

низкоосновных гидросиликатов кальция, пиктолиа, афвилита, скоутита и незначительного количества кальциевого хондродита. При этом, как свидетельствуют результаты термoporометрии, происходит изменение поровой структуры: увеличивается содержание гелевых пор и соответственно уменьшается доля капиллярных. Образование такой микроструктуры модифицированного шлакопортландцемента способствует образованию цементного камня с улучшенными прочностными показателями, которые на 2 сутки превышают 29,0 МПа, на 7 сутки - 43,5 МПа и 61,0 МПа - на 28 суток.

**Ключевые слова:** шлакопортландцемент, комплексные добавки, пластификатор, прочность, структурообразование.

**Bondarenko O.P., Pavliyk V.V. STRUCTURAL FORMATION OF SLAG CEMENT BENDING SYSTEMS MODIFIED BY ALKALINE COMPOUNDS AND PLASTICIZING**

**ADMIXTURES OF DIFFERENT TYPES.** The processes of structure formation of slag cement binders modified with alkaline compounds and plasticizing admixtures were researched. It was found that activation of slag cement with alkaline component in complex with plasticizing admixtures leads to directed synthesis of low-basic calcium hydrosilicates, pictose, aflite, scoutite and a small amount of calcium chondrodite. At the same time, as the results of thermoporometry measuring, the pore structure changes: the content of gel pores increases and, accordingly, the share of capillary pores decreases. The formation of such a microstructure of modified slag cement promotes the formation of cement stone with improved strength characteristics, which exceed the level of 29,0 МПа for the 2nd day, 43,5 МПа for the seventh day and 61,0 МПа for 28 days.

**Key words:** slag cement, complex admixtures, plasticizer, strength, structure formation.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-203-207

УДК 666.983

**Вандоловський С.С., Костюк Т. О., Плахотнікова І.А.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури  
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: ira5657@gmail.com)*

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ БЕТОННОЇ МАТРИЦІ СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ

Розглянуті міцнісні показники композитного матеріалу на основі бетонної матриці в яку введені сталеві фібри. Встановлено підвищення міцності за рахунок зменшення відстані між сталевими фібрами, що забезпечується необхідністю застосування особливо дрібнозернистого бетону з введенням особливо дрібнозернистих відходів металургійної промисловості.

**Ключові слова:** сталеві фібробетон, бетонна матриця, особливо дрібнозернистий заповнювач, суперпластифікатор.

**Вступ.** Сталеві фібробетон є композитним матеріалом (КМ), [1] який в перспективі знаходитиме все більше застосування [2, 6, 12] завдяки спрощенню технології арматурних робіт порівняно з традиційним залізобетоном та виробів з нього. Однак попередніми дослідженнями [4] виявлено, що поверхня сталевих фібр діє на цементне тісто таким чином, що активні центри на сталевій поверхні ( $\Psi = -1,77$ ) при контакті з портландитом (+0,53) [5, 11] позитивно впливають на кристалізацію новоутворень в зоні контакту, що сприяє росту новоутво-

рень зі структурою наближеною до структури металу [8]. Модель структури бетону, армованого сталевими фібрами [4] наведена на рис. 1.

Аналіз структури дає підставу вважати, що міцність КМ (сталеві фібробетону) повинна зростати при умові включення в роботу півки новоутворень цементного каменю [4], підсиленого впливом сталеві підкладки. Практично таке рішення може бути реалізовано шляхом зближення окремих фібр з тим, щоб підсилені зони цементного каменю мали між собою контакт.

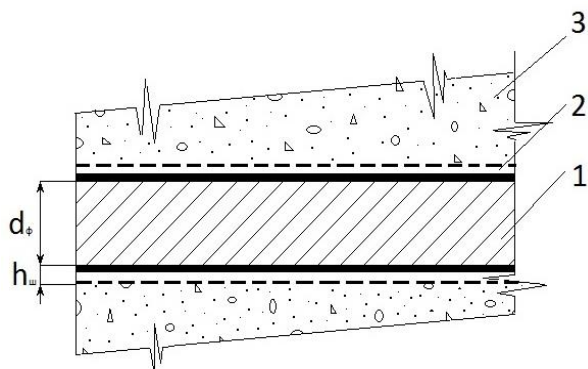


Рис. 1. Модель структури бетону, армованого сталевими фібрами: 1 – сталева фібра, 2- шар підсиленого цементного каменю, 3 –бетонна матриця;  $d_f$  - діаметр фібри,  $h_{ш}$  - висота шару.

