

FABRICABILITATE, CALITATE, FIABILITATE

*Titu-Marius I. BĂJENESCU, prof.
C. F. C., La Conversion, Elveția*

1. INTRODUCERE

La începutul secolului XX, în 1907, Henry Ford a revoluționat procesul de fabricare introducând tehnologia liniei de transfer, pentru producția de masă, în care intrările de bază sunt procesate într-o secvență dată de pași, folosind un echipament proiectat special pentru a produce un singur produs standardizat, în cantități foarte mari, pentru perioade lungi de timp. De-atunci încolo, tehnologia a evoluat în permanență, fără încetare (figura 1).

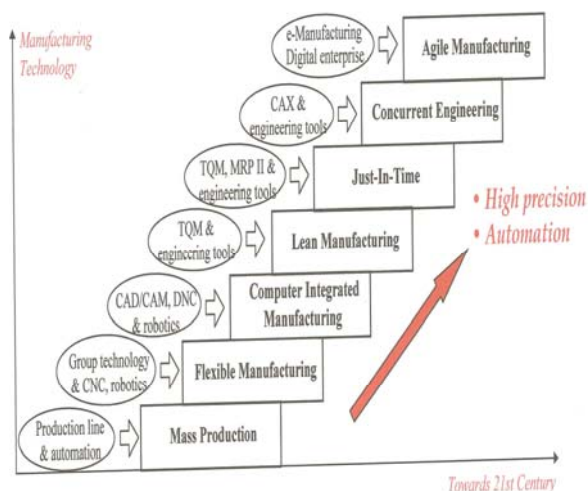


Figura 1. Evoluția în timp a tehnologiei manufacturiere¹ [1]

În trecut, se proiectau de multe ori produse care nu puteau fi fabricate în serie, dar care funcționau ca prototip, puse la punct de tehnicieni cu o înaltă calificare. O dezvoltare efectivă, clasică, a unui produs trebuie să meargă dincolo de pașii tradiționali de realizare, implementare și proiectare tehnologică a procesului (figura 2). Ea trebuie să folosească practicile managementului pentru a ține

seama de cerințele clientului, proiectând aceste cerințe în produs și asigurând apoi atât fabricarea reală cât și cea virtuală (firmele ce aprovizionează compania).

*Concept → Plan → Dezvoltare → Calitate →
Lansare → Susținere → Retragere*

Figura 2. Procesul clasic de dezvoltare (și retragere eventuală de pe piață) al unui nou produs [2].

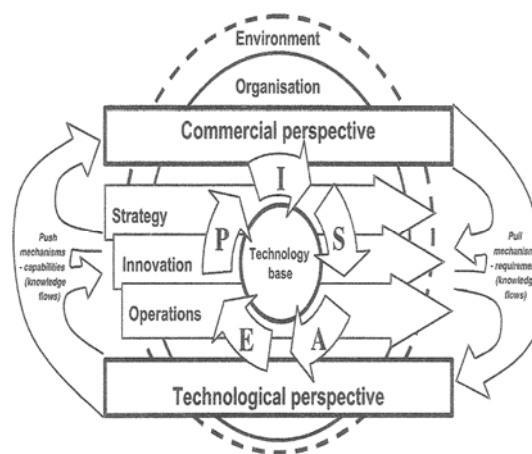


Figura 3. Cadrul în care activează managementul tehnologiei [3].

Inițial, produsele sunt concepute pentru a oferi o anumită capacitate de a realiza obiectivele și specificațiile performanțelor necesare așteptate. Cu specificații date, un produs poate fi proiectat adoptând diferite căi. Obiectivele proiectantului trebuie să fie de a optimiza proiectarea produsului ținând seama de sistemul de producție².

În general, forțele de proiectare din interiorul unui sistem funcțional de producție pot fi modificate doar minimal. Cu toate acestea, în anumite cazuri, sistemul de producție va fi proiectat (sau reproiectat) în legătură cu proiectarea unui anumit produs. Când inginerii de proiectare lucrează în colaborare cu inginerii din lanțul de fabricare, pentru a proiecta și raționaliza atât produsul,

¹ *Agile Manufacturing (AM)* - Fabricarea agilă, responsabilă, demnă de încredere, este condiția necesară pentru a putea concura pe piața globală. Astăzi piața globală cere o calitate ridicată și produse deosebit de performante, realizate în cicluri mai scurte și la prețuri mai scăzute. Conceptul AM a fost introdus în 1991 datorită efortului de cercetare (sponsorizat de guvern) făcut de *Lehigh University*; AM este capacitatea de a supraviețui și prospera într-un mediu competitiv, cu schimbări continue și imprevizibile, reacționând rapid și eficace ("agil") la schimbările pieței.

