

Д.б. - 85 X 71 -

1
Д.б. 71295

НКВД СССР

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ШОССЕЙНЫХ ДОРОГ

Д О Р О Г И

Инж. В. А. ШИЛЬНИКОВ

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ КАК ДОРОЖНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

ДОРИЗДАТ

1943

Д Е П

НКВД СССР

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ШОССЕЙНЫХ ДОРОГ
Д О Р И И

Инж. В. А. ШИЛЬНИКОВ

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ КАК ДОРОЖНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Под редакцией
доктора технических наук
проф. Н. Н. ИВАНОВА

1968

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

Дорожная Библиотека НКВД
Ин. В. И. ШИЛЬНИКОВ

АБОНЕМЕНТ

ДОРИЗДАТ ГУШОСДОРА НКВД СССР
Москва 1943

1/303035

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Глава I. Введение	3
Глава II. Образование шлаков	5
Глава III. Химический и минералогический состав шлаков и физико-химические свойства их	12
Глава IV. Строительные свойства шлаков	15
Глава V. Шлаковые материалы и требования, предъявляемые к ним	19
Глава VI. Применение шлаков в дорожном строительстве	29
Глава VII. Методы испытания шлаков	52

Ответственный редактор проф. Н. Н. Ивагов

Л43911

Подписано в печ. 29/VII 1943 г.

Тираж 3000 экз.

В книге 2⁵/₈ печ. л.

Формат бумаги 84×108¹/₃₂

Зак. 276

18 тип. треста «Полиграфкинг», Москва, Шубинский пер., д. 10

Г Л А В А I

ВВЕДЕНИЕ

Шлаки — это побочные продукты (каменевидные или порошкообразные), представляющие собой относительно легкоплавкие силикатные массы, которые образуются при различных процессах плавки металлов в печах или при сжигании минерального топлива.

Металлургические шлаки состоят главным образом из кремнезема (SiO_2), глинозема (Al_2O_3), окиси кальция (CaO), кислородных соединений различных металлов (MgO , FeO , MnO , TiO и др.).

По наименованию металлургического процесса, при котором шлаки получают, они подразделяются на следующие группы (схема I):

I. Шлаки черной металлургии: 1. Шлаки первичных процессов (древесноугольной или коксовой плавки): а) шлаки литейного чугуна, б) шлаки специального чугуна, в) шлаки переплавного чугуна.

2. Шлаки переплавных процессов — сталеплавильные: а) мартеновские (кислые и основные), б) бессемеровские, в) томассовские, г) пудлинговые, д) ваграночные, е) электроплавильные (кислые и основные).

II. Шлаки цветной металлургии: а) медные, б) свинцовые, в) алюминиевые, г) цинковые и др.

С точки зрения технических свойств и применения для дорожного строительства наибольший интерес представляют: из шлаков черной металлургии — доменные, затем мартеновские и ваграночные, из цветных — медные шлаки.

Металлургические шлаки по своему составу и характеру могут быть причислены к искусственному сырью и применяться в дорожном строительстве как материал для бетона и асфальтобетона, литья брусчатки, бордюрных камней и тумб.

Доменные шлаки, кроме того, могут успешно использоваться для приготовления различного рода вяжущих, теплоизоляционных и других материалов (схема II).

