

Ministerul Dezvoltării Regionale și Construcțiilor
Croitoru Gh.

**CERCETAREA DISTRIBUȚIEI POTENȚIALULUI ȘI
SECTOARELOR ELECTRODICE PE SUPRAFAȚA
ARMATURII**

Abstract

Corrosion is the destructive attack of a metal by chemical or electrochemical reaction with the environment in which it is located. Structural integrity of components and other concrete structures that are affected by corrosion require costly emergency repairs and to ensure public safety because it may lead to collapse of the structure and can have catastrophic consequences.

Corrosion mechanisms allow the understanding of the causes of corrosion and methods of preventing or at least minimizing the degradation caused by corrosion.

Environment, temperature, pH, air, dissolved salts are important factors of corrosion.

Rezumat

Coroziunea este atacul distructiv al unui metal prin reacție chimică sau electrochimică cu mediul în care este situat. Integritatea structurală a elementelor și a altor structuri din beton ce sunt afectate de coroziune necesită reparații urgente și costisitoare pentru a asigura siguranța publică deoarece poate conduce la colapsul structurii și poate avea consecințe catastrofale.

Mecanismele de coroziune permit înțelegerea cauzelor apariției coroziunii și metodele de prevenire sau cel puțin de minimizare a degradărilor cauzate de coroziune.

Mediul, temperatura, pH-ul aerului, sărurile dizolvate sunt factori importanți ai apariției coroziunii.

Резюме

Коррозия является разрушительной атакой металла путем химической или электрохимической реакции с окружающей средой, в которой он расположен. Структурная целостность элементов и других бетонных конструкций, которые страдают от коррозии, требуют немедленного и дорогостоящего ремонта для обеспечения общественной безопасности, потому что это может привести к краху структуры с катастрофическими последствиями.

Механизмы коррозии позволяют понять причины коррозии и методы их предупреждения или, по крайней мере, минимизации деградации вызванной коррозией.

Окружающая среда, температура, pH воздуха, растворенные соли являются важными факторами появления коррозии.

Introducere

Identificarea și clasificarea (cuantificarea) agresivității mediului precum și modelarea mecanismelor de transport al substanțelor agresive devin elemente importante în determinarea realistă a duratei de viață a unei construcții. De aceea,

o importanță specială o reprezintă investigarea posibilelor influențe ale mediului “din amplasament” asupra structurilor.

Starea electrochimică a suprafeței armăturii, la prezența fisurilor în beton, este determinată de neomogenitatea parametrilor mediului și mărirea variației elasticității oțelului. Acest fapt duce la formarea diferenței de potențiale între diferitele sectoare ale armăturii, adică la apariția perechii galvanice corosive. Forța electromotoare a perechii se determină din diferențele potențialelor ale celor trei perechi galvanice elementare [1]: I – aerație diferențială; II - alcalinitate diferențială; III - tensiuni de întindere diferențială.

Interpretări și rezultate experimentale

Fisurarea betonului intervine atunci când deformațiile de întindere la care este supus materialul depășesc alungirile maxime pe care acesta le poate suporta [2]. Cauzele care pot produce fisurarea betonului sunt multiple, așa cum se arată în fig. 1.

