

*Dr. ing., Croitoru Gheorghe Ministerul Dezvoltării  
Regionale și Construcțiilor al Republicii Moldova*

## **STUDIUL INIȚIERII ȘI DEZVOLTĂRII FISURILOR ÎN CONSTRUCȚIILE DIN BETON ARMAT ȘI SPECIFICUL COROZIUNII ARMĂTURII ÎN ACESTE ZONE**

### **Abstract**

*The paper studied the phenomena of initiation and development of cracks in reinforced concrete structures, reinforcement corrosion as a result of specific permeability, freeze-thaw phenomenon etc. through the cracks.*

*Also the results of the experiments made on the steel reinforced concrete beams PC-52 and PC 60, which were maintained at various harsh environments.*

### **Rezumat**

*În lucrare sunt studiate fenomenele de inițiere și dezvoltare ale fisurilor în construcțiile din beton armat, specificul coroziunii armăturii ca rezultat al permeabilității, fenomenului de îngheț-dezgeț etc. prin fisuri.*

*De asemenea se prezintă rezultate ale experimentărilor făcute pe grinzi armate cu oțel beton tip PC 52 și PC 60, care s-au menținut în diferite medii agresive.*

### **Резюме**

*В документе изучаются явления зарождения и развития трещин в железобетонных конструкциях, коррозии арматуры в результате явлений проницаемости, морозостойкость и т.д. через трещины.*

*Также представлены результаты экспериментов, проведенных на железобетонных балках армированных арматурой PC-52 и PC 60, которые были выдержаны в различных агрессивных средах.*

## **Introducere**

Odată cu creșterea volumului de utilizare în construcții a elementelor din beton armat se perfecționează permanent metodele de calcul, tehnologia de producere, implementarea formelor noi progresiste ale acestora. Folosirea oțelurilor moi cu rezistență înaltă ușurează masa construcțiilor, scade secțiunea elementelor și concomitent - grosimea stratului de protecție din beton.

La centrul CSIRO din Australia, cercetările din acest domeniu, au demonstrat că stratul insuficient de beton, aplicat în jurul barei de oțel

este cea mai frecventă cauză a deteriorării construcțiilor de beton armat prin coroziunea armăturii [1, 2].

Folosirea elementelor din beton armat cu secțiuni mici și a armăturilor de înaltă rezistență necesită o deosebită atenție vizavi de protecția anticorosivă a oțelului. Diminuarea caracteristicilor de protecție ale betonului, legate de deschiderea fisurilor, prezintă un pericol considerabil.

Fisurile din beton micșorează rigiditatea construcțiilor, măresc permeabilitatea lor, reduc rezistența la îngheț - dezgheț, înlesnesc apariția și dezvoltarea coroziunii oțelului. Cauzele de formare ale fisurilor sunt diferite și sunt condiționate de ductilitatea joasă a betonului (0,1-0,2 mm/m) [3]. De asemenea, fisurile apar și la tratamentul hidrotermic nefavorabil al elementelor din beton armat sau la răcirea brusca a acestora, în timpul transportării și montării construcțiilor, la depozitarea și transportarea în poziția neprevăzută de calcul, în elementele solicitate la întindere axială și în zona de întindere a elementelor încovoiate, sub acțiunea sarcinilor variabile și constante de exploatare ale construcțiilor.

### **Rezultate experimentale. Interpretări**

Pentru cercetări s-au folosit probe din beton armat sub formă de grinzi (100 □ 100 □ 1000 mm) armate în partea de jos cu două bare din oțel beton respectiv PC 52 și PC 60 de diametrul □ 10 mm și □ 12 mm și lungimea de 980 mm.

Deschiderea fisurilor de mărimea 0,05 până la 1mm și mai mult s-a realizat prin încovoierea grinzilor la o instalație specială și s-au menținut pe toată durata studiului asupra rezistenței la coroziune.