² Sistemul de producție al unei companii include furnizorii ei, sistemele de manipulare, procesele de fabricare, capacitățile forțelor de laborator și sistemele de distribuție.

producția, cât și procesele de aprovizionare, se spune că avem de a face cu o *proiectare integrată într-un proces de fabricare*. Punctul de plecare pentru dezvoltarea unui produs integrat este luarea în considerare a proiectării pentru fabricabilitate, ținând seama de costuri, calitate, fiabilitate și mentenabilitate.

Un obiectiv important al proiectantului este acela de a proiecta un produs care să funcționeze, respectând constrângerile economice și termenele date. Cercetările au arătat însă că hotărârile luate de-a lungul perioadei de proiectare determină 70% din costurile de proiectare, în timp ce deciziile luate în timpul producției nu reprezintă decât 20% din costurile de producție. Deciziile luate în primele 5% din bugetul de proiectare a produsului pot determina vasta majoritate a costurilor produsului, calitatea și caracteristicile de fabricabilitate. Aceasta indică importanța pârghie pe care o are proiectarea pentru fabricabilitate (*design for manufacturability DFM*) asupra succesului și profitabilității companiei.

2. FABRICABILITATE

Primele eforturi efectuate în domeniul manufacturabilității datează din anul 1987; industria a început să abordeze problema abia în 1993-1994, când a apărut și prima ediție a *NCMS/SAE R&M Guideline for Manufacturing Equipment*. (A doua ediție a apărut în 1999).

În 1995 apare *AMT Production Availability Guideline* care se ocupa de utilizarea și disponibilitatea echipamentelor industriale (AMT: *The Association for Manufacturing Technology*); a doua ediție a fost publicată în 2000. Ediția 4-a, apărută în 2011, poartă titlul "*Production Equipment Availability – A Measurement Guideline*".

Fabricabilitatea se află așadar în plină tinerete a existenței.

Pentru publicul larg, fabricabilitatea este un cuvânt aproape magic - și pe bună dreptate. Tranziția de la agricultură la fabricabilitate este drumul spre productivitatea superioară, spre creșterea standardului de viață pentru economiile în curs de dezvoltare. În economiile dezvoltate, bunurile manufacturate sunt mărturia tangibilă a inovației și a concurenței. O nouă eră inovativă, plină de promisiuni, inspiră noua generație de profesioniști în fabricabilitate.

La nivel mondial, *manufacturing* reprezintă 16% din totalitatea *Good Delivery Bar* (GDB). În țările dezvoltate, industria manufacturieră creează în fiecare an peste 62 milioane locuri de muncă; din acestea, între 30% și 55% sunt posturi de servicii în

industria manufacturieră. Iar viitorul – spun experții – este deosebit de promițător; ei apreciază că, în următorii 15 ani, alte 18 miliarde joburi vor depinde de consumul global, iar GDB se va dubla și va atinge cifra record de 64 trilioane USD [4].

După cum se poate vedea din Tabelul 1, economiile țărilor în curs de dezvoltare au crescut mai rapid decât economiile țărilor dezvoltate. Între anii 2000 și 2010, proporția lor în *global manufacturing* aproape s-a dublat, crescând de la 21% la 39%.

În China și India creșterea în domeniul serviciilor a fost mai rapidă și continuă să depășească creșterea din domeniul manufacturării, în prețuri curente, în parte și datorită scăderii prețurilor pentru bunurile durabile. Aceasta a condus la reducerea procentuală a bunurilor manufacturate în GDP de la 22% în 1990, la 16% în 2010. Singura țară din lume care s-a dezvoltat contrar curentului, timp de mai bine de un deceniu, a fost Suedia.

Întrucât, în lume, natura nu este prezentă în forma pe care ne-am dori-o, trebuie s-o "rearajăm". Pentru a crea această nouă ordine, avem nevoie de informații despre cum ar arăta forma pe care ne-o dorim, de cunoștințe despre cum să o construim și de energia de care ar fi nevoie pentru a-i da forma dorită. Multe revoluții tehnologice din trecut s-au

Rank	1980	1990	2000	2010
1	United States	United States	United States	United States
2	Germany	Japan	Japan	China
3	Japan	Germany	Germany	Japan
4	United Kingdom	Italy	China	Germany
5	France	United Kingdom	United Kingdom	Italy
6	Italy	France	Italy	Brazil
7	China	China	France	South Korea
8	Brazil	Brazil	South Korea	France
9	Spain	Spain	Canada	United Kingdom
10	Canada	Canada	Mexico	India
11	Mexico	South Korea ¹	Spain	Russia ²
12	Australia	Mexico	Brazil	Mexico
13	Netherlands	Turkey	Taiwan	Indonesia ²
14	Argentina	India	India	Spain
15	India	Taiwan	Turkey	Canada

Tabelul 1. În ultimii 35 ani, economiile țărilor dezvoltate și-au schimbat locul în clasamentul mondial (după [4]).¹⁾ În 1980, Coreea de Sud era pe locul 25; ²⁾ În anul 2000, Indonezia era pe locul 20 iar Rusia pe locul 21.

concentrat asupra energiei, parte integrantă a succesiunii: puterea apei, mașina cu aburi, motorul electric, motorul cu combustie internă.

