



Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 09.02.2018 г.

УСТАНОВЯВАНЕ НА УСТОЙЧИВОСТТА НА СВЯБ ПРИ КОРОЗИОННА МРАЗУСТОЙЧИВОСТ

К. Йорданова¹, Б. Петров²

Ключови думи: супер-високоякостен бетон, корозионна мразустойчивост

РЕЗЮМЕ

Супер-високоякостните бетони (СВЯБ) се характеризират с много ниско водоциментно отношение и голямо съдържание на фини минерални добавки. А якостта на натиск от 150 МПа и повече може да се получи без топлинна обработка или други специални мерки. Отделно от голямата якост, изключителната дълготрайност е призната за една от отличителните черти на СВЯБ, дори когато са изложени на тежки агресивни среди. Тази статия има за цел да определи количествено някои от параметрите на дълготрайността на СВЯБ, като например ускорена карбонизация и циклично замразяване–размразяване с наличие на соли антиобледенители. В сравнение с нормалния бетон, продължителността на изпитването е удължена няколко пъти, за да се получат съизмерими резултати.

1. Въведение

Корозионната мразустойчивост на СВЯБ е важен показател относно дълготрайността на бетона, подложен на агресивни въздействия.

В представеното изследване с цел да се установи какво е поведението на състави от супер-високоякостни бетони (СВЯБ) при променливо изсушаване и навлажняване след циклично замръзване–размръзване в условията на агресивни среди (при зимни условия) е направено изпитване за установяване на корозионната мразустойчивост.

¹ Камелия Йорданова, ас. инж., кат. „Строителни материали и изолации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: jordanova_fce@uacg.bg

² Богомил Петров, проф. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: b_petrov@abv.bg

Като агресивен агент е използван амониев сулфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, причина за което е бързото отделяне на амоняк във водната среда, което го прави по-силно корозивен агент, в сравнение с другите агресивни среди. При взаимодействието на амониевия сулфат с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в циментовия камък се образува гипс, който по схемата на корозия III вид по В. М. Москвин действа разрушително на структурата на бетона.

Под действието на $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ се извършват амониева и сулфатна корозия, които напредват в дълбочина. За това говорят измененията в CaO на свързващото вещество. В структурно разрушената зона силно се увеличава концентрацията на калциевите и сулфатните йони и се намалява концентрацията на CaO на свързващото вещество в неразрушената още зона на циментния камък. При ниски концентрации на сулфатни йони протича сулфоалуминатна корозия, която преминава през сулфоалуминатно-гипсова в гипсова с увеличаване на концентрацията на (SO_4^{2-}) . Първоначално кристалите на калциевия хидросулфоалуминат и гипса уплътняват разрушената зона, но когато количеството на кристалите нарастне над известни граници (при концентрираните разтвори и при по-продължителен контакт при по-ниски концентрации на агресивната среда), се появяват силни вътрешни напрежения, разрушаващи бетона с голяма скорост.

При агресивна среда $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ пуцолановият портландцимент, както и пуцолановият сулфатостойчив цимент, са сравнително по-устойчиви в сравнение с останалите цименти.

2. Експериментално изследване

Корозионната мразоустойчивост е оценена, чрез определяне на загубата на якост и маса на материала, след 60 цикъла (т.е. 180 дни). При ускореното изпитване за мразоустойчивост 20 цикъла се равняват на 200 цикъла при директно замразяване-размразяване. Което ще рече, че продължителността на изпитване е удължена до 600 цикъла. В сравнение с обикновения бетон, продължителността на изпитванията е удължена няколко пъти, за да могат да се получат съизмерими резултати с обикновените бетони.

В настоящото изследване корозионната мразоустойчивост е оценена съгласно стандарт БДС EN 13687-3:2002, чрез определяне на загубата на маса на изпитваните образци и загубата на якост (якостта е определена съгласно БДС EN 12390-3:2009) спрямо масата и якостта на контролни проби от същите състави, отлежавали във вода.

