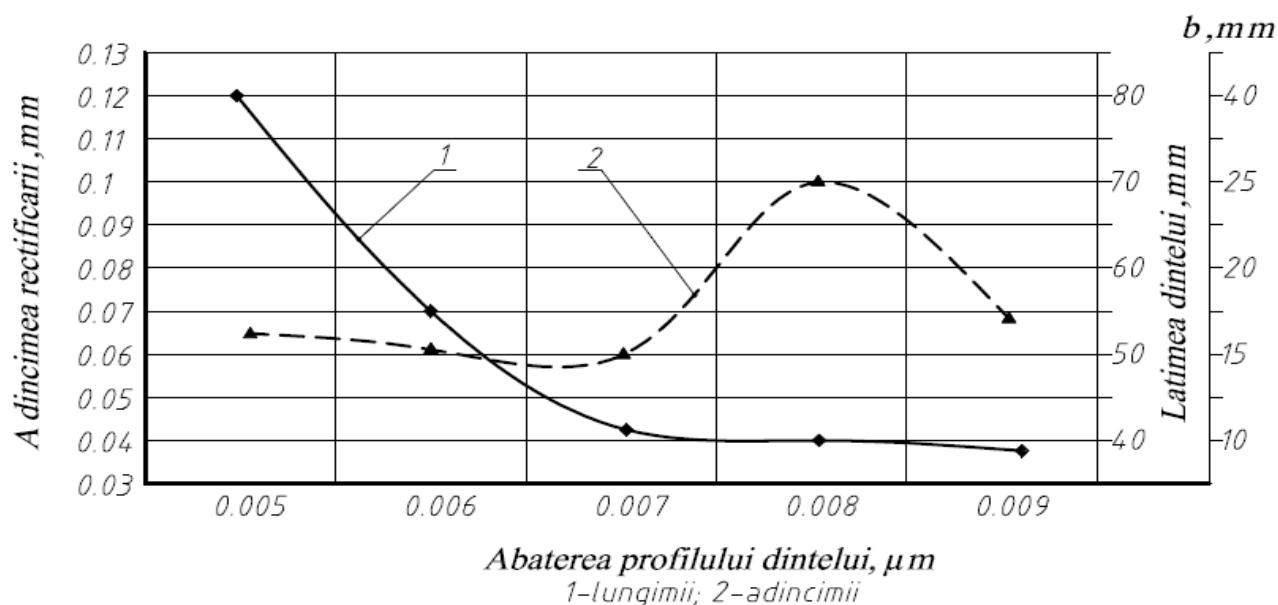


Fig. 6.64

Asupra abaterii de la profilul dintelui exercită influență analogică și avansul mesei; creșterea acestuia până la 200 mm/min duce la sporirea abaterii indicate în limita de 0,005–0,008 mm (la un avans de 650 mm/min). Astfel, se observă o oarecare stabilitate a procesului de rectificare a danturii la avansuri mari (figura 6.63).

Analizând influența adâncimii de rectificare, s-a stabilit că trebuie luată în considerare și acțiunea pe care o are lungimea dintelui roții dințate. O creștere a lungimii dintelui generează o valoare considerabilă a abaterii de la profilul dintelui (figura 6.64). La o lățime a roților de până la 40 mm, valoarea abaterii de la profilul dintelui este constantă. Adâncimea rectificării nu joacă, în cazul dat, un rol hotărâtor, deoarece rectificarea cu o adâncime de 0,06 mm provocă o abatere a profilului dintelui de la 0,005 până la 0,009 mm. Dar creșterea adâncimii de rectificare peste 0,1 mm creează posibilitatea abaterii profilului dintelui până la 0,008 mm.

Astfel după, cum au arătat rezultatele cercetărilor procesului tehnologic de rectificare a danturii, acesta este însoțit de modificări considerabile în stratul exterior al dinților roților dințate. Se modifică nu numai caracteristicile stereometrice ale profilului dintelui roții dințate, dar și caracteristicile de formă și dimensiuni, totodată, modificându-se și proprietățile mecanice și fizice ale stratului exterior al dinților roților dințate. Cunoscând aceste proprietăți și caracteristici, putem dirija procesul de rectificare printr-o alegere optimă a parametrilor de lucru.

6.12. Legătura dintre calitatea stratului exterior al dinților și formele constructive ale roților dințate

Legătura proprietăților stratului exterior al dinților roților dințate cu construcția lor este demonstrată nu numai de modificările profilului dinților pe lungimea lor, ci și de corelarea volumului materialului dintelui și al coroanei roții dințate (figura 6.64).

Cantitatea considerabilă de căldură ce apare în timpul rectificării dinților roților dințate și grosimea variabilă așchiată [23, 26] conduc la modificarea proprietăților stratului rectificat al dinților. Se modifică nu numai înălțimea rugozității dinților rectificați ai roților dințate, dar și duritatea lor, cum este prezentat în figurile 6.65 și

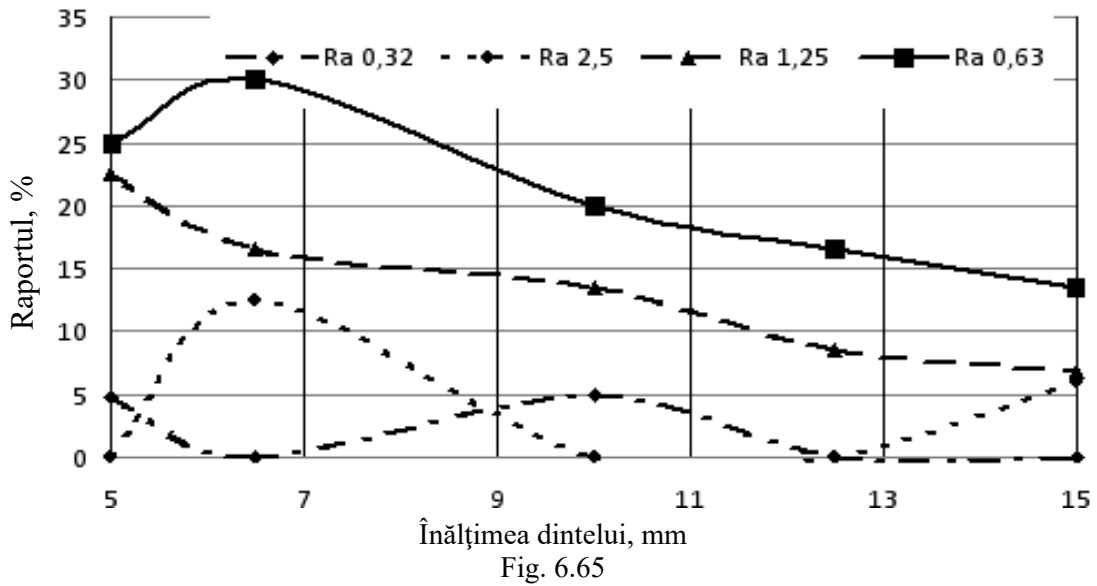


Fig. 6.65

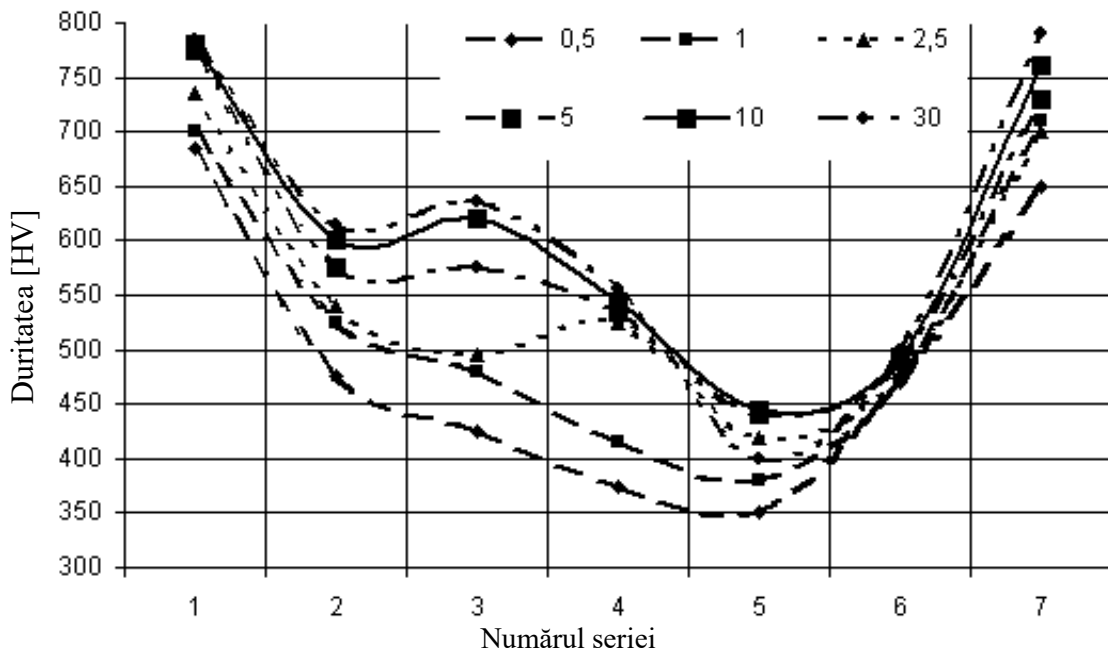


Fig. 6.66

O diferență mare la cercetarea durității (HV), folosind diferite sarcini, prezintă modificările ce au loc în stratul exterior al dinților roților dințate și care apar din cauza călirii repetate (mai sus de 50 unități HV) în timpul rectificării lor (seriile 1 și 5). La rectificarea dinților roților dințate, principalul obiectiv nu este numai construcția corectă a roților dințate, ci și precizia de așezare și centrare a lor.

Eroarea de fixare și eroarea de bazare sunt cauzele modificărilor ce au loc în stratul exterior al dinților roților dințate. Aceste erori conduc la apariția grosimii neuniforme îndepărtate de pe profilul dintelui, la neparalelism față de axă sau la abateri unghiulare ale suprafeței dinților roților dințate față de profilul acestora.

Aceleași cauze conduc la micșorarea preciziei profilului și la apariția abaterilor în limita de 10÷25, a erorii

de pas de 7-16 μm , bătăii coroanei 15–40 μm și la creșterea rugozității R_a până la 5 μm . În realitate, se modifică profilul dintelui roții dințate și se deplasează pata lui de contact în timpul exploatării. Acest fapt modifică condițiile de funcționare a roților dințate executate și caracteristicile stratului exterior.

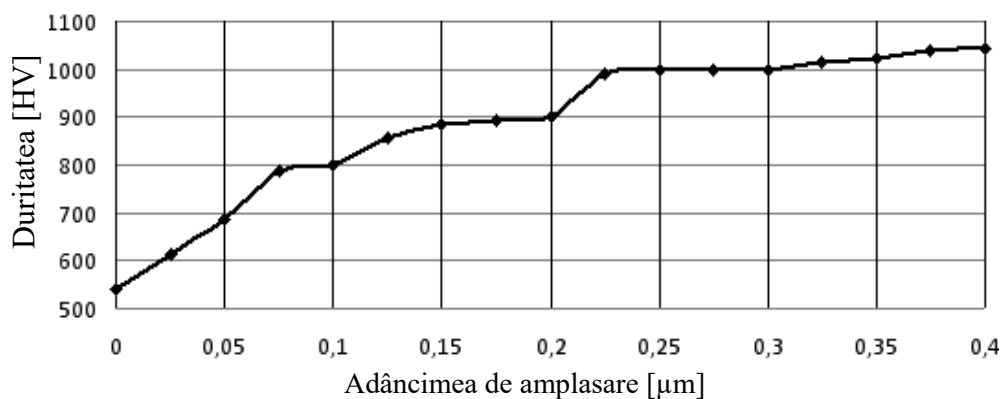


Fig. 6.67

Luând în considerație dinamica funcționării roților dințate și repartizarea sarcinii pe lățimea dinților acestora, sunt esențiali următorii parametri: abaterea razei cercului de bază, abaterea suprafeței petei de contact al dinților și precizia de execuție.

Modificarea razei cercului de bază a dinților roților dințate va spori grosimea dintelui la bază în raport cu valoarea nominală și va micșora grosimea dintelui în partea de sus, păstrând grosimea lui în partea de mijloc [103].

Abaterea petei de contact al dinților apare atunci când are loc eroarea de simetrie a profilului dintelui față de axa de rotire a roții și abaterea unghiului de generare a dintelui de la valoarea corectă.

Precizia înaltă de execuție a dinților roților dințate este necesară atunci când acestea se exploatează la viteze periferice mari.

Cercetările efectuate asupra durtății dintelui (figura 5.67) au arătat că aceasta crește odată cu adâncimea. Mărirea durtății la o adâncime de 0,4 mm este de cca 40%. Astfel, putem aștepta o reducere la minimum a tensiunilor remanente de întindere, cu trecerea lor în cele de comprimare, iar creșterea durtății conduce la întărirea stratului exterior. Împreună cu majorarea durtății și a tensiunilor remanente de comprimare, crește și probabilitatea măririi rezistenței la oboseală [49].

Așadar, legătura reciprocă stabilită și dependențele obținute în baza multiplelor cercetări experimentale realizate, precum și în baza analizei particularităților constructive ale roților dințate, ne permit să dirijăm, prin intermediul stratului exterior al dinților roților dințate, condițiile și sarcinile care apar la exploatare.

6.13. Influența materialului sculei asupra formării stratului exterior al dintelui roții dințate

Forma și dimensiunile granulelor abrazive influențează asupra stratului exterior al dintelui rectificat (figura 6.68) [93]. Granulele abrazive acționează cu o forță anumită asupra suprafeței prelucrate, iar direcția principală a sarcinii se găsește în planele paralele sau perpendiculare pe urmele lăsate de granule [75].

În consecință, se formează o stare tensionată în două axe în startul exterior [84]. Dacă limita plasticității nu va fi depășită, iar deformațiile plastice nu se vor realiza, atunci, după înlăturarea forțelor exterioare ce acționează în stratul exterior, vor apărea tensiuni remanente, care sunt rezultatul structurii neomogene și al altor defecte de material, ce apar încă până la procesul de rectificare [118].

Granulele discului rectificator, în timpul frecării de suprafață (figura 6.69), provoacă degajarea locală a unei cantități considerabile de căldură [128]. Ca urmare, aceasta duce la apariția austenitei remanente în stratul exterior și a întăririi locale. Simultan cu răcirea repetată la rectificare, se micșorează linia difracțională în planele fazelor α și, totodată, în planele fazelor γ [119].

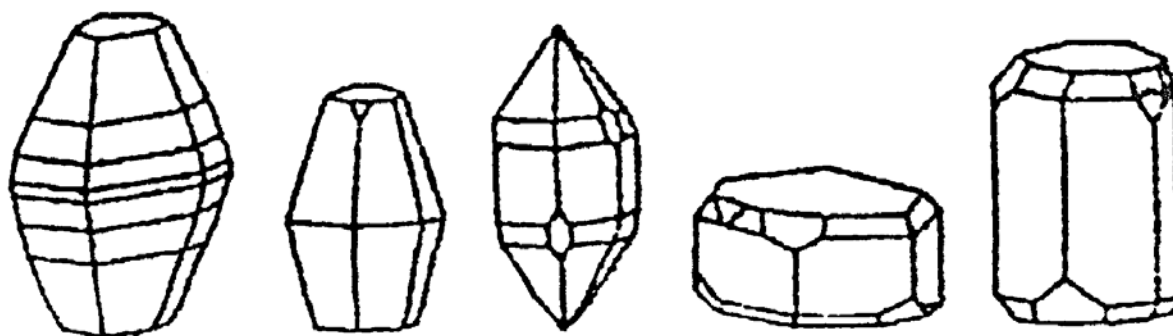


Fig. 6.68

Cercetările röntgenografice [126] au arătat o zonă clară a revenirii înalte. Se observă, totodată, o descompunere a martensitei, tensiuni de întindere în faza α și mărunțirea granulelor în faza γ [121]. Are loc creșterea blocului mozaic și micșorarea microdeformațiilor. La majorarea adâncimii de rectificare, structura materialului se modifică simțitor, deoarece are loc reducerea conținutului de carbon din cauza temperaturii înalte a procesului de rectificare [122]. De aceea, are valoare esențială caracteristica discului abraziv, mai ales a structurii lui, care exercită influență asupra cantității de căldură degajate în timpul rectificării. Cu cât structura discului rectificator este mai poroasă [figura 6.70] și amplasarea granulelor este mai favorabilă, cu atât frecarea este mai mică, totodată și cantitatea de căldură degajată este mai mică. Astfel, putem observa o influență oarecare a structurii discului abraziv asupra formării unor proprietăți ale stratului, cum este prezentat în figurile 6.70 a, 6.70 b și 6.71. [40, 61, 78].

Repartizarea tensiunilor remanente, evoluția și caracterul lor depind în mare măsură și de repartizarea câmpului de temperatură în granulele discului abraziv. În timpul rectificării, granulele se încălzesc și se răcesc ciclic, cu repartizări semnificative de cantități de căldură în timp.

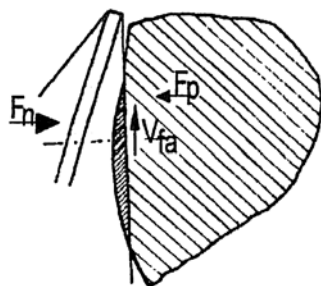


Fig. 6.69.

Aceasta micșorează rezistența prinderii granulei în liantul discului abraziv și duce la apariția tensiunilor remanente, atât în materialul prelucrat, cât și în scula abrazivă. În afară de aceasta, granulele din zona de contact cu materialul prelucrat (figura 6.69) se deplasează tangențial față de suprafața prelucrată, cu o pătrundere variabilă în material de-a lungul traiectoriei de așchiere [53]. De aceea, determinarea și analiza dependenței reciproce a energiei relative, grosimii medii a stratului îndepărtat de unele granule și a volumului productivității de prelucrare atins confirmă faptul că asupra valorii tensiunilor remanente influențează și condițiile cinematice de îndepărtare a așchiilor, duritatea și structura stratului exterior [41].

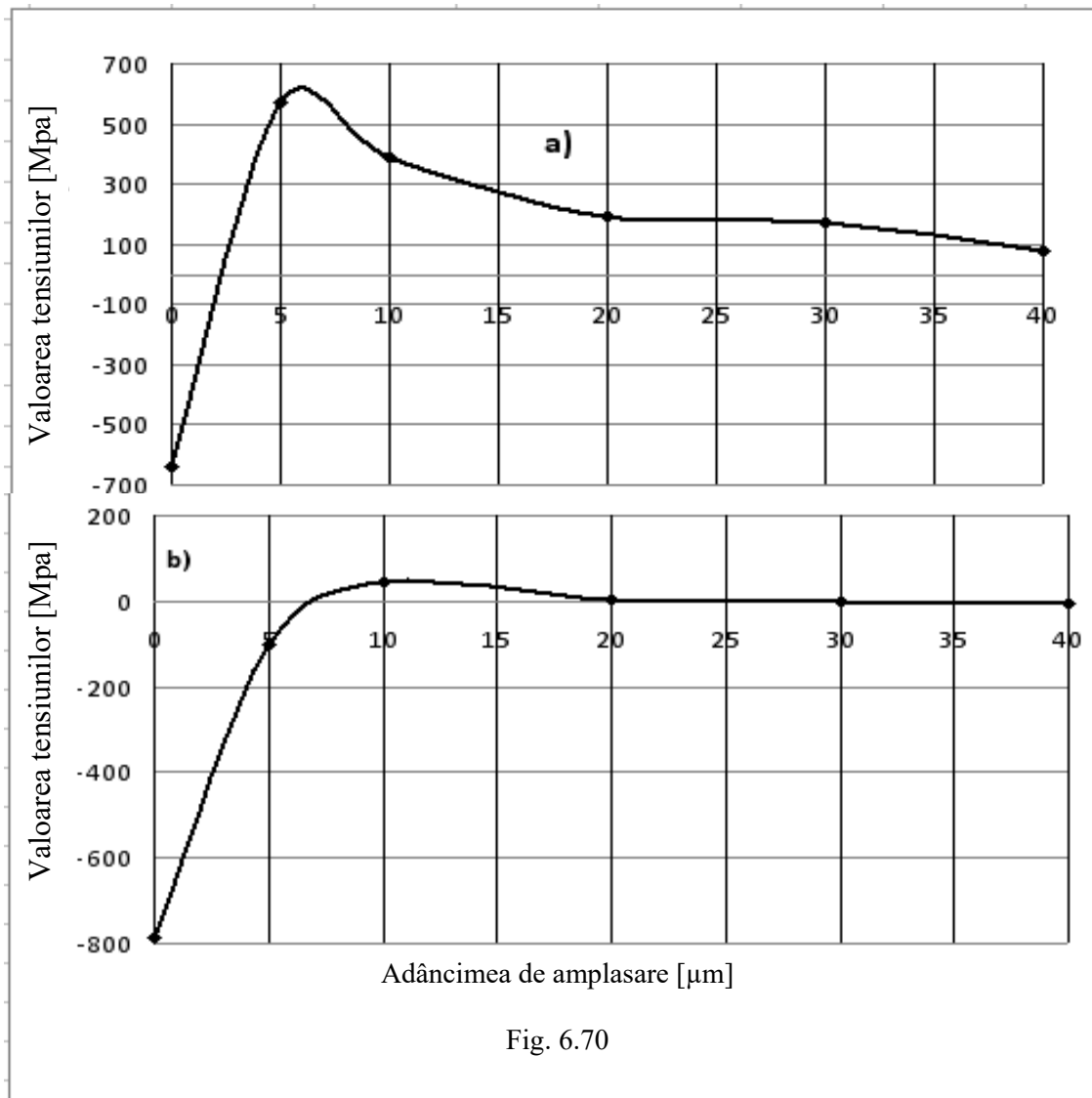


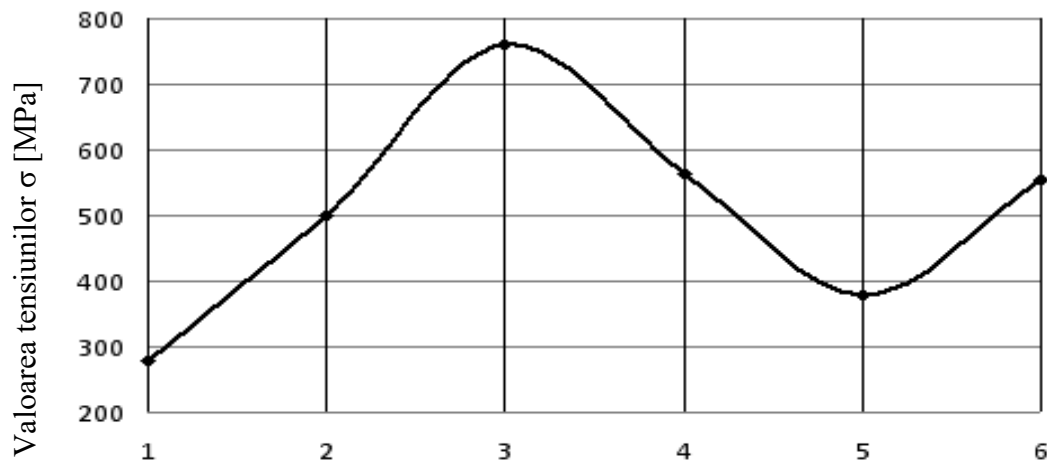
Fig. 6.70

Determinând deformațiile care apar în stratul exterior, nu trebuie să uităm de erorile de așezare a roților dințate amintite mai sus, de care depinde stabilitatea grosimii stratului așchiat [53, 118].

Totodată, se cere a mai adăuga că temperatura, în stare tensionată în stratul exterior, are o influență determinantă [81], indiferent de cauza apariției ei în zona de contact cu suprafața prelucrată [39, 102], și se răspândește în două direcții, provocând modificări esențiale în stratul dat [14]. Temperatura momentană în zona de distrugere a cristalelor, ca urmare a rectificării, poate atinge valoarea de 1470°K [78]. Cantitatea de căldură care se deplasează de la capul dintelui spre picior se micșorează treptat [22, 26]. Neavând orientare unghiulară concretă, unele granule fixate în discul abraziv (figura 6.68) condiționează modificarea structurii materialului în zona de contact, modificând astfel și tensiunile remanente [93].

Unii cercetători [51, 67] afirmă că structura 4–5 a discului abraziv este optimă, deoarece vom avea un volum de granule de cca 54-52% în scula abrazivă, fiindcă permite să se obțină o suprafață de contact corespunzătoare [51]. Aceasta are o valoare mare în cazul în care dorim să asigurăm o rugozitate și o precizie înaltă a suprafeței prelucrate.

Structura discului are o influență de alt tip asupra tensiunilor remanente din punctul de vedere al valorii lor și al caracterului de repartizare. Pentru a avea toată imaginea, sunt necesare cercetări suplimentare, deoarece sunt atestate diferite concluzii în acest sens [67]. Există părerea că, pentru a întări materialul, trebuie să se utilizeze granule de mărimile 8-20, iar deformările plastice și elastice care apar în urma rectificării conduc la formarea tensiunilor de întindere [121].



Duritatea discului abraziv: 1-X, 2-N, 3-M, 4-K, 5-L
Fig. 6.71

Așadar, doar cercetările suplimentare efectuate asupra tensiunilor remanente, care se găsesc în stratul exterior după rectificare, ne vor permite să determinăm dependențele și să stabilim legătura lor cu caracteristicile sculei abrazive.

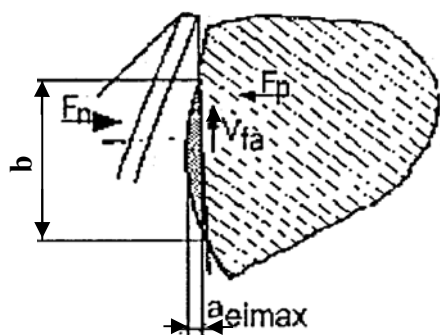


Fig. 6.72

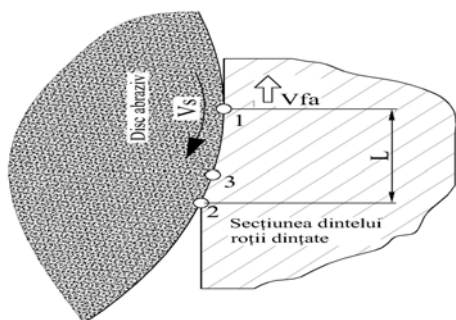


Fig. 6.73

Analiza cercetărilor efectuate [81, 85, 87, 126] arată că totalul cantității de căldură emise în urma rectificării, care trece în materialul prelucrat, este în limita de 95–62%. Datele se referă la grosimea maximă a stratului îndepărtat (figura 6.72), care constituie 0,03 mm, la o lungime de contact a discului rectificator cu suprafața așchiată a dintelui roții de 4,9 mm și lățimea $b = 2,5$ mm. Acest raport geometric contribuie la modificarea proprietăților stratului exterior; valoarea lor depinde de locul aprecierii lor. Aceste modificări se vor realiza în mod diferit în funcție de valoarea maximă și cea minimă a grosimii așchiate. Comparând diferite puncte de contact 1, 2, 3 (figura 6.73), putem afirma că există o diferență mare nu numai în repartizarea căldurii pe adâncime în material, dar și în funcție de condițiile de așchiere a materialului: în punctele 1 și 2 are loc doar frecarea și lipsește așchiera. În poziția dată, modificările ce au loc în stratul exterior sunt determinate de transformările structurale și termice, care provoacă apariția modificărilor tensiunilor remanente.

Remarcăm totodată și influența sursei de căldură, care are deplasare du-te-vino, legată de specificul procesului de rectificare. Deplasarea sursei de căldură are loc o dată de la capul dintelui spre picior, altă dată – de la piciorul dintelui spre cap, la prelucrarea aceluiași gol dintre doi dinți.

Aceasta creează condiții mai favorabile pentru modificarea stării stratului exterior. De aceea, determinarea cauzelor expuse are o valoare identică ca și la formarea stării stratului exterior și a legăturii modificării proprietăților acestui strat cu perspectiva de rectificare [100, 113].

6.14. Analiza rigidității statice a sistemului tehnologic de rectificat dantură prin metoda elementelor finite [30]

Rectificarea reprezintă un proces tehnologic de abrazare, având ca scop realizarea prin prelucrare a unei precizii ridicate și a unei calități înalte a suprafeței. Caracteristicile procesului [30, 32] de rectificare impun sistemelor tehnologice caracteristici sporite de rigiditate, nivel scăzut de vibrații și calități dinamice deosebite ale pieselor sistemului. Deci este foarte important a cunoaște măsura în care influențează forțele ce apar în timpul procesului de rectificare asupra rigidității întregului sistem tehnologic elastic (STE), luat ca ansamblu. Pașii următori de dezvoltare a temei respective vor fi de a analiza acest sistem luând în considerație factorul dinamic al acestuia.

Sistemul tehnologic de rectificat. La fabricarea roților dințate precesionale a fost propus următorul sistem tehnologic de rectificat, în care scula este executată sub formă de disc profilat la extremitate cu raza R (fig. 5.17).

Descrierea funcționării sistemului este dată în capitolul 3, pentru aceasta ne vom folosi de figura dispozitivului din (fig. 5.9). La rotirea arborelui-manivelă 3, balansierei 4 și sculei 1 li se comunică o mișcare oscilantă în jurul centrului mișcării sferospațiale O punct de intersecție a axelor fixe și mobile ale arborelui-manivelă 3. Totodată, sculei i se comunică o deplasare (intermitentă sau rapidă) cu ajutorul mecanismului cu șurub 10. Mecanismul cu șurub 10 (poate fi hidraulic sau pneumatic) la rândul său deplasează căruciorul 11 în care se instalează scula cu mecanismul de acționare. Căruciorul 11, pentru o deplasare rectilinie corectă, este ghidat de ghidajele executate în acesta.

Sistemul tehnologic cercetat a fost modelat în mediul *SolidWorks*, însă calculele prin elemente finite s-au efectat în modulul *Simulation2010*, complementar pachetului.

Într-o primă aproximare, respectivul STE va fi studiat doar considerând acțiunile ca statice (se exclud masele nebalansate și forțele de inerție).

Pentru a calcula componenta radială a forței de așchiere F_y , pentru factorul de proporționalitate vom lua o valoare medie, adică $m=2$:

$$F_y = m \cdot F_z = 2 \cdot 17.5N = 35N.$$

Valorile forțelor ce acționează asupra STE și apar în zona de contact sunt egale cu forța tangențială - $17.5N$, iar cea radială - $35N$.

Pentru o corespundere cât mai bună cu realitatea, legăturile dintre piese s-au modelat prin adăugarea de conectori (rulmenți, buloane, pene și știfturi) cu caracteristici găsite în îndrumările de proiectare a ansamblurilor.

Calculul forțelor de așchiere și al puterii îl vom efectua printr-o metodă indirectă. Motorul de curent continuu care pune în mișcare de rotație discul abraziv dispune de un sistem de monitorizare a încărcării și a turațiilor. Pentru procesul de rectificare a danturii, valorile maxime de antrenare sunt: încărcarea motorului - 40% , frecvența de rotație - $\gamma=6000 \text{ tur/min}$, puterea maximă a motorului $1,1kW$.

Se determină puterea efectivă și viteza periferică a discului în timpul procesului de rectificare:

$$N_e = N_{total} \cdot 40\% = 1100W \cdot 0,4 = 440W;$$

$$\omega = 2\pi\gamma = 2 \cdot 3,14 \cdot 100s^{-1} = 628,3 s^{-1};$$

$$v = \omega \cdot R = 628,3s^{-1} \cdot 0,04m = 25,13m/s.$$

Cunoscând valorile puterii efective și ale vitezei periferice, putem determina valoarea forței:

$$F_z = \frac{N_e}{v} = \frac{440W}{25,13m/s} = 17,5N.$$

Discretizarea modelului. Pentru o rulare cât mai rapidă a procesului de calcul, numărul de piese ale ansamblului a fost redus la 15 piese plus conectorii (7 rulmenți, 10 buloane, 1 pană și 3 știfturi), iar discretizarea modelului a fost făcută în 46198 elemente cu 81278 noduri (fig. 6.74). Procesul de analiză și calcul al modelului respectiv a durat aproximativ 60 de minute la un calculator cu caracteristici medii.

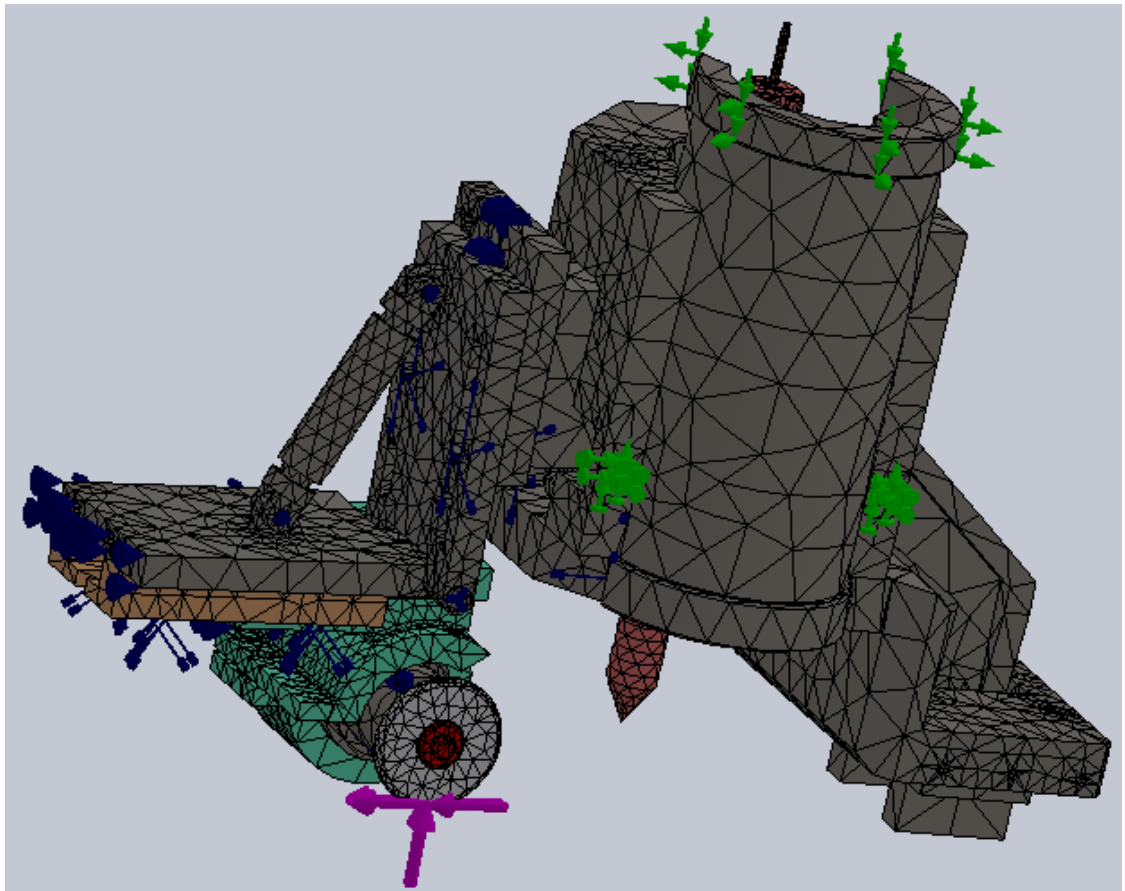


Fig. 6.74

Pentru a putea rezolva problema respectivă prin metoda elementelor finite e nevoie de a prestabili materialul pieselor din ansamblu, care este un oțel aliat marca 40X cu următoarele caracteristici: limita de rezistență – 900 MPa, limita de curgere de 650 MPa, modulul lui Young – $2,185 \cdot 10^5$ MPa, coeficientul lui Poisson de 0.29. Materialul pentru piatra abrazivă este electrocorundul, legat cu un liant ceramic.

Conform datelor de ieșire obținute, tensiunile maxime (von Mises) în interiorul ansamblului nu depășesc valoarea de 90 MPa (valori obținute în locurile de strângere a buloanelor). Deoarece prin analiza respectivă s-a încercat a găsi modul în care acționează forțele de prelucrare asupra rigidității STE, vom prezenta în figurile 6.75-6.80 deformațiile acestui sistem în direcții diferite pe axele X, Y și Z. Valoarea maximă a deformației se găsește în locul de contact al discului abraziv cu semifabricatul și este egală cu 9,58 microni, valoare încadrată în limitele

toleranței.

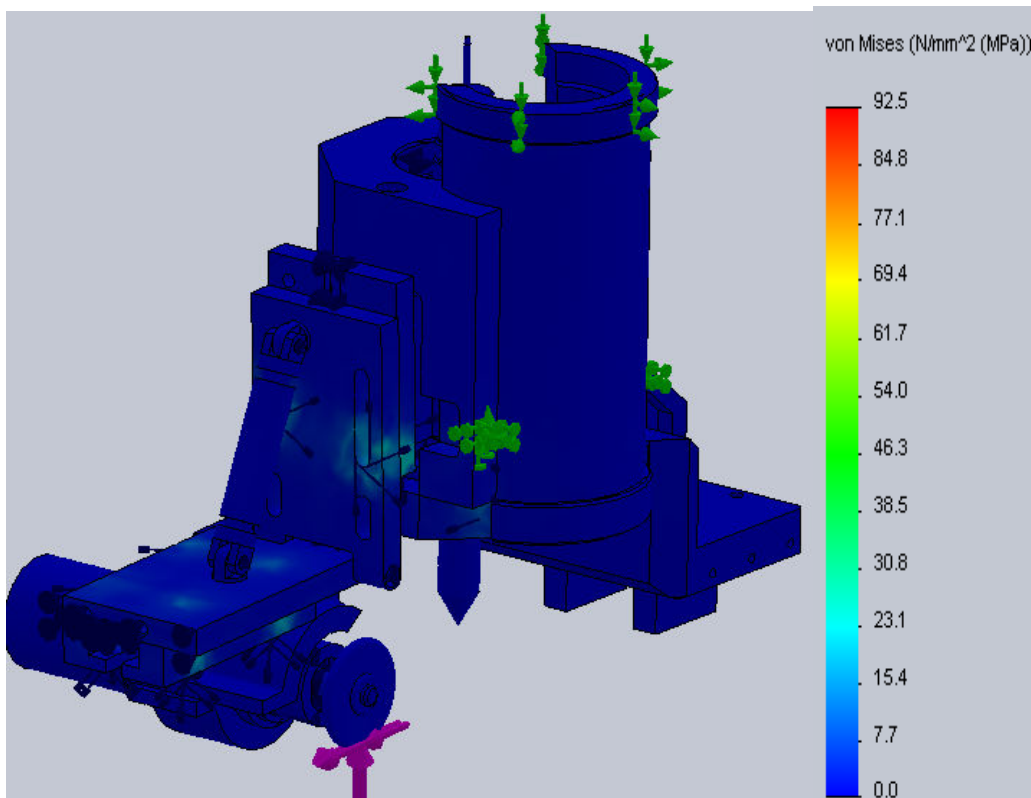


Fig.6.75

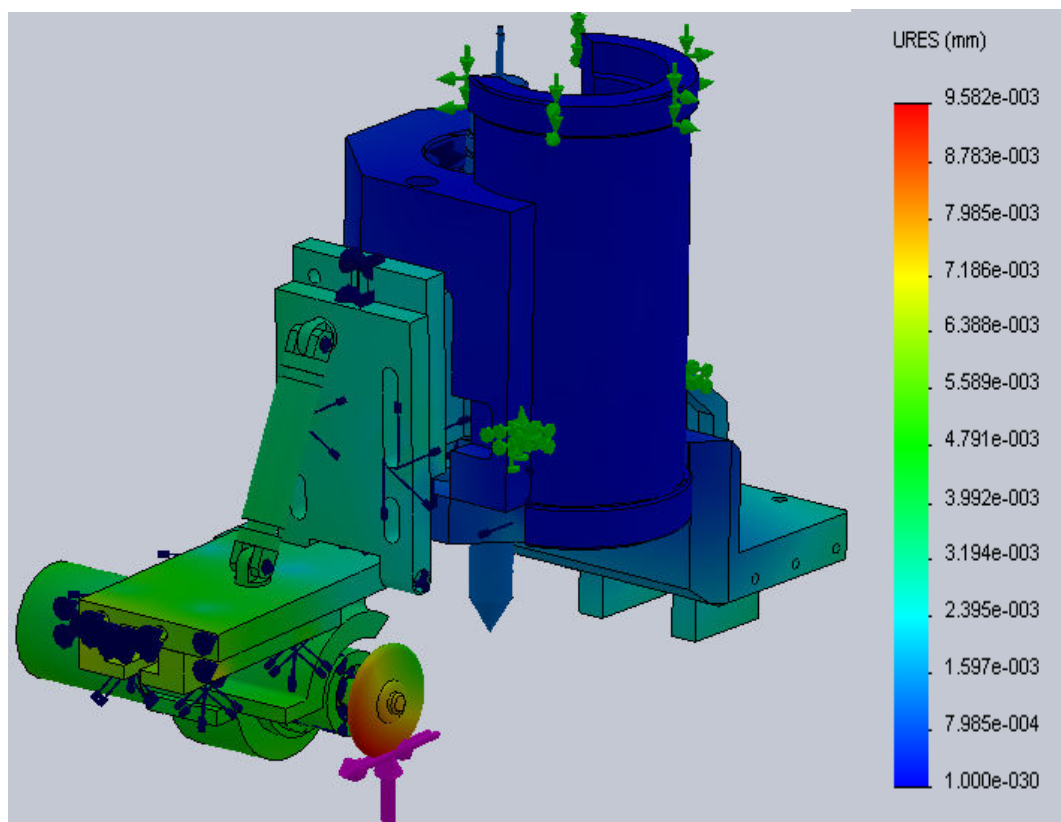


Fig. 6.76

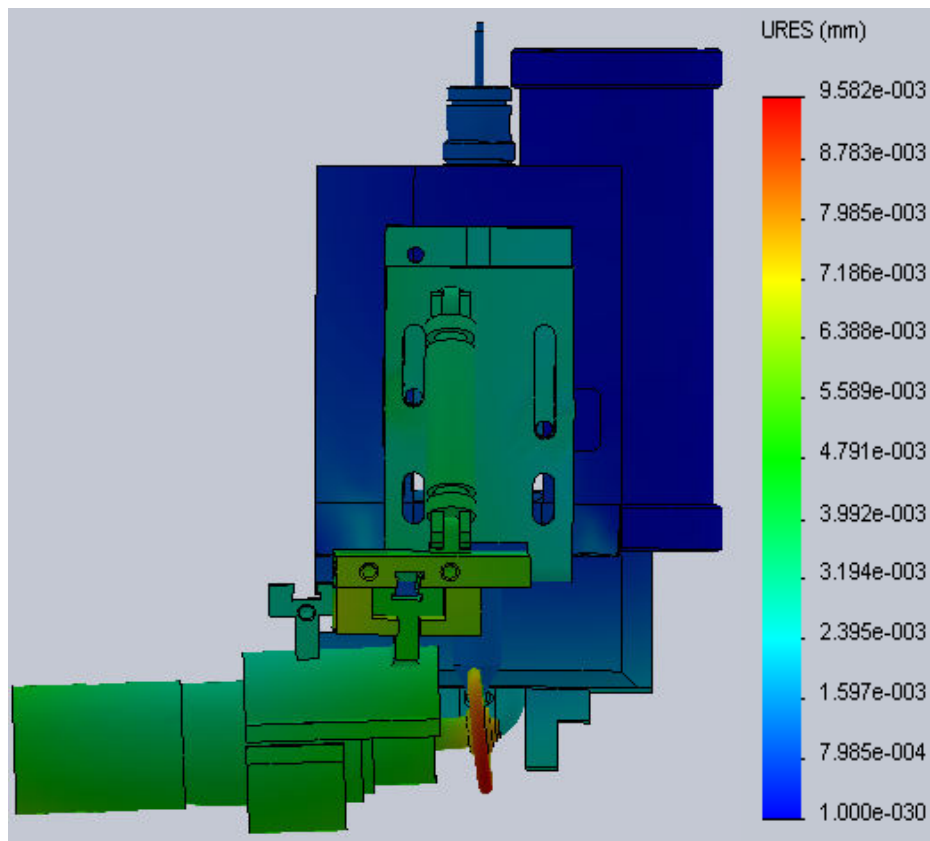


Fig. 6.77

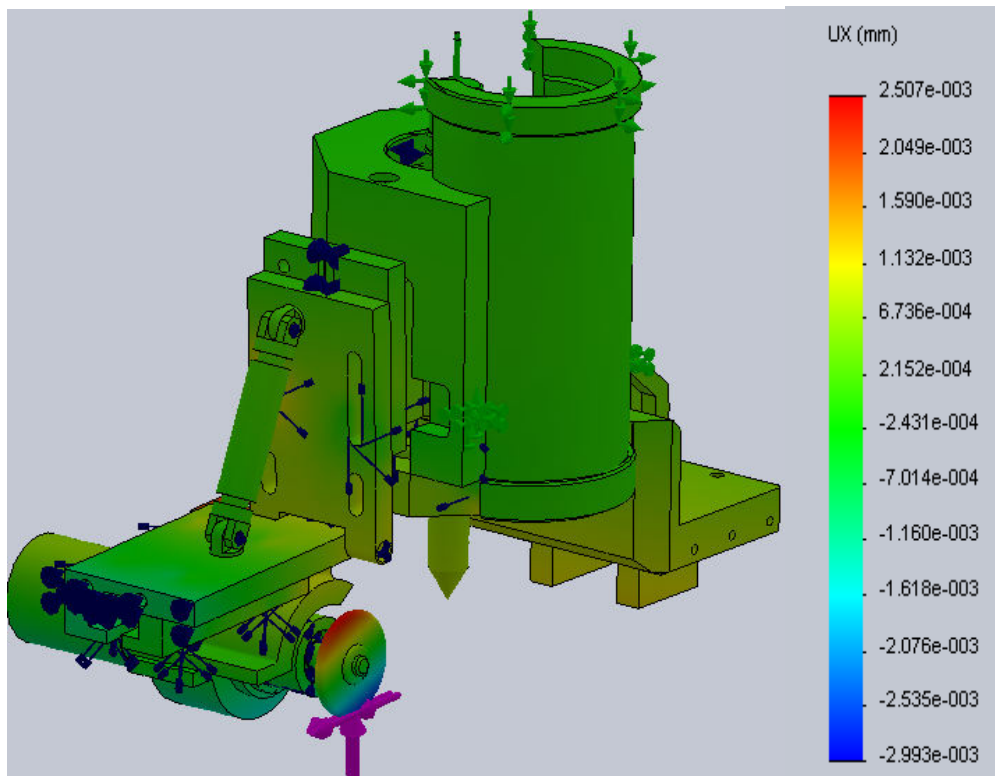


Fig. 6.78

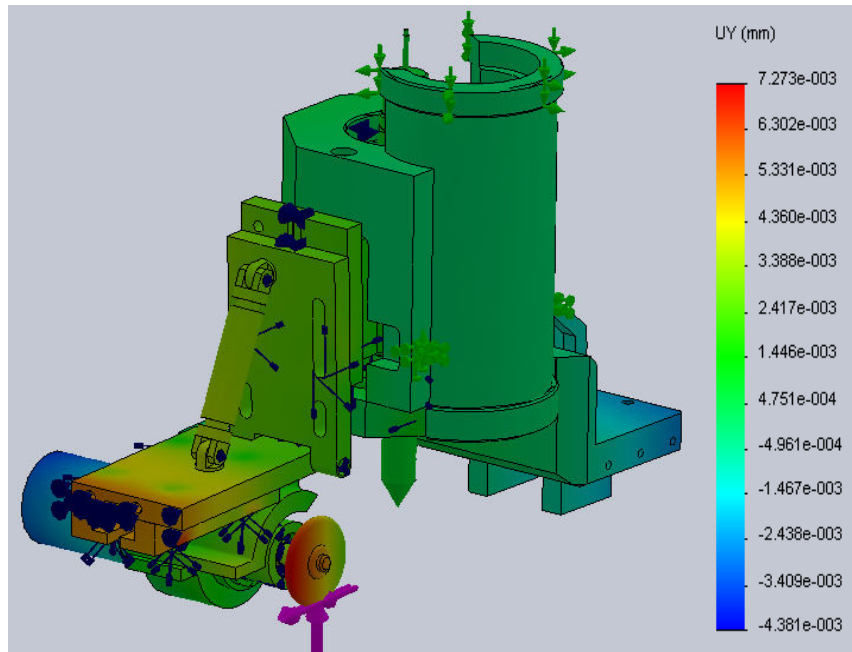


Fig. 6.79

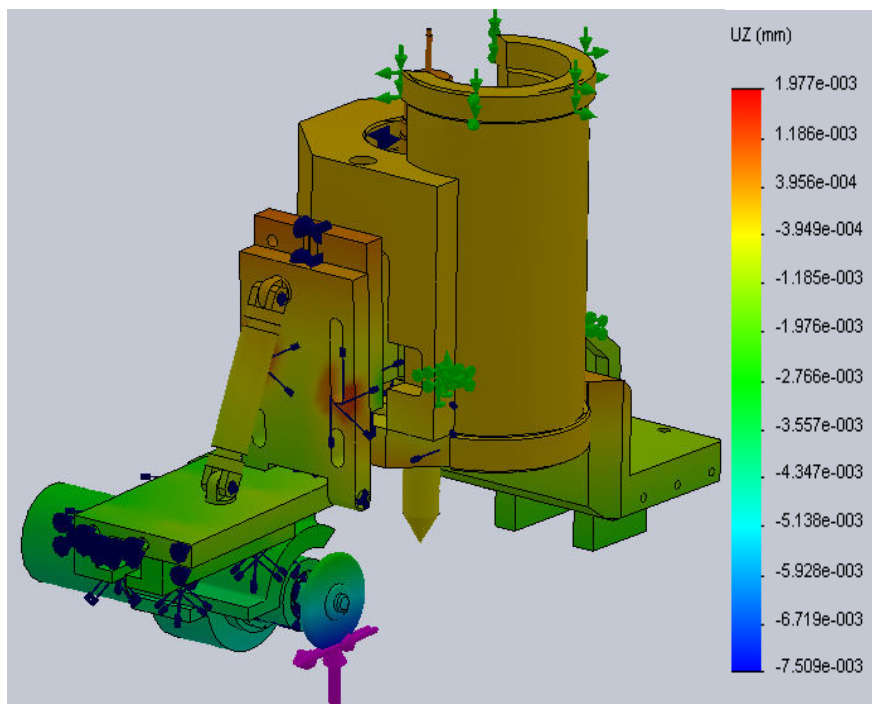


Fig. 6.80

Sistemele de calcul automatizate CAE reprezintă o mare diversitate de produse de programe care permit cu ajutorul metodelor de calcul cu elemente finite, a cunoaște comportamentul modelul CAD al produsului în condiții reale de exploatare. Astfel, este verificată fiabilitatea produsului fără implicare unor mari cheltuieli de timp și de bani.

În modelul STE propus s-a reușit a face cunoștință cu modul de repartizare a tensiunilor și, ceea ce este mai important, măsura în care forțele tind să destabilizeze rigiditatea întregului sistem. Scopul lucrării a fost nu doar de a arăta valoarea cantitativă a deformațiilor, ci și de a demonstra simplitatea analizei diferitor sisteme mecanice cu ajutorul MEF.