Totuși, revoluția tehnică actuală nu este condusă de energie, ci de informație. Un Boeing 747 sau un

iPhone este făcut, în mod normal, din cele mai obișnuite materiale care nu costă decât câțiva dolari kilogramul. Însă kilogramul de produs finit se vinde pentru mii de dolari.

Tehnologiile internet și cele fără fir (*wireless*) au făcut ca manufacturarea și afacerile să intre în era *e-Manufacturing* (eM) - un sistem de transformare care permite ca operațiile de fabricare să aibă performanțe situate în apropierea zonei zero de timp morți, sincronizând simultan sistemele de afaceri (*business systems*) prin folosirea tehnologiilor *web*. eM permite schimbul de informații între diferitele sisteme la nivelul fabricării și *business systems* eliminând astfel gâtuirile care pot să apară în întreprinderile convenționale, cu arhitecturi IT. În era eM, companiile pot schimba, foarte aproape de viteza luminii, toate tipurile de informații cu furnizorii lor. În plus, timpii ciclului de proiectare și costurile pentru fabricarea de produse complexe vor scădea, iar informațiile provenind de la etajele de proiectare vor fi transmise instantaneu, către atelierele de reparații (și invers), atât fabricanților cât și lanțurilor de aprovizionare sau furnizorilor.

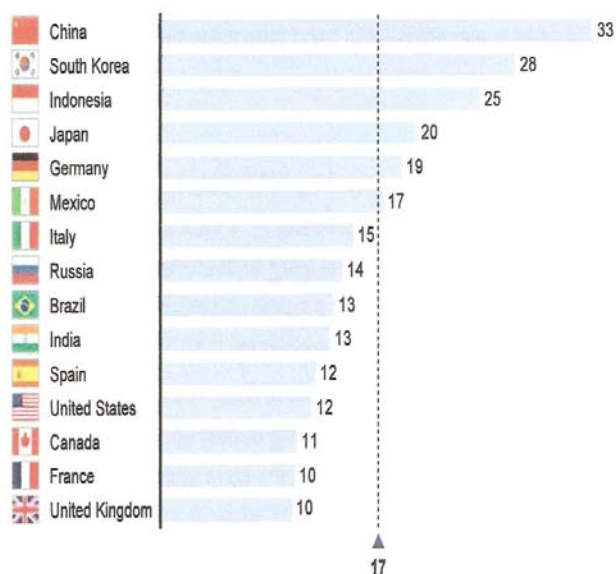


Figura 4. Procentul industriei manufacturiere în primele 15 națiuni fruntașe ale lumii variază între 10% și 33% (după [5] *Manufacturing share of GDP*, 2010).

eM acoperă o multitudine de activități online pentru produse și servicii (proiectarea produsului, controlul producției și monitorizarea condițiilor, gestiunea aprovizionării, mentenanța și serviciile de vânzare, etc.) folosindu-se de o infrastructură Internet/Intranet/Extranet și o infrastructură de calcul în rețea *grid computing* [18].

După cum se poate vedea din tabelul 1, cele mai mari creșteri în materie de manufacturare se

înregistrează astăzi în China, India și alte țări în curs de dezvoltare, contribuind să facă aceste regiuni relativ sărace ale lumii, progresiv mai bogate. Însă mașinile, materialele și *know-how* trebuie să vină din altă parte. Oportunitatea țărilor dezvoltate constă în a construi instrumentele de înaltă tehnicitate necesare, de a le multiplica și de a suplimenta, în mod corespunzător, programarea, finanțarea, logistica și marketingul necesare pentru a pune în fabricare, în mod inteligent, noile dispozitive. În felul acesta, manufacturarea va continua să ”împacheteze” mai multă informație și cunoștințe, folosind mai puțină energie, contribuind așadar la noua ordine a planetei.

După cum se poate vedea din figura 4, procentul industriei manufacturiere, în primele 15 națiuni fruntașe ale lumii, variază între 10% și 33%, cu o valoare medie de 17%.

