

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ З ВРАХУВАННЯМ ЇХ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ

Чайка Е.О., Борщ Е.Р., студенти гр. ПЦБ-366

*Наукові керівники – Марченко М.В., к.т.н., доцент, Мосічева І.І., к.т.н.
(кафедра Основ і фундаментів, Одеська державна академія будівництва та
архітектури)*

Анотація. Виконано комплекс експериментальних фізико-механічних лабораторних досліджень металургійних шлаків, у тому числі з використанням спеціально сконструйованих великогабаритних компресійних приладів. Наведено гранулометричний склад, дані випробувань та нормативні значення модуля деформації залежно від відносної щільності шлаків. Практичне застосування відходів металургійних комбінатів як оптимального структурно-композитного матеріалу для основ при утворенні штучних територій обґрунтовано багаторічними випробуваннями в лабораторних та натурних умовах під безпосереднім науковим керівництвом д.т.н., професора Школа О.В. [1].

Ціль роботи. Розглянуто два види металургійних шлаків (МШ), що відрізняються технологічними нюансами виробництва, – негранульовані (МШНГ) та гранульовані (МШГ). Дослідження виконані з метою оцінки їх деформативних властивостей для практичного застосування при влаштуванні штучних основ.

Методика досліджень. Послідовність досліджень полягала у визначенні величини гранулометричного складу шлаків, ступеня їх ущільнення при варіюванні щільностей складання від пухкого стану до максимально щільного. Усі випробування проводилися з триразовою повторюваністю.

Неоднорідність гранулометричного складу шлаків і, особливо, його великі фракції унеможливають коректні лабораторні випробування на стандартних компресійних приладах через малі розміри приймальних пристроїв. Тому було вирішено виготовити та використовувати для випробувань спеціальну установку з двома великогабаритними компресійними приладами з можливістю проведення паралельних випробувань двох зразків-близнюків.

Для вибору оптимального співвідношення між розмірами великих включень та розмірами (діаметром та висотою) компресійної камери, була виконана методична серія випробувань з різною площею зразків – 250, 500, 1000 та 1200 см². За технологічними результатами цих випробувань було обрано оптимальні розміри як компресійної камери, так і випробуваних зразків: діаметром 357 мм, висотою 100 мм і площею 1000 см².

Конструктивна схема дослідної установки включає зварну станину з двома товстостінними камерами циліндричної форми з нержавіючої сталі, а також верхніми та нижніми перфорованими штампами. Силовий пристрій складається з двох векторних важелів, рам, систем нерухомих та рухомих блоків-тросів та підвісок для вантажів. Передатне відношення (число) вантажного пристрою становить 1:35.

Вертикальне навантаження, що передається на зразок шлаку через верхній штамп, контролювалося повіреними силовими динамометрами на зусилля стиснення 3,0 і 5,0 тс з точністю, відповідно, 0,05 і 0,01 кг/см². Вертикальні деформації (осідання) штампів вимірювалися повіреними індикаторами часового типу з точністю 0,01 мм. Загальні габарити установки становили: довжина – 270 см, висота – 250 см, ширина – 60 см, вага 450 кг.

Результати досліджень. Програма досліджень передбачала виконання чотирьох серій випробувань обох видів шлаків як у повітряно-сухому, так і у водонасиченому станах. Кожна серія включала три парні випробування зразків-близнюків при трьох значеннях щільності складання $D_o = 0; 0,5$ та $1,0$. Режим випробувань повністю відповідав вимогам ДСТУ [2].

У табл. 1 та 2 наведено часні ε_{pi} та середні ε_p значення відносних деформацій ε_i при різних D і p в інтервалі вертикальних ущільнюючих навантажень 0,5-4,0 кг/см² на зразки шлаків із заданою щільністю складання.

Таблиця 1 – Основні результати випробувань стисливості зразків-близнюків МШГ штампами площею 1000 см²

p , кг/см ²	D_o	Повітряно - сухий стан			Водонасичений стан		
		ε_{p1}	ε_{p2}	ε_p	ε_{p1}	ε_{p2}	ε_p
0,5	0	0,040	0,041	0,040	0,046	0,062	0,054
	0,5	0,020	0,016	0,018	0,020	0,024	0,022
	1,0	0,010	0,010	0,010	0,012	0,012	0,012
1,0	0	0,055	0,052	0,053	0,060	0,080	0,070
	0,5	0,030	0,026	0,028	0,030	0,032	0,031
	1,0	0,014	0,016	0,015	0,016	0,018	0,017
2,0	0	0,072	0,063	0,070	0,082	0,105	0,093
	0,5	0,046	0,046	0,046	0,042	0,046	0,044
	1,0	0,022	0,024	0,023	0,028	0,028	0,028
4,0	0	0,091	0,090	0,090	0,111	0,130	0,120
	0,5	0,070	0,060	0,065	0,064	0,072	0,068
	1,0	0,032	0,036	0,034	0,033	0,046	0,040