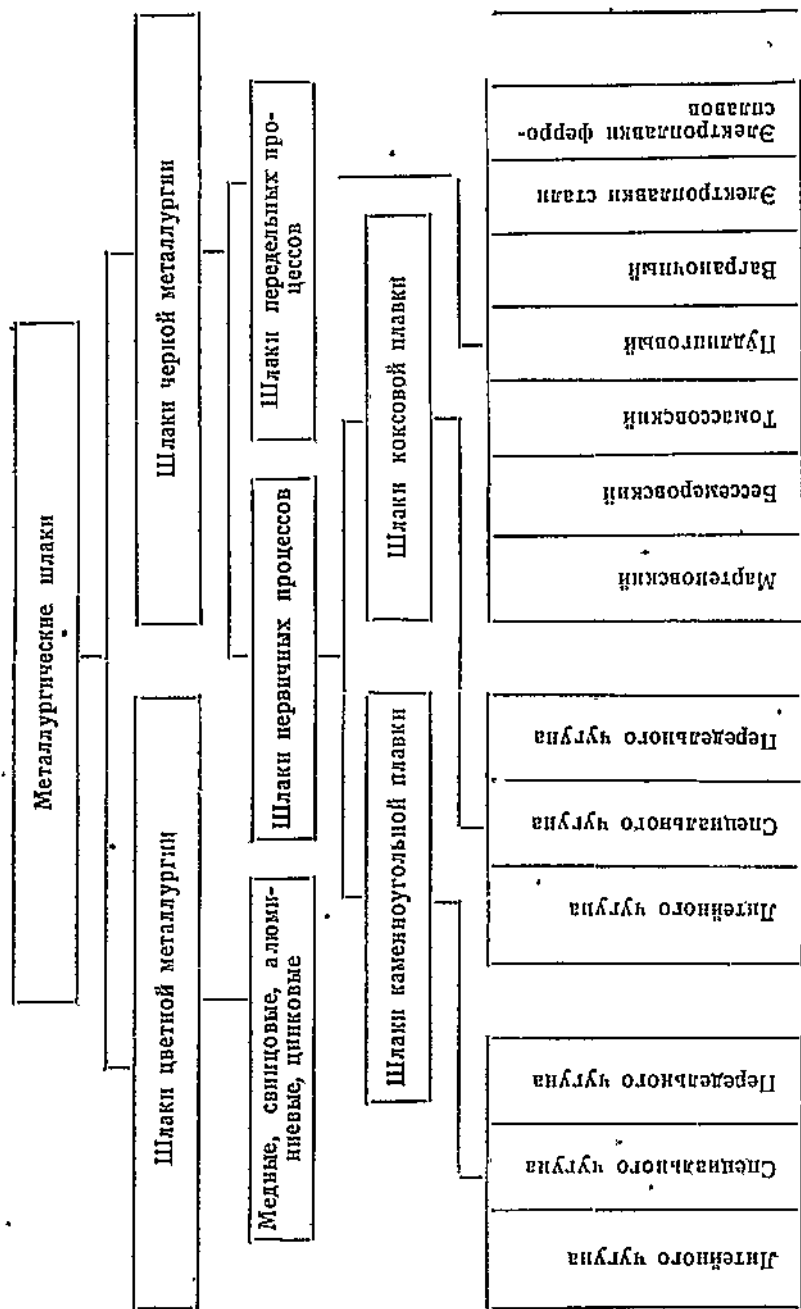


Схема 1. Подразделение шлаков в соответствии с их технологическим процессом получения

Классификацию доменных шлаков как строительного материала дает ОСТ 8219.

Поскольку в дорожном строительстве шлаки применяются в виде: а) щебня различной прочности, б) шашки для мостовых, в) песка, г) минерального порошка для асфальтобетона, д) гидравлических добавок, е) вяжущих материалов (для векбетона и шлако-цемента), ж) литья (брусчатки, бордюрные плиты и др.), при выборе и использовании их необходимо соблюдать требования, подробно освещенные в гл. V.

Строительство дорог с применением металлургических шлаков в СССР не развернуто еще в массовом масштабе. Шлаковые дороги небольшого протяжения были построены только в некоторых районах Донбасса, на Урале, Украине, Горьковском крае, Московской, Ленинградской, Ивановской областях. Изучение прочности этих дорог в эксплуатации показало возможность массового применения металлургических шлаков как для дорог местного значения, так и для дорог высших классов.

Поэтому использование шлаков для строительных целей должно из года в год возрастать. Однако переработка шлака на щебень до сих пор организована неудовлетворительно даже в тех районах, где имеется большое количество шлака, но ощущается недостаток в каменных дорожностроительных материалах.

Необходимо сейчас же приступить к широкому развитию производства по изготовлению шлакового щебня, брусчатки и разрешить проблему организации шлаковых отвалов и их разработки с целью наилучшего использования шлаков для дорожного строительства. Это позволит повысить темпы строительства дорог, улучшить качество и снизить себестоимость строительства:

Г Л А В А II

ОБРАЗОВАНИЕ ШЛАКОВ

При обработке руды встречаются различные примеси и пустая порода. Примеси делятся на две группы: полезные (улучшающие качество получаемого металла) и вредные (ухудшающие его качество). Вредными примесями в металлических рудах являются сера, мышьяк и фосфор. Под пустой породой понимается примесь к металлу кварца, глины и иногда известняка.