Valorile maxime obținute după direcția axelor Y și Z (4.925 micrometri și $-7.509 \text{ micrometri}$) demonstrează elocvent că forța radială și cea tangențială care apar în timpul procesului de prelucrare au cea mai mare influență

asupra deplasării totale spre locul de contact, anume după direcția acestor axe.

6.15. Studiul preciziei de danturare a profilului angrenajului precesional

În industrie [30,32] apare necesitatea determinării rapide și precise a diferitelor suprafețe, forme, linii și alte entități geometrice, la proiectarea unor noi produse pe baza analizei produselor existente (inginerie inversă). Ingineria inversă se realizează, de regulă, pentru a reprograma sistemul tehnologic la fabricarea unui produs nou mai calitativ după o copie a unui produs la care nu există versiunile electronice ale desenului de execuție. Ca soluție la această problemă au apărut așa-numitele obiecte de scanare 3D, care reprezintă un proces de scanare digitală și obținerea informației geometrice privind obiectul solid. Scanarea 3D este folosită cel mai des în cazul obiectelor complicate la configurare care nu pot fi modelate în inginerie (de exemplu, modelul CAD dimensional al scapulei și claviculei utilizat în biomecanică pentru a modela noi tipuri de implanturi; fig. 6.81, a). După procesul de scanare, se obține geometria obiectelor descrisă printr-o rețea densă de puncte denumită generic "punct nor". Scanarea 3D reprezintă o punte între proiectantul care creează un prototip fizic și inginerul de construcții care proiectează produsul într-un mediu 3D.

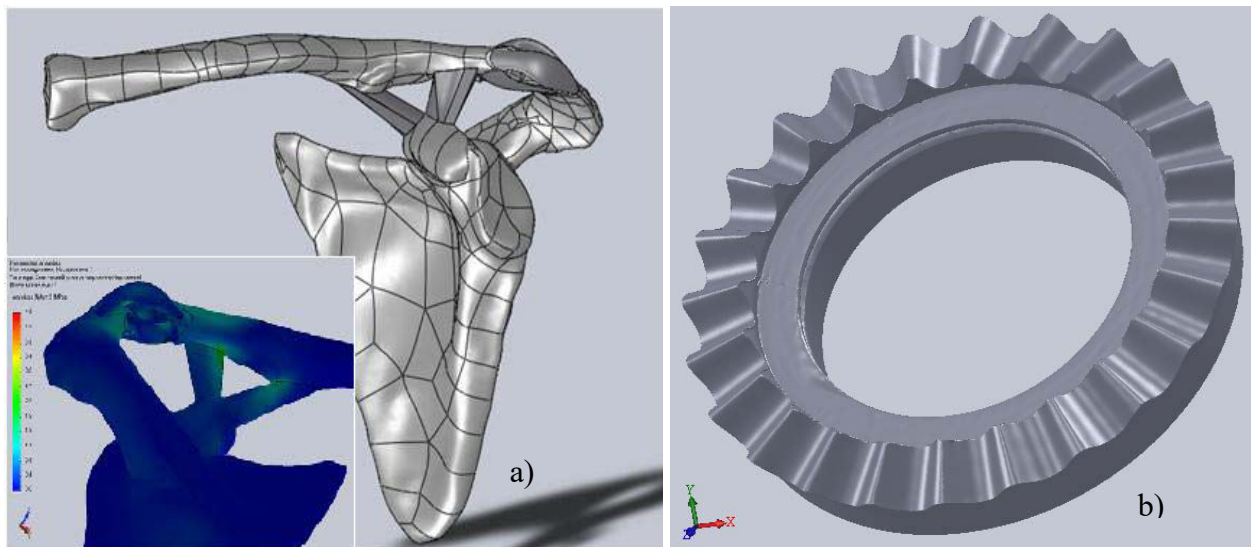


Fig. 6.81

Stabilirea modelului 3D al angrenajului precesional. Actualmente au apărut noi posibilități de apreciere a formelor geometrice ale produselor. În baza unui scanner 3D cu o precizie de scanare de 0,01 mm s-a marcat suprafața roții dintate (figura 6.81 a). A avut loc scanarea 3D a roții dintate precesionale (figura 6.81 b), obținându-se versiunea electronică a roții. Această versiune a fost transformată dintr-un format în altul.



Fig.6.82

Scanarea 3D a unui obiect real a creat un tip de fișier .stl (stereo-litografie). Această extindere a fișierului, tipul - date 3D mesh, împarte obiectul în triunghiuri cu respectivele puncte și vectori normali (figura 6.83). Dar acest tip de fișier poate fi folosit numai când se vizualizează sau se imprimă un obiect 3D (prototipuri rapide). Dar pentru a compara modelul real scanat cu obiectul ideal, este necesar a transforma fișierul într-un model solid cu suprafețe funcționale. Pentru o astfel de transformare se folosește modulul software ScanTo3D din SolidWorks2010, care oferă inginerilor instrumente de lucru cu informațiile colectate folosind, procesele de inginerie inversă. Prin acest software se pot deschide datele de scanare din orice scanner (fișiere de tip "mesh" sau "cloud point"), apoi convertite într-un model de suprafață sau solid. Convertirea datelor de scanare într-un model solid poate fi făcută prin două metode: creație semiautomată (pentru formele anatomice și organice) și creație semimanuală (pentru modelele cu forme analitice, dar nu pentru părți complexe). Se va folosi metoda a doua.

Pentru a converti fișierul într-un model solid, se modifica extensia de fișier în tip - PointCloud, care reprezintă un set de vectori normali ai punctelor ce formează suprafața exterioară a obiectului (fig.6.83).

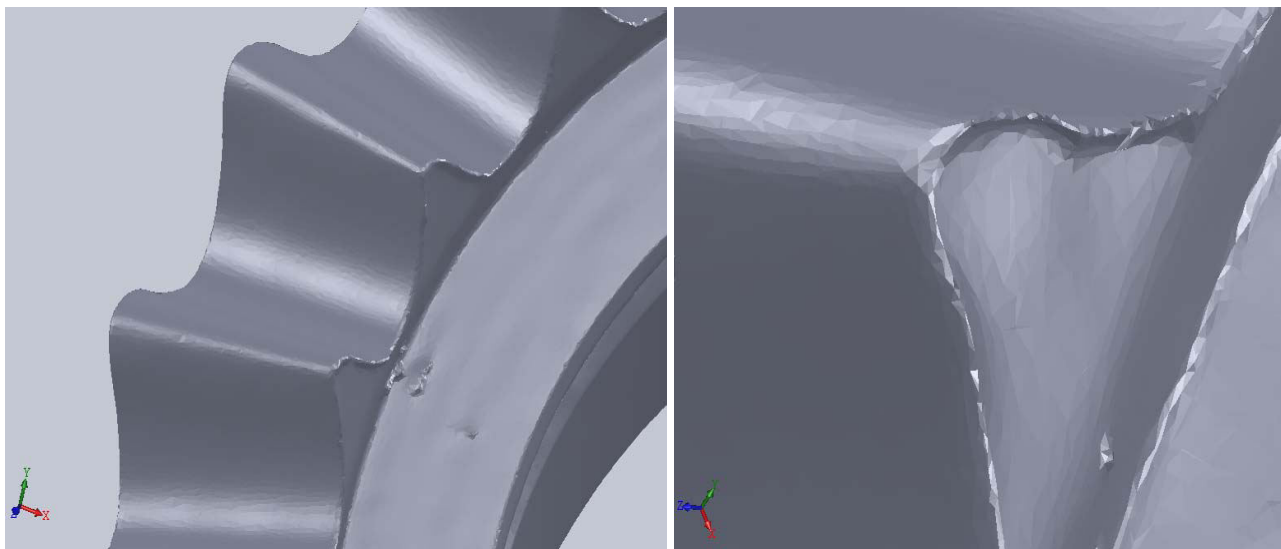


Fig.6.83

Mai mult se cere pentru formarea obiectului într-un singur document. Un moment important constă în reducerea numărului de puncte inițiale. În figura 6.84 este dat obiectul inițial și inexact care se va obține dacă vom efectua reducerea fișierului la 3000 de puncte din cele 385.976 puncte inițiale (o reducere de 99.27%). Deci, prin creșterea numărului de puncte va crește precizia profilului, dar, de asemenea, va crește timpul de procesare a datelor.

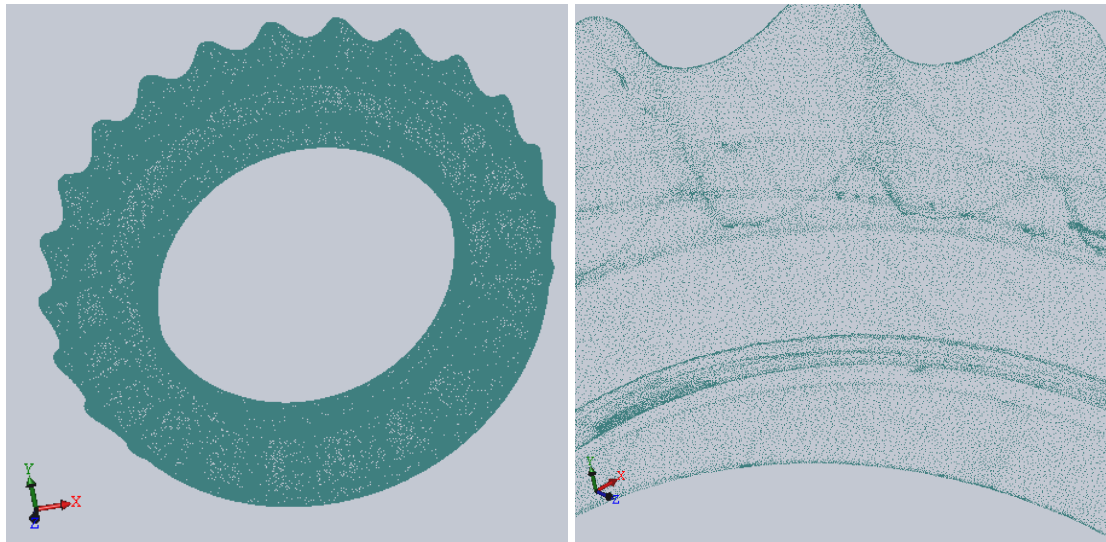


Fig.6.84

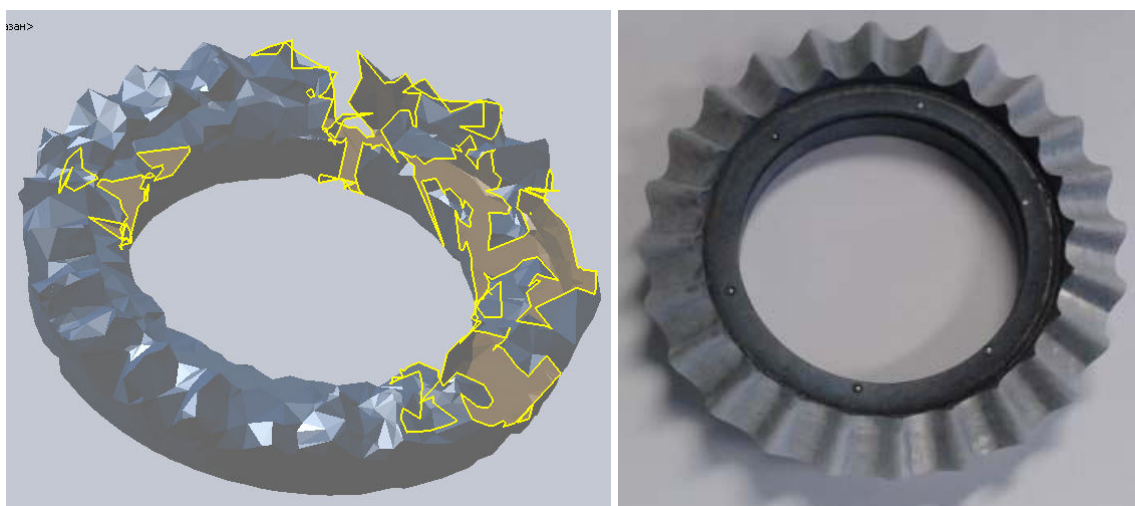


Fig.6.85

Analiza procesului de reținere a rețelei a condus la reducerea la 198.080 puncte (o reducere de $\approx 51.3\%$), o valoare suficientă pentru a menține profilul angrenajului (figura 6.85).

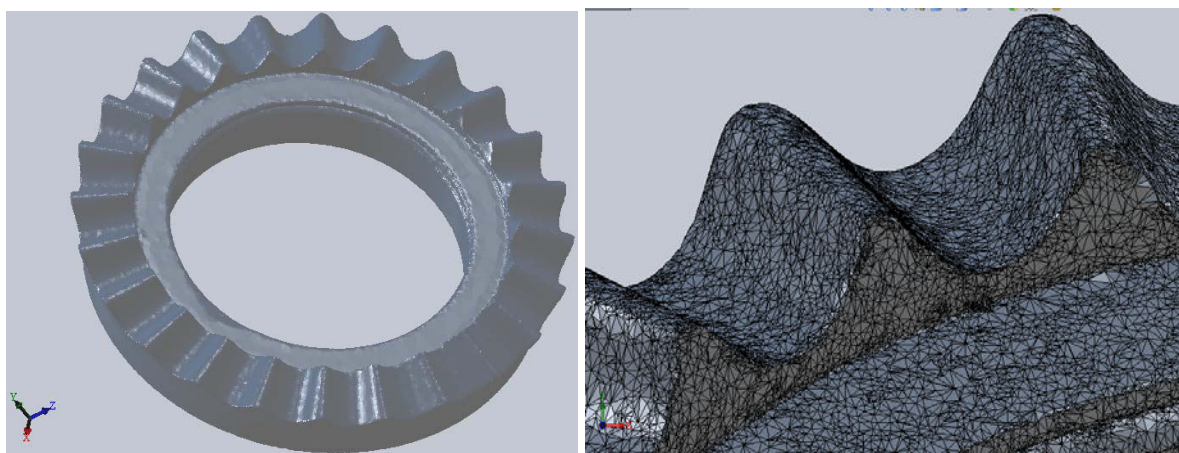


Fig.6.86

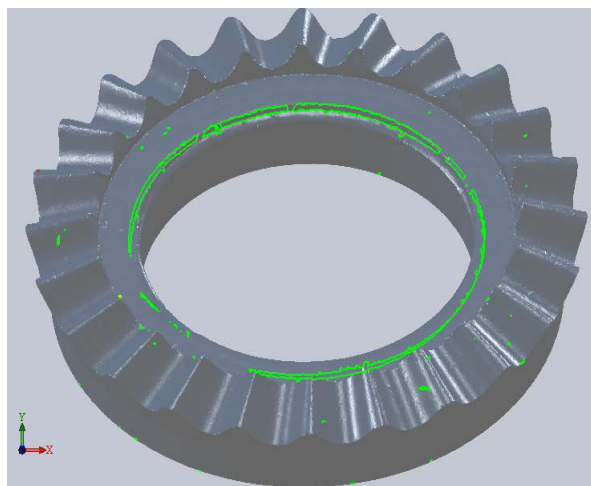


Fig.6.87

Întinderea rețelei a condus la o serie de erori geometrice sub formă de găuri (29 găuri). Aceste găuri apar, când lipsesc nodurile din rețea, iar când software-ul eșuează, se constată o convexitate ridicată, sugerând ca acestea să fie proiectate în modul automat (Figura 6, modelul erorilor). Pentru formarea suprafețelor care vor limita obiectul solid, se va efectua controlul manual pentru a selecta și a tăia suprafețele (figura 6.87). Ca rezultat, se obțin 36 de suprafețe unice care "acoperă" modelul.

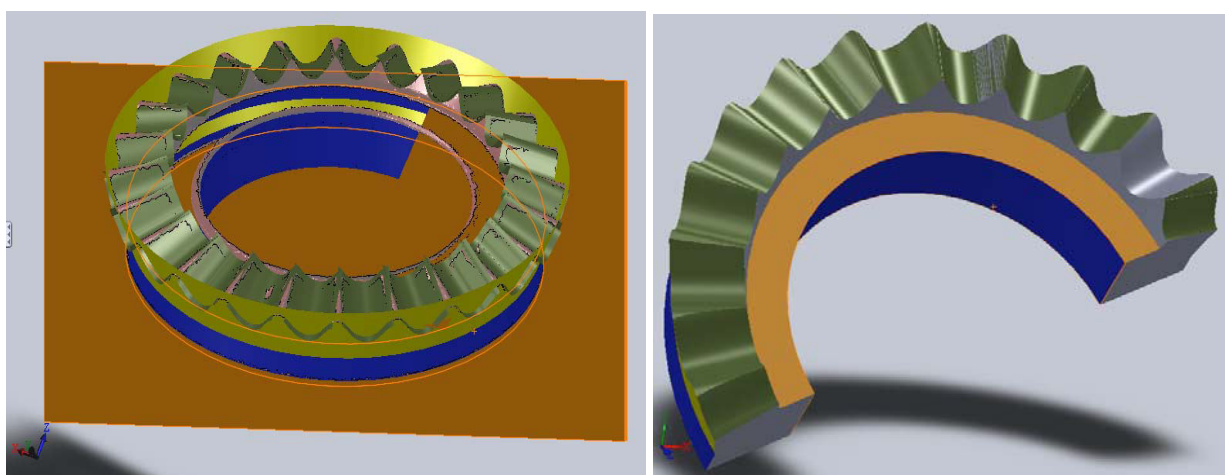


Fig.6.88

Modelul Funcționa. Cea mai mare problemă constă în tăierea și unirea suprafețelor respective pentru a obține o entitate fără "găuri" care vor forma suprafața exterioară a unui obiect solid (figura 6.88). Pentru a realiza acest proces mai rapid, se va transforma doar jumătate din model, celălalt se va face prin imaginea oglindă. După ce am realizat modelul în 3D, trebuie împreunat volumul dintre suprafețe cu elemente solide și, ca rezultat, să obținem modelul solid al roții dințate, care poate fi modificat după necesități (figura 6.89).

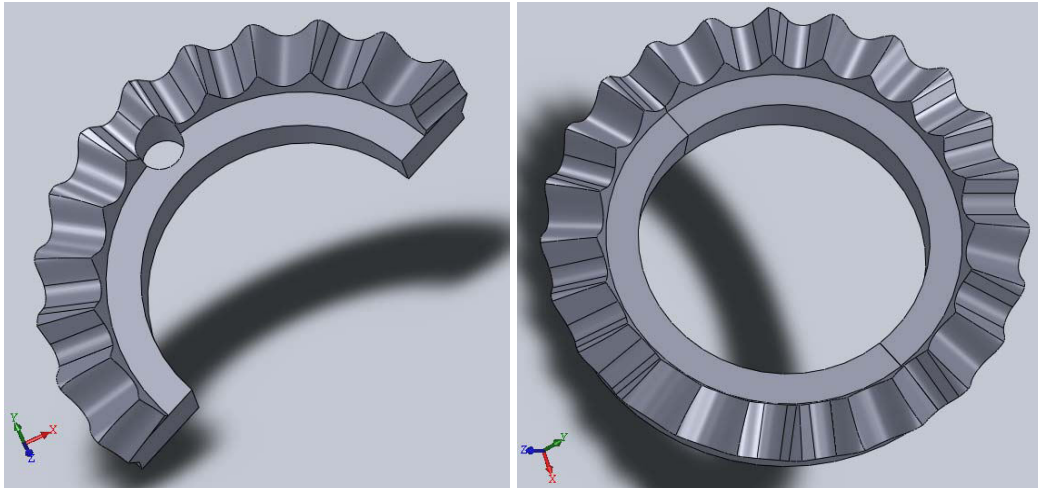


Fig. 6.89

Următorul pas este trasarea liniilor care formează conturul roții împărțită în segmente și puncte egale mici (figura 6.90 a, conturul angrenajului în Solidworks; fig.6.90 b în MathCad). Ulterior, coordonatele acestor puncte au fost exportate în software-ul MathCad, unde pot fi analizate și interpolate pentru obținerea unei valori medii a profilului scanat. În urma analizei obținerii unui profil s-a observat o mică eroare de înclinare a dinților angrenajelor cauzată probabil de procesul tehnologic. Dar astă eroare poate fi ușor eliminată printr-o reglare ulterioară a mașinii-unelte.

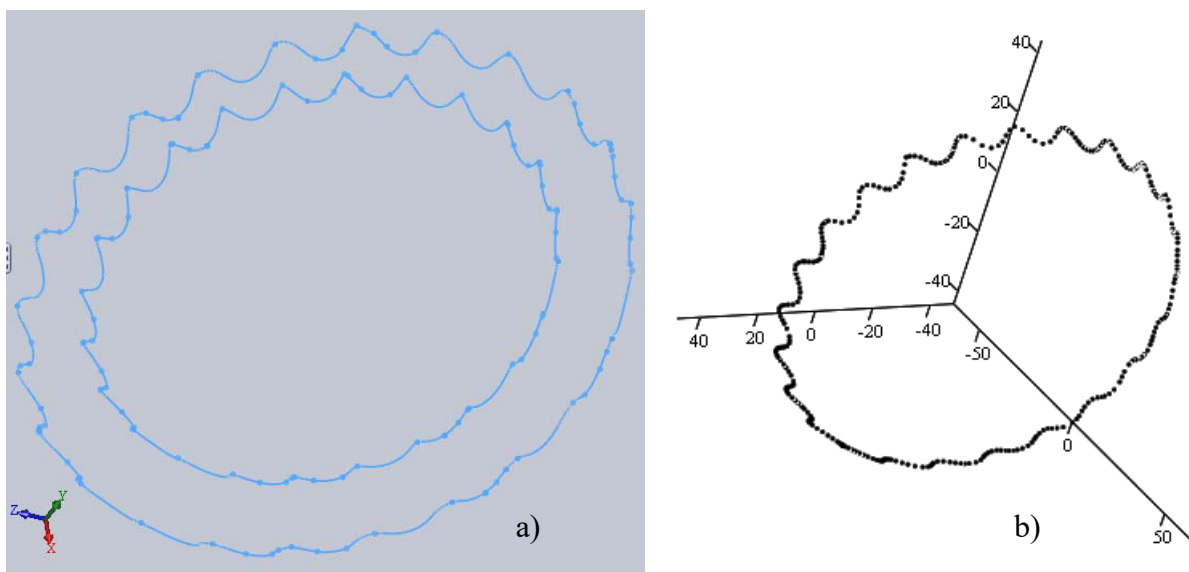


Fig. 6.90.

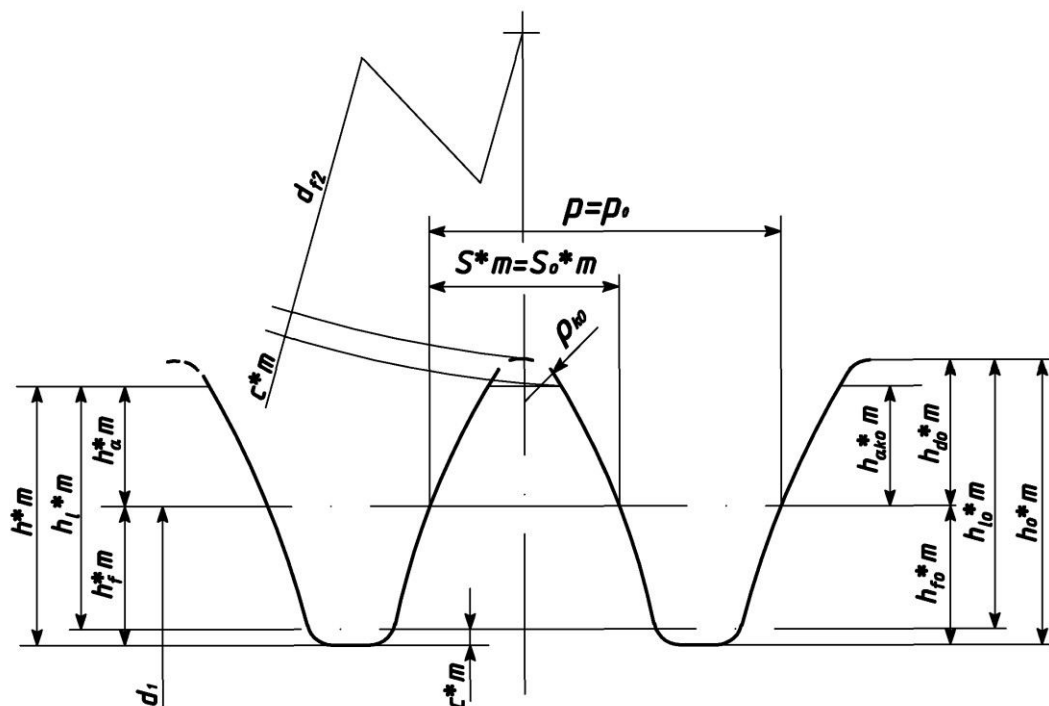
În procesul de cercetare a profilului transmisiilor precesionale a apărut problema găsirii erorii geometrice între profilul fabricat și profilul ideal. Măsurarea profilului fabricat utilizând echipamente speciale, ar implica costuri mari de timp și bani. În acest sens a fost recomandată utilizarea scanării 3D care poate reduce aceste costuri.

Folosind un modul software specializat pentru transformarea unui fișier scanat, a fost obținut modelul angrenajului precesional care este foarte aproape de profilul teoretic. Cea mai dificilă etapă a procesului de transformare constă în alegerea și coaserea suprafețelor care modelează profilul, deoarece suprafețele angrenajelor au o geometrie complexă. Următorul pas în cercetarea viitoare este compararea profilurilor teoretice și reale obținute prin scanarea 3D și depistarea erorilor.

7. TEHNOLOGIA DANTURĂRII ROȘILOR MELCATE

7.1. Elemente de referință privind tehnologia danturării roților melcate

Roțile melcate se diferențiază în funcție de melcul de referință (fig. 6.1), care definește angrenajul melcat în care lucrează roata. Astfel, roți melcate pot fi care angrenează cu melci arhimedici modificați, evolventici sau globoidali.



**Observație: -simbolurile cotelor din desen, conform STAS 915/5-81
-noțiuni geometrice și cinematice, conform STAS 915/5-81;6845-75**

Fig. 7.1

Sunt cunoscute [53] și folosite pe plan mondial angrenajele melcate cilindrice de tipurile: ZE - melci în evolventă, ZA - melci tip arhimedic, ZN1 - melci cu profilul rectiliniu în secțiunea normală pe dinte, ZN2 - melci cu profilul rectiliniu în secțiunea normală pe gol, ZK1 melci prelucrați prin frezare cu freză disc dublu conică și ZK2 - melci prelucrați cu freza cilindrică (deget) conică (STAS 6845-81).

Ca urmare, sunt stabiliți parametrii geometrici ai melcului de referință (fig. 7.1), care ajută la definirea geometrică a melcului generator. Dantura roții melcate este înfășurătoarea danturii melcului generator, în mișcarea relativă față de roata melcată. Scula pentru danturarea roții melcate are muchii așchietoare care se găsesc pe o suprafață având forma și dimensiunile identice cu melcul generator. Melcul angrenajului melcat are forma și dimensiunile identice cu melcul de referință care definește parametrii roții melcate a angrenajului, cu excepția grosimii dintelui roții, care este mai subțire în scopul obținerii jocului dintre flancuri.

Pentru angrenajele melcate globoidale STAS 8641-86, cu axe încrucișate ortogonal, se fac recomandări privind construcția lor, în special distanțele dintre axe, cât și rapoartele de transmitere.

În principiu, se definesc două categorii de angrenaje melcate:

- angrenaje melcate cinematice, având modulul axial cuprins între 1...16 mm și diametrul de divizare al

roții melcate până la 5000 mm, cu distanța dintre axe reglabilă;

- angrenaje melcate pentru transmiterea de puteri mari, având modulul axial între 1 și 30 mm, diametrul de divizare al roții melcate până la 2000 mm și diametrul de divizare al melcului până la 400 mm, pentru orice număr de începuturi. Distanța dintre axe nu este reglabilă (STAS 6461-81).

Toate acestea determină particularitățile tehnologice de danturare ale roților melcate.

Teoretic, fiecare tip de roată melcată se danturează cu o sculă ai cărei parametri geometrici (pas, modul etc.) sunt identici cu ai melcului generator sau cu cel cu care va trebui să angreneze. În practica industrială se folosesc scule de danturare care au anumite abateri în raport cu melcul de referință.

Astfel, pentru asigurarea jocului la fundul dintelui, freza-melc folosită la danturare se construiește cu diametrul exterior mărit cca de două ori față de valoarea jocului radial normal ($c = 0,17...0,2$ m).

Jocul dintre flancuri este asigurat de către melcul din angrenaj, care se construiește cu grosimea dintelui mai mică decât a melcului de referință.

Deoarece scula cu care se face danturarea (freză-melc) este aproape identică cu melcul cu care va angrena roata, rezultă că generarea danturării roților melcate se face prin rulare pe mașini de danturat care reproduc procesul de angrenare. În urma reascuțirilor, diametrul sculei se modifică, iar distanța dintre axe la prelucrare trebuie respectată în limitele câmpului de toleranță. Ca urmare, se produce o modificare a jocului atât la fundul dintelui, cât și pe flancuri.

Acest joc scade pe măsură ce scula suferă mai multe reascuțiri și poate căpăta valori atât de mici încât, ulterior, duce la blocarea angrenajului. Pentru evitarea acestui neajuns este necesară finisarea danturii.

Roțile melcate care angrenează cu melci cilindrici pot fi danturate după una din următoarele procedee:

frezare radială cu freză-melc; frezare tangențială cu freză-melc; frezare radial- tangențială cu freză-melc; frezare cu cuțit rotitor, frezare prin copiere cu freză- melc.

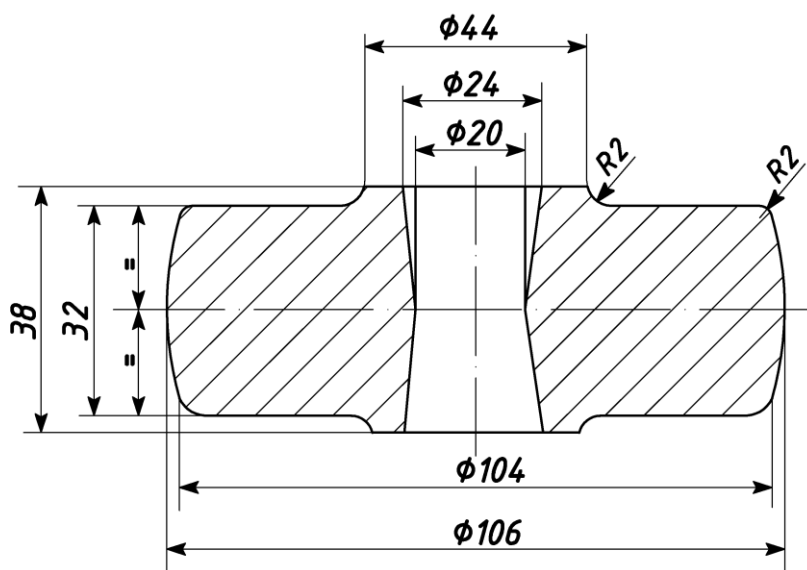


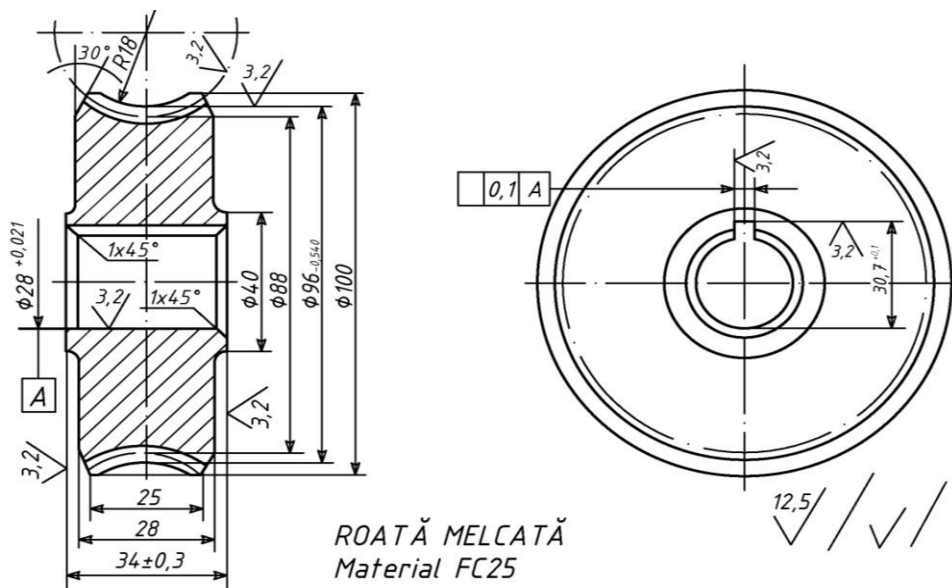
Fig. 7.2

Roțile dințate melcate pot fi executate din două bucăți sau dintr-o singură bucată (monobloc), aceasta atât în funcție de mărimea roții melcate, cât și în funcție de materialul din care se execută.

Roțile melcate mari, care transmit eforturi mijlocii, se execută din fontă cu coroană din bronz. În acest caz tehnologia de fabricație este mai complexă și mai costisitoare față de cazul când roata se execută dintr-o bucată (monobloc) sau din două sectoare montate din același material. Dacă roțile dințate sunt mai mici și nu transmit eforturi mari, acestea se execută din fontă cenușie dintr-o singură bucată. În acest caz, semifabricatul se obține prin turnare (fig. 7.2).

În cazul unei roți melcate (fig. 7.3) cu un modul frontal $m = 4$ mm și un număr de dinți $z = 22$,

semifabricatul se obține prin turnare din fontă cenușie Fc250, după care roata melcată este danturată. Ca urmare, semifabricatul (1) este centrat pe masa mașinii (2), iar freza melc (3) se reglează la poziția orizontală a capului portsculă (4) (fig. 7.4).



PARAMETRII DANTURII

| | | | |
|------------------------------------|---|----------------|---------|
| Diametrul de divizare conventional | | D_d | 88 |
| Melcul conjugat | Numărul desenului | | |
| | Înălțimea dintelui | h | 9 |
| | Pasul elicei | P | 12,56 |
| Distanța dintre axe în angrenaj | | A | 66 |
| Melcul de referință | Tipul melcului | | A |
| | Numar de începuturi | Z_1 | 1 |
| | Unghiul elicei de referință | D_d | 88 |
| | Coefficientul diametral | D_d | 11 |
| | Unghiul de presiune normal de referință | α_{on} | 20° |
| | Coefficientul axial al înălțimii capului de referință | φ_{oa} | 1 |
| | Coefficientul axial al jocului de referință la fund | D_d | 0,25 |
| Roată melcată | Modul frontal | m_f | 4 |
| | Numărul de dinți | Z | 22 |
| | Deplasarea specifică frontală a danturii | D_d | 0 |
| | Sensul înclinării dintelui | | dreapta |
| | Clasa de precizie STAS 6461-61 | | B_jC |

CONDIȚII TEHNICE

Toleranța bății radiale a danturii în planul median al roții va fi de 0,080 mm; Abaterea admisă de la simetria planului median al danturii față de cota $34 \pm 0,3$ va fi de max 0.5 mm; Alezajul $\phi 28^{+0,021}$ va fi perpendicular pe planul median al danturii; Execuție mijlocie, conform Stas 2300-85

Fig. 7.3

Alezajul roții turnate trebuie prelucrat cu precizia ridicată, deoarece de aceasta depinde în mare măsură și precizia de danturare. Ca urmare, roata trebuie fixată și centrată pe un dorn de precizie. După prinderea pe dorn, roata este finisată pe părțile laterale și pe exterior, după care este strunjit profilul circular. Pentru roțile mici, prelucrarea se face cu cuțite profilate; pentru roți mai mari, prelucrarea se poate realiza după șablon sau cu un dispozitiv special care să permită rotirea cuțitului pentru realizarea profilului la raza cerută.

În scopul creșterii preciziei de prelucrare, întreg profilul roților melcate (în special la cele mari) se poate executa pe strunguri cu comandă.

Roțile melcate cilindrice sau globoidale, după ce sunt danturate, sunt supuse unei operații de netezire a

flancurilor dinților. Roțile melcate sunt executate din diferite mărci de bronzuri și fonte, iar în unele cazuri mai deosebite, din oțeluri.

Ca urmare, roțile melcate nu sunt supuse tratamentelor termice sau termochimice pentru durificarea flancurilor dinților, fapt ce permite ca netezirea să se realizeze prin diferite procedee ca lepuirea, rodarea sub sarcină etc. Aceste procedee permit o bună localizare a petei de contact, care trebuie să fie extinsă aproximativ pe tot flancul

dintelui, element caracteristic roților melcate și mai ales celor globoidale, pentru realizarea unei angrenări silențioase și fiabile.

7.2. Tehnologia danturării roților melcate cu freza-melc

7.2.1. Procedeele de frezare radială

Freza-melc materializează melcul generator cu care angrenează roata melcată, reșind că poziția ei față de semifabricat trebuie să fie identică cu poziția melcului față de roata melcată. Ca urmare, axa frezei trebuie să fie perpendiculară pe axa semifabricatului (fig. 7.5, a, b) și conținută în planul median al acestuia. Numai în

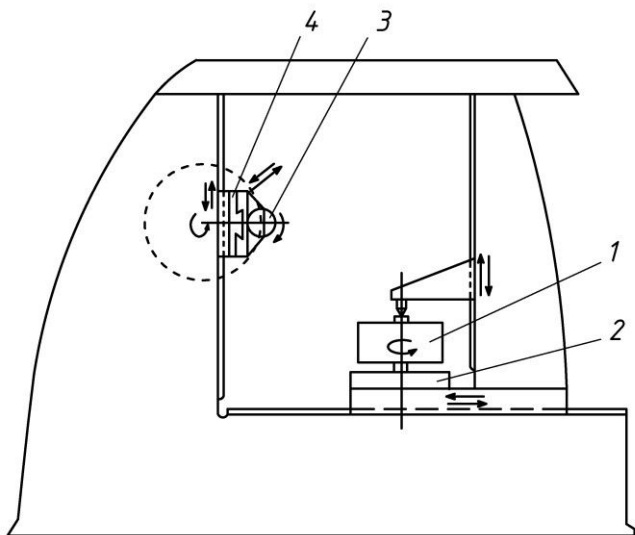


Fig.7.4

cazul când unghiul de înclinare al frezei-melc (2) față de roata (7) este diferit de unghiul de înclinare al melcului generator, se va realiza un unghi de poziționare la prelucrare al frezei diferit de zero. Acesta poate duce la modificarea profilului dintelui și în unele cazuri la rebutarea roții melcate, ca urmare a faptului că freza 2 va prelucra și marginile roții (1).

La începerea prelucrării, freza-melc (2) este adusă în contact cu suprafața exterioară a roții melcate 1 la distanța dintre axe A_x , care se modifică în timpul prelucrării datorită avansului radial s_r , până ajunge la distanța AQ , care va fi distanța de montaj a angrenajului melcat.

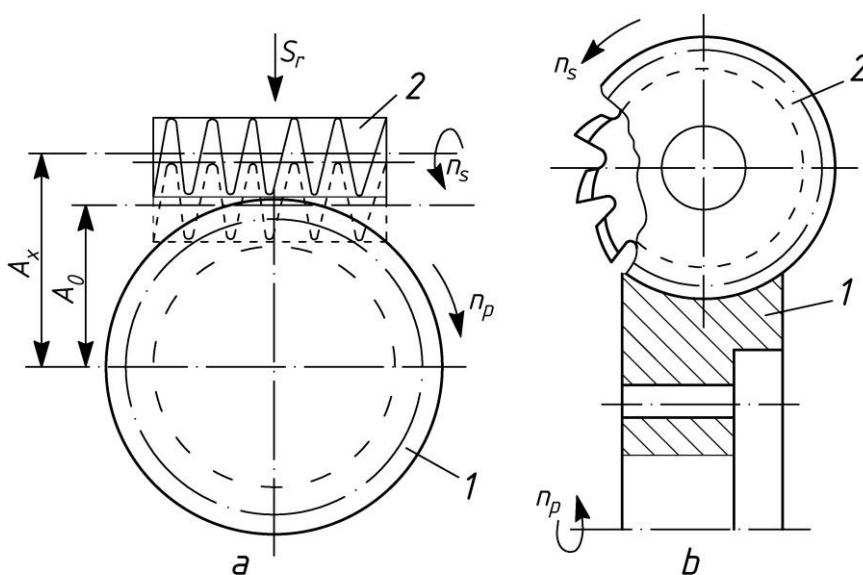


Fig. 7.5

Generarea danturii are loc datorită unei mișcări combinate de rulare care reproduce angrenarea dintre sculă și

semifabricat și printr-un avans radial, care trebuie să satisfacă relația cinematică de angrenare:

$$n_s / n_p = z_p / z_s , \quad (7.1)$$

în care: n_s este turația frezei, în rot/min; n_p - turația roții, în rot/min; z_p - numărul de dinți ai roții melcate; z_s - numărul de începuturi ale melcului cu care va angrena roata și corespunde, la prelucrare, cu numărul de începuturi ale frezei-melc.

Din relația (7.1) rezultă raportul de transmitere, pe baza căruia se stabilesc roțile de schimb la mașina de danturat prin relația:

$$z_s / z_s = z_1 / z_2 \cdot z_3 / z_4 \quad (7.2)$$

și care va cuprinde toate roțile dințate de schimb utilizate la mașina de danturat.

În acest caz, prelucrarea se realizează într-un lanț cinematic direct, fără să fie utilizat și lanțul cinematic diferențial. Datorită pătrunderii radiale continue a frezei în semifabricat, până se va ajunge la distanța dintre axe AO , flancurile dinților nu se formează corect. Muchiile așchietoare ale sculei îndepărtează o parte din profilul corect al dintelui.

Deformarea profilului este cu atât mai mare cu cât unghiul de înclinare al dinților roții melcate este mai mare. Ca urmare, precizia de prelucrare a roților melcate prin acest procedeu este scăzută. Din acest motiv, prelucrarea roților cu înclinarea danturii mai mare de 8° , adică a roților care angrenează cu un melc cu 2...3 începuturi, se face prin metoda frezării tangențiale.

Profilul dinților roții melcate se generează ca înfășurătoare a pozițiilor succesive ale numărului de dinți așchietori ai sculei. Din această cauză, forma profilului este influențată de numărul de dinți așchietori ai sculei. În acest sens, la frezele de diametru mai mic, unde numărul de dinți așchietori este mic, profilul se formează mai puțin precis.

La frezarea cu avans radial, atât degroșarea, cât și finisarea se fac cu aceeași sculă, dar cu viteze așchietoare diferite. Se poate ajunge la obținerea unei rugozități $R_a = (6,3...3,2)$ mm. Oprirea frezei la distanța precisă dintre axe este însoțită, de obicei, de erori, lucru care se manifestă negativ în ceea ce privește obținerea jocurilor la fundul dintelui și pe flancuri.

După oprirea avansului radial s_r , când s-a ajuns la distanța dintre axe AO , semifabricatul se mai rotește de 2...3 ori, fapt ce conduce la o finisare a flancurilor roții melcate.

Finisarea danturii roții melcate se poate face și prin inversarea sensului de rotație a roții melcate și frezei-melc modul aflate în angrenare pe mașini de danturat. Astfel, are loc o tasare și netezire a flancurilor danturii roții melcate datorită acțiunii efectuate de spatele muchiilor așchietoare ale dinților frezei-melc modul.

Toate acestea scot în evidență faptul că frezarea roților melcate cu avans radial este o metodă de prelucrare mai puțin precisă. Are însă avantajul că asigură o productivitate mai mare decât metoda tangențială, ceea ce o recomandă în cazul operațiilor de degroșare, iar freza-melc este mai simplă și mai ieftină.

Deoarece profilul dinților se generează într-un proces de rulare care are loc între piesă și sculă, mașinile pe care se execută danturarea trebuie să aibă un lanț cinematic de rulare. Reglarea acestui lanț se face ca în cazul frezării roților dințate cilindrice cu dinți dreupți sau înclinați.

Pentru avansul radial, se recomandă valori cuprinse între 0,3...1 mm/rot piesă, iar viteza de aşchiere, în funcţie de materialul roţii (fontă, bronz etc.), ajunge la circa 20...30 m/min (tabelul 7.1).

Prin metode de frezare radială se pot obţine roţi melcate în cel mult treapta a 7-a de precizie cu o rugozitate a flancului, după finisare, $R_a = 1,6$ mm, fapt pentru care, în unele cazuri, este necesară deci şi o operaţie de finisare a flancurilor prin şeveruire sau rodare.

Frezarea roţilor melcate se poate realiza pe maşini speciale de danturat, dar şi pe maşini universale de frezat, prin realizarea unui lanţ cinematic direct cu capul divizor.

7.2.2. Procedeele de frezare tangenţială

Danturarea roţilor melcate se realizează prin frezarea cu freza-melc specială, cu avans tangenţial. Scula şi piesa se reglează de la început la valoarea distanţei dintre axe A_0 (fig.7.6), care se păstrează constantă până la sfârşitul prelucrării. Unghiul de poziţionare la prelucrare al frezei-melc este zero în raport cu roata melcată.

Tabelul 7.1. Regimuri de aşchiere la frezarea roţilor melcate cu freze-melc (pentru fontă cenuşie şi bronz)

| Modulul mm | Diametrul frezei melcate mm | Avansul de rotaţie a piesei | | | | | |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | | Radial | | | Tangenţial | | |
| | | maşini mici | maşini mijlocii | maşini mari | viteze de aşchiere m/min | S_r , mm/rot | viteza de aşchiere m/min |
| 3 | 70 | 0,55...0,60 | 0,90 | - | 27 | 1,4...1,6 | 27 |
| 4 | 80 | | 0,85 | 0,95 | 25 | 1,3...1,5 | 25 |
| 5 | 90 | 0,45...0,50 | 0,80 | 0,90 | 23 | 1,2...1,4 | |
| 6 | 125 | | 0,75 | 0,85 | | 1,2...1,3 | |
| 8 | 145 | | 0,70 | 0,80 | | 1,1...1,2 | |
| 10 | 164 | 0,40 | 0,65 | 0,75 | 20 | - | - |
| 12 | 171 | - | 0,60 | 0,70 | | - | - |

În timpul prelucrării, în afară de mişcarea principală de aşchiere realizată de freză, scula are şi o mişcare de avans tangenţial s_t , în raport cu semifabricatul. Scula este o freză-melc specială, cu con de atac, pe lungimea l_1 al cărui unghi este de circa 20° şi realizează în special operaţia de degroşare, iar pe lungimea l_2 freza-melc este cilindrică şi realizează operaţia de prefinisare şi finisare până ce freza iese din angrenare. Ca urmare, frezele-melc cu con de atac asigură atât prelucrarea de degroşare, cât şi prelucrarea de finisare a dinţilor. Precizia de prelucrare obţinută în acest caz este mult mai mică decât la frezarea radială, din cauză că începutul şi sfârşitul prelucrării se realizează cu dinţi diferiţi ai frezei şi deformaţia sistemului tehnologic este mult mai mică la ieşirea dinţilor frezei din aşchiere, în partea cilindrică.

Fiecare dinte din porțiunea conică a frezei l este mai înalt decât precedentul, astfel încât el detașează o așchie de grosime mică, egală cu supraînălțarea lui, la fel ca în cazul broșării. Porțiunea cilindrică l a frezei execută profilarea efectivă a dinților datorită adaosului mic de prelucrare, îndepărtat de această zonă a frezei, obținându-se o bună rugozitate a flancurilor.

În timpul prelucrării, semifabricatul execută o mișcare de rotație compusă, deoarece în afară de mișcarea de rulare trebuie să existe și o mișcare suplimentară care să compenseze deplasarea sculei după direcția avansului

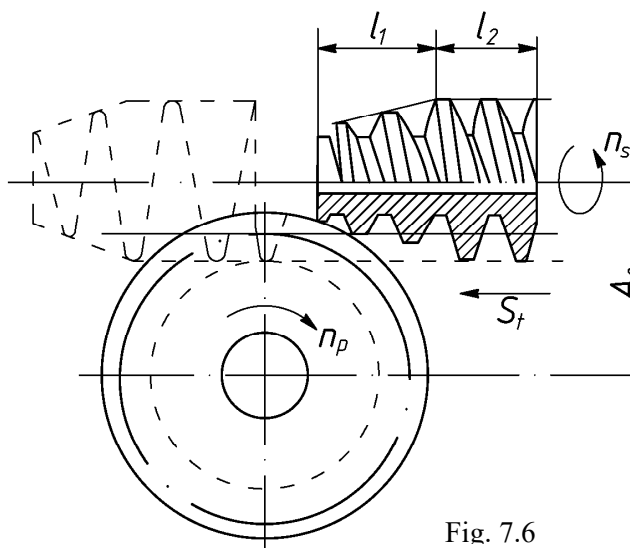


Fig. 7.6

tangențial în raport cu semifabricatul. La o deplasare axială a frezei-melc cu un pas, semifabricatul trebuie să se rotească suplimentar cu $1/z$ rotații. Prin urmare, masa mașinii cu semifabricatul trebuie să aibă o mișcare de rotație principală, legată de mișcarea de rotație a frezei-melc, asigurată de către lanțul cinematic de rulare, și o mișcare de rotație suplimentară, legată de mișcarea de avans tangențial, asigurată de către lanțul cinematic diferențial al mașinii.

Mișcarea de rotație principală se face în același sens cu avansul tangențial sau în sens contrar acestuia, după cum freza are elicea pe dreapta sau pe stânga.

Mișcarea suplimentară de avans circular dată de lanțul cinematic al diferențialului mașinii se adună la mișcarea principală de avans sau se scade.

Pentru reglarea lanțului cinematic de rulare se iau în considerare relațiile (7.1) și (7.2), iar pentru lanțul cinematic diferențial al mișcării suplimentare, raportul roților dințate se calculează cu relația (7.3):

$$\frac{A_s}{B_s} = C_s \cdot \frac{1}{m_a k_s} \quad (7.3)$$

în care: C_s este constanta axială a diferențialului; k_s - numărul de începuturi al frezei-melc; m_a - mdulul axial al melcului, în mm.

Când pasul melcului este dat în țoli, raportul se calculează cu formula:

$$\frac{A_s}{B_s} = C_s \cdot \frac{\pi}{p_a k_s} \quad (7.4)$$

Mărimea avansului tangențial se ia de aproximativ două ori mai mare decât avansul radial pentru prelucrare (v. tabelul 7.1), iar viteza de așchiere se calculează la fel la ca la roțile dințate cilindrice. Precizia roților melcate danturate prin frezare tangențială este superioară celor danturate prin frezare radială. Rugozitatea flancurilor poate ajunge la $R_a = (0,8... 1,6)$ μm .

Pentru prima parte a frezei-melc speciale, la frezarea cu avans tangențial se recomandă ca avansul să fie cât mai mic posibil, deoarece este zona frezei care efectuează finisarea danturii. În multe cazuri se poate realiza separat o trecere tangențială de finisare cu o freză-melc cilindrică, fără con de atac, fapt ce conduce la îmbunătățirea preciziei de prelucrare și rugozității flancurilor.

7.2.3. Procedeu de frezare radial-tangențială

Acest procedeu este ca o combinație a celor două procedee anterioare. Astfel, frezei-melc i se dă o mișcare tangențială și o mișcare paralelă cu axa piesei pe direcție radială, rezultând o mișcare după o direcție înclinată (fig. 7.7).