Таблиця 2 – Основні результати випробувань стисливості зразків-близнюків МШНГ штампами площею 1000 см²

p , кг/см ²	D_o	Повітряно - сухий стан			Водонасичений стан		
		ε_{p1}	ε_{p2}	ε_p	ε_{p1}	ε_{p2}	ε_p
0,5	0	0,009	0,011	0,010	0,016	0,020	0,018
	0,5	0,006	0,010	0,008	0,011	0,009	0,010
	1,0	0,003	0,001	0,002	0,006	0,008	0,007
1,0	0	0,018	0,022	0,020	0,028	0,032	0,030
	0,5	0,012	0,020	0,016	0,019	0,015	0,017
	1,0	0,004	0,006	0,005	0,014	0,010	0,012
2,0	0	0,032	0,036	0,034	0,047	0,049	0,048
	0,5	0,027	0,029	0,028	0,028	0,026	0,027
	1,0	0,009	0,011	0,010	0,020	0,016	0,018
4,0	0	0,049	0,055	0,052	0,082	0,078	0,080
	0,5	0,044	0,046	0,045	0,047	0,043	0,045
	1,0	0,018	0,020	0,019	0,032	0,028	0,030

В результаті числового аналізу досліджень та математичної обробки отриманих даних виявлено таку функціональну залежність між відносними деформаціями та навантаженням на зразки шлаків

$$\varepsilon_p = \varepsilon_p(D_o = 0) \cdot p^m = A \cdot p^m,$$

де A і m – параметри, значення яких наведені у табл. 3.

У табл. 4 наведено нормативні значення модуля деформації шлаків, отримані результатами випробувань.

Таблиця 3 – Значення параметрів залежності відносних деформацій від нормального компресійного тиску

D_o	ШМГ				ШМНГ			
	Повітряно-сухий стан		Водонасичений стан		Повітряно-сухий стан		Водонасичений стан	
	A	m	A	m	A	m	A	m
0	0,053	0,395	0,070	0,40	0,020	0,69	0,030	0,70
0,5	0,028	0,625	0,031	0,52	0,016	0,75	0,017	0,73
1,0	0,015	0,590	0,017	0,61	0,005	0,98	0,012	0,67

Таблиця 4 – Нормативні значення компресійного модуля деформації металургійних шлаків E_k , МПа

Шлак	Стан	Модуль загальної деформації E_k , МПа при коефіцієнті відносної щільності D_o , який дорівнює				
		0	0,25	0,50	0,75	1,00
ШМГ	Повітряно-сухий	6,0	7,0	8,5	10,0	12,0
	Водонасичений	4,5	5,5	6,5	8,0	10,0
ШМНГ	Повітряно-сухий	7,5	9,0	11,5	15,0	18,0
	Водонасичений	6,0	7,5	9,5	12,0	15,0

Висновки та результати. Значення модуля деформації шлаків, визначені за узагальненими даними досліджень у великогабаритних компресійних приладах як функції коефіцієнта щільності, дозволили зробити такі рекомендації:

1. У діапазоні щільностей від пухкого до максимально щільного стану модуль деформації для МШГ зростає зі значення 6,0/4,5 до 12,0/10,0 МПа, а для МШНГ – відповідно, з 7,5/6,0 до 18,0/15,0 МПа (сухі/водонасичені). Таким чином, значення щільності укладання шлаків, може бути чітким критерієм якості таких основ у деформативному відношенні.

2. Практичний досвід утилізації відходів металургійних виробництв (шлаків) [3] як оптимального структурно-комполітного матеріалу при створенні нових територій вантажних терміналів та засипок оторочок показав економічну ефективність як за технічними, так і ресурсними витратами.

3. Для інтенсифікації процесів ущільнення шлаків необхідно застосовувати обладнання та механізми, що ініціюють як глибинну, так і поверхневу вібраційну дію, та вести жорсткий поопераційний контроль ступеня щільності укладання при створенні таких основ.

Література:

1. Школа О.В., Мосічева І.І., Марченко М.В., Котляр А.С. Фізико-механічні показники металургійних шлаків як матеріалу для створення штучних територій морських терміналів і засипок оторочок. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво». Одеса: ОДАБА, 2021. С. 91-93.

2. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. К.: Мін. регіонального розвитку та будівництва України, 1997. 101 с.

3. Школа О.В., Марченко М.В., Мосічева І.І., Потапов А.А. Metallurgical slags as a structural soil environment of artificial territories of marine terminals. Матеріали одинадцятої міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». Чернігів, 2021. С. 98.