3. PROIECTARE PENTRU FABRICABILITATE

Proiectarea pentru fabricabilitate (*Design for Manufacturability DFM*) este procesul proactiv de proiectare al produselor pentru (1) optimizarea tuturor funcțiilor de fabricabilitate: fabricare, asamblare, test, aprovizionare, expediere, service și reparații; (2) asigurarea celui mai scăzut preț de cost al calității, fiabilității, conformității cu regulamentele în vigoare, siguranței în funcționare, *time-to-market*, și a satisfacției clientului; (3) asigurarea că lipsa parțială a manufacturabilității nu compromite funcționalitatea, stilul, lansările și livrarea noului produs, programele de îmbunătățire sau inițiativele strategice, făcând astfel dificilă răspunderea în cazul unui neașteptat val de cereri de produs sau în caz de limitare a creșterii.

O altă definiție, din domeniul microelectronicii, spune că proiectarea pentru fabricabilitate este practica proiectării produselor, având permanent în minte procesul de manufacturare [6]. Ea ajută la o producție mai rapidă și reduce, de aceea, efectiv factorul critic de care trebuie să țină seama orice fabricant de cipuri: *Time to market*. DFM ajută așadar la reuzabilitatea proiectării [*design reusability*] [7].

Totuși, aplicarea DFM trebuie să ia în considerare economicitatea întregii proiectări. Ea trebuie să echilibreze eforturile și costurile asociate cu dezvoltarea și rafinarea proiectării, cu costul și calitatea pârghiei care pot fi realizate. Cu alte cuvinte, efortul de a optimiza proiectarea produsului poate fi justificat cu o valoare mai mare sau un volum mai mare al produselor.

Eficacitatea proiectării se îmbunătățește și integrarea este facilitată când:

- Mai puține părți active sunt utilizate mulțumită standardizării, simplificării și regăsirii tehnologiei de grup a informației cu privire la produsele și procesele existente sau preferate;
- Uzinajul se îmbunătățește prin încorporarea practicilor DFM;
- Alternativele proiectării sunt evaluate și instrumentele de proiectare sunt folosite pentru a dezvolta o proiectare mai matură și mai uzinabilă, înainte de lansarea în producție;
- Proiectarea produsului și a procesului include un cadru pentru a echilibra calitatea produsului cu efortul de proiectare și robustețea produsului.

4. SIMPLIFICARE ȘI STANDARDIZARE

Când o proiectare este dezvoltată de la nivelul concepției la nivelul detaliilor, se definește un cadru fizic și funcțional, în care o componentă trebuie să fie "fit" și să performeze. În interiorul constrângerilor acestui cadru, un proiectant trebuie să proiecteze (sau să selecteze) o componentă (sau un ansamblu) pentru folosire. Un proiectant poate avea mai multe alternative pentru a proiecta o componentă și pentru a respecta cerințele date în interiorul acestui cadru.

Proiectarea unei componente cerute de client (sau selectarea unei componente noi) poate fi abordarea optimală pentru a satisface cerințele produsului din punctul de vedere al proiectantului, dar s-ar putea să nu fie abordarea globală cea mai bună pentru companie. Costul producției și calitatea pot fi afectate negativ de proliferarea elementelor specializate care impun capacități speciale sau împiedică fabricarea și procurarea să fie eficiente.

Minimizând numărul părților active/aprobate prin standardizare, nu numai că se simplifică proiectarea produsului, dar se poate mări atât eficiența operațiilor, cât și folosirea unui inventar mai redus. O politică formală a standardizării părților componente și accentuarea utilizării doar a părților care figurează pe lista părților aprobate (*approved part list APL*) - pentru anumite mărfuri - va îndrepta către proiectant atenția managementului.

5. LINII DIRECTOARE DFM PENTRU PROIECTAREA PRODUSULUI

S-au stabilit o serie de linii directoare pentru a obține o calitate superioară și un cost redus, pentru a îmbunătăți aplicarea automatizării și a avea o mentenabilitate mai bună. Dăm mai jos câteva exemple de recomandări utile proiectanților:

* Reduceți numărul de componente/părți pentru a minimiza oportunitatea apariției unei componente/părți defecte sau a unei erori a ansamblului, pentru a face să scadă costul total al fabricării și asamblării produsului, și pentru a ameliora șansele de automatizare a procesului.

* Controlați complet, în detaliu, proiectarea asamblării, astfel încât procesul de asamblare să nu aibe ambiguități.

* Proiectați, de la început, posibilitatea de verificare în produs și în componentele sale, astfel încât să puteți oferi un test natural sau o inspecție a articolului respectiv.

* Evitați toleranțe înguste, dincolo de capacitatea naturală a proceselor de fabricare și proiectare; situați-vă în mijlocul domeniului de toleranță.