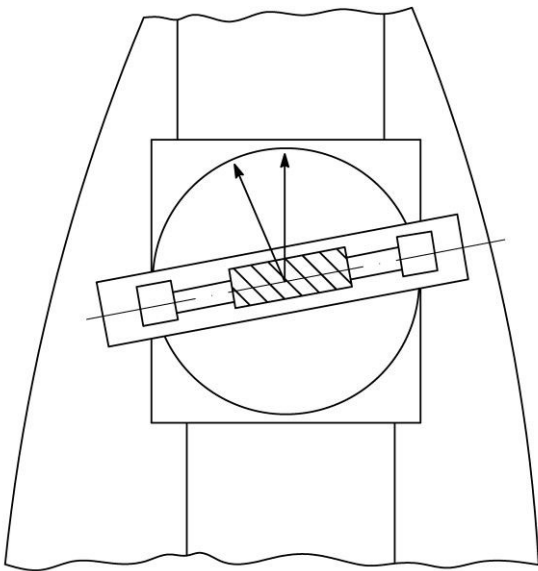


Fig. 7.7

Se obține astfel un flanc al dintelui constituit din minifașete, cu axe de simetrie care nu mai sunt paralele cu axa de simetrie a dintelui, fiind înclinate. Astfel se reduc alunecările relative dintre doi dinți în timpul funcționării. Totodată, acest procedeu de prelucrare prezintă avantajul că prelucrarea este distribuită mai uniform pe toți dinții frezei, crescând durabilitatea în funcționare a sculei așchietoare. În figura 7.8 sunt date freze-melc modul de danturată roți melcate printr-unul dintre cele trei procedee.

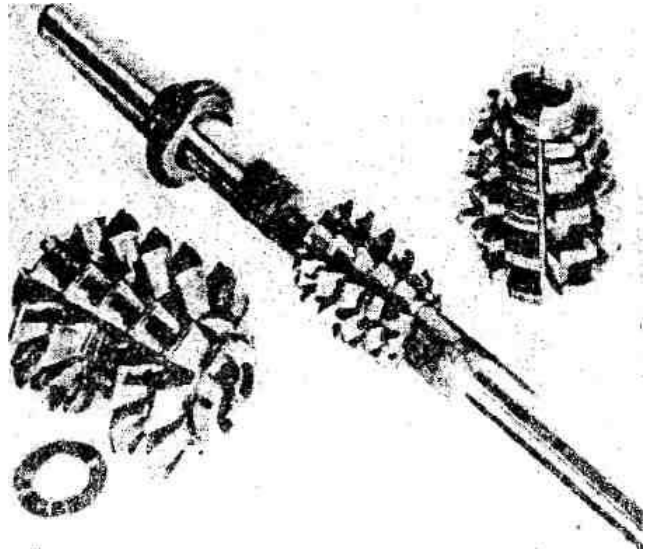


Fig. 7.8

7.3. Tehnologia danturării roților melcate cu cuțit rotitor

Acest procedeu își justifică utilitatea numai în cazul prelucrării unui lot mic de piese, când construcția unei

freze-melc modul devine neeconomă. Se poate aplica însă la loturi mari, în cazul roților melcate de modul mare, când construcția unei freze-melc modul devine neecomă din cauza dimensiunilor sale mari.

În asemenea cazuri, scula 1 este un cuțit profilat care materializează unul din dinții freză-melc generatoare. Cuțitul este încastrat într-un dorn 2 (fig. 7.9, a) sau poate fi de forma unei freze monodinte (fig. 7.9, b), care va prelucra

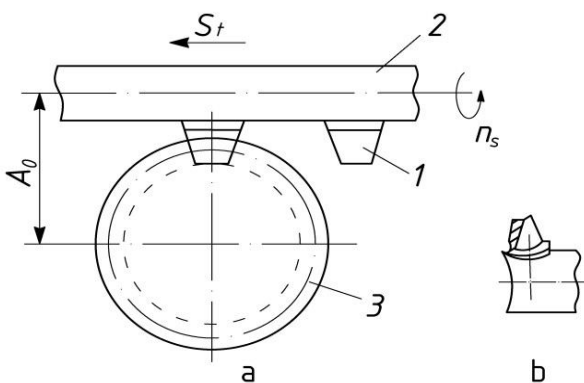


Fig. 7.9

roata 3 cu avans tangențial, sau cu avans radial pe mașini de frezat universale.

Cuțitul trebuie montat astfel, încât tășurile sale să fie conținute într-un plan axial al dornului, iar profilul său, în acest plan, trebuie să fie identic cu profilul melcului de referință, într-un plan axial al acestuia. În această situație de montaj, profilul generat de către cuțitul rotitor va fi un profil corect.

În cazul când unghiul de înclinare a roții melcate 3 este mare, cele două tășuri laterale ale cuțitului 1 așchiază nesatisfăcător, motiv pentru care se preferă înclinarea cuțitului 1 față de planul orizontal, cu valoarea unghiului β de înclinare al danturii (fig. 4.10). În acest caz, profilul cuțitului trebuie să coincidă cu profilul melcului de referință, printr-o secțiune normală pe spiră.

Din cele expuse se desprinde faptul că utilizarea cuțitului rotitor este rațională numai la cazul danturării roților melcate, care angrenează cu melci de tip ZE, ZA, ZN-1 și ZN-2.

Danturarea roților melcate cu cuțit rotitor se face după tehnologia frezării cu avans tangențial. De aceea, reglarea mașinii-unelte se face absolut la fel ca în cazul danturării cu freză-melc, după procedeul cu avans tangențial. Pentru module mici, prelucrarea se poate realiza printr-o singură trecere. Pentru module mari, se realizează una

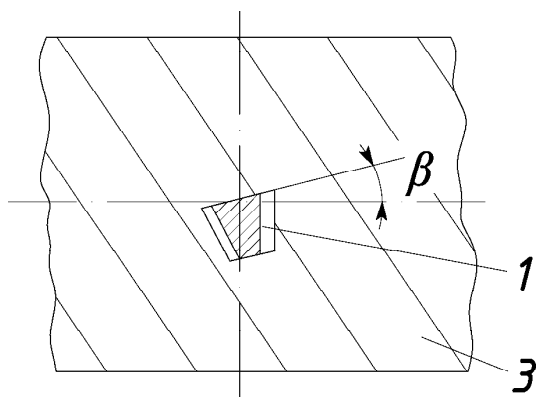


Fig. 7.10.

sau mai multe treceri de degroșare și una de finisare.

Deoarece prelucrarea cu cuțit rotitor este neproductivă la roțile melcate de modul mare, se preferă degroșarea cu freze modul disc, lăsându-se pentru finisarea cu cuțit rotitor un adaos de prelucrare de (1.. 3) mm/flanc.

Când degroșarea se execută cu cuțit rotitor, acesta se construiește de înălțime normală, dar cu grosimea mai mică cu circa 1 mm față de dimensiunea normală a golului. Degroșarea se face până la adâncimea nominală, urmând ca la finisare să se prelucreze numai flancurile.

Tehnologia prelucrării cu cuțit rotitor se aplică și la danturarea roților melcate care angrenează cu melci cu mai multe începuturi. Dacă numărul de dinți ai roții melcate nu are divizori comuni cu numărul de începuturi ale melcului, prelucrarea decurge fără să apară probleme deosebite.

În cazul în care numărul de dinți ai roții melcate are divizori comuni cu numărul de începuturi ale melcului (în particular Z_P se divide prin k_S), cuțitul nu va prelucra decât o parte din dinții roții și după una sau mai multe rotații ale semifabricatului, cuțitul ajunge în golurile prelucrate anterior. În astfel de situații, pentru a asigura prelucrarea completă a danturii, în mod periodic semifabricatul trebuie rotit față de sculă cu un pas $2\pi/Z_P$, sau cuțitul să fie deplasat axial cu p/z_P .

Precizia roților melcate prelucrate cu cuțit rotitor este mai mică decât a celor prelucrate cu freze-melc. Acest lucru decurge din poziționarea cuțitului, care nu se poate face absolut corect, din cauza rigidității scăzute a sistemului sculă-portsculă, precum și din cauza erorilor de profil ale cuțitului. În acest caz, viteza de așchiere este mai mică decât în cazul prelucrării cu freze-melc, atât datorită slabei rigidități, cât și a șocurilor care apar la intrarea în piesă a cuțitului rotitor. Ca urmare, se recomandă ca vitezele de așchiere să se ia de circa 12...18 m/min (tabelul 7.2).

Tabelul 7.2. Regimuri de aşchiere la prelucrarea roţilor melcate din bronz cu cuţit rotitor

| Modulul, mm | Avansul tangenţial mm/rot | Duritatea materialului, HB | |
|-------------|------------------------------|----------------------------|-----------|
| | | 140...180 | 180...220 |
| | | Viteza de aşchiere, m/min | |
| 8...14 | 0,4...0,5 | 16...18 | 12...14 |
| 16...22 | 0,25...0,35 | | |

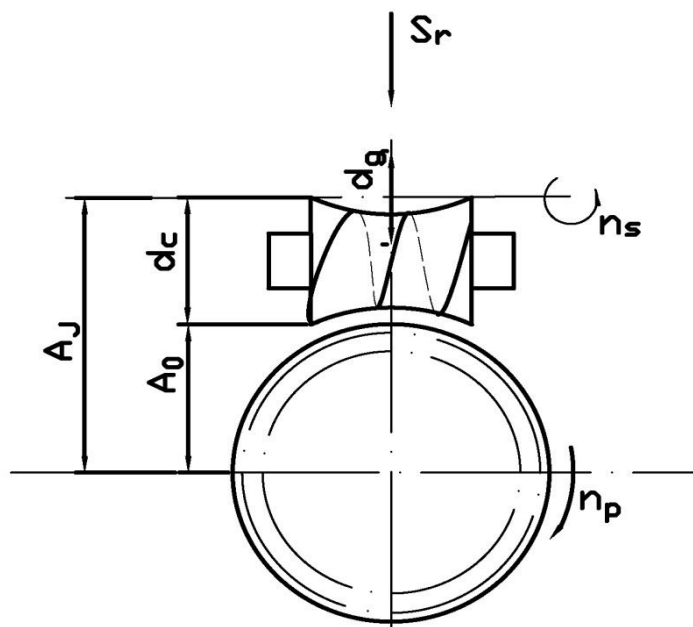


Fig. 7.11

7.4. Tehnologia danturării roţilor melcate globoidale

7.4.1. Procedul de frezare cu freză-melc globoidală

Danturarea roţilor melcate globoidale se execută cu freze-melc globoidale în producţie de serie, având aceiaşi parametri geometrici cu melcul din angrenaj.

Prelucrarea se execută pe maşini de frezat roţi dinţate după metoda cu avans radial (fig. 7.11). Poziţia relativă dintre scula 2 şi semifabricatul 1 este realizată cu ajutorul unor dispozitive auxiliare. Se urmăreşte ca axa frezei să fie situată în planul median al roţii, iar planul normal pe axa melcului, corespunzător diametrului minim şi să conţină axa roţii.

Prelucrarea se face cu avansul radial s_r , formarea profilului dinţilor roţii fiind influenţată de numărul de dinţi aşchietori ai sculei. Freza-melc globoidală va aproxima cu atât mai bine melcul teoretic imaginar, cu cât numărul dinţilor aşchietori este mai mare. Ca urmare, distanţa dintre axe A_v este variabilă până ce freza globoidală va ajunge la distanţa nominală dintre axe A_n .

Datorită avansului radial, dinţii roţii melcate rezultă în final cu o anumită subtăiere. Această subtăiere este cu totul neînsemnată pentru roţile melcate cu unghiuri mici de înclinare ale danturii. Se poate considera, deci, că pentru roţile care angrenează cu melci cu unul sau două începuturi, fenomenul subtăierii dintelui nu va afecta funcţionarea ulterioară a angrenajului. Freza-melc globoidală este una din cele mai complicate scule, deoarece spira melcului are unghi de înfăşurare variabil, canalele care formează muchiile aşchietoare ale frezei vor fi definite de traiectorii curbe.

Detalonarea acestor freze, precum şi ascuţirea lor, se execută în condiţii de dificultate tehnologică. Din aceste motive, frezele-melc globoidale se construiesc numai pentru prelucrarea loturilor mari de piese, atunci când există o justificare economică a utilizării angrenajelor melcate pentru transmiterea de forţe mari.

7.4.2. Procedul de frezare cu cuţite rotitoare

În producţia de serie mică şi unicate, danturarea roţilor melcate globoidale se execută cu cuţite rotitoare cu avans radial. În prima etapă se face degroşarea danturii roţii 2 cu un singur cuţit rotitor 1 (fig. 7.12) sau cu o freză-melc modul care trebuie să aibă diametrul exact cât diametrul melcului d cu care trebuie să angreneze roata, ca la roţile melcate obişnuite, iar în etapa a doua se profilează dantura cu două cuţite 3 şi 4 (fig. 7.13), reglate după

dinții de la capetele melcului globoidal d (v. fig. 7.11), care apoi avansează radial până se ajunge la cota nominală dintre axe A . Cele două cuțite materializează doi dinți ai frezei-melc globoidale, ca poziție și dimensiuni.

Cele două cuțite se construiesc de obicei monobloc (fig. 7.14) și montarea lor pe dornul portsculă se face într-un locaș special. Construcția monobloc a celor două cuțite de finisare ușurează foarte mult reglarea înainte de începerea procesului de prelucrare. Executarea celor două cuțite monobloc presupune mai întâi construcția unui șablon de precizie

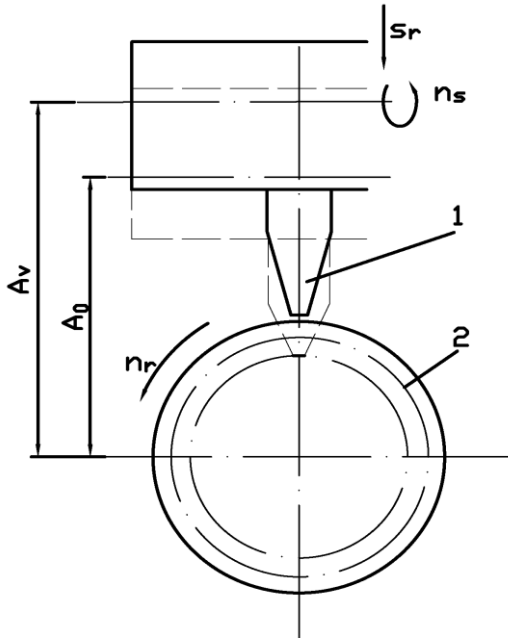


Fig. 7.12

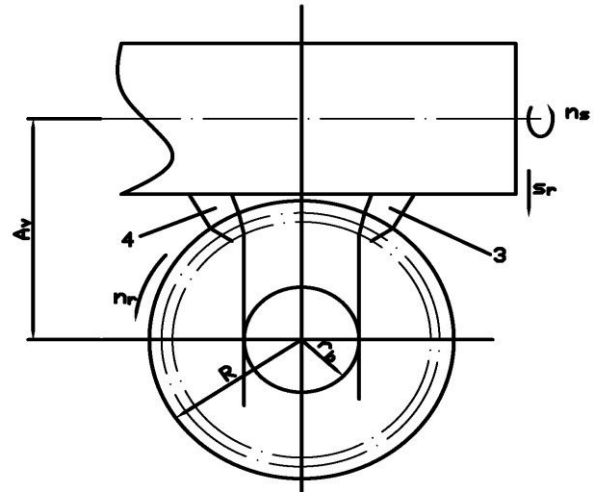


Fig. 7.13

cu care se verifică scula în timpul execuției. După același principiu pot fi utilizate simultan și trei cuțite reglate pe dornul rotitor. Ca urmare, prelucrarea nu mai necesită două treceri și două reglări dificile. Prelucrarea se poate realiza dintr-un singur reglaj, fapt ce impune o precizie ridicată și scule de prelucrat care să aibă cele trei cuțite așezate după muchiile așchietoare ale melcului globoidal-freză.

O altă metodă de danturate de mare eficiență a fost pusă la punct de către prof. Gavrița Ionel, în laboratorul Facultății Inginerie și Managementul Sistemelor Tehnologice de la Universitatea Politehnică București.

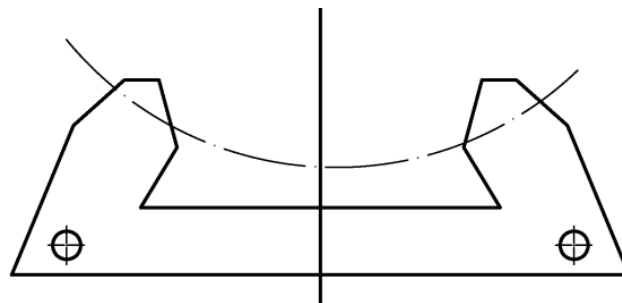


Fig. 7.14

Această metodă constă în aceea că danturarea se face cu freze-melc obișnuite. Freza-melc se construiește la diametrul corespunzător diametrului minim al melcului globoidal, sau pot fi găsite, la frezele deja folosite, o serie de dimensiuni convenabile. Astfel, în prima etapă se face prelucrarea danturii roții 1, ca și în cazul roților melcate obișnuite cu avans radial sau chiar tangențial (fig. 7.15, a) al frezei 2, până la adâncimea totală a dintelui. Apoi se înclină freza 2 cu unghiul λ (fig. 7.15, b) definit de raportul:

$$\cos \lambda = d_g / d_c$$

în care: d_c - reprezintă diametrul maxim al melcului globoidal, iar d_g - diametrul minim (fig. 7.15).

Se poate observa că prin înclinarea frezei-melc, în planul axial al roții va rezulta o elipsă care va avea diametrul maxim al melcului d_c . În urma prelucrării, curba directoare a dintelui (fig. 7.16) rezultă aproximată printr-o linie curbă.

Aproximarea este cu atât mai bună cu cât unghiul λ este mai mic.

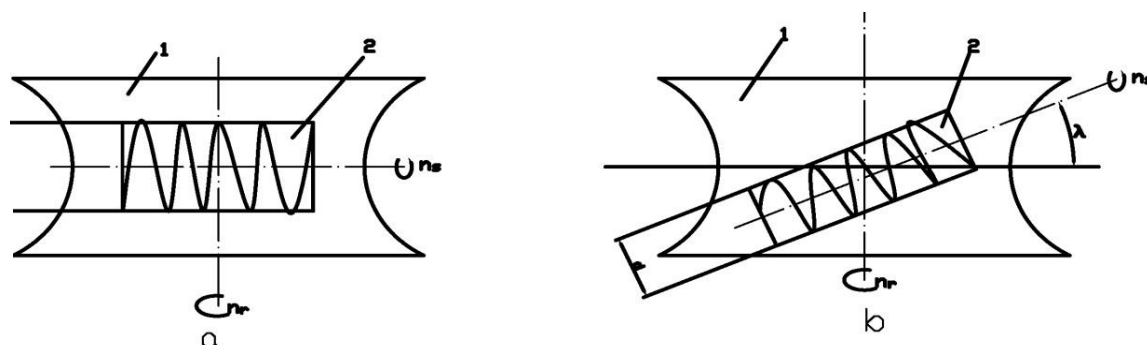


Fig. 7.15

E de remarcat că înclinarea axei frezei trebuie făcută în sensul de înclinare al dinților.

Și în acest caz, roțile melcate globoidale sunt supuse apoi unor operații de finisare, în special rodare, pentru obținerea unor rugozități bune și respectiv a petei de contact bună. Datorită acestui fapt, freza va prelucra ceva mai mult piciorul dintelui către marginile roții melcate. E de menționat că aceasta nu influențează buna funcționare a angrenajului melcat.

Regimurile de așchiere sunt la fel ca și la roțile melcate cilindrice. Prelucrarea se poate realiza pe mașini speciale de danturat sau mașini de frezat orizontale, la care trebuie realizat lanțul cinematic corespunzător.

Flancul dintelui

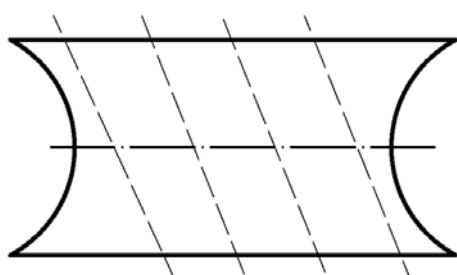


Fig. 7.16.

7.5. Tehnologia danturării prin copiere a roților melcate cu freză profilată

Prelucrarea danturilor roților melcate prin copiere se realizează, în general, în cazul producției de unicat. Prelucrarea se face pe mașini de frezat universale cu cap divizor, ca și în cazul prelucrării danturilor roților dințate

cilindrice. Prelucrarea se poate realiza cu o freză profilată după golul dinților sau cu un cuțit rotitor, prin divizare dinte cu dinte.

Pentru realizarea unghiului de înclinare al dinților roții melcate, este necesar ca după prinderea semifabricatului în capul divizor, masa mașinii de frezat să fie înclinată la valoarea unghiului β pe care trebuie să-l aibă dinții (fig. 7.17).

La început se face degroșarea dinte cu dinte prin divizare cu avans radial, normal cu ridicarea mesei pentru

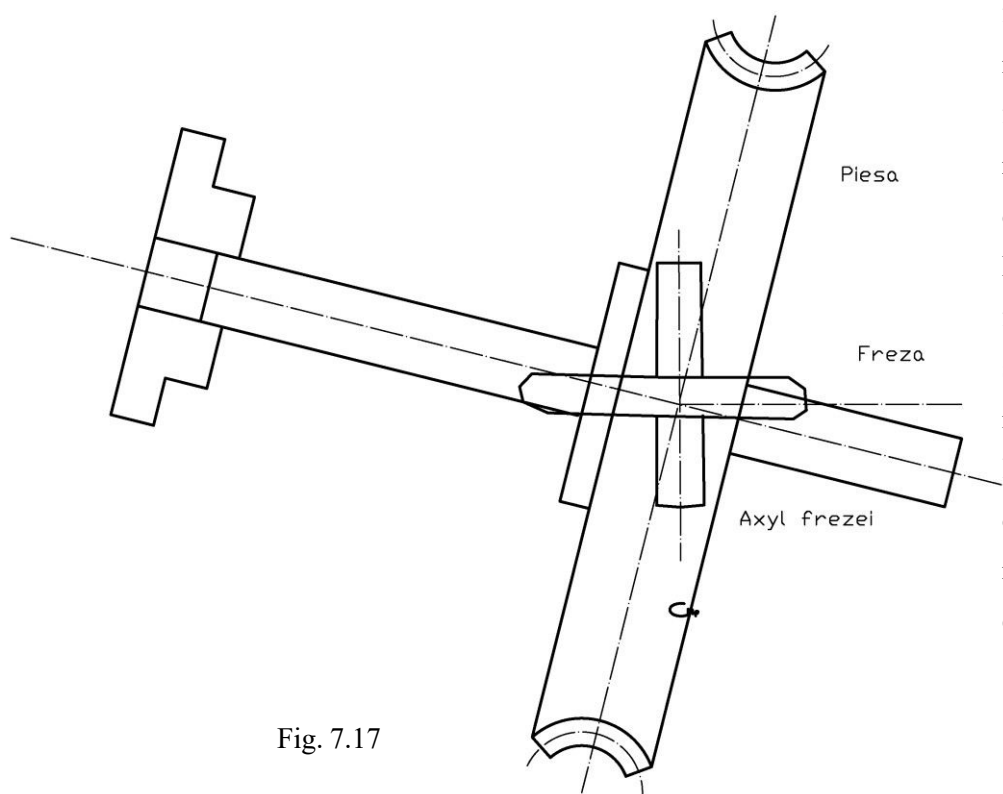


Fig. 7.17

fiecare dinte. După aceasta se mărește viteza de așchiere și se finisează dantura cu un cuțit rotitor care trece peste fiecare dinte al roții de prelucrat.

Finisarea se poate face chiar cu freza-melc modul. În această situație este necesară așezarea mesei mașinii de frezat din nou la zero, iar capul divizor se va debloca pentru a se permite rotirea roții în timpul finisării cu freza-melc modul.

Este de subliniat faptul că roțile melcate prelucrate în asemenea condiții au o precizie scăzută și au suprafețele prelucrate cu o rugozitate medie. Din această cauză este necesar ca, după operația de finisare, roata să fie supusă unei operații de rodare, care se recomandă a fi făcută prin angrenarea acesteia cu un melc din fontă. Lichidul de rodare folosit la această prelucrare este constituit dintr-o emulsie având în compoziție ulei și un agent abraziv în suspensie.

În cazul roților melcate care angrenează cu melci având 2...3 începuturi, unghiul de înclinare al danturii roții melcate este mai mare și ca urmare, din prelucrarea prin copiere vor rezulta erori de execuție mai mari decât în cazul când unghiul danturii roților melcate este mai mic. Se înțelege, că dinții înclinați ai roții sunt dispuși după o elice și ca urmare nici freza profilată și nici cuțitul nu pot realiza această înclinare corectă dacă roata nu se rotește și ea cu un unghi.

7.6. Tehnologia danturării roților melcate speciale

7.6.1. Tehnologia danturării roților melcate duplex

Roțile melcate duplex, ca roți melcate speciale, se prelucreză cu freze-melc, având aceeași formă cu melcul duplex cu care roata angrenează. Prelucrarea se execută cu avans tangențial, iar reglarea mașinii se face ca și în cazul prelucrării roților melcate obișnuite. Se va avea în vedere însă faptul că modulul ce se va considera modulul mediu axial al melcului m_m .

Intrarea frezei în așchiere trebuie să aibă loc de la căpătul unde grosimea spirei este mai mică. Avansul tangențial se întrerupe în momentul când profilul de referință al frezei (unde spira are grosimea $s = h \cdot l \cdot m_a / 2$, în care h reprezintă înălțimea dintelui, l - lungimea spirei și m - modulul axial mediu) ajunge în poziția în care

axa de simetrie este conținută în planul axial al roții, perpendicular pe axa de rotație a frezei.

După decuplarea avansului tangențial, roata melcată trebuie să mai execute cel puțin o rotație completă. Dacă însă danturarea roții melcate duplex se face cu cuțit rotitor, atunci la reglarea mașinii-unelte se vor avea în vedere următoarele:

- se prelucrează mai întâi unul dintre flancuri, introducându-se în formulele de reglare ale diferențialului, în locul modulului axial mediu m_a , valoarea $m_a + \Delta m_a$, corespunzătoare angrenării flancului lung al melcului duplex;
- după ieșirea cuțitului din zona de lucru, mașina-unelte se oprește, iar roțile de la lira diferențialului se schimbă, corespunzător valorii $m_a - \Delta m_a$, pentru flancul scurt al melcului duplex;
- se aduce cuțitul, în gol, în poziția inițială și se reia prelucrarea celui alt flanc, cu noul reglaj.

Netezirea roților melcate duplex se execută cu șevere-melc duplex după metoda tangențială. În acest scop, șeverul se montează în raport cu roata dințată melcată, la valoarea distanței nominale dintre axe și se aduce, prin avans tangențial, cu spirele sale mai subțiri în golurile prefinisate ale roții melcate, până la refuz. În această poziție se cuplează lanțul cinematic de rulare-divizare și avansul tangențial. Pentru avansul tangențial se vor lua valori cât mai mici, iar prelucrarea se consideră terminată după ce roata a executat două-trei rotații complete în așchiere.

7.6.2. Tehnologia danturării roților melcate după pata de contact

Tehnologiile de danturare descrise până în prezent au la bază executarea prelucrării danturilor cu scule ai căror parametri geometrici coincid cu cei ai melcului cu care angrenează roata melcată. Aceste scule au același diametru de referință cu melcul și prelucrarea se realizează având distanța dintre axe egală cu distanța dintre axele angrenajului. Când roata melcată este prelucrată în acest mod, în angrenarea cu melcul se obține un contact liniar. Câmpul delimitat de liniile de contact determină pata de contact (fig. 7.18), STAS 6461-81.

Din punct de vedere funcțional, este avantajos ca această pată de contact să fie localizată pe mijlocul dintelui. Localizarea petei de contact se poate realiza fie prin răzuire manuală, făcând încercări repetate, fie folosind scule speciale pentru finisarea danturilor. Aceste scule sunt freze-melc cu diametrul de referință mărit.

În cazul când roțile melcate sunt danturate cu astfel de freze, se obține în angrenare un contact punctiform (teoretic). Datorită deformațiilor elastice și plastice care apar în funcționare, punctul teoretic de contact se deformează și tinde să capete aspectul de linie. Zona naturală de locurile geometrice ale contactelor punctiforme instantanee, formează, în acest caz, un alt tip de pată de contact localizată spre mijlocul dintelui.

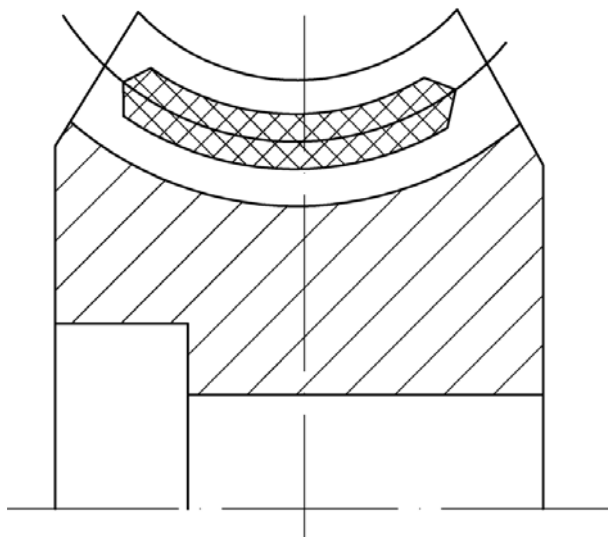


Fig.7.18

Datorită diametrului melcului de referință mărit ($D_{ref} > D_{melc}$), la prelucrarea danturilor roților melcate poziția relativă dintre sculă și semifabricat capătă anumite modificări.

Diametrul de referință mărit impune și modificarea distanței dintre axe la prelucrare. Astfel, această distanță crește față de distanța A dintre axe la funcționare cu mărimea: $\Delta A = D_{ref} - D_{melc} / 2$.

Reascuțirile care afectează freza-melc la anumite intervale conduc la modificarea unor parametri cum ar fi de exemplu: diametrul de referință - D_{ref} , unghiul elicei de referință - τ_{ref} ; pasul normal de referință - P_{Nref} și chiar profilul dintelui la frezele care nu au melcul de referință de tip ZA. După fiecare reascuțire, mărimile ΔZA și Δt trebuie micșorate în funcție de modificările ce afectează diametrul de referință D_{ref} și unghiul de referință al elicei. Modificarea pasului normal al frezei nu poate fi compensată prin reglajul mașinii și, de aceea, este necesar să se modifice pasul axial al melcului din angrenare după fiecare reascuțire a frezei.

Când unghiul elicei de referință este mic, schimbarea pasului axial al melcului devine necesară numai după un număr mare de reascuțiri.

Numărul de reascuțiri pe care îl poate permite freza depinde de diferența $D_{ref} - D_{melc}$. În situația în care se ajunge la egalitatea celor două diametre $D_{ref} = D_{melc}$, roata melcată prelucrată va avea în angrenare un contact instantaneu de linie, iar când $D_{ref} < D_{melc}$, pata de contact este fragmentată și freza nu mai poate fi folosită decât la operații de degroșare.

În cazul când frezele folosite la prelucrare au flancurile detalonate axial, după reascuțire nu se modifică decât diametrul exterior și grosimea dintelui. Deoarece D_{ref} și τ_{ref} rămân neschimbate, reglajul mașinii se păstrează, dar roțile melcate danturate vor angrena cu joc modificat. Păstrarea aceluiași joc se poate realiza prin două frezări succesive ale flancurilor.

7.7. Tehnologia șeveruirii danturii roților melcate cu șeverul-melc

Netezirea roților melcate prin șeveruire este utilizată pentru producția de serie mijlocie și mare. Procedul se aplică în special roților melcate cilindrice, executate din diferite mărci de bronzuri, fiind puțin aplicat, sau deloc,

pentru roțile melcate executate din fontă.

Pentru roțile melcate globoidale, care au profilul dinților mai complex, acest procedeu nu este utilizat, deoarece execuția sculei șever-melc globoidal este foarte dificilă și nu este nici justificată economic.

Roțile melcate care angrenează cu diverși melci cilindrici cu profil arhimedic, evolventic sau alte profile combinate sunt în general netezite prin șeveruire cu melc-șever. Acesta este, în special, utilizat pentru roțile melcate care angrenează cu melc arhimedic, de aceea execuția lui este ceva mai ușoară decât alte tipuri de melci.

Șeveral-melc sculă trebuie să fie de aceeași dimensiune, modul, număr de începuturi ca și melcul cu care trebuie să angreneze roata melcată. Ca urmare, rezultă că șeveral-melc, care este o sculă dificil de realizat, nu este rentabil pentru o producție de serie. Șeverul-melc are canale pe ambele spire dispuse radial sau înclinat pe flancuri.

Operația de șeveruire se realizează pe mașini de danturat roți dințate sau pe mașini speciale, care să permită și realizarea unui moment de frânare, pentru ca dinții roții melcate să fir răzuiți și tasați. Pentru aceasta, este necesar să se asigure și un avans radial, care îi permite ca șeveruirea să se facă succesiv.

Mărimea momentului de frânare se stabilește experimental atât în funcție de natura și tipul materialului, cât și în funcție de mărimea adaosului de răzuit lăsat special pentru aceasta pe flancurile dinților. Astfel, pentru operația de degroșare, momentul de frânare este mai mare decât în cazul când se face șeveruirea de finisare. Aceasta conduce la obținerea unei rugozități pe flancuri de circa $R_a = (0,1 \dots 0,4)$ mm.

Roțile melcate care trebuie să fie supuse unor operații de șeveruire, încă de la danturare au un adaos pe flancuri de circa $(0,05 \dots 0,15)$ mm, care trebuie să rămână după operația de finisare de la danturare prin frezate. Acest adaos este îndepărtat prin șeveruire în două faze: una de degroșare, când momentul de frânare este mare, și alta de finisare, cu o valoare a momentului de frânare mult redusă.

E de menționat că pentru operația de finisare, avansul radial este diferit. Această operație se execută în 2..3 treceri și pentru fiecare trecere se recomandă a fi redus progresiv momentul de frânare. Astfel, la ultima trecere, acesta ajunge la valoarea zero.

Pentru realizarea unei șeveruiri corecte, se recomandă să se schimbe și sensul de rotire, pentru a putea fi șeveruite ambele flancuri ale dinților.

7.8. Tehnologia rodării și lepuirii danturii roților melcate

Operația de netezire a flancurilor dinților roților melcate cilindrice și globoidale, în cele mai multe cazuri, se realizează prin operația de rodare, iar în unele cazuri se face chiar și operația de lepuire.

Rodarea se face pe mașini speciale de rodat, dar, în mod frecvent, operația se face pe standuri special realizate pentru această operație. Operația se poate realiza în general cu un melc construit din fontă cenușie. Melcul trebuie să aibă aceleași caracteristici ca și melcul cu care va angrena roata melcată sau în locul sculei poate fi chiar melcul cu care va angrena în angrenajul real. Melcul este executat de obicei din oțel. În acest caz, melcul poate fi tratat termic, apoi rectificat sau poate fi folosit n rectificat.

Pentru operația de rodare, adaosul pe flancuri este mai redus, cuprins între 0,005 și 0,01 mm, iar avansul radial nu mai este utilizat, sau chiar dacă este, acesta are o valoare foarte limitată. În general, melcul de fontă este reglat la distanța care se impune pentru funcționarea normală a angrenajului melcat.

Ca și la roțile dințate, în procesul de rodare a roților melcate în zona de angrenare se picură ulei, având în suspensie materialul abraziv, fapt ce permite să se realizeze netezirea flancurilor dinților roților melcate. Particulele abrazive sunt

angrenate și în general bine fixate pe flancurile melcului de fontă, fapt ce permite ca și netezirea să se facă în condiții bune. În acest caz, este indicat ca operația de rodare să se realizeze în două faze: în prima fază se face degroșarea cu un melc de fontă și cu o granulație a abrazivului mai mare; în faza a doua se schimbă melcul de degroșare cu unul de finisare, care este mai precis executat și se folosește un abraziv cu o granulație mult mai mică decât la degroșare. Înaintea începerii fazei de finisare, se recomandă ca roata să fie spălată cu petrol, pentru a nu mai rămâne pe flancuri granule abrazive de la operația de degroșare. Dacă ar rămâne aceste granule, ele ar avea o influență negativă asupra ultimei faze de finisare.

E de subliniat că în cazul rodării este necesar cu roata melcată să fie frânată cu un anumit moment, în funcție de faza care se execută (degroșare sau finisare), iar sensul de rotire trebuie schimbat periodic, pentru a fi netezite și corectate ambele flancuri.

În cele mai multe cazuri, operația de rodare sau chiar de lepuire se realizează cu melcul conjugat. Acesta este executat din oțel, tratat sau netratat termic. Operația de rodare are loc ca și în cazul folosirii melcilor de fontă. Astfel, în timpul angrenării sub sarcină, pe un stand special, se realizează netezirea flancurilor. În zona de contact a angrenajului se picură ulei cu suspensie abrazivă. În acest caz, melcul nu mai primește avans radial, deoarece el este reglat inițial la distanța dintre axe impusă, putând primi un avans axial. Ca urmare, are loc o netezire și corectare a melcului pe toată lungimea lui.

La operația de lepuire se utilizează aceleași procedee, dar în loc de ulei cu suspensie abrazivă este folosită o pastă abrazivă sau lichide vâscoase abrazive care pot realiza o rugozitate bună pe flancurile roții și melcului: $R_a = (0,4...0,2)$ mm.

Operația de netezire prin rodare sau lepuire trebuie realizată pe ambele flancuri ale roții și melcului. De aceea, trebuie ca rotirea melcului să se facă pe ambele sensuri cu moment de frânare.

Pentru roțile melcate globoidale și pentru angrenajele în care intră roți melcate globoidale, în cele mai multe cazuri, aceasta este singura metodă de netezire a flancurilor, deoarece realizarea unui melc globoidal-șever nu poate fi justificată economic. Regimurile de netezire prin rodare sau lepuire se stabilesc în general experimental de la caz la caz.

De exemplu, dacă melcii sunt rectificati, atunci accentul se pune pe netezirea flancurilor roții melcate. Dacă melcul nu este rectificat, atunci trebuie acordată atenție atât procesului de netezire a flancurilor dinților roții, cât și flancurilor spirei melcului, pe toată lungimea lui, precum și corectării erorilor de la prelucrare și tratament termic. Ca urmare, durata operației de rodare sau lepuire este mai mare.

După operația de rodare sau lepuire este necesar ca cele două piese (roata melcată și melcul) să fie foarte bine spălate și șterse, pentru a nu rămâne pe ele nici un agent abraziv. Dacă nu sunt curățite, pot avea loc momente negative în timpul funcționării.

7.9. Rodajul roților melcate

Rodajul este o operație deosebit de importantă și este complet deosebită de operația de rodare sau lepuire. Rodajul, în general, la angrenaje se realizează numai cu piese conjugate și în condiții de funcționare în ansamblu sau subansamblul din care face parte.

După ce melcul și roata melcată sunt montate, se cunoaște că apar și erori de montaj pe lângă cele de execuție. Ca urmare, este necesar să se verifice modul cum funcționează ele și cum se comportă sub sarcină. După asamblarea lor, se rodează inițial angrenajul melcat în gol, pentru verificarea modului de funcționare, cu o turație de $(0,3... 0,4) n_r$, (n_r fiind turația de regim) timp de o oră.

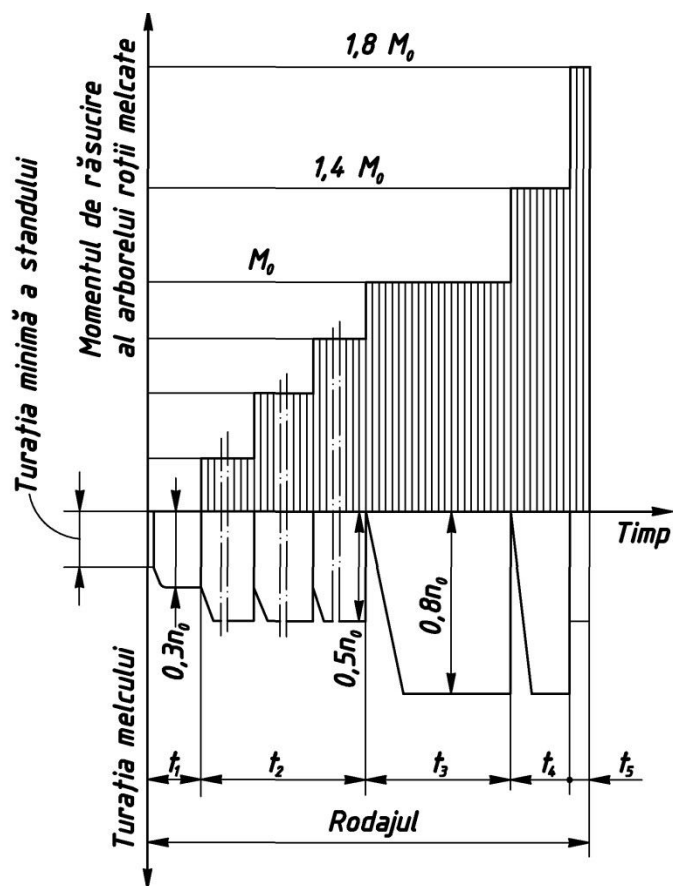


Fig. 7.19

În general, pentru roțile melcate cilindrice se recomandă ca timpul de rodare total să fie împărțit în 5 timpi. Timpul $t_1 = 1h$, alcătuit din doi timpi parțiali: o parte din timp (0,5 h) să se rotească într-un sens, iar restul de timp (0,5h) în celălalt sens de rotire a roții melcate și melcului.

După această primă parte a operației de rodaj, urmează apoi trei trepte egale de încărcare (figura 7.19) cu durata de încărcare $t_2 = 1,5 h$ ($3 \times 0,5h$), apoi $t_3 = 1h$, $t_4 = 10 \text{ min}$ și $t_5 = 2 \text{ min}$.

Schimbările încărcării de la o treaptă la alta se fac lent și fără șocuri. Angrenajul trebuie să funcționeze la turația de regim cel puțin o oră.

Dacă după această primă parte a rodajului nu se semnalează defecte de funcționare, deci nu apare încălzirea lagărelor, zgomote, vibrații, încălzirea uleiului peste anumite limite și în special dacă pata de contact pe flancurile roții melcate este corespunzătoare, se poate trece la a doua etapă a rodajului. În caz contrar se face demontarea subansamblului și stabilirea cauzelor care au condus la defectele amintite.

Partea a doua a rodajului trebuie să se desfășoare în condiții mai grele, astfel angrenajul este încărcat peste condițiile normale de regim. Ca urmare, angrenajul este încărcat cu cca $1,4 M_n$ (M_n fiind momentul de sarcină normală) și se recomandă, de la caz la caz, ca acesta să funcționeze (20...30) min la turația nominală n_0 , apoi angrenajul este încărcat până la o sarcină dublă, cu un timp de funcționare de (2.. .5) min, dar cu jumătate din turația de regim.

În timpul operației de rodaj trebuie controlați cu grijă toți parametrii de funcționare, inclusiv randamentul angrenajului. Rodajul trebuie să fie realizat cu o ungere corespunzătoare și cu mărcile de ulei prevăzute.

Dacă apar defecte în timpul rodajului, trebuie să se stabilească cât mai exact cauzele acestor defecte și să fie îndepărtate prin toate mijloacele posibile.

În multe cazuri, în special în producția de unicate, angrenajele melcate cilindrice sau globoidale sunt supuse numai unei operații de rulare sub sarcină, cu ungere abundentă, timp de câteva ore (6...8 h), într-un sens și în altul, fapt ce face ca flancurile să fie netezite numai datorită procesului de frecare dintre ele, fără prezența unui abraziv. Această operație se face, de asemenea, pe un stand special care să permită încărcarea angrenajului cu diferite sarcini.

E de menționat că, în ultimii ani, este utilizată și metoda de netezire și ecrusare a roților melcate și melcilor prin rulare cu bile. Astfel, pentru netezirea și ecrusarea flancurilor roților melcate este folosit un melc, care are fixate pe flancuri bile sferice, iar în procesul de angrenare sub sarcină se rostogolesc pe flancul dintelui, realizând o netezire atât a microasperităților, cât și o ecrusare a suprafeței. Acest fenomen duce și la o creștere a microdurității flancurilor.

8. REGIMURI DE AȘCHIERE LA PRELUCRAREA DANTURII ROȘILOR DINȚATE

Spre deosebire de prelucrările clasice ale suprafețelor cilindrice, plane etc., la prelucrarea danturii roților dințate, literatura de specialitate este mai săracă în date privind regimurile de așchiere. Firmele producătoare de mașini pentru danturat roți dințate oferă tabele cu recomandări privind regimurile de așchiere. Astfel, în această lucrare se sunt expuse mai întâi regimurile de așchiere în tabele, iar la sfârșit formulele de calcul pentru unele procedee nereprezentate în tabele.

Astfel, în tabelele 8.1 și 8.2 sunt date adaosurile de prelucrare intermediare pe flanc, iar în tabelul 8.3 durabilitățile sculelor de danturat.

Tabelul 8.1. Adaosuri de prelucrare pe flanc la finisarea prin frezare, mortezare, șeveruire, în mm

| Modulul m, mm | <2 | 2...3 | 4...5 | 6...7 | 8...9 | 10...13 | 14...20 |
|---------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| isare și mortezarea de finisare | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| Șeveruire | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |

Tabelul 8.2. Adaosuri de prelucrare pe flanc la finisarea prin rectificare a danturii roților dințate

| Materialul roții dințate | Modulul m, mm | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Oțeluri necălite | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,20 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,30 |
| Oțeluri călite | 0,23 | 0,26 | 0,30 | 0,31 | 0,32 | 0,34 | 0,36 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,44 | 0,46 | 0,48 | 0,50 | 0,52 |

Tabelul 8.3. Durabilități economice ale sculelor de danturat

| Scula așchietoare | Felul prelucrării | Materialul de prelucrat | Durabilitatea economică în min, în funcție de modulul m, în mm | | | | |
|--|-----------------------|-------------------------|--|-------|-------|--------|------|
| | | | <4 | 4...5 | 6...7 | 8...12 | >12 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| melc pentru roți cilindrice | Degroșare | Oțel | 240 | 360 | 480 | 720 | 960 |
| | | Fontă | 480 | 720 | 960 | 1440 | 1920 |
| | Finisare | Oțel | 240 | 240 | 240 | 360 | 540 |
| | | Fontă | 480 | 480 | 480 | 720 | 1080 |
| Freză-disc modul | Degroșare și finisare | Oțel și fontă | 120 | 120 | 160 | 180 | 180 |
| Cuțit-roată de mortezat | Degroșare | Oțel și fontă | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| | Finisare | Oțel și fontă | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Cuțit pentru roți conice | Degroșare | Oțel și fontă | 180 | | | | |
| | Finisare | Oțel și fontă | 240 | | | | |
| Freză-melc pentru roți melcate | Degroșare și finisare | Bronz | 600...900 | | | | |
| Capete de frezat dantură conică cu dinți curbi | Degroșare și finisare | Oțel | 480...600 | | | | |
| Cuțit-pieptene | Degroșare | Oțel | 400 | | | | |
| | Finisare | | 300 | | | | |

Avansurile de lucru pentru diferite procedee de prelucrare se pot alege din tabelele 5.4...5.10, iar o parte din ele, direct din tabelele cu regimuri de așchiere 8.11...8.35.

Tabelul 8.4. Valorile avansului axial al frezei melc, în mm/rot

| Material | Nr. de dinți | Degroșare | | | Finisare | | | Într-o singură trecere | | | |
|--|--------------|--------------|-------------|---------|--------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|-------|
| | | Modul | | | | | | | | | |
| | | 1... 2,25 | 2,5... 4 | 4,5...6 | 1...2, 25 | 2,5...4 | 4,5...6 | 1... 2,25 | 2,5...4 | 4,5...6 | 6...8 |
| Oțel cu R_m până la 50 daN/mm ² | 12...20 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | – |
| | 21...40 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | – |
| | 41...80 | 2,50 | 2,50 | 2,50 | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | – |
| | Peste 80 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | – |
| Oțel cu $R_m=50...60$ daN/mm ² | 12...20 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | – |
| | 21...40 | 1,75 | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | – |
| | 41...80 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | – |
| | Peste 80 | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 1,25 | – |
| Oțel cu $R_m=60...75$ daN/mm ² | 12...20 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | – |
| | 21...40 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,00 | 1,00 | – |
| | 41...80 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | – |
| | Peste 80 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,25 | 1,25 | 1,00 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | – |
| Fontă cenușie | 12...20 | – | – | – | – | – | – | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,25 |
| | 21...40 | – | – | – | – | – | – | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,75 |
| | 41...80 | – | – | – | – | – | – | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 1,75 |
| | Peste 80 | – | – | – | – | – | – | 3,00 | 3,00 | 2,00 | 1,75 |
| Bronz | 12...20 | – | – | – | – | – | – | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 1,25 |
| | 21...40 | – | – | – | – | – | – | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 1,75 |
| | 41...80 | – | – | – | – | – | – | 3,00 | 2,00 | 2,00 | 1,75 |
| | Peste 80 | – | – | – | – | – | – | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 2,50 |

Tabelul 8.5. Avansuri pentru șeveruirea cu șever disc a roților dințate din fontă și oțel

| Clasa de precizie a roții dințate | Rugozitatea suprafeței flancurilor R_a μm | Numărul de dinți ai roții dințate z | | | | Avansul radial la o cursă a mesei S_p , mm |
|-----------------------------------|--|--|-------------|-------------|-------------|--|
| | | 17 | 25 | 40 | 100 | |
| | | Avansul longitudinal al mesei la o rotație a piesei S_a , mm | | | | |
| 6 | 0,8 | 0,15...0,20 | 0,20...0,25 | 0,25...0,30 | 0,30...0,40 | 0,02...0,025 |
| | 1,6 | 0,20...0,25 | 0,25...0,30 | 0,35...0,40 | 0,50...0,60 | 0,02...0,025 |
| 7 | 0,8 | 0,15...0,20 | 0,20...0,25 | 0,25...0,30 | 0,35...0,40 | 0,04...0,05 |
| | 1,6 | 0,20...0,25 | 0,25...0,30 | 0,35...0,40 | 0,50...0,60 | 0,04...0,05 |

Tabelul 8.6. Avansuri pe o cursă dublă la rabotarea roților dințate conice din oțel, cu $R_m = 60...70$ daN/mm², pe mașini tip Heindenreich-Harbeck, cu cuțit Rp3 sau Rp4

| Modelul mașinii de rabotat | Modulul m al roții, mm | Numărul de dinți ai roții de prelucrat | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 10...20 | 21...30 | 31...40 | 41...50 | 51...60 | 61...70 | 71...80 | 81...90 | 91..100 |
| | | Avansul s pe cursa dublă a cuțitelor, mm/c.d | | | | | | | | |
| KN-25 | 2 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,28 | 0,30 | 0,31 | 0,32 |
| | 3 | 0,17 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,25 | 0,26 | 0,28 | 0,29 | 0,30 |
| | 4 | 0,15 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,24 | – | – | – |
| | 6 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | – | – | – | – |
| KN-50 | 3 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,29 | 0,29 |
| | 4 | 0,16 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |
| | 6 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | – |
| | 8 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,22 | – | – | – |
| | 10 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | – | – | – | – |
| KN-75 | 6 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,29 |
| | 8 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,27 |
| | 10 | 0,14 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | – | – |
| | 12 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,19 | – | – | – | – |
| | 14 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | – | – | – | – |
| | 16 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | – | – | – | – | – |
| | 18 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | – | – | – | – | – | – |
| | 20 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | – | – | – | – | – | – |

Coeficienții de corecție pentru avans în funcție de rezistența la rupere a oțelului de prelucrat

| Rezistența la rupere R_m , daN/mm ² | 40...50 | 50..60 | 60...70 | 70...80 | 80...90 | 90...100 |
|--|---------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Coeficientul k_s | 1,35 | 1,15 | 1,0 | 0,85 | 0,72 | 0,55 |

Observație. La prelucrarea roților conice cu coadă sau consolă, avansul se va înmulți cu coeficientul 0,8.

