

STUDIUL POCESELOR DE CARBONATARE A BETONULUI ÎN FISURILE CONSTRUCȚIILOR AGROZOOOTEHNICE

Conf. univ., dr. ing. Gheorghe CROITORU,

Ministerul Economiei și Infrastructurii,

Lector univ., dr. Eduard PROASPĂT,

Universitatea Tehnică a Moldovei

ABSTRACT

The article presents the results of experimental studies of reinforced concrete elements in aggressive media. A theoretical calculation is given which determines the period of filling the cavity of a crack with carbon dioxide.

The action of such gases on the concrete causes its neutralization. Under real exploitation conditions, carbon dioxide plays a major role in neutralizing concrete.

Research results of reinforced concrete beams and experimental studies have shown the need to use corrosion inhibitors of reinforcements.

Studii teoretice și practice privind durabilitatea elementelor de beton armat expuse atacului dioxidului de carbon

Exploatarea îndelungată a structurilor din beton armat ale construcțiilor agrozootehnice, în condițiile de acțiune a mediilor corozive, este asigurată printr-o rezistență corozivă adecvată a betonului și armăturii de oțel. Influența predominantă în mediul agresiv de gaz-aer asupra reducerii durabilității structurilor din beton armat este exercitată de procesele de coroziune, care apar pe suprafața armăturii din oțel [1].

Conținutul de dioxid de carbon (CO_2) în aerul curat este de aproximativ 600 mg/m^3 . În atmosfera industrială ale întreprinderilor agrozootehnice, această valoare poate crește de zeci de ori, prezența altor gaze acide fiind mult mai mică. În funcție de tipul de gaz, concentrațiile maxime admise conform normelor sanitare constituie $0,1 - 10 \text{ mg/m}^3$ [2, 3].

Toate gazele acide acționează asupra betonului structurilor împreună cu CO_2 . Acțiunea unor astfel de gaze asupra betonului provoacă neutralizarea acestuia, iar sărurile formate penetrează spre interior cu o viteză, care depinde atât de solubilitatea acestora, permeabilitatea și umiditatea betonului. În condiții de

exploatare reale, dioxidul de carbon joacă un rol principal în neutralizarea betonului. Celelalte gaze acide doar accelerează sau încetinesc acest proces [2, 3].

Modalitățile de prezicere a efectului protector al betonului atât în țara noastră, cât și în străinătate, în absența acțiunii gazelor care conțin clor asupra betonului, se bazează pe studierea modelelor cinetice de neutralizare a betonului cu gaze acide și, în principal, cu CO₂ [2, 3].

Fisurile din beton facilitează accesul mediului exterior la suprafața armăturii și contribuie la apariția și dezvoltarea coroziunii. Permeabilitatea fisurilor pentru gazele acide este mult mai mare decât cea a betonului nefisurat. Coeficientul de difuzie efectiv al dioxidului de carbon într-o fisură de beton cu o deschidere de deschidere de $a_F = 0,20$ mm este egal cu coeficientul său de difuzie în aer, $D_{CO_2} = 0,14$ cm²/s. Acesta este cu trei ordine mai mare decât în cazul betoanelor cu o densitate medie [2].

Durata acțiunii de protecție a betonului într-o atmosferă de gaze acide ale întreprinderilor agrozootehnice se calculează cu ajutorul ecuațiilor de difuzie în faza gazoasă a betonului [2]. Să determinăm prin calcul cantitatea de dioxid de carbon (CO₂) care ajunge la suprafața armăturii într-un anumit timp, ținând cont de absorbția sa de către pereții fisurilor de beton. Ca urmare, concentrația de dioxid de carbon în cavitatea fisurii poate fi scăzută pentru o perioadă lungă de timp. Metoda de calcul, bazată pe utilizarea primei legi a lui Fick [1, 2], iar calculul este prezentat în [4, 5].

Ca rezultat al cercetării a fost obținerea, folosind un calcul matematic, a următoarelor dependențe funcționale C_x pentru valori date de K , în care:

$$K = \left[\frac{8D_B m_v \delta^4}{D_A^2 a_F^2 T} \right]$$

în cazul

$$K_1 = 0 \rightarrow C_{1x} = C_0;$$

$$K_2 = 0,2 \rightarrow C_{2x} = 0,785 C_0;$$

$$K_3 = 0,4 \rightarrow C_{3x} = 0,541 C_0;$$

$$K_4 = 0,6 \rightarrow C_{4x} = 0,472 C_0;$$

$$K_5 = 0,8 \rightarrow C_{5x} = 0,419 C_0;$$

$$K_6 = 1,0 \rightarrow C_{6x} = 0,382 C_0;$$

$$K_7 = 2,0 \rightarrow C_{7x} = 0,271 C_0;$$

$$K_8 = 4,0 \rightarrow C_{8x} = 0,170 C_0;$$

În dependențele funcționale sunt date următoarele notări:

