

Croitoru Gh. dr.ing. cercetător științific ICȘC "INCERCOM" Î.S.

Inițierea și dezvoltarea fisurilor în construcțiile din beton și specificul coroziunii armăturii în aceste zone în funcție de mediul exploataării lor.

Abstract

This paper studies the problem behavior of reinforced concrete, with small sections reinforced with high strength steels soft, corrosive environments. It presents the causes of formation of cracks, which are conditioned by low ductility of concrete and unfavorable hydrothermal treatment of reinforced concrete or the sudden cooling them during transportation and installation of construction, storage and transportation in the unexpected position calculation, the elements required in the axial tensile stretching of curved elements, the action variable and constant tasks of operating the building.

Rezumat

În lucrare se studiază problema comportării elementelor din beton armat, cu secțiuni mici, armate cu oțelurilor moi de rezistență înaltă, în medii corozive.

Se prezintă cauzele de formare a fisurilor, care sînt condiționate de ductilitatea joasă a betonului, precum și la tratamentul hidrotermic nefavorabil al elementelor din beton armat ori la răcirea brusca a lor, în timpul transportării și montării construcțiilor, la depozitarea și transportarea lor 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.

Резюме

В статье изучается проблема поведения железобетонных элементов, маленьких сечений, армированных мягкими сталями высокой прочности, в коррозионных средах.

Представляются причины формирования трещин, появление которых обусловлены низкой текучестью бетона, а также при несоответствующей гидротермической обработке железобетонных элементов или при их резком охлаждении, во время транспортирования и монтажа конструкций, при складировании и перемещении в непредвиденном расчетом положении, в аксиально нагруженных элементах и в растянутых зонах изгибаемых элементов, под воздействием постоянных и переменных нагрузок эксплуатации конструкций.

Introducere

Odată cu creșterea volumului de folosire în construcții a elementelor din beton armat se perfecționează permanent metodele de calcul, tehnologia de producere, implementarea formelor noi progresive ale lor. 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 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 anticorrosivă 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-dezghet, înlesnesc apariția și dezvoltarea coroziunii oțelului. Cauzele de formare ale acestora sînt diferite și sînt condiționate de ductilitatea joasă a betonului (0,1-0,2 mm/m) [3]. Fisurile apar la tratamentul hidrotermic nefavorabil al elementelor din beton armat ori la răcirea brusca a lor, în timpul transportării și montării construcțiilor, la depozitarea și transportarea lor în poziția neprevăzută de calcul, în elementele solicitate la întindere axiala 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 ($10 \times 10 \times 100$ cm) armate în partea inferioară cu două bare din oțel beton tip A-II și A-III cu diametrul $\varnothing 10$ mm și $\varnothing 12$ mm și lungimea de 980 mm.

Deschiderea fisurilor de mărimea de la 0,05 pînă 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, corespunzătoare 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 armătură, pe sectorul fisurii, favorizează procesul de coroziune.

Mărimea deschiderii fisurilor s-a măsurat cu ajutorul unui microscop optic; cu o precizie de 50 μ . 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 10 % și pasivarea în soluție saturată de azotat de sodiu. Adâncimea ciupiturilor de coroziune s-a măsurat cu ajutorul microscopului Olympus BX61 (pînă la 150 – 220 μ). Exactitatea măsurărilor s-a aflat în limitele $\pm 5 \mu$.

Alegerea regimurilor verificărilor corosive rapide s-a făcut cu evidența mecanismului proceselor, care decurg pe suprafața armăturii în condiții naturale.

Durata verificărilor rapide, în funcție de gradul agresivității mediului, a constituit de la 1 lună pînă 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 păstrării armăturii în medii slab și puternic agresive. De aceea, dacă admitem posibilitatea formării fisurilor - 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 vârful fisurilor, dar și sub beton pe suprafața oțelului.

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

1. Micșorarea stării bazice a electrolitului de pe oțel pînă la $\text{pH} \leq 12$, la carbonatarea și corozivitatea betonului.

2. Acțiunea ionilor de clor și sulf, care ajung pînă la suprafața oțelului prin defectele structurii și fisurile betonului.