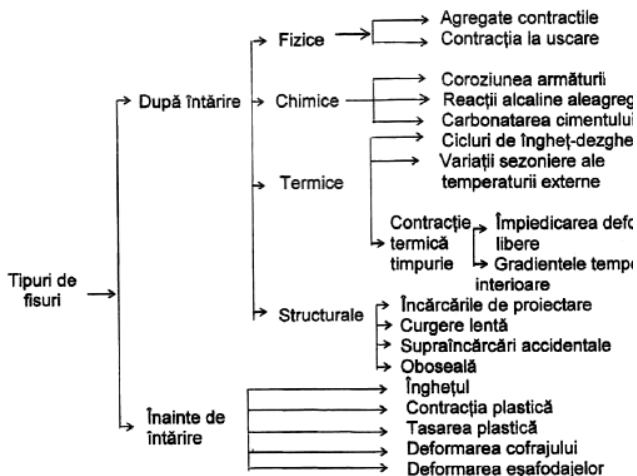


Fig. 1. Tipuri de fisuri

Pe o anumită distanță, pe ambele părți ale fisurii, scade aderența betonului cu armătura și are loc lunecarea oțelului. Tot pe acest sector, în nemijlocita apropiere de fisură, în așa numita "zona de predistrugere" a betonului, se formează deformații plastice remarcabile sub formă de fisuri ireversibile. Prin ele ajung cu ușurință agenții corosivi la oțel.

În conformitate cu principalele legi ale coroziunii electrochimice a metalelor, sectoarele barei de oțel, la care ajunge mai puțin oxigen, decât la cele învecinate, capătă un potențial mai negativ și în cazul condițiilor favorabile pentru activitatea perechilor galvanice sunt anodi. Iar sectoarele cu acces relativ mare de oxigen servesc drept catodi. În astfel de cazuri diferența de potențiale ale celulei galvanice atinge uneori 0,2 V. Perechea elementară a variației diferențiale în betonul compact, la o deschidere limitată a fisurilor, în majoritatea cazurilor nu poate funcționa individual din cauza pasivității oțelului pe sectoarele, de pe ambele părți ale fisurii, unde se afla anozii perechii galvanice.

Cauza formării celei de-a doua perechi galvanice elementare este diferența valorilor de pH ale electrolitului între sectoarele de sub stratul de protecție nedeteriorat și în zona fisurii. Peliculele de lichid din porii betonului, care acoperă armătura sub stratul compact de protecție, se prezintă ca o soluție apoasă saturată de $\text{Ca}(\text{OH})_2$; mărimea pH-ului ei se păstrează mult timp la nivelul 12,4 - 12,6. Pe sectorul fisurii, unde accesul dioxidului de carbon și schimbul de apă este ușurat, pH-ul electrodului este mic.

Potențialul oțelului, scufundat în electrolit, după cum se știe, depinde de pH-ul soluției; în locurile cu alcalinitate mica potențialul capătă o valoare mai negativă. Astfel, pe sectorul fisurii în beton, se creează condiții pentru formarea anodului perechii galvanice elementare a alcalinității diferențiale, care însă, poate provoca procesul de coroziune numai la condiția depasivării oțelului. Dimensiunea sectorului anodic și mărimea potențialului depind de mulți factori: mărimile deschiderii fisurilor; gradul de saturație cu apă a betonului; concentrația ionilor de activare (Cl^- , SO_4^{2-} etc.); viteza variației de apă în fisură; etc. În condițiile de saturație completă a construcției, valoarea pH-ului electrolitului în spațiul fisurii, depinde de mărimea deschiderii ei. La o deschidere nu mai mult de 0,3 mm, concentrația $\text{Ca}(\text{OH})_2$ în soluția apoasă, care umple fisura, la suprafața armăturii se menține la nivelul apropiat de saturație, până ce se asigură pasivarea oțelului pe tot

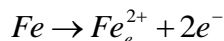
sectorul fisurii din beton. Cu mărirea deschiderii fisurii, schimbul de difuzie între soluția apoasă în spațiul fisurii și mediul exterior se ușurează, pH-ul electrolitului scade și la o deschidere de ordinul 1,0 mm, capătă o valoare care nu asigură pasivitatea oțelului.

Rolul celei de a treia perechi galvanice elementare, în zona fisurii din betonul armat - "perechea gradientului tensiunii de întindere în armătura" este confirmată experimental de studii speciale [3].

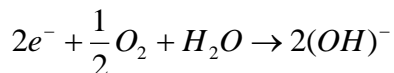
Influența mărimii deschiderii fisurilor, asupra vitezei de coroziune a armăturii, poate fi explicată prin polarizarea neegală, în ele, a oțelului; aceasta depinde de suprafața anodului activ, de viteza de eliminare a produșilor reacției anodice de la suprafața lui, și de concentrația hidroxidului de calciu din electrolitul din fisură. Polaritatea oțelului în zona fisurii, depinde și de prezența la suprafața lui a unor ioni, care penetrează prin fisură.