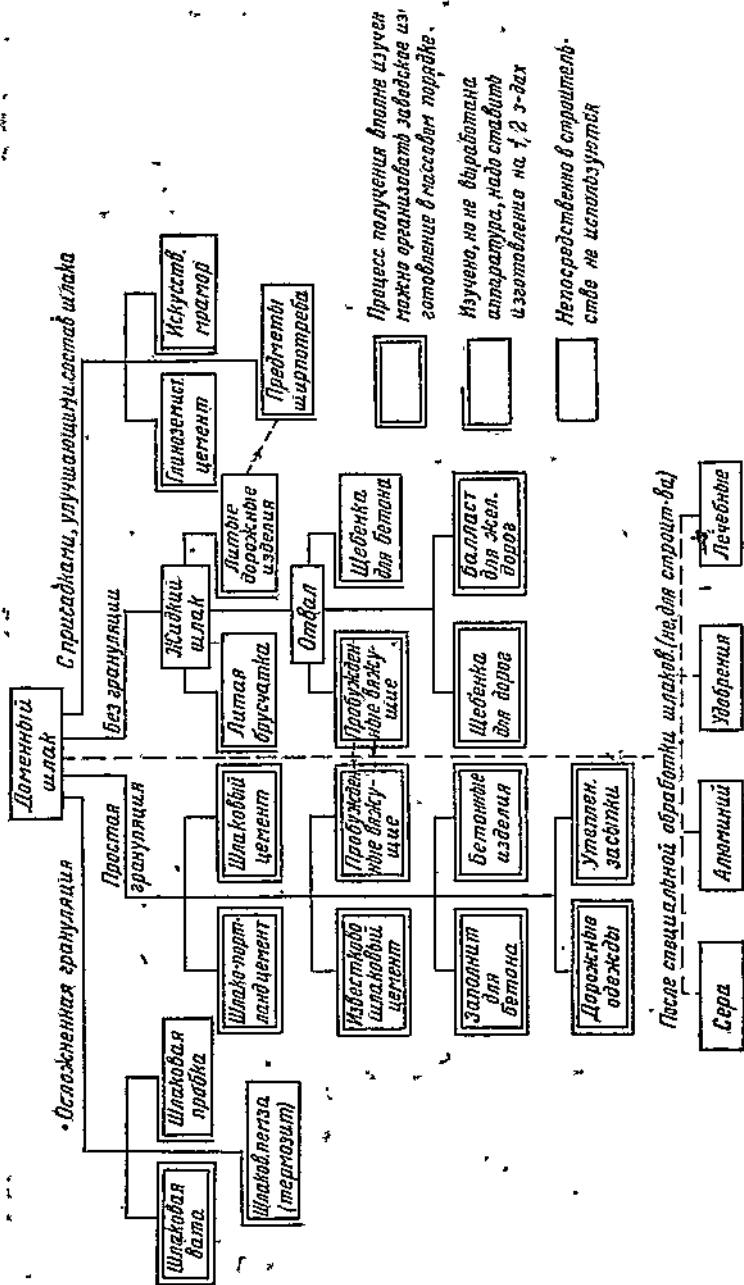


Схема II. Применение шлаков в строительстве.

Чтобы перевести пустую породу в легкоплавкое состояние, в печь с рудой вводят флюсы (плавни), т. е. такие материалы, которые образуют легкоплавкие смеси — шлаки. Шлак и металл, ввиду различия удельного веса, разделяются на две несмешивающиеся жидкости: металл (более тяжелый) собирается внизу, а шлак (более легкий) остается сверху. Выбор флюса определяется химическим составом породы. При кислой пустой породе, состоящей из кремнезема, флюс выбирается в виде известняка (CaCO_3) или доломита ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$). При основной пустой породе (т. е. состоящей из CaCO_3) флюсы выбираются кислые, содержащие SiO_2 в виде кварца, песчаника или глинистого сланца.

Все шлаки можно разделить на две большие группы: основные, содержащие большое количество извести, и кислые, богатые кремнеземом. Обе группы резко отличаются друг от друга как по внешнему виду, так и по своим химическим и физико-химическим свойствам.

В большинстве случаев шлак представляет собой систему $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—CaO}$; наряду с этими компонентами в состав шлака входят MgO , CaS , FeO , MnO и др., т. е. шлак состоит из многих окислов и соединений. Каждая из составляющих оказывает свое влияние на металлургические процессы, играет роль в образовании шлака и влияет на свойства шлака в целом.

Доменные шлаки с точки зрения их строительных свойств являются самыми интересными. Эти шлаки получают в качестве побочного продукта при выплавке чугуна из железных руд. В СССР важнейшими железными рудами являются: магнитный железняк, бурый железняк и красный железняк.

В зависимости от сорта выплаваемого чугуна, который делится на две группы: литейных чугунов (серых) и перепельных чугунов (белых), шлаки имеют следующий состав, который приводится в табл. 1.

В зависимости от состава чугуна меняется и состав шлака. Например, при выплавке ферромарганцевого чугуна шлаки содержат высокий процент марганца.

Существует несколько способов передела чугуна на железо и сталь, при которых получают различные виды шлаков, а именно: мартеновские, бессемеровские, томассовские, шлаки электроплавки, тигельные, пудлинговые и т. д.

Мартеновские шлаки являются самыми распространенными из перепельных процессов.

Таблица 1

Содержание в % по весу Род шлака	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	S
Шлак серого литейного чугуна, выплавленного на коксе	27—38	10—24	30—58	0,2—1,2	0,1—2,4	0,3—2,7	до 4
Шлак серого литейного чугуна, выплавленного на древесном угле	45—58	5—22	20—45	0,8—1,1	0,2—5,7	до 0,2	до 2
Шлак белого передельного чугуна, выплавленного на коксе	30—35	8—18	35—48	2—6	—	до 3	—
То же выплавленного на древесном угле	48—55	10—18	25—30	3—6	—	—	—

По химическому составу мартеновский шлак весьма разнообразен. В зависимости от вида футеровки печи можно получить шлаки кислого и основного мартеновского процесса.

При кислом мартеновском процессе количество шлаков получается от 11 до 18% от веса садки.

Химический состав шлаков обычно колеблется в следующих пределах (табл. 2):

Таблица 2

Химические соединения	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO
Содержание, в %	42,0—58,0	1,0—12,0	0,5—4,5	1,0—4,0	10,0—30,0	10,0—35,0

Как видно из этой таблицы, кислые мартеновские шлаки бедны известью. Некоторое количество металла обычно задерживается в шлаке в виде мелких шариков «корольков», чем увеличивается объемный вес получаемых шлаков.

Количество шлаков при основном процессе больше, чем при кислом, и колеблется от 18 до 30%, а чаще в пределах от 20 до 25%.

Количество «корольков», застрявших в шлаке, также несколько больше, чем в кислых шлаках.

Пределы химического состава основных маргеновских шлаков приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Химические соединения	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	S	P ₂ O ₅
Содержание, в %	12,0—27,0	35,0—50,0	4,0—13,0	0,5—5,5	8,0—20,0	10,0—20,0	0,1—1,0	0,8—5,8

В основном маргеновском шлаке нередко встречается свободная известь в виде целых гнезд. При этом шлак теряет постоянство объема и легко распадается.

Бессемеровские шлаки получают при бессемеровании бедных марганцем чугунов.