Оприлюднені данні [3] які обробили експериментальні дані Ромуальді та Бетсонанадані на рис. 2. Виконане нами екстраполяційне продовження лінії досягнутої експериментальної залежності вказує, що при застосуванні КМ з більш близькими відстанями між арматурою (до 10 мм), коефіцієнт підсилення міцності повинен зростати до показників  $K_p = 2,4...2,6$  при відстанях між фібрами 0,5...0,25 см.

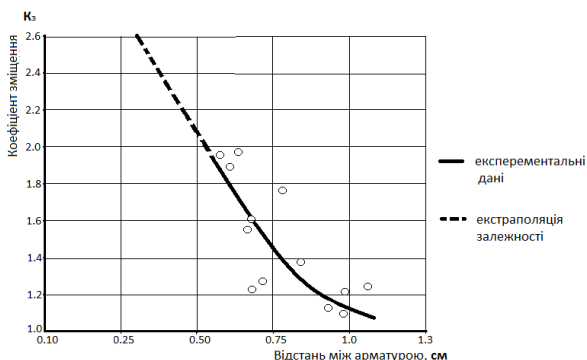


Рис. 2. Зміцнення композиційного матеріалу (КМ) за рахунок зменшення відстані між арматурою сталевими фібрами

**Новизна.** Наведені на рис. 2 дані обмежені відносно великими показниками довжини простору між фібрами. Однак, в разі прийняття наведеної залежності за основу, виникає суттєва проблема, що стосується складу бетонної матриці. Для зближення фібр до відстані 1-2 мм необхідно застосувати особливо дрібнозернистий бетон, частки якого повинні дозволяти запроєктоване зближення фібр з метою отримання підвищених показників міцності та одночасно встановити показник, відносно

якого вираховувати  $K_p$ . З метою визначення показника  $K_p$ . при малих діаметрах фібр виконана перевірка міцності КМ на розтяг ( $R_{bt}$ ) і визначено показник  $K_p$ , що наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Міцність на розтяг  $R_{bt}$  зразків сталевібробетону з фібрами різного діаметра

d, мм	п ш т	Відстань між фібрами, мм	$R_{bt}$ , МПа	$K_p$ .
6	2	3 – 4	19,0	1
3	7	2,5 – 3	22,3	1,16
1	60	3 – 3,5	24,9	1,31
0,5	120	2,5 – 3	30,6	1,57
0,2	300	1,2-1,44	39,9	2,1

**Мета дослідження.** Визначення міцностних показників сталевібробетону при використанні фібр малих діаметрів (до 0,2 мм включно) і розробка складу бетонної матриці з використанням особливо дрібнозернистих заповнювачів.

**Основний розділ.** Для визначення сили зчеплення між бетонною матрицею та сталевібробетону підкладкою (дотичного напруження  $\tau$ ) були виготовлені зразки різного складу. Оскільки відомо, що структура сталевібробетону буде міцною при умові розподілу сталевих фібр достатньо близько між собою, то забезпечення цієї умови можливо при застосуванні матриці достатньо дрібнозернистого складу. Тому для експериментальних бетонних зразків було застосовано дрібнозернистий бетон складу Ц:3 = 1:3 Пісок достатньо мілкий, його пористість досягає значення  $P = 40\%$ . З метою зниження пористості бетону для підвищення щільності до складу піску додатково введений мікронаповнювач – дрібнозернисті відходи металургійної промисловості Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, з розміром часток (мм) від 0,03 (72%) до 0,06 (15%). Кількість додатку до піску дрібнозернистих відходів металургійної промисловості визначали шляхом випробування ваги суміші заповнювача, якими заповнювали форму 40×40×160 мм. Для гомогенізації [9] дрібнозернистої суміші після введення додатку суміш пропускали через лабораторний дезінтегратор ІА19. Так як в попередніх експериментах [7] визначено, що в дрібнозернистому