Modelul simplificat al coroziunii oțelului, constând din două procese, unul catodic, celălalt anodic este prezentat în fig. 2.

Procesul anodic constă în disoluția fierului: ionii pozitivi de fier trec în soluție



Surplusul de electroni rezultat se combină la catod cu apa și oxigenul pentru a forma ioni hidroxil:



După câteva faze intermediare, ionii Fe și hidroxid se combină formând rugină, care teoretic poate fi definită prin formula Fe_2O_3 . Aceasta înseamnă că numai oxigenul se consumă pentru a forma rugina. Acesta difuzează prin stratul de acoperire până la armătură.

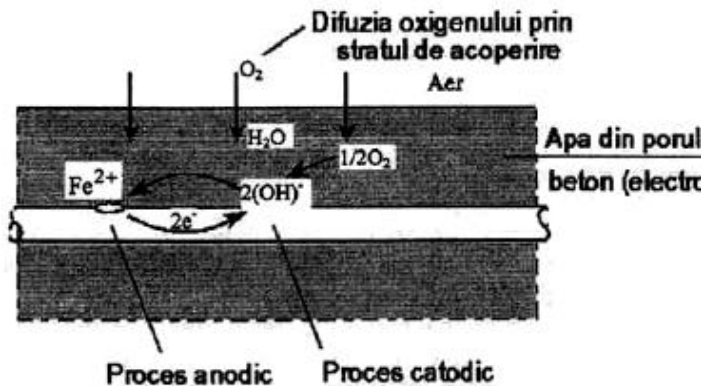


Fig. 2 Modelul simplificat pentru coroziunea armăturii din beton

În cazul coroziunii armăturii produsă de ionii de clor (fig. 3) stratul pasiv la suprafața armăturii se distruge local producând așa numita coroziune punctiformă (cratere), întrucât zona anodică este redusă, iar cea catodică este extinsă pe toată suprafața armăturii, se produce o reducere substanțială a secțiunii armăturii în această zonă.

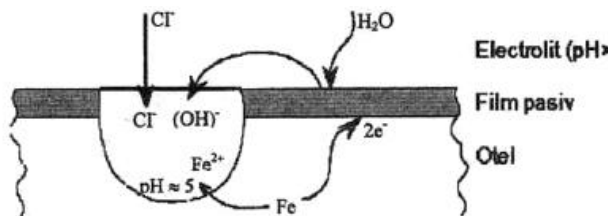


Fig. 3. Formarea craterului prin acțiunea corozivă a clorului

Craterul odată format rămâne activ. Ionii de clor nu se consumă, ci acționează drept catalizatori, accelerând dizolvarea fierului în craterul în care are loc procesul anodic.

Datorită reducerii secțiunii transversale, capacitatea de rezistență a armăturii scade direct proporțional, iar proprietățile de deformare și rezistență la

oboseală se reduc în proporție mai mare decât reducerea secțiunii. Carbonatarea este un proces de durată, pătrunzând spre interiorul betonului după un front, conform schemei din figura 4.