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

S-au obținut rezultate interesante în urma cercetărilor de laborator a influenței mărimii deschiderii fisurilor asupra intensității corozivității oțelului, folosind metoda lui Brocard M. J. [5]. Metoda folosită, de măsurare a adîncimii corozivității 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 $10 \times 10 \times 100$ cm, au fost încovoiate cîte două pentru formarea fisurilor de la 0,1 pînă la 0,8 mm, care au fost introduse în camera cu ceață salină și după aceea uscate la 60°C (5 cicluri).

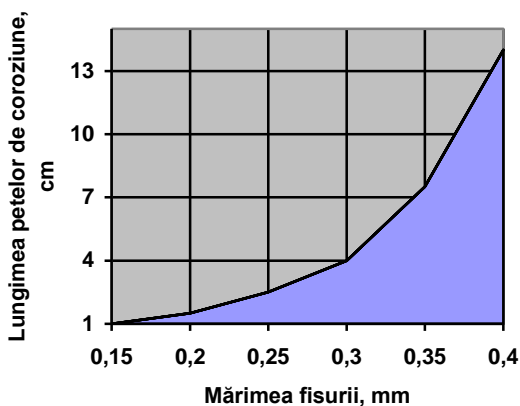


Fig. 1. Dependența mărimii petelor de corozivitate de mărimea deschiderii fisurilor.

S-a constatat, că în fisurile de 0,1mm dezvoltarea corozivității se oprește, iar în fisurile de 0,35 mm și mai mari, ea se dezvoltă rapid (fig. 1).

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

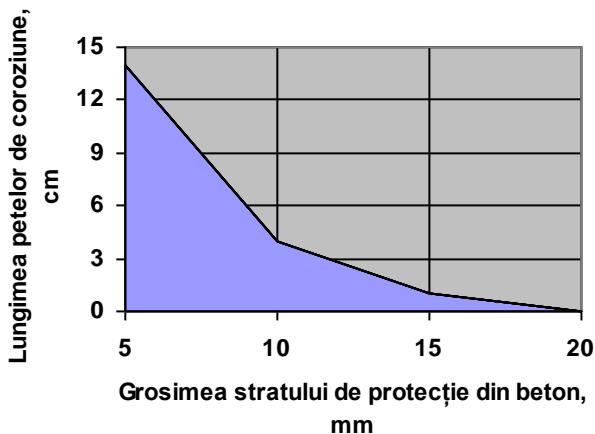


Fig. 2. Dependența lungimii petelor de coroziune de grosimea stratului de protecție.

Fisurile corosive se formează în stratul de protecție în urma tensiunilor mari de întindere în beton, și care se dezvoltă din cauza acumulării produșilor de coroziune pe suprafața barei de oțel, dacă condițiile sînt 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, sînt 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 are tendință 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 umiditatea 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):

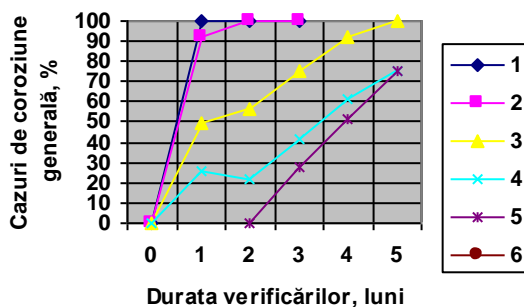
Tabel 1

Mărimea fisurilor, mm	Numărul de cazuri de apariție a coroziunii, %	Răspândirea coroziunii de-a lungul barei de oțel, mm		Adâncimea atacului corosiv, μ	
		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

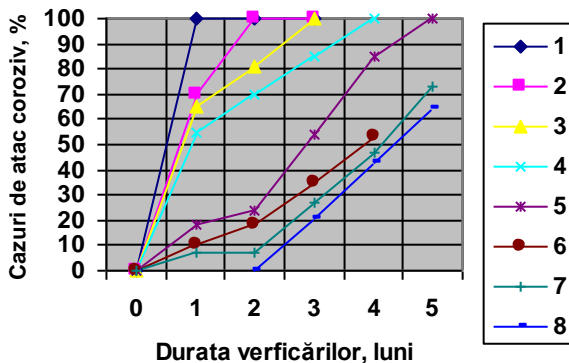
Odată cu mărirea fisurilor crește și posibilitatea apariției coroziunii pitting pe suprafața oțelului. Petele de coroziune se concentrează în locul intersecției fisurilor cu bara, ori se răspândesc pe sectoarele alăturate în rezultatul acțiunii perechilor galvanice a aerației diferențiale.