* Proiectați robustețea în produse pentru a compensa incertitudinea în fabricarea, testarea și utilizarea produsului.

* Pentru părțile/componentele sistemului, proiectați orientarea și mânuirea lor pentru a minimiza ne-valoarea adăugată efortului manual, pentru a evita ambiguitatea în orientarea și îmbinarea componentelor/părților și pentru a facilita automatizarea.

* Proiectați o asamblare ușoară, utilizând modele simple ale mișcării și minimizând pașii rapizi.

* Folosiți părțile și materialele comune pentru a facilita activitățile de proiectare, pentru a minimiza inventarul sistemului și pentru a standardiza operațiile de manipulare și asamblare.

* Proiectați produse modulare pentru a facilita asamblarea cu componentele blocului și ale subansamblului.

* Faceți proiectarea în așa fel, încât întreținerea produsului să fie ușor de realizat.

În plus, proiectanții trebuie să înțeleagă bine sistemul de producție al companiei, capacitățile și limitările ei, pentru a putea stabili reguli de proiectare specifice companiei și pentru a optimiza proiectarea în funcție de sistemul de producție al companiei, apreciind corect limitările toleranței ale anumitor procese de fabricare.

6. EVALUAREA ALTERNATIVELOR DE PROIECTARE

Proiectantul va pune la punct un concept inițial și-l va "traduce" în proiectarea produsului, făcând ulterior modificări minore, pentru a corespunde specificațiilor. DFM cere ca proiectantul să pornească procesul luând în considerare diferite alternative de concepție, într-o primă abordare a procesului de fabricare. În această etapă s-a investit puțin într-o alternativă de proiectare și se poate mult câștiga dacă se poate dezvolta o abordare mai eficace a proiectării. Doar luând în discuție mai multe alternative creative putem fi siguri că ne îndreptăm către o proiectare optimă.

Instrumentele de automatizare a proiectării (CAD, CAE, *group technology GT*, și *computer-aided process planning CAPP*) pot ajuta la găsirea unor multiple alternative de proiectare, cât și la evaluarea acestor alternative.

Îndată ce proiectantul stăpânește bazele DFM, el va putea colabora mai strâns cu inginerii din fabricare care-i vor furniza *feedback*-ul necesar la soluțiile propuse. Este necesar așadar:

- Să se identifice alternativele de proiectare și să se dezvolte, în mod economic, aceste alternative.
- Să se evalueze aceste alternative în funcție de obiectivele DFM.
- Să se stabilească proiectări standardizate bazate pe principiile DFM; ele vor putea fi folosite pentru proiectarea de noi produse.
- Să se utilizeze *design reviews* și să se includă participarea fabricării în procesul de proiectare, pentru a face ca totul să evolueze către liniile directe de productibilitate.

7. MICRO-ELECTRONICA ȘI DFM

Pentru un fabricant de semiconductoare, măsurile tipice pentru excelența fabricabilității sunt exprimate fie în termeni operaționali, fie în termeni economici. Cele exprimate în termeni de rezultate operaționale sunt independente de amestecul de produse pe care le realizează fabricantul, întrucât cele exprimate în rezultate economice integrează atât fabricabilitatea cât și atributele proiectării produsului într-un singur parametru, de exemplu, venitul / plachetă. Îmbunătățirile măsurilor operaționale privind excelența manufacturării se focalizează asupra creșterii capacității și debitului de producție, asupra reducerii densității defectelor și a reducerii costurilor. Ameliorarea măsurilor economice relative la excelența manufacturării trebuie să aibă în vedere atât eficiența procesului de fabricare, cât și

productivitatea proiectării. Practicile DFM pot îmbunătăți productivitatea proiectării, *time-to-market*, performanța și fiabilitatea produsului, prin cuplarea strânsă a cunoștințelor de fabricare a semiconductoarelor cu cerințele produsului din faza inițială a proiectării produsului. Fiecare decizie a proiectării are consecințe tehnice și economice; înțelegând aceste consecințe și folosind cunoștințele câștigate în proiectarea procesului se poate optimiza productivitatea și profitabilitatea produsului, asigurând astfel excelența fabricării.

Proiectarea pentru fabricabilitate este deosebit de importantă și, în același timp, critică, mai cu seamă în domeniul submicronilor. Două întrebări rezumă problematica: *Cât de bună este calitatea?* și *Cât de scump este produsul?* Pentru asigurarea calității este necesar să răspundem la o altă întrebare: să facem proiectare pentru manufacturare [*design for manufacturing (DFM)*] sau nu? Noilor proiectări de dispozitive analogice și de radiofrecvență le lipsesc tehnicile bune, convenabile, corespunzând DFM, datorită lipsei de modele de defectare adecvate. Folosind tehnicile existente de testare, vechi și depășite, va trebui să stabilim dacă soluțiile sunt fezabile din punct de vedere economic, și dacă pot fi implementate în proiectare.