Menținerea probelor din beton armat în stare tensionată constantă, corespondătoare fisurilor formate, apropie condițiile experimentului de condițiile reale ale funcționării construcțiilor sub sarcină. Această condiție prezintă o importanță deosebită, deoarece conform teoriei coroziunii oțelului în fisurile betonului armat [4], variația tensiunii de întindere în armatură, pe sectorul fisurii, favorizează procesul de coroziune.

Mărimea deschiderii fisurilor s-a măsurat cu ajutorul microscopului NEOFOT cu o precizie de 50 □. La anumite intervale de timp s-a determinat starea armăturii și betonului; adâncimea de carbonatare a betonului de la suprafață, carbonatarea în fisuri și în zona de contact cu oțelul, caracterul atacului corosiv, răspândirea coroziunii pe suprafața armăturii. Atacul corosiv s-a cercetat după decaparea în acid clorhidric de 10 % și pasivare în soluție saturată de azotat de sodiu.

Adâncimea ciupiturilor de coroziune s-a măsurat cu ajutorul microscopului NEOFOT (până la 150 – 220  $\mu$ ). Exactitatea măsurărilor s-a aflat în limitele  $\pm 5 \mu$ .

Alegerea regimurilor verificărilor corozive rapide s-a făcut ținându-se cont de mecanismele proceselor, care decurg pe suprafața armăturii în condiții naturale. Durata verificărilor rapide, în funcție de gradul agresivității mediului, a constituit de la 1 lună până la 5 luni. În timpul verificărilor s-au controlat temperatura, umiditatea relativă a aerului, concentrația gazelor, umiditatea betonului și a mediului ambiant.

Cercetările efectuate au arătat, că mărimea deschiderii fisurilor acționează asupra coroziunii și menținerii armăturii în medii slab și puternic agresive. De aceea, dacă admitem posibilitatea formării fisurilor, atunci este necesară limitarea deschiderii lor în funcție de tipul și condițiile mediului ambiant.

Formarea fisurilor în beton ușurează penetrarea umezelii, gazelor și a diferitelor substanțe agresive din mediul ambiant spre suprafața oțelului, și ca urmare, starea pasivă a lui pe unele sectoare se modifică. În locul apariției fisurilor efortul perceput de beton se transmite oțelului și în aceste locuri alungirea lui crește considerabil, fapt ce provoacă slăbirea aderenței între armătura și beton pe un anumit sector. În legătură cu aceasta procesul de coroziune a armăturii are loc nu numai în fisuri, dar și sub beton.

Coroziunea oțelului în beton apare în rezultatul modificării stării pasive, care este provocată de:

1. Micșorarea stării bazice a electrolitului de pe oțel până la pH  $\approx 12$ , la carbonatarea și coroziunea betonului.
2. Acțiunea ionilor de clor și sulf, care ajung până la suprafața oțelului prin defectele structurii și fisurile betonului.

Viteza desfășurării procesului de coroziune, în cazul modificării pasivității, depinde de starea umedă, densitatea betonului și de prezența pe suprafața oțelului a substanțelor agresive.

Au fost obținute rezultate interesante în urma cercetărilor de laborator ale influenței mărimii deschiderii fisurilor asupra intensității coroziunii oțelului, folosind metoda lui Brocard M. J. [5]. Metoda folosită, de măsurare a adâncimii coroziunii, apărută în urma modificării rezistenței electrice a unei țevi din oțel, de diametrul 4,4 mm cu grosimea peretelui 0,2 mm, a permis obținerea datelor aproximative fără distrugerea epruvetelor. Epruvetele din beton, de dimensiunile 100  $\times$  100  $\times$  1000 mm, au fost încovoiate câte două pentru formarea fisurilor de la 0,1 până la 0,8 mm, care au fost introduse în camera cu ceață salină și după aceea uscate la 60 °C (5 cicluri). S-a constatat, că în fisurile de

0,1mm dezvoltarea coroziunii se oprește, iar în fisurile de 0,35 mm și mai mari, ea se dezvoltă rapid (fig. 1).