Tabelul 8.7. Avansuri la prelucrarea de degroșare a roților dințate cilindrice cu cuțit-roată de mortezat din oțel rapid

| Materialul de prelucrat și caracteristicile lui mecanice | Grupa mașinii | Modulul m al roții, în mm | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---|------|-------------|----------------------------|----------------------------|---|---|----------------------------|-------------|-------------|-------------|---|
| | | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | | |
| | | Numărul de treceri, i | | | | | | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | | | |
| | | Avansul de prelucrat pentru o cursă dublă a roții de mortezat s , mm/c.d. | | | | | | | | | | | |
| OLC45 cu Rm până la 75 daN/mm ² | I | 0,35 | 0,5 | 0,45...0,5 | 0,20...0,40 0,40...0,50 | 0,15...0,25 0,30...0,50 | 0,10...0,15 0,20...0,40 0,30...0,50 | - | 0,15...0,20 0,20...0,50 | - | - | - | - |
| | II | - | - | - | - | - | - | - | 0,15...0,50 | - | - | - | - |
| | III | - | - | - | - | - | - | - | 0,15...0,50 | 0,15...0,25 | - | - | - |
| | IV | - | - | - | - | - | - | - | 0,45...0,50 | 0,25...0,50 | 0,15...0,25 | - | - |
| Oțeluri aliate pentru construcția de mașini STAS 791-80 | I | 0,30 | 0,50 | 0,40...0,45 | 0,15...0,35 0,35...0,45 | 0,13...0,20 0,25...0,45 | 0,08...0,13 0,15...0,35 0,25...0,45 | - | 0,13...0,15 0,15...0,54 | - | - | - | - |
| | II | - | - | - | - | - | - | - | 0,13...0,45 | 0,13...0,20 | - | - | - |
| | III | - | - | - | - | - | - | - | 0,40...0,45 | 0,20...0,45 | 0,13...0,45 | - | - |
| | IV | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,20...0,45 | 0,13...0,45 | - |
| Fontă cenușie HB = 180...200 | I | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,5 | 0,15...0,35 | 0,15...0,20 | - | - | - | - | - | - |
| | II | - | - | - | 0,5 | 0,35...0,50 | 0,25...0,45 | - | 0,15...0,30 | - | - | - | - |
| | III | - | - | - | - | 0,40...0,50 | 0,30...0,50 | - | 0,25...0,50 | 0,15...0,35 | - | - | - |
| | IV | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,50 | 0,40...0,50 | 0,25...0,50 | - |

Observație. Grupele de mașini se aleg din tabelul 8.14.

Tabelul 8.8. Avansul la mortezarea de finisare a roților dințate cilindrice cu cuțit roată de mortezat sau cuțit pieptene

| Materialul de prelucrat | Modulul m , mm | de prelucrare, mm | ul de prelucrare, mm/c.d. | Numărul de treceri |
|-------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|
| Oțel | Orice dimensiune | 0,5...0,8 | 0,25...0,30 | 1 |
| Fontă | Orice dimensiune | 0,5...0,8 | 0,35 | 1 |

Observații. 1. Avansul radial se ia 0,1...0,3 din avansul de rulare.

1. Avansul mai mare se ia pentru un număr mai mare de dinți

Tabelul 8.9. Avansuri pe o cursă dublă a cuțitelor la rabotarea roților din fontă sau bronz cu cuțite Rp3 sau Rp4 pe mașini de rabotat tip Harbeck-Hendenreich

| Modelul mașinii de rabotat | Modulul m al roții mm | Numărul dinților roții de prelucrat | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | | 10...20 | 21...30 | 31...40 | 41...50 | 51...60 | 61...70 | 71...80 | 81...90 | 91...100 |
| | | Avansul s , pe o cursă dublă a cuțitelor, mm/c.d. | | | | | | | | |
| KN-25 | 2 | 0,30 | 0,36 | 0,42 | 0,45 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| | 3 | 0,28 | 0,31 | 0,36 | 0,39 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | - |
| | 4 | 0,25 | 0,29 | 0,33 | 0,36 | 0,40 | 0,40 | - | - | - |
| | 6 | 0,22 | 0,25 | 0,28 | 0,28 | - | - | - | - | - |
| KN-50 | 3 | 0,34 | 0,38 | 0,44 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| | 4 | 0,31 | 0,36 | 0,41 | 0,46 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| | 6 | 0,26 | 0,32 | 0,37 | 0,40 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | 0,44 | - |
| | 8 | 0,25 | 0,29 | 0,34 | 0,37 | 0,41 | 0,41 | - | - | - |
| | 10 | 0,24 | 0,27 | 0,31 | 0,35 | 0,37 | - | - | - | - |
| KN-75 | 6 | 0,27 | 0,39 | 0,43 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0,46 |
| | 8 | 0,26 | 0,37 | 0,39 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 0,42 |
| | 10 | 0,25 | 0,33 | 0,36 | 0,39 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | - | - |
| | 12 | 0,24 | 0,30 | 0,35 | 0,38 | 0,39 | - | - | - | - |
| | 14 | 0,22 | 0,28 | 0,32 | 0,35 | 0,37 | - | - | - | - |
| | 16 | 0,21 | 0,25 | 0,29 | 0,29 | - | - | - | - | - |
| | 18 | 0,20 | 0,24 | 0,27 | - | - | - | - | - | - |
| | 20 | 0,19 | 0,22 | 0,25 | - | - | - | - | - | - |

Coeficienții de corecție pentru avans în cazul modificării durezzații materialului de prelucrat

| Duritatea fontei HB | 160...180 | 180...200 | 200...220 | Peste 220 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Coeficientul k_s | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,7 |
| Duritatea bronzului HB | 80 | 100 | 120 | 140 |
| Coeficientul k_s | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 |

Tabelul 8.10. Avansul axial s_a și avansul circular s_e în funcție de modulul și numărul de dinți ai roții la rectificarea danturii prin rulare

| Modulul m mm | Avansul axial s_a mm/trecere | Avansul circular s_e în funcție de numărul de dinți | | | | | | |
|----------------|--------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 70 | 100 și mai mult |
| ≤ 2 | 12...18 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,75 | 0,95 | 1,2 | 1,45 |
| 4 | 11...18 | 0,25...0,4 | 0,45...0,7 | 0,75...0,9 | 0,95...1,15 | 1,15...1,35 | 1,45...1,6 | 1,6...1,8 |
| 6 | 11...18 | 0,3...0,5 | 0,65...0,85 | 0,95...1,15 | 1,15...1,35 | 1,35...1,6 | 1,7...1,8 | 2,1...2,4 |
| 8 | 11...18 | 0,45...0,55 | 0,85...0,95 | 1,1...1,3 | 1,35...1,6 | 1,6...1,85 | 1,95...2,1 | 2,35...2,8 |
| 10 | 11...18 | 0,55...0,65 | 0,9...1,1 | 1,25...1,45 | 1,35...1,8 | 1,9...2,1 | 2,2...2,3 | 2,6...3,1 |
| 12 | 10...20 | 0,7 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 2,55 | 3,4 |
| 16 | 10...20 | 0,8 | 1,4 | 1,85 | 2,3 | 2,65 | 3,0 | 3,8 |
| 20 | 10...20 | 0,8 | 1,55 | 2,1 | 2,55 | 2,95 | 3,3 | 4,2 |

Tabelul 8.11. Regimurile de aşchiere la prelucrarea roţilor dinţate cilindrice din oţel carbon cu freze disc din Rp3 şi Rp4

| Diam. frezei D, mm | Modulul m al roţii, mm | Nr. treceri, i | Rezistenţa la rupere Rm a oţelului, daN/mm ² | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|----------------|---|------------|-------------------------|----------|------------|-------------------------|----------|------------|-------------------------|----------|------------|-------------------------|
| | | | 50...60 | | | 60...70 | | | 70...80 | | | 80...90 | | |
| | | | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/min | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/min | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/min | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/min |
| 70 | 3 | 1 | 29,4 | 134 | 147,0 | 25,6 | 116 | 128 | 16,6 | 75 | 83,2 | 12,0 | 54 | 60,6 |
| 80 | 4 | 1 | 28,1 | 111 | 119,6 | 24,5 | 97 | 104 | 15,9 | 63 | 67,2 | 11,5 | 46 | 43,0 |
| 90 | 5 | 1 | 27,1 | 95 | 103,5 | 23,6 | 83 | 90 | 15,3 | 54 | 58,5 | 11,1 | 39 | 42,3 |
| 100 | 6 | 1 | 26,2 | 83 | 92,0 | 22,8 | 72 | 80 | 14,8 | 47 | 52,0 | 10,7 | 34 | 37,6 |
| 110 | 8 | 2 | 25,2 | 72 | 76,0 | 21,8 | 63 | 66 | 14,2 | 41 | 43,0 | 10,2 | 30 | 31,0 |
| 120 | 10 | 2 | 24,1 | 64 | 65,5 | 21,0 | 56 | 57 | 13,6 | 36 | 37,0 | 9,9 | 26 | 26,8 |
| 145 | 12 | 2 | 23,2 | 51 | 57,5 | 20,2 | 44 | 50 | 13,1 | 29 | 32,5 | 9,5 | 21 | 23,5 |
| 160 | 14 | 2 | 22,8 | 45 | 51,7 | 19,8 | 39 | 45 | 12,9 | 25 | 29,2 | 9,3 | 18 | 21,2 |
| 170 | 16 | 3 | 22,3 | 41 | 47,1 | 19,4 | 36 | 41 | 12,6 | 23 | 26,6 | 9,1 | 17 | 19,3 |
| 190 | 18 | 3 | 22,0 | 37 | 43,6 | 19,1 | 32 | 38 | 12,4 | 21 | 24,7 | 9,0 | 15 | 17,9 |
| 200 | 20 | 3 | 21,6 | 35 | 40,3 | 18,8 | 30 | 35 | 12,2 | 19 | 22,8 | 8,8 | 14 | 16,5 |
| 220 | 22 | 3 | 21,2 | 31 | 38,0 | 18,5 | 27 | 33 | 12,0 | 18 | 21,4 | 8,7 | 13 | 15,5 |
| 240 | 24 | 3 | 20,9 | 28 | 35,6 | 18,2 | 24 | 31 | 11,8 | 16 | 20,2 | 8,5 | 11 | 14,6 |
| 260 | 26 | 3 | 20,6 | 25 | 34,5 | 17,9 | 22 | 30 | 11,6 | 14 | 19,5 | 8,4 | 10 | 14,1 |
| 280 | 28 | 3 | 20,2 | 23 | 32,2 | 17,6 | 20 | 28 | 11,4 | 13 | 18,2 | 8,3 | 9 | 13,2 |
| 300 | 30 | 3 | 20,1 | 21 | 31,0 | 17,5 | 18 | 27 | 11,4 | 12 | 17,6 | 8,2 | 8 | 12,7 |

Observaţie. 1. La prelucrarea roţilor dinţate la maşinile orizontale de frezat, dacă rigiditatea prinderii şi a maşinii nu sunt suficiente, mărimea s_m se va înmulţi cu k=0,8.

2. La prelucrarea roţilor dinţate cu dinţi înclinaţi, mărimea s_m se va înmulţi cu următorii coeficienţi: pentru β = 35°...50°, cu k = 0,8; pentru β = 50°...60°, cu κ = 0,67.

Tabelul 8.12. Regimurile de aşchiere la prelucrarea roţilor dinţate cilindrice din fontă cu freze disc-modul din Rp3 şi Rp4

| Diame- trul frezei D, mm | Modulul m, al roţii, mm | Nr.de treceri, i | Duritatea materialului de prelucrat HB | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|--|---------------|---------------------------|-------------|---------------|----------------------------|-------------|---------------|----------------------------|-------------|---------------|----------------------------|
| | | | 140...180 | | | 180. | | | ..200 | | | 200...240 | | |
| | | | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/mi | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/min | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/min | v, m/min | n, rot/min | s _m , mm/min |
| 70 | 3 | 1 | 22,5 | 102 | 215 | 20,1 | 91 | 192,0 | 18,3 | 83 | 175 | | | |
| 80 | 4 | 1 | 22,0 | 81 | 180 | 19,6 | 78 | 161,0 | 17,8 | 71 | 146,5 | | | |
| 90 | 5 | 1 | 21,8 | 77 | 100 | 19,5 | 69 | 143,0 | 17,7 | 63 | 130,0 | | | |
| 100 | 6 | 1 | 21,6 | 68 | 142 | 19,3 | 61 | 126,8 | 17,6 | 55 | 115,5 | | | |
| 110 | 8 | 2 | 21,1 | 60 | 120 | 18,8 | 54 | 107,0 | 17,1 | 49 | 95,5 | | | |
| 120 | 10 | 2 | 20,8 | 55 | 105 | 18,6 | 49 | 94,0 | 16,9 | 45 | 85,5 | | | |
| 145 | 12 | 2 | 20,5 | 45 | 94 | 18,3 | 40 | 84,0 | 16,6 | 36 | 76,5 | | | |
| 160 | 14 | 2 | 20,2 | 40 | 85 | 18,0 | 36 | 76,8 | 16,4 | 33 | 70,0 | | | |
| 170 | 16 | 3 | 20,1 | 37 | 80 | 17,9 | 33 | 71,5 | 16,3 | 30 | 65,0 | | | |
| 190 | 18 | 3 | 20,0 | 34 | 75 | 17,0 | 30 | 67,0 | 16,2 | 27 | 61,0 | | | |
| 200 | 20 | 3 | 19,9 | 31 | 70 | 17,8 | 28 | 62,5 | 16,2 | 25 | 57,0 | | | |
| 220 | 22 | 3 | 19,7 | 28 | 66 | 17,6 | 25 | 58,9 | 16,0 | 23 | 53,6 | | | |
| 240 | 24 | 3 | 19,6 | 26 | 62 | 17,5 | 23 | 55,4 | 15,9 | 21 | 53,4 | | | |
| 260 | 26 | 3 | 19,5 | 24 | 60 | 17,4 | 21 | 53,6 | 15,8 | 19 | 52,8 | | | |
| 280 | 28 | 3 | 19,4 | 22 | 57 | 17,3 | 20 | 50,9 | 15,7 | 18 | 46,3 | | | |
| 300 | 30 | 3 | 19,3 | 20 | 55 | 17,2 | 18 | 49,2 | 15,6 | 16 | 44,8 | | | |

Observaţie. 1. La prelucrarea roţilor dinţate la maşinile orizontale de frezat, dacă rigiditatea prinderii şi cea a maşinii nu sunt suficiente, mărimea s_m se va înmulţi cu k=0,8. 2. La prelucrarea roţilor dinţate cu dinţi înclinaţi, mărimea s_m se va înmulţi cu următorii coeficienţi: pentru β = 35°...50°, cu k = 0,8; pentru β = 50°...60°, cu κ = 0,67.

Tabelul 8.13. Regimuri de aşchiere la prelucrarea roţilor dinţate cilindrice din oţel carbon cu freze-deget Rp3 şi Rp4

| Modulul m al roţii mm | Grupa maşinii-unelte | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--------------|------------|--------------|--------------|----------|-----------|------------|------------|
| | I | | | II | | | III | | |
| | 1. Avansul pe o rotaţie a frezei, mm/rot | | | | | | | | |
| | Felul prelucrării | | | | | | | | |
| | Degroşare | Semifinisare | finisa- re | Degroşare | Semifinisare | Finisare | Degroşare | finisa- re | finisa- re |
| | Avansul s , mm/rot | | | | | | | | |
| 6 | 0,105 | - 0,21 | 0,23 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 0,120 | 0,24 | 0,26 | - 0,15 | - 0,28 | - 0,33 | - 0,165 | - 0,34 | - 0,43 |
| 15 | 0,135 | 0,26 | 0,30 | 0,165 | 0,335 | 0,37 | 0,180 | 0,38 | 0,53 |
| 20 | 0,150 | 0,28 | 0,34 | 0,175 | 0,36 | 0,41 | 0,195 | 0,42 | 0,58 |
| 25 | 0,160 | 0,30 | 0,37 | 0,185 | 0,38 | 0,46 | 0,205 | 0,44 | 0,63 |
| 30 | 0,165 | 0,33 | 0,39 | 0,200 | 0,41 | 0,50 | 0,220 | 0,47 | 0,68 |
| 40 | 0,180 | - | 0,42 | 0,220 | 0,45 | 0,55 | 0,235 | 0,50 | 0,72 |
| 50 | - | - | - | 0,230 | 0,47 | 0,58 | 0,245 | 0,53 | 0,75 |
| 60 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2. Viteza de aşchiere v , m/min | | | | | | | | | |
| Modulul m al roţii mm | Rezistenţa la rupere a materialului de prelucrat R_m , daN/mm ² | | | | | | | | |
| | 50...60 | 60...70 | 70...80 | 50...60 | 60...70 | 70...80 | 50...60 | 60...70 | 70...80 |
| Viteza de aşchiere v , m/min | | | | | | | | | |
| 6...10 | 20,5 | 18 | 14,5 | 18,0 | 16,0 | 13,0 | 16,0 | 14,5 | 12,0 |
| 15...20 | 20,5 | 18 | 14,5 | 18,0 | 16,0 | 13,0 | 16,0 | 14,5 | 12,0 |
| 25...40 | 19,5 | 17 | 13,5 | 17,0 | 15,0 | 12,0 | 15,0 | 13,5 | 11,0 |
| >40 | 16,0 | 14 | 11,0 | 14,5 | 12,5 | 10,0 | 13,0 | 11,5 | 9,0 |
| 3. Numărul de treceri | | | | | | | | | |
| Modulul m al roţii mm | Denumirea trecerilor | | | | | | | | |
| | Degroşare | | | Semifinisare | | | Finisare | | |
| | Numarul de treceri, i | | | | | | | | |
| Până la 45 | 1 | | | 1 | | | 1 | | |
| Peste 45 | 2 | | | 1 | | | 1 | | |

Tabelul 8.14. Grupele de maşini-unelte la tăierea danturii roţilor dinţate prin copiere şi prin rulare

| Modulul m al roţii dinţate, mm | <4 | 4...8 | 6...10 | >10 |
|----------------------------------|-----|-------|--------|-------|
| Grupa maşinii | I | II | III | IV |
| Puterea motorului electric, kW | 2,5 | 3,5 | 6,0 | > 6,0 |

Tabelul 8.15. Danturarea cu freza melc-modul pentru roțile dințate cilindrice în condițiile: $T=600$ min, scula din oțel rapid cu un început, piesa din oțel cabron, $R_m=65$ daN/mm²

| Avansul s_a mm/rot | Elementele regimului de lucru | Diametrul frezei melc-modul, mm | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 50 | 63 | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 | 112 | 125 | 150 |
| | | Modulul normal m , mm | | | | | | | | | |
| | | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 |
| 0,4 | $v n p$ | 59,7 | 55,1 | 52 | 49,7 | 48 | 45,3 | 43,3 | 41,8 | 39,4 | 37,7 |
| | | 380 | 278 | 263 | 223 | 191 | 160 | 138 | 119 | 100 | 80 |
| | | 0,05 | 0,11 | 0,18 | 0,26 | 0,35 | 0,57 | 0,84 | 1,14 | 1,86 | 2,72 |
| 0,6 | $v n p$ | 48,8 | 45 | 42,5 | 40,6 | 39,2 | 37 | 35,4 | 34,1 | 32,2 | 30,8 |
| | | 311 | 227 | 215 | 182 | 156 | 131 | 113 | 97 | 82 | 65 |
| | | 0,08 | 0,16 | 0,25 | 0,37 | 0,51 | 0,83 | 1,21 | 1,65 | 1,69 | 3,92 |
| 0,8 | $v n p$ | 42,2 | 39 | 36,8 | 35,2 | 33,9 | 32 | 30,6 | 29,5 | 27,9 | 26,7 |
| | | 269 | 197 | 186 | 158 | 135 | 113 | 97 | 84 | 71 | 57 |
| | | 0,1 | 0,2 | 0,33 | 0,48 | 0,66 | 1,07 | 1,56 | 2,13 | 3,48 | 5,08 |
| 1,0 | $v n p$ | 37,8 | 34,8 | 32,9 | 31,5 | 30,3 | 28,6 | 27,4 | 26,4 | 24,9 | 23,8 |
| | | 241 | 176 | 166 | 141 | 121 | 101 | 87 | 75 | 63 | 51 |
| | | 0,12 | 0,25 | 0,4 | 0,59 | 0,8 | 1,31 | 1,91 | 2,61 | 4,25 | 6,21 |
| 1,2 | $v n p$ | 34,5 | 31,8 | 30 | 28,7 | 27,7 | 26,1 | 25 | 24,1 | 22,8 | 21,8 |
| | | 220 | 161 | 152 | 129 | 110 | 92 | 80 | 69 | 58 | 46 |
| | | 0,15 | 0,29 | 0,47 | 0,69 | 0,95 | 1,54 | 2,25 | 3,07 | 5,01 | 7,32 |
| 1,4 | $v n p$ | 31,9 | 29,4 | 27,8 | 26,6 | 25,6 | 24,2 | 23,1 | 22,3 | 21,1 | 20,2 |
| | | 203 | 149 | 140 | 119 | 102 | 86 | 74 | 63 | 54 | 43 |
| | | 0,17 | 0,33 | 0,55 | 0,8 | 1,09 | 1,77 | 2,59 | 3,53 | 5,76 | 8,41 |
| 1,6 | $v n p$ | 29,9 | 27,5 | 26 | 24,9 | 24 | 22,6 | 21,7 | 20,9 | 19,7 | 18,8 |
| | | 190 | 139 | 131 | 112 | 95 | 80 | 69 | 59 | 50 | 40 |
| | | 0,19 | 0,38 | 0,62 | 0,9 | 1,23 | 2 | 2,92 | 3,98 | 6,49 | 9,49 |
| 1,8 | $v n p$ | 28,2 | 26 | 24,5 | 23,4 | 22,6 | 21,3 | 20,4 | 19,7 | 18,6 | 17,8 |
| | | 179 | 131 | 124 | 105 | 90 | 75 | 65 | 56 | 47 | 38 |
| | | 0,21 | 0,42 | 0,68 | 1 | 1,36 | 2,22 | 3,25 | 4,43 | 7,22 | 0,22 |
| 2,0 | $v n p$ | 26,7 | 24,6 | 23,3 | 22,2 | 21,4 | 20,3 | 19,4 | 18,7 | 17,6 | 16,9 |
| | | 170 | 124 | 118 | 100 | 85 | 72 | 62 | 53 | 45 | 36 |
| | | 0,23 | 0,46 | 0,75 | 1,1 | 1,5 | 2,44 | 3,57 | 4,87 | 7,94 | 11,6 |
| 2,5 | $v n p$ | 23,9 | 22 | 20,8 | 19,9 | 19,2 | 18,1 | 17,3 | 16,7 | 15,8 | 15,1 |
| | | 152 | 111 | 105 | 89 | 76 | 64 | 55 | 47 | 40 | 32 |
| | | 0,28 | 0,56 | 0,92 | 1,34 | 1,83 | 2,99 | 4,36 | 5,95 | 9,7 | 14,18 |
| 3,0 | $v n p$ | 21,8 | 20,1 | 19 | 18,2 | 17,5 | 16,5 | 15,8 | 15,2 | 14,4 | 13,8 |
| | | 139 | 102 | 96 | 81 | 70 | 58 | 50 | 43 | 37 | 29 |
| | | 0,33 | 0,66 | 1,08 | 1,58 | 2,16 | 3,52 | 5,14 | 7,01 | 11,43 | 16,7 |
| 3,5 | $v n p$ | 20,2 | 18,6 | 17,6 | 16,8 | 16,2 | 15,3 | 14,6 | 14,1 | 13,3 | 12,7 |
| | | 129 | 94 | 89 | 75 | 65 | 54 | 47 | 40 | 34 | 27 |
| | | 0,38 | 0,76 | 1,24 | 1,82 | 2,48 | 4,04 | 5,91 | 8,05 | 13,13 | 19,19 |
| 4,0 | $v n p$ | 18,9 | 17,4 | 16,4 | 15,7 | 15,2 | 14,3 | 13,7 | 13,2 | 12,5 | 11,9 |
| | | 120 | 88 | 83 | 71 | 60 | 51 | 44 | 38 | 32 | 25 |
| | | 0,43 | 0,86 | 1,4 | 2,05 | 2,79 | 4,56 | 6,66 | 9,08 | 14,81 | 21,64 |

Coeficienții de corecție pentru viteza de așchiere la prelucrarea oțelurilor

| Rezistența la rupere R_m , daN/mm ² | 50...60 | 61...70 | 71...80 | 81...90 | 91...100 | 101...110 |
|--|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| Coeficientul k_s | 1,15 | 1,0 | 0,87 | 0,75 | 0,68 | 0,62 |
| Durabilitatea sculei T , min | 180 | 240 | 360 | 600 | 900 | 1200 |
| Coeficientul K_T | 1,37 | 1,25 | 1,13 | 1,0 | 0,91 | 0,83 |

Tabelul 8.16. Danturarea cu freza melc-modul pentru roțile dințate cilindrice în condițiile: $T = 600$ min, scula din oțel rapid cu 2 începuturi, piesa din oțel carbon, $R_m = 65 \text{ daN/mm}^2$

| Avans s_a mm/rot | Elementele regimului de lucru | Diametrul frezei melc-modul, mm | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | | 50 | 63 | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 | 112 | 125 | 150 |
| | | Modulul normal m , mm | | | | | | | | | |
| | | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 |
| 0,4 | $v n p$ | 41,7 | 38,5 | 36,3 | 34,8 | 33,5 | 31,6 | 30,3 | 29,2 | 27,5 | 26,3 |
| | | 266 | 195 | 184 | 156 | 133 | 112 | 96 | 83 | 70 | 56 |
| | | 0,08 | 0,15 | 0,25 | 0,37 | 0,5 | 0,81 | 1,19 | 1,62 | 2,65 | 3,87 |
| 0,6 | $v n p$ | 34,1 | 31,4 | 29,7 | 28,4 | 27,4 | 25,8 | 24,7 | 23,8 | 22,5 | 21,5 |
| | | 217 | 159 | 150 | 127 | 109 | 91 | 79 | 68 | 57 | 46 |
| | | 0,11 | 0,22 | 0,36 | 0,53 | 0,72 | 1,17 | 1,71 | 2,34 | 3,81 | 5,57 |
| 0,8 | $v n p$ | 29,5 | 27,2 | 25,7 | 24,6 | 23,7 | 22,4 | 21,4 | 20,6 | 19,5 | 18,6 |
| | | 188 | 138 | 130 | 110 | 94 | 79 | 68 | 59 | 50 | 40 |
| | | 0,14 | 0,29 | 0,47 | 0,68 | 0,93 | 1,52 | 2,22 | 3,03 | 4,94 | 7,22 |
| 1,0 | $v n p$ | 26,4 | 24,3 | 23 | 22 | 21,2 | 20 | 19,1 | 18,5 | 17,4 | 16,7 |
| | | 168 | 123 | 116 | 99 | 84 | 71 | 61 | 52 | 44 | 35 |
| | | 0,18 | 0,35 | 0,57 | 0,84 | 1,14 | 1,86 | 2,71 | 3,7 | 6,04 | 8,82 |
| 1,2 | $v n p$ | 24,1 | 22,2 | 21 | 20,1 | 19,3 | 18,3 | 17,5 | 16,8 | 15,9 | 15,2 |
| | | 153 | 112 | 106 | 90 | 77 | 65 | 56 | 48 | 40 | 32 |
| | | 0,21 | 0,41 | 0,67 | 0,98 | 1,34 | 2,19 | 3,2 | 4,36 | 7,11 | 10,39 |
| 1,4 | $v n p$ | 22,3 | 20,6 | 19,4 | 18,6 | 17,9 | 16,9 | 16,2 | 15,6 | 14,7 | 14,1 |
| | | 142 | 104 | 98 | 83 | 71 | 60 | 51 | 44 | 37 | 30 |
| | | 0,24 | 0,47 | 0,77 | 1,13 | 1,54 | 2,51 | 3,68 | 5,01 | 8,17 | 11,94 |
| 1,6 | $v n p$ | 20,9 | 19,2 | 18,2 | 17,4 | 16,8 | 15,8 | 15,1 | 14,6 | 13,8 | 13,2 |
| | | 133 | 97 | 92 | 78 | 67 | 56 | 48 | 41 | 35 | 28 |
| | | 0,27 | 0,54 | 0,87 | 1,28 | 1,74 | 2,84 | 4,14 | 5,65 | 9,21 | 13,47 |
| 1,8 | $v n p$ | 19,7 | 18,1 | 17,1 | 16,4 | 15,8 | 14,9 | 14,3 | 13,8 | 13 | 12,4 |
| | | 125 | 92 | 87 | 73 | 63 | 53 | 45 | 39 | 33 | 26 |
| | | 0,3 | 0,6 | 0,97 | 1,42 | 1,93 | 3,15 | 4,61 | 6,28 | 10,24 | 14,97 |
| 2,0 | $v n p$ | 18,7 | 17,2 | 16,3 | 15,5 | 15 | 14,1 | 13,5 | 13 | 12,3 | 11,8 |
| | | 119 | 87 | 82 | 70 | 60 | 50 | 43 | 37 | 31 | 25 |
| | | 0,33 | 0,65 | 1,07 | 1,56 | 2,13 | 3,47 | 5,07 | 6,91 | 11,26 | 16,46 |
| 2,5 | $v n p$ | 16,7 | 15,4 | 14,5 | 13,9 | 13,4 | 12,7 | 12,1 | 11,7 | 11 | 10,5 |
| | | 106 | 78 | 73 | 62 | 53 | 45 | 39 | 33 | 28 | 22 |
| | | 0,4 | 0,8 | 1,3 | 1,91 | 2,6 | 4,24 | 6,19 | 8,44 | 13,77 | 20,12 |
| 3,0 | $v n p$ | 15,2 | 14,1 | 13,3 | 12,7 | 12,2 | 11,6 | 11 | 10,7 | 10,1 | 9,6 |
| | | 97 | 71 | 67 | 57 | 49 | 41 | 35 | 30 | 26 | 20 |
| | | 0,47 | 0,94 | 1,54 | 2,25 | 3,06 | 4,99 | 7,3 | 9,95 | 16,22 | 23,71 |
| 3,5 | $v n p$ | 14,1 | 13 | 12,3 | 11,8 | 11,3 | 10,7 | 10,2 | 9,9 | 9,3 | 8,9 |
| | | 90 | 66 | 62 | 53 | 45 | 38 | 33 | 28 | 24 | 19 |
| | | 0,54 | 1,08 | 1,77 | 2,58 | 3,52 | 5,74 | 8,38 | 11,43 | 18,64 | 27,24 |
| 4,0 | $v n p$ | 13,2 | 12,2 | 11,5 | 11 | 10,6 | 10 | 9,6 | 9,2 | 8,7 | 8,3 |
| | | 84 | 62 | 58 | 49 | 42 | 35 | 30 | 26 | 22 | 18 |
| | | 0,61 | 1,22 | 1,99 | 2,91 | 3,97 | 6,47 | 9,45 | 12,89 | 21,02 | 30,72 |

Coeficienții de corecție pentru viteza de așchiere la prelucrarea oțelurilor

| Rezistența la rupere R_m , daN/mm ² | 50...60 | 61...70 | 71...80 | 81...90 | 91...100 | 101...110 |
|--|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| Coefecientul k_s | 1,15 | 1,0 | 0,87 | 0,75 | 0,68 | 0,62 |
| Durabilitatea sculei T , min | 180 | 240 | 360 | 600 | 900 | 1200 |
| Coefecientul K_T | 1,37 | 1,25 | 1,13 | 1,0 | 0,91 | 0,83 |

Tabelul 8.17. Danturarea cu freza melc-modul pentru roțile dințate cilindrice în condițiile: $T = 600$ min, scula din oțel rapid cu 3 începuturi, piesa din oțel carbon, $R_m = 65$ daN/mm²

| Avans s_a mm/rot | Elementele regimului de lucru | Diametrul frezei melc-modul, mm | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 50 | 63 | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 | 112 | 125 | 150 |
| | | Modulul normal m , mm | | | | | | | | | |
| | | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 |
| 0,4 | $v n p$ | 31,2 | 28,8 | 27,2 | 26 | 25,1 | 23,7 | 22,6 | 21,8 | 20,6 | 19,7 |
| | | 199 | 145 | 137 | 117 | 100 | 84 | 72 | 62 | 52 | 42 |
| | | 0,12 | 0,23 | 0,38 | 0,55 | 0,75 | 1,22 | 1,79 | 2,43 | 3,97 | 5,8 |
| 0,6 | $v n p$ | 25,5 | 23,5 | 22,2 | 21,2 | 20,5 | 19,3 | 18,5 | 17,8 | 16,8 | 16,1 |
| | | 162 | 119 | 112 | 95 | 81 | 68 | 59 | 51 | 43 | 34 |
| | | 0,17 | 0,33 | 0,54 | 0,79 | 1,08 | 1,76 | 2,57 | 3,51 | 5,72 | 8,35 |
| 0,8 | $v n p$ | 22,1 | 20,4 | 19,2 | 18,4 | 17,7 | 16,7 | 16 | 15,4 | 14,6 | 13,9 |
| | | 141 | 103 | 97 | 82 | 70 | 59 | 51 | 44 | 37 | 30 |
| | | 0,22 | 0,43 | 0,7 | 1,03 | 1,4 | 2,28 | 3,33 | 4,54 | 7,41 | 10,82 |
| 1,0 | $v n p$ | 19,7 | 18,2 | 17,2 | 16,4 | 15,8 | 15 | 14,3 | 13,8 | 13 | 12,5 |
| | | 126 | 92 | 87 | 74 | 63 | 53 | 46 | 39 | 33 | 26 |
| | | 0,26 | 0,53 | 0,86 | 1,25 | 1,71 | 2,79 | 4,07 | 5,55 | 9,05 | 13,23 |
| 1,2 | $v n p$ | 18 | 16,6 | 15,7 | 15 | 14,5 | 13,7 | 13,1 | 12,6 | 11,9 | 11,4 |
| | | 115 | 84 | 79 | 67 | 58 | 48 | 42 | 36 | 30 | 24 |
| | | 0,31 | 0,62 | 1,01 | 1,48 | 2,01 | 3,28 | 4,8 | 6,54 | 10,67 | 15,59 |
| 1,4 | $v n p$ | 16,7 | 15,4 | 14,5 | 13,9 | 13,4 | 12,6 | 12,1 | 11,7 | 11 | 10,5 |
| | | 106 | 78 | 73 | 62 | 53 | 45 | 38 | 33 | 28 | 22 |
| | | 0,36 | 0,71 | 1,16 | 1,7 | 2,31 | 3,77 | 5,51 | 7,52 | 12,26 | 17,91 |
| 1,6 | $v n p$ | 15,6 | 14,4 | 13,6 | 13 | 12,5 | 11,8 | 11,3 | 10,9 | 10,3 | 9,8 |
| | | 99 | 73 | 69 | 58 | 50 | 42 | 36 | 31 | 26 | 21 |
| | | 0,4 | 0,8 | 1,31 | 1,91 | 2,61 | 4,25 | 6,22 | 8,48 | 13,82 | 20,2 |
| 1,8 | $v n p$ | 14,7 | 13,6 | 12,8 | 12,3 | 11,8 | 11,2 | 10,7 | 10,3 | 9,7 | 9,3 |
| | | 94 | 69 | 65 | 55 | 47 | 39 | 34 | 29 | 25 | 20 |
| | | 0,45 | 0,89 | 1,46 | 2,13 | 2,9 | 4,73 | 6,91 | 9,42 | 15,37 | 22,46 |
| 2,0 | $v n p$ | 14 | 12,9 | 12,2 | 11,6 | 11,2 | 10,6 | 10,1 | 9,8 | 9,2 | 8,8 |
| | | 89 | 65 | 61 | 52 | 45 | 37 | 32 | 28 | 23 | 19 |
| | | 0,49 | 0,98 | 1,6 | 2,34 | 3,19 | 5,2 | 7,6 | 10,36 | 16,9 | 24,69 |
| 2,5 | $v n p$ | 12,5 | 11,5 | 10,9 | 10,4 | 10 | 9,5 | 9 | 8,7 | 8,2 | 7,9 |
| | | 79 | 58 | 55 | 47 | 40 | 33 | 29 | 25 | 21 | 17 |
| | | 0,6 | 1,2 | 1,96 | 2,86 | 3,9 | 6,36 | 9,29 | 12,67 | 20,65 | 30,18 |
| 3,0 | $v n p$ | 11,4 | 10,5 | 9,9 | 9,5 | 9,1 | 8,6 | 8,3 | 8 | 7,5 | 7,2 |
| | | 73 | 53 | 50 | 43 | 36 | 31 | 26 | 23 | 19 | 15 |
| | | 0,71 | 1,41 | 2,31 | 3,37 | 4,59 | 7,49 | 10,95 | 14,92 | 24,34 | 35,56 |
| 3,5 | $v n p$ | 10,6 | 9,7 | 9,2 | 8,8 | 8,5 | 8 | 7,6 | 7,4 | 7 | 6,7 |
| | | 67 | 49 | 46 | 39 | 34 | 28 | 24 | 21 | 18 | 14 |
| | | 0,82 | 1,62 | 2,65 | 3,87 | 5,28 | 8,61 | 12,58 | 17,14 | 27,96 | 40,86 |
| 4,0 | $v n p$ | 9,9 | 9,1 | 8,6 | 8,2 | 7,9 | 7,5 | 7,2 | 6,9 | 6,5 | 6,2 |
| | | 63 | 46 | 43 | 37 | 32 | 26 | 23 | 20 | 17 | 13 |
| | | 0,92 | 1,83 | 2,99 | 4,36 | 5,95 | 9,7 | 14,18 | 19,33 | 31,53 | 46,07 |

Coeficienții de corecție pentru viteza de așchiere la prelucrarea oțelurilor

| Rezistența la rupere R_m , daN/mm ² | 50...60 | 61...70 | 71...80 | 81...90 | 91...100 | 101...110 |
|--|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| Coeficientul k_s | 1,15 | 1,0 | 0,87 | 0,75 | 0,68 | 0,62 |
| Durabilitatea sculei T , min | 180 | 240 | 360 | 600 | 900 | 1200 |
| Coeficientul K_T | 1,37 | 1,25 | 1,13 | 1,0 | 0,91 | 0,83 |

Tabelul 8.18. Danturarea cu freza melc-modul pentru roțile dințate cilindrice în condițiile: $T = 600$ min, sculă din oțel rapid cu un început, piesa din fontă cenușie, $HB=180$

| Avansul s_a mm/rot | Elementele regimului de lucru | Diametrul frezei melc-modul, mm | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 50 | 63 | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 | 112 | 125 | 150 |
| | | Modulul normal m , mm | | | | | | | | | |
| | | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 |
| 0,4 | $v n p$ | 48,7 | 43,7 | 40,4 | 38 | 36,2 | 33,5 | 31,6 | 30 | 27,8 | 26,2 |
| | | 310 | 221 | 204 | 171 | 144 | 119 | 100 | 85 | 71 | 56 |
| | | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,4 | 0,58 | 0,79 | 1,29 | 1,89 |
| 0,6 | $v n p$ | 42,3 | 37,9 | 35,1 | 33 | 31,4 | 29,1 | 27,4 | 26,1 | 24,1 | 22,7 |
| | | 269 | 191 | 177 | 148 | 125 | 103 | 87 | 74 | 61 | 48 |
| | | 0,05 | 0,11 | 0,18 | 0,26 | 0,35 | 0,57 | 0,84 | 1,14 | 1,86 | 2,72 |
| 0,8 | $v n p$ | 38,2 | 34,3 | 31,7 | 29,9 | 28,4 | 26,3 | 24,8 | 23,6 | 21,8 | 20,5 |
| | | 243 | 173 | 160 | 134 | 113 | 93 | 79 | 67 | 56 | 44 |
| | | 0,07 | 0,14 | 0,23 | 0,33 | 0,46 | 0,74 | 1,09 | 1,48 | 2,41 | 3,53 |
| 1,0 | $v n p$ | 35,4 | 31,7 | 29,3 | 27,6 | 26,3 | 24,3 | 22,9 | 21,8 | 20,2 | 19 |
| | | 225 | 160 | 148 | 124 | 105 | 86 | 73 | 62 | 51 | 40 |
| | | 0,09 | 0,17 | 0,28 | 0,41 | 0,56 | 0,91 | 1,33 | 1,81 | 2,95 | 4,31 |
| 1,2 | $v n p$ | 33,2 | 29,7 | 27,5 | 25,9 | 24,7 | 22,8 | 21,5 | 20,4 | 18,9 | 17,8 |
| | | 211 | 150 | 139 | 116 | 98 | 81 | 68 | 58 | 48 | 38 |
| | | 0,1 | 0,2 | 0,33 | 0,48 | 0,66 | 1,07 | 1,56 | 2,13 | 3,48 | 5,08 |
| 1,4 | $v n p$ | 31,4 | 28,2 | 26,1 | 24,5 | 23,4 | 21,6 | 20,4 | 19,4 | 17,9 | 16,9 |
| | | 200 | 142 | 132 | 110 | 93 | 76 | 65 | 55 | 46 | 36 |
| | | 0,12 | 0,23 | 0,38 | 0,55 | 0,75 | 1,23 | 1,8 | 2,45 | 3,99 | 5,83 |
| 1,6 | $v n p$ | 30 | 26,9 | 24,9 | 23,4 | 22,3 | 20,6 | 19,4 | 18,5 | 17,1 | 16,1 |
| | | 191 | 136 | 126 | 105 | 89 | 73 | 62 | 53 | 44 | 34 |
| | | 0,13 | 0,26 | 0,43 | 0,62 | 0,85 | 1,39 | 2,03 | 2,76 | 4,5 | 6,58 |
| 1,8 | $v n p$ | 28,8 | 25,8 | 23,9 | 22,5 | 21,4 | 19,8 | 18,6 | 17,7 | 16,4 | 15,5 |
| | | 183 | 130 | 121 | 101 | 85 | 70 | 59 | 50 | 42 | 33 |
| | | 0,15 | 0,29 | 0,47 | 0,69 | 0,94 | 1,54 | 2,25 | 3,07 | 5,01 | 7,32 |
| 2,0 | $v n p$ | 27,7 | 24,9 | 23 | 21,7 | 20,6 | 19,1 | 18 | 17,1 | 15,8 | 14,9 |
| | | 177 | 126 | 116 | 97 | 82 | 67 | 57 | 49 | 40 | 32 |
| | | 0,16 | 0,32 | 0,52 | 0,76 | 1,04 | 1,69 | 2,48 | 3,38 | 5,5 | 8,04 |
| 2,5 | $v n p$ | 25,7 | 23 | 21,3 | 20 | 19,1 | 17,6 | 16,6 | 15,8 | 14,6 | 13,8 |
| | | 163 | 116 | 108 | 90 | 76 | 62 | 53 | 45 | 37 | 29 |
| | | 0,2 | 0,39 | 0,64 | 0,93 | 1,27 | 2,07 | 3,03 | 4,13 | 6,73 | 9,83 |
| 3,0 | $v n p$ | 24,1 | 21,6 | 20 | 18,8 | 17,9 | 16,6 | 15,6 | 14,8 | 13,7 | 12,9 |
| | | 153 | 109 | 101 | 84 | 71 | 59 | 50 | 42 | 35 | 27 |
| | | 0,23 | 0,46 | 0,75 | 1,1 | 1,5 | 2,44 | 3,57 | 4,86 | 7,93 | 11,59 |
| 3,5 | $v n p$ | 22,8 | 20,4 | 18,9 | 17,8 | 17 | 15,7 | 14,8 | 14,1 | 13 | 12,2 |
| | | 145 | 103 | 96 | 80 | 67 | 55 | 47 | 40 | 33 | 26 |
| | | 0,27 | 0,53 | 0,86 | 1,26 | 1,72 | 2,8 | 4,1 | 5,58 | 9,11 | 13,31 |
| 4,0 | $v n p$ | 21,8 | 19,5 | 18,1 | 17 | 16,2 | 15 | 14,1 | 13,4 | 12,4 | 11,7 |
| | | 139 | 99 | 91 | 76 | 64 | 53 | 45 | 38 | 32 | 25 |
| | | 0,3 | 0,6 | 0,97 | 1,42 | 1,94 | 3,16 | 4,62 | 6,3 | 10,27 | 15,01 |

Coeficienții de corecție pentru viteza de așchiere la prelucrarea oțelurilor

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fontă | Duritatea HB | 140...160 | 161...180 | 181...200 | 201...220 | 221...240 | 241...260 |
| | Coefecientul k_s | 1,24 | 1,0 | 0,95 | 0,90 | 0,83 | 0,76 |
| Bronz | Duritatea HB | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
| | Coefecientul k_s | 1,25 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,85 |
| Durabilitatea sculei T, min | | 180 | 240 | 360 | 600 | 900 | 1200 |
| Coefecientul k_T | | 1,37 | 1,25 | 1,13 | 1,0 | 0,91 | 0,83 |

Tabelul 8.19. Danturarea cu freza melc-modul pentru roțile dințate cilindrice în condițiile: $T = 600$ min, sculă din oțel rapid cu 2 începuturi, piesă din fontă cenușie, $HB=180$

| Avansul s_a mm/rot | Elementele regimului de lucru | Diametrul frezei melc-modul, mm | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 50 | 63 | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 | 112 | 125 | 150 |
| | | Modulul normal m , mm | | | | | | | | | |
| | | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 |
| 0,4 | $v n p$ | 34 | 30,4 | 28,2 | 26,5 | 25,3 | 23,4 | 22 | 20,9 | 19,4 | 18,2 |
| | | 216 | 154 | 142 | 119 | 100 | 83 | 70 | 60 | 49 | 39 |
| | | 0,05 | 0,1 | 0,17 | 0,25 | 0,34 | 0,56 | 0,81 | 1,11 | 1,8 | 2,64 |
| 0,6 | $v n p$ | 29,5 | 26,4 | 24,4 | 23 | 21,9 | 20,3 | 19,1 | 18,2 | 16,8 | 15,8 |
| | | 188 | 133 | 124 | 103 | 87 | 72 | 61 | 52 | 43 | 34 |
| | | 0,08 | 0,15 | 0,25 | 0,36 | 0,49 | 0,8 | 1,17 | 1,59 | 2,6 | 3,8 |
| 0,8 | $v n p$ | 26,7 | 23,9 | 22,1 | 20,8 | 19,8 | 18,3 | 17,3 | 16,4 | 15,2 | 14,3 |
| | | 170 | 121 | 112 | 93 | 79 | 65 | 55 | 47 | 39 | 30 |
| | | 0,1 | 0,2 | 0,32 | 0,47 | 0,64 | 1,04 | 1,51 | 2,06 | 3,37 | 4,92 |
| 1,0 | $v n p$ | 24,7 | 22,1 | 20,4 | 19,2 | 18,3 | 17 | 16 | 15,2 | 14,1 | 13,2 |
| | | 157 | 112 | 103 | 86 | 73 | 60 | 51 | 43 | 36 | 28 |
| | | 0,12 | 0,24 | 0,39 | 0,57 | 0,78 | 1,27 | 1,85 | 2,52 | 4,12 | 6,01 |
| 1,2 | $v n p$ | 23,1 | 20,7 | 19,2 | 18,1 | 17,2 | 15,9 | 15 | 14,3 | 13,2 | 12,4 |
| | | 147 | 105 | 97 | 81 | 68 | 56 | 48 | 41 | 34 | 26 |
| | | 0,14 | 0,28 | 0,46 | 0,67 | 0,92 | 1,49 | 2,18 | 2,97 | 4,85 | 7,09 |
| 1,4 | $v n p$ | 21,9 | 19,6 | 18,2 | 17,1 | 16,3 | 15,1 | 14,2 | 13,5 | 12,5 | 11,8 |
| | | 139 | 99 | 92 | 77 | 65 | 53 | 45 | 38 | 32 | 25 |
| | | 0,16 | 0,32 | 0,53 | 0,77 | 1,05 | 1,71 | 2,51 | 3,42 | 5,57 | 8,14 |
| 1,6 | $v n p$ | 20,9 | 18,7 | 17,3 | 16,3 | 15,5 | 14,4 | 13,5 | 12,9 | 11,9 | 11,2 |
| | | 133 | 95 | 88 | 73 | 62 | 51 | 43 | 37 | 30 | 24 |
| | | 0,18 | 0,36 | 0,6 | 0,87 | 1,19 | 1,93 | 2,83 | 3,85 | 6,28 | 9,18 |
| 1,8 | $v n p$ | 20,1 | 18 | 16,6 | 15,7 | 14,9 | 13,8 | 13 | 12,4 | 11,4 | 10,8 |
| | | 128 | 91 | 84 | 70 | 59 | 49 | 41 | 35 | 29 | 23 |
| | | 0,2 | 0,41 | 0,66 | 0,97 | 1,32 | 2,15 | 3,14 | 4,28 | 6,99 | 10,21 |
| 2,0 | $v n p$ | 19,3 | 17,3 | 16 | 15,1 | 14,4 | 13,3 | 12,5 | 11,9 | 11 | 10,4 |
| | | 123 | 88 | 81 | 68 | 57 | 47 | 40 | 34 | 28 | 22 |
| | | 0,22 | 0,45 | 0,73 | 1,06 | 1,45 | 2,36 | 3,45 | 4,71 | 7,68 | 11,22 |
| 2,5 | $v n p$ | 17,9 | 16 | 14,8 | 14 | 13,3 | 12,3 | 11,6 | 11 | 10,2 | 9,6 |
| | | 114 | 81 | 75 | 63 | 53 | 44 | 37 | 31 | 26 | 20 |
| | | 0,27 | 0,55 | 0,89 | 1,3 | 1,77 | 2,89 | 4,22 | 5,76 | 9,39 | 13,72 |
| 3,0 | $v n p$ | 16,8 | 15 | 13,9 | 13,1 | 12,5 | 11,5 | 10,9 | 10,3 | 9,6 | 9 |
| | | 107 | 16 | 70 | 59 | 50 | 41 | 35 | 29 | 24 | 19 |
| | | 0,32 | 0,64 | 1,05 | 1,53 | 2,09 | 3,4 | 4,98 | 6,78 | 11,06 | 16,17 |
| 3,5 | $v n p$ | 15,9 | 14,3 | 13,2 | 12,4 | 11,8 | 10,9 | 10,3 | 9,8 | 9,1 | 8,5 |
| | | 101 | 72 | 67 | 56 | 47 | 39 | 33 | 28 | 23 | 18 |
| | | 0,37 | 0,74 | 1,2 | 1,76 | 2,4 | 3,91 | 5,72 | 7,79 | 12,71 | 18,57 |
| 4,0 | $v n p$ | 15,2 | 13,6 | 12,6 | 11,8 | 11,3 | 10,4 | 9,8 | 9,4 | 8,7 | 8,1 |
| | | 97 | 69 | 64 | 53 | 45 | 37 | 31 | 27 | 22 | 17 |
| | | 0,42 | 0,83 | 1,36 | 1,98 | 2,7 | 4,41 | 6,45 | 8,79 | 14,33 | 20,94 |