Бессемеровский процесс ведется в конвертере с кислой футеровкой, отчего шлаки получаются кислыми.

Выход шлаков в среднем составляет 8% от веса металла. Химический состав бессемеровских шлаков представлен в табл. 4.

Таблица 4

Химические соединения	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO
Содержание, в %	50,0—64,0	0,5—1,0	0,3—0,5	2,0—6,0	10,0—18,0	12,0—30,0

Томассовские шлаки получают при выплавке стали из фосфористых чугунов в конвертерах с основной доломитовой футеровкой.

Количество шлаков, получаемых при томассовском процессе, в среднем составляет 22% от веса металла. Химический состав этих шлаков представлен в табл. 5.

Пудлинговые шлаки получают при изготовлении высококачественного, хорошо сваривающегося металла специ-

Таблица 5

Химические соединения	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	S	P ₂ O ₅
Содержание, в %	0,0—10,0	40,0—52,0	2,0—5,0	0,5—3,5	10,0—18,0	5,0—10,0	0,1—0,3	18,0—21,0

ального назначения. Способ пудлингования является устаревшим и в настоящее время почти не применяется.

Шлаки электроплавки бывают кислые и основные, но большей частью процесс ведется при сильно основных шлаках, количество которых равняется 10% от веса металла.

Химический состав шлаков представлен в табл. 6.

Таблица 6

Наименование шлака	Химические соединения	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
		Содержание, в %			
Электроплавки кислой		55,0—66,0	11,0—15,0	2,0—5,0	0,2—2,0
Электроплавки основной, черный		10,0—15,0	45,0—60,0	4,0—8,0	1,5—3,0
Электроплавки основной, белый, известковый		12,0—18,0	55,0—65,0	8,0—15,0	2,0—4,0
Электроплавки основной, белый, карбидный		6,0—10,0	55,0—68,0	10,0—15,0	2,0—3,0

Наименование шлака	Химические соединения	FeO	MnO	S	P ₂ O ₅
		Содержание, в %			
Электроплавки кислой		2,0—3,5	10,0—24,0	0—0,5	—
Электроплавки основной, черный		10,0—15,0	7,0—10,0	—	2,0—4,0
Электроплавки основной, белый, известковый		0,2—1,5	0,2—0,6	0,4—1,0	—
Электроплавки основной, белый, карбидный		0,1—0,8	0,1—0,3	0,6—1,5	—

Ваграночные шлаки получают во время плавления чугуна, в состав которого входят окиси кремния и марганца.

Ваграночный шлак обычно бывает нейтральным или кислым, а по химическому составу больше приближается к кислым доменным шлакам. Количество шлаков составляет 7% от веса металла.

Для характеристики приводится химический состав ваграночного шлака (табл. 7).

Таблица 7

Химические соединения	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Содержание, в % . . .	45,0—55,0	15,0—25,0	1,0—4,0	5,0—10,0
Химические соединения	FeO	MnO	S	P ₂ O ₅
Содержание, в % . . .	7,0—18,0	5,0—10,0	0,3—1,0	0—0,4

Медные шлаки являются побочным продуктом, получающимся при выплавке меди из медных руд и при переработке медных отходов.

Шлаки, образовавшиеся при восстановительной плавке обожженной сульфидной медной руды, бывают весьма разнообразны по своему составу. Обычно они представляют собой нечто среднее между моно- и полуторасиликатом. При чисто пиритной плавке получают обычно моносилкаты с большим содержанием FeO и незначительным количеством CaO и Al₂O₃. Шлаки полупиритной плавки богаты SiO₂ и CuO, но бедны FeO и могут содержать значительное количество Al₂O₃. Шлаки современных отражательных печей мало отличаются от ватержакетных шлаков.

Химический состав медных шлаков колеблется в следующих пределах (табл. 8).

Шлаки от переработки медных отходов получают при переплавке различного металлического лома, содержащего медь. В качестве примера приводится химический анализ шла-

Таблица 8

Химический состав	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CaO
Содержание, в % . . .	19,98—48,88	16,48—65,43	2,65—7,65	1,46—20,0

ков из переработок медных отходов одного из заводов СССР (табл. 9).

Таблица 9

Химический состав	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Cu	Zn
Содержание, в %	43,30	11,64	16,03	28,04	0,25	0,66

Г Л А В А III

ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШЛАКОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИХ

Шлаки одних и тех же металлургических процессов могут резко отличаться друг от друга. Для того, чтобы определить химические свойства шлаков, необходимо выяснить соотношение в них количества кислотных и основных окислов, в зависимости от которых они делятся на основные, кислые и нейтральные.

При определении химических составов шлаков прибегают к эмпирическим формулам. Этих формул существует несколько, но наиболее распространенными являются две. По одной из них основными шлаками считаются те, в которых отношение суммы процентного содержания окисей кальция и магния к сумме окисей кремния и глинозема больше единицы, кислыми — те, в которых это отношение меньше единицы, а нейтральными — те, в которых это отношение близко к единице. Поэтому для всех трех случаев эта формула принимает следующий общий вид:

$$b = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

По второй формуле учитывается двойственная роль глинозема:

$$b = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \frac{1}{3}\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \frac{2}{3}\text{Al}_2\text{O}_3}$$

Таблица 8

MgO	Zn	ZnO	BaSO ₄	S	Cu
0,31—1,51	0—3,18	0—4,29	0—0,76	0,52—3,83	0,31—1,83

Доменные шлаки в зависимости от вида применяемого топлива получают различной основности, а именно: древесно-угольные уральских печей — кислые с модулем основности от 0,42 до 0,69; минеральных плавок Урала и Сибири, выплавленные на зольном, мало сернистом кузнецком коксе с модулем основности 0,60—0,96; южных и центральных районов, работающих на донецком высокосортном коксе с модулем основности от 0,85 до 1,25.