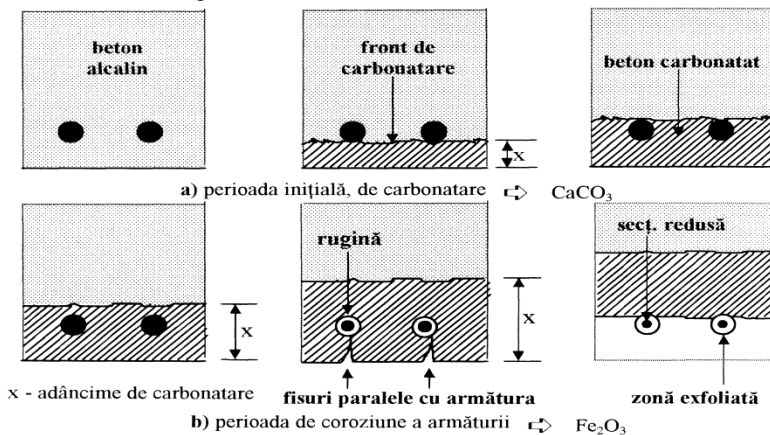


Fig. 4 Mecanismul de coroziune a armăturii

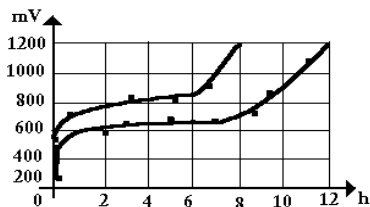
Rugina are un volum substanțial mai mare decât oțelul (teoretic de până la 6 ori), în funcție de cantitatea de apă disponibilă. Mărirea volumului oțelului prin corodare produce forțe de despicare, cauzând fisuri și exfolieri. Ca urmare poate interveni o rupere bruscă a elementului de beton, mai ales dacă fisurile orientate după direcția armăturii apar în zonele de ancorare ale barelor.

Studierea polarizării oțelului în betonul cu fisuri s-a făcut pe probe din beton armat ($10 \times 10 \times 100$ cm) cu doi electrozi din oțel beton A-III cu $\varnothing 10$ mm. În fiecare grindă au fost formate fisuri de mărimi de la 0,05 - 1 mm.

Pentru distrugerea stării pasive a oțelului în fisuri, după deschiderea lor, probe timp de șase luni au fost supuse umezirii periodice cu apă și uscării (150 de cicluri).

După fiecare lună s-au făcut măsurări ale potențialelor oțelului. S-a stabilit, că depasivarea oțelului în fisurile cu diferite deschideri, nu are loc concomitent (fig. 5).

a)



b)

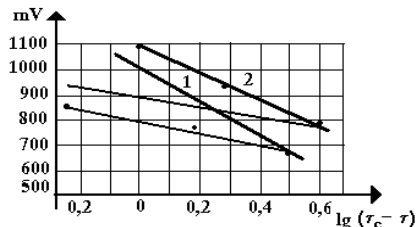


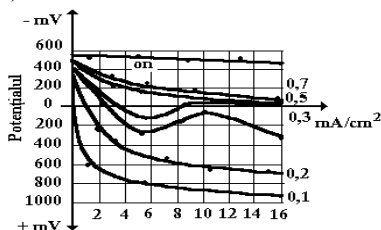
Fig. 5. Polarizarea oțelului în betonul umezit: 1 - umiditatea betonului 7%; 2 - umiditatea betonului 3%.

Linia punctată - curbele teoretice corespunzătoare

După deplasarea potențialului spre partea valorilor negative, mărimea lui s-a stabilit la nivelul 400 - 500 mV. Potențialul oțelului în betonul compact fără fisuri, practic nu s-a schimbat. Curbele de polarizare s-au obținut prin metoda galvanostatică. La polarizarea anodică, timpul de menținere sub curent, până la stabilirea potențialului constant, a constituit 20-30 min pentru o densitate mică de curent (5-10 mA/cm²) și 2 - 3 minute pentru densități mai mari de curent.

Cum arată curbele de polarizare anodică a acestor probe, măsurate după 6 luni de stabilizare a potențialelor (fig.6), și curbele de dependență, construite pe baza lor, de polarizare a oțelului funcție de mărimea deschiderii fisurilor (fig.7), polarizarea crește concomitent cu micșorarea fisurii și are o valoare mai mare în electrolitul care conține ioni de sulf, în comparație cu electrolitul care conține ioni de clor.

a)



b)

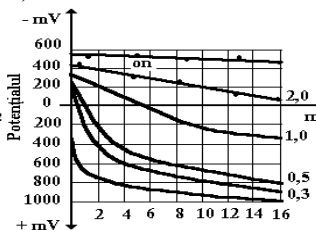


Fig. 6. Polarizarea anodică a oțelului în betonul cu fisuri:

a) - electrolit, soluție Na₂S₂O₄ 0,1N; b) - idem, NaCl;
on - oțel neacoperit. Cifrele de lângă curbe indică mărimea fisurilor, mm.