Целта на това изследване е да бъде сравнена корозионната мразоустойчивост на два супер-високоякостни състава на СВЯБ (А и О) под въздействие на агресивно влияние.

Състав А е състав с $D_{\text{max}} = 0,5$ mm, количество на химическа добавка суперпластификатор 4% от масата на цимента и водоциментово отношение, равно на 0,22.

Състав О е състав, при който е налице едър добавъчен материал с $D_{\text{max}} = 8$ mm.

От всеки състав на СВЯБ са изготвени по 18 пробни тела – кубчета със страна 40 mm. Пробните тела са изсушени до постоянна маса с точност до 0,01 g. По-нататък, пробните тела се поставят във вани, съдържащи водни разтвори на $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с две концентрации (5 и 10%), а след това се подлагат на ускорена мразоустойчивост.

Продължителността на въздействие на агресивната среда върху бетона е изразена в цикли (един цикъл е с времетраене от 24 h), като всеки отделен експериментален цикъл включва:

- два часа потапяне в разтвор на $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с температура 21 ± 2 °C;
- четири часа замразяване в хладилна камера при температура -15 ± 2 °C;
- два часа размразяване във вода с температура 21 ± 2 °C;
- шестнадесет часа изсушаване в сушилен шкаф при температура 60 ± 2 °C.

Съгласно стандарт БДС EN/TS 12390-9:2007 корозионната мразоустойчивост на пробните тела се определя качествено – по появата на външни повреди, изменения на външния вид или пълно разрушаване, и количествено – което според изискванията на БДС EN 206:2014/NA:2015 е относителната загуба на маса ΔM да не надвишава 5% и съответно загубата на якост Δf_c да не е по-голяма от 15%, определени по формулите:

$$\Delta M = \frac{m_{\text{незамр.}} - m_{\text{замр.}}}{m_{\text{незамр.}}} \times 100, \% ; \quad (1)$$

$$\Delta f_c = \frac{f_{c \text{ незамр.}} - f_{c \text{ замр.}}}{f_{c \text{ незамр.}}} \times 100, \quad (2)$$

където $m_{\text{незамр.}}$ и $m_{\text{замр.}}$ са съответно масата на водонапитите пробни тела преди изпитването и масата им след изпитването на корозионна мразоустойчивост, [kg];

$f_{c \text{ незамр.}}$ – якостта на контролните пробни тела (незамразявани), [MPa];

$f_{c \text{ замр.}}$ – якостта на замразяваните пробни тела, [MPa].

Оценката на мразоустойчивостта на двата състава се извършва чрез определяне на загубата на маса на изпитваните образци и загубата на якост (якостта е определена съгласно БДС EN 12390-3:2009) спрямо масата и якостта на контролни проби от същите състави, отлежавали във вода.

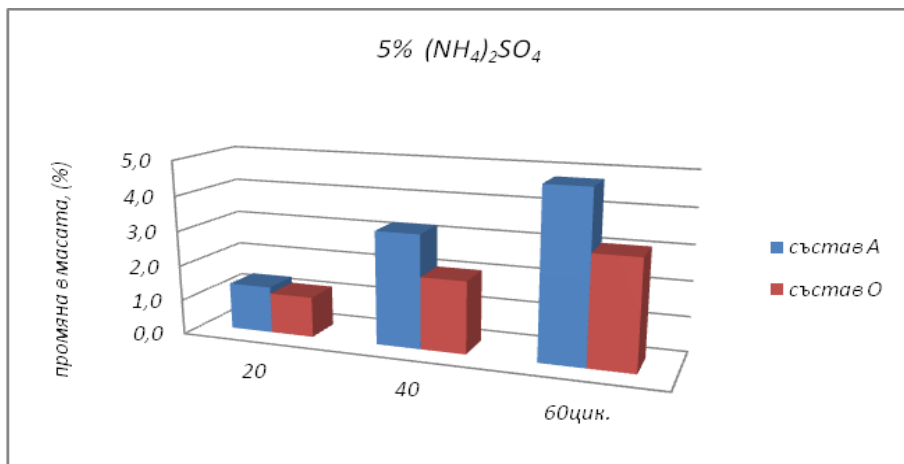
3. Анализ на получените резултати

Резултатите от изпитванията за загуба на маса са представени в табл. 1. Данните представени в табл. 1, са получени като средни стойности от изпитвания, направени върху 3 бр. пробни тела.

