

© Г.П. Іванова<sup>1</sup>, К.С. Жабчик<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛІЗОВАНИХ ОКАТКІВ В ЯКОСТІ ЗАПОВНЮВАЧА ДЛЯ ВАЖКИХ БЕТОНІВ

© Н. Ivanova<sup>1</sup>, К. Zhabchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## PROSPECTS OF USING METALLIZED PELLETS AS AGGREGATES FOR HEAVY CONCRETES

**Мета.** Аналіз можливостей застосування різного типу металізованих окатків у якості великого заповнювача для виробництва важкого бетону, зокрема для захисту від радіації.

**Методика.** Проаналізовані існуючі технології ошматкування, які представлені брикетуванням, огрудкуванням (отриманням окатків) і високотемпературними процесами. Технологія виробництва окатків (найбільш раціональна безвипальна) дозволяє отримувати фракціонований матеріал кулястої форми з дрібнодисперсних матеріалів, що містять у своєму складі залізо (приблизно на 60 – 68%). Заміна частини великого заповнювача металізованими окатками підвищить міцність та густину (щільність), яка пропорційна його здатності поглинати  $\gamma$ -випромінювання. У якості зразків було взято бетонні куби розміром 10×10×10 см, виготовлені згідно з ДСТУ Б В.2.7–114–2002, із витримкою для набуття ними марочної міцності протягом 28 діб.

**Результати.** Для проведення експерименту були виготовлені 2 партії бетонної суміші. Для приготування замісу була відважена за допомогою електронних вагів необхідна на випробування кількість цементу марки М400, піску і крупного заповнювача (для першої партії – щебінь, для другої партії – щебінь з окатками). Коефіцієнт запасу суміші становив 20 %, фракція щебеню 20-40 мм, також використовувалися окатки ВАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат (Ferrexpo Poltava Mining)» середнім діаметром - 15 мм.

**Наукова новизна.** Запропоновано замінити частину великого заповнювача металізованими окатками, що надало так звану "рівномірну неоднорідність" бетонної суміші, збільшило густину (щільність), яка пропорційна здатності бетону поглинати  $\gamma$ -випромінювання, і в результаті поліпшило міцнісні властивості виготовлених з неї бетонних зразків-кубів.

**Практична значимість.** Встановлено, що заміна частини великого заповнювача окатками підвищує міцність затверділого бетону на 36 %, досить високий вміст заліза (65 %) в окатках дозволяє розглянути перспективу їх використання в бетонах для захисту від радіації при будівництві конструктивних елементів стратегічних об'єктів. Використання окатків, отриманих з відходів (шламів і шлаків) дасть можливість розширити не тільки номенклатуру будівельних матеріалів, а й галузі їх використання, знизити навантаження на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** металізовані окатки, бетони для захисту від радіації, шлаки, шлами, техногенні відходи, технології ошматкування, зразки, міцність, щільність.

**Вступ.** В Україні накопичено понад 160 млн. т. металургійних шлаків, 54,5% від їх обсягу розміщується у відвалах і розглядаються як промислові відходи. Найбільшим є вихід доменних шлаків, на 1 т чавуну він становить 0,6 - 0,7 т. При виплавці сталі вихід шлаків на 1 т значно менше, а саме:

- при мартенівському способі 0,2 - 0,3 т,

- при бесімерівському і томасівському 0,1 - 0,2 т;
- при виплавці сталі в електропечах 0,1 - 0,04 т [1].

В Україні вторинній переробці піддаються менше половини від загальної кількості відходів, решта складається на полігонах, погіршуючи екологічний стан промислово розвинених регіонів [2]. Велика частина цих відходів представлена дрібнодисперсними компонентами, які можуть бути використані при виробництві окатків.

Окатки – рудний матеріал, який одержують із пилоподібної руди або з дрібних концентратів у вигляді сферичних частинок розміром від 0,3 до 3 сантиметрів (як правило, 1 – 1,5 см).