C_x - concentrația de CO₂ în cavitatea fisurilor la limita de carbonatare (unități relative);

C_0 - conținutul de CO₂ în aer (unități relative);

D_B - coeficientul de difuzie efectiv al CO₂ în stratul carbonatat de beton, cm²/s;

m_v – capacitatea de reacție a betonului, ce caracterizează volumul de gaz absorbit de o unitate de volum de beton;

δ - stratul de protecție din beton, cm;

a_F – deschiderea fisurilor, cm;

T – durata de pătrundere a gazului în cavitatea fisurii, s.

Durata (s), în care în cavitatea fisurii se obține coeficientul K corespunzător C_x/C_0 se determinat de formula:

$$T = \left[\frac{8D_B m_v \delta^4}{D_A^2 a_F^2 K} \right]$$

Rezultatele calculelor efectuate conform formulei, ținându-se seama de valorile adoptate $m = 50$, $D_B = 1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_B = 0,14 \text{ cm}^2/\text{s}$ [1, 2], arată că creșterea concentrației de CO_2 în cavitatea fisurilor are loc treptat și devine mai rapidă, cu cât densitatea betonului este mai mare (Tabelul 1).

Tabelul 1 – Perioada calculată de timp pentru obținerea concentrației relative de CO_2 în cavitatea fisurii din beton

K	C_x/C_0	$D_B \times 10^{-4}$ cm^2/s	δ , cm	T (s) $\times 10^5/\text{zile}$, la a_F (mm)			
				0,05	0,1	0,2	0,3
0,2	0,785	1,0	1	4,080/4,7	1,020/1,2	0,255/0,3	0,11/0,13
			2	65,306/75,6	16,327/18,9	4,082/4,7	1,814/2,1
			3	330,618/382,7	82,653/95,7	20,663/23,9	9,184/10,6
		0,2	1	0,816/0,9	0,204/0,2	0,051/0,1	0,023/0,01
			2	13,061/15,1	3,265/3,8	0,816/0,9	0,363/0,4
			3	66,122/76,5	16,531/19,1	4,133/4,8	1,837/2,1
		0,04	1	0,163/0,2	0,041/0,1	0,010/0,01	0,005/0,01
			2	2,612/3,0	0,653/0,8	0,163/0,2	0,073/0,1
			3	13,224/15,3	3,306/3,8	0,827/1,0	0,367/0,4
0,4	0,541	1,0	1	2,041/2,4	0,51/0,6	0,128/0,2	0,057/0,1
			2	32,653/37,8	8,164/9,5	2,041/2,4	0,907/1,1
			3	165,306/191,3	41,327/47,8	10,332/12,0	4,592/5,3
		0,2	1	0,408/0,5	0,102/0,1	0,026/0,03	0,012/0,01
			2	6,531/7,6	1,633/1,9	0,408/0,5	0,182/0,2
			3	33,061/38,3	8,266/9,6	2,067/2,4	0,919/1,1
		0,04	1	0,082/0,1	0,020/0,02	0,005/0,01	0,003/0,01
			2	1,306/1,5	0,326/0,4	0,082/0,1	0,037/0,04
			3	6,612/7,7	1,653/5,4	0,414/0,5	0,184/0,2
0,382	1,0	1,0	1	0,816/0,9	0,204/0,2	0,051/0,06	0,023/0,03
			2	13,061/15,1	3,265/3,8	0,816/0,9	0,363/0,4
			3	66,122/76,5	16,531/19,1	4,133/4,8	1,837/2,1
		0,2	1	0,163/0,2	0,041/0,1	0,010/0,01	0,005/0,006
			2	2,612/3,0	0,653/0,8	0,163/0,2	0,073/0,1
			3	13,224/15,3	3,306/3,8	0,827/1,0	0,367/0,4
		0,04	1	0,033/0,04	0,008/0,01	0,002/0,002	0,001/0,001
			2	0,522/0,6	0,131/0,2	0,033/0,04	0,015/0,02
			3	2,645/3,1	0,661/0,8	0,165/0,2	0,073/0,1

În același timp, ținând seama de valorile relativ mici ale timpului de atingere a concentrației relative corespunzătoare a gazului, în comparație cu durata de exploatare normativă, se poate concluziona că, în condiții de exploatare, acestea nu au o influență decisivă asupra creșterii durabilității structurilor din beton armat. Cu toate acestea, luarea în considerare a acestei perioade poate fi utilă pentru dezvoltarea metodelor accelerate de efectuare a testelor experimentale ale atacului coroziv asupra armăturii în fisurile de beton într-un mediu agresiv de gaz-aer, care conține gaze acide.

