

ВИКОРИСТАННЯ ВІДВАЛЬНИХ ШЛАКІВ РІЗНИХ ВИРОБНИЦТВ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Белятинський А.О.

Національний авіаційний університет

Краюшкіна К.В.

Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна

Будівництво і, особливо, реконструкція та ремонти автомобільних доріг потребують розвитку промисловості виробництва кам'яних матеріалів. Зростає потребу в кам'яних матеріалах можна задовільнити за рахунок широкого використання відходів промисловості і вторинних ресурсів. Одним з найбільш відомих відходів, який з кожним роком знаходить все більше розповсюдження в дорожньому будівництві, є шлаки чорної і кольорової металургії.

У зв'язку із значним накопиченням великої кількості побічного матеріалу у вигляді шлаків і необхідністю їх утилізації виникла необхідність проведення робіт в напрямку визначення можливості використання цих шлаків у транспортному будівництві.

За своїми характеристиками (хімічний, мінералогічний склад, морозостійкість) шлаки є цінною сировиною для приготування щебених матеріалів та мінеральних в'язких, на основі яких виготовляють цементо- та асфальтобетонні суміші для влаштування дорожніх покриттів.

Заміна шлаком цементу, щебеню і мінерального порошку, на виробництво яких витрачається значна кількість матеріальних та енергетичних ресурсів, супроводжується різким зниженням витрат палива, електроенергії та трудових ресурсів. Взагалі, собівартість шлакових дорожньо-будівельних матеріалів в 2 рази нижче собівартості аналогічної продукції із природних гірських порід.

Таким чином, необхідність і актуальність використання шлаків в дорожній галузі, що характеризується значною матеріалоємністю, не викликає сумніву.

В минулому був розроблений проект державної програми з утилізації шлаків в дорожньому будівництві. Потім шлаки почали активно використовувати в інших галузях, і дорожники практично не отримували цей матеріал. Але зараз знов набула актуальності необхідність застосування шлаків при будівництві і ремонтах.

В останні роки в дорожньому будівництві все більше розповсюдження мають металургійні та фосфорні шлаки. Металургійні поділяються на шлаки чорної і кольорової металургії. Шлаки чорної металургії бувають доменні, сталеплавильні і феросплавні.

Головним фактором, що визначає властивості шлаку є його структура, яка залежить від хімічного складу шлаку і режиму охолодження.

В доменних шлаках кристалічна частина представлена більш як двадцятьма мінералами із густиною більш як 3 г/см^3 .

Електросталеплавильні шлаки мають щільну мікропорфірову структуру і складаються, в основному, із силікатів з додатками інших мінералів.

Шлаки кольорової металургії мають скловидну кристалічну структуру.

Фосфорні шлаки світло-сірого кольору. Шлакова маса повністю кристалізована.

В ДерждорНДІ проводились роботи з використання шлаків різних видів виробництв в дорожній галузі.

Встановлено можливість використання щебеню і піску із шлаків різних виробництв при приготуванні асфальто- і цементобетонних сумішей для улаштування основ дорожніх одягів, а для доріг нижчих категорій улаштування покриттів із шлакових матеріалів.

В даній роботі встановлено можливість використання електросталеплавильних шлаків відвальних для приготування асфальтобетонних сумішей.

Дослідження проводились по таких напрямках:

1. Вся мінеральна частина суміші була замінена на шлаковий матеріал, тобто щебінь фр. 5-15, висівки фр. 0-5, мінеральний порошок;
2. Щебінь і висівки із гранітного матеріалу, мінеральний порошок – шлаковий.

Дослідження проводились з асфальтобетоном тип «Б» як найбільш поширеним для улаштування верхнього шару покриття доріг I-II категорії.

Дослідження проводились за такою схемою:

- визначення фізико-механічних властивостей та хімічного складу електросталеплавильного шлаку, як щебеню, так і мінерального порошку.
- адгезії до бітуму;
- фізико-механічних властивостей асфальтобетону.

Експериментальні дослідження.