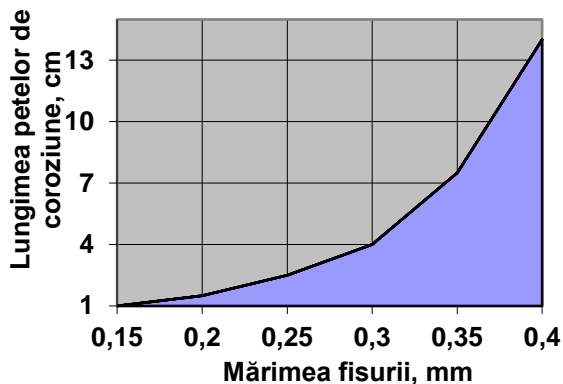


Fig. 1. Dependența mărimii petelor de coroziune de mărimea deschiderii fisurilor.

Valorile medii ale lungimii petelor de coroziune se află în dependență inversă de grosimea stratului de protecție (fig.2).

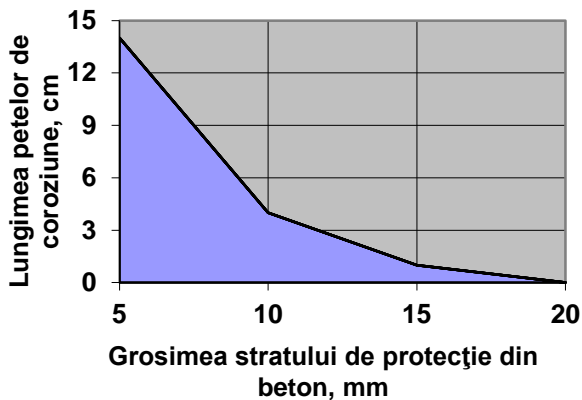


Fig. 2. Dependența lungimii petelor de coroziune de grosimea stratului de protecție.

Fisurile corosive se formează în stratul de protecție în urma tensiunilor mari de întindere în beton, care se dezvoltă din cauza acumulării produșilor de coroziune pe suprafața barei de oțel, dacă condițiile sunt favorabile formării lor. Coroziunea oțelului, la starea inițială a stratului de protecție din beton, poate fi inițiată de mai mulți factori: porozitatea înaltă a betonului; carbonatarea betonului; acțiunea curenților vagabonzi ai mediului agresiv etc.

Fisurile de proveniență corosivă, indiferent de mărimea deschiderii lor, sunt periculoase: ele mărturisesc despre agresivitatea mediului, în care betonul nu-și mai îndeplinește funcția sa de protecție a armăturii și despre procesul avansat de coroziune, ce nu manifestă tendința de atenuare.

Se știe [6], că la coroziunea atmosferică a oțelului viteza procesului este determinată, în mare măsură, de umiditatea mediului. Această viteză depinde de densitatea și umiditatea betonului. La o umiditate de 80 % are loc dezvoltarea rapidă a procesului de coroziune [7]. La creșterea umidității aerului (70 - 90%) și umezirii periodice a epruvetelor, procesul de coroziune crește, indiferent de carbonatarea betonului (4 - 5 mm) (tab.1):

Tabel 1.

| Mărimea fisurilor, mm | Numărul de cazuri de apariție a coroziunii, % | Răspândirea coroziunii de-a lungul barei de oțel, mm |       | Adâncimea atacului corosiv, $\mu$ |       |
|-----------------------|---|--|-------|-----------------------------------|-------|
|                       |   | Maximă   | Medie | Maximă                            | Medie |
| 0,05                  | 30  | 10   | 7     | 110                               | 80    |
| 0,1                   | 40  | 12   | 10    | 140                               | 80    |
| 0,2                   | 90  | 12   | 8     | 180                               | 120   |
| 0,4                   | 100   | 15   | 10    | 220                               | 160   |
| 0,6                   | 100   | 20   | 14    | 220                               | 180   |

Odată cu creșterea fisurilor crește și posibilitatea apariției coroziunii pitting pe suprafața oțelului. Petele de coroziune se concentrează în locul intersecției fisurilor cu bara, ori se răspândesc pe sectoarele alăturate în rezultatul acțiunii perechilor galvanice a aerației diferențiale.