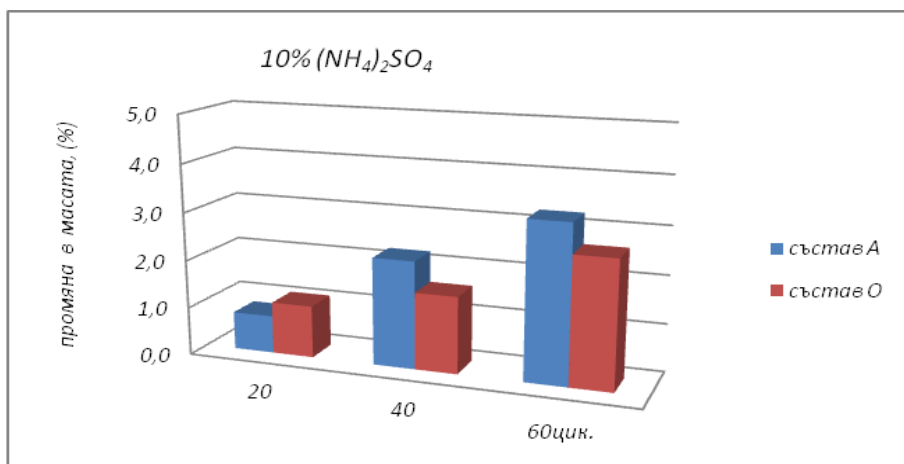
Таблица 1. Промяна в масата на съставите при изпитване за корозионна мразоустойчивост

състав	разтвор	m, g контр.	m, g след 20 цикъла	ΔM , % загуба на маса след 20 цик.	m, g контр.	m, g след 40 цикъла	ΔM , % загуба на маса след 40 цик.	m, g контр.	m, g след 60 цикъла	ΔM , % загуба на маса след 60 цик.
А	5% (NH ₄) ₂ SO ₄	147,6	145,5	1,34	142,0	135,6	3,23	143,2	136,4	4,77
		149,3	147,3		136,6	133,3		139,2	132,5	
		135,6	133,9		130,0	126,6		145,1	138,6	
	10% (NH ₄) ₂ SO ₄	130,8	130,0	0,79	128,2	125,0	2,24	136,0	130,2	3,27
		135,3	133,9		126,0	123,6		294,8	289,2	
		137,0	136,0		133,9	130,8		283,7	277,8	
О	5% (NH ₄) ₂ SO ₄	131,9	130,5	1,16	144,5	141,5	2,05	141,4	135,6	3,08
		148,2	146,6		149,1	146,1		147,4	141,4	
		132,4	130,6		145,6	142,5		139,7	133,4	
	10% (NH ₄) ₂ SO ₄	137,7	136,3	1,09	304,8	299,8	1,60	134,6	125,6	2,65
		139,6	137,9		147,2	144,0		305,0	297,5	
		142,8	141,3		317,5	313,4		320,3	312,1	

На фигурите по-долу е показано графично изобразяване на опитните резултати, получени след определен брой цикли на корозионна мразоустойчивост.



Фиг. 1. Графика, показваща загубата на маса на изпитваните състави, след циклична корозионна мразоустойчивост



Фиг. 2. Графика, показваща загубата на маса на изпитваните състави, след циклична корозионна мразоустойчивост

Както при състав А, така и при състав О се забелязва, че получената промяна в масата е по-малка при 10%-ия разтвор на $(NH_4)_2SO_4$. Загубата на маса след 60 цикъла за състав А е 3,27%, а за състав О – 2,65%.

