

УДК 93.080.20

д.т.н., професор А.О. Белятынский,
Национальный авиационный университет, г. Киев,
Краюшкина Е.В.,
ДП «ГосдорНИИ», г. Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрены особенности использования отвальных шлаков разных видов производств в дорожном строительстве. Исследованы химический состав и физико-механические свойства электросталеплавильного и отвального шлака, его влияние на адгезию к органическому вяжущему – битуму, приведены свойства минерального порошка из электросталеплавильного шлака и горячего мелкозернистого асфальтобетона с его использованием. Сделан вывод о том, что электросталеплавильный шлак может быть использован как щебень и минеральный порошок для приготовления асфальтобетонной смеси, которая обладает повышенной прочностью и долговечностью, является экономичным и технологичным материалом.

Ключевые слова: автомобильная дорога, производство, строительство, физико-механические свойства, шлаки.

Строительство, и особенно, реконструкция и ремонты автомобильных дорог требуют развития промышленности по производству каменных материалов. Растущую потребность в каменных материалах можно удовлетворить за счет широкого использования отходов промышленности и вторичных ресурсов. Одним из наиболее известных отходов, который с каждым годом находит все большее распространение в дорожном строительстве есть шлаки черной и цветной металлургии.

В связи со значительным накоплением большого количества побочного материала в виде шлаков и необходимостью их утилизации, возникла необходимость проведения работ в направлении определения возможности использования этих шлаков в транспортном строительстве.

По своим характеристикам (химический, минералогический состав, морозостойкость) шлаки являются ценным сырьем для приготовления щебеночных материалов и минеральных вяжущих, на основе которых изготавливают цемента- и асфальтобетонные смеси для устройства дорожных покрытий.

Замена шлаком цемента, щебня и минерального порошка, на производство которых расходуется значительное количество материальных и энергетических ресурсов сопровождается резким снижением затрат топлива, электроэнергии и трудовых ресурсов. Вообще, себестоимость шлаковых дорожно-строительных материалов в 2 раза ниже себестоимости аналогичной продукции из природных горных пород.

Таким образом, необходимость и актуальность использования шлаков в дорожной отрасли, что характеризуется значительной материалоемкостью, не вызывает сомнений. В последние годы в дорожном строительстве все большее распространение получили металлургические и фосфорные шлаки. Металлургические делятся на шлаки черной и цветной металлургии. Шлаки черной металлургии бывают доменные, сталеплавильные и ферросплавные.

Основным фактором, который определяет свойства шлака есть его структура, которая зависит от химического состава шлака и режима охлаждения. В доменных шлаках кристаллическая часть представлена более чем двадцатью минералами с плотностью более чем 3 г/см^3 .

Фосфорные шлаки светло-серого цвета. Шлаковая масса полностью кристаллизованная. Автором проводились работы по использованию шлаков разных видов производств в дорожной отрасли.

Установлена возможность использования щебня и песка из шлаков разных производств при производстве асфальто- и цементобетонных смесей, для устройства основ дорожных одежд, а для дорог низших категорий устройства покрытий из шлаковых материалов. В данной работе установлена возможность использования электросталеплавильных шлаков отвалных, для приготовления асфальтобетонных смесей.

Таблица 1.

Химический состав электросталеплавильного шлака

Название материала	Химический состав, %							Модуль основности, M_o
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	S	
Электросталеплавильный шлак – плотный мелкозернистый серого цвета	28,3	12,0	31,0	9,0	5,6	13,4	0,7	1,1

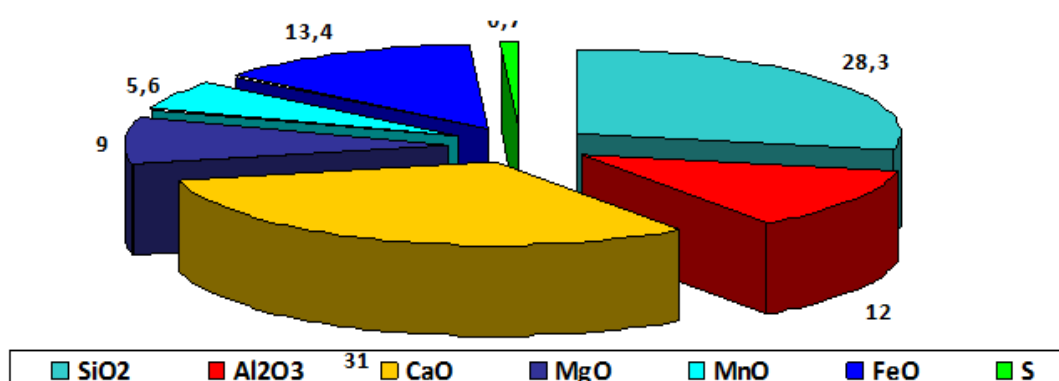


Рис. 1 Химический состав электросталеплавильного шлака

По данным химического состава рассчитывают модуль основности (M_o), модуль активности (M_a) и коэффициент качества (K), которые характеризуют гидравлическую активность шлака.