Influența agresivă a mediului crește la prezența unor astfel de gaze, ca: HCl, Cl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S etc. Dacă în atmosfera industrială sunt prezenți vaporii de HCl și clorul molecular, procesul de coroziune a oțelului are loc în fisuri de orice mărime. Crește proporțional și răspândirea

coroziunii spre suprafața oțelului, fapt ce mărește pericolul de coroziune și reduce aderența betonului față de oțel.

Pentru cercetarea cineticii coroziunii oțelului în fisură, în funcție de mărimea deschiderii și condițiile de interacțiune a construcției cu soluțiile apoase, au fost efectuate cercetări cu epruvete din beton armat. Cercetările au arătat, că în epruvetele din același lot și în fisurile din aceeași grupă, coroziunea oțelului apare diferit, cu intensitate diferită; în unele cazuri apar pete superficiale de rugină, iar în altele pete adânci. În fig. 3 sunt prezentate rezultatele verificărilor rapide a unui lot de epruvete, care au fost umezate cu apă curgătoare și apoi uscate cu o frecvență de 100 cicluri pe an.

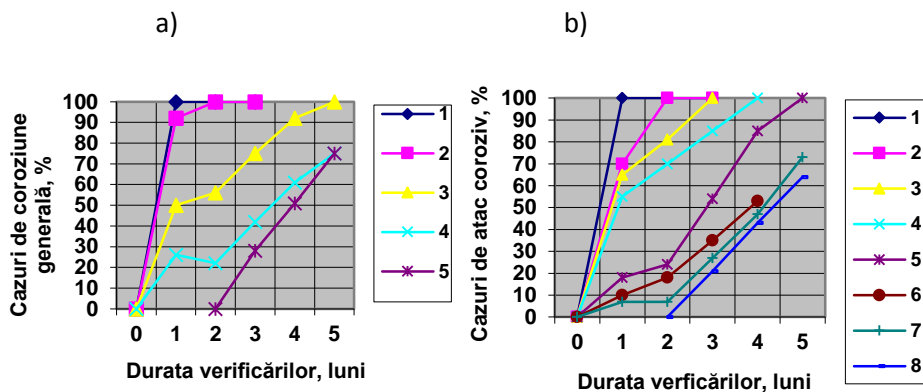


Fig. 3. Posibilitatea apariției (a) și dezvoltării (b) coroziunii pe suprafața armăturii în fisurile betonului la umezțarea periodică cu apă curgătoare.

Mărimea deschiderii fisurilor în mm:

a) 1 - 0,25; 2 - 0,2; 3 - 0,15; 4 - 0,1; 5 - 0,075; 6 - 0,05;

b) 1 - 0,5; 2 - 0,3; 3 - 0,25; 4 - 0,2; 5 - 0,15; 6 - 0,1; 7 - 0,075; 8 - 0,05.

Cum rezultă din figură, în prima lună coroziunea oțelului apare 100 % numai în fisurile cu deschiderea mai mare de 0,25 mm. După 4,5 luni de verificare, același lucru se observă și în fisurile de 0,15mm.

În fig.4,a) este prezentată cinetica dezvoltării procesului de coroziune în adâncimea metalului, iar în fig.4,b) răspândirea ruginii de-a lungul barei de oțel, pe ambele părți laterale ale fisurii.