Coeficienții de corecție pentru viteza de așchiere la prelucrarea oțelurilor

| Fontă | Duritatea HB | 140...160 | 161...180 | 181...200 | 201...220 | 221...240 | 241...260 |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Coefecientul k_s | 1,24 | 1,0 | 0,95 | 0,90 | 0,83 |
| Bronz | Duritatea HB | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
| | Coefecientul k_s | 1,25 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,85 |
| Durabilitatea sculei T , min | | 180 | 240 | 360 | 600 | 900 | 1200 |
| Coefecientul k_T | | 1,37 | 1,25 | 1,13 | 1,0 | 0,91 | 0,83 |

Tabelul 8.20. Danturarea cu freza melc-modul pentru roți dințate cilindrice la condițiile: $T = 600$ min, scula din oțel rapid cu 3 începuturi, piesă din fontă cenușie, $HB = 180$

| Avans s_a mm/rot | Elementele regimului de lucru | Diametrul frezei melc-modul, mm | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | | 50 | 63 | 63 | 71 | 80 | 90 | 100 | 112 | 125 | 150 |
| | | Modulul normal m , mm | | | | | | | | | |
| | | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 |
| 0,4 | v | 25,3 | 22,7 | 21 | 19,8 | 18,8 | 17,4 | 16,4 | 15,6 | 14,5 | 13,6 |
| | n | 161 | 115 | 106 | 89 | 75 | 62 | 52 | 44 | 37 | 29 |
| | p | 0,08 | 0,16 | 0,26 | 0,38 | 0,52 | 0,85 | 1,7 | 2,77 | 2,77 | 4,04 |
| 0,6 | v | 22 | 19,7 | 18,2 | 17,2 | 16,3 | 15,1 | 13,6 | 12,5 | 12,5 | 11,8 |
| | n | 140 | 100 | 92 | 77 | 65 | 53 | 39 | 32 | 32 | 25 |
| | p | 0,12 | 0,23 | 0,38 | 0,55 | 0,75 | 1,23 | 2,44 | 3,98 | 3,98 | 5,82 |
| 0,8 | v | 19,9 | 17,8 | 16,5 | 15,5 | 14,8 | 13,7 | 12,9 | 12,3 | 11,3 | 10,7 |
| | n | 127 | 90 | 83 | 70 | 59 | 48 | 41 | 35 | 29 | 23 |
| | p | 0,15 | 0,3 | 0,49 | 0,71 | 0,97 | 1,59 | 2,32 | 3,17 | 5,16 | 7,54 |
| 1,0 | v | 18,4 | 16,5 | 15,2 | 14,4 | 13,7 | 12,6 | 11,9 | 11,3 | 10,5 | 9,9 |
| | n | 117 | 83 | 77 | 64 | 54 | 45 | 38 | 32 | 27 | 21 |
| | p | 0,18 | 0,37 | 0,6 | 0,87 | 1,19 | 1,94 | 2,84 | 3,87 | 6,31 | 9,22 |
| 1,2 | v | 17,3 | 15,5 | 14,3 | 13,5 | 12,8 | 11,9 | 11,2 | 10,6 | 9,8 | 9,3 |
| | n | 110 | 78 | 72 | 60 | 51 | 42 | 36 | 30 | 25 | 20 |
| | p | 0,22 | 0,43 | 0,7 | 1,03 | 1,4 | 2,29 | 3,34 | 4,56 | 7,44 | 10,87 |
| 1,4 | v | 16,3 | 14,6 | 13,6 | 12,8 | 12,1 | 11,2 | 10,6 | 10,1 | 9,3 | 8,8 |
| | n | 104 | 74 | 68 | 57 | 48 | 40 | 34 | 29 | 24 | 19 |
| | p | 0,25 | 0,5 | 0,81 | 1,18 | 1,61 | 2,63 | 3,84 | 5,24 | 8,54 | 12,48 |
| 1,6 | v | 15,6 | 14 | 12,9 | 12,2 | 11,6 | 10,7 | 10,1 | 9,6 | 8,9 | 8,4 |
| | n | 99 | 71 | 65 | 55 | 46 | 38 | 32 | 27 | 23 | 18 |
| | p | 0,28 | 0,56 | 0,91 | 1,33 | 1,82 | 2,97 | 4,33 | 5,91 | 9,63 | 14,08 |
| 1,8 | v | 15 | 13,4 | 12,4 | 11,7 | 11,1 | 10,3 | 9,7 | 9,2 | 8,5 | 8 |
| | n | 95 | 68 | 63 | 52 | 44 | 36 | 31 | 26 | 22 | 17 |
| | p | 0,31 | 0,62 | 1,01 | 1,48 | 2,02 | 3,3 | 4,82 | 6,57 | 10,71 | 15,65 |
| 2,0 | v | 14,4 | 12,9 | 12 | 11,3 | 10,7 | 9,9 | 9,3 | 8,2 | 8,2 | 7,7 |
| | n | 92 | 65 | 60 | 50 | 43 | 35 | 30 | 25 | 21 | 16 |
| | p | 0,34 | 0,68 | 1,12 | 1,63 | 2,22 | 3,62 | 5,3 | 7,22 | 11,78 | 17,21 |
| 2,5 | v | 13,3 | 12 | 11,1 | 10,4 | 9,9 | 9,2 | 8,6 | 8,2 | 7,6 | 7,2 |
| | n | 85 | 60 | 56 | 47 | 39 | 32 | 28 | 23 | 19 | 15 |
| | p | 0,42 | 0,84 | 1,36 | 1,99 | 2,72 | 4,43 | 6,47 | 8,83 | 14,4 | 21,04 |
| 3,0 | v | 12,5 | 11,2 | 10,4 | 9,8 | 9,3 | 8,6 | 8,1 | 7,7 | 7,1 | 6,7 |
| | n | 80 | 57 | 52 | 44 | 37 | 30 | 26 | 22 | 18 | 14 |
| | p | 0,49 | 0,99 | 1,61 | 2,35 | 3,2 | 5,22 | 7,63 | 10,4 | 16,96 | 24,79 |
| 3,5 | v | 11,9 | 10,6 | 9,8 | 9,3 | 8,8 | 8,2 | 7,7 | 7,3 | 6,8 | 6,4 |
| | n | 76 | 54 | 50 | 42 | 35 | 29 | 24 | 21 | 17 | 14 |
| | p | 0,57 | 1,13 | 1,85 | 2,7 | 3,68 | 6 | 8,76 | 11,95 | 19,49 | 28,48 |
| 4,0 | v | 11,3 | 10,1 | 9,4 | 8,8 | 8,4 | 7,8 | 7,3 | 7 | 6,5 | 6,1 |
| | n | 72 | 51 | 47 | 40 | 33 | 28 | 23 | 20 | 16 | 13 |
| | p | 0,64 | 1,28 | 2,08 | 3,04 | 4,15 | 6,76 | 9,88 | 13,48 | 21,97 | 32,11 |

Coeficienții de corecție pentru viteza de așchiere la prelucrarea oțelurilor

| Fontă | Duritatea HB | 140...160 | 161...180 | 181...200 | 201...220 | 221...240 | 241...260 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | Coeficientul k_s | 1,24 | 1,0 | 0,95 | 0,90 | 0,83 |
| Bronz | Duritatea HB | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
| | Coeficientul k_s | 1,25 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,85 |
| Durabilitatea sculei T, min | | 180 | 240 | 360 | 600 | 900 | 1200 |
| Coeficientul k_T | | 1,37 | 1,25 | 1,13 | 1,0 | 0,91 | 0,83 |

Tabelul 8.21. Regimuri de aşchiere pentru prelucrarea roţilor melcate din fontă și bronz cu freze-melc din Rp3 și Rp4

| Diametrul frezei D Mm | Modulul m al roţii mm | Avansul s mm/rot | | | | | | Viteza de aşchiere v m/min |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|-------------------------------------|
| | | Radial | Tangenţial | Radial | Tangenţial | Radial | Tangenţial | |
| | | Grupa maşinilor-unelte | | | | | | |
| | | I | | II | | II | | |
| 70 | 3 | 0,70 | 1,45 | 0,90 | 1,60 | - | - | 26,4 |
| 80 | 4 | 0,65 | 1,35 | 0,85 | 1,50 | 0,95 | 1,55 | 24,5 |
| 90 | 5 | 0,60 | 1,25 | 0,80 | 1,35 | 0,90 | 1,45 | 23,0 |
| 105 | 6 | 0,58 | 1,20 | 0,75 | 1,30 | 0,85 | 1,40 | 23,0 |
| 115 | 8 | 0,55 | 1,10 | 0,68 | 1,20 | 0,78 | 1,30 | 22,6 |
| 150 | 10 | 0,52 | 1,0 | 0,64 | 1,10 | 0,74 | 1,25 | 20,5 |
| 165 | 12 | - | - | 0,60 | 1,05 | 0,70 | 1,20 | 20,4 |
| 180 | 14 | - | - | 0,50 | 1,0 | 0,65 | 1,10 | 19,6 |
| 195 | 16 | - | - | 0,48 | 0,85 | 0,55 | 0,95 | 19,4 |
| 215 | 18 | - | - | - | - | 0,50 | 0,85 | 18,4 |
| 230 | 22 | - | - | - | - | 0,40 | 0,80 | 18,0 |
| 270 | 25 | - | - | - | - | 0,30 | 0,70 | 17,5 |

Observație. La prelucrarea roţilor melcate cu mai multe începuturi, mărimea avansului trebuie să fie micșorată proporțional cu numărul de începuturi

Tabelul 8.22. Regimuri de aşchiere pentru prelucrarea roţilor melcate din fontă și bronz cu cuţite modul, cu avans tangenţial

| Modulul m al roţii mm | Numărul dinţilor roţii de prelucrat | | | |
|--------------------------|---|---|-------------------------------|---|
| | ≥ 40 | | ≤ 40 | |
| | Duritatea fontei HB = 180...200, bronz HB = 120 | | | |
| | Avans tangenţial s, mm/rot | Turaţia arborelui principal n, rot/min | Avans tangenţial s, mm/rot | Turaţia arborelui principal n, rot/min |
| 3 | 0,55 | 50 | 0,45 | 53 |
| 4 | 0,50 | 50 | 0,42 | 53 |
| 5 | 0,48 | 42 | 0,40 | 44 |
| 6 | 0,44 | 42 | 0,38 | 44 |
| 8 | 0,42 | 37 | 0,36 | 39 |
| 10 | 0,40 | 37 | 0,34 | 39 |
| 12 | 0,37 | 36 | 0,32 | 32 |
| 14 | 0,34 | 30 | 0,29 | 32 |
| 16 | 0,33 | 25 | 0,28 | 26 |
| 18 | 0,31 | 25 | 0,26 | 26 |
| 20 | 0,30 | 19 | 0,25 | 20 |
| 22 | 0,28 | 19 | 0,24 | 20 |
| 25 | 0,26 | 19 | 0,22 | 20 |

Coeficienţii de corecţie în funcţie de durabilitatea cuţitului

| Durabilitatea T, min | 180 | 300 | 400 | 480 | 600 | 720 | 900 | 1200 | - | - | - | - | - |
|-----------------------------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|---|---|---|---|---|
| Coeficientul de corecţie | 1,37 | 1,21 | 1,1 | 1,05 | 1,0 | 0,95 | 0,91 | 0,83 | - | - | - | - | - |

Tabelul 8.23. Regimuri de aşchiere la prelucrarea danturii în arc de cerc la oţeluri

| Faza | Grupa de material prelucrat Rm daN/mm ² | Diametrul nominal al capului portcuţite, mm sau  oli | | | | | |
|--|--|--|-------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| | | 88,9 3 1/2" | 152,4 6" | 190,5 7 1/2" | 228,6 9" | 304,8 12" | 457,2 18" |
| | | Viteza de aşchiere v, m/min | | | | | |
| Degroşare Ra = 12,5  m | 40...60 | 34 | 39 | 36 | 44 | 50 | 58 |
| | 60...70 | 25 | 29 | 30 | 38 | 38 | 50 |
| | 70...80 | 23 | 25 | 30 | 38 | 38 | 50 |
| | 80...90 | 17 | 19 | 24 | 29 | 34 | 36 |
| Finisare Degroşare Ra = 6,3...1,5  m | 40...60 | 55 | 57 | 54 | 59 | 58 | 72 |
| | 60...70 | 45 | 44 | 49 | 44 | 50 | 50 |
| | 70...80 | 45 | 44 | 49 | 44 | 50 | 50 |
| | 80...90 | 34 | 39 | 36 | 38 | 38 | 36 |

Coeficienţii de corecţie pentru viteza de aşchiere în cazul modificării durităţii materialului de prelucrat la fonte şi bronzuri

| Elementul care se modifică | Duritatea fontei HB | | | | Duritatea bronzului HB | | | |
|----------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|-----|-----|-----|
| | 140...160 | 160...180 | 180...200 | 200...220 | 80 | 100 | 120 | 140 |
| v, m/min | 1,25 | 1,12 | 1,0 | 0,90 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 |

Tabelul 8.24. Elemente de reglare a maşinii prin două roţi de schimb la prelucrarea danturii în arc de cerc

| Turaţia capului portcuţite n rot/min | Roţile de schimb | | Diametrul nominal al capului portcuţite mm,  oli | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|----|--|--------------|------------------|--------------|---------------|---------------|
| | A | B | 88,90 3 1/2" | 152,40 6" | 190,50 7 1/2" | 228,60 9" | 304,80 12" | 457,20 18" |
| | | | Viteza de aşchiere v, m/min | | | | | |
| 25 | 22 | 79 | - | - | - | - | - | 36 |
| 35 | 28 | 73 | - | - | - | - | 30 | 50 |
| 40 | 31 | 70 | - | 19 | 24 | 28 | 38 | 58 |
| 50 | 36 | 65 | - | 24 | 30 | 36 | 48 | 72 |
| 60 | 41 | 60 | 17 | 30 | 36 | 45 | 60 | - |
| 82 | 48 | 53 | 23 | 37 | 49 | 56 | - | - |
| 98 | 53 | 48 | 27 | 50 | 59 | - | - | - |
| 130 | 60 | 41 | 36 | 62 | - | - | - | - |
| 162 | 65 | 36 | 45 | - | - | - | - | - |
| 200 | 70 | 31 | 56 | - | - | - | - | - |
| 230 | 73 | 28 | - | - | - | - | - | - |
| 325 | 79 | 22 | - | - | - | - | - | - |

Tabelul 8.25. Elementele de reglare prin patru roți de schimb la prelucrarea danturii în arc de cerc

| Turația capului portcuțite n rot/min | Roți de schimb | | | | Distanța dintre roți mm, sau țoli | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|----|----|----|-----------------------------------|--------------|------------------|--------------|---------------|---------------|
| | A | B | C | D | 88,90 3 1/2" | 152,40 6" | 190,50 7 1/2" | 228,60 9" | 304,80 12" | 457,20 18" |
| | 25 | 24 | 56 | 20 | 60 | - | - | - | - | - |
| 35 | 30 | 50 | 20 | 60 | - | - | - | - | 34 | 50 |
| 40 | 32 | 48 | 20 | 60 | - | 19 | 24 | 29 | 38 | 58 |
| 50 | 32 | 48 | 24 | 56 | - | 25 | 30 | 38 | 50 | 72 |
| 60 | 35 | 45 | 24 | 56 | 17 | 29 | 36 | 44 | 58 | - |
| 82 | 35 | 45 | 30 | 50 | 23 | 39 | 47 | 59 | - | - |
| 91 | 35 | 45 | 32 | 48 | 25 | 44 | 54 | - | - | - |
| 120 | 40 | 40 | 32 | 48 | 34 | 57 | - | - | - | - |
| 162 | 40 | 40 | 38 | 42 | 45 | - | - | - | - | - |
| 197 | 40 | 40 | 42 | 38 | 55 | - | - | - | - | - |
| 240 | 45 | 35 | 42 | 38 | - | - | - | - | - | - |
| 325 | 48 | 32 | 44 | 36 | - | - | - | - | - | - |

Tabelul 8.26. Regimuri de aşchiere pentru danturarea roților dințate cilindrice cu cuțite roată
1. Danturarea de degroșare

| Avansul la o cursă dublă a saniei s mm/c.d. | Modulul m, mm | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2,5 | | 3,0 | | 4,0 | | 5,0 | | 6,0 | |
| | Regimul de aşchiere | | | | | | | | | |
| | ✓ | P | ✓ | P | ✓ | P | ✓ | P | ✓ | P |
| 0,15 | 30,0 | 0,36 | 28,3 | 0,49 | 25,8 | 0,8 | 24,4 | 1,2 | 23,0 | 1,55 |
| 0,20 | 25,5 | 0,42 | 24,0 | 0,57 | 22,2 | 0,95 | 20,8 | 1,4 | 19,7 | 1,85 |
| 0,25 | 23,0 | 0,46 | 21,7 | 0,63 | 20,0 | 1,05 | 18,6 | 1,55 | 17,7 | 2,1 |
| 0,30 | 21,0 | 0,51 | 20,0 | 0,68 | 18,3 | 1,15 | 17,1 | 1,65 | 16,3 | 2,25 |
| 0,35 | 19,5 | 0,52 | 18,5 | 0,73 | 16,8 | 1,22 | 15,8 | 1,85 | 15,0 | 2,45 |
| 0,40 | 18,3 | 0,57 | 17,3 | 0,78 | 15,8 | 1,30 | 14,8 | 1,90 | 14,0 | 2,6 |
| 0,45 | 17,0 | 0,63 | 16,3 | 0,84 | 14,9 | 1,40 | 13,9 | 2,0 | 13,2 | 2,8 |
| 0,50 | 16,3 | 0,68 | 15,4 | 0,87 | 14,2 | 1,50 | 13,2 | 2,2 | 12,5 | 3,0 |

2. Danturarea de finisare

| Modulul m | Avansul la cursa dublă, mm/c.d | Viteza de aşchiere, m/min |
|----------------|--------------------------------|---------------------------|
| Toate valorile | 0,25...0,30 | 85 |

Coefficienții de corecție: k_{vm} – pentru viteze de aşchiere și k_p – pentru puterea efectivă

1. În funcție de materialul care se prelucrează

| Marca oțelului | Valoarea coeficienților | |
|----------------|-------------------------|-------|
| | k_{vm} | k_p |
| OLC 45 | 1,0 | 1,0 |
| 40C10 | 0,95 | 1,6 |
| 13CN35 | 0,83 | 1,4 |

2. În funcție de durabilitate

| Felul prelucrării | Durabilitatea $T_{e, min}$ | | | |
|-------------------------|----------------------------|------|------|------|
| | 180 | 240 | 360 | 480 |
| Danturarea de degroșare | 1,15 | 1,09 | 1,0 | 0,94 |
| Danturarea de finisare | 1,0 | 0,92 | 0,81 | - |

Tabelul 8.27. Numărul de treceri pentru prelucrarea roților conice pe mașini de tip Gleason

| Modulul m, mm | ncimea golului, mm | Felul prelucrării | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------|-------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|------------------------|-----------|---------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| | | Tăiere | | Lărgire | | Tăiere | | Lărgire | | Rabotarea racordărilor | | botarea de finisare | | Rabotarea de finisare a racordărilor | | | |
| | | Nr. de treceri | Adâncimea | Nr. de treceri | Adâncimea | Nr. de treceri | Adâncimea | Nr. de treceri | Adâncimea | Nr. de treceri | Adâncimea | Nr. de treceri | Adâncimea | Nr. de treceri | Adâncimea | Nr. de treceri | Adâncimea |
| 22 | 48,4 | 1 | 44,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 24 | 52,8 | 1 | 47,8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 26 | 57,2 | 1 | 52,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 28 | 61,6 | 1 | 40,0 | 2 | 40,0 | 2 | 55,6 | 5 | 5,6 | 2 | 21,6 | 2 | 55,6 | 6 | 6,0 | 2 | 56,5 |
| 30 | 66,0 | 1 | 42,0 | 2 | 42,0 | 2 | 60,0 | 6 | 6,0 | 1 | 24,0 | 2 | 60,0 | 6 | 6,0 | 2 | 61,0 |
| 33 | 72,6 | 1 | 45,0 | 2 | 45,0 | 2 | 65,6 | 7 | 6,6 | 1 | 27,0 | 2 | 65,6 | 7 | 6,6 | 2 | 65,6 |
| 36 | 79,2 | 1 | 47,0 | 2 | 47,0 | 2 | 72,2 | 8 | 7,2 | 1 | 32,2 | 2 | 72,2 | 8 | 7,2 | 2 | 72,2 |
| 39 | 85,8 | 1 | 49,0 | 2 | 49,0 | 2 | 77,8 | 9 | 7,8 | 1 | 36,8 | 2 | 77,8 | 9 | 7,8 | 2 | 77,8 |
| 42 | 92,4 | 1 | 52,0 | 2 | 52,0 | 2 | 83,4 | 9 | 8,4 | 1 | 40,4 | 2 | 83,4 | 9 | 8,4 | 2 | 83,4 |
| 45 | 99,0 | 1 | 46,0 | 2 | 46,0 | 2 | 75,0 | 10 | 7,5 | 1 | 29,0 | 2 | 75,0 | 10 | 7,5 | 2 | 90,0 |
| 50 | 110,0 | 1 | 50,0 | 2 | 50,0 | 4 | 90,0 | 9 | 9,0 | 1 | 40,0 | 4 | 90,0 | 8 | 8,0 | 2 | 100,0 |
| 55 | 120,0 | 1 | 55,0 | 2 | 55,0 | 4 | 95,0 | 10 | 9,5 | 1 | 40,0 | 4 | 95,0 | 10 | 10,0 | 2 | 111,0 |
| 60 | 132,0 | 1 | 55,0 | 2 | 55,0 | 4 | 105,0 | 9 | 9,0 | 1 | 40,0 | 4 | 105,0 | 8 | 8,0 | 2 | 120,0 |
| 65 | 143,0 | 1 | 55,0 | 4 | 55,0 | 4 | 105,0 | 9 | 9,0 | 1 | 50,0 | 4 | 105,0 | 6 | 6,0 | 2 | 129,0 |
| 70 | 154,0 | 1 | 55,0 | 4 | 55,0 | 4 | 105,0 | 9 | 9,0 | 1 | 50,0 | 4 | 105,0 | 8 | 8,0 | 2 | 139,0 |

Observație. Pentru roțile dințate conice la care golurile se taie în prealabil cu freza disc modul, pentru prelucrarea profilului dintelui se vor executa două treceri de degroșare și două de finisare, iar pentru prelucrarea racordărilor rădăcinilor dinților se vor executa câte două treceri de finisare.

Tabelul 8.28. Vitezele de așchiere în cazul rabotării pe mașini Heindenreich-Harberk

| Materialul de prelucrat | Modelul mașinii de rabotat | | Materialul de prelucrat | | Modelul mașinii de rabotat | |
|---|-----------------------------|----|---|--|-----------------------------|----|
| | KN-25 | | KN-25 | | KN-25 | |
| $\sigma_r = 60...70 \text{ daN/mm}^2$ Fonta HB = 180...200 Bronz HB = 120 | Viteze de așchiere v, m/min | | Viteze de așchiere v, m/min | | Viteze de așchiere v, m/min | |
| | 20 | 20 | $\sigma_r = 60...70 \text{ daN/mm}^2$ Fonta HB = 180...200 Bronz HB = 120 | | 20 | 20 |
| | 17 | 17 | | | 17 | 17 |
| | 25 | 25 | | | 25 | 25 |

Observație. Pentru alte materiale, viteza de așchiere se va corecta cu coeficientul de corecție k_v , din tabelul 8.27

Tabelul 8.29. Regimuri de aşchiere pentru prelucrarea roţilor dinţate conice cu dinţi dreپti sau înclinaţi la maşinile de rabotat de tip Oerlikon, cu cuţite din Rp3 şi Rp 4

| Tipul maşinii de rabotat | Felul prelucrării | Medie de aşchiere v, m/min | l pe o cursă dublă s, mm/c.d. |
|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| KN-4a (Oerlikon) | Tăierea golurilor | 15,2 | 0,18 |
| | Tăierea unghiurilor | 16,1 | 0,2 |
| | Rabotarea de degroşare | 16,1 | 0,3 |
| | Rabotarea de finisare | 21,3 | 0,18 |
| KN4a - B (Oerlikon) | Tăierea golurilor | 15,2 | 0,18 |
| | Tăierea unghiurilor | 15,2 | 0,3 |
| | Rabotarea de degroşare | 15,2 | 0,3 |
| | Rabotarea de finisare | 21,3 | 0,18 |
| 30 KN (Harbeck) | Tăierea golurilor | 11,5 | 0,16 |
| | Tăierea unghiurilor | 12,6 | 0,24 |
| | Rabotarea de degroşare | 12,6 | 0,24 |
| | Rabotarea de finisare | 21,3 | 0,18 |

Observaţie. Roţile dinţate prelucrate în prealabil cu freză disc modul se prelucreează cu regimurile stabilite pentru rabotarea de degroşare.

Coefficienţii de corecţie pentru viteza de aşchiere

| Materialul de preucrat | Oţel | Rezistenţa la rupere | 50...60 | 60...70 | 70...80 | 80...90 | 90...100 | 100...110 |
|------------------------|-------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | $R_m, \text{daN/mm}^2$ | | | | | | |
| | | Coefficientul k_v | 1,15 | 1,0 | 0,87 | 0,75 | 0,68 | 0,62 |
| | Fontă | Duritatea HB | 140...160 | 160...180 | 180...200 | 200...220 | 220...240 | 240...260 |
| | | Coefficientul k_v | 1,23 | 1,0 | 0,95 | 0,9 | 0,83 | 0,76 |

Tabelul 8.30. Numărul de treceri pentru prelucrarea roţilor dinţate la maşina de rabotat de tip Oerlikon

| Tipul maşinii de rabotat | KN-4a | | | | | KN4a-B şi 30 KN | | | |
|--|--------------------------------|--------|---------|---------|---------|-----------------|---------|---------|---------|
| | Modulul roţii de prelucrat, mm | | | | | | | | |
| Felul prelucrării | <8 | 8...16 | 17...24 | 25...30 | 31...32 | 33 | 15...20 | 21...28 | 29...32 |
| Tăierea golurilor | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tăierea unghiurilor | - 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Rabotarea de degroşare | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Rabotarea de finisare | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Numărul total de treceri | | 5 | 7 | 8 | 9 | 3 | 5 | 6 | 7 |
| După tăierea cu freze-disc pentru toate tipurile de maşini | Modulul roţii de prelucrat | | | | | < 24 | | 24 | |
| | Rabotarea de degroşare | | | | | 1 | | > 2 | |
| | Rabotarea de finisare | | | | | 1 | | 1 | |
| | Numărul total de treceri | | | | | 2 | | 3 | |

Tabelul 8.31. Regimuri de aşchiere pentru prelucrarea roţilor dinţate conice din oţel la maşini de rabotat de tip Gleason cu cuţit din Rp3 sau Rp4

| Lungimea cursesii cuţitelor mm | Diametrul roţii dinţate D_1 , mm | | | | | |
|---|--|------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| | Avansul s, pe o cursă dublă a cuţitelor, mm/c.d. | | | | | |
| | 0,40 | 0,88 | 0,64 | 0,40 | 0,88 | 0,64 |
| | Tăiere cu cuţit în trepte | Tăiere de degroşare | Tăiere de finisare | Tăiere cu un cuţit în trepte | Tăiere de degroşare | Tăiere de finisare |
| Numărul de curse duble pe minut | | | | | | |
| 300 | 6,8 | 9,0 | 11,0 | 6,2 | 9,0 | 10,6 |
| 325 | 6,5 | 8,6 | 10,4 | 5,8 | 8,5 | 10,0 |
| 350 | 6,3 | 8,2 | 9,8 | 5,5 | 8,0 | 9,5 |
| 375 | 5,9 | 7,6 | 9,4 | 5,1 | 7,5 | 8,8 |
| 400 | 5,5 | 7,1 | 9,0 | 4,8 | 7,1 | 8,4 |
| 425 | 5,2 | 6,9 | 8,5 | 4,6 | 6,8 | 8,2 |
| 450 | 5,0 | 6,8 | 8,0 | 4,4 | 6,6 | 7,9 |
| 475 | 4,8 | 6,6 | 7,7 | 4,2 | 6,3 | 7,4 |
| 500 | 4,7 | 6,2 | 7,4 | 4,1 | 6,1 | 7,0 |
| 550 | 4,3 | 5,8 | 6,9 | 3,8 | 5,6 | 6,7 |
| 600 | 4,1 | 5,4 | 6,6 | 3,5 | 3,2 | 6,3 |
| 650 | 3,8 | 5,0 | 6,1 | 3,3 | 4,7 | 5,9 |
| 700 | 3,6 | 4,7 | 5,8 | 3,1 | 4,1 | 5,6 |

Coeficienţii de corecţie pentru numărul de curse duble ale cuţitului în funcţie de rezistenţa materialului de prelucrat

| Rezistenţa la rupere, daN/mm ² | 50...60 | 60...70 | 70...80 | 80...90 | 90...100 | 100...110 |
|--|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| Coeficientul de corecţie | 1,15 | 1,0 | 0,87 | 0,75 | 0,68 | 0,62 |

Tabelul 8.32. Vitezele de aşchiere în cazul rabotării pe maşini Heindenreich-Harbeck

| Materialul de prelucrat | Modelul maşinii de rabotat | | |
|--|-----------------------------|-------|-------|
| | KN-25 | KN-50 | KN-75 |
| | Viteza de aşchiere v, m/min | | |
| Oţel $R_m = 60...70$ daN/mm ² | 20 | 18 | 15 |
| Fontă HB = 180...200 | 17 | 15 | 13 |
| Bronz HB = 120 | 25 | 22 | 20 |

Observaţie. Pentru alte materiale, viteza de aşchiere se va corecta cu coeficientul de corecţie k din tabelul 8.29.

Tabelul 8.33. Regimul de aşchiere la rectificarea roţilor dinţate din oţel carbon călit cu durezza HRC= 50, cu două pietre abrazive taler (metoda Maag)

| 1. Numărul de treceri și avansul | | | | | | | | | |
|---|---------------------|----------------|-------------------------------|----------------|---|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Adaosul de prelucrare pe o parte a profilului dintelui A_1 , mm până la | Caracterul trecerii | Nr. de treceri | Media de împărțire (divizare) | Nr. De treceri | Avansul pe adâncime pe profilul dintelui la o trecere, s_t , mm/trecere | Lungimea dintelui, mm | | | |
| | | | | | | 6...20 | | 20 și peste | |
| | | | | | | Calitatea suprafeței prelucrate | | | |
| | | | | | | $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ | $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ | $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ | $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ |
| | | | | | | Avansul longitudinal la rulare, mm/rulare | | | |
| 0,15 | D S F | 1 | B U | 1 | 0,08 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | 1 | | 2 | 0,06 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | 1 | | 3 | 0,01 | 1,33 | 1,08 | 1,33 | 1,08 |
| 0,17 | D S F | 1 | B U | 1 | 0,09 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | 1 | | 2 | 0,055 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | 1 | | 3 | 0,015 | 1,33 | 1,08 | 1,33 | 1,08 |
| 0,2 | D | 2 | B U | 1 | 0,08 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | | | 2 | 0,065 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | S F | 1 | | 3 | 0,04 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | | | 4 | 0,015 | 1,33 | 1,08 | 1,33 | 1,08 |
| 0,25 | D | 3 | B U | 1 | 0,07 | 5,8 | 5,8 | 4,7 | 4,7 |
| | | | | 2 | 0,065 | 5,8 | 5,8 | 4,7 | 4,7 |
| | | | | 3 | 0,05 | 5,8 | 5,8 | 4,7 | 4,7 |
| | S F | 1 | | 4 | 0,05 | 5,8 | 5,8 | 4,7 | 4,7 |
| | | | | 5 | 0,035 | 1,33 | 1,08 | 1,33 | 1,08 |
| 0,3 | D | 3 | B U | 1 | 0,09 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | | | 2 | 0,08 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | | | 3 | 0,075 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | S F | 1 | | 4 | 0,04 | 4,7 | 4,7 | 3,75 | 3,75 |
| | | | | 5 | 0,015 | 1,33 | 1,08 | 1,33 | 1,08 |

| 2. Numărul de rulări pe minut | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| Modulul m mm | Diametrul circumferinței de împărțire D_0 , mm, până la: | | | | | | | |
| | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 150 | 200 | Peste 200 |
| | Numărul de rulări n_0 pe minut | | | | | | | |
| Până la 2 | 200 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 | 220 |
| 3 | 184 | 200 | 220 | 244 | 244 | 244 | 220 | 200 |
| 4 | - | 164 | 184 | 220 | 220 | 220 | 220 | 200 |
| 5 | - | - | 164 | 184 | 200 | 200 | 184 | 184 |

Observație. D - degroșare; S - semifinisare; F - finisare; B - bilaterală; U - unilaterală.

Tabelul 8.34. Regimul de aşchiere la rectificarea roţilor dinţate după metoda rulării cu o piatră conică (metoda Nyles)

| | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| 1. Numărul de curse duble pe minut n , a capului de rectificat | | | | | | | |
| Lungimea cursei de lucru $L = l + (5...10)$ mm; l = lungimea dintelui, mm | | | | | | | |
| 20...25 | 26...32 | 33...40 | 41...50 | 51...63 | 64...80 | 81...100 | 101...125 |
| Numărul de curse duble ale capului de rectificat pe minut | | | | | | | |
| 260 | 207 | 167 | 133 | 106 | 84 | 67 | 53 |

Numărul de treceri i , avansul de adâncime al rectificării s , avansul transversal S_B

| Adaosul de prelucrare pe o parte a profilului pe F primitiv | enumirea trecerii | Nr. de treceri | Nr. De treceri | Avansul pe adâncimea rectificată la o cursă dublă a mesei, mm | Avansul transversal la o cursă dublă a capului de rectificat S_B , mm | | | |
|---|-------------------|----------------|----------------|---|---|---------|----------|------|
| | | | | | Diametrul de divizare al roţii D_0 , mm | | | |
| | | | | | 40 | 40...80 | 80...160 | >160 |
| 0,12 | Degroşare | 1 | 1 | 0,07 | 2,7 | 3,4 | 4,3 | 5,4 |
| | Semifinisare | 1 | 2 | 0,03 | 2,7 | 3,4 | 4,3 | 5,4 |
| | Finisare | 1 | 3 | 0,02 | 0,5 | 0,65 | 0,8 | 1,0 |
| 0,15 | Degroşare | 1 | 1 | 0,09 | 2,0 | 2,5 | 3,2 | 4,0 |
| | Semifinisare | 1 | 2 | 0,04 | 2,0 | 2,5 | 3,2 | 4,0 |
| | Finisare | 1 | 3 | 0,02 | 0,5 | 0,65 | 0,8 | 1,0 |
| 0,2 | Degroşare | 2 | 1 | 0,075 | 1,7 | 2,1 | 2,7 | 3,3 |
| | Semifinisare | 2 | 2 | 0,065 | 1,7 | 2,1 | 2,7 | 3,3 |
| | Finisare | 1 | 3 | 0,045 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,4 |
| | | 1 | 4 | 0,015 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,4 |
| 0,25 | Degroşare | 2 | 1 | 0,11 | 2,3 | 2,9 | 3,7 | 4,6 |
| | Semifinisare | 2 | 2 | 0,085 | 2,3 | 2,9 | 3,7 | 4,6 |
| | Finisare | 1 | 3 | 0,04 | 0,5 | 0,65 | 0,8 | 1,0 |
| | | 1 | 4 | 0,015 | 0,5 | 0,65 | 0,8 | 1,0 |
| 0,3 | Degroşare | 3 | 1 | 0,095 | 2,0 | 2,5 | 3,2 | 3,9 |
| | Semifinisare | 3 | 2 | 0,08 | 2,0 | 2,5 | 3,2 | 3,9 |
| | Finisare | 3 | 3 | 0,07 | 0,5 | 0,65 | 0,8 | 1,0 |
| | | 1 | 4 | 0,04 | 0,5 | 0,65 | 0,8 | 1,0 |
| | | 1 | 5 | 0,015 | 0,5 | 0,65 | 0,8 | 1,0 |

3. Avansul transversal la finisare s_B , mm/c.d.

| Modulul m Mm | Numărul de dinţi ai roţii z | | | | |
|---|-------------------------------|------|-----|-----|-----|
| | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Avansul transversal la trecerile de finisare S_B , mm | | | | | |
| 1 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| 2 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | - | - |
| 3 | 0,6 | 0,6 | - | - | - |
| 4 | 0,7 | 0,7 | - | - | - |
| 5 | 0,85 | - | - | - | - |

4. Numărul de curse duble ale mesei

| Viteza de mișcare a mesei v_p , m/min | Lungimea cursei de lucru L , mm | | | | | | | |
|---|---|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 40 | 50 | 64 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| | Numărul de curse duble pe minut n , ale mesei | | | | | | | |
| 5,0 | 63 | 50 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 | 13 |
| 6,3 | 80 | 63 | 50 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 |
| 8,0 | 100 | 80 | 63 | 50 | 40 | 32 | 25 | 20 |
| 10,0 | 125 | 100 | 80 | 63 | 50 | 40 | 22 | 25 |
| 12,5 | 156 | 125 | 100 | 80 | 63 | 50 | 40 | 32 |

Observație. În tabel $L = \sqrt[4]{D_a^3 - H^3} + 10 \text{ mm}$, unde: l este lungimea dintelui, mm; H – înălțimea dintelui, mm; D_a – diametrul pietrei abrazive, mm.

Tabelul 8.35. Vitezele tangențiale ale șeverului-roată la șeveruirea roților dințate cilindrice

| Materialul roții de prelucrat | Oțeluri cu R_m , daN/ mm ² | | | | Fonte cu HB | | |
|---------------------------------------|---|---------|---------|---------|-------------|-----------|-----------|
| | 37...50 | 51...59 | 60...62 | 63...70 | 160...200 | 201...250 | 251...300 |
| Viteza tangențială a sculei v m/min | 150 | 140 | 130 | 80 | 90 | 75 | 60 |

Întrucât la mortezarea danturilor cu cuțit pieptene nu există date, viteza de așchiere se poate calcula analitic prin relația

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot S^{x_y} \cdot m^{y_y}} [m/min],$$

în care: C_v este o constantă în care se ține cont de materialul prelucrat și felul prelucrării conform tabelului 8.36; T – durabilitatea sculei, în min conform tabelului 5,3; s – avansul, în mm/c.d. conform tabelului 8.9; m – modelul danturii, în mm; m_y , x_y , și y_y – exponenți determinați experimental care depind de condițiile de așchiere conform tabelului 8.36.

Tabelul 8.36. Coeficient de exponenți pentru calculul vitezei de așchiere la mortezarea danturilor cu cuțit-pieptene R_p3 sau R_p4

| Materialul de prelucrat | Felul prelucrării | C_v | m_v | x_v | y_v |
|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Oțeluri cu $R_m = 65 \text{ daN/mm}^2$ | Degroșare | 34 | 0,2 | 0,5 | 0,3 |
| | Finisare | 63 | 0,3 | 0,5 | 0 |
| Fonte cenușii cu $HB = 180$ | Degroșare | 38 | 0,2 | 0,5 | 0,15 |
| | Finisare | 80 | 0,3 | 0,5 | 0 |

Observație. Pentru alte materiale, constanta C_v se va corecta în funcție de R_m sau HB cu coeficientul de corecție din tabelul 8.37.

Tabelul 8.37. Coeficienți de corecție pentru viteza de așchiere în funcție de caracteristicile mecanice ale materialului așchiat

| | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Oțel cu R_m , daN/mm ² | 50...60 | 60...70 | 70...80 | 80...90 | 90...100 | 100...110 |
| Coeficientul k_v | 1,15 | 1,0 | 0,87 | 0,75 | 0,68 | 0,62 |
| Fontă cu HB | 140...160 | 160...180 | 180...200 | 200...220 | 220...240 | 240...260 |
| Coeficientul k_v | 1,23 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,83 | 0,76 |

După determinarea vitezei de așchiere se calculează numărul de curse duble pe minut prin relația:

$$n_{cd} = 500 v/L \text{ [c.d./min]}, \quad (8.2)$$

în care L reprezintă lungimea cursei sculei, în mm, care este mai mare decât lățimea roții de danturat.

În tabelele 8.38...8.40 sunt date caracteristicile tehnice ale diferitelor mașini de danturat roți dințate. În acest capitol nu sunt prezentate mașinile universale pe care se pot prelucra dantura prin copiere, deoarece acestea au fost prezentate în lucrarea [21].

Tabelul 8.38. Caracteristici ale mașinii de danturat roți dințate cilindrice cu freză melc, P6-30 Pfauter

| | |
|---|------------------------|
| Modulul roții dințate de prelucrare, mm | 1...8 |
| Diametrul maxim al frezei, mm | 195 |
| Turația frezei (cu regim reglare continuă), rot/min | 62...390 |
| Avansul radial (cu reglare continuă), mm/rot | 0,1...1,75 |
| Avansul axial (cu reglare continuă), mm/rot | 0,13...2,28 |
| Alezajul frezei utilizate, mm | 22; 27; 32; 40; 50; 60 |

Tabelul 8.39. Caracteristici tehnice principale ale mașinii de mortezat dantură tip Saratov 512

| Puterea, kW | Numărul de curse duble pe minut ale saniei | Avansul de rulare, mm/cursă dublă |
|-------------|--|--|
| 1,3 | 230; 311; 390; 500 | 0,1; 0,12; 0,15; 0,18; 0,2; 0,22; 0,25; 0,33; 0,38 |

Tabelul 8.40. Caracteristici tehnice principale ale mașinilor de rabotat dantura la roțile conice de tip Heindereich-Harbec

| Tipul mașinii | Lungimea cursei cuțitelor, mm | Numărul de curse duble pe minut ale cuțitelor |
|---------------|-------------------------------|---|
| KN 25 | 20...80 | 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300 |
| KN 50 | 20...100 | 37; 48; 62; 84; 102; 135; 175; 230 |
| KN 75 | 40...180 | 19; 27; 35; 48; 68; 100; 124; 171 |

9. NORMAREA TEHNICĂ

9.1. Noțiuni generale

Norma tehnică de timp este durată necesară pentru executarea unei operații în condiții tehnico-organizatorice determinate și cu folosirea cea mai rațională a tuturor mijloacelor de producție.

Norma tehnică de timp se poate stabili în principal prin trei metode: prin calcul analitic, statistic și comparativ.

Prima metodă este o metodă științifică, pe baza ei putându-se stabili norma tehnică de timp foarte precis datorită calculului timpului fiecărui element al operației.

Stabilirea normei tehnice de timp pe cale statistică nu presupune calculul timpului pe elemente componente ale operației. Norma tehnică de timp se determină pe baza timpului mediu, stabilit statistic, consumat pentru executarea unor operații.

Prin cea de a treia metodă (comparativă), norma tehnică de timp se stabilește prin interpolare. Operația considerată se compară cu o operație similară prin procesul tehnologic al unei piese asemănătoare, dar de dimensiuni diferite, pentru care există norma tehnică de timp calculată analitic.

9.2. Structura normei tehnice de timp

În norma tehnică de timp intră o sumă de timpi, astfel:

$$N_t = t_b + t_a + t_{dt} + t_{do} + t_{on} + t_{pi} / n \text{ [min]}, \quad (9.1)$$

în care: N_t este norma tehnică de timp pe operație, în min; t_b - timpul de bază (de mașină), în min; t_{dt} - timpul de deservire tehnică, în min; t_{do} - timpul de deservire organizatorică, în min; t_{on} - timpul de odihnă și necesități firești, în min; t_{pi} - timpul de pregătire-încheiere, în min/lot; n - lotul de piese care se prelucurează la aceeași mașină în mod continuu.

Suma dintre timpul de bază și timpul auxiliar se mai numește și timp efectiv sau operativ:

$$t_e = t_b + t_a \text{ [min]}. \quad (9.2)$$

Suma dintre timpul efectiv, timpii de deservire și timpul de odihnă și necesități firești formează timpul unitar:

$$t_u = t_e + t_{dt} + t_{do} + t_{om} \text{ [min]}. \quad (9.3)$$

De aceea, relația normei tehnice de timp se mai poate scrie:

$$N_t = t_u + t_{pi} / n. \quad (9.4)$$

Timpul de bază t_b , este timpul în care are loc modificarea stării semifabricatului, adică modificarea formei, dimensiunilor, proprietăților fizico-mecanice etc. Relația generală de calcul a timpului de bază este:

$$t_b = (l_c / v_s) i \text{ [min]}, \quad (9.5)$$

în care: l_c este lungimea de calcul, în mm; v_s - viteza de avans, în mm/min; i - numărul de treceri.

Lungimea de calcul se determină prin relația generală:

$$l_c = l_1 + l_p + l_2 \text{ [mm]}, \quad (9.6)$$

în care: l_p este lungimea suprafeței prelucrate, în mm; l_1 - lungimea de intrare (angajare) a sculei în material, în

mm; l_2 - lungimea de ieșire a sculei din material, în mm. Valorile pentru l_1 și l_2 se aleg din tabelele 9.12...9.16.

Timpul auxiliar t_a este timpul rezervat pentru prinderea și desprinderea semifabricatului; pornirea și oprirea mașinii-unelte; apropierea și îndepărtarea sculei sau a piesei; pornirea și oprirea sistemului de răcire-ungere; măsurarea sau controlul periodic al dimensiunilor. Timpul de deservire tehnică t_{dt} este timpul necesar pentru schimbarea sculelor, fie a celor uzate, fie din necesități tehnologice; reglarea sculelor la cotă; reglarea de compensare; ascuțirea sculelor uzate atunci când aceasta se realizează de muncitorul care prelucrează piesa respectivă, mai ales în cazul producției de serie mică și unicate.

Timpul de deservire tehnică se dă în normative prin procente k_1 % din timpul de bază:

$$t_{dt} = (k_1 / 100) t_b \text{ [min]}. \quad (9.7)$$

Timpul de deservire organizatorică t_{do} este timpul rezervat pentru curățirea și ungerea utilajului; așezarea și curățirea sculelor la începutul și sfârșitul zilei de lucru; îndepărtarea așchiilor.

Timpul de deservire organizatorică se dă în procente, k_2 % din timpul efectiv:

$$t_{dt} = (k_2 / 100) t_e \text{ [min]}. \quad (9.8)$$

Timpul de odihnă și necesități firești t_{on} este rezervat odihnei fiziologice și necesităților firești. Acest timp se dă tot în procente, k_3 % din timpul efectiv:

$$t_{dt} = (k_3 / 100) t_e \text{ [min]}. \quad (9.9)$$

Timpul de pregătire-încheiere, t_{pi} , este timpul necesar pentru primirea desenelor și a instrucțiunilor de lucru; primirea dispozitivelor, sculelor și a semifabricatelor; prinderea dispozitivelor și a sculelor pe mașina-unealtă; reglarea inițială; desprinderea dispozitivelor, sculelor și predarea lor (în cadrul sculării); predarea lucrului executat și a restului de materiale.

Timpul de pregătire-încheiere se acordă odată pentru întregul lot de piese, la începutul schimbului. Acest timp se alege direct din tabelele normative, în funcție de mașina-unealtă pe care se lucrează și numărul de scule utilizate.

Restul timpilor prezentați se acordă pentru fiecare piesă din lot.

9.3. Metode de analiză a normei tehnice de timp

Normele tehnice de timp trebuie să fie reale, să se poată aplica practic în condițiile de muncă impuse, să asigure o productivitate înaltă a muncii și o calitate corespunzătoare a produselor.

Normele tehnice de timp trebuie determinate cu precizie mai mare pentru producțiile de serie mare și masă.

Analiza și determinarea consumului de timp se poate face în principal prin fotografierea zilei de lucru și cronometrare.

Datele obținute servesc apoi pentru stabilirea normelor tehnice de timp, prin metodele menționate la începutul capitolului: de calcul analitic, statistic și comparativ.

Prin fotografierea zilei de lucru se urmărește consumul de timp într-o anumită perioadă. Aceasta se poate realiza pentru un schimb, pentru o parte din schimb, asupra unui muncitor sau a unui grup de muncitori, pentru un utilaj sau mai multe utilaje. Se urmăresc: încărcarea utilajului, felul în care este consumat timpul de lucru de către muncitor, deficiențele de ordin tehnic și organizatoric care apar.

Se constată și se consemnează: timpul real de lucru, pierderile de timp, timpul de oprire a utilajului, timpul de pregătire-încheiere, timpii de deservire.

În vederea realizării fotografierii zilei de lucru se pregătesc niște fișe de observații, se anunță muncitorii și maistrul. Este necesar ca fotografierea zilei de lucru să se facă la începutul schimbului, cât și la sfârșitul acestuia, atunci când nu se realizează pe întreg schimbul.

Notările din fișe trebuie să permită determinarea timpului de execuție a fiecărei piese. Când acest timp este prea mic, se determină timpul necesar execuției a 5...10 piese.

Se scot în evidență timpii suprapuși cu timpul de bază. În final, se face o analiză globală a tuturor timpilor urmăriți, stabilindu-se procente pentru fiecare element component al normei tehnice de timp.

Cronometrarea are ca scop o studiere mai aprofundată a elementelor componente ale timpului necesar pentru executarea unei operații sau numai a unei părți a operației. Observațiile se fac pentru timpii care se repetă ciclic. Se studiază metodele de lucru ale frunzașilor în producție. Se stabilesc norme pentru timpii de bază și auxiliari. Se întocmesc normative și se verifică ulterior exactitatea acestora în raport cu altele existente.

Pentru stabilirea normelor de timp prin cronometrare sunt parcurse următoarele etape:

- analizarea operației, din punct de vedere al structurii pe faze, treceri, a regimurilor de așchiere;
- descompunerea fazelor operației în mișcări și mânuiri;
- cronometrarea tuturor timpilor;
- studierea corectitudinii mișcărilor executate de către muncitor;
- studierea rezultatelor cronometrării;
- stabilirea normei tehnice de timp pentru operația cronometrată;
- stabilirea tabelor normative cu luarea în considerare a mișcărilor care se repetă pentru alte cazuri de prelucrări.

Cronometrarea trebuie realizată asupra unui muncitor cu pregătire profesională medie și în niște condiții tehnico-organizatorice și de mediu optime, referitor la încălzire, iluminat, ordine, curățenie, aprovizionarea cu semifabricate, cu scule etc.

Cronometrarea trebuie efectuată după 1.5...2 ore de la începutul schimbului și să se termine cu 1,5...2 ore înainte de sfârșitul schimbului. Pentru durate mai mici de un minut se fac 30...50 cronometrări, iar pentru durate între 1 și 10 minute 1...30 cronometrări. Se procedează apoi la media aritmetică a rezultatelor obținute.

Pentru mișcările rapide se poate utiliza filmarea pentru a se putea studia mai bine toate mișcările.

9.4. Normarea tehnică în cazul producțiilor de serie mică și unicate

În cazul producțiilor de serie mică și unicate, pentru sporirea operativității s-au întocmit tabele normative pentru alegerea directă a timpului unitar și a timpului de pregătire-încheiere. Acești timpii pentru danturarea roților cilindrice și conice sunt incluși în tabelele 9.1...9.7.

După ce se aleg acești timpii, se aplică relația (9.4) și se obține norma tehnică de timp la danturare. Pentru clarificarea modului de utilizare a tabelor, în capitolul 8 sunt citate mai multe exemple de normare a prelucrărilor prin diverse procedee de danturare.