Існуючі технології ошматкування представлені брикетуванням, огрудкуванням (отриманням окатків) і високотемпературними процесами (спікання або отримання шматків з розплаву) [3].

Брикетування має ряд переваг, до числа яких відносяться простота реалізації та низькі енерговитрати. У той же час, технології брикетування чутливі до властивостей вихідної сировини (гранулометричний склад, вологість та ін.) і властивостями зв'язуючих речовин. Використання екструзії нівелює ці недоліки і на сьогоднішній день претендує на широкомасштабну заміну існуючих процесів огрудкування. Високотемпературні процеси вимагають значних витрат енергії (за рахунок палива або електрики) і їх реалізації ефективна при наявності розплавів як побічних продуктів виробництва (наприклад, рідкі шлаки доменних печей) [4, 5].

Для огрудкування найбільш раціонально застосовувати технологію отримання безвипальних окатків (матеріал, зміцнений без застосування високотемпературного випалу) з використанням цементу в якості сполучної речовини [3]. Вибір цементу дозволяє виключити високотемпературний випал, а відповідно і подорожчання продукції за рахунок термообробки гранул, а також тому, що його використання не погіршує хімічний склад розплаву (несуттєво знижує модуль кислотності, на відміну, наприклад, від вапна). Також слід зазначити, що ця технологія дозволить знизити навантаження на навколишнє середовище і забезпечити рекультивацію площ, зайнятих полігонами твердих відходів.

Окрім скорочення техногенних відходів в Україні стоїть проблема розробки ефективних радіаційно захисних матеріалів [6, 7]. Саме важкий бетон є одним з ефективних матеріалів, які використовують для зменшення товщини захисних екранів при зведенні атомних електростанцій і підприємств з виробництва ізотопів.

**Постановка завдання.** Технологія виробництва окатків дозволяє отримувати фракціонований матеріал кулястої форми з дрібнодисперсних матеріалів, що містять в своєму складі залізо. До теперішнього часу ця технологія найчастіше використовується при виробництві залізородних окатків для чорної металургії [3]. Металізований окаток складається з заліза приблизно на 60 – 68%. Застосування окатків, отриманих з дрібнодисперсних відходів (шламів і шлаків), та окатків, які є безпосередньої продукцією гірничо-збагачувальних підприємств,

дозволить розширити спектр будівельних матеріалів і перевести відходи в ресурси або отримати матеріали з удосконаленими властивостями (щодо радіаційного захисту, зокрема), що є актуальним завданням для промислових регіонів України [2].

З усіх радіоактивних випромінювань найбільшою проникаючою здатністю володіють  $\gamma$ -випромінювання і нейтрони. Здатність матеріалу поглинати  $\gamma$ -випромінювання пропорційна його густині (щільності). Саме тому максимально висока густина (щільність) – головна особливість бетонів для захисту від радіації, яка досягається використанням у ролі великого заповнювача металевих руд або металевого скрапу.

Металізовані окатки - це високоміцний матеріал, мало схильний до руйнування, тому метою роботи є аналіз можливостей їх застосування у виробництві бетону, здатного поглинати радіаційне випромінювання.

**Основна частина.** Багато з вимог до матеріалу для радіаційного захисту - суперечливі. У природі немає матеріалів, що задовольняють відразу всім вимогам. Застосовуючи у якості захисту від радіації матеріал з високою щільністю, важко забезпечити високий вміст в ньому легких елементів, особливо водню, а використання водневмісних матеріалів не забезпечує ефективного ослаблення потоків  $\gamma$ -квантів і т. д. Однак в значній мірі всім вимогам задовольняють бетони, особливо, якщо ретельно і обґрунтовано обрано їх склад.

Саме бетон - найбільш широко використовуваний будівельний матеріал. Великий заповнювач визначає його міцність. В якості великого заповнювача в особливо важкому бетоні, який застосовують для захисту від радіації використовують барит, лімоніт, металевий скрап. Щільність бетону на металевому заповнювачі досягає  $6000 \text{ кг/м}^3$ .