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

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

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

В зависимости от коэффициента качества и включения соединений шлаки разделяются на три сорта согласно ГОСТ 3476.74.

Таблица 2.

Три сорта шлаков согласно ГОСТ 3476.74

Показатели	Сорт		
	1	2	3
Коэффициент качества, не меньше	1,65	1,45	1,2
Включение Al_2O_3 , не меньше, %	8,0	7,0	Не норм
MgO, не больше, %	15,0	15,0	15,0
TiO_2 , не больше, %	4,0	4,0	4,0
MnO, не больше, %	2,0	4,0	4,0

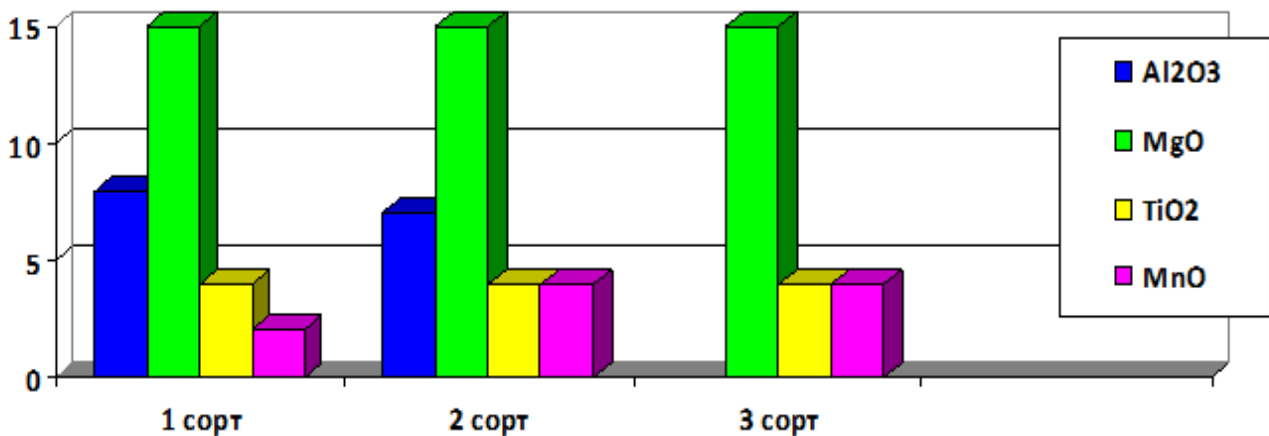


Рис. 2 Состав шлака в зависимости от включения соединений

В целом по химическому составу электросталеплавильный шлак близкий к природным эфузивным каменным материалам типа базальта. По коэффициенту качества относится к 1 сорту, кроме количества MnO , которое несколько увеличено.

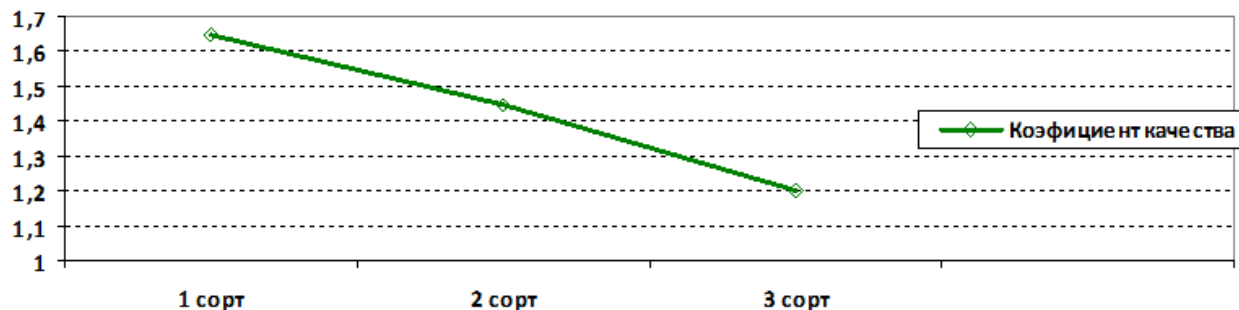


Рис. 3. Зависимость сорта шлаков от коэффициента качества согласно ГОСТ 3476.74

При использовании электросталеплавильных шлаков, которые характеризуются цементирующей способностью, а при уплотнении и увлажнении водой после цементации создают монолитную водостойкую основу цемент и известь выступают в роли активаторов.

Физико-механические характеристики электросталеплавильного шлакового щебня приведены в табл. 3. Для сравнения параллельно проводились исследования гранитного щебня Клесовского карьера.