бетоні при додаванні фібри та залізного порошку[10] зручноукладальність суміші знижується до рівня  $O.K. = 0$ , тобто для збереження постійної  $O.K. = 2 - 3$  см необхідно або збільшити В/Ц з 0,45 до В/Ц = 0,5, або навіть де В/Ц = 0,6. Для збереження прийнятого В/Ц = 0,45 запропоновано використати суперпластифікатор «RELAXOL – SUPERPK» та «С-3», які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-65-97 та європейським нормам EN 934-2. Показники щільності заповнювача наведені в таблиці 2, в якій доданий особливо дрібнозернистий додаток Полтавського гірничо-збагачувального комбінату.

Таблиця 2 - Щільність дрібнозернистого заповнювача

№	Кількість піску $M_k=1,2$	Кількість дрібнозернистого додатку		Комплексний заповнювач	
		г	%	вага, г	щільність $г/см^3$
1	384	-	-	396,8	1,55
2	364,8	19,2	5	409,6	1,60
3	345,6	38,4	10	448,0	1,75
4	326,1	57,9	15	445,4	1,74
5	304,2	79,8	20	442,9	1,73

Аналіз показників щільності суміші різних фракцій довів, що достатнім, по кількості, додатком особливо дрібнозернистого наповнювача є показник 10% за вагою.

Таблиця 3 - Дотичне напруження  $\tau$  на контакті «цементний камінь – сталеві пластини»

№	Ц, $кг/м^3$	Заповнювач пісок + одз, $кг/м^3$	Вода, $л/м^3$	Додатки, %	Площа сталі (S), $см^2$	Зсуваюча сила (P), кг	Дотичне напруження( $\tau$ ), МПа	$K_{\tau}$
1	400	1500	180	-	98	188,1	1,92	1,0
2	400	1500	220	Сталева фібра (10)	98	227,4	2,32	1,21
3	400	1500	180	С-3 (1)	98	190,1	1,94	1,01
4	400	1500	180	Relaxol – SuperPK (0,9)	98	225,8	2,61	1,36
5	400	1500	180	Сталева фібра (10), Relaxol – SuperPK (0,9)	98	436,1	4,45	2,31

З метою визначення впливу технологічних факторів на показник сили зчеплення дрібнозернистого бетону зі сталеву поверхнею виконано випробування за допомогою пристрою показаного на рис. 3, сили зсуву бетонного зразка – куба 50 мм різних складів.

Оскільки при введенні сталеві фібри  $d = 0,2$  мм суміш стає жорсткішою, для збереження показника  $O.K. = 2 - 4$  см було введено додаткову кількість води (В/Ц до 0,6) – склад № 2. Для збереження В/Ц = 0,45 в склад бетонної суміші ввели суперпластифікатори (склади №№ 3, 4).

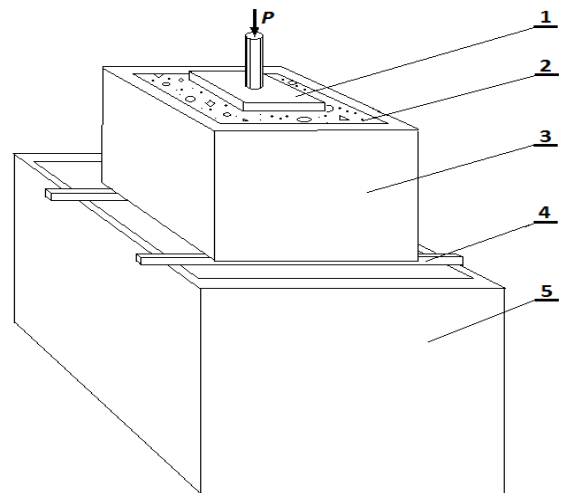


Рис. 3. Схема визначення значення дотичної сили  $\tau$  між сталеву поверхнею та дрібнозернистим бетоном; 1 – пуансон 40x40 мм, 2 – зразок бетону 50x50x50 мм, 3 – форма для зразка, 4 – прокладка, 5 – порожня форма (100 мм)