Tabelul 9.1. Timpuri unitare și de pregătire-încheiere pentru danturarea cu freză-disc modul (fig. 9.1)

| Lungimea danturii, L, mm | Modulul | Diametrul exterior al roții, D, mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | |
| | | Timp unitar t _u , min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1 | 63,5 | 67 | 70,5 | 70 | 77,5 | 81 | 84,5 | 74 | 80 | 85 | 90 | 96 | 101 | 107 | 112 | 119 | 125 | 132 | 144 | 151 | 158 | 166 | 174 |
| | 2 | 57 | 59 | 61 | 63 | 64,3 | 66,5 | 68,5 | 70 | 74 | 80 | 84 | 89 | 94 | 99 | 103 | 109 | 114 | 120 | 124 | 129 | 134 | 139 | 144 |
| | 3 | - | 57 | 58,5 | 60 | 62 | 63 | 65 | 68 | 72 | 77 | 81 | 86 | 90 | 95 | 98 | 105 | 109 | 114 | 118 | 124 | 125 | 133 | 142 |
| | 4 | - | - | 57 | 59 | 60 | 62 | 63 | 66 | 76 | 75 | 79 | 84 | 88 | 93 | 97 | 102 | 106 | 110 | 114 | 120 | 124 | 128 | 136 |
| | 5 | - | - | - | 58 | 59 | 60,5 | 62 | 64 | 69 | 73 | 77 | 81 | 86 | 91 | 95 | 99 | 103 | 108 | 111 | 117 | 122 | 125 | 133 |
| | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 76 | 80 | 84 | 89 | 93 | 97 | 101 | 106 | 110 | 115 | 119 | 124 | 132 |
| | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 20 | 1 | 65,5 | 69,5 | 73,5 | 77,5 | 81,3 | 85,5 | 89,5 | 77 | 83 | 89 | 95 | 101 | 107 | 113 | 119 | 125 | 132 | 144 | 151 | 158 | 166 | 174 |
| 2 | | 58 | 60 | 62,9 | 65 | 67 | 69 | 71,5 | 72 | 77 | 83 | 88 | 93 | 99 | 104 | 109 | 114 | 120 | 125 | 131 | 136 | 142 | 148 | 154 |
| 3 | | - | 58 | 50,5 | 62 | 63,5 | 65 | 67 | 70 | 75 | 80 | 85 | 89 | 94 | 100 | 105 | 110 | 115 | 120 | 125 | 130 | 136 | 142 | 148 |
| 4 | | - | - | 58,5 | 60,5 | 61,5 | 63,5 | 65 | 68 | 73 | 77 | 82 | 87 | 92 | 97 | 101 | 106 | 111 | 116 | 120 | 125 | 131 | 136 | 142 |
| 5 | | - | - | - | 51,5 | 60,5 | 62 | 64 | 66 | 71 | 75 | 80 | 85 | 89 | 94 | 98 | 103 | 108 | 113 | 117 | 123 | 129 | 133 | 139 |
| 6 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 79 | 83 | 87 | 92 | 96 | 101 | 105 | 110 | 115 | 120 | 126 | 130 | 136 |
| 8 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 30 | | 1 | 67 | 75 | 76 | 81 | 85 | 89 | 94 | 80 | 87 | 99 | 100 | 106 | 113 | 119 | 126 | 133 | 140 | 151 | 158 | 166 | 174 | 182 |
| | 2 | 59 | 61,5 | 64 | 66,5 | 69 | 71,5 | 74 | 75 | 80 | 86 | 91 | 97 | 103 | 108 | 114 | 121 | 126 | 132 | 139 | 144 | 150 | 158 | 166 |
| | 3 | - | 59 | 61 | 63,5 | 65 | 67 | 69,5 | 73 | 77 | 83 | 88 | 94 | 99 | 104 | 109 | 115 | 120 | 127 | 132 | 137 | 143 | 150 | 158 |
| | 4 | - | - | 59 | 62 | 63 | 65,5 | 67 | 70 | 75 | 80 | 85 | 91 | 94 | 100 | 105 | 111 | 116 | 121 | 126 | 133 | 138 | 143 | 150 |
| | 5 | - | - | - | 60,5 | 62 | 63,5 | 65,5 | 68 | 73 | 78 | 82 | 88 | 91 | 98 | 103 | 108 | 113 | 119 | 124 | 130 | 135 | 140 | 147 |
| | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 80 | 86 | 89 | 95 | 101 | 105 | 110 | 116 | 122 | 127 | 133 | 138 | 144 |
| | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 40 | 1 | 69 | 77 | 80 | 84 | 89 | 94 | 99 | 84 | 90 | 97 | 104 | 111 | 117 | 126 | 133 | 140 | 149 | 158 | 166 | 174 | 182 | 190 |
| 2 | | 60 | 63 | 65,5 | 68,5 | 71 | 74 | 77 | 77 | 83 | 89 | 95 | 101 | 106 | 114 | 119 | 126 | 132 | 138 | 146 | 152 | 158 | 166 | 174 |
| 3 | | - | 60 | 62 | 65 | 67 | 69 | 71,5 | 75 | 80 | 85 | 91 | 98 | 102 | 109 | 114 | 121 | 126 | 133 | 139 | 146 | 150 | 158 | 166 |
| 4 | | - | - | 61 | 63 | 65 | 67 | 69 | 73 | 78 | 83 | 88 | 95 | 100 | 104 | 110 | 116 | 122 | 127 | 133 | 139 | 145 | 150 | 158 |
| 5 | | - | - | - | 62 | 63,5 | 65 | 67,5 | 70 | 75 | 81 | 86 | 92 | 96 | 102 | 107 | 114 | 119 | 125 | 130 | 135 | 141 | 147 | 154 |
| 6 | | - | - | - | - | - | - | - | - | 75 | 81 | 86 | 92 | 96 | 102 | 107 | 114 | 119 | 125 | 130 | 135 | 141 | 147 | 154 |
| 8 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 84 | 89 | 94 | 98 | 104 | 110 | 116 | 121 | 127 | 132 | 139 | 143 | 150 |

Tabloul 9.2. Timpi unitari și de pregătire încheiere pentru danturare cu freză-melc modul

| Lungimea danturii, L, mm | Modul lul | Diametrul exterior al roții, D, mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | |
| 10 | 1 | 22 | 31,5 | 35 | 38 | 41,5 | 45 | 48 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | 2 | 22 | 23,5 | 25,5 | 27 | 29 | 30,5 | 32,5 | 34 | 36 | 43,5 | 39,5 | 41 | 43 | 44,5 | 44,5 | 44,5 | 44,5 | 44,5 | 44,5 | 44,5 | 44,5 | 44,5 | |
| | 3 | - | 22,5 | 24 | 25,5 | 27 | 28,5 | 29,5 | 31 | 32 | 33,5 | 38,5 | 36,5 | 38 | 39,5 | 40 | 41,5 | 43 | 44,5 | 46 | 47,5 | 49 | 50,5 | 52 |
| | 4 | - | - | 23,5 | 25 | 26,5 | 28 | 29,5 | 31 | 32,5 | 35 | 36,5 | 37 | 38,5 | 40 | 41,5 | 43 | 44,5 | 46 | 47,5 | 49 | 50,5 | 52 | 53,5 |
| | 4 | - | - | - | 26 | 27,5 | 29,5 | 31 | 32,5 | 34 | 34 | 37,5 | 39 | 40,5 | 42 | 44 | 45,5 | 47 | 48,5 | 50 | 52 | 53,5 | 55 | 55 |
| | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | 41,5 | 44 | 35,5 | 48 | 51 | 53,5 | 56 | 58,5 | 61 | 63 | 65,5 | 68 | 70,5 | 73 | 75 |
| | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 46 | 44 | 46,5 | 48 | 51 | 53 | 55 | 57,5 | 58,5 | 61,5 | 63,5 | 66 | 68 |
| | 20 | 1 | 23,5 | 38 | 42,5 | 47 | 52 | 56,5 | 61 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 24,5 | 27 | 29,5 | 32 | 34,5 | 37 | 39 | 41,5 | 44 | 46,5 | 49 | 51,5 | 54 | 56 | 59 | 61 | 63,5 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | - | 25 | 27 | 29 | 31,5 | 33,5 | 35,5 | 37,5 | 39,5 | 41,5 | 43,9 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | 62,5 | 64,5 | 66,5 | 66,5 | |
| 4 | - | - | 25 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 37,5 | 39,5 | 41,5 | 43,5 | 45,5 | 47,5 | 49 | 51 | 53 | 55 | 57 | 59 | 60,5 | 62,5 | 62,5 | |
| 5 | - | - | - | 29 | 31 | 33 | 35 | 37 | 39 | 41 | 43 | 45 | 47 | 49 | 51 | 53 | 55 | 57 | 59,5 | 61,5 | 63,5 | 65,5 | 65,5 | |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | 47,5 | 50,5 | 53,5 | 56,5 | 59,5 | 62,5 | 65,5 | 68,5 | 71,5 | 74,5 | 77,5 | 80,5 | 83 | 86 | 88 | 88 | |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 50,5 | 53 | 55,5 | 58 | 60,5 | 63 | 65,5 | 68 | 71 | 73,5 | 76 | 78,5 | 78,5 | |
| 30 | 1 | 38,5 | 44,5 | 50,5 | 56,5 | 62,5 | 68,5 | 74 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 2 | 27,5 | 30,5 | 33,5 | 38,5 | 40 | 43 | 46 | 49 | 52,5 | 55,5 | 58,5 | 61,5 | 65 | 68 | 71 | 74,5 | 77,5 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | - | 27,5 | 30 | 33 | 35,5 | 38 | 40,5 | 43 | 45,5 | 48,5 | 51 | 53,5 | 56 | 58,5 | 61 | 64 | 66,5 | 69 | 71,5 | 74 | 76,5 | 79 | 79 | |
| 4 | - | - | 29 | 31 | 33,5 | 36 | 38 | 40,5 | 43 | 45 | 47,5 | 50 | 52 | 54,5 | 57 | 59 | 61,5 | 64 | 66,5 | 68,5 | 71 | 73,5 | 73,5 | |
| 5 | - | - | - | 32 | 34 | 36,5 | 39 | 41,5 | 44 | 46,5 | 49 | 51 | 53,5 | 56 | 58,5 | 61 | 63,5 | 66 | 68,5 | 70,5 | 73 | 78 | 78 | |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | 53,5 | 57 | 60,5 | 64 | 68 | 71,5 | 75 | 78,5 | 82 | 85,5 | 89 | 92,5 | 96 | 99,6 | 103 | 103 | |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 56 | 59 | 62 | 65 | 68 | 71 | 74 | 77 | 80 | 83 | 86 | 88 | 88 | |
| 40 | 1 | 43,5 | 51 | 58 | 65,5 | 72,5 | 80 | 87 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 2 | 30 | 34 | 37,5 | 41,5 | 45,5 | 49 | 53 | 57 | 60,5 | 64,5 | 68 | 71 | 76 | 79,5 | 83,5 | 87,5 | 91 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | - | 30 | 33,5 | 36,5 | 39,5 | 42,5 | 45,5 | 49 | 52 | 55 | 58 | 61 | 64 | 67,5 | 70,5 | 73,5 | 76,5 | 78,5 | 83 | 86 | 89 | 92 | 92 | |
| 4 | - | - | 32,5 | 34 | 37 | 39,5 | 42,5 | 45 | 48 | 51 | 53,5 | 56,5 | 59 | 62 | 64,5 | 67,5 | 70 | 73 | 75,5 | 78,5 | 81 | 89 | 89 | |
| 5 | - | - | - | 34,5 | 37,5 | 40,5 | 43 | 46 | 49 | 51,5 | 54,5 | 57,5 | 60 | 63 | 66 | 69 | 71,5 | 74,5 | 77,5 | 80 | 83 | 86 | 86 | |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | 59,5 | 64 | 68 | 72 | 76 | 80 | 84,5 | 88,5 | 92,5 | 96,5 | 100,5 | 104,5 | 109 | 113 | 117 | 117 | |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 62 | 65 | 69 | 72 | 75,5 | 79 | 82,5 | 88,5 | 89 | 92,5 | 96 | 99 | 99 | |
| 60 | 1 | 54 | 64 | 74 | 83,5 | 93,5 | 103,5 | 113,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 2 | 35,5 | 40,5 | 46 | 51 | 56,5 | 61,5 | 66,5 | 72 | 77 | 82,5 | 87,5 | 92,5 | 98 | 103 | 113,5 | 118,5 | - | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | - | 35,5 | 39,5 | 43,5 | 47,5 | 52 | 56 | 60 | 64 | 68,5 | 72,5 | 76,5 | 80,5 | 85 | 93 | 97 | 101 | 109,5 | 105,5 | 109,5 | 113,5 | 117,5 | 117,5 | |
| 4 | - | - | 36,6 | 40 | 43,5 | 47,5 | 51 | 54,5 | 58 | 62 | 65,5 | 69 | 72,5 | 80 | 83,5 | 87 | 91 | 95 | 95 | 98 | 101,5 | 105,5 | 105,5 | |
| 5 | - | - | - | 40,5 | 44 | 47,5 | 51,5 | 55 | 58,5 | 62,5 | 66 | 69,5 | 73,5 | 80,5 | 84,5 | 88 | 91,5 | 99 | 95,5 | 99 | 102,5 | 106,5 | 106,5 | |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | 72 | 77 | 82,5 | 87,5 | 93 | 98 | 108,5 | 113,5 | 119 | 124 | 134,5 | 128 | 134,5 | 139,6 | 145 | 145 | |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 73,5 | 78 | 82 | 90,5 | 95 | 98 | 103 | 111,5 | 107 | 111,5 | 118 | 120 | 120 | |
| 80 | 1 | 64,5 | 77 | 89,5 | 102 | 114,5 | 127 | 139,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 2 | 41 | 47,5 | 54 | 60,5 | 67,5 | 74 | 80,5 | 87 | 93,5 | 100 | 106,5 | 113 | 120 | 126,5 | 133 | 139,5 | 146 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | - | 40,5 | 46,5 | 51 | 56 | 61 | 66 | 71,5 | 76,5 | 81,5 | 87 | 92 | 97 | 102 | 107,5 | 112,5 | 117,5 | 123 | 128 | 133 | 138 | 143,5 | 143,5 | |
| 4 | - | - | 41,5 | 46 | 50,5 | 55 | 59,5 | 64 | 68,4 | 73 | 77,5 | 82 | 86,5 | 91 | 95,5 | 100 | 104,5 | 109 | 113,5 | 118 | 122 | 126,5 | 126,5 | |
| 5 | - | - | - | 46 | 50,5 | 55 | 59,5 | 64 | 68,5 | 73 | 77,5 | 82 | 86,5 | 91 | 95,5 | 100 | 104,5 | 109 | 113,5 | 118 | 122,5 | 127 | 127 | |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | 84 | 90,5 | 97 | 103 | 109,5 | 115,5 | 122 | 128,5 | 134 | 141 | 147,5 | 153,5 | 160 | 165 | 172,5 | 172,5 | |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 85,5 | 90,5 | 95,5 | 100,5 | 105,5 | 110,5 | 115,5 | 120,5 | 126 | 131 | 136 | 141 | 141 | |
| 100 | 1 | 75 | 90 | 105 | 120,5 | 135,5 | 150,5 | 165,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| 2 | 46,5 | 54,5 | 62,5 | 70,5 | 78,5 | 86 | 94 | 102 | 110 | 118 | 126 | 134 | 142 | 149,5 | 157,5 | 165,5 | 173,5 | - | - | - | - | - | - | |
| 3 | - | 45,5 | 52 | 58 | 64 | 70,5 | 78,5 | 82,5 | 89 | 95 | 101 | 107,5 | 113,5 | 119,5 | 126 | 132 | 138 | 144,5 | 150,5 | 156,5 | 163 | 169 | 169 | |
| 4 | - | - | 47 | 52 | 57,5 | 63 | 68 | 73,5 | 79 | 84 | 89,5 | 95 | 100 | 105,5 | 111 | 116 | 121,5 | 127 | 132 | 137,5 | 143 | 148 | 148 | |
| 5 | - | - | - | 52 | 57 | 62,5 | 68 | 73 | 78,5 | 83,5 | 89 | 94,5 | 99,5 | 105 | 110,5 | 115,5 | 121 | 126 | 131,5 | 137 | 142 | 147,5 | 147,5 | |
| 6 | - | - | - | - | - | - | - | 96,5 | 104 | 111 | 118,5 | 126 | 133,5 | 141 | 148,5 | 156 | 163 | 170,5 | 178 | 185,5 | 193 | 200 | 200 | |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 97 | 103 | 109 | 114,5 | 120,5 | 126,5 | 132,5 | 138 | 144 | 150 | 156 | 161,5 | 161,5 | |
| Timp de pregătire-încheiere t _{in} , min | | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelul 9.2 (continuare)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|----------|------|---|---|
| 60 | 1 | 54 | 64 | 74 | 83,5 | 93,5 | 103,5 | 113, | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | 2 | 35,5 | 40,5 | 46 | 51 | 56,5 | 61,5 | 66,5 | 72 | 77 | 82,5 | 87,5 | 92,5 | 98 | 103 | 108 | 113, | 118, | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | - | 35,5 | 39,5 | 43,5 | 47,5 | 52 | 56 | 60 | 64 | 68,5 | 72,5 | 76,5 | 80,5 | 85 | 89 | 93 | 97 | 101 | 105, | 109, | 113,5 | 117, | - | - |
| | 4 | - | - | 36,6 | 40 | 43,5 | 47,5 | 51 | 54,5 | 58 | 62 | 65,5 | 69 | 72,5 | 78,5 | 80 | 83,5 | 87 | 91 | 95 | 98 | 101,5 | 105, | - | - |
| | 5 | - | - | - | 40,5 | 44 | 47,5 | 51,5 | 55 | 58,5 | 62,5 | 66 | 69,5 | 73,5 | 77 | 80,5 | 84,5 | 88 | 91,5 | 95,5 | 99 | 102,5 | 106, | - | - |
| | 6 | - | - | - | - | - | - | - | 72 | 77 | 82,5 | 87,5 | 93 | 98 | 103 | 108, | 113, | 119 | 124 | 128 | 134, | 139,6 | 145 | - | - |
| | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 73,5 | 78 | 82 | 86,6 | 90,5 | 95 | 98 | 103 | 107 | 111,5 | 118 | 120 | - | - |
| | 80 | 1 | 64,5 | 77 | 89,5 | 102 | 114, | 127 | 139, | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | | 41 | 47,5 | 54 | 60,5 | 67,5 | 74 | 80,5 | 87 | 93,5 | 100 | 106, | 113 | 120 | 126, | 133 | 139, | 146 | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | | - | 40,5 | 46,5 | 51 | 56 | 61 | 66 | 71,5 | 76,5 | 81,5 | 87 | 92 | 97 | 102 | 107, | 112, | 117, | 123 | 128 | 133 | 138 | 143, | - | - |
| 4 | | - | - | 41,5 | 46 | 50,5 | 55 | 59,5 | 64 | 68,4 | 73 | 77,5 | 82 | 86,5 | 91 | 95,5 | 100 | 104, | 109 | 113, | 118 | 122 | 126, | - | - |
| 5 | | - | - | - | 46 | 50,5 | 55 | 59,5 | 64 | 68,5 | 73 | 77,5 | 82 | 86,5 | 91 | 95,5 | 100 | 104, | 109 | 113, | 118 | 122,5 | 127 | - | - |
| 6 | | - | - | - | - | - | - | - | 84 | 90,5 | 97 | 103 | 109, | 115, | 122 | 128, | 134 | 141 | 147, | 153, | 160 | 165 | 172, | - | - |
| 8 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 85,5 | 90,5 | 95,5 | 100, | 105, | 110, | 115, | 120, | 126 | 131 | 136 | 141 | - | - |
| 100 | | 1 | 75 | 90 | 105 | 120, | 135, | 150, | 165, | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 46,5 | 54,5 | 62,5 | 70,5 | 78,5 | 86 | 94 | 102 | 110 | 118 | 126 | 134 | 142 | 149, | 157, | 165,5 | 173, | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | - | 45,5 | 52 | 58 | 64 | 70,5 | 78,5 | 82,5 | 89 | 95 | 101 | 107, | 113, | 119, | 126 | 132 | 138 | 144, | 150, | 156, | 163 | 169 | - | - |
| | 4 | - | - | 47 | 52 | 57,5 | 63 | 68 | 73,5 | 79 | 84 | 89,5 | 95 | 100 | 105, | 111 | 116 | 121, | 127 | 132 | 137, | 143 | 148 | - | - |
| | 5 | - | - | - | 52 | 57 | 62,5 | 68 | 73 | 78,5 | 83,5 | 89 | 94,5 | 99,5 | 105 | 110, | 115, | 121 | 126 | 131, | 137 | 142 | 147, | - | - |
| | 6 | - | - | - | - | - | - | - | 96,5 | 104 | 111 | 118, | 126 | 133, | 141 | 148, | 156 | 163 | 170, | 178 | 185, | 193 | 200 | - | - |
| | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 97 | 103 | 109 | 114, | 120, | 126, | 132, | 138 | 144 | 150 | 156 | 161, | - | - |
| | Timp de pregătire-închetera | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 45 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | łpi, min | | | |

Observație. Coeficienții de corecție sunt dați la pagina următoare.

Tabelul 9.4. Timpii unitari și timpii de pregătire-încheiere pentru danturarea prin rabotare (fig. 9.3)

| Lungimea danturii L, mm, până la: | Rădăcina danturii r, mm | Numărul de dinți z până la: | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| | | Timpii unitari t_p , min | | | | | | | | | |
| 25 | 1 | 91 | 100 | 109 | 117 | 126 | 134 | 144 | 152 | 161 | 170 |
| | 1,5 | 93 | 103 | 115 | 125 | 135 | 145 | 157 | 168 | 178 | 189 |
| | 2 | 95 | 107 | 121 | 133 | 145 | 157 | 170 | 183 | 195 | 208 |
| | 2,5 | 97 | 111 | 126 | 140 | 155 | 169 | 184 | 198 | 212 | 227 |
| | 3 | 99 | 115 | 132 | 148 | 164 | 180 | 197 | 213 | 229 | 246 |
| 45 | 4 | 103 | 123 | 144 | 163 | 183 | 203 | 224 | 243 | 263 | 284 |
| | 4,5 | 105 | 127 | 150 | 171 | 193 | 214 | 237 | 259 | 280 | 303 |
| | 1 | 92 | 101 | 111 | 120 | 129 | 139 | 149 | 158 | 167 | 177 |
| | 1,5 | 94 | 106 | 118 | 129 | 141 | 152 | 165 | 176 | 187 | 200 |
| | 2 | 97 | 110 | 125 | 139 | 152 | 166 | 180 | 194 | 208 | 222 |
| 75 | 2,5 | 99 | 115 | 132 | 148 | 164 | 179 | 196 | 212 | 228 | 241 |
| | 3 | 101 | 120 | 139 | 157 | 175 | 193 | 212 | 230 | 248 | 268 |
| | 4 | 106 | 129 | 152 | 175 | 198 | 220 | 244 | 266 | 289 | 312 |
| | 4,5 | 109 | 133 | 159 | 184 | 209 | 234 | 259 | 284 | 309 | 335 |
| | 1 | 94 | 105 | 106 | 128 | 139 | 150 | 162 | 173 | 184 | 196 |
| Timpul de pregătire-încheiere t_{pi} , min | 1,5 | 97 | 111 | 117 | 141 | 155 | 169 | 184 | 198 | 212 | 227 |
| | 2 | 101 | 118 | 136 | 153 | 171 | 188 | 206 | 223 | 241 | 259 |
| | 2,5 | 104 | 124 | 146 | 166 | 187 | 207 | 228 | 249 | 269 | 291 |
| | 3 | 107 | 131 | 155 | 179 | 203 | 226 | 251 | 274 | 298 | 322 |
| | 4 | 114 | 144 | 175 | 205 | 234 | 264 | 295 | 325 | 355 | 386 |
| 4,5 | 118 | 151 | 184 | 217 | 250 | 283 | 317 | 350 | 384 | 417 | |

Coefficienții de corecție în funcție de materialul prelucrat

| | | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------------|---------------------------|---|-----------------------------|
| coeficienții de corecție | OLC15, OL42 | OLC25, OL50, OL52 | OLC45, OL60, 13CN30 | 40Cr10, 41MoCr11, 18MoCrN13, Fe200 1,12 | Fe200, 34MoCrN15, 15MoCrC12 |
| k_{Tn} | 0,95 | 1,0 | 1,05 | 1,18 | 1,18 |

Tabelul 9.5. Timpii de pregătire-încheiere și timpii unitari pentru danturarea cu cuțit-roată de mortezat (fig.9.4)

| Lungimea danturii L, mm | Modulul m, mm | Diametrul exterior al roții D, mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 50 | 80 | 100 | 125 | 140 | 160 | 180 | 200 | 225 | 250 | | | | | | | | | |
| | | Timp unitar t_u , min | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1 | 15,5 | 17,5 | 19 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1,5 | 15,5 | 17,5 | 19 | 20 | 21 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 18 | 22 | 24,5 | 26 | 29 | 30,5 | 33 | 35,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 23 | 29 | 33 | 37 | 41,5 | 45,6 | 49 | 53 | 57,5 | 66 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5 | - | 29 | 33 | 37 | 40,5 | 45,5 | 49 | 54 | 57,5 | 66 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 1 | 16,5 | 19 | 20 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1,5 | 17 | 19 | 20 | 21,5 | 23 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 20 | 24,5 | 27 | 30 | 32,5 | 35,5 | 38 | 42,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 25,5 | 33 | 38 | 43 | 48 | 54 | 58 | 64 | 69 | 81 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5 | - | 33 | 39 | 43 | 48 | 54 | 58 | 64 | 68 | 79 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 30 | 1 | 19 | 22 | 24,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1,5 | 19 | 22,5 | 24,5 | 27 | 29,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 24,5 | 31 | 35,5 | 40 | 44,5 | 49 | 55 | 58 | 64 | 79 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 33 | 36 | 49 | 61 | 69 | 78 | 86 | 94 | 103 | 122 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 5 | - | 45 | 54 | 61 | 68 | 77,5 | 85 | 94,5 | 102 | 117 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Întărire-încheiere t_{pi} , min | | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Observație. Coeficienții de corecție vezi mai sus.

Coeficienții de corecție k_{tu} în funcție de materialul prelucrat (pentru tabelul 9.5)

| | | | | | |
|------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Materialul | OLC15, OL42 | OLC20, OLC25, OL50, OL52 | OLC45, OL60, 13CN17, 13CN30 | 40C10, 41MoC11, 18MoCN13, Fc200 | OLC60, Fc250, 34MoCN15, 15MoMC12 |
| k_{tu} | 0,95 | 1,0 | 1,0 | 1,12 | 1,18 |

Tabelul 9.6. Timpii unitari și timpii de pregătire-încheteare la rectificarea danturii cu două pietre taler (MAAG)

| Modulul m, mm, până la: | Unghiul de înclinare al danturii β^a până la: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0° | | | | | 15° | | | | | 30° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | 25 | 40 | 12,5 | 40 | 20 | 25 | 40 | 12,5 | 40 | 20 | 25 | 40 | 12,5 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Lățimea danturii L, mm, până la: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Timpul unitar t _u , minute | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 36 40 | 42 | 52 | 58 | 54 | 57 | 72 | 82 | 71 | 89 | 94 | 109 | 46 | 51 | 61 | 66 | 82 | 87 | 100 | 45 | 39 | 41 | 50 | 56 | 51 | 55 | 69 | 78 | 78 | 86 | 96 | 110 | | | | | | | |
| 4 | 46 | 48 | 59 | 66 | 60 | 64 | 81 | 92 | 78 | 98 | 104 | 119 | 51 | 56 | 61 | 72 | 86 | 96 | 110 | 50 | 42 | 44 | 55 | 61 | 56 | 60 | 76 | 86 | 86 | 96 | 127 | 145 | | | | | | | |
| | 49 | 52 | 64 | 72 | 66 | 70 | 88 | 101 | 85 | 107 | 114 | 131 | 71 | 71 | 80 | 93 | 110 | 122 | 140 | 159 | 71 | 53 | 56 | 71 | 80 | 71 | 75 | 96 | 119 | 127 | 140 | 163 | 179 | | | | | | |
| | 71 | 62 | 83 | 94 | 83 | 88 | 113 | 129 | 111 | 132 | 141 | 151 | 173 | 78 | 78 | 89 | 104 | 122 | 140 | 159 | 179 | 80 | 59 | 62 | 78 | 89 | 78 | 84 | 107 | 132 | 140 | 159 | 179 | 204 | | | | | |
| | 80 | 69 | 73 | 104 | 92 | 98 | 126 | 144 | 124 | 130 | 141 | 157 | 194 | 88 | 100 | 110 | 130 | 155 | 166 | 178 | 204 | 90 | 65 | 69 | 87 | 100 | 88 | 94 | 137 | 166 | 178 | 204 | 226 | 252 | | | | | |
| | 90 | 76 | 81 | 102 | 104 | 103 | 110 | 140 | 144 | 144 | 155 | 178 | 213 | 100 | 110 | 122 | 144 | 174 | 183 | 195 | 226 | 112 | 72 | 77 | 97 | 110 | 100 | 106 | 151 | 183 | 195 | 226 | 252 | 287 | | | | | |
| | 112 | 84 | 90 | 114 | 129 | 119 | 125 | 161 | 181 | 160 | 178 | 212 | 243 | 119 | 136 | 148 | 168 | 191 | 204 | 218 | 252 | 140 | 88 | 94 | 119 | 148 | 123 | 130 | 168 | 204 | 218 | 252 | 287 | 326 | | | | | |
| | 125 | 93 | 99 | 126 | 143 | 128 | 137 | 178 | 204 | 171 | 218 | 243 | 269 | 139 | 159 | 181 | 221 | 255 | 265 | 281 | 326 | 160 | 100 | 106 | 134 | 160 | 160 | 170 | 221 | 255 | 265 | 281 | 326 | 380 | | | | | |
| | 140 | 103 | 110 | 140 | 160 | 144 | 153 | 198 | 224 | 191 | 243 | 259 | 300 | 181 | 185 | 211 | 258 | 298 | 240 | 309 | 338 | 160 | 117 | 124 | 159 | 181 | 160 | 170 | 221 | 255 | 265 | 281 | 326 | 380 | | | | | |
| | 160 | 117 | 125 | 158 | 180 | 163 | 174 | 225 | 259 | 217 | 276 | 294 | 342 | 187 | 211 | 245 | 298 | 345 | 280 | 338 | 380 | 169 | 136 | 145 | 185 | 211 | 187 | 198 | 258 | 298 | 240 | 309 | 338 | 380 | | | | | |
| | 200 | 137 | 146 | 187 | 213 | 188 | 200 | 260 | 300 | 246 | 315 | 334 | 388 | 216 | 245 | 298 | 345 | 382 | 280 | 338 | 380 | 139 | 139 | 169 | 216 | 245 | 218 | 231 | 300 | 345 | 280 | 338 | 382 | 443 | | | | | |
| | 6 | 46 | 49 | 61 | 67 | 58 | 62 | 77 | 86 | 77 | 98 | 103 | 115 | 46 | 49 | 61 | 67 | 58 | 62 | 77 | 86 | 77 | 98 | 103 | 115 | 71 | 71 | 80 | 93 | 110 | 122 | 140 | 159 | 179 | 204 | 226 | 252 | 287 | 326 |
| 51 | | 54 | 67 | 74 | 64 | 69 | 86 | 93 | 86 | 108 | 114 | 130 | 67 | 74 | 83 | 92 | 82 | 90 | 102 | 113 | 128 | 144 | 151 | 168 | 183 | 195 | 226 | 252 | 287 | 326 | 380 | | | | | | | | |
| 80 | | 60 | 74 | 83 | 72 | 77 | 96 | 106 | 97 | 123 | 129 | 148 | 74 | 83 | 92 | 102 | 90 | 95 | 122 | 136 | 149 | 168 | 177 | 201 | 228 | 252 | 287 | 326 | 380 | 443 | | | | | | | | | |
| 90 | | 62 | 74 | 83 | 72 | 77 | 96 | 106 | 97 | 123 | 129 | 148 | 83 | 92 | 102 | 113 | 101 | 107 | 136 | 149 | 168 | 177 | 201 | 228 | 252 | 287 | 326 | 380 | 443 | | | | | | | | | | |
| 112 | | 62 | 74 | 83 | 72 | 77 | 96 | 106 | 97 | 123 | 129 | 148 | 91 | 102 | 113 | 128 | 114 | 121 | 136 | 149 | 168 | 177 | 201 | 228 | 252 | 287 | 326 | 380 | 443 | | | | | | | | | | |
| 125 | | 68 | 73 | 91 | 102 | 82 | 87 | 111 | 121 | 107 | 136 | 145 | 162 | 102 | 113 | 128 | 144 | 121 | 136 | 149 | 168 | 177 | 201 | 228 | 252 | 287 | 326 | 380 | 443 | | | | | | | | | | |
| 140 | | 76 | 81 | 102 | 113 | 101 | 107 | 136 | 149 | 132 | 168 | 177 | 201 | 114 | 128 | 144 | 162 | 121 | 136 | 149 | 168 | 177 | 201 | 228 | 252 | 287 | 326 | 380 | 443 | | | | | | | | | | |
| 160 | | 88 | 92 | 114 | 128 | 114 | 121 | 153 | 171 | 151 | 191 | 201 | 228 | 128 | 144 | 162 | 180 | 139 | 153 | 171 | 191 | 201 | 228 | 252 | 287 | 326 | 380 | 443 | | | | | | | | | | | |
| 200 | | 101 | 108 | 136 | 151 | 131 | 139 | 178 | 199 | 170 | 218 | 228 | 259 | 136 | 151 | 176 | 199 | 162 | 180 | 208 | 228 | 259 | 302 | 310 | 352 | | | | | | | | | | | | | | |
| 224 | | 118 | 126 | 158 | 176 | 153 | 162 | 208 | 232 | 198 | 254 | 267 | 302 | 158 | 176 | 199 | 232 | 189 | 224 | 269 | 291 | 310 | 352 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | 138 | 147 | 184 | 204 | 179 | 189 | 242 | 269 | 231 | 291 | 310 | 352 | 184 | 204 | 232 | 269 | 231 | 291 | 310 | 352 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Timpul de pregătire-încheteare t _{in} , min | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Observații. 1. Pentru înlocuirea și corectarea pietrei abrazive se acordă în plus 9 minute la timpul de pregătire-încheteare.

2. Pentru rotirea sub unghi a glisierii și suportului se acordă în plus 15 minute la timpul de pregătire-încheteare.

Tabelul 9.7. Timpi unitari și timpi de pregătire-încheiere la rectificarea danturii cu o piatră plană (NILES)

| Modulul m, mm, până la: | Diametrul de divizare D _d , mm, până la: | Unghiul de înclinare al danturii, β până la: | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | | 0 ° | | | | 15 ° | | | | 30 ° | | | |
| | | Lățimea danturii L, mm, până la: | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 25 | 40 | 80 | 16 | 25 | 36 | 75 | 12,5 | 20 | 32 | 76 |
| 2 | 40 | 33 | 41 | 52 | 90 | 41 | 52 | 69 | 123 | 53 | 69 | 92 | 170 |
| | 63 | 44 | 55 | 71 | 123 | 57 | 73 | 97 | 173 | 72 | 94 | 127 | 233 |
| | 80 | 52 | 64 | 83 | 143 | 65 | 83 | 108 | 193 | 85 | 109 | 146 | 269 |
| | 100 | 63 | 78 | 101 | 176 | 80 | 100 | 133 | 239 | 104 | 134 | 181 | 334 |
| | 125 | 74 | 91 | 118 | 203 | 92 | 117 | 154 | 275 | 118 | 152 | 205 | 376 |
| | 160 | 92 | 114 | 148 | 257 | 115 | 147 | 195 | 350 | 148 | 193 | 260 | 478 |
| 200 | 109 | 135 | 173 | 296 | 136 | 173 | 226 | 402 | 173 | 255 | 300 | 546 | |
| 4 | 63 | 34 | 42 | 54 | 85 | 42 | 53 | 69 | 112 | 49 | 63 | 84 | 139 |
| | 80 | 38 | 46 | 59 | 102 | 48 | 60 | 78 | 140 | 56 | 72 | 95 | 173 |
| | 100 | 45 | 56 | 72 | 125 | 57 | 72 | 96 | 172 | 68 | 87 | 117 | 214 |
| | 125 | 60 | 74 | 96 | 165 | 74 | 94 | 124 | 218 | 87 | 112 | 151 | 271 |
| | 160 | 74 | 92 | 120 | 205 | 92 | 117 | 157 | 277 | 109 | 141 | 191 | 345 |
| | 200 | 89 | 107 | 136 | 235 | 109 | 135 | 176 | 314 | 128 | 162 | 214 | 389 |
| | 250 | 109 | 132 | 168 | 291 | 134 | 167 | 218 | 391 | 158 | 200 | 265 | 485 |
| 8 | 80 | 40 | 50 | 64 | 109 | 46 | 59 | 77 | 134 | 55 | 72 | 95 | 170 |
| | 100 | 48 | 60 | 78 | 134 | 55 | 71 | 94 | 166 | 67 | 87 | 117 | 211 |
| | 125 | 54 | 67 | 88 | 151 | 63 | 80 | 106 | 186 | 77 | 99 | 134 | 242 |
| | 160 | 67 | 84 | 110 | 190 | 78 | 100 | 133 | 255 | 96 | 125 | 170 | 307 |
| | 200 | 79 | 96 | 124 | 216 | 92 | 114 | 149 | 266 | 110 | 139 | 184 | 338 |
| | 250 | 109 | 135 | 172 | 296 | 127 | 159 | 206 | 364 | 153 | 194 | 256 | 463 |
| Timpul de pregătire-înclinare t _{pt} , min | | 55 | | | | | | | | | | | |

Observații. 1. Pentru înlocuirea și corectarea pietrei abrazive se acordă în plus 11 minute la timpul de pregătire-încheiere din tabel.

2. Pentru rotirea sub un unghi a glisierii și suportului se acordă în plus 11 minute la timpul de pregătire-încheiere din tabel.

9.5. Normarea tehnică în cazul producțiilor de serie mijlocie și serie mare

În cazul producțiilor de serie mijlocie și serie mare, normarea tehnică a timpilor se face mult mai amănunțit, pentru a depista rezervele și posibilitățile de creștere a productivității muncii.

De altfel, această normare mai amănunțită este amortizată de avantajele volumului mare de fabricație.

Astfel, se recomandă ca timpul de bază să se calculeze analitic în funcție de dimensiunile concrete ale suprafețelor de prelucrat și parametrii regimului de așchiere stabiliți anterior.

În tabelul 9.8 sunt prezentate schemele și formulele de calcul ale timpului de bază la danturarea roților dințate, cilindrice cu freză-deget în care: D_c este diametrul sculei de frezat, în mm; v_s – viteza de avans, în mm/min; h – înălțimea dintelui, în mm; z – numărul de dinți ai roții de prelucrat; d - diametrul mediu al frezei-deget modul, în mm.

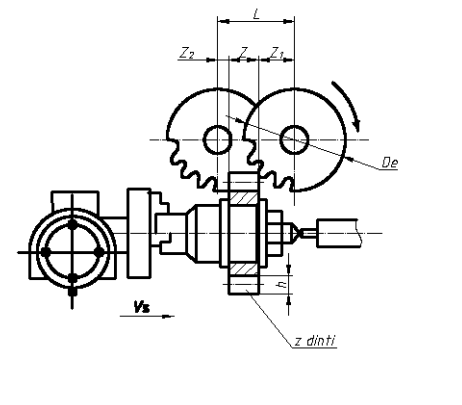
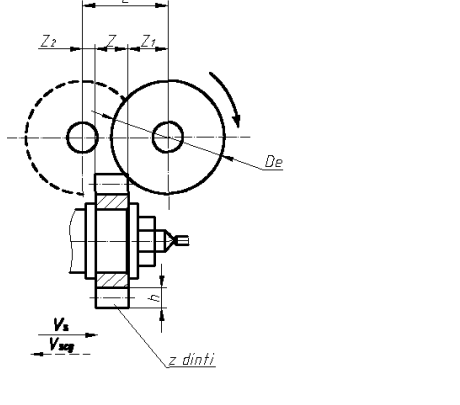
Tabelul 9.8. Formule de calcul ale timpului de bază la danturarea roților dințate cilindrice cu freză melc-modul

| Dinți drepți | Dinți înclinați |
|---|-----------------|
| | |
| $t_b = \frac{l + l_1 + l_2}{V_s} \cdot z \text{ [min]}$ | |
| <p>unde: $l_1 = D_c / 2$ [mm] și $l_2 = d / 2$ [mm] unde: $l_1 = 0,78 d$ [mm] și $l_2 = 0,5d$ [mm]</p> | |

În tabelul 9.9 sunt date schemele și formulele de calcul ale timpului de bază la danturarea roților dințate

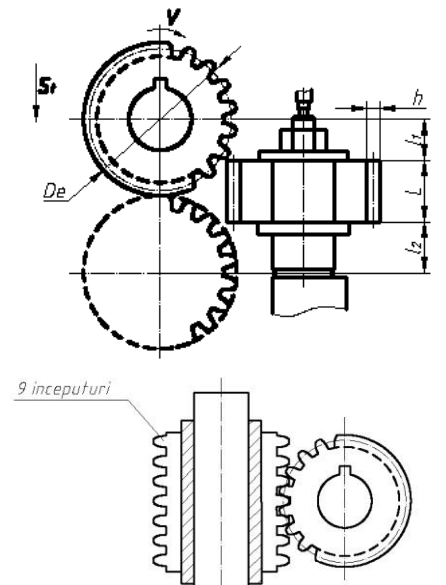
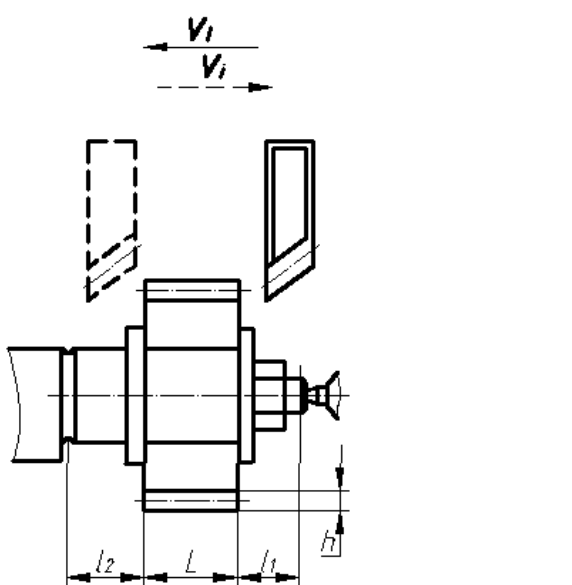
cilindrice cu freză-disc modul, în care: v_{scg} este viteza de avans la cursa de gol, în mm/min; i – numărul de treceri.

Tabelul 9.9. Formule de calcul ale timpului de bază la danturarea roților dințate cilindrice cu freză-disc modul

| Mașină de frezat orizontală cu cap divizor | Frezat roți dințate cu mecanism de divizare automat |
|--|--|
|  |  |
| $t_b = \frac{l + l_1 + l_2}{v_s} \cdot z \text{ [min]}$ | $t_b = \frac{l + l_1 + l_2}{v_s} \cdot z + \frac{l + l_1 + l_2}{v_{sg}} \cdot z \text{ [min]}$ |
| <p>unde: $l_1 = h(D_e - h) + (1...2) \text{ [mm]}$; $l_2 = (2...4) \text{ [mm]}$</p> | |

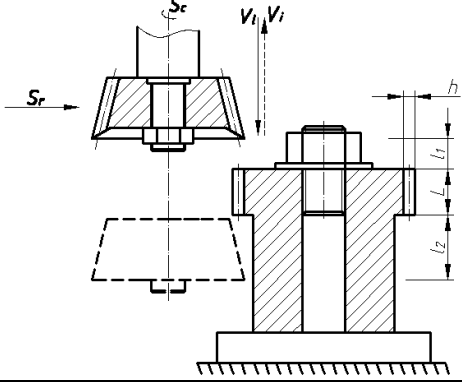
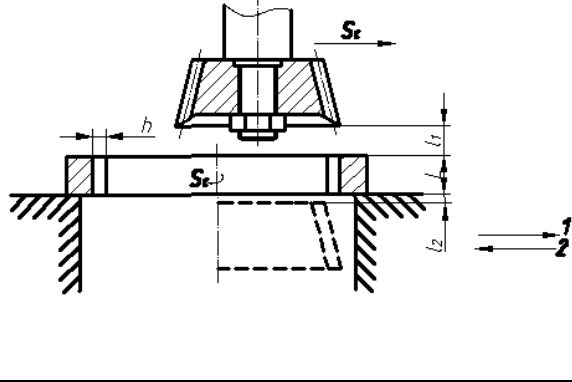
În tabelul 9.10 sunt prezentate schemele și formulele de calcul ale timpului de bază la danturarea roților dințate cilindrice cu freză-melc modul și cu cuțit-cremalieră, în care: s este avansul axial al frezei-melc, în mm/rot; n - turația frezei melc, în rot/min; q - numărul de începuturi ale frezei-melc; z - numărul de dinți ai roții de prelucrat; z - numărul de dinți la depășire (tabelul 9.15); n_z - numărul de curse duble pentru tăierea unui dinte; n_{cd} - numărul de curse duble pe minut, cd/min; τ_z - timpul curselor de gol la tăierea unui dinte.

Tabelul 9.10. Formule de calcul ale timpului de bază la danturarea roților dințate cilindrice

| Freză melc-modul | Cuțit-cremalieră | |
|--|--|---|
|  |  | |
| $t_b = \frac{l + l_1 + l_2}{s \cdot n \cdot q} \cdot z \cdot i \text{ [min]}$ | <p>angajare tangențială a dintelui</p> $t = (z + z) \cdot \left(\frac{n_z}{n} \tau \right) \text{ [min]}$ | <p>angajare radială a dintelui</p> $t = (z + z) \cdot \left(\frac{n_z}{n} \tau \cdot \frac{l_1 + l_2}{n_{cd} \cdot z} \right) \text{ [min]}$ |
| <p>unde: $l_1 = (1, 1...1, 2) h(D_e - h) \text{ [mm]}$; $l_2 = (2...3) \text{ [mm]}$</p> | | |

În tabelul 9.11 sunt date schemele și formulele de calcul ale timpului de bază la danturarea roților dințate cilindrice cu cuțit-roată de mortezat, în care s_c este avansul circular, în mm/cd; m - modulul roții de prelucrat, în mm; s_r - avansul radial, în mm/cd; n - numărul de curse duble pe minut, cd/min; h - înălțimea dintelui, în mm.

Tabelul 9.11. Formule de calcul ale timpului de bază la danturarea cu cuțit-roată de mortezat

| Danturare exterioară | Danturare interioară |
|---|--|
|  |  |
| $t = \frac{\pi \cdot m}{c} \cdot \frac{z \cdot i}{n \cdot s} + \frac{h}{n \cdot s} \quad [min]$ | |

În tablele 9.12...9.16 sunt prezentate distanțele de pătrundere și depășire ale sculelor, iar în tablele 9.17...9.24 sunt prezentați timpii ajutători t_{aj} pentru prinderea și desprinderea piesei la danturare, în diverse situații.