Анализируя данные приведенные в табл. 3 можно утверждать, что физико-механические характеристики (прочность, дробильность, водопоглощение) у шлакового щебня выше чем у гранитного и отвечают требованиям ГСТУ Б В.2.7-74-98, то есть этот материал может быть использован для устройства слоев покрытия и основы дорожных одежд.

Таблица 3

Физико-механические характеристики электросталеплавильного шлакового щебня.

Наименование показателей	Щебень шлаковый электросталеплавильный	Щебень гранитный (Клесовский карьер)
1	2	3
Действительная плотность, $г/см^3$	3,45	4,2
Средняя плотность, $г/см^3$	3,84	4,35
Насыпная плотность, $кг/м^3$	1800,0	1850,0
Пористость, %	5,4	7,5
Водопоглощение, %	2,1	3,4
Марка по морозостойкости	Высокая F 150	Высокая F 150
Марка по дробильности	M 1200	M 1000
Твердость по десятибалльной шкале, баллы	6-7	-

1	2	3
Марка по истираемости	Высокая СТ-1	Высокая СТ-1
Прочности при сжатии в цилиндре, МПа	7,4	5,4
Наличие зерен пластинчатой и игольчатой формы	Кубовидная группа, 12	Кубовидная группа, 15
Наличие глины в грудках	-	-

Было проведено определение показателей и результаты исследований приведены в табл. 4.

Анализируя данные табл. 4 можно сделать вывод, что электросталеплавильный шлак имеет достаточные вяжущие свойства, что будет способствовать долговечности и увеличенной прочности конструктивных слоев дорожных одежд с его использованием.

Таблица 4

Вяжущие свойства электросталеплавильного шлака

Показатели	Результаты испытаний
Прочность при сжатии, МПа	8,5
Стойкость против распада, %	Силикатного 0,9 Железного 1,8
Набухание, %, не меньше	58
Сроки схватывания, начало, хв.	14

В связи с тем, что шлаковый щебень и шлаковый минеральный порошок будут использоваться для приготовления асфальтобетонных смесей, проводились исследования адгезии к органическому вяжущему – битуму.

Результаты исследований приведены в табл. 5.

Таблица 5

Определение качества сцепления поверхности шлакового щебня с битумным вяжущим – битум марки БНД 90/130.

Характеристика поверхности зерен шлака	Масса зерна шлака, г	Масса зерна шлака, г		Характеристика пленки битума на поверхности щебня		Оценка качества сцепления
		Щебень с пленкой вяжущего	С пленкой вяжущего после испытания	Сохранение пленки вяжущего, % по массе	Степень сохранности пленки вяжущего	
1	2	3	4	5	6	7
Полностью стекловидная	104,20	106,50	106,00	48,5	Пленка вяжущего более 50 % сохранилась на поверхности щебня, при чем ее толщина местами уменьшена	Удовлетворительно (три балла)

1	2	3	4	5	6	7
50 % поверхности стекловидная	56,3	58,2	57,9	49,5	Пленка вяжущего более 50 % сохранилась на поверхности щебня	Удовлетво рительно (три балла)
Шероховатая, частично стекловидная	84,50	88,4	88,0	81,00	Пленка вяжущего сохранилась на поверхности щебня	Отлично (пять баллов)
Полностью шероховатая	45,6	45,9	45,8	96,5	Пленка вяжущего частично отдели- лась от поверх- ности щебеню	Отлично (пять баллов)

По данным таблицы 5 видно, что не на всех поверхностях щебня высокая адгезия пленки вяжущего (5 баллов).

Необходимо отметить, что с гранитным щебнем показатель адгезии ниже.

Определение физико-механических свойств шлакового минерального порошка проводились согласно ГСТУ Б В.2.7-121-2003. Результаты исследований приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Физико-механические свойства минерального порошка
из электросталеплавильного шлака**

Наименование показателей	Требования ГСТУ Б В.2.7-121-2003	Полученные результаты
Содержание частиц, % по массе, не меньше	70	89
- мельче 0,071 мм	100	100
- мельче 1,25 мм		
Пористость при уплотнении 40 МПа, % по объему, не больше	35	26,4
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, % по объему, не больше	2,5	1,8
Показатель битумоемкости, г, не больше	65,0	59,0
Влажность, % по массе, не больше	1,0	0,8
Плотность, г/см ³	-	2,74
Коэффициент гидрофобности	-	0,96
Количество глинистых частиц, %, не больше	5,0	4,9

Согласно ГСТУ Б В.2.7-121-2003 минеральный порошок из электросталеплавильного шлака соответствует требованиям к порошку I марки неактивированный.

Потом были проведены исследования физико-механических свойств асфальтобетона тип «Б» составов I та II. I – вся минеральная часть из шлакового материала; II–шлаковый щебень, минеральный порошок из электростале-плавильного шлака. Результаты исследований наведены в табл. 7.