Приведенные формулы, давая общее представление о кислотности и основности шлаков, являются условными. Для уточнения этих формул прибегают к определению количественного соотношения отдельных окислов между собой, особенно в тех случаях, когда шлаки рассматриваются с точки зрения их гидравлических свойств.

В зависимости от содержания (в %) тех или иных окислов шлаки подразделяют по химическому признаку на следующие группы:

- 1) кремнистые — $\text{SiO}_2 > 40$,
- 2) глиноземистые — $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15$,
- 3) известковые — $\text{CaO} > 50$,
- 4) магнезиальные — $\text{MgO} > 10$,
- 5) железистые — $\text{FeO} > 5$,
- 6) марганцовистые — $\text{MnO} > 5$,
- 7) фосфористые — $\text{P}_2\text{O}_5 > 3$,
- 8) титанистые — $\text{TiO}_2 > 5$,
- 9) сернистые — $\text{CaS} > 5$.

Химический состав различных металлургических шлаков см. в приложении 1.

Затвердевшие шлаки имеют различное строение в зависимости от способа охлаждения и химического состава. По своей структуре они могут быть разделены по степени кристаллизации на три группы: 1) аморфные, или стекловидные, 2) скрыто кристаллические, 3) собственно кристаллические, и

по плотности на четыре группы: 1) плотные, 2) пористые, 3) ячеистые, 4) пенистые или ажурные.

Стекловидная форма чаще всего встречается на поверхности шлаковых глыб и у шлаков, быстро охлажденных искусственным путем (грануляцией). Стекловидный шлак представляет собой раствор, одну фазу, и принадлежит к разряду ложнотвердых тел. Такой шлак отличается большой внутренней вязкостью, препятствующей зарождению центров кристаллизации.

Скрыто кристаллический шлак относится к промежуточным шлакам, так как в нем имеется и стекло и кристаллы.

Шлаки со скрыто кристаллической и с кристаллической плотной структурой обладают высокими свойствами прочности на удар и сжатие.

Быстрее кристаллизуются шлаки, богатые известью, но они подвержены известковому распаду, т. е. разрушению и растрескиванию шлаковой массы в период охлаждения, при содержании извести свыше 4,40%. Повышенное содержание магнезии и глинозема допускает некоторое увеличение извести в отношении устойчивости шлака от распада. Шлак, содержащий MgO свыше 7% и CaO 44%, хорошо противостоит известковому распаду. Шлаки, имеющие в своем составе 15% глинозема, даже при 50% CaO устойчивы против известкового распада.

При медленном остывании шлака считают, что известковый распад вызван образованием неустойчивой кристаллической формы « β » двухкальциевого силиката (известкового оливина), которая рано или поздно переходит в более устойчивую форму кристаллов « γ » при увеличении объема на 10%. Это специфическое свойство основных шлаков распадаться совершается иногда без видимого влияния внешних сил.

Распад протекает чрезвычайно быстро до растрескивания массы в тонкий порошок, а в некоторых случаях продолжается в течение длительного периода.

Кроме того, в шлаках может происходить второй вид распада, называемый железным распадом, образующийся во влажной среде при содержании железа и марганца в шлаке больше 1,5% (пересчитанного на FeO) в виде сульфидов.

Распад происходит за счет образования, в присутствии серы, кристаллов FeS , которые переходят во влажной среде в водную окись, увеличиваясь в объеме на 38%, что приводит к разрушению шлака.

Тонко размолотые шлаки в большинстве случаев проявляют с водой активность, т. е. гидравлические вяжущие свойства. Эта активность проявляется самостоятельно или под

влиянием соответствующих химических возбудителей или механического воздействия. Степень активности шлаков, а отсюда — способность их к затвердеванию, прочность и другие качества зависят от химического состава, режима охлаждения, тонкости помола и других факторов. Активность шлаков связана с физико-химическими процессами.

Активные шлаки, помещенные в воду или в раствор извести в порошкообразном виде, при взбалтывании способны набухать, а в спокойном состоянии схватываться, выделяя при этом растворимые соединения кальция, главным образом, сульфиды и сульфаты.

Шлаки, не содержащие достаточных количеств разлагающихся водой соединений кальция, не способны набухать не только в воде, но и в растворе извести.

Повышенное содержание глинозема уменьшает стремление богатых известью шлаков к расстеклованию при грануляции. Шлаки, богатые глиноземом, способны проявлять хорошие вяжущие свойства даже при невысоком содержании извести. Установлено, что при большом содержании кремнезема активность шлаков понижается.