Tabelul 9.12. Distanțe de pătrundere și depășire la freza deget-modul

| Modulul m, mm | Dinți drepecți | | | | Dinți înclinați | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|------|-----|------|------|
| | metrul frezei D_e , mm | Distanța de pătrundere l_1 | Distanța de depășire l_1 | Modulul m, mm | metrul frezei D_e , mm | Distanța de pătrundere, l_1 | Distanța de depășire l_2 | Modulul m, mm | metrul frezei D_e , mm | Distanța de pătrundere l_1 | Distanța de depășire l_2 | | | | |
| 1 | 10 | 5,5 | 5,7 | 18 | 75 | 40 | 8,4 | 1 | 10 | 7,8 | 5,0 | | | | |
| 1,25 | | | | | 56 | 30 | 9,5 | | | | | 1,25 | | | |
| 1,5 | 13 | 7,5 | 6,0 | | 50 | 27 | 9,0 | 1,5 | | 13 | | 10,5 | 6,5 | | |
| 1,75 | | | | | 20 | 75 | 40 | | | | | | | 9,2 | 1,75 |
| 2 | | | | | 60 | 32 | 8,0 | | | | | | | 2 | |
| 2,25 | | | | | 52 | 28 | 9,8 | | | | | | | 2,25 | |
| 2,5 | | | | | 22 | 70 | 37 | | | | | | | 10,0 | 2,5 |
| 3 | | | | | | 66 | 38 | | | | | | | 10,8 | 3 |
| 3,5 | | | | | | 60 | 32 | | | | | | | 10,4 | 3,5 |
| 4 | | | | | 24 | 80 | 43 | | | | | | | 11,3 | 4 |
| 4,5 | 75 | 40 | 12,3 | 4,5 | | | | | | | | | | | |
| 5 | 16 | 9,5 | 6,2 | 66 | 36 | 12,1 | 5 | 16 | 12,5 | 8,0 | | | | | |
| 5,5 | | | | 26 | 85 | 45 | | | | | 11,9 | 5,5 | | | |
| 6 | 20 | 11,5 | 6,5 | 75 | 40 | 13,0 | 6 | 20 | 15,6 | 10,0 | | | | | |
| 6,5 | | | | 70 | 38 | 12,8 | | | | | 6,5 | | | | |

Tabelul 9.12 (continuare)

| | | | | | | | | | | | |
|----|----|------|-----|----|-----|----|------|----|----|------|------|
| 7 | 25 | 13,5 | 6,7 | 28 | 90 | 48 | 12,8 | 7 | 25 | 19,5 | 12,5 |
| 8 | | | | | 85 | 45 | 13,9 | 8 | | | |
| 9 | 30 | 16,5 | 7,0 | | 75 | 40 | 13,7 | 9 | 30 | 23,4 | 15,0 |
| 10 | 35 | 20 | 7,2 | 30 | 95 | 50 | 13,6 | 10 | 35 | 27,3 | 17,5 |
| 11 | 40 | 22 | 7,5 | | 90 | 48 | 14,7 | 11 | 40 | 31,1 | 20,0 |
| 12 | | | | | 80 | 43 | 14,1 | 12 | | | |
| 14 | 50 | 27 | 8,0 | 36 | 122 | 64 | 16,1 | 14 | 50 | 39,0 | 25,0 |
| 16 | 55 | 30 | 8,2 | | 103 | 54 | 17,5 | 16 | 55 | 43,0 | 27,5 |

Tabelul 9.13. Distanța de pătrundere și depășire la freza disc-modul

| Dulul m mm | Diametrul | Înălțimea totală a dintelui, h | Trecerea | | | | | | Distanța de depășire l ₂ mm |
|------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|
| | | | 1 | | a 2-a | | a 3-a | | |
| | | | Adâncimea golului h ₁ mm | Distanța de pătrundere l ₁ mm | Adâncimea golului h ₂ mm | Distanța de pătrundere l ₁ mm | Adâncimea golului h ₃ mm | Distanța de pătrundere l ₁ mm | |
| 0,3 | 40 | 0,66 | 0,66 | 5,1 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,3 5 | | 0,77 | 0,77 | 5,5 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,4 | | 0,88 | 0,88 | 5,9 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,4 5 | | 0,99 | 0,99 | 6,2 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,5 | | 1,10 | 1,10 | 6,6 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,6 | | 1,32 | 1,32 | 7,2 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,7 | | 1,54 | 1,54 | 7,7 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,8 | | 1,76 | 1,76 | 8,2 | - | - | - | - | 2,0 |
| 0,9 | 50 | 1,98 | 1,98 | 9,8 | - | - | - | - | 2,0 |
| 1 | | 2,20 | 2,20 | 10,3 | - | - | - | - | 2,0 |
| 1,2 5 | | 2,75 | 2,75 | 11,4 | - | - | - | - | 2,0 |
| 1,5 | 55 | 3,30 | 3,30 | 13,1 | - | - | - | - | 2,5 |
| 1,7 5 | 60 | 3,85 | 3,85 | 14,7 | - | - | - | - | 2,5 |
| 2 | | 4,40 | 4,40 | 15,7 | - | - | - | - | 2,5 |
| 2,2 5 | | 4,95 | 4,95 | 16,5 | - | - | - | - | 2,5 |
| 2,7 5 | 70 | 6,05 | 6,05 | 19,7 | - | - | - | - | 2,5 |
| 3 | | 6,60 | 6,60 | 20,4 | - | - | - | - | 2,5 |
| 3,5 | 75 | 7,70 | 7,70 | 22,7 | - | - | - | - | 2,5 |
| 4,2 5 | 85 | 9,35 | 9,35 | 26,6 | - | - | - | - | 3,0 |
| 4,5 | | 9,90 | 9,90 | 27,2 | - | - | - | - | 3,0 |
| 5 | 90 | 11,0 | 11,0 | 29,5 | - | - | - | - | 3,0 |
| 5,5 | 95 | 12,1 | 12,1 | 31,7 | - | - | - | - | 3,0 |
| 6 | 100 | 13,2 | 13,2 | 33,8 | - | - | - | - | 3,0 |
| 6,5 | 105 | 14,3 | 13,2 | 34,8 | 1,1 | 10,7 | - | - | 3,0 |
| 7 | | 15,4 | 13,2 | 34,6 | 2,4 | 15,7 | - | - | 3,0 |

Tabelul 9.13 (continuare)

| | | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| 8 | 110 | 17,6 | 13,0 | 35,6 | 4,6 | 24,2 | - | - | 3,0 |
| 9 | 115 | 19,8 | 13,0 | 36,5 | 6,8 | 27,2 | - | - | 3,5 |
| 10 | 120 | 22,0 | 13,0 | 37,3 | 9,0 | 31,7 | - | - | 3,5 |
| 11 | 135 | 24,2 | 13,0 | 39,8 | 11,2 | 37,2 | - | - | 3,5 |
| 12 | 145 | 26,4 | 13,0 | 41,1 | 12,4 | 42,0 | - | - | 3,5 |
| 14 | 160 | 30,8 | 13,0 | 43,6 | 13,0 | 43,6 | 4,8 | 27,3 | 4,0 |
| 16 | 170 | 35,2 | 13,0 | 45,2 | 13,0 | 45,2 | 9,2 | 38,6 | 4,0 |

Observație. La valoarea l_1 găsită în tabelul de mai sus trebuie să se adauge (1...2) mm pentru a se asigura accesul liber al frezei pe suprafața de prelucrat

Tabelul 9.14. Distanța de pătrundere și depășire la freza-melc modul

| Modulul m, mm | Rădăcina frezei D_f , mm | Prelucrarea dinților | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|----------------------|------|------|-----------|------|------|--------------|------|------|-----------|-------|------|
| | | o singură trecere | | | | | | două treceri | | | | | |
| | | drept | | | încălinat | | | drept | | | Încălinat | | |
| | | | | | 15° | 30° | 45° | | | | 15° | 30° | 45° |
| | | Trecerea | | | | | | | | | | | |
| | | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | 2-a | 1-a | 2-a | 1-a | 2-a | 1-a | 2-a |
| Distanța de pătrundere și de depășire $l_1 + l_2$ (mm) | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 50 | 12,2 | 12,6 | 13,7 | 16,6 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1,5 | 55 | 15,0 | 15,4 | 16,8 | 20,4 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 60 | 16,9 | 17,3 | 18,8 | 22,8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2,5 | 65 | 20,0 | 20,5 | 22,4 | 27,0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 70 | 22,4 | 23,4 | 25,5 | 30,0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 80 | 26,8 | 27,9 | 30,3 | 36,2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 90 | 31,8 | 32,7 | 35,5 | 42,2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 105 | 37,1 | 37,9 | 41,1 | 49,0 | 30,6 | 23,6 | 31,2 | 24,0 | 35,0 | 27,0 | 41,0 | 31,5 |
| 7 | 115 | 41,3 | 42,1 | 46,2 | 54,3 | 34,6 | 26,4 | 35,6 | 26,9 | 38,1 | 29,5 | 45,3 | 35,2 |
| 8 | 125 | 43,8 | 44,5 | 48,7 | 57,5 | 36,7 | 28,4 | 37,3 | 28,9 | 41,0 | 31,7 | 48,2 | 37,3 |
| 9 | 140 | - | - | - | - | 42,8 | 33,0 | 43,4 | 33,5 | 47,8 | 36,8 | 56,0 | 43,2 |
| 10 | 150 | - | - | - | - | 46,8 | 36,2 | 47,1 | 36,8 | 51,5 | 39,8 | 60,5 | 46,5 |
| 11 | 155 | - | - | - | - | 49,8 | 38,4 | 50,7 | 39,0 | 54,8 | 42,2 | 64,0 | 49,2 |
| 12 | 165 | - | - | - | - | 53,3 | 41,3 | 54,2 | 42,0 | 58,3 | 45,3 | 68,7 | 53,0 |
| 14 | 180 | - | - | - | - | 59,4 | 46,2 | 60,2 | 46,8 | 65,0 | 50,5 | 76,0 | 59,0 |
| 16 | 195 | - | - | - | - | 65,4 | 50,8 | 66,2 | 51,6 | 71,2 | 55,4 | 83,5 | 65,0 |
| 18 | 215 | - | - | - | - | 79,0 | 61,0 | 80,2 | 61,9 | 86,0 | 66,5 | 101,0 | 78,0 |
| 20 | 230 | - | - | - | - | 85,7 | 66,1 | 87,0 | 67,0 | 93,3 | 72,1 | 109,5 | 84,5 |

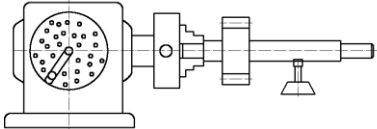
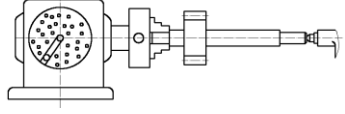
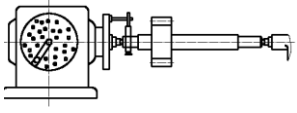
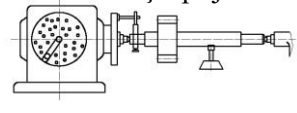
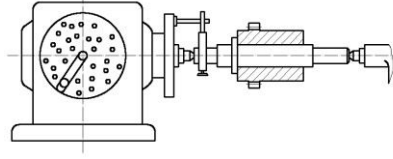
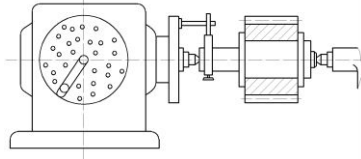
Tabelul 9.15. Numărul de dinți Z_n la cuțitul-cremalieră

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Numărul de dinți al roții, Z | 10 | 25 | 40 | 70 | 100 | 120 | 150 | 170 | 180 | 200 | 210 | 230 | 250 |
| Numărul de dinți la depășire, Z_n | 2,5 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | 6,0 | 6,0 | 7,0 | 7,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 9,5 | 9,5 |

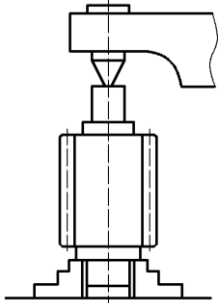
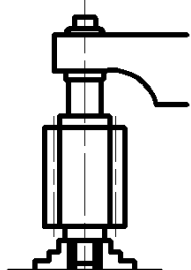
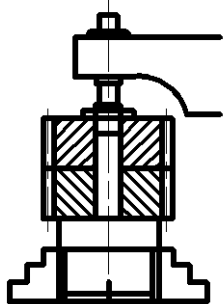
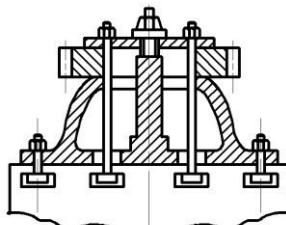
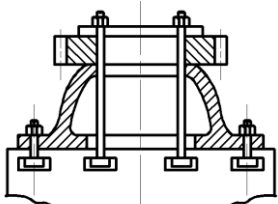
Tabelul 9.16. Distanțe de pătrundere și depășire a cuțitului-cremalieră

| Tipul roții dințate | Modul m, în mm până la | | | | |
|----------------------------------|------------------------------|----|----|----|----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| | Distanța $l_1 + l_2$, în mm | | | | |
| Roată dințată cu dinți drepti | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| Roată dințată cu dinți înclinați | 15° | 8 | 10 | 14 | 16 |
| | 30° | 10 | 12 | 16 | 18 |

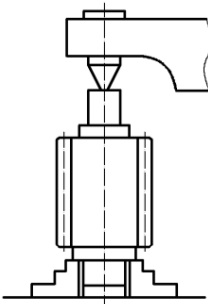
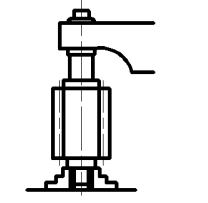
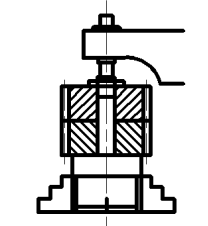
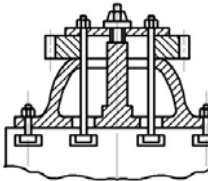
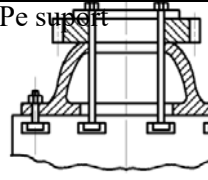
Tabelul 9.17. Timpul ajutător t_a pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu freză-disc modul sau freză deget modul pe mașini de frezat, cu manipulare manuală

| Modul de prindere al piesei | | | Masa piesei, kg, până la: | | | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 0,5 | 1 | 3 | 5 | 8 | 12 | 20 | |
| | | | Timpul, min | | | | | | | |
| | | | Fiecare întoarcere | 0,40 | 0,43 | 0,49 | 0,54 | 0,60 | 0,66 | 0,80 |
|  În universal și sprijinită de cric | | | Prindere-desprindere | 0,35 | 0,40 | 0,44 | 0,48 | 0,53 | 0,59 | 0,75 |
| | | | Fiecare întoarcere | 0,35 | 0,40 | 0,44 | 0,48 | 0,53 | 0,59 | 0,75 |
|  În universal, vârful păpușii mobile și sprijinită | | | Prindere-desprindere | 0,50 | 0,52 | 0,60 | 0,64 | 0,71 | 0,77 | 0,93 |
| | | | Fiecare întoarcere | 0,50 | 0,52 | 0,60 | 0,64 | 0,71 | 0,77 | 0,93 |
|  Între vârfuri | Fără montarea antrenorului | Prindere-desprindere | 0,33 | 0,34 | 0,44 | 0,56 | 0,63 | 0,72 | 0,79 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,33 | 0,34 | 0,44 | 0,56 | 0,63 | 0,72 | 0,79 | |
| | Cu montarea antrenorului | Prindere-desprindere | 0,46 | 0,48 | 0,59 | 0,74 | 0,83 | 0,97 | 1,13 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,46 | 0,48 | 0,59 | 0,74 | 0,83 | 0,97 | 1,13 | |
|  Între vârfuri și sprijinită de cric | Fără montarea antrenorului | Prindere-desprindere | 0,43 | 0,46 | 0,57 | 0,72 | 0,78 | 0,98 | 1,11 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,43 | 0,46 | 0,57 | 0,72 | 0,78 | 0,98 | 1,11 | |
| | Cu montarea antrenorului | Prindere-desprindere | 0,56 | 0,60 | 0,72 | 0,90 | 0,98 | 1,23 | 1,45 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,56 | 0,60 | 0,72 | 0,90 | 0,98 | 1,23 | 1,45 | |
|  Pe dorn neted sau canelat între vârfuri cu montarea piesei | Manual | Prindere-desprindere | 0,43 | 0,49 | 0,57 | 0,65 | 0,75 | 0,86 | 0,98 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,43 | 0,49 | 0,57 | 0,65 | 0,75 | 0,86 | 0,98 | |
| | Cu presă mecanică | Prindere-desprindere | 0,53 | 0,63 | 0,73 | 0,85 | 1,00 | 1,20 | 1,45 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,53 | 0,63 | 0,73 | 0,85 | 1,00 | 1,20 | 1,45 | |
|  Pe dorn neted, între vârfuri, cu piuliță | Cu șaiabă potcoavă | Prindere-desprindere | 0,60 | 0,68 | 0,76 | 0,86 | 0,96 | 1,07 | 1,18 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,60 | 0,68 | 0,76 | 0,86 | 0,96 | 1,07 | 1,18 | |
| | Cu șaiabă normală | Prindere-desprindere | 0,83 | 0,88 | 0,95 | 1,05 | 1,16 | 1,27 | 1,40 | |
| | | Fiecare întoarcere | 0,83 | 0,88 | 0,95 | 1,05 | 1,16 | 1,27 | 1,40 | |
| Pe dorn neted, între vârfuri, fără montarea și demontarea piesei | Prindere-desprindere | | 0,32 | 0,34 | 0,44 | 0,56 | 0,62 | 0,72 | 0,78 | |
| | Fiecare întoarcere | | 0,32 | 0,34 | 0,44 | 0,56 | 0,62 | 0,72 | 0,78 | |
| Pentru prinderea și desprinderea pe dorn, între vârfurile fiecărei piese următoare, se adaugă | | | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | - | - | - | |

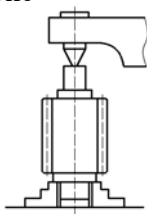
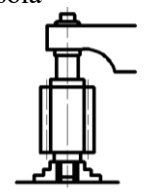
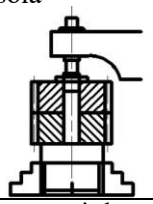
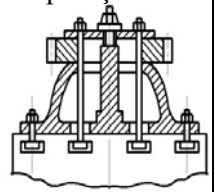
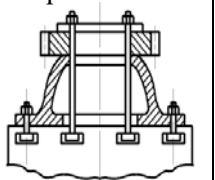
Tabelul 9.18. Timpul ajutător t_a , pentru prinderea și desprinderea piesei la danturare cu freze-melc modul, cu manipulare manuală

| Modul de așezare a piesei | Numărul pieselor prinse simultan | Masa piesei și a dornului, kg, până la: | | | |
|--|----------------------------------|---|-------------|--------------|--------------|
| | | 3 | 5 | 10 | 20 |
| | | Timpul, min | | | |
| În universal și vârful păpușii mobile  | 1 | 3,25 | 4,70 | 6,20 | 8,00 |
| În universal și consolă  | 1 | 4,10 | 5,00 | 7,20 | 10,00 |
| Pe dorn, în universal și consolă  | 1 2 | 1,65 1,25 | 2,0 1,50 | 2,40 2,00 | 2,80 2,40 |
| Pe suport și dorn  | 1 2 | - - | - - | 4,50 3,50 | 6,00 4,50 |
| Pe suport  | 1 2 | - - | - - | 7,60 6,50 | 8,00 7,50 |

Tabelul 9.19. Timpul ajutător t_{a1} , pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu freze-melc modul, cu palan electric

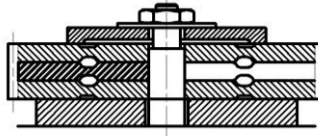
| Modul de așezare a piesei | ieselor prinse simultan | Masa piesei și a dornului, kg, până la: | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 300 | 500 | 800 | 1000 | 1200 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 8000 | 10000 |
| | | Timpul, min | | | | | | | | | | | | | | | |
| În universal și vârful păpușii mobile  | 1 | 12 | 15 | 20 | 24 | 29 | 33 | 38 | 44 | 49 | 56 | 65 | - | - | - | - | - |
| În universal și consolă  | 1 | 14,5 | 19 | 25 | 30 | 36 | 42 | 49 | 56 | 65 | 77 | 92 | - | - | - | - | - |
| Pe dorn, în universal și consolă  | 1 2 | 3,4 3,0 | 4,6 3,8 | 5,8 4,7 | 7,0 5,6 | 8,2 6,6 | 9,6 7,6 | 11 8,7 | 14 10 | 151 2 | - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - |
| Pe suport și dorn  | 1 2 | 7,5 6,0 | 10 8,5 | 13 10 | 15 12 | 18 14 | 21 17 | 25 20 | 292 3 | 33 26 | 36 28 | 39 31 | 43 34 | 50 39 | - - | - - | - - |
| Pe suport  | 1 2 | 11 9 | 14 11 | 16 14 | 20 16 | 23 20 | 27 23 | 32 27 | 38 32 | 42 36 | 46 39 | 50 43 | 56 48 | 64 55 | 76 63 | 92 74 | 100 90 |

Tabelul 9.20. Timpul ajutor t_{a1} pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu freze-melc modul, cu podul rulant electric

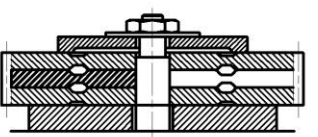
| Modul de așezare a piesei | pieselor prinse împreună | Masa piesei și a dornului, kg, până la: | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 300 | 500 | 800 | 1000 | 1200 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 8000 | 10000 |
| | | Timpul, min | | | | | | | | | | | | | | | |
| În universal și vârful păpușii mobile  | 1 | 16 | 20 | 26 | 31 | 37 | 42 | 48 | 54 | 60 | 67 | 76 | - | - | - | - | - |
| În universal și consolă  | 1 | 20 | 25 | 33 | 37 | 46 | 53 | 60 | 68 | 77 | 90 | 106 | - | - | - | - | - |
| Pe dorn, în universal și consolă  | 1 | 4,6 | 6,1 | 7,7 | 9,0 | 10 | 12 | 14 | 17 | 18 | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 4,0 | 5,0 | 6,1 | 7,2 | 8,4 | 9,5 | 11 | 12 | 14 | - | - | - | - | - | - | - |
| Pe suport și dorn  | 1 | 10 | 14 | 16 | 19 | 23 | 26 | 31 | 35 | 39 | 42 | 45 | 49 | 56 | - | - | - |
| | 2 | 8,1 | 11 | 13 | 15 | 18 | 21 | 25 | 28 | 31 | 33 | 36 | 38 | 43 | - | - | - |
| Pe suport  | 1 | 15 | 19 | 21 | 26 | 30 | 35 | 41 | 48 | 53 | 58 | 62 | 69 | 79 | 93 | 110 | 120 |
| | 2 | 12 | 15 | 19 | 21 | 26 | 30 | 35 | 41 | 46 | 50 | 55 | 59 | 67 | 76 | 89 | 106 |

Observație. În valorile de mai sus este inclus și timpul pentru verificarea centrării piesei cu comparatorul (precizia 0,05 mm).

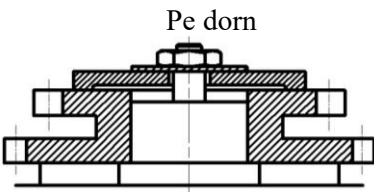
Tabelul 9.21. Timpul ajutor t_{a1} pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu cuțitul-roată de mortezat cu manipulare manuală

| Pe dorn  | Numărul pieselor prinse împreună | Masa piesei, în kg, până la: | | | |
|--|----------------------------------|------------------------------|------|------|------|
| | | 3 | 5 | 10 | 20 |
| | | Timp, min | | | |
| Centrare după periferia roții | 1 | 1,50 | 1,70 | 2,10 | 2,60 |
| | 2 | 1,15 | 1,30 | 1,60 | 2,00 |
| | 3 | 1,00 | 1,15 | 1,40 | 1,75 |
| Centrare după dinte | 1 | 1,90 | 2,10 | 2,50 | 3,00 |
| | 2 | 1,35 | 1,50 | 1,75 | 2,10 |
| | 3 | 1,15 | 1,25 | 1,50 | 1,80 |

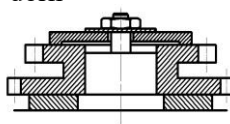
Tabelul 9.22. Timpul ajutor t_{a1} pentru prinderea și desprinderea piesei cu ajutorul macaralei la danturarea cu cuțitul-roată de mortezat

| Pe dorn  | Numărul pieselor prinse împreună | Masa piesei, în kg, până la: | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----|
| | | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 300 | 500 | 800 | 1000 | 1200 | 1500 | 2000 | |
| | | Timp, min | | | | | | | | | | | | |
| Palan electric sau pneumatic | Centrare după periferia roții | 1 | 3,4 | 4,0 | 4,9 | 5,5 | 6,5 | 7,2 | 8,5 | 9,5 | 11 | 12 | 14 | 16 |
| | | 2 | 2,4 | 2,8 | 3,3 | 3,9 | 4,5 | 5,2 | 6,0 | 6,7 | - | - | - | - |
| | | 3 | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,3 | 4,0 | 4,5 | 5,1 | - | - | - | - | - |
| | Centrare după dinte | 1 | 4,2 | 5,5 | 7,0 | 8,6 | 10 | 12 | 14 | 17 | 19 | 22 | 25 | 30 |
| | | 2 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,2 | 7,0 | 9,0 | 10 | 12 | - | - | - | - |
| | | 3 | 2,6 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,5 | 8,7 | - | - | - | - | - |
| Pod rulant electric | Centrare după periferia roții | 1 | 4,6 | 5,3 | 6,4 | 7,1 | 8,2 | 9,0 | 10 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| | | 2 | 3,2 | 3,7 | 4,3 | 5,0 | 5,7 | 6,5 | 7,4 | 8,1 | - | - | - | - |
| | | 3 | 2,7 | 3,2 | 3,7 | 4,2 | 5,0 | 5,5 | 6,2 | - | - | - | - | - |
| | Centrare după dinte | 1 | 5,7 | 7,3 | 9,2 | 12 | 13 | 16 | 18 | 21 | 23 | 26 | 29 | 34 |
| | | 2 | 4,0 | 5,3 | 6,5 | 8,0 | 8,9 | 11 | 13 | 15 | - | - | - | - |
| | | 3 | 3,5 | 4,6 | 5,2 | 6,4 | 7,6 | 9,4 | 11 | - | - | - | - | - |

Tabelul 9.23. Timpul ajutător t_{a1} , pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu cuțitul-cremalieră cu manipulare manuală

|  Pe dorn | Numărul pieselor prinse împreună | Masa piesei, în kg, până la: | | | |
|--|----------------------------------|------------------------------|------|------|------|
| | | 3 | 5 | 10 | 20 |
| | | Timp, min | | | |
| Centrare după periferia roții | 1 | 1,70 | 2,00 | 2,50 | 3,00 |
| | 2 | 1,25 | 1,50 | 1,90 | 2,25 |
| | 3 | 1,10 | 1,30 | 1,65 | 2,00 |
| Centrare după dinte | 1 | 2,10 | 2,40 | 2,90 | 3,40 |
| | 2 | 1,45 | 1,65 | 2,00 | 2,40 |
| | 3 | 1,25 | 1,40 | 1,65 | 2,00 |
| Centrare după periferia roții | 1 | 2,50 | 3,00 | 3,90 | 5,00 |
| | 2 | 1,85 | 2,20 | 2,85 | 3,75 |
| Centrare după dinte | 1 | 2,90 | 3,50 | 4,60 | 5,90 |
| | 2 | 2,00 | 2,50 | 3,35 | 4,50 |

Tabelul 9.24. Timpul ajutător t_{a1} , pentru prinderea și desprinderea piesei la danturare cu cuțit-cremalieră cu ajutorul macaralei

|  Pe dorn | Numărul pieselor prinse împreună | Masa piesei, în kg, până la: | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|----|
| | | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 300 | 500 | 800 | 1000 | 1200 | 1500 | 2000 | 2500 | |
| | | Timpul, min | | | | | | | | | | | | | |
| Palan electric sau pneumatic | Centrare după periferia roții | 1 | 3,8 | 4,0 | 4,5 | 5,5 | 6,5 | 7,5 | 9,0 | 10 | 12 | 13 | 15 | 17 | 20 |
| | | 2 | 2,2 | 2,5 | 3,0 | 3,6 | 4,3 | 5,2 | 6,5 | 7,2 | - | - | - | - | - |
| | | 3 | 2,1 | 2,3 | 2,7 | 3,1 | 4,0 | 5,0 | 5,5 | - | - | - | - | - | - |
| | Centrare după dinte | 1 | 4,6 | 4,9 | 6,3 | 8,0 | 10 | 12 | 15 | 17 | 20 | 23 | 27 | 31 | 36 |
| | | 2 | 3,1 | 3,5 | 4,3 | 5,6 | 7,1 | 8,5 | 10 | 12 | - | - | - | - | - |
| | | 3 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 4,2 | 5,6 | 7,0 | 8,3 | - | - | - | - | - | - |
| Podul rulant electric | Centrare după periferia roții | 1 | 5,1 | 5,3 | 5,9 | 7,1 | 8,2 | 9,4 | 11 | 12 | 14 | 15 | 17 | 19 | 22 |
| | | 2 | 3,0 | 3,3 | 3,9 | 4,6 | 5,5 | 6,5 | 8,0 | 8,7 | - | - | - | - | - |
| | | 3 | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 4,0 | 5,1 | 6,2 | 6,8 | - | - | - | - | - | - |
| | Centrare după dinte | 1 | 6,3 | 6,5 | 8,2 | 10 | 13 | 15 | 18 | 20 | 24 | 27 | 31 | 35 | 46 |
| | | 2 | 4,2 | 4,6 | 5,6 | 7,2 | 9,0 | 11 | 13 | 15 | - | - | - | - | - |
| | | 3 | 3,8 | 4,0 | 4,5 | 5,4 | 7,1 | 8,7 | 10 | - | - | - | - | - | - |

În continuare sunt prezentați timpii ajutători pentru comanda mașinii de danturat t_{a2} (tabelul 9.25); timpii de deservire a locului de muncă și respectiv de odihnă și necesități firești, t_{dt} t_{do} , și t_{on} (tabelul 9.26); timpii de pregătire-încheiere la mașinile de danturat (tabelul 9.27) și timpii de tratament termic (tabelul 9.28).

Tabelul 9.25. Timpul ajutător t_{a2} pentru comanda mașinii de danturat

| Felul mânuirilor și mișcărilor de comandă | Procedeul de danturare | | | | | |
|--|------------------------|------------|--------|-------------------------------------|------------|--------|
| | cu freza-melc modul | | | cu cuțit-cremalieră sau cuțit-roată | | |
| | Diametrul roții, mm | | | | | |
| | ≤ 350 | 351...1000 | > 1000 | ≤ 350 | 351...1000 | > 1000 |
| Timpul, min | | | | | | |
| Cuplarea sau decuplarea mișcării principale | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| Cuplarea sau decuplarea avansului de lucru sau a avansului accelerat | 0,04 | 0,07 | 0,10 | 0,04 | 0,06 | 0,08 |
| Schimbarea înlocuirea mărimii roților de avansului sau schimb a vitezei prin: manete | 2,50 | 4,00 | 6,00 | 0,50 | 0,70 | 0,90 |
| | 0,20 | 0,35 | 0,50 | | | |
| Deplasarea manuală a mesei mașinii | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,15 | 0,25 | 0,35 |
| Fixarea sau slăbirea saniei | | | | - | - | - |
| Fixarea sau slăbirea mesei mașinii | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,09 |
| Montarea și demontarea sculei așchietoare | 3,00 | 4,50 | 6,00 | 4,00 | 6,00 | 10,0 |
| Montarea și demontarea sculei așchietoare după înlocuire | 1,80 | 2,50 | 3,60 | 2,00 | 3,00 | 4,00 |
| Pornirea sau oprirea sistemului de răcire | 0,04 | | | 0,05 | | |

Observație. Timpul pentru măsurări se suprapune cu timpul de mașină.

Tabelul 9.26. Timpul de deservire a locului de muncă și timpul de odihnă și necesități firești la mașinile de danturat

| erul timpului de deservire | Procedeul de danturare | | | | | |
|--|------------------------|------------|--------|-------------------------------------|------------|--------|
| | cu freza-melc modul | | | cu cuțit-cremalieră sau cuțit-roată | | |
| | Diametrul roții, mm | | | | | |
| | ≤ 350 | 351...1000 | > 1000 | ≤ 350 | 351...1000 | > 1000 |
| Timpul de deservire tehnică în % din timpul de bază | 2,5 | | | 2,5 | | |
| Timpul de deservire organizatorică în % din timpul efectiv | 1,0 | | | 0,7 | | |
| Timpul de odihnă și necesități firești în % din timpul efectiv | 3,0 | | | | | |

Tabelul 9.27. Timpul de pregătire-încheiere la mașinile de danturat

| A. Pentru operații curente | | | | | | | |
|--|------------------|-------------------------|------------|----------------------------------|-------|------------|--------|
| | | Procedeul de danturare: | | | | | |
| Le prindere a roții | | cu freză melc modul | | cuțit-cremalieră sau cuțit-roată | | | |
| | | Diametrul roții, mm | | | | | |
| | | ≤ 350 | 351...1000 | > 1000 | ≤ 350 | 351...1000 | > 1000 |
| | | Timpul, min | | | | | |
| În vârfuri | | 36,0 | 32,0 | 39,0 | - | - | - |
| Pe dorn sau pe dorn și în consolă | | 19,0 | 24,0 | 29,0 | 18,0 | 22,5 | 27,5 |
| Pe suportți (cu și fără dorn) sau în dispozitiv | | 38,0 | 50,0 | 50,0 | 20,0 | 25,0 | 31,0 |
| Prinderea și predarea documentelor comenzii cu indicațiile respective ale sculelor, dispozitivelor și aparatelor de măsurat etc. | | 7,0...10,0 | | | | | |
| B. Pentru operații suplimentare | | | | | | | |
| Reglarea pentru tăierea danturii înclinate pe mașini | cu diferențial | 5,0 | 6,0 | 7,5 | - | - | - |
| | fără diferențial | | | 5,0 | 6,5 | 8,0 | 10,5 |
| Reglarea mașinii pentru tăierea danturii drepte | | 4,0 | 4,5 | 5,5 | - | - | - |
| Montarea și demontarea dornului port-freză | | 2,5 | 4,0 | 5,0 | - | - | - |
| Montarea și demontarea sculei așchietoare | | 7,5 | 12,5 | 18,5 | 5,5 | 7,5 | 13,0 |
| Schimbarea lungimii cursei berbecului | | - | - | - | 5,5 | 7,5 | 10,0 |
| Schimbarea bucușei de ghidare | | - | - | - | 5,0 | 6,0 | 7,5 |
| Schimbarea camei | | - | - | - | 4,0 | 5,0 | 6,0 |

Tabelul 9.28. Timpii de pregătire-încheiere, timpii de bază și timpii ajutători la tratamentul termic

| | | |
|--|--------------------|-----------|
| Recoacere Normalizare | Călire Revenire | Cementare |
| Timp de pregătire – încheiere t_{pi} , în mm | | |
| 15 | | 20 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|--------------------------------------|------|------|----|----|-------|----|-----|--|-------|--|--|--|
| Mediul activ | Grosimea maximă a stratului cementat, în mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | | | | | | | | | | | | |
| Timp de bază, în min, la o cutie cu piese | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| gazos | 25 | 39 | 51 | 75 | 95 | 122 | 148 | 181 | | | | | | | | | | | | |
| solid | 54 | 82 | 108 | 135 | 163 | 189 | 21 | 242 | | | | | | | | | | | | |
| Tratament termic aplicat | Cuptor cu gaze | Cuptor electric | Grosimea maximă de încălzire, în mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 5 | 100 | | | | | |
| Temperatura de încălzire până la : | | Timp de bază, în min/șarjă | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Normalizar, recoacere, călire | - | 750 | 6 | 8,5 | 11,5 | 1 | 23 | 29 | 34 | 40 | 45 | 52 | 58 | 86 | 115 | | | | | |
| | 750 | 800 | 5 | 8 | 9,5 | 14,5 | 19,5 | 24 | 29 | 34 | 39 | 43 | 48 | 72 | 96 | | | | | |
| | 800 | 850 | 4 | 6,5 | 8,5 | 12,5 | 1 | 21 | 26 | 30 | 35 | 38 | 42 | 64 | 84 | | | | | |
| | 850 | 900 | 3,5 | 5,5 | 7 | 11 | 14,5 | 18 | 22 | 25 | 29 | 32 | 36 | 54 | 71 | | | | | |
| | 900 | 1000 | 3 | 5 | 6,5 | 9,5 | 12,5 | 15,5 | 18,5 | 22 | 25 | 28 | 31 | 47 | 62 | | | | | |
| | 1000 | 110 | 2,5 | 4,5 | 5,5 | 8,5 | 11,5 | 14 | 16,5 | 19,5 | 22 | 25 | 28 | 42 | 55 | | | | | |
| | 110 | 1200 | 2,5 | 3,5 | 5 | 7 | 9,5 | 12 | 14,5 | 16,5 | 19 | 22 | 24 | 36 | 48 | | | | | |
| | 1200 | - | 2 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 30 | 40 | | | | | |
| Revenire | 650 | 2,5 | 3,5 | 4,5 | 7 | 9 | 11,5 | 12,5 | 13,5 | 14,5 | 16 | 17 | 23 | 28 | | | | | | |
| Nr. de piese șarjă sau cutie | Recoacere, normalizare, călire, revenire | | | | | | | Cementare | | | | | | | | | | | | |
| | Mediul de răcire | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | aer | | | | | | | apă, ului | | | | | Gazos | | | | solid | | | |
| | Masa totală, a șarjei, în kg | | | | | | | Masa totală a cutiei cu piese, în kg | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3,5 | 5 | - | - | - | 7,5 | 10,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3,5 | 4,5 | 6 | 9,5 | - | 7 | 8,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 3,5 | 6,5 | 7,5 | 10 | 12 | 10 | 11,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 8 | 9,5 | 11 | 13,5 | 15,5 | 13,5 | 15,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | - | 12,5 | 15 | 17,5 | 19,5 | - | 20,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | - | 18,5 | 20,5 | 24 | 27 | - | 27 | | | | | | | | | | | | | |

- Observații.** 1. Pentru oțeluri aliate, oțeluri înalt aliate, timpul de bază se corectează cu $k = 1,1$ și, respectiv, $k = 1,3$.
2. Șarja medie se consideră 10 piese.

10. TOLERANȚELE ȘI AJUSTAJELE PIESELOR CU DANTURĂ

10.1. Roțile de angrenaje cilindrice cu axe paralele

După STAS 6273-81 (angrenaje cilindrice) și STAS 6461-81 (angrenaje melcate cilindrice) se stabilesc 12 trepte de precizie. Treptele de precizie sunt în ordine descrescătoare a preciziei, fiind determinate de următoarele criterii: criteriul de precizie cinematică; criteriul de funcționare lină; criteriul de contact între dinții și spirele melcului (la roțile melcate cilindrice).

Fiecare criteriu de precizie permite anumite erori și abateri admisibile ale elementelor măsurabile, fiind caracterizate printr-un indice de precizie, și anume: eroarea cinematică pentru criteriul de precizie cinematică; eroarea ciclică pentru criteriul de funcționare lină; pata de contact pentru criteriul de contact dintre dinți.

Trebuie menționat că se admite combinarea criteriilor de precizie, având toleranțe din trepte diferite în funcție de condițiile de funcționare ale angrenajului, urmărindu-se respectarea următoarelor reguli:

- criteriul de funcționare lină poate fi mai precis cu două trepte și mai puțin cu o treaptă în raport cu criteriul de precizie cinematică;
- criteriul de contact dintre dinți poate fi mai precis în orice treaptă și mai puțin precis cu o singură treaptă în raport cu criteriul de funcționare lină.

Pentru angrenajele cilindrice sunt stabilite șase tipuri de ajustaje a roților dințate în angrenare notate: A, B, C, D, E și H (fig. 10.1) și opt câmpuri de toleranțe pentru jocul dintre flancurile dinților notate: x, y, z, a, b, c, d, e și h, notațiile fiind în ordinea scăderii mărimii jocului minim garantat dintre flancuri J_{nmin} și a toleranței acestuia T_{jn} (tabelul 10.1).

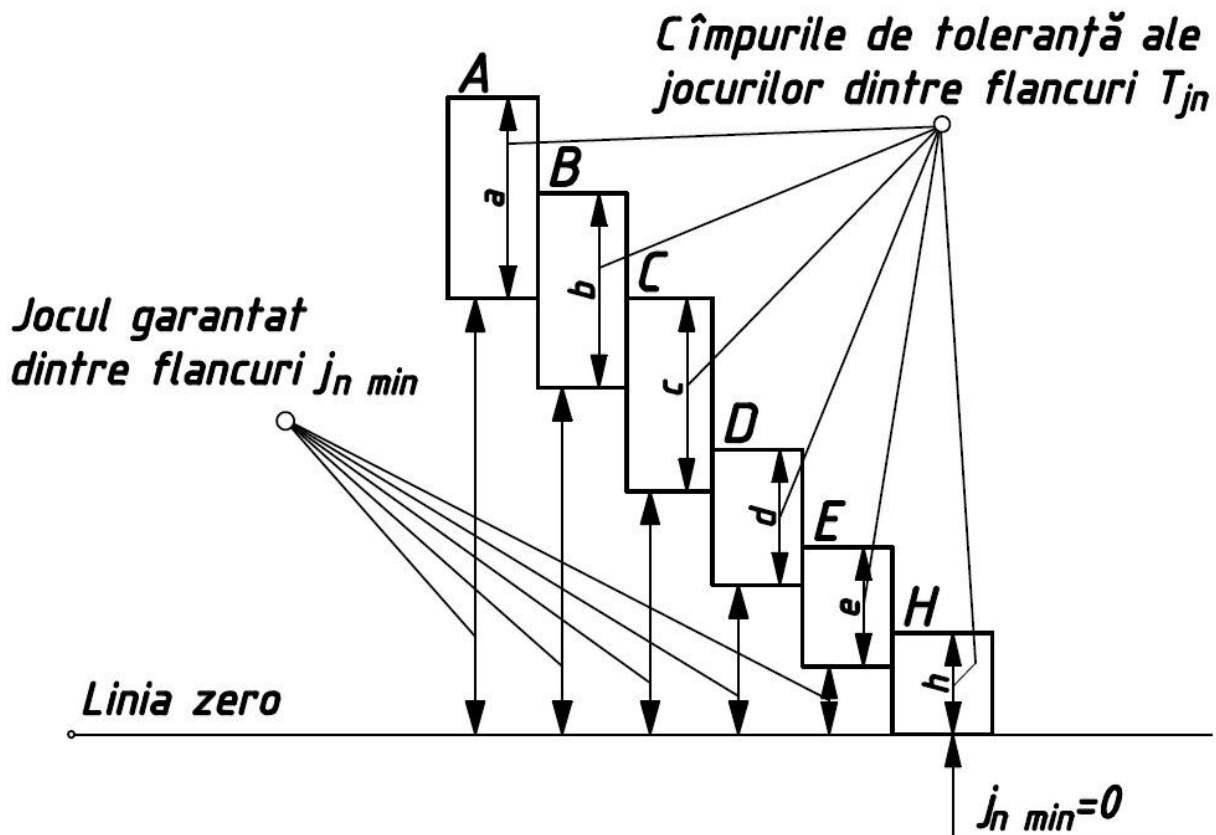


Fig. 10.1.

Tabelul 10.1. Corespondența dintre tipul ajustajului și tipul jocului dintre flancuri la roțile dințate cilindrice

| Tipul ajustajului | A | B | C | D | E | H |
|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Treapta de precizie conform criteriului de funcționare lină | 3...12 | 3...10 | 3...9 | 3...8 | 3...7 | 3...7 |
| de toleranță al jocului dintre flancuri | a | b | c | d | e | h |
| de precizie pentru abaterea distanței dintre axe | VI | V | IV | III | II | II |

Indicii și complexe de indici de precizie ai roților dințate cilindrice și ai angrenajelor corespunzătoare sunt incluse în STAS 6273-81, sintetic câteva exemple fiind dat în tabelul 10.2 (pentru roțile dințate).

Tabelul 10.2. Indici și complexe de indici de precizie ai roților dințate cilindrice

| Criteriul | Obiectul de controlat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | | |
|---------------------|--|--|---------------------|---|---|----|----|----|--|
| | | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Precizie cinematică | Roata dințată | F_r^I F_{pr} și F_{pkr} F_{pr} F_{cr} și F_{rr} F_{vwr} și F_{rr} F_{vwr} și F^I F_{qf}^r și F^{II} F_r^{II} F_{cr} | * | * | | | | | |
| Funcționare lină | Roată dințată dintr-un angrenaj cu ε_β mai mic decât cel indicat în tabelul 10.3 | $f^{II tr}$ F_{zrz} f_{pbr} și f_{fr} f_{pbr} și f_{ptr} f_n^H | * | * | | | | | |

Tabelul 10.2 (continuare)

| | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--|---|---|---|---|---|---|
| Funcționare lină | Roată dințată dintr-un angrenaj cu ε_{β} | ε_r^H f_{pr} f_{pr} | | | * | * | * | * |
| | Roată dințată dintr-un angrenaj mare decât cel indicat în tabelul 10.3 | f_{zkr} f_{pir} | * | * | | | | |
| Contactul dintre dinți | Roată dințată dintr-un angrenaj cu ε_{β} mai mic decât cel indicat în tabelul 10.3 | F_{pr} F_{kr} | * | * | * | * | * | * |
| | Roată dințată dintr-un angrenaj cu ε_{β} mai mare sau egal decât cel indicat în tabelul 10.3 | F_{pxnr} și F_{kr} F_{pxrr} și F_{kr} | * | * | * | * | | |

Tabelul 10.3. Valorile-limită ale gradului de acoperire suplimentar nominal ε_{β}

| | | |
|---|-----|-----|
| Treapta de precizie după criteriul de contact dintre roți | 7 | 8 |
| Valorile-limită ale lui ε_{β} | 2,5 | 3,0 |

Tabelul 10.4. Toleranțele corespunzătoare indicilor și complexelor de indici de precizie la roțile dințate cilindrice

| Criteriul | Indicele de precizie | Tabelul din STAS 6273-81 |
|--|---|--------------------------|
| Precizia cinematică | Toleranța abaterii cinematice a angrenajului | - 6 |
| | Toleranța abaterii cinematice a roții dințate | - 7 |
| | Toleranța abaterii cinematice a roții dințate de k pași | 7 |
| | Toleranța abaterii cumulate de k pași | 8 |
| | Toleranța abaterii cumulate de k pași | 8 |
| | Toleranța abaterii de rostogolire | - 6 |
| | Toleranța variației cotei peste dinți | 6 |
| Toleranța variației distanței de măsurat dintre axe la o rotație a roții dințate | - 8 | |
| | Toleranța abaterii cinematice locale a angrenajului | - 8 |
| | Toleranța abaterii cinematice locale a roții dințate | |

Tabelul 10.4 (continuare)

| | | |
|--|--|----|
| Funcționarea re lină | Toleranța abaterii ciclice cu frecvența dinților angrenajului | 9 |
| | Toleranța abaterii ciclice cu frecvența dinților roții dințate | 10 |
| | Toleranța abaterii ciclice a angrenajului | 10 |
| | Toleranța abaterii ciclice a roții dințate | 8 |
| | Abaterile-limită ale pasului | 8 |
| | Toleranța diferenței pașilor frontali | |
| | Abaterile-limită ale pasului de angrenare | 8 |
| Toleranța abaterii profilului dintelui | - | |
| Toleranța variației distanței de măsurat dintre axe la rotirea roții cu un dinte | 8 | |
| Contactul dinților | Abaterile-limită ale pașilor axiali în plan normal | 11 |
| | Toleranța abaterii totale a liniei de contact | 11 |
| | Toleranța abaterii direcției dintelui | 11 |
| | Toleranța abaterii de la paralelism a axelor | 11 |
| | Toleranța abaterii de la coplanaritate a axelor | 11 |
| Jocul dintre flancuri | Jocul minim dintre dinți | 13 |
| | Abaterile-limită ale distanței dintre axe | 13 |
| | Deplasarea suplimentară minimă a profilului de referință | 14 |
| | Toleranța deplasării suplimentare a profilului de referință | 15 |
| | Abaterea-minimă a cotei medii peste dinți | 16 |
| | Toleranța cotei medii peste dinți | 18 |
| | Abaterea minimă a cotei peste dinți | 16 |
| | Toleranța cotei peste dinți | 19 |
| | Abaterea minimă a grosimii dintelui pe coardă constantă | 21 |
| Abaterile-limită ale distanței de măsurat dintre axe | 22 | |
| Abaterea minimă a cotei peste role | - | |
| Toleranța cotei peste role | - | |

Semnificația notațiilor din tabelul 10.2 este următoarea: F_{ir} - abaterea cinematică a roții dințate; F_{pr} - abaterea cumulată a pasului roții dințate; F_{pkr} - abaterea cumulată pe κ pași; F_{cr} - abaterea de rostogolire; F_{rr} - bătaia radială a danturii; F_{ir}'' - variația distanței de măsurat dintre axe la o rotație completă a roții dințate; f_{ir}' - abaterea cinematică locală a roții dințate; f_{zr} - abaterea ciclică cu frecvența dinților a roții dințate; f_{pbr} - abaterea pasului de angrenare; f_r - abaterea profilului dintelui; f_{pfr} - abaterea pasului frontal; f_{ir}'' - variația distanței de măsurat dintre axe la rotirea roții dințate cu un dinte; f_{zkr} - abaterea ciclică a roții dințate; F_{kr} - abaterea totală a liniei de contact; F_{pxnr} - abaterea pașilor axiali în plan normal; F_{vwr} - variația cotei peste dinți.

Valorile acestor mărimi sunt de asemenea prezentate în STAS 6273-81, unde, sunt date și toleranțele corespunzătoare indicilor și complexelor de indici de precizie, corespondența fiind prezentată în tabelul 10.4.

Pentru angrenajele melcate cilindrice, tipurile de ajustaje și câmpurile de toleranțe pentru jocul dintre flancurile dinților sunt aceleași cu cele de la roțile cilindrice corespondența specifică fiind dată în tabelul 10.5.

Tabelul 10.5. Corespondența dintre tipul ajustajului și tipul jocului dintre flancuri la roțile melcate cilindrice

| Tipul ajustajului | A | B | C | D | E | H |
|--|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Treapta de precizie a ajustajului | 5...12 | 5...12 | 3...9 | 3...8 | 1...6 | 1...6 |
| Tipul de toleranță a jocului dintre flancuri | a | b | c | d | h | h |

Tabelul 10.6. Indicii și complexele de indici de precizie ai roților dințate melcate cilindrice

| Criteriul | obiectul de controlat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | |
|---------------------|-----------------------|--|---------------------|---|---|----|----|----|
| | | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Precizie cinematică | Roată melcată | F_{ir}^I | * | * | - | - | - | - |
| | | F_{pr} și F_{pkr} F_{pr} | - | - | - | - | - | - |
| | | F_{ir}^{cr} și F_{cr} | * | * | - | - | - | - |
| | | | * | * | - | - | - | - |
| | | F_{ir}^{II} | - | * | - | - | - | - |
| | | F_{rr} | - | - | * | * | * | * |
| | | | - | - | * | * | * | |
| Cționare lină | Roată melcată | f_{zkr} | * | - | - | - | - | - |
| | | F_{ir}^I | - | * | * | * | * | * |
| | | f_{ptr} și f_{fcr} f_{ptr} | * | * | - | - | - | - |
| | | | - | * | * | * | * | * |

Indicii și complexele de indici de precizie ai roților melcate cilindrice sunt prevăzuți în STAS 6461-81, fiind de tipul celor prezentați în tabelul 10.6.

Semnificația notațiilor din tabelul 10.6 este următoarea: F_{ir} - abaterea cinematică maximă a roții melcate; F_{pr} - abaterea cumulată a pasului roții melcate; F_{pkr} - abaterea cumulată peste k pași la roata melcată; F_{cr} - abaterea de rostogolire a roții melcate; F_{rr} - bătaia radială a danturii la roata melcată; F_{ir}^{II} - variația distanței de măsurat dintre axe la o rotire completă a roții melcate; f_{zkr} - abaterea ciclică a roții melcate; f_{ir}^{II} - variația distanței de măsurat dintre axe la rotirea roții melcate cu un dinte; f_{ptr} - abaterea pasului frontal la roata melcată; f_{fcr} - abaterea profilului la dintele roții.

De asemenea, în același standard sunt prevăzute toleranțele corespunzătoare indicilor și complexelor de indici de precizie, corelate corespunzător tabelului 10.7.

Tabelul 10.7. Toleranțele corespunzătoare indicilor și complexelor de indici de precizie la roțile melcate cilindrice

| Criteriul | Indicele de precizie | Valoarea din STAS 6273-81 |
|--|--|---------------------------|
| Precizia cinematică | Toleranța abaterii cinematice maxime a angrenajului | 7+9 |
| | Toleranța abaterii cinematice maxime a roții melcate | 7+8 |
| | Toleranța abaterii de rostogolire a roții melcate | 6 |
| | Toleranța abaterii cumulate de k pași la roata melcată | 7 |
| | Toleranța abaterii cumulate a pasului roții melcate | 7 |
| | Toleranța bătaii radiale la roata melcată | 6 |
| Cționare lină | Toleranța variației distanței de măsurat dintre axe la o rotație a roții melcate | 6 |
| | Toleranța abaterii ciclice a angrenajului | 11 |
| | Toleranța abaterii ciclice a frecvenței dinților în angrenajul melcat | 9 |
| | Toleranța abaterii ciclice a roții melcate | 11 |
| | Toleranța abaterii cumulate pe k pași la melc | 12 |
| | Toleranța bătaii radiale la roata melc | 13 |
| | Toleranța variației distanței de măsurat dintre axe la rotirea roții melcate cu un dinte | 8 |
| | Abaterile-limită ale pasului: | |
| | - axial la melc | 12 |
| | - frontal la roata melcată | 8 |
| | Toleranța abaterii profilului: | |
| - la spira melcului | 12 | |
| - la dintele roții melcate | 8 | |
| Toleranța abaterii elicei melcului: în limitele unei rotații a melcului pe întreaga lungime a melcului | 12 | |
| Toleranța abaterii suprafeței elicoidale a spirei melcului | 12 | |
| | 12 | |
| | 12 | |

Tabelul 10.7 (continuare)

| | | | |
|-----------------------|--|---|-------------|
| Contactul dinților | Abaterile-limită ale pașilor axiali în plan normal | Toleranța abaterii totale a | 11 |
| | liniei de contact | Toleranța abaterii direcției dintelui | 11 |
| | Toleranța abaterii de la paralelism a axelor | Toleranța abaterii de la coplanaritate a axelor | 11 |
| | | | 11 |
| Jocul dintre flancuri | Jocul minim dintre flancuri | | 18 |
| | Abaterea minimă a grosimii spirei melcului (pe coardă) | Toleranța la grosimea spirei melcului (pe coardă) | 19+20 21 |

În ceea ce privește roțile de lanț, danturile acestora se execută, de regulă, în treptele de precizie 6...8, conform ISO, la cele de mare silențiozitate putându-se ajunge și la treptele de precizie 4...5, conform ISO.

Abaterile-limită ale acestor tipuri de roți se referă atât la forma și dimensiunile frontale ale danturii (diametrul de divizare, dimensiunea peste role, diametrele de fund și vârful), cât și la dimensiunile secțiunii axiale ale danturii (lățimea dintelui, lățimea danturii).

Câmpurile de toleranță ale acestor dimensiuni sunt prezentate în tabelul 10.8.