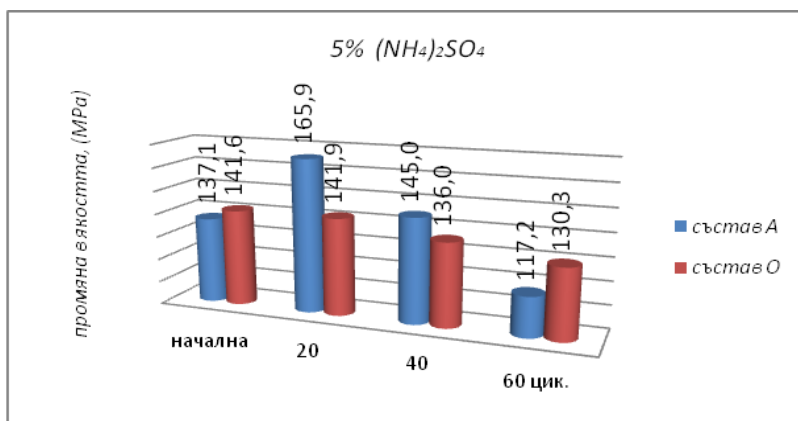
По-голяма се оказва редуцията при пробите, третирани с 5% разтвор на $(NH_4)_2SO_4$, където за състав А тя достига 4,77%, а за състав О – 3,08%.

Резултатите от изпитванията за загуба на якост са представени в табл. 2. Данните представени в табл. 2, са получени като средни стойности от изпитвания, направени върху 3 бр. пробни тела.

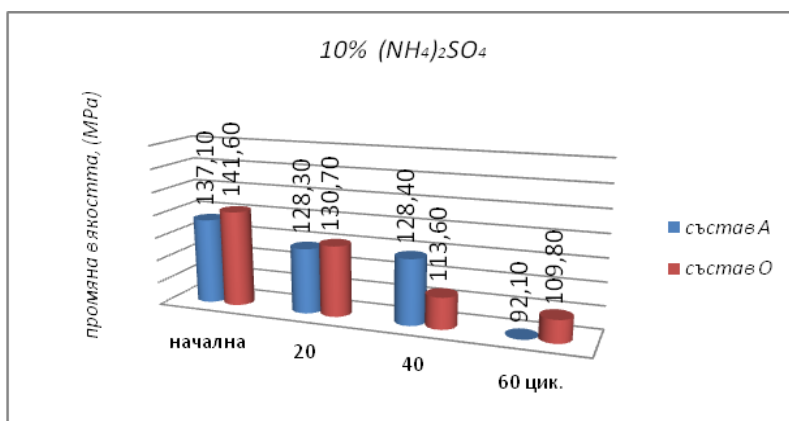
Таблица 2. Промяна в якостта на съставите при изпитване за корозионна мразоустойчивост

Състав	Разтвор	fcm, МПа контрола	fcm, МПа (20 цикъла)	fcm, МПа (40 цикъла)	fcm, МПа (60 цикъла)
А	5% (NH ₄) ₂ SO ₄	137,10	165,90	145,00	117,20
	10% (NH ₄) ₂ SO ₄	137,10	128,30	128,40	92,10
О	5% (NH ₄) ₂ SO ₄	141,60	141,90	136,00	130,30
	10% (NH ₄) ₂ SO ₄	141,60	130,70	113,60	109,80

Графичното изобразяване на опитните резултати, получени след определен брой цикли на корозионна мразоустойчивост, е показано на фигурите по-долу.



Фиг. 3. Графика, показваща загубата на якост на изпитваните състави, след циклична корозионна мразоустойчивост



Фиг. 4. Графика, показваща загубата на якост на изпитваните състави, след циклична корозионна мразоустойчивост

На фиг. 3 и фиг. 4 е представено изменението на якостта на натиск на съставите на СВЯБ, във функция на продължителността на въздействие на средата и съответно във функция на концентрацията на водния разтвор на амониев сулфат.