Для получения из шлаков цементов высокой активности, в качестве каталитического возбудителя стекловидного вещества, применяют гидратную известь (пушонку) и различные модификации сернокислого кальция: двугидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, нерастворимый ангидрид CaSO_4 , эстрих-гипс, ангидридовый цемент, доломит, не полностью обожженный, или комбинацию ангидрида с обожженным доломитом и доломитовой пылью. В качестве возбудителя может быть применен также портландцементный клинкер. Продукт, полученный из гранулированных доменных шлаков, высушенных и размолотых вместе с добавками, возбуждающими активность шлака, относят к бесклинкерным цементам.

ГЛАВА IV

СТРОИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ШЛАКОВ

Шлаки, состоящие в основном из CaO , MgO , SiO_2 и Al_2O_3 с незначительным количеством других соединений, имеют светлосерый цвет. Закись железа окрашивает их в зеленые тона, переходящие при большом содержании этой закиси в темнозеленый или даже черно-зеленый цвет. Одновременное наличие окиси и закиси железа в большом количестве придает шлакам совершенно черный цвет с синеватым металлическим блеском. Голубые и синие цвета проявляются при

наличии закиси марганца. Совместное нахождение в шлаках небольших количеств закиси железа и марганца придает им желтый цвет. Шлаки, затронутые известковым распадом, обычно покрыты белым налетом, а при железном распаде — желто-ржавым.

Удельный вес металлургических шлаков колеблется в пределах от 4,0 до 2,5 и зависит от их структуры и химического состава. Наибольший удельный вес имеют медные и мартеновские шлаки. Объемный вес, т. е. вес единицы объема высушенного куска зависит от объема содержащихся в нем пор. Пористость шлаков колеблется от 1 до 30% и выше. Например, в пористых шлаках количество пор составляет от 10 до 20%, в ячеистых от 20 до 40% и пенястых свыше 40% по объему. Вследствие наличия закрытых пор в шлаках наблюдается большая разница между величиной пористости и водопоглощаемостью. Чем меньше объем пор, тем шлак лучше. Шлаки, имеющие большое количество крупных пор, легко раздавливаются под давлением колес и поэтому непригодны для дорожного строительства. В дорожном строительстве лучше применять шлаки с высоким объемным весом, колеблющимся для насыпного шлакового щебня размерами от 30 до 60 мм в пределах от 1000 до 1600 кг/м³.

Гранулированные шлаки по внешнему виду бывают: 1) пористые — легкие гранулированные шлаки, с зернами диаметром в несколько миллиметров, имеющими развитую шероховатую поверхность, 2) тяжелые гранулированные шлаки, разнообразного зернового состава с круглыми, блестящими и плотными зернами, диаметром в пределах сантиметра.

Объемный вес щебня гранулированных шлаков колеблется в зависимости от способа грануляции и от химического состава между 300 и 1500 кг/м³ в рыхлом теле и от 700 до 1700 кг/м³ в плотном теле. Объем пустот составляет от 38 до 76%.

Механическая прочность шлаков зависит от химического состава, способов охлаждения и других производственных факторов.

Металлургические шлаки, вылитые на отвалы, подвергаются на воздухе неравномерному охлаждению, вследствие чего в них создается зональность, т. е. различная структура. Вредное влияние зональности сказывается в том, что структура камня в зоне первоначального быстрого охлаждения, приобретает стекловидный характер. В этих стекловидных зонах наблюдается хрупкость камня. Более глубокие зоны шлака охлаждаются значительно медленнее, но все же охлаждение наступает раньше, чем закончится полностью кристал-

зация. Такое разнообразие в структуре шлаков невыгодно отражается на их механических свойствах.

Как показывают исследования (см. приложение 2), в СССР наибольшей прочностью и высокими качествами обладают медные шлаки. Они превосходят многие естественные аменные материалы, применяемые в дорожном строительстве, имеют временное сопротивление сжатию больше 2000 кг/см^2 не ниже 1000 кг/см^2 . Следующими по прочности идут мареновские шлаки, временное сопротивление которых в большинстве свыше 1000 кг/см^2 , затем — доменные, прочность которых в большинстве случаев доходит до 1000 кг/см^2 .

Ваграночные шлаки обладают высоким временным сопротивлением сжатию, но вследствие стекловидной структурырупки, слабо сопротивляются динамическим воздействиям и трудно укатываются.

Циркулирующие в почве воды, часто содержащие в растворенном состоянии углекислоту и некоторые органические, а иногда и минеральные кислоты различно влияют на устойчивость шлаков.

Данные, полученные в результате исследований, показывают, что шлаки в отношении водоустойчивости могут быть разделены на четыре группы.

Первая группа — водоустойчивые кислые шлаки различного происхождения (доменные, мареновские, ваграночные, медные) с модулями основности не больше 0,62. Растворимость шлакового порошка этой группы при 10-часовом нагревании в воде составляет 0,15—0,47% по весу.

Вторая (промежуточная) группа — средней водоустойчивости (основные мареновские шлаки с модулями основности от 1,13 до 2,00). Растворимость в воде — от 0,93 до 1,45% по весу.

Третья группа — ниже средней водоустойчивости. В состав этой группы входят доменные шлаки, приближающиеся по величине модулей основности к нейтральным (модули их основности от 0,80 до 0,96). Растворимость их в воде составляет 1,65—2,72% по весу.

Четвертая группа — малой водоустойчивости (основные доменные шлаки с модулями основности от 1,01 до 1,43). Растворимость от 3,22 до 3,93% по весу.