Toleranțele de poziție ale danturilor roților de lanț sunt:

- toleranța bății radiale a danturii TBr determinată prin relația:

$$TBr = 0,0008 Di + 0,08 \text{ [mm]}, \quad (10.1)$$

care este cuprinsă strict în limitele $0,15 < TBr < 0,76$;

- toleranța bății frontale a danturii TBf determinată prin relația:

$$TBf = 0,0009 Di + 0,08 \text{ [mm]}, \quad (10.2)$$

care este cuprinsă strict în limitele $0,25 < TBf < 1,14$.

Simbolizarea treptei de precizie a unui angrenaj după toate cele trei criterii de precizie se face astfel: 8-7-6-Ba STAS 6273-81.

Tabelul 10.8. Toleranțele danturilor roților de lanț

| Elementul geometric | Abaterile- limită |
|---|--------------------|
| Diametrul de fund D_i | h11 h11 h14 |
| Dimensiunea peste role M | h14 h7 |
| Lățimea dintelui B_l Lățimea danturii $B_2...B_n$ | |
| Diametrul alezajului d | |

Cifra 8 indică treapta de precizie după criteriul cinematic, a doua cifră 7 indică treapta de precizie după criteriul funcționării line, a treia cifră indică treapta de precizie după criteriul contactului dintre dinți; litera **B** indică tipul ajustajului, litera **a** indică toleranța jocului dintre flancuri cu respectarea corespondenței dintre tipul ajustajului **B** și treapta de precizie a abaterii distanței dintre axe notată cu **V** (tabelul 10.1).

Dacă pentru unul din criteriile de precizie nu este dată treapta de precizie, atunci în locul cifrei respective se scrie litera **N**. Astfel, în cazul în care nu se indică treapta de precizie pentru criteriul funcționării line, simbolizarea se face astfel:

8-N-6-Ba STAS 6273-81.

Simbolizarea pentru angrenaj, având treapta de precizie după cele trei criterii de precizie, la care trebuie indicată și treapta de precizie a abaterii distanței dintre axe, se indică astfel: 7-Ca/V-128 STAS 6273-81.

Cifra **7** indică treapta de precizie după cele trei criterii. Litera **C** indică tipul ajustajului, iar litera **a** - câmpul de toleranță al jocului dintre flancuri; cifra romană **V** indică treapta de precizie a abaterii distanței dintre axe, la care s-a calculat un joc minim $j_{n \min}$, micșorat cu cca 128 μm .

10.2. Cremaliera și angrenajele cu cremalieră

Pentru treptele de precizie a cremalierelor și a angrenajelor cu cremalieră, STAS 7395-81 stabilește următoarele criterii de precizie:

- criteriul de precizie cinematic;
- criteriul de funcționare lină;
- criteriul de contact dintre dinți.

Fiecare dintre aceste criterii se caracterizează prin anumite abateri ale elementelor geometrice și constructive ale cremalierii, roții conjugate și ale angrenajelor cu cremalieră, fiind denumite indici de precizie.

Sistemul de toleranțe adoptat de țara noastră permite adoptarea diferitelor criterii sau indici de precizie din trepte de precizie diferite și impune următoarele reguli:

- criteriul de funcționare lină a cremalierii nu poate fi mai precis decât cu cel mult două trepte sau mai puțin precis cu o treaptă față de criteriul de precizie cinematică;
- criteriul de contact dintre dinții pentru cremalieră nu poate fi mai puțin precis decât criteriul funcționării line a cremalierii;
- treapta de precizie a roții dințate din angrenajul cu cremalieră după criteriul de funcționare lină nu poate fi mai puțin precisă decât treapta de precizie pentru cremalieră în aceleași condiții.

STAS 7395-81 stabilește 12 trepte de precizie pentru cremaliere și angrenajele cu cremalieră, notate în ordine descrescătoare 1, 2, ..., 12. Independent de treapta de precizie a cremalierii roților dințate și angrenajelor cu cremalieră, s-au stabilit șase tipuri de ajustaje (fig. 10.1) pentru angrenajul cu cremalieră **A**, **B**, **C**, **D**, **E** și **H** și cinci câmpuri de toleranțe ale jocului minim dintre flancuri, T_{jn} , notate în ordine descrescătoare cu literele **a**, **b**, **c**, **d** și **h** (tabelul 10.9).

E de menționat că ajustajul de tip **B** asigură valoarea-limită a jocului dintre flancuri, excluzând posibilitatea blocării angrenajului din fontă sau din oțel la o diferență de temperatură de 25° între angrenaj și carcasă.

Tabelul 10.9. Tipuri de ajustaje

| Tipul ajustajului angrenajului cu cremalieră | A | B | C | D | E | H |
|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Treapta de precizie după criteriul de funcționare lină | 3...12 | 3...10 | 3...9 | 3...8 | 3...7 | 3...7 |
| Tipul toleranței jocului dintre flancuri T_{jn} | a | b | c | d | h | |
| Treapta de precizie pentru abaterea distanței de montaj | VI | V | IV | III | II | I |

Asadar, rezultă că există cinci trepte de precizie pentru abaterile distanței de montaj, notate în ordinea scăderii preciziei cu cifre romane de la I la VI.

Notarea convențională a preciziei unei cremaliere, treapta de precizie 7, după toate cele trei criterii și în funcție de tipul de ajustaj **B** se face sub forma 7-B STAS 7395-81. Pentru angrenajul cu cremalieră, notarea convențională se face ținând seama și de treapta de precizie a roții dințate conform STAS 6273-81. Astfel, pentru un angrenaj cu cremalieră notarea convențională se face sub forma:

7-B STAS 6273-81 (roata);

7-B STAS 7395-81 (cremaliera).

Când se realizează combinații ale criteriilor de precizie din trepte diferite, cu modificări ale toleranței jocului dintre flancuri, cu păstrarea corespondenței dintre tipul ajustajului și treapta de precizie a distanței de montaj, treapta de precizie se notează prin scrieri succesive a trei cifre și două litere. De exemplu, se notează convențional:

8-7-7-Ba STAS 6273-81 (roata);

9-8-8-Ba STAS 7395-81 (cremaliera).

Prima cifră 8, respectiv 9, reprezintă treapta de precizie a roții sau a cremalierei, după criteriul de precizie cinematică; a doua cifră 7, respectiv 8, este treapta de precizie după criteriul funcționării line; a treia cifră 7, respectiv 8, este treapta de precizie după criteriul contactului dintre dinți; prima literă **B** indică tipul ajustajului, iar a doua literă **a** indică tipul toleranței jocului dintre flancuri.

Notarea convențională pentru angrenajele cu cremalieră se face ținând seama de treapta de precizie a abaterii distanței de montaj calculate. Criteriile de precizie, montaj și exploatare pot fi caracterizate printr-un indice de precizie sau printr-un complex de indici de precizie (tabelele 10.10, 10.11 și 10.12).

Pentru asigurarea preciziei cremalierei sau a angrenajului cu cremalieră, proiectantul stabilește un indice sau un complex de indici în funcție de destinația angrenajului, de posibilitățile tehnologice și control.

Semnificația notațiilor din tabelul 10.10, este următoarea: F_{ir}'' este abaterea cinematică maximă a cremalierei; F_{pkr} - abaterea cumulată pe k pași ai cremalierei; F_{pr}'' - abaterea cumulată a pasului cremalierei; F_{ir}'' - variația distanței de măsurat pe lungimea dată a cremalierei; F_{rr}'' - variația deplasării de subțiere a dintelui; F_{ior}' - abaterea cinematică maximă a angrenajului cu cremalieră.

Tabelul 10.10. Indicii și complexe de indici pe precizie pentru criteriul de precizie cinematică

| Piesa de verificat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Cremaliera dințată | F'_{ir} | * | * | * | * | * | | | | | |
| | F_{pkr} și F''_{fr} | * | * | * | * | * | | | | | |
| | F''_{ir} | | | * | * | | * | * | * | * | * |
| | F''_{rr} | | | | | | * | * | * | * | * |
| Angrenajul cu cremalieră | F'_{ior} | * | * | * | * | * | | | | | |

Semnificația notațiilor din tabelul 10.11 este următoarea: f'_{ir} - abaterea cinematică locală a cremalierii; f_{ptr} - abaterea pasului frontal; f_r - abaterea profilului dintelui; f''_{ir} - variația distanței de măsurat pe un dinte; f'_{ior} - abaterea cinematică locală a angrenajului cu cremalieră.

Tabelul 10.11. Indicii și complexe de indici de precizie pentru criteriul funcționării line

| Piesa de verificat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Cremaliera dințată | F'_{ir} | * | * | * | * | * | | | | | |
| | F_{pkr} și F''_{fr} | * | * | * | * | * | | | | | |
| | F''_{ir} | | | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | F''_{rr} | | | | | | * | * | * | * | * |
| Angrenajul cu cremalieră | F'_{ior} | | * | * | * | * | * | | | | |

Semnificația notațiilor din tabelul 10.12 este următoarea: f'_{β_r} - abaterea direcției dintelui; F''_{xr} - abaterea de la paralelism a roții dințate; F'_{yr} - abaterea de la coplanitate a axei dințate.

Tabelul 10.12. Indicii și complexe de indici de precizie pentru criteriul contactului dintre dinți

| Piesa de verificat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Cremaliera dințată | F'_{β_r} | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Angrenajul cu cremalieră | F''_{xr} și F'_r | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| | a totală de contact | * | * | * | * | * | * | * | | | |

10.3. Roțile din angrenajele conice și hipoide

După STAS 6460-81 se stabilesc 12 trepte de precizie în ordine descrescătoare și toleranțe pentru treptele de precizie 1, 2, 3, 4 și 12 spre deosebire de STAS 6273-81 care prevede toleranță numai pentru treptele de precizie 1, 2 și 3. E de menționat că și la aceste tipuri de roți dințate (conice și hipoide) se admite combinarea criteriilor de precizie cinematică de funcționare lină și al contactului dintre dinți.

Și în acest caz, ca și la celelalte tipuri de roți dințate, este necesară aplicarea anumitor reguli cum ar fi:

- criteriul de funcționare lină să nu fie mai precis decât cu două trepte sau mai puțin precis cu o treaptă față de criteriul preciziei cinematice;

- pentru criteriul contactului dintre dinți se poate indica orice treaptă mai precisă față de criteriul funcționării line și numai cu o treaptă mai puțin precisă față de criteriul preciziei cinematice.

STAS 6460-81 stabilește șase tipuri de ajustaje cu joc ale roților de angrenare notate: **A, B, C, D, E** și **H** și cinci câmpuri de toleranțe T_{jn} notate: **a, b, c, d** și **h** (fig.10.1.) pentru criteriul jocului dintre flancuri. Aceste ajustaje sunt indicate în ordine descrescătoare a mărimii jocului minim garantat dintre flancuri $j_{n \min}$ și a toleranței T_{jn} (tabelul 10.13).

Tabelul 10.13. Corespondența tipului de ajustaj cu tipul toleranței jocului dintre flancuri și treapta de precizie

| Tipul ajustajului roților dințate în angrenare | A | B | C | D | E | H |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Treapta de precizie | 4...12 | 4...10 | 4...9 | 4...8 | 4...7 | |
| Tipul toleranței jocului dintre flancuri | a | b | c | d | h | |

Ajustajul de tip B trebuie să asigure jocul minim dintre flancuri. Pentru evitarea fenomenului de blocare a angrenajului, în cazul utilizării roților din fontă sau oțel, la variații ale temperaturii de 25°, între roți și carcasa în care este montat angrenajul.

Semnificația notațiilor din tabelul 10.14 este următoarea: F''_{ir} - abaterea cinematică maximă a roții dințate; F_{pr} - toleranța la abaterea cumulată; F_{pkr} - toleranța cumulată la k pași; F_{rr} - abaterea radială a danturii; F_{cr} - abaterea de rostogolire; F''_{ior} - variația unghiului de măsurat dintre axe la angrenaj, la o rotație completă a roții; F'_{ior} - abaterea maximă a angrenajului; F_{vjr} - variația jocului dintre flancuri.

Tabelul 10.14. Indicii de precizie pentru criteriul de precizie cinematică

| Obiectul de controlat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | | | | |
|-------------------------|--|---------------------|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Roata dințată | F_{ir}' sau F_{pkr} | * | * | * | | | | | | |
| | pr și F'' | * | * | * | | | | | | |
| | F_{cr}' și F_{rr} | | | | * | * | | | | |
| | F_{rr} și F_{cr} | * | * | * | * | * | | | | |
| | F_{rr} | | | | * | * | * | * | * | * |
| Perechi de roți dințate | F_{ior}'' și F_{cr} | | * | * | * | * | | | | * |
| | F_{ior}'' | | | | | | * | * | * | |
| Angrenaj | F_{ior}'' | * | * | * | * | * | | | | |
| | F_{vjr} și F_{cr}'' | * | * | * | * | * | | | | |
| | F_{vjr} | | | | | | * | * | * | * |

Aceasta numai pentru diametre de divizare medii peste 1600 mm.

Indicii de precizie și complexul de indici pentru criteriile cinematic, de funcționare lină și al contactului dintre dinți sunt date în tabelele 10.14, 10.15 și 10.16.

Indicii de precizie și complexul de indici pentru criteriul de funcționare lină se prescriu pentru treptele de precizie de la 4 la 8, în funcție de valorile-limită ale gradului de acoperire axial, ε , care are valorile: 1,35; 1,55 și 2,0.

Pentru treptele de precizie de la 9 la 12, indicii de precizie și complexul de indici de precizie se aleg independent de valoarea-limită a gradului de acoperire axial.

Valorile jocului minim dintre flancuri ($j_{n \min}$) pentru diversele tipuri de ajustaje sunt date de STAS 6460-81 independent de treptele de precizie ale roților dințate, angrenajelor conice și hipoide, cât și de combinarea lor.

De reținut că toleranța jocului dintre flancuri se poate adopta ca grosime efectivă a dintelui sau ca grosime nominală a dintelui roții din angrenaj.

Valoarea jocului minim dintre flancuri se consideră zero, pentru tipul de ajusta] H, la angrenajele conice, iar pentru celelalte tipuri de ajustaje se calculează prin relația:

$$j_{n \min} = IT7 + IT7 \text{ [mm]}, \quad (10.3)$$

în care IT este toleranța fundamentală.

Această valoare se calculează în funcție de distanța fictivă, a_{fctiv} , dintre axe prin relația:

$$a_{fctiv} = R \sin \delta_i \text{ [mm]}, \quad (10.4)$$

în care: R este distanța de la conul mediu, mm; δ - unghiul conului de divizare, grade. Simbolizarea treptei de precizie

a unei perechi de roți dințate conice conjugate, roți conice și hipoide, după cele trei criterii de precizie se face astfel:

7-C-STAS 6460-81.

Cifra 7 indică treapta de precizie pentru cele trei criterii, iar litera C tipul ajustajului la care se păstrează corespondența cu câmpul de toleranțe al jocului dintre flancuri.

Pentru perechile de roți conjugate și angrenaje conice, la care jocul minim dintre flancuri nu se încadrează în cele șase tipuri de ajustaje, simbolizarea lor se face prin scrierea jocului minim (garantat) dintre flancuri astfel:

7-400 STAS 6460-81,

în care: cifra 7 indică treapta de precizie după cele trei criterii, iar cifra 400 μm jocul minim dintre flancuri al angrenajului conic.

Ca și la roțile dințate cilindrice și angrenajele cu cremalieră, la roțile dințate conice și hipoide se admite combinarea criteriilor de precizie din diferite trepte și corespondența dintre tipul ajustajului și câmpul toleranței jocului dintre flancuri. În aceste cazuri simbolizarea se face astfel:

8-7-6-Ba STAS 6460-81,

în care: cifra 8 indică treapta de precizie după criteriul cinematic; cifra 7 treapta de precizie după criteriul funcționării line; cifra 6 indică treapta de precizie după criteriul contactului dintre dinți; litera B tipul ajustajului, litera A câmpul de toleranță al jocului dintre flancuri.

Semnificația notațiilor din tabelul 10.15 este următoarea: f_{zkr} - abaterea ciclică a roții dințate; f_{ptr} - abaterea pasului frontal; f_{cr} - abaterea de rostogolire cu frecvența dinților; f_{ior}'' - abaterea unghiului măsurat dintre axe, la angrenaj, la rotirea roții cu un dinte; f_{zkor} - abaterea ciclică a angrenajului; f_{AMr} - deplasarea axială a coroanei dințate; f_{zzor} - abaterea ciclică cu frecvența dinților angrenajului.

Tabelul 10.15. Indicii și complexe de indici de precizie pentru criteriul de funcționare lină

| Obiectul de controlat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | | | | | |
|---|--|---------------------|---|---|---|---|---|----|----|----|---|
| | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Roată dințată dintr-un angrenaj cu $\varepsilon\beta$ mai mare decât cel indicat în tabelul 4, STAS 6273-81 | f_{zkr} | * | * | * | * | * | | | | | |
| | f_{ptr} și f_{cr} | * | * | * | * | * | | | | | |
| Roată dințată dintr-un angrenaj cu $\varepsilon\beta$ mai mic decât cel indicat în tabelul 4, STAS 6273-81 | f_{ptr} și f_{cr} | * | * | * | * | * | | | | | |
| Roată dințată dintr-un angrenaj cu $\varepsilon\beta$ oarecare | f_{ptr} | | | | | | | * | * | * | * |
| Perechi de roți conjugate cu $\varepsilon\beta$ oarecare (livrate perechi) | f_{ior}'' | | | | | | | * | * | * | * |
| Angrenaj cu $\varepsilon\beta$ egal sau mai mare decât cel indicat în tabelul 4, STAS 6273-81 | f_{zkor} și f_{AMr} | | * | * | * | * | | | | | |
| Angrenaj cu $\varepsilon\beta$ mai mic decât cel indicat în tabelul 4, STAS 6273-81 | f_{zkor} și f_{AMr} | * | * | * | * | * | | | | | |
| Angrenaj cu $\varepsilon\beta$ oarecare | f_{AMr} | | | | | | | * | * | * | * |

Semnificația notațiilor din tabelul 10.16 este următoarea: F'_{shr} și F_{shr} - abaterile dimensiunilor relative ale petei totale de contact, pe înălțime; F'_{str} și F_{str} - abaterile dimensiunilor relative ale petei totale de contact, pe lungime; f_{ar} - abaterea distanței dintre axe.

Tabelul 10.16. Indicii și complexe de indici de precizie pentru criteriul contactului dintre dinți

| Obiectul de controlat | Indicele sau complexul de indici de precizie | Treapta de precizie | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Perechi de roți dințate conjugate | F'_{shr} și F_{shr} | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| Angrenaj | F'_{shr} cu F_{shr} și f_{ar} | * | * | * | * | * | * | * | * | * |

Bibliografie

1. Bostan I., Dulgheru V., Glușco C. ș.a. Antologia invențiilor [în 4 vol.]. Chișinău: Bon OfficesSRL, 2011. ISBN 978-9975-80-283-3.
2. Baxter M.L. Basic Geometry and Tooth Contact of Hypoid Gears.In: Industrial Mathematics,1961, vol. 11, p. 19-42.
3. Bostan I., Dulgheru V., Glușco C., Mazuru S., Vaculenco M. Antologia invențiilor.Vol.2. Transmisii planetare precesionale.Chișinău: Bons Offices, 2011,542 p. ISBN 978-9975-80-283-3.
4. Bostan I. Precessional transmissions with multicupler sear. Chisinau: Stiinta, 1992, 356p.
5. Bostan I. Gear precessional transmissions. Chișinău, Știința. 1988, 146p p.
6. Bostan I., Babaian I. Planetary precessional gear. Patent MD nr. 560,470,471,472.1996.
7. Bostan I., Mazuru S., Scaticailov S.Procedeu de prelucrare a dinților angrenajului precesional.
8. Brevet nr.2120 MD. I.Cl.: B23 F9/06. Publ. BOPI, 2003, nr. 3.
9. Bostan I., Mazuru S., Vaculencu M. Dispozitiv pentru rodarea prin electroeroziune a elementelor conjugate ale mașinilor. Brevet nr.2494 MD.I.Cl.: B23 H1/00. Publ. BOPI, 2004, nr. 7.
10. Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M. Procedeu de prelucrare prin electroeroziune a suprafețelor roților dințate ale transmisiei precesionale. Brevet 2609 MD. I.Cl.: B23 H1/00. Publ. 2004.02.29, BOPI nr.2/2004.
11. Bostan I., Mazuru S., Trifan N. Dispozitiv de moletare a profilelor dințate pe semifabricate inelare. Brevet nr.2704 MD.I.Cl.: B21 H5/00, 1/06. Publ. 2004.11.30, BOPI nr.11/2004.
12. Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M., Trifan N. Procedeu de prelucrare prin electroeroziune a pieselor cu contur complicat și suprafețe oblice. Brevet nr.2674 MD.I.Cl.: B23 H1/00. Publ. 2005.01.31, BOPI nr.6/2004.
13. Bostan I., Mazuru S., Olievschi A. Procedeu de prelucrare a dinților angrenajului precesional. Nr.3532MD, BOPI 3/2008.
14. Bostan I., Mazuru S., Broșoveanu C., Rusu V. Dispozitiv pentru fixarea roților dințate conice. Nr.3531MD, BOPI 3/2008.
15. Bostan I., Mazuru S.. Procedeu de execuție a roților dințate conice. Nr.3562MD, BOPI 4/2008.
16. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, SlătineanuLaurențiu, Stîngaci Ion. Procedeu de prelucrare a roților dințate. B.I. 373 de scurtă durată. 2011.05.31. BOPI nr.5/2011.
17. Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M. Method, standards and the equipment for energetic indexes research of the rectification process. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul XLVIII, supliment I. Iași, 2002, p.37-40.ISSN 1011-2855.
- 18.Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M. Method and the equipment at hte research of the rectification process temperature. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul XLVIII, supliment I. Iași, 2002, p.41-44.ISSN 1011-2855.
- 19.Bostan I., Mazuru S., Scaticailov S. Modelul de calcul al componenței radiale a forței de așchiere la rectificarea angrenajelor. În: Materialele Conferinței internaționale Tehnica-Info „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”,vol.3,Chișinău, 2001, p. 280-283.ISBN 9975-9638-3-8.
- 20.Bostan I., Mazuru S.,Vaculenco M. Aprecierea calității organelor de mașini la etapa de pregătire tehnologică a producției. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul LIV, fascicula VC, Iași, 2004, p. 749- 752. ISSN 1011–2855.
- 21.Bostan I., Mazuru S., Botnari V. CINETIC process of teeth grinding. In: The 15th International Conference „Modern Tehnologies, Quality and Innovation”,p.121-124.ModTech 2011, 25-27 May, 2011, Vadul lui Voda, Moldova – Romania. ISSN 2069-6736.
- 22.Bostan I., Toca A., Mazuru S., Scaticailov S. Cercetarea variației secțiunii transversale teoretice a așchiilor dintre sculă și roata dințată conică recesională la rectificare și frezare. În: Buletinul

- Institutului Politehnic din Iași, tomul LIV, fascicula VC, Iași, 2004, p.749- 752. ISSN 1011–2855.
23. Bostan I., Mazuru S., Trifan N., Vaculenco M. Unele aspecte privind moletarea roților dințate din angrenajul precesional. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul XLVIII, supliment I, Iași, 2002, p.46-52. ISBN 9975-9875-5-9.
 24. Bostan I., Mazuru S., Trifan N., Vaculenco M. Prelucrare prin electroeroziune după contur – metodă de alternativă de formare a danturii din angrenajul precesional. În: Materialele Conferinței internaționale Tehnica-Info „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”, vol.2, Chișinău, 2005, p. 52-56. ISBN 9975-9875-5-9.
 25. Bostan I., Mazuru S., Scaticailov S. Technologies for precessional planetary transmissions toothing generation. In: TEHNOMUS journal, 2013, nr. 20, p.226-233, Suceava. ISSN1224-029X.
 26. Bostan I., Țopa M., Mazuru S. L’engrenage precesional a profil modifie. In: Cul. 32StInternational Attend Scientific Conference “Modern technologies in the XXI century”, Bucharest, 1-2 novambre.
 27. Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M., Scaticailov S. Issues technology manufacturing precessional gears with nonstandard profile generating. In: IX international congress “Machines, Technologies, Materials 2012”, Varna, Bulgaria, 2012, vol. I. ISBN-1310-3946.
 28. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Scaticailov Sergiu. Unele particularități de rectificare a suprafețelor întrerupte. În: Materialele Conferinței internaționale Tehnica-Info, „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”, vol. 3, Chișinău, 2001, p. 284-287.
 29. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Trifan Nicolae. Metode constructive de asigurare a calității pieselor de tip roată dințată. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul LIV, fascicula Vc, Iași, 2004, p. 757–760. ISSN 1011-2855.
 30. Bostan I., Mazuru S., Casian M. Method for determining the gear wheels profile. In: Innovative Manufacturing Engineering & Energy International Conference – IManE&E 2013. Applied Mechanics and Materials, vol. 371, 2013, p. 883-887. ISBN13: 978-3-03785-786-1.
 31. Botnari V., Mazuru S. Influence of Processing Parameters on the Quality of the Superficial Layer after Processing Surfaces with Plastic Deformation Processes. In: Applied Mechanics and Materials, vol. 657, 2014, p. 147-153. Switzerland: Trans Tech Publications. ISSN 1660-9336.
 32. Casian M., Mazuru S. A study concerning the workpiece profile after grinding process of precessional gear wheels. In: Advanced Materials Research, vol. 1036, 2014, p. 292-297. Switzerland: Trans Tech Publications. ISSN 1022-6680.
 33. Chereches T, Lixandru P., Mazuru S., et al. Numerical Simulation of Plastic Deformation Process of the Glass Mold Parts. In: Applied Mechanics and Materials, vol. 657, 2014, p. 126-132. Switzerland: Trans Tech Publications. ISSN 1660-9336.
 34. Cempel C. Multidimensional condition monitoring of mechanical systems in operation. In: Mech. Syst. Signal Process, 2003, nr.17, p. 1291–1303.
 35. Coleman W. Effect of Mounting Displacements on Bevel and Hypoid Gear. Tooth Strength, Society of Automotive Engineers, Automotive Engineering Congress and Exposition, Detroit, Michigan, Feb. 1975.
 36. Culaghin S.P, Lenov S.L., Novoselov Iu.K. Tehnologhiceskoie obespecenie kacestva izgotovlenia detalei s iznogostoikim pokrítieim. Novosibirsk, 1993. 205p.
 37. Davim J.P., Gaitonde V., Karnik S. Investigations into the effect of cutting conditions on surface roughness in turning of free machining steel by ANN models. In: J. Mater. Process Technol., 2008, nr. 205, p. 16–23.
 38. Dulgheru V. Statica și dinamica transmisiilor planetare și precesionale (Statics and dynamics of planetary and precessional transmissions). Specialitatea 05.02.02 – Studiul mașinilor și organe de mașini. Teză de doctor habilitat în tehnică. În: UTM, Chișinău, 1995, vol. 1, 376 p.
 39. Fritz G. Freiburger Forschungshalte. B -Mataalkunde Acad. Verlag, Berlin, 1957.

40. Juvinall R. Stress, strain and strength. New York:McCraw Hill, 1967.
41. Gosselin G., Cloutier L., Nguyen Q.D. General Formulation for the Calculation of the Load Sharing and Transmission Error Under Load of Spiral Bevel and Hypoid Gears.In: Mechanism and Machine Theory, 1995, vol. 30, nr. 3, p. 433-450.
42. Guo X., Li R., Qin Y, Balendra R. Finite element modeling and the software development for contact analysis of spiral bevel and hypoid gearing.In: Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions, ICMT2001, Chongqing, China, 2001, p. 90-95.
- 43.Gusev V.V. Obosnovanie i razrabotka sposoba povîşenia proizvoditelnosti obrabotkispeţizdelii iz sitallov.Avtoref. ... kand.teh.nauk 05.03.01, MVTU Bauman, M.,1986, 20 c.
44. Hank V. Residual stresses. Their Importance in Science and Technology. Proc.European Conf. on Residual Stresses, Karlsruhe, 1983.
45. Handschuh R.F., Bidel G.D. Comparison of Experimental and Analytical Tooth Bending Stress of Aerospace Spiral Bevel Gears.In: Proc. of 4th World Congress on Gearing and Power Transmission, Paris, 1999, vol. 1, p.557-569.
- 46.Huang Ch., Li R., Qin D., et al. Experimental investigation on the loaded behaviors of spiral bevel and hypoid gears with different contact path strategy.In: Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions, ICMT2001, Chongqing, China, 2001, p. 62-66.
47. Lavine A.S. A Simple Model for Convective Cooling During the Grinding Process. In: ASME, Journal of Engineering for Industry, 1988, nr. 2.
48. Linke H. et al. A New Methodology for the Calculation of the Geometry, the Contact Pattern and the Gear Load Capacity of Bevel Gears.In: Proc. of 4th World Congress on Gearing and Power Transmission, Paris, 1999, vol. 1, p.623-635.
49. Liy Y., Chen Y. Simulation for Surface Grinding. In: ASME, Journal of Engineering for Industry,1989, nr.1, p. 164.
50. Malkin S., Guo C.S. (eds.). Grinding technology: theory and application of machining with abrasive. New York: Wiley, 2008.
51. Marburger R.E., Kcistinen D.P. The determination of hardness in steed from the Breadth of X-ray diffraction lines. In: Trans. Amer. Soc. Metals,1961, nr.53.
52. Matiuha P.G. Teoreticeskie i experimentalnîe issledovania kinematiki proţessa i reliefa kruga pri almaznom şlifovanii: autoreferatul tezei de doctor în ştiinţe tehnice: 05.03.01. MVTU Bauman, M., 1980.16p.
53. Mazuru S., Vlase A., Scaticailov S. Tehnologii de prelucrare pe maşini de danturat. Chişinău: Tehnica, UTM, 2014. 248 p. ISBN 978-9975-45-335-6.
54. Mazuru S. Cercetarea variaţiei secţiunii transversale teoretice a aşchiilor dintre sculă şi roata dinţată conică recesională la rectificare şi frezare. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, tomul LIV, fascicula Vc. Iaşi, 2004, p. 753–756. ISSN 1011-2855.
55. Mazuru S. Contribuţii la studiul stratului superficial în urma rectificării danturii (partea I). În: Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, tomul LII, fascicula Va, Secţia Construcţia de Maşini, Iaşi.
56. Mazuru S. Contribuţii la studiul stratului superficial în urma rectificării danturii (partea II).În: Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, tomul LII, fascicula Vc, Secţia Construcţia de Maşini, Iaşi.
57. Mazuru S. Influenţa cedărilor elastice ale sistemului tehnologic asupra preciziei de prelucrare a roţilor dinţate precesionale. În:Materialele Conferinţei internaţionale Tehnica-Info „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”,Chişinău,1999, vol. 4, p. 335-338.
58. Mazuru S. Capacitatea de rectificare a discului abraziv al suprafeţei angrenajului. În: Materialele Conferinţei internaţionale„Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”,vol.3, Chişinău: UTM, 2005, p. 322. ISBN 9975-9875-6-7.
59. Mazuru S. Modelul optimizării parametrilor de precizie ai elementelor tehnologice ale operaţiilorde

- danturare cu utilizarea criteriului economic de optimizare. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul LVIII, Fasc. 3, 2008.
60. Mazuru Sergiu, Botnari Vlad, Scaticailov Serghei, Mazuru Alexandru. Sposob i ustroistvo dlia uprociniaiușei obrabotki s naneseniem pokrîtii poverhnostnogo sloia zubiev zubceatîh kolios. V: Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XX международной научно-технической конференции, 2013, том 2, Донецк. ISSN 2079-2670.
 61. Mazuru S., Botnari V., Mardari A. ș.a. Procedeu de șeveruire a dinților roților dințate precesionale. Hotărâre nr. 7469 din 2013.03.06 de acordare a brevetului de invenție de scurtă durată. Int. CI: B23F19/00, B23F19/06.
 62. Mazuru S., Cosovschi P., Pereu E. Punching of conic gear wheels in severlas stamps. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul LII, fascicula V, Secția Construcția de Mașini, Iași.
 63. Mazuru S., Scaticailov S. L'efficacitate de la rectification de la force et de la vitesse. În: Buletinul Institutului Politehnic din Iași, tomul XLVIII, supliment I, Iași, 2002, p.237-240. ISSN 1011-2855.
 64. Mazuru S., Scaticailov S., Crețu Ș. Rectificarea angrenajelor cu discuri din materiale extradure. În: Materialele Conferinței internaționale Tehnica-Info "Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare", vol.3, Chișinău, 2001, p. 280-283. ISBN 9975-9638-3-8.
 65. Mazuru S., Scaticailov S., Crețu Ș. Sporirea preciziei de danturare prin alegere corectă a dinților lirei de divizare. În: Materialele Conferinței internaționale Tehnica-Info „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”, vol.3, Chișinău, 2001, p. 368-272.
 66. Mazuru S., Scaticailov S. Rectificarea angrenajelor cu discuri din materiale extradure. În: Materialele Conferinței internaționale Tehnica-Info „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”, vol. 3, Chișinău, 2001, p. 451-454. ISBN 9975-9638-3-8.
 67. Mazuru S., Metelski V. Constructive methods to ensure the accuracy of technological-quality indicators gears. In: The 16th International Conference „Modern Tehnologies, Quality and Innovation”. ModTech 2012, 24-26 May, 2012, Sinaia, Romania, p.541-544. ISSN-2069-6737.
 68. Mazuru S. Bazele proiectării dispozitivelor. Îndrumar de proiectare. Chișinău: Departamentul editorial-poligrafic al UTM, 2001. 180 p.
 69. Mazuru Sergiu, Mardari Alexandru. Formă de presarea pulberilor metalice. Brevet de invenție de scurtă durată nr. 676, 2013.09.30, 2014.04.30.
 70. Mazuru S., Bostan I. Influence of the grinding parametres on the characteristics of gears teeth outerlayer. Second part. In: Proceedings of The 13th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Inovation, Iasi & Chisinau ModTech, 2009, p.79-82.
 71. Mazuru S. Influence of the grinding parameters on the characteristics of gears teeth outerlayer. First part. In: Proceedings of The 13th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Inovation, Iasi & Chisinau ModTech, 2009, p. 391-394.
 72. Mazuru S. System reliability and optimization processing parameters for its accuracy of elements. First part. In: The 14th International Conference „Modern Tehnologies, Quality and Innovation”. ModTech 2010, 20-22 May, 2010, Slanic Moldova, Romania, p.379-382.
 73. Mazuru S., Casian M., Scaticailov S. Contributions to increase safety of operating equipment tehnology gear. V: Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции, том 3, 2012, с. 157-160, Донецк. ISSN 2079-2670.
 74. Mazuru S., Rușica I., Stroncea A. Mandrină pentru fixarea pieselor. Brevet nr. 3807MD, I.Cl.: G01 L3/16.
 75. Mazuru Sergiu, Botnari Vlad, Mardari Alexandru, Casian Maxim, Mazuru Alexandru. Procedeu de honuire a dinților roților dințate precesionale. Brevet de invenție de scurtă durată nr. 807. Int. CI: B23F19/00, B23F19/06.

- 76 .Mazuru S., Casian M. Theoretical and experimental aspects concerning elastic behavior in the grinding technological system In:Advanced Materials Research, vol. 1036, 2014, p. 286-291. Switzerland: Trans Tech Publications. ISSN 1022-6680.
- 77 .Mazuru S., Casian M., Scaticailov S. The processing accuracy of the gear. In:Advanced Materials Research nr.112,2017.01026. 21st Innovative Manufacturing Engineering & Energy International Conference – IManE&E 2017,pag. 122-127.ISBN 978-1-5108-4430-8.
78. Parrisch G. Gear steels and their heat treatment. In: Engineers' Digest., nr. 10, 1988.
- 79 .Peterson B., Axen B. Thermography Testing of the Thermal Insulation and Airtightness of Buildings. Stockholm: Swedish Council for Building Research, 1989.
- 80 .Przybylski L. O mozliwosci ksztaltowania niektorych parametrow charakteryzujacych warstw wierzehnia w procesie szlifowania. In: XIII Naukowa Szkola Obrobki Sciernej cz. II. PAN, Politechnika Warszawska Warszawa-Wilga 1990. Biuletyn Informacyjny VIS, nr. 2, 1990.
- 81 .Rowe G.W., Wetton A.G. Theoretical considerations in the grinding of metals.In: J. Inst.Metals, 1969, nr. 97, p. 193–200. 12B674.
- 82 .Slatineanu L., Dodun O., Mazuru S. Some geometrical consideration concerning the applying of the facing test of the machinability studying. In: Proceedings. The 5th International Conference on advanced manufactured technologies. ICAMa 2007. 12th-14th 2007, p. 21-24. Sibiu. AGIR Publishing House. Academy Publishing House. Academy of technical Science of Romania. ISSN 1843–3162.
- 83 .Slatineanu L., Coteata M., Pop N., Mazuru S., et al. Impact phenomena at the abrasive jet machining. In: Nonconventional technologies Review, nr. 1, 2009, p.96-99.
- 84 .Slatineanu L., Toca A., Mazuru S. et al.Theoretical Model of the Surface Roughness at the End Milling with Circular Tips. In: Annals of AAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium,p. 1273-1274. Editor B.K. Attalinic.Austria, Vienna:DAAAM International, 2008.ISBN 978-3-901509-68-1, ISSN 1726-9679.
- 85 .Spengler A. Rechnergestitzte Werkstoffanswahl fiir einsatzgehärtete Zahnräder .In:Maschinenbautechnik, nr. 10, 1989.
86. Sroda P. Analysis of the shape of the geometry during meshing of involutes gears. In:Wear, nr. 2, 1988.
87. Stadtfeld H.J. The Universal Motion Concept for Bevel Gear Production. In:Proc. of 4th World Congress on Gearing and Power Transmission, Paris,1999, vol. 1, p. 597-607.
88. Tonshoff U.K., Brinksmeier E. Determination of the Mechanical and Thermal Influences of Machined Surfaces by Microhardness and Residual Stress Analysis. In:Annals of the CIRP, vol. 2. nr. 29, 1980.
89. Torrance A.A. A three-dimensional cutting criterion for abrasion. In:Wear, nr.1, 1988.
90. Varnai T. Effect of tempering on grinding cracks in casehardening parts. Heat Treatment'76. The Metals Society, London, 1976.
- 91.Vaculenco Maxim. Contribuții la studiul preciziei de prelucrare a danturilor angrenajului precesional. Chișinău: UTM, 2008. 19 p.
92. Waterhouse R.B. Fretting corrosion. Pergamon Press, Oxford, New York,Toronto,Sydney, Braunschweig,1972.
93. Wefi E., Kieg U., Strumpf D. Bewertung von Finite-Elemente – Spanungsanalysen hinsichtlich Tragfähigkeit. In: Maschinenbautechnik, nr. 6, 1986.
- 94.Zaborowski T. Internal Stress Afler Heat Treatment of Gears Made of Alloy Carburizing Steels. In: International Congress "Gear Transmissions' 95", Sofia, Bulgaria, 1995.
- 95.Yoshida A., Fujita K., Miyanishi K., et al.Effect of standard pressure angle on the fatigue strength of nitrided gears. In: JSMEInt. J. Ser. Ill., nr. 1, 1988.

96. Zaborowski T. Формирование поверхностного слоя зубов зубчатого колес в процессе шлифования. Scientific jurnal Maritime University of Szczecin. 2013, 35(107) pp. 174-179, ISSN 1733-8670.
97. Zaborowski T., Разработка физико-математической модели процесса зубошлифования тарельчатым конусным кругомю Сборник научных трудов международной конференции «Производство. Технология. Экология», М. Станкин, Москва.с. 84-106, 2003 г.
98. Авдеев В.Б. Оценка точностной надежности токарного станка с ЧПУ по параметрам отклонения расположения поверхностей обрабатываемых деталей: Дис... канд. техн. наук. М., 1980. 195 с.
99. Адам Я.И.,Г.Г. Овумян. Справочник зубореза. М.: Машиностроение, 1983.223 с.
- 100.Адомиан Дж. Стохастические системыю. Пер. с англ. М.: Мир, 1987.376 с.
- 101.Аликулов Д.Е. Технологическое обеспечение точности зубообработки на основе единой системы отсчета погрешностей зубчатых передач. Дис... д-ра техн. наук. Ташкент, 1988. 380 с.
- 102.Бабичев Д.Т.О базовых геометрических примитивах теории зубчатых зацеплений.В: Теория и практика зубчатых передач. Труды международной конференция, Ижевск, 1996, с.469-474.
- 103.Березовский А.А., Алексанян В.Д. О температурном поле абразивного зерна. В: Машиностроение,1984.
- 104.Бостан И., Мазуру С. Повышение нагрузочной способности зубчатых колес с нестандартным профилем. В: Сборник трудов XV конференции „Машиностроение и техносфера XXI века”, том 2. Донецк, 2009. ISBN 966–7907-25-2.
- 105.Бостан И., Мазуру С., Касиан М. Оптимизация параметров точности элементов технологических систем операций зубообработки. В: Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции,том 1, 2012, Донецк,с. 109-112. ISSN 2079-2670.
- 106.Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. М.: Машиностроение, 1975. 159с.
- 107.Брюхов А.В.,П.А. Гудков, В.П. Пономарев.Оценка и повышение надежности зубообрабатывающих операций свободного обката. В: Тез. докл. науч.-практ. конф. М., 1986,с. 167-169.
- 108.Брюхов А.В. Повышение надежности процесса шевингования по обеспечению кинематической точности цилиндрических зубчатых колес. Дис... канд. техн. наук. Курган, 1986. 294 с.
- 109.Булгаков Э.Б. Зубчатые передачи с улучшенными свойствами. Обобщенная теория и проектирование. М.: Машиностроение, 1974.
- 110.Важник Л.Н. Повышение сопротивления усталости цементованных зубчатых колес смещением очага разрушения под поверхность. В: Вестник машиностроения, №9, 1987.
- 111.Вентцель Е.С. Исследование операций, задачи, принципы, методология.М.: Наука, 1980. 207 с.
- 112.Волков А.Э. Анализ нагруженной зубчатой передачи с учетом одновременной работы трех пар зубьев.В: Проблемы машиностроения и надежности машин, 2000, № 6, с.92-100.
- 113.Волков А.Э. Повышение эффективности моделирования процессов формообразования и анализ работы конических и гипоидных зубчатых передач на стадии подготовки производства. Дисс. ... докт. техн. наук. М., 2001.
114. Гайда А.В. Оптимизация параметров клеевого соединения твердосплавного режущего инструмента с целью повышения его эффективности. Дис... канд. техн. наук. Киров, 1987. 243 с.
- 115.Гинзбург Е.Г., Голованов Н.Ф. и др. Зубчатые передачи. Справочник. Ленинград: Машиностроение, 1980, 213 с.

- 116.ГОСТ 13281-77.Станки зубошвинговальные. Нормы точности и жесткости.- Взамен введ. 01.01.94. - М.: Изд-во стандартов, 1993.-15 с.
- 117.Глушенко Е.И. Направленный поиск и оптимизация структур операций и процессов в технологии машиностроения: (Крупносерийное производство): Автореф. дис... д-ра техн. наук. — М., 1974. - 74 с.
- 118.Глушко, В.В. Системный подход к проектированию станков и роботов / В.В. Глушко. - Киев: Техника, 1981. — 136 с.
- 119.Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. - 6-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 1997.-479 с.
- 120.ГОСТ 13142-90.Станки зубошлифовальные для конических колес. Основные размеры. Нормы точности.Переизд. Янв. 1991. Взамен ГОСТ 659-78. Введ. 1.07.1990. М.: Изд-во стандартов, 1989. 27 с.
- 121.Гудков П.А., Хрипунов С.В. Михалев А.М., Моисеев С.Ю. Информационное обеспечение процедур оптимизации точности технологических систем зубообработки.В: Современные информационные технологии. Тр. междунар. науч.-техн. конф., Пенза, 2002,с. 76-79.
- 122.Гуляев В.И. Исследование косозубых шестерен тягового редуктора подвижного состава, упрочненного комбинированной обработкой. Дис.канд. техн. наук. Москва, 1987. 246с.
- 123.Данилов В.Ф., Бурнаков К.К., Куль А.П., Чинокалов В.Я. Причины образования дефектов при шлифовании. В: Вестник машиностроения, №7, 1978.
- 124.Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск.М.: Мир, 1981.456 с.
- 125.Дорофеев В.Л. Анализ и расчет контактных и изгибных перемещений деталей машин.В: Вестник машиностроения, 1993, №10, с. 5-7.
- 126.Дусев И.И. Аналитическая теория пространственных зацеплений и ее применение к исследованию гипоидных передач. Автореферат дисс. ... докт. техн. наук. Новочеркасск, 1969.
- 127.Ермаков С.М. Статистическое моделирование. М.: Наука, 1982.296 с.
- 128.Калашников С.П., КалашниковА.С.Зубчатые колеса и их изготовление.М.: Машиностроение, 1983. 264 с.
- 129.Колесников В.К, Котликова В.Я. О технологическом синтезе пространственных зубчатых передач с локализованным контактом.В: Проблемы машиностроения и надежности машин, 1993, № 1, с. 86-91.
- 130.Комаров В.Л. Обработка зубьев цилиндрических колес червячными фрезами. В: Сб. "Резание и инструмент", №25. Харьков: Высшая школа, 1979 г., с.65-71.
- 131.Комаров В.Л. Количественная оценка износа при резании. В: Материалы международной научно-практической конференции "Technology – 2000 ", Орел: ОГТУ, 2001.
- 132.Комаров В. Теплофизическое моделирование процесса разрушения твердых материалов при резании. В: Материалы научно-практической региональной конференции, Орел, 1991, с. 128.
- 133.Кораблев А.И., Решетов Д.Н. Повышение несущей способности и долговечности зубчатых передач. М: Машиностроение, 1982.287с.
- 134.Кравченко Б. Формирование остаточных напряжений при шлифовании. В: Вестник машиностроения, № 6, 1978.
- 135.Кузнецов Д.В. Физика резания и трения металлов и кристаллов. Москва: Изд. Наука, 1977.
- 136.Кустовский В.Н., Гудым Л.Н., Книнсберг Ц.З. Опыт внедрения чистовой обработки зубчатых профилей пластическим деформированием.В: Вестник машиностроения, 1995, №10, с. 34-40.
- 137.Лагутин С.А. Пространство зацепления и его элементы.В: Машиноведение, 1987, № 4, с.69-73.
- 138.Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. Киев: Техника, 1971.

139. Мазуру С. Оценка точности обработки зубьев зубчатых колес с нестандартным профилем. В: Сборник трудов XV МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века», том 2, Донецк, 2008.
140. Мазуру С. Оценка уровня надежности обработки и оптимизации параметров точности элементов технологических систем. В: Сборник трудов XIII МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века», том 2, Донецк, 2007, с. 183-186. ISBN 966-7907-17-1.
141. Мазуру С. Повышение нагрузочной способности зубчатых колес технологической комбинированной обработкой. В: Машиностроение и техносфера XXI века, том 5, Донецк, 2006.
142. Мазуру С. Математическое моделирование кинематики процесса зубошлифования. В: Машиностроение и техносфера XXI века, том 5, Донецк, 2006.
143. Мазуру С.Г., Метельский В. Обеспечение точности базирования зубчатого колеса интегрированием погрешностей технологической базы. В: Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции, том 2. 2011, с. 171-174. Донецк. ISSN 966-7907-20-1.
144. Мазуру С.Г., Скатицайлов С.В., Мазуру А.С. Экспериментальные исследования поверхностного слоя зубьев зубчатых колес в зависимости от условий шлифования, стойкости инструмента и качества обработки. В: Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции, том 2, 2012, с. 159-162. Донецк. ISSN 2079-2670.
145. Овсеенко А.Н., Серебряков В.И. Формирование состояния поверхностного слоя деталей машин технологическими методами. В: Polytechnic Opolska, Opole, 2001, 224 с.
146. Полоцкий М.С. Повышение точности быстроходных зубчатых передач шевингованием. В: Тр. ЦНИИТМАШ, М., 1960, № 10, с. 5-63.
147. Пономарев В. Выбор варианта окончательной обработки зубьев цементованных шестерен силовых передач транспортных машин. В: Методы изготовления зубчатых колес. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Пермь, 1987, с. 93-110.
148. Пономарев В.П. Основы комплексного управления точностью изготовления зубчатых колес. Дис... д-ра техн. наук. Курган, 1976. 279 с.
149. Пономарев В.П., Бословяк И.П. Рациональное назначение припусков на размеры термически упрочняемых зубчатых колес. В: Вестник машиностроения, 1979, № 9, с. 59-61.
150. Пономарев В., Штин А. Выбор технологических допусков и размеров при зубонарезании зубчатых колес подвергаемых химико-термической обработке. В: Вестник машиностроения, № 3, 1981.
151. Производство зубчатых колес. Справочник. Москва: Машиностроение, 1975.
152. Проскуряков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. М.: Машиностроение, 1981. 221 с.
153. Рахимов Х. Параметрическая оптимизация технологических объектов управления в механической обработке резанием. Дис... канд. техн. наук. Ташкент, 1988. 201 с.
154. Романов В.Ф. Изготовление и отделка цилиндрических зубчатых колес. В: Справочник металлиста. Под ред. А.Н. Малова, М., 1977, том 3, с. 493-547.
155. Руденко В.К. и др. Исследование контактных температур при зубошлифовании на станках типа Найльс. В: Сверхтвердые материалы, № 6, 1985.
156. Рыжов Э.В., Корж Н.Я., Дубник Н.П. Обработка зубчатых колес кругами из сверхтвердых материалов с неметаллическими покрытиями зерен. В: Станки и инструменты, № 1, 1983.
157. Сагарда А.А., Руденко Б.К., Белостоцкий С.И., Корж Н.Я. Исследование и опыт высокопроизводительного зубошлифования зубчатых колес кругами из плотных модификаций нитрида бора. В: Материалы Международного семинара «Сверхтвердые материалы», т. 2, Киев,

1981.

158. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин В.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машиностроение, 1987.
159. ТайцБ.А. Точность и контроль зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1972. 368 с.
160. Тернюк Н.Э. Основы комплексной оптимизации технологических систем для производства зубчатых колес. Дис... д-ра техн. наук. Харьков, 1983. 420 с.
161. Устиловский С.Я., Островский Г.А., Рыскинд А.М. Расчет распределения температур и напряжений при закалке цилиндрических деталей. В: Металловедение и термическая обработка металлов, №10, 1986.
162. Хлебалин Н.Ф. Теоретические основы единого метода расчета наладочных установок станков для обработки конических колес с круговыми зубьями. Автореф. дис ... докт. техн. наук. М., 1975.
163. Хрипунов С.В. Механизм формирования и перераспределения погрешностей зубчатых колес на операции шевингования. В: Молодежь Зауралья – третьему тысячелетию. Сб. тр. обл. науч.-практ. конф. III-го фестиваля-конкурса науч.-исслед., техн. Кург. обл. Курган, 2000, ч.1, с 12-13.
164. Шевелева Г.И. Теория формообразования и контакта движущихся тел. Монография. М.: Издательство "Станкин", 1999. 494 с.
165. Якимов А.В., Бахвалов В.А. Формирование напряженного состояния при шлифовании сталей. В: Вестник машиностроения, №8, 1978.
166. Якимов А.В., Смирнов Л.П., Бояршинов Ю.Л. и др. Качество изготовления зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1979.

TEHNOLOGII ȘI PROCEDEE DE DANTURARE A ROȚILOR DINȚATE

Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate

**Autori: Sergiu Mazuru
Serghei Scaticailov**

Bun de tipar 26.12.18

Comanda nr. 95

MD-2004, UTM, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168

Editura „Tehnica-UTM”

MD-2045, Chișinău, str. Studenților, 9/9