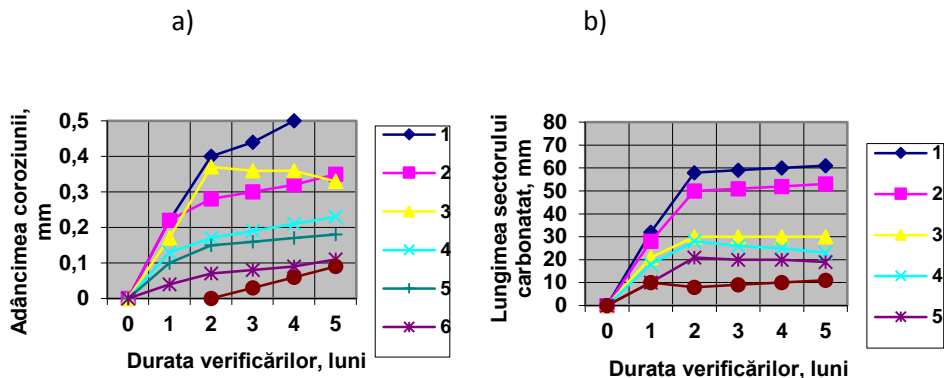


Fig.4. Cinetica coroziunii armăturii în fisurile betonului, în adâncime (a) și de-a lungul barelor (b), la umectarea periodică cu apă.

Mărimea deschiderii fisurilor în mm:

a) 1 - 0,27; 2 - 0,5; 3 - 0,3; 4 - 0,25; 5 - 0,02; 6 - 0,1; 7 - 0,05;

b) 1 - 0,7; 2 - 0,5; 3 - 0,3; 4 - 0,2; 5 - 0,1; 6 - 0,05.

Odată cu mărirea frecvenței ciclurilor umectării periodice, în anumite limite, intensitatea coroziunii crește. În construcțiile umectate cu apă curgătoare, dezvoltarea periculoasă a coroziunii începe numai în fisurile mai mari de 1,5 mm. În fisurile mai mici de 1,5 mm viteza depolarizării catodice scade datorită autotăsării fisurilor betonului, ce determină micșorarea procesului de coroziune.

## Concluzii

Prin urmare, în condiții atmosferice normale dioxidul de carbon este principalul agent de depasivare a oțelului în beton; condiția necesară de desfășurare a procesului de coroziune este prezența umidității și a oxigenului.

În urma cercetărilor s-a stabilit, că influența umidității atmosferice și umidității betonului asupra oțelului inițiază procesul de coroziune. De exemplu, creșterea umidității relative a aerului, la prezența clorului molecular, mărește coroziunea de 3 - 4 ori. În atmosfera industrială, ce conține clor, construcțiile din beton armat nu trebuie să aibă deloc fisuri.

În urma acestor cercetări se pot face următoarele concluzii:

- este necesar de luat în considerație posibilitatea formării fisurilor și a coroziunii oțelului în partea de jos a construcției din beton armat, ce se află în medii agresive;

- dacă betonul este destul de compact, atunci pentru protecția oțelului este suficient un strat de protecție de 2 cm din beton;
- fisurile apar în locurile slăbite ale stratului de protecție, care are o grosime mai mică și o porozitate mai mare;
- dacă calitatea betonului, a stratului de protecție și grosimea lui, nu sunt suficiente, atunci fisurile cu deschiderea până la 0,3 mm duc la o coroziune neînsemnată a armăturii.

## **Bibliografie**

1. Heiman J.L. - The durability of cast-in-situ reinforced concrete. - National Building Technology Centre Technical Record 511. 1986.
2. Marosszcky M. - Concrete Durability - Final Report, Building Research Centre, The University of NSW, BRC. Pub. 1/87, Sydney, 1987.
3. Avram C., s.a. - Rezistențele și deformațiile betonului. - Ed. Tehnică, București, 1984. Pag. 34-37.
4. Вербецкий Г.П. – Механизм образования коррозионных макропар в трещинах железобетона – Изв. ТНИСГЕТ Т.16, М.: Энергтя. 1985. Стр. 239-340.
5. Brocard M.J. - Corrozuion des aciers dans le beton arme. - Annales de l' Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Nr.126, 1988.
6. Vu Dini Vui – Атмосферная коррозия металлов - М.: Наука. 1994. Стр. 165-178.
7. Rusu I., Croitoru G. – Расчетно-экспериментальный метод прогнозирования скорости атмосферной коррозии арматуры в трещинах железобетонных конструкций - МОК - 36, Одесса, 17-18 апреля 1997. Стр. 33-34