În teza de doctorat [8], accentul s-a pus pe costul testării cipurilor, plecând de la mulțimea de modele propuse în literatura de specialitate. Modelele actuale însă sunt incomplete, căci – în mare parte – ele nu iau în considerare costurile, după ce cipul a ajuns pe piață. Teza [8] se ocupă tocmai de economicitatea cipurilor tolerante la erori.

În teză sunt discutate modele noi care ar putea îmbunătăți testabilitatea circuitelor, ameliorând așadar calitatea acestora, și concentrându-se pe ciclul economic, dând simultan estimări matematice ale costurilor. Modelul este util proiectanților căci el permite analizarea necesităților unui sistem tolerant la erori și fezabilitatea lui în industria de specialitate, utilizând fiabilitatea sistemului. El permite să se evalueze costurile respective de-a lungul ciclului de viață al cipului.

8. TEHNOLOGIA A EVOLUAT RAPID ÎN ULTIMELE DECENII

Dispozitivele microelectronice sunt printre cele mai complexe structuri produse de tehnologia modernă de fabricație. Un microprocesor actual dintr-un notebook, de exemplu, conține peste 30 milioane tranzistoare interconectate cu ajutorul a peste un miliard de joncțiuni electrice discrete [9]. Pentru atingerea acestui extrem de ridicat nivel de

integrare, dimensiunile care definesc dispozitivul trebuie să fie mici, mai mici cu câteva ordine de mărime, de pildă, decât dimensiunea unei celule tipice pe care o găsim în corpul omenesc. Cererea de performanțe și capacități din ce în ce mai ridicate - atât de bine caracterizate de legea lui Moore [10] – a făcut ca numărul tranzistoarelor individuale de pe un cip să crească cu un factor 2, la fiecare aproximativ 18 luni. Această dezvoltare de cicluri prezice că în 10 ani progresele efectuate în metodologiile de proiectare și procesare vor impune arhitecturi deosebit de sofisticate pentru circuitele integrate care vor conține peste un miliard de tranzistoare care vor lucra la viteze cu cel puțin un factor 10 mai rapide decât cele mai performante cipuri disponibile astăzi [11]. Aceste dispozitive vor avea funcționalități abso-lut inimaginabile, comparate cu anul 1947 - când Brattain, Bardeen și Shockley au inventat tranzistorul.

Tabelul 2. Influența noilor tehnologii asupra lanțurilor și proceselor de fabricare.

Sisteme	Procese digitale manufacturiere informatice de modelare și simulare. Gigadate (<i>big data</i>) și sisteme de analiză avansată.
Materiale noi	Nanomateriale. Produse nanofarmaceutice. Fibre de carbon și alte materiale ușoare, dar robuste Biomanufacturing.
Procese de producție	<i>Additive manufacturing</i> . Roboți industriali flexibili. Inovații economice (<i>Frugal innovation</i>).
Modele de afaceri	Economie circulară (<i>Circular economy</i>). Noi modele de servicii. Clientelizarea în masă.
Proiectare de produse	Internetul obiectelor. Analitică avansată. Medii sociale și o mulțime de inovații.

Metodele de manufacturare folosite la fabricarea acestor dispozitive sunt și ele deosebit de sofisticate, dominate de tehnica de procesare denumită *photolithographic patterning* [12]. Date fiind pozițiile actuale dominante ale fotolitografiei și siliconului, ar fi extrem de dificil să se facă progrese în cercetare, continuând pe acest drum [13]. Autorii articolului [14] descriu aplicarea și validarea așa numitei *soft lithography* drept o nouă metodă revoluționară pentru complexul manufacturării extrem de funcționale a structurilor

microelectronice. În [15] este prezentat un prototip al unui afișor flexibil care încorporează elemente de pixel controlate de un tranzistor organic.

Noi tehnologii vor continua să schimbe, fără încetare, valoarea manufacturieră a lanțurilor și proceselor de fabricație (tabelul 2).

În cazul microtehnologiilor VLSI/ULSI, comunicarea tradițională dintre proiectare și manufacturare devine din ce mai nepotrivită. Aceasta se datorește, în special, enormelor provocări din etapa de fabricare, pe măsură ce dimensiunile respectivului dispozitiv microelectronic continuă să se micșoreze. De aceea, ideea DFM a devenit foarte populară. Deși încă nu există încă o definiție universal acceptată în acest domeniu, după părerea noastră, partea importantă a DFM este de a integra informația de manufacturare în stadiul de proiectare, într-o manieră care să fie înțeleasă de inginerii de concepție și/sau de proiectare, astfel încât ei să poată acționa/intervenii asupra informației pentru a îmbunătăți atât manufacturarea, cât și parametrii privind randamentul [16].