Таблиця 1 – Хімічний склад електросталеплавильного шлаку

Назва матеріалу	Хімічний склад, %							Модуль основності, M_o
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	S	
Електросталеплавильний шлак – щільний дрібно-зернистий сірого кольору	28,3	12,0	31,0	9,0	5,6	13,4	0,7	1,1

За даними хімічного складу розраховують модуль основності (M_o), модуль активності (M_a) та коефіцієнт якості (K), що характеризують гідравлічну активність шлаку.

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{31,0 + 9,0}{28,3 + 12,0} = 0,99\%;$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} = \frac{12,0}{28,3} = 0,42;$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2} = \frac{53,87}{28,3} = 1,9.$$

В залежності від коефіцієнту якості і вмісту сполук шлаки поділяються на три сорти згідно ГОСТ 3476.74.

Таблиця 2

Показники	Сорт		
	1	2	3
Коефіцієнт якості, не менше	1,65	1,45	1,2
Вміст Al ₂ O ₃ , не менше, %	8,0	7,0	Не нормується
MgO, не більше, %	15,0	15,0	15,0
TiO ₂ , не більше, %	4,0	4,0	4,0
MnO, не більше, %	2,0	4,0	4,0

Аналізуючи дані, наведені в табл. 2, можна зробити висновок, що для проведення досліджень прийнято електросталеплавильний шлак основний (SiO₂<52%, M₀>1) з поверхнею, яку мають гірські вивержені породи, і постійний хімічний склад. Продуктів розпаду, гранул металу та інших домішок не виявлено.

В цілому, за хімічним складом електросталеплавильний шлак близький до природних ефузивних кам'яних матеріалів типу базальту.

За коефіцієнтом якості відноситься до 1 сорту, окрім кількості MnO, що дещо збільшена.

Згідно ВБН В.2.3-218-189-2005 електросталеплавильний шлак, переданий для досліджень, являє собою щебеневу крупнозернисту суміш і основний матеріал, який може бути рекомендований для влаштування основи дорожніх одягів, укріплених неорганічними в'язними (цемент, вапно) та органічними в'язними (бітум).

При використанні електросталеплавильних шлаків, які характеризуються цементувальною здатністю, а при ущільненні і зволоженні водою після цементації утворюють монолітну водостійку основу, цемент та вапно виступають у ролі активаторів.

Фізико-механічні характеристики електросталеплавильного шлакового щебеню наведено в табл. 3. Для порівняння паралельно проводились дослідження гранітного щебеню Клесівського кар'єру.

Таблиця 3 – Фізико-механічні характеристики електросталеплавильного шлакового щебеню

Найменування показників	Щебінь шлаковий електросталеплавильний	Щебінь гранітний (Клесівський кар'єр)
Дійсна густина, г/см ³	3,45	4,2
Середня густина, г/см ³	3,84	4,35
Насипна густина, кг/м ³	1800,0	1850,0
Пористість, %	5,4	7,5
Водопоглинання, %	2,1	3,4
Марка за морозостійкістю	Висока F 150	Висока F 150
Марка за дробильністю	M 1200	M 1000
Твердість за десятибальною шкалою, бали	6-7	–

Кінець табл. 3

Найменування показників	Щебінь шлаковий електросталеплавильний	Щебінь гранітний (Клесівський кар'єр)
Марка за стиранистю	Висока СТ-1	Висока СТ-1
Міцність при стисканні у циліндрі, МПа	7,4	5,4
Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми	Кубовидна група, 12	Кубовидна група, 15
Вміст глини в грудках	–	–

Аналізуючі дані, наведені в табл. 3, можна стверджувати, що фізико-механічні характеристики (міцність, дробильність, водопоглинання) у шлакового щебеню вище, ніж у гранітного і відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-74-98, тобто цей матеріал може бути використаний для влаштування шарів покриття та основи дорожніх одягів.

Відомо, що шлаки металургійних заводів характеризуються в'язними властивостями, які визначаються за такими показниками:

- гідравлічною активністю – тобто міцністю при стиску зразків, виготовлених трембуванням суміші дробленого шлаку з водою;
- стійкістю проти розпаду у воді зразків шлакової суміші;
- набуханням шлакового (мінерального) порошку;
- строками тужавіння.