В рамках реалізації мініпроєкту «CoMMPell: Concretes Manufactured using Metallized Pellets» як частини проєкту RAISESEE («Raw Materials Students Internships in East South East Europe») за фінансування програми EIT Raw Materials були проведені дослідження властивостей бетону для захисту від радіації, виготовленого з додаванням металізованих окатків. Для випробувань використовувалися окатки ВАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат (Ferrexpo Poltava Mining)». Саме окатки є кінцевою продукцією цього підприємства, це високоякісна сировина для доменного виробництва, для виплавки шматків високоякісної сталі, збагачення руд залізом та при виробництві бетону.

Потрібно забезпечити суворі фізико-механічні характеристики міцності окатків. Ці властивості досягаються у процесі огрудкування та випалу чавуну і рудного концентрату. З 2002 року вперше в чорній металургії України та країн СНД на Полтавському ГЗК було впроваджено технологію флотаційного доведення концентрату, що дозволяє виробляти високоякісні окатки з вмістом заліза 65%, з пониженим вмістом кремнезему та інших домішок [8].

В ході досліджень були виготовлені 2 партії бетонної суміші. Для їх приготування використовувався цемент марки М400, опалубка на 4 кубики розміром  $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ . Коефіцієнт запасу суміші становив 20 %, фракція щебеню 20 - 40

мм. Також для випробувань використовувалися окатки ВАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат», середній діаметр яких становив 15 мм. Перед використанням окатків було виміряне їх радіаційне випромінення, яке було в межах норми (рис. 1).



Рис. 1. Окатки ВАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат»

Для приготування замісу була відважена за допомогою електронних ваг необхідна на випробування кількість цементу, піску і крупного заповнювача (для першої партії – щебінь, для другої партії – щебінь з окатками) з похибкою не більше ніж 0,1 %. Пісок і цемент були висипані у коритоподібну ємність і перемішувались лопатою до однорідного стану.

Потім додавався крупний заповнювач і суміш знов перемішувалась. Далі в середині сухої суміші було зроблене заглиблення, куди влили половину відміряної кількості води й обережно перемішали.

Після цього влили рештки води та знову, вже енергійно, перемішали. Загальна тривалість перемішування при об'ємі замісу до 30 л – близько 5 хв.

Бетонною сумішшю з пробного замісу заповнили форму з 4-х кубиків, та вібрували протягом 15 секунд на вібростолі. Форма після вібрування виявилась не заповненою (саме для цього був зроблений 20 % запас), у неї додавалась суміш й вібрувалась знову.

Потім форми, накривши вологою тканиною, зберігались 24 години в приміщенні з температурою  $(20 + 2)$  °С. Через 24 години зразки дістали з форми й зберігали у спеціальній ємності при вологості 95% 28 діб. Після цього кубики були готові для проведення експерименту [9, 10].

Склад 2 – х партій бетонної суміші представлений в таблиці 1.

Таблиця 1

Кількісні складові 2-х партій бетонної суміші

Складові бетонної суміші	1 партія	2 партія
цемент	1,4 кг	1,4 кг
пісок	3,9 кг	3,9 кг
щебінь	6,7 кг	4,5 кг
окатки	-	2,2 кг
вода	0,84 кг	0,84 кг

Після набору марочної міцності у віці 28 діб зразки з 2 – х партій були випробувані на стиск на пресі Testotest (рис. 2).

а)



б)



Рис. 2. Прес випробувальний Testotest KL-200 / R (а) зі зразком (б)

Результати випробувань на стиск представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати випробувань на стиск

Середня міцність на стиск за результатами 4-х випробувань	
1 партія	2 партія
184,7 кг/см <sup>2</sup>	251,2 кг/см <sup>2</sup>

Використання окатків підвищило міцність бетону на 36%, а відповідно і його густину (щільність), яка пропорційна його здатності поглинати  $\gamma$ -випромінювання.