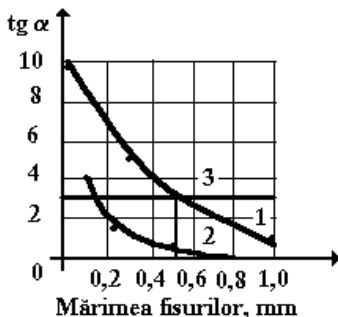


Fig. 7. Polarizarea oțelului în betonul cu fisuri:
1 - curba anodică în soluție Na_2SO_4 0,1n; 2 - idem în soluție NaCl 0,1n; 3 - curba catodică în betonul compact

Predicția coroziunii și metode de combatere

Predicția coroziunii

Aceasta presupune o urmărire continuă a procesului de coroziune pentru furnizarea datelor necesare planificării lucrărilor de întreținere și detectarea precoce a modificării condițiilor ce conduc la apariția coroziunii. Această evaluare se poate face in situ de către ingineri în cadrul inspecțiilor detaliate sau automat. Evaluarea cu precizie a coroziunii armăturilor și propagarea acesteia în interiorul elementelor din beton armat sau beton precomprimat presupune introducerea unor senzori lângă sau pe armături și un dispozitiv de înregistrare care să aibă capacitatea teletransmisiei datelor la un computer central pentru analiză. Sensorii culeg următoarele tipuri de date:

- diferențe de potențial electric;
- rezistivitate electrică;
- concentrația ionilor de clor;
- temperatură;
- umiditate.

Interpretarea datelor se poate face automat cu ajutorul unor software-uri de analiză care includ modele probabilistice.

Metode de combatere a coroziunii

Metodele de combatere a coroziunii se pot aplica în faza de proiectare și execuție și constau în:

- reducerea raportului apă-ciment;
- creșterea grosimii stratului de acoperire a armăturilor și utilizarea unor betoane de calitate;
- utilizarea materialelor cimentoide de tipul tufurilor vulcanice, zgurii de furnal sau diferite materiale puzzolanice;
- utilizarea acoperirilor de protecție galvanice sau epoxidice a armăturilor [4].

Concluzii

Coroziunea armăturilor structurilor de beton armat este o problemă majoră a construcțiilor exploatare în diverse medii.

Dacă în electrolit sunt prezenți ionii de clor, procesul de coroziune decurge cu control anodic la mărirea deschiderii fisurilor până la 0,2 mm, iar dacă în electrolit sunt prezenți ionii de sulfat, controlul anodic se realizează în fisurile cu mărirea de 0,5 mm.

Conform curbelor de polarizare anodică, măsurate după 6 luni de stabilizare a potențialelor, și curbelor de dependență, construite pe baza lor de polarizare a oțelului în funcție de mărirea deschiderii fisurilor, polarizarea crește concomitent cu micșorarea fisurii și are o valoare mai mare în electrolitul care conține ioni de sulf, în comparație cu electrolitul care conține ioni de clor.

Bibliografie

1. **Pierre R. Roberge** – Handbook of Corrosion Engineering, McGraw-Hill Companies, 2000.
2. **Nicula I., ș. a.** - Beton armat. - Editura Didactică și Pedagogică. București, 2002. Pag.45-48.
3. **Romanescu C.** - Analiza factorilor ce concură la coroziunea armăturilor la podurile din beton armat - seminarul cu tema "Investigarea și gestionarea drumurilor publice" organizat la CESTRIN în data de 24 noiembrie 2005 – revista "Drumuri și Poduri" numărul 37 (106) din 2006.
4. **Rusu I.** - Coroziunea și protecția betonului expus mediilor lichide alimentare. Monografie. – Chișinău. – 2004. – 151 p.