Було проведено визначення цих показників, і результати досліджень наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – В'язні властивості електросталеплавильного шлаку

Показники	Результати випробувань
Міцність при стиску, МПа	8,5
Стійкість проти розпаду, %	Сілікатного 0,9 Залізного 1,8
Набухання, %, не менше	58
Строки тужавіння, початок, хв.	14

Аналізуючи дані табл. 4, можна зробити висновок, що електросталеплавильний шлак має достатні в'язні властивості, що буде сприяти довговічності та збільшеній міцності конструктивних шарів дорожніх одягів з його застосуванням.

У зв'язку з тим, що шлаковий щебінь та шлаковий мінеральний порошок буде використовуватись для приготування асфальтобетонних сумішей, проводились дослідження адгезії до органічного в'язного – бітуму.

Результати досліджень наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Визначення якості зчеплення поверхні шлакового щебеню з бітумним в'язним – бітум марки БНД 90/130

Характеристика поверхні зерен шлаку	Маса зерна шлаку, г	Маса зерна шлаку, г		Характеристика плівки бітуму на поверхні щебеню		Оцінка якості зчеплення
		щебеню з плівкою в'язного	з плівкою в'язного після випробування	збереження плівки в'язного, % за масою	ступінь збереженості плівки в'язного	
Цілком склувата	104,20	106,50	106,00	48,5	Плівка в'язного понад 50 % збереглась на поверхні щебеню, причому товщина її місцями зменшена	Задовільно (три бали)
50 % поверхні склувата	56,3	58,2	57,9	49,5	Плівка в'язного понад 50 % збереглась на поверхні щебеню	Задовільно (три бали)
Шорстка, частково склувата	84,50	88,4	88,0	81,00	Плівка в'язного зберігалась на поверхні щебеню	Відмінно (п'ять балів)
Цілком шорстка	45,6	45,9	45,8	96,5	Плівка в'язного частково відокремилася від поверхні щебеню	Відмінно (п'ять балів)

За даними табл. 5 очевидно, що не на всіх поверхнях щебеню спостерігалася висока адгезія плівки в'язного (5 балів).

Необхідно відмітити, що з гранітним щебенем показник адгезії нижчий.

Встановлення фізико-механічних властивостей шлакового мінерального порошку проводились згідно ДСТУ Б В.2.7-121-2003.

Результати досліджень наведені в табл. 6.

Таблиця 6 – Фізико-механічні властивості мінерального порошку з електросталеплавильного шлаку

Найменування показників	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-121-2003	Отримані результати
Вміст частинок, % за масою, - дрібніше 0,071 мм - дрібніше 1,25 мм	70 100	89 100
Пористість при ущільненні 40 МПа, % за об'ємом, не більше	35	26,4
Набрякання зразків із суміші порошку з бітумом, % за об'ємом, не більше	2,5	1,8
Показник бітумоємності, г, не більше	65,0	59,0

Кінець табл. 6

Найменування показників	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-121-2003	Отримані результати
Вологість, % за масою, не більше	1,0	0,8
Густина, г/см ³	–	2,74
Коефіцієнт гідрофобності	–	0,96
Кількість глинистих домішок, %, не більше	5,0	4,9

Згідно ДСТУ Б В.2.7-121-2003 мінеральний порошок із електросталеплавильного шлаку відповідає вимогам до порошку I марки «неактивований».

Потім були проведені дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетону тип «Б» складів I та II.

I – вся мінеральна частина із шлакового матеріалу;

II – шлаковий щебінь, мінеральний порошок із електросталеплавильного шлаку.