Influența agresivă a mediului crește la prezența unor astfel de gaze, ca: HCl, Cl₂, SO₂, H₂ S etc. Dacă în atmosfera industrială sînt prezenți vaporii de HCl și clorul molecular, procesul de coroziune al 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 pe epruvete din beton armat. Cercetările au arătat, că în epruvetele din același lot și în fisurile din aceeași grupă, coroziunea oțelului se manifestă diferit, cu intensitate diferită; în unele cazuri apar pete superficiale de rugină, iar în altele pete adînci. În fig. 3 sînt prezentate rezultatele verificărilor rapide a unui lot de epruvete, care au fost umectate cu apă curgătoare și apoi uscate cu o frecvență de 100 cicluri pe an.



a)

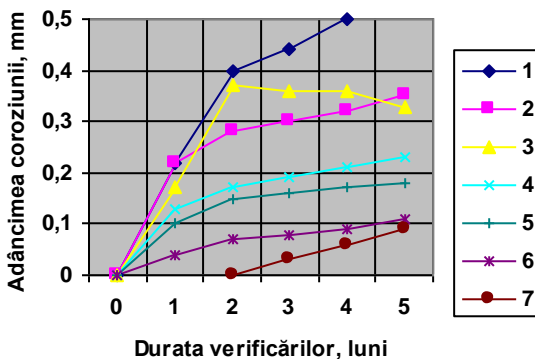


b)

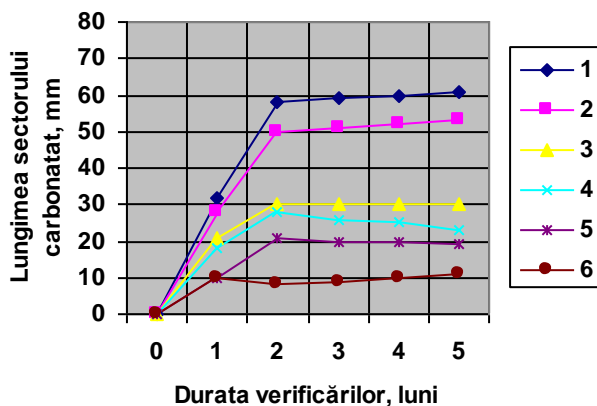
Fig. 3. Posibilitatea apariției (a) și dezvoltării (b) coroziei pe suprafața armăturii în fisurile betonului la umectarea periodică cu apă curgătoare. Mărimea deschiderii fisurilor în mm: a) 1-0,25; 2-0,2; 3-0,15; 4-0,1; 5-0,075; 6-0,05; b) 1-0,5; 2-0,3; 3-0,25; 4-0,2; 5-0,15; 6-0,1; 7-0,075; 8-0,05.

Cum rezultă din figură, în prima lună corozia 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 0,15 mm.

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



a)



b)

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.

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 autotasării 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 considerare posibilitatea formării fisurilor și a coroziunii oțelului în partea inferioară a construcției din beton armat, expusă mediilor agresive.

- dacă betonul este destul de compact, atunci pentru protecția oțelului este suficient un strat de 2 cm din beton.
- fisurile apar în locurile slăbite ale stratului de protecție, ce au o grosime mai mică și o porozitate mai mare.
- dacă calitatea betonului, a stratului de protecție și grosimea lui, nu sînt suficiente, atunci fisurile pînă 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. Marosszky 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. Verbetki G.P.** - Mehanizm obrazovania korroziionîh macropar v trescinah jelezobetona. - Izv. TNISGET. T.16, M.: Energhia. 1985. S.239-340.
- 5. Brocard M.J.** - Corroziou des aciers dans le beton arme. - Annales de l ' Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Nr.126, 1988.
- 6. Vu Dini Vui** - Atmosfernaia corrozia metallov. - M.: Nauca. 1994.
- 7. Rusu I., Croitoru G.** - Rascetno - experimentalinîi metod prognozirovania scorosti atmosfernoi korrozii armaturî v trescinah jelezobetonîh construcții.- MOK ' 36, Odessa, 17-18 aprilie 1997. S. 33-34.