**Результати досліджень.** Аналіз випробувань, наведених в таблиці дозволяє зробити такі висновки:

За еталон, відносно якого вираховується коефіцієнт підсилення  $K_p$  прийнятий склад № 1 і дотичне напруження  $\tau = 1,92$  МПа, застосування суперпластифікатора «С-3» дає незначний ефект ( $K_p = 1,01$ ), в той же час «Relaxol – SuperPK» дозволяє значно підвищити  $K_p$  найбільше значущий ефект досягнутий з застосуванням фібри в комплексі з пластифікатором «Relaxol – SuperPK»,  $K_p = 2,31$ .

#### **Висновки**

1. Зближення фібр забезпечує підвищення міцності на розтяг сталевібробетону.

2. Для заповнення простору між фібрами необхідний особливо дрібнозернистий бетон.

3. Для бетону на місцевому піску необхідна дисперсність заповнювача досягається введенням особливо дрібнозернистих відходів металургійної промисловості.

4. Необхідна рухливість суміші (О.К. = 2 - 4 см) досягається застосуванням суперпластифікатора «Relaxol – SuperPK» близько 1%.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Endginton J., Hannant D. J., Williams R. I. T. «Steel fiber reinforced concrete» Current paper CP 69/74 Building research establishment Garston Watford 1974.
2. Johnston C. D., «Steel fiber reinforced mortar and concrete», A review of mechanical properties. In fiber reinforced concrete ACI – SP 44 – Detroit 1974.
3. Магдеев У.Х. Трещинообразование дисперсно-армированных бетонов с позиций механики разрушения. У. Х. Магдеев, В. И. Морозов, Ю. В. Пухаренко. Известия КГАСУ, 2012, № 1, - С. 110 - 117
4. Вандоловський С.С. Особливості структури сталевібробетону та її удосконалення / С. С. Вандоловський // Науковий вісник будівництва. – 2018. – том 91. - № 1. - С. 253-257.
5. Плуґін А.Н. Основи теорії тверднення, міцності, руйнування і довговічності портландцементу, бетону і конструкцій із них. Плуґін А.А, Трикоз Л.В, Кагановський О.С.Плуґін О.А. // Київ, 2011. - т. 1, т. 2, т.3

6. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкция: монография / Ф.Н. Рабинович. - М.: изд-во АСВ, 2004 – 560 с.
7. Костюк Т. А. Влияние на прочность мелкозернистого бетона технологии смешивания высокодисперсной составляющей. Т. А. Костюк, С. С. Вандоловский, И. Э. Казимагомедов, Е. Б. Деденева // ХНУСА. Материалы международной научно-практической конференции: Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения. – Харьков 28 – 29 октября 2015. – С. 163– 166.
8. Дистлер Г.И. Электрическая структура реальных поверхностей твердых и формирование граничных слоев с особыми свойствами, обеспечивающими передачу дальнедействующего влияния твердых тел. // Сборник докладов IV конференции по поверхностным силам. М., «Наука», 1972, с. 245– 261
9. Костюк Т. А. Совершенствование технологии гомогенизации бетонных смесей с мелкозернистыми наполнителями / Т. А. Костюк, Е. Б. Деденева, С. С. Вандоловский // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – Випуск № 60. – С. 149–153.
10. Вандоловський С.С. Повышение прочности сталевібробетонных материалов путем повышения площади взаимодействия цементного камня со стальными компонентами / С. С. Вандоловский, ЮнисБашир, Т. А. Костюк // Будівельні матеріали та вироб. – 2017. – № 1 – 2 (93). - С. 44 – 45.
11. Borziak O., Vandolovskyi S., Chajka V., Perestiuk V. and Romanenko O. Effect of microfillers on the concrete structure formation / O. Borziak, S. Vandolovskyi, V. Chajka, V. Perestiuk and O. Romanenko // МАТЕС Web of Conferences 116, 01001 (2017) Transbud – 2017. - P. 1 – 6
12. Крылов Б.А. и др./ Кн: Фибробетон и его применение в строительстве. М. НИИЖБ, 1979, с 4-12.