Când dimensiunile se reduc, fiabilitatea circuitelor VLSI/ULSI devine critică, nivelul de zgomot crește, iar interconexiunile de putere devin problematice. Variațiile de proces din diferite surse devin mai puțin tolerabile. Variațiile intra-cip au mai mult impact asupra performanței circuitului decât variațiile inter-cip. *Resolution enhancement technology* (RET) este una din tehnicile cele mai practice pentru a reduce variațiile procesului de fabricare. Cu toate acestea, absența interacțiunii dintre RET și proiectare conduce la creșterea rapidă a costurilor de fabricare. De aceea se cer noi metodologii de proiectare pentru a sparge zidul dintre proiectare și fabricare și pentru optimizarea interconexiunilor, pentru a îmbunătăți fiabilitatea circuitelor VLSI/ULSI. În lucrarea [17] sunt propuse algoritme și analize statistice pentru a stăpâni variațiile de proces.

Volatilitatea și nesiguranța sunt amplificate de o lume din ce în ce mai globalizată. De aceea, companiile și guvernele trebuie să colaboreze pentru a "*manufactura viitorul*".

Companiile trebuie promoveze productivitatea laboratoarelor, a capitalului și a resurselor. Să fie agile și să construiască organizații cu adevărat globale, controlând partenerii de software din rețea, furnizorii și clienții.

Guvernele trebuie să întărească nucleul de talente, să permită ecosisteme inovante global competitive, să aibă țeluri clare, să privească permanent înainte și să știe care sunt sectoarele care se împotrivesc țelurilor guvernului.

9. ÎMBUNĂȚIREA / CREȘTEREA FIABILITĂȚII

Cu excepția implementării unor schimbări semnificative în proiectare și/sau proces, îmbunătățirea fiabilității în echipamentul manufacturier poate fi realizată prin eliminarea componentelor defecte, a mortalității infantile, a stângăciilor instructajului și/sau a antrenamentului la lucru, și a erorilor de îndemânare.

Creșterea fiabilității mai poate fi realizată prin reduceri incrementale ale timpilor de nefuncționare (de exemplu, de la 10% la 5%). Schimbările majore de proces sau de proiectare au un efect dramatic asupra fiabilității; de asemenea, reduceri importante ale timpului de indisponibilitate (de pildă, de la 10% la 1%) au un efect benefic asupra creșterii fiabilității.

În cele ce urmează, menționăm câteva căi pentru asigurarea fiabilității manufacturabilității:

- Înțelegerea procesului de manufacturare;
- Experiența și practica curentă arată că peste 90% din timpii de întrerupere se pot datora ieșirilor necorespunzătoare ale procesului;
- Simplificarea proiectării;
- Un lanț de manufacturare cu mai puține elemente oferă o fiabilitate mai ridicată;
- În măsura posibilului, se recomandă înlocuirea elementelor uzate cu software;
- Practicarea devaluării (deratingului);
- Proiectarea robustă, cu rezerve largi, conduce la reducerea ratei defectărilor;
- Asigurarea, de la început, a mentenabilității sistemului;
- O mentenanță facilă, ușor de realizat, reduce timpii neproductivi;
- Folosirea mentenanței predictive și preventive contribuie la creșterea fiabilității;
- Planificarea mentenanței este mai ieftină și mai efectivă ca timp, decât mentenanța corectivă neplanificată.

10. PRIVIRE CĂTRE VIITOR

Manufacturarea din anul 2050 va fi foarte diferită de cea de astăzi și va fi virtual de nerecunoscut, comparată cu cea din urmă cu 35 ani. Firmele de succes vor fi capabile să-și adapteze rapid infrastructurile lor fizice și intelectuale pentru a exploata schimbările tehnologice, pe măsură ce manufacturarea va deveni mai rapidă, mai sensibilă la schimbările pieței globale și mai apropiată de clienți.

Succesul firmelor va depinde așadar de o bază mai largă de meșteșuguri, cu lideri și manageri deosebit de calificați, a căror expertiză va combina perspicacitatea tehnică și comercială, tipică în știință, tehnologie, inginerie sau matematică.