При использовании шлаков для строительства бетонных сооружений обычно считалось, что сера, содержащаяся в шлаке, оказывает разрушающее действие на бетон. Это мнение было основано на том, что сера под действием углекислоты и воды образует сероводород, который затем окисляется в присутствии воды кислородом воздуха и переходит в

серную кислоту, образующую с известью цемента сульфит, разрушающий бетон. Поэтому кусковой шлак вначале не имел широкого применения для изготовления цемента. Исследованиями установлено, что окисление сульфидной серы в гипс возможно только в тех случаях, когда распавшийся или тонко измельченный кусковой шлак долгое время находился на воздухе. Применение же свежих кусковых шлаков не внушает никакого опасения, так как сульфиды и сульфаты переходят из шлака в воду в незначительном количестве.

В дорожном строительстве шлаковый щебень часто доставляется к месту работ в виде готовой смеси с вяжущим веществом — дегтем или битумом. Зарубежная практика показала, что наилучшим связующим веществом для шлакового щебня является деготь. Поэтому шлаковый щебень стал успешно применяться для изготовления черного щебня и дамман-асфальта, которые могут укладываться в дело как в горячем, так и в холодном состоянии.

Имея на поверхности мельчайшие поры, воспринимающие органические вяжущие материалы, шлак способствует приставанию щебенки друг к другу и обеспечивает образование прочного дорожного покрытия.

Для получения высококачественных шлаковых дорожных камней пригодны шлаки, которые способны кристаллизироваться и не склонны к распаду. Но большинство металлургических шлаков нуждается в изменении химического состава и может быть использовано только при обогащении их добавками, улучшающими кристаллизацию и устойчивость по отношению к распаду. При этом в шлаках должно быть предотвращено нежелательное явление пористости. Для этой цели желателен следующий химический состав для доменных шлаков: SiO_2 — не менее 30%, CaO — не более 44—46%, Al_2O_3 и MgO — в максимально возможном количестве, т. к. они благоприятно влияют на качество продукции, FeO — не более 3% и не менее 1—2%, MnO — не более 3—5%, S — не более 1,5%. В качестве добавок для обогащения шлаков применяются дешевые местные материалы и отходы производства, как, например, кремнезем в виде песка, закись железа, колошниковая пыль, окалина и иногда глина. Добавки могут сыграть положительную роль при повышении качества и прочности, литья из плохого шлака и быть в то же время бесполезными для хорошего шлака.

При использовании шлаков в дорожном строительстве наблюдались случаи, когда основной шлак, уложенный в покрытие в качестве щебня, по истечении двух-трех лет сцементировался настолько, что для разрушения коры необходимо

было применить клинья и молот, причем отдельные куски ко-
ры почти не отличались по виду от цементного бетона.

Исследование вяжущих свойств шлаков некоторых заво-
дов СССР показало, что большинство основных доменных
шлаков имеют способность схватываться без добавок или с
добавками (каталитическими возбуждителями), повышающими
их активность. Способность шлаков схватываться должна
учитываться при применении их в качестве вяжущего мате-
риала для строительных работ. Образцы всех шлаков при
хранении их во влажной среде приобретают большую проч-
ность.

Поэтому в последнее время из доменных шлаков стали
приготавливать бесклнкерные и др. шлаковые цементы. Шла-
ковые цементы, полученные из основных и кислых шлаков,
дали хорошие показатели сопротивления сжатию и растяже-
нию.

Большое значение имеет получение пробужденного бетона
(векбетона) путем оживления доменных шлаков. Кусковой
шлак, раздробленный на дробилке, подвергается в увлажнен-
ном состоянии механической обработке на тяжелых и быстро
движущихся бегунах. Из приготовленной массы можно де-
лать штучные строительные материалы или применять эту
массу как бетон, называемый пробужденным бетоном. В про-
цессе раздавливания и разминания слегка увлажненная масса
под бегунами меняет свои свойства, становится пластичной
и получает качества затворенного водой вяжущего вещества,
т. е. способность схватываться и затвердевать.

Пробуждению может быть подвергнуто большинство до-
менных шлаков. Наиболее пригодными для этого являются
основные доменные. Химический состав шлаков: CaO не бо-
лее 52%, Al_2O_3 — желательное максимальное количество, этот
компонент является весьма полезным, MgO не выше 20%,
 MnO — является вредным компонентом и содержание его до-
пустимо не более 3—5%. Другие шлаки могут быть приме-
нены для процесса пробуждения при условии смешения с
основными; к кислым шлакам следует добавлять от 3 до 8%
извести.

Г Л А В А V

ШЛАКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Шлаки, в зависимости от способа охлаждения, разделяют-
ся на два вида: медленно охлажденные в отвалах под дей-
ствием атмосферного воздуха, т. е. кусковые, и быстро

охлажденные и перешедшие из жидкого состояния в твердое при помощи воды, пара или сжатого воздуха — гранулированные. В качестве щебня и гранулометрических добавок используются только шлаки, имеющие высокую прочность, плотную структуру и устойчивость в отношении распада.

Для того чтобы использовать шлаки как дорожностроительный материал, необходимо при отборе их соблюдать определенные условия.

В Европе обычно считают, что шлак должен быть постоянным по объему и устойчивым в отношении атмосферных влияний. Структура его должна быть равномерной, мелкой и плотной. Следует по возможности исключать куски с крупнозернистой, пенистой и стекловидной структурой. Общее содержание таких кусков не должно превышать 5% от общего весового количества.