Результаты исследований показали, что состав асфальтобетона, где минеральная часть состоит из шлакового материала характеризуется высшими показателями прочности и пониженными водонасыщения и набухания.

По результатам проведенных исследований очевидно, что материал можно рекомендовать для приготовления асфальтобетонных смесей, которые укладываются в нижние слои на магистральных дорогах I –II категорий и верхние слои местных дорог III-IV категорий.

Таблица 7

Физико-механические свойства асфальтобетона I і II составов

Состав асфальтобетона	Средняя плотность, г/см ³	Пористость минерального костяка, % по объему	Водонасыщение, % по объему	Набухание % по объему, не больше	Граница прочности при сжатии, МПа, при температуре			Коэффициент водостойкости
					50 °С, не меньше	20 °С, не меньше	0 °С, не больше	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
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
Нормативные требования согласно ГСТУ Б В.2.7-119-2003	-	15-19	1,5-3,5	0,5	1,2	2,5	12,0	0,9

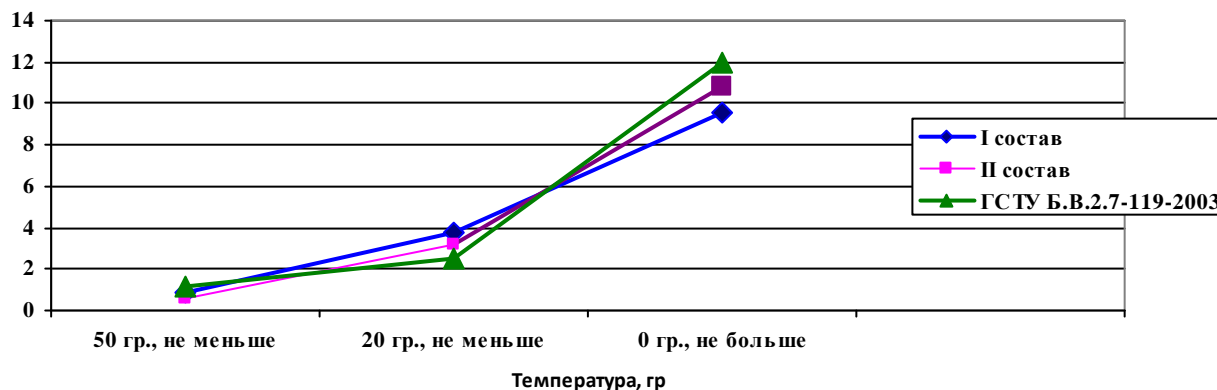


Рис.4. Изменения границ прочности при сжатии асфальтобетона I и II составов зависимо от температуры

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования материала показали, что электросталеплавильный отвалый шлак может использоваться в дорожных конструкциях как щебень и минеральный порошок для приготовления асфальтобетонной смеси. Достаточно высокая гидравлическая активность позволяет рекомендовать его использование как неорганического вяжущего с добавлением портландцемента и извести.

2. Шлаковый щебень в сравнении с гранитным обеспечивает лучшие эксплуатационные показатели слоям дорожных конструкций. Причем, увеличиваясь со сроком службы (особенно в первые пять лет). Таким образом, благодаря использованию электросталеплавильного шлака можно увеличить долговечность дорожных конструкций, значительно уменьшить стоимость и продлить строительный сезон.

Литература

1. Дорожные одежды с использованием шлаков [Текст] / под ред. А.Я. Тулаева, М.В. Королёв. – М.: Транспорт, 1986. – 221 с.

2. Еремин, А.В. Эксплуатационно-прочностные свойства шлаковых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Еремин. – Воронеж, 2000. – 201 с.

3. 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.

4. 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.

Анотація

У статті наведені особливості використання відвальних шлаків різних видів іробництв в дорожньому будівництві. Досліджені хімічний склад та фізико-механічні властивості електросталеплавильного і відвального шлаку, його вплив на адгезію до органічного вяжучого – бітуму, наведені властивості мінерального порошку з електросталеплавильного шлаку та гарячого дрібнозернистого асфальтобетону з його використанням. Зроблений висновок про те, що електросталеплавильний шлак може бути використаний як щебінь та мінеральний порошок для приготування асфальтобетонної суміші, яка володіє збільшеною міцністю та довговічністю, являється економічним і технологічним матеріалом.

Abstract

The paper describes the features of different types of recrement slag usage in road construction industry. Chemical composition and physical properties of electric furnace steelmaking and recrement slag and its effect on adhesion of organic binder – that is bitumen - were investigated; the properties of the mineral fine of electric furnace steelmaking slag and fine hot asphalt with regard to its use were shown. It is concluded that electric furnace steelmaking slag can be used as crushed stone and mineral fine for the preparation of asphalt concrete mix of higher strength and durability. It can be regarded as an economical and technologically advanced material.