От фиг. 3 се вижда, че след 20-цикличен престой при концентрация на разтвора от 5%, якостта на натиск при дребнозърнестата матрица (състав А) нараства с около 20%, а при концентрация от 10% (фиг. 4) увеличението достига до 5%. Отчетеното първоначално увеличение на якостта на натиск е вероятно поради уплътняване на структурата на бетона с продукти на корозионния процес.

При съставите с по-малък обем на циментовата паста, респективно циментовия камък (състав О), изменението на якостта на натиск на бетона при по-малкия брой на циклично въздействие на средата, и при по-малката концентрация на разтвора, е в пониски граници. На фиг. 3 се вижда, че след 20-цикличен престой в 5%-вия разтвор якостта на натиск при едрозърнестата матрица намалява с до 4%, както и при концентрация от 10% (фиг. 4) съществена промяна в якостта на натиск не се забелязва.

Резултатите показват, че пробите, включващи ЕДМ, показват по-голяма промяна на якостта, когато са подложени на 40-цикличен период на замразяване-размразяване при концентрация на $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ от 10%, в сравнение с пробите без наличие на ЕДМ. В следващите 60 цикъла в условията на 10% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ внезапно увеличаване на загубата на якост се забелязва при състав А, последван от състав О, при който редуцията в якостта достига до 22,5%.

Резултатите след 60 цикъла показват, че съставът на дребнозърнестата матрица дава по-голяма редуция на якостта, в сравнение с този на едрозърнестия състав, когато е подложен на циклично замразяване-размразяване в условията на амониеви сулфати с концентрация 5 и 10%.

4. Изводи

Това изследване дава представа за параметрите на дълготрайността на съставите на СВЯБ. Резултатите показват ефектно подобрение на дълготрайността в сравнение с нормалните бетони и дори високоякостните бетони (ВЯБ). Не се наблюдава значителна разлика (по отношение на получените резултати) между изпитваните състави на СВЯБ.

Като цяло може да се каже, че съставите на СВЯБ показват голяма съпротива срещу проникването на агресивни среди, в частност амониеви соли. Нещо повече, загубата на маса, причинена от цикличното замръзване-размръзване е незначителна. Голямата плътност на матрицата на СВЯБ, причинена от много ниското В/Ц отношение и голямото съдържание на АМД, е основната причина за тази голяма устойчивост.

Благодарности

Представените изследвания са резултат от научна разработка по договор, финансиран от Фонд „Научни изследвания” към МОМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Xincheng, Pu*. Super-High-Strength High Performance Concrete. CRC Press, 2013.
2. БДС EN 13687-3:2002 – Продукти и системи за предпазване и възстановяване на бетонни конструкции. Методи за изпитване. Определяне на термична съвместимост. Част 3: Гръмотевични цикли.

3. БДС EN 12390-3:2009 – Изпитване на втвърден бетон. Част 3: Якост на натиск на пробни тела.

4. БДС EN 206:2014/NA:2015 – Бетон. Спецификация, свойства, производство и съответствие. Национално приложение (NA).

5. *Бабачев, Г., Петрова, М.* Наръчник по антикорозионни материали – Държавно издателство „Техника“, 1985.

ESTABLISHMENT OF FROST RESISTANCE IN CORROSION OF UHPC

K. Yordanova¹, B. Petrov²

Keywords: ultra high-performance concrete, frost resistance, chemical attack

ABSTRACT

Ultra high-strength concrete (UHPC) is characterized by very low w/c-ratio and great content of fine mineral supplements. A compressive strength of 150 MPa or more can be obtained without heat treatment or other special measures. Apart from great strength, extreme durability is recognized as one of the hallmarks of UHPC, even when exposed to severe corrosive environments. This paper aims to quantify some of the parameters of the life of UHPC such as accelerated carbonation and freeze-thaw cycle with deicer salts. Compared with normal concrete, the test duration is extended several times in order to obtain comparable results.

¹ Kamelia Yordanova, Assist. Prof. Eng., Dept. “Building Materials and Insulations”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: jordanova_fce@uacg.bg

² Bogomil Petrov, Prof. Dr. Eng., Dept. “Building Materials and Insulations”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: b_petrov@abv.bg