În afară de CO_2 , din gazele acide cel mai frecvent este întâlnit în industrie, agricultură și condiții naturale dioxid de sulf (SO_2). Acest gaz, interacționând cu componentele alcaline ale pietrei de ciment din beton, formează ghips și hidrosulfoaluminați de calciu. Astfel de produse de reacție chimică cauzează fisurarea pietrei de ciment, accelerând penetrarea mediilor agresive în beton.

Conform mecanismului de acțiune asupra procesului de coroziune a oțelului, SO_2 se referă la un depolarizator eficient al reacției catodice. Dioxidul de sulf se dizolvă bine în apă, aproximativ 40 de volume într-un volum de apă la o temperatură de 20°C . Prin urmare, deja la un conținut nesemnificativ de SO_2 în aer $C_0 = 0,015\%$, concentrația sa în electroliți devine comparabilă cu concentrația unui astfel de depolarizator ca oxigenul.

Calculul efectuat pentru încercările accelerate, luând în considerare concentrația de SO_2 , egală cu 100 mg/m^3 , și grosimea stratului de protecție din beton $\delta = 25\text{ mm}$, arată, că perioada de timp înainte de începerea procesului de coroziune pe armătură, pentru fisuri cu o lățime de deschidere de $0,1; 0,2; 0,3\text{ mm}$, constituie respectiv, 50, 10 și 5 zile [5].

Pentru cercetarea acțiunii încărcării variabile de exploatare asupra durabilității, caracteristicile de rezistență și deformare ale elementelor din beton armat în mediul gaz-aer al întreprinderilor agrozootehnice, s-au testat prin metode accelerate șase grinzi din beton armat încărcate și nouă neîncărcate, supuse unei acțiuni similare a mediului agresiv, ca și grinzile aflate sub sarcină. Pentru aceasta au fost executate grinzi din beton greu de clasa C25/30 cu permeabilitate redusă, cu dimensiuni de $1500 \times 200 \times 70\text{ mm}$ (figura 1).

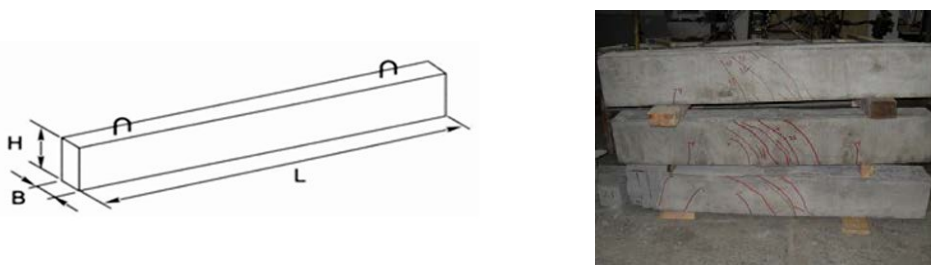


Figura 1 - Grinzi din beton greu de clasa C25/30, cu dimensiunile $L = 1500\text{ mm}$, $H = 200\text{ mm}$, $B = 70\text{ mm}$, supuse încărcărilor variabile.

În calitate de liant s-a utilizat ciment Portland cu aluminat de calciu, cu un coeficient efectiv de difuzie al dioxidului de carbon în beton $D = 0,17 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$. Carcasa de armare este formată din două bare de clasa B500C, cu un diametru de 12 mm. Grosimea stratului de protecție din beton a constituit $\delta = 30 \text{ mm}$.

Grinzile au fost supuse unor încărcări ciclice la o instalație de încercări timp de 28 zile.

Pentru stimularea procesului de coroziune a armăturii în fisurile din beton, suprafața sa a fost umezită cu o soluție o dată pe zi. Compoziția chimică a soluției este similară cu compoziția mediului lichid rezultat din procesul activității vitale a animalelor. Mediul lichid conține 95,7 % apă și 4,3 % substanțe uscate: uree - 2 %, acid uric - 0,05 %, ioni de sodiu - 0,35 %, ioni de potasiu - 0,15 %, ioni de magneziu - 0,04 %, ioni de calciu - 0,06 %, ioni de clor - 0,6 %, ioni de fosfat - 0,27 %, ioni de sulfat - 0,78 %.