**Висновок.** Заміна частини великого заповнювача металізованими окатками надала так звану "рівномірну неоднорідність" бетонній суміші і в результаті поліпшились міцнісні властивості виготовлених з неї бетонних зразків-кубів.

Результати досліджень демонструють, що міцність затверділого бетону підвищилась на 36 %. Досить високий вміст заліза (65 %) в окатках дозволяє розглянути перспективу їх використання в бетонах для захисту від радіації при будівництві конструктивних елементів стратегічних об'єктів.

Крім того слід зазначити, хоча окатки виготовляють з дуже дрібних, майже пилоподібних частинок, готовий продукт відрізняється високою міцністю, практично не руйнується, не токсичний, не горючий і не вибухонебезпечний. Матеріал не боїться впливу зовнішнього середовища, тому може довгий час зберігатися під відкритим небом.

Також використання окатків, отриманих з відходів (шламів і шлаків) дасть можливість розширити не тільки номенклатуру будівельних матеріалів, а й галузі їх використання, відходи перевести в ресурси, знизити навантаження на навколишнє середовище і забезпечити рекультивацію площ, зайнятих полігонами твердих відходів, а саме це і є проблемою промислових регіонів.

Перелік посилань

1. Материалы из отходов металлургии. (2013, December 11). *Политехнический журнал Metal Journal*. <https://www.metaljournal.com.ua/materials-from-metallurgical-wastes/>
2. Иванова, А.П., & Труфанова О.И. (2014). Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту «Наука та прогрес транспорту»*, 5(53), 150-156.
3. Берсенев, И.С., Берсенев Е.С., Колясников А.Ю., & Лопатин А.С. (2018). Производство окатышей как способ утилизации техногенных отходов. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*, 1(3), 37-41.
4. Бижанов А. М. (2017). *Обоснование выбора технологии производства и исследование металлургических свойств брикетов с целью повышения эффективности их использования в экстрактивных процессах черной металлургии*. (Дисс. канд. техн. наук). Москва: МИСиС.
5. Корчевский, А.Н., Назимко, Е.И., Самойлик, В.Г., Серафимова, Л.И., Звягинцева, Н.А., Симоненко, В.И., & Холодов, К.А. (2019). *Окускование минерального сырья и продуктов его переработки. Монография*. Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ».
6. Христич, О.В. (2001). *Бетон електротехнічний металонасичений для захисту від іонізуючих випромінювань*. (Автореф. дис. канд. техн. наук). Київ: Нац. ун-т буд-ва і архіт.

7. Иванова, А.П., Барсукова, С.О., Халимендик, А.В., & Чумак, А.Н. (2019) Анализ и перспективы исследований влияния СВЧ – излучения на строительные растворы и бетоны. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. Академіка В. Лазаряна «Наука та прогрес транспорту»*, 3 (81), 121-129. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt\\_2019\\_3\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2019_3_12)
8. Ferrexpo Poltava Mining. Історія. (2021). Офіційний сайт Полтавського ГЗК. <https://www.ferrexpo.ua/>.
9. *Бетони важкі. Технічні умови.* (1997). ДСТУ Б В.2.7-43-9, чинний від 01.01.1997. Київ: Держкоммістобудування України.
10. *Суміші бетонні. Методи випробувань.* (2002). ДСТУ Б В.2.7-114-2002, чинний від 31.01.2002 р. Київ: Держбуд України.

### АННОТАЦІЯ

**Цель.** Анализ возможностей применения разного типа металлизированных окатышей в качестве крупного заполнителя для производства тяжелого бетона, в частности для защиты от радиации.