**Вандоловський С.С., Костюк Т. А., Плахотникова И.А. ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ БЕТОННОЙ МАТРИЦЫ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА.** Рассмотрены прочностные показатели композиционного материала на основе бетонной матрицы, в которую

введены стальные фибры. Определено повышение прочности за счет уменьшения расстояния между стальными фибрами, что вызывает необходимость использования особо мелкозернистого бетона путем введения особенно мелкозернистых отходов металлургической промышленности.

**Ключевые слова:** сталефибробетон, бетонная матрица, особенно мелкозернистый заполнитель, суперпластификатор.

**Vandolovskyi S.S., Kostuk T.O., Plakhotnikova I.A. PECULIARITIES DESIGNATION OF-STEEL-FIBER-CONCRETE MATRIX-STRUCTURE.** Strength indexes of a composite material on the basis of a concrete matrix in which steel fibers are introduced are considered. The increase of strength due to a decrease in the distance between steel fibers is determined, which necessitates the use of fine-grained waste from the metallurgical industry.

**Key words:** steel-fiber-concrete, concrete matrix, finely grained aggregate, super-plasticizer.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-207-214

УДК 677.522

**Гоц В.І., Пальчик П.П., Амеліна Н.О., Бердник О.Ю.**

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

*(Повітрофлотський пр-т, 31, Київ, 03680, Україна; e-mail: [kseniareznik87@gmail.com](mailto:kseniareznik87@gmail.com))*

## **РОЗРОБКА НАУКОВИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ СТВОРЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНИХ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН З ЗАДАНОЮ ТЕКСТУРНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ**

Застосування високоефективних матеріалів, стійких до дії кислих і лужних середовищ, дало можливість використання неперервних базальтових волокон для фільтрації агресивних гарячих газів і армування високотемпературних композиційних матеріалів на основі неорганічних в'язучих систем. Висока хімічна стійкість по відношенню до різних агресивних середовищ – одне з найбільш цікавих властивостей силікатних стекел. Складність процесу руйнування скла в агресивних рідинах, розрізняють два основних види явищ – розчинення і вилуговування. Для вирішення питань стійкості скляних і базальтових волокон в агресивному середовищі, було проведено численні дослідження по вилуговуванню в лугах різної хімічної природи.

**Ключові слова:** базальтове волокно, Е-скло, вилуговування, стабілізація, агресивні рідини.

**Вступ.** Однією з важливих умов, що визначає можливість застосування неперервних базальтових волокон для фільтрації агресивних гарячих газів і армування високотемпературних композиційних матеріалів на основі неорганічних в'язучих систем, є їх стійкість до дії кислих і лужних середовищ. Висока хімічна стійкість по відношенню до різних агресивних середовищ – одне з найбільш цікавих властивостей силікатних стекел. Діапазон склоподібних систем, і їх хімічна стійкість може відрізнятися на декілька порядків – від гранично стійкого кварцового скла до розчинного (рідкого) скла. Складність процесу руйнування скла в агресивних рідинах, розрізняють два основних види явищ – розчинення і вилуговування.

**Матеріали і методи досліджень.** Матеріали для досліджень використовувалися

базальтове і скляне волокно, розчини лугів і кислот

**Результати дослідження.** Процес вилуговування характеризує механізм взаємодії скла з водою і кислотами, виключаючи плавикову. При вилуговуванні в розчин переходять переважно обрані компоненти – головним чином, окиси лужних і лужноземельних елементів, в результаті чого на поверхні утворюється захисна кремнеземиста плівка («плівка Міліуса-Гребенщикова») і процес швидко уповільнюється у часі.

Перехід від вилуговування до розчинення можливий і при взаємодії скла з водою або з HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> і т.д. в тому випадку, якщо скло надмірно збагачено лугами і вміщує мало кремнезему [1, 2].

Базальтові волокна, на відміну від скляних волокон мають високу схильність