În mod normal, deteriorarea betonului progresează relativ încet. În faza inițială nu există semne vizibile pe suprafața betonului. Totuși, în structura sa se desfășoară deja procesul de carbonatare, până în punctul în care adâncimea neutralizării ajunge la oțelul armat și distruge stratul de protecție. Mai mult, produșii acestei reacții chimice (de exemplu, rugina) au un volum mai mare decât elementele anterioare, care poate cauza fisuri. În timp, suprafața betonului se desparte de armătură și expune elementele oțelului armat (figura 2). Din acest moment, carbonatarea se accelerează și întreaga structură devine afectată.

Compoziții din soluția lichidă și CO_2 reacționează cu compoziții alcalini din beton, formând carbonatul de calciu. Fenomenul de carbonatare determină o reducere a pH-ului betonului de la 13 la 8,5-9, valori care sunt sub pragul necesar asigurării condițiilor de pasivitate a armăturilor. Ca o consecință logică, armătura începe să se oxideze formând rugina, care expandează și creează tensiuni superioare rezistenței la rupe a betonului.

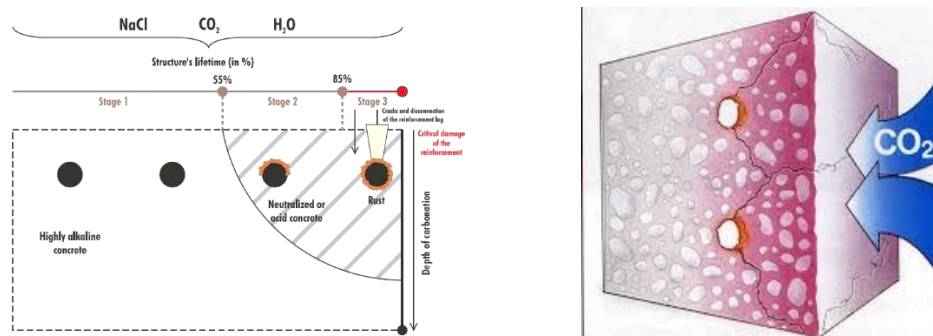


Figura 2 – Stadiile deteriorării betonului sub influența factorilor de mediu și viteza deteriorării armăturii în timpul duratei de viață a structurii

Trei grinzi au fost supuse încercărilor până la distrugere, cu determinarea capacității portante ale lor. Capacitatea portantă a grinzilor distruse a fost mai mică cu 8 % față de grinzile neîncărcate, supuse acțiunii similare a mediului agresiv.

Rezultatele încercărilor au arătat, că o scădere a caracteristicilor fizico-mecanice ale armăturii, cu un diametru de 12 mm de clasa B500C se observă numai la o adâncime medie a deteriorării corozive mai mare de 200 μm . După 28 zile de încercare, adâncimea medie de deteriorare a armăturii în fisurile transversale, cu o lățime de deschidere de $a_F = 0,30$ mm a constituit $\delta_{\text{med}} = 310$ μm . În ceea ce privește probele de control ale armăturii, care nu au fost expuse efectelor corozive ale mediului, limita fizică la curgere a scăzut cu 20 MPa (4,2%), iar rezistența la tracțiune a scăzut cu 30 MPa (4,5%).

Rezultatele cercetărilor ale grinzilor din beton armat și studiile experimentale au arătat necesitatea utilizării inhibitorilor de coroziune a armăturilor în structurile din beton armat cu permeabilitate redusă în mediile gaz-aer ale întreprinderilor agrozootehnice. Utilizarea inhibitorilor de coroziune din armare sub formă de aditivi în amestecul de beton nu afectează practic prețul de vânzare a elementelor din beton armat [6].

BIBLIOGRAFIE

1. С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссль - *Долговечность железобетона в агрессивных средах.* /С.Н. Алексеев, – М: Стройиздат, 1990. – С. 206, 210-211, 257, 311.
2. В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев.- *Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты* – М.: Стройиздат, 1980. – С. 106, 291, 299, 301, 309-310, 313-315, 397.
3. Н.К. Розенталь - *Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости:* дис. докт. техн. наук /. – М: НИИЖБ, 2004. – С. 107-153.
4. В.Н. Мигунов. - Теоретические исследования долговечности строительных железобетонных конструкций с трещинами в защитном слое бетона при воздействии на них газовой среды с кислотными газами/Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Сборник IX Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2009. – С. 27-31.
5. В.Н. Мигунов. - *Коррозия арматуры в трещинах железобетонных конструкций в газовой атмосфере производственных зданий*/Изв. вузов. Строительство. – 2008. – №8. – С. 4-9.
6. В.И. Новгородский, А.Б. Островский, В.Н. Мигунов. - *Метод определения эффективности ингибиторов коррозии стали в трещинах бетона*/Методические рекомендации по исследованию ингибиторов коррозии арматуры в бетоне. – М.: НИИЖБ, 1980. – С. 18 – 24.