**Методика.** Проанализированы существующие технологии окускования, которые представлены брикетированием, окомкованием (получением окатышей) и высокотемпературными процессами. Технология производства окатышей (наиболее рациональная безобжиговая) позволяет получить фракционированный материал шаровидной формы из мелкодисперсных материалов, содержащих в своем составе железо (примерно на 60 – 68%). Замена части крупного заполнителя металлизированными окатышами повысит прочность и плотность (плотность) бетона, которая пропорциональна его способности поглощать  $\gamma$ -излучение. В качестве образцов были взяты бетонные кубы размером 10×10×10 см, изготовленные согласно ДСТУ Б В.2.7–114 –2002, с выдержкой для приобретения ими марочной прочности в течение 28 суток.

**Результаты.** Для проведения эксперимента были изготовлены 2 партии бетонной смеси. Для приготовления замеса было отвешено с помощью электронных весов необходимое для испытания количество цемента марки М400, песка и крупного заполнителя (для первой партии – щебень, для второй партии – щебень с окатышами). Коэффициент запаса смеси составил 20%, фракция щебня 20-40 мм, также использовались окатыши ОАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат (Ferrexpo Poltava Mining)» средним диаметром – 15 мм.

**Научная новизна.** Предложено заменить часть крупного заполнителя металлизированными окатышами, что придало так называемую "равномерную неоднородность" бетонной смеси, увеличило плотность, которая пропорциональна способности бетона поглощать  $\gamma$ -излучение, и в результате улучшило прочностные свойства изготовленных из нее бетонных образцов.

**Практическая значимость.** Установлено, что замена части крупного заполнителя окатышами повышает прочность затвердевшего бетона на 36%, достаточно высокое содержание железа (65%) в окатышах позволяет рассмотреть перспективу их использования в бетонах для защиты от радиации при строительстве конструктивных элементов стратегических объектов. Использование окатышей, полученных из отходов (шламов и шлаков), позволит расширить не только номенклатуру строительных материалов, но и области их использования, снизить нагрузку на окружающую среду.

**Ключевые слова:** металлизированные окатыши, бетоны для радиационной защиты, шлаки, шламы, техногенные отходы, технологии окускования, образцы, прочность, плотность

### ABSTRACT

**Purpose.** Analyzing possibilities of using various types metallized pellets as a large aggregate for the heavy concrete production for radiation protection particularly.

**The methods.** The existing agglomeration technologies are analyzed. They are following: briquetting, pelletizing and high-temperature processes. The pellets production technology (the most rational non-firing) allows to obtain a fractionated spherical material from finely dispersed materials containing iron (about 60 - 68%). Replacing part of the coarse aggregate using metallized pellets will increase the strength and density of concrete, which is proportional to its ability to absorb  $\gamma$ -radiation. Samples are concrete cubes (size of  $10 \times 10 \times 10$  cm), made according to ДСТУ Б В.2.7-114-2002 and exposed during 28 days to acquire a grade strength.

**Findings.** For the experiment 2 batches of concrete mixture were made. For preparing the batch, the required amount of M400 cement, sand and coarse aggregate for testing was weighed using an electronic balance. Crushed stone was used as coarse aggregate for the first batch, and for the second batch crushed stone and pellets were used. The mixture's reserve ratio was 20%, the fraction of crushed stone was 20-40 mm, pellets of "Poltava Mining and Processing Plant (Ferrexpo Poltava Mining)" with an average diameter of 15 mm were also used.

**The originality.** It is proposed to replace part of the coarse aggregate using metallized pellets, which gave the so-called "uniform heterogeneity" of the concrete mixture, increased the density, which is proportional to the concrete ability to absorb  $\gamma$ -radiation, and improved the strength properties of concrete samples as a result.

**Practical significance.** It was found that replacing a part of the coarse aggregate using pellets increases the strength of hardened concrete by 36%, and a sufficiently high pellets' Ferum content (65%) allows us to consider the prospect of their use for radiation protection concrete the construction of structural elements of strategic facilities. Using pellets obtained from waste (sludge and slag) will expand not only the range of building materials, but also the areas of their use, and reduce the burden on the environment.

**Keywords:** *metallized pellets, concretes for radiation protection, slags, sludge, industrial waste, agglomeration technologies, samples, strength, density.*