Результати досліджень наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Фізико-механічні властивості асфальтобетону I і II складів

Склад асфальтобетону	Середня густина, г/см ³	Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом	Водонасичення, % за об'ємом	Набрякання, % за об'ємом, не більше	Границя міцності при стиску, МПа, за температури			Коефіцієнт водостійкості
					50 °С, не менше	20 °С, не менше	0 °С, не більше	
I	2,44	14,2	2,8	0,3	0,9	3,8	9,6	0,98
II	2,39	16,1	3,1	0,5	0,6	3,2	10,8	0,92
Нормативні вимоги згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003	–	15-19	1,5-3,5	0,5	1,2	2,5	12,0	0,9

Результати досліджень показали, що склад асфальтобетону, де мінеральна частина складена із шлакового матеріалу, характеризується вищими показниками міцності і зниженими водонасичення і набрякання.

За результатами проведених досліджень очевидно, що матеріал можна рекомендувати для приготування асфальтобетонних сумішей, що укладаються в нижні шари на магістральних дорогах I-II категорій і верхні шари місцевих доріг III-IV категорій.

Висновки

1. Проведені дослідження матеріалу показали, що електросталеплавильний відвальний шлак може використовуватись в дорожніх конструкціях як щебінь та мінеральний порошок для приготування асфальтобетонної суміші.

2. Достатньо висока гідравлічна активність дозволяє рекомендувати його використання як неорганічного в'язкого з додаванням портландцементу та вапна.
3. Шлаковий щебінь в порівнянні з гранітним забезпечує кращі експлуатаційні показники шарам дорожніх конструкцій, збільшуючись з терміном служби (особливо в перші п'ять років).
4. Завдяки використанню електросталеплавильного шлаку можна збільшити довговічність дорожніх конструкцій, значно зменшити вартість і подовжити будівельний сезон.
5. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетону на шлаковому щебені із електросталеплавильного шлаку показали можливість і доцільність його застосування.
6. Наявність пор у шлаковому щебені призводить до вибіркової дифузії компонентів бітуму в глибину зерен, що забезпечує високе зчеплення шлаку з бітумом.
7. Електросталеплавильний шлак можна рекомендувати до використання для
 - влаштування основи дорожніх одягів на дорогах I-IV категорій на заміну високоміцного фракційного щебеню;
 - приготування асфальтобетонних сумішей (для доріг I-III категорій верхнього і нижнього шарів при двохшаровому покритті і доріг I категорії нижнього шару покриття);
 - влаштування тонкошарових покриттів на дорогах III-V категорій на заміну щебеневого шару, поверхневої обробки на дорогах II категорії;
 - влаштування вирівнювальнго шару дорожнього одягу при реконструкції і капітальному ремонті доріг;
 - при ямковому ремонті – для приготування шлако-органомінеральних сумішей;
 - улаштування удосконалених узбіч та їх ремонтів.

Література

1. Гезенцвей Л.Б. Применение мартеновского шлака в дорожном асфальтовом бетоне [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Л.Б. Гезенцвей. – М., 1956. – 175 с.
2. Дорожные одежды с использованием шлаков [Текст] / под ред. А.Я. Тулаева, М.В. Королёв. – М.: Транспорт, 1986. – 221 с.
3. Еремин А.В. Эксплуатационно-прочностные свойства шлаковых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст]: **дне.** ... канд. техн. наук / А.В. Еремин. – Воронеж, 2000. – 201 с.
4. Еремин В.Г. Комплексное применение шлаковых материалов в конструкциях нежестких дорожных одежд [Текст] / В.Г. Еремин // Науч.-техн. достижения в области дорожных строительных материалов, строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений. – Липецк: [б.и.], 1995. – С. 46 – 50.
5. Ковалев Н.С. Исследование морозостойкости и трещиностойкости асфальтобетонного покрытия из шлаковых материалов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.С. Ковалев. – М., 1979. – 16 с.
6. Расстегаева Г.А. Исследование процессов структурообразования смеси из гранулированного доменного шлака и вязкого битума при строительстве покрытий автомобильных дорог [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.А. Расстегаева. – Л., 1970. – 24 с.
7. Самодуров СИ. Асфальтовый бетон с применением шлаковых материалов [Текст] / С.И. Самодуров. – Воронеж: Изд-во Воронеж, гос. ун-та, 1984. – 108 с.