Adaptabilitatea constantă va pătrunde în toate etapele manufacturării, de la cercetare și dezvoltare la inovații, procese de producție, interdependențe dintre client și aprovizionare, sau dintre mentenanța de-a lungul duratei de viață a produsului și reparații. Produsele și procesele se vor susține reciproc, cu reutilizare încorporată *built-in*, remanufacturarea și reciclarea produselor având loc la sfârșitul duratei lor utile de viață. Vor fi utilizate sisteme în circuit închis pentru a elimina risipa de energie și de apă și pentru a recicla risipa fizică. Aceste dezvoltări vor accentua rolul-cheie al producției fizice în deschiderea de căi către noi surse de venituri, mai cu seamă când firmele conțin *servitisation* iar fabricanții fac uz de pătrunderea *big data* în creștere, pentru a-și îmbunătăți competitivitatea.

În sectorul public, cadrul liniilor de conduită care afectează direct și indirect sectorul manufacturier va trebui să recunoască natura extinsă a creației de valoare, dar și noile căi în curs de dezvoltare. Ciclurile de planificare publică vor trebui să țină seama de cerințele de planificare pe termen lung ale firmelor. Și va fi important să sprijine fluxurile de muncitori deosebit de calificați și să promoveze masa critică în întreprinderile mici și mijlocii, astfel încât toate să fie competitive la nivel internațional.

Mesajul-cheie este acela că nu există o cale ușoară sau imediată de succes, însă acțiunea trebuie să demareze acum, pentru a construi un suport existent și pentru a-l refocaliza către viitor.

11. CONCLUZII

Fiabilitatea manufacturării este încă în plină dezvoltare; ea are în vedere, înainte de toate, timpii care se pierd în producție.

Absența unor ghiduri riguroase produce conflicte și confuzii. Simplitatea metodelor și a terminologiei sunt căile prin care se poate obține creșterea calității și fiabilității manufacturării. Proiectarea robustă, înțelegerea procesului și planificarea mentenanței deschid căile pentru îmbunătățirea fiabilității.

Bibliografie

1. **K. Cheng, R. J. Bateman.** „e-Manufacturing: e-Design; Global Manufacturing; Digital Manufacturing; Agile Manufacturing,” *Progress in Natural Science*, vol. 18, pp. 1323-1328.
2. **Da-Yin Liao.** ”Automation and Integration in Semiconductor Manufacturing,” *Semiconductor Technologies*, www.intechopen.com
3. **D. R. Probert, R. Phaal, C. J. P. Farrukh.** Structuring a systematic approach to technology management: concepts and practice, *International Association for Management of Technology (IAMOT) Conference, Lausanne, 19–22nd March, 2000.*
4. **McKinsey & Co.** ”Manufacturing the Future: The Next Era of Global Growth and Innovation,” *The McKinsey Global Institute*, 2012.
5. **United Nations Statistics Division; US Bureau of Economic Analysis (BEA); McKinsey Global Institute analysis.**
6. **W. Maly, H. Heineken, J. Khare, and P. Nag,** ”Design for Manufacturability in Submicron Domain,” in *Computer-Aided Design, Digest of Technical Papers.*, 1996 *IEEE/ACM International Conference on*, pp. 690 – 697, 10-14 Nov. 1996.
7. ”**Design for Manufacturability [ITC 2003 Roundtable]**,” in *Design and Test of Computers, IEEE*, vol. 21, pp. 144 – 156, March-April 2004.
8. **Karthik Sundararaman.** ”Design for manufacturability - fault model extensions for rf circuits with an economic perspective for manufacturability,” *Thesis, The State University of New York at Buffalo*, 2004.
9. **G. Hinton, D. Sager, M. Upton, D. Boggs, D. Carmean, A. Kyker, and P. Roussel.** *Intell. Technol. J.* (2001) Q1, pp. 1–10.
10. **G. E. Moore.** *Daedalus*, issue 125, pp. 55–80.
11. *International Technology Roadmap for Semiconductors* Update.
<http://public.itrs.net/reports.htm>
12. **H. J. Jeong, D. A. Markle, G. Owen, F. Pease, A. Grenville, R. von Büнау.** *Solid State Technol.* 37, pp. 39–47.
13. **J. A. Rogers, Z. Bao, K. Baldwin, A. Dodabalpur, B. Crone, K. Amundson, J. Ewing.** *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 98, 2001 pp. 4835–4840.
14. **Y. Xia, G. M. Whitesides.** *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 37, 1998, pp. 551–575.
15. **H. E. Katz, Z. Bao.** *J. Phys. Chem. B*, vol. 104, pp. 671–678.
16. **A. Têtu.** ”Silicon-based components: 2D photonic crystal components and semiconductor nanocrystals.” *Ph. D. Thesis, University of Aarhus*, 2007.
17. **Liang Deng.** ”VLSI physical design for manufacturability and reliability,” *Ph. D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign*, 2007.
18. **Bateman, R. and Cheng, K.** *Devolved manufacturing, Concurrent Engineering, Research and Applications*, 10(4), 2002, pp 291-297.