В качестве щебня можно применять только кислые и нейтральные шлаки с большим содержанием кремнезема и с меньшим извести.

Основные шлаки и шлаки сырого хода с большим содержанием железа, а также распадающиеся или распавшиеся применять нельзя.

Разработку старых шлаковых отвалов следует производить лишь тогда, когда на основании лабораторных исследований установлено, что из них возможно изготовление хорошего щебня, удовлетворяющего всем требованиям.

Щебень должен иметь по возможности форму кубиков с острыми ребрами. Плоские, пластинчатые куски следует исключать. Размеры среднего и крупного щебня должны находиться в пределах 40—60 мм. В нижеуказанных пределах должны быть налицо и достаточно хорошо перемешаны все фракции. Количество кусков менее 20 мм не должно превышать 10%; количество более крупных кусков (60—70 мм) также не должно превышать 10%. В среднем и мелком щебне (фракции 20—40 мм) допускается присутствие более мелких кусков (<20 мм) в количестве, не превышающем 3%, и более крупных (40—50 мм) не свыше 10%. В клинцевой (фракции 10—20 мм) допускается наличие более мелких кусков (<10 мм) в количестве, не превышающем 10%, а более крупных (10—30 мм) не свыше 10%.

Высококачественная, дважды грохоченная шлаковая мелочь должна быть крупностью от 5 до 10 мм или от 3 до 7 мм, мелкие высевки 3—7 мм, мелкий песок 0—3 мм. Водопоглощение шлака не должно превышать 3% по весу.

Щебень размером зерен от 30 до 60 мм при испытании на сопротивление постепенно усиливающемуся давлению штампа

не должен иметь после разрушения мелочи, проходящей через сито 10 мм, свыше 35% первоначального веса. Щебень размером зерен от 30 до 60 мм при испытании на сопротивление удару бабой весом 50 кг после разрушения не должен иметь мелочи, проходящей через сито с отверстиями 10 мм, свыше 22% первоначального веса.

Объемный вес щебня фракции 30—60 мм не должен быть ниже 1250 кг/м³. Исключения допускаются лишь в том случае, когда, несмотря на меньший объемный вес, сопротивление сжатию и удару отвечает требованиям, предъявляемым к плакам.

В дорожном строительстве ряда Европейских стран для

Таблица 10

Назначение материала	Фракции в мм
1. Для бетона:	
мелкий песок	0—1
крупный »	1—7
мелкий щебень	7—30
крупный »	30—70
2. Для железнодорожного балласта	
балластный щебень крупный . . .	30—70
» » средний	20—50
» » мелкий	20—40
3. Для дорожного строительства:	
минеральный порошок I	0,2—0,6
» » II	0,06—0,88
» » III	0,88—0,2
мелкий песок	0,2—0,6
средний »	0,6—1
крупный »	1—3
мелкие высевки	3—7
средние »	7—10
крупные »	10—15
мелкий клинec	15—20
крупный »	20—30
мелкий щебень	30—40
средний »	40—50
крупный » I	50—60
очень крупный щебень II	60—70
перебой	> 70

Класс материала	Наименование шлака	Основные требования к шлакам	Ориентировочная физико-механическая характеристика шлаков						Использование шлака для дорожных покрытий
			Минус в барабане Шатт-носовой метод	Сопротивление щелочи давлению штампа	Прочность через сито не выше в %	Минус в барабане Девана не выше в %	Временное сопротивление сжатию в кг/см ² выше	Факкультативно	
1-й	Мелкие и мартеновские	Не расплакающиеся шлаки плотной кристаллической структуры. Объемный вес щебня в рыхлом состоянии не менее: медных 1400 кг/м ³ , мартеновских 1300 кг/м ³ . Водопоглощаемость не выше 3%. Содержание шлаков стекловидной крупнопористой и пенистой структуры не более 5% по весу	3,5	30	5	1000	морозостойки	Пригодны для изготовления камня щебня всех типов покрытия и для цемента-бетона	
2-й	Мелкие, мартеновские и доменные	Не расплакающиеся шлаки плотной кристаллической и скрыто-кристаллической структуры. Объемный вес щебня в рыхлом состоянии не менее: медных — 1300 кг/м ³ , мартеновских — 1200 кг/м ³ , доменных — 1100 кг/м ³ . Водопоглощение не выше 5%. Содержание шлаков стекловидной крупнопористой и пенистой структуры не более 7% по весу	3,5—5	35	7	800	морозостойки	Пригодны для изготовления шапши для мостовой и щебня всех типов покрытий и цемента-бетона	

Таблица 11 (продолжение)

Класс материала	Наименование шлака	Основные требования к шлакам	Ориентировочная физико-механическая характеристика шлаков						Использование шлака для дорожных покрытий
			Износ в барабане Шинкель не выше в %	Сопротивление щелочной давлению штампала	Прочность через сито не выше в %	Износ в барабане Левака не выше в %	Временное сопротивление сжатию в кг/см ² выше	Факкультативно	
II-й	Медные, марганцевые, доменные и ваграночные	Не расплавляющиеся шлаки кристаллической и скрыто-кристаллической структуры. Объемный вес щелочей в рыхлом состоянии не менее: медных — 1200 кг/м ³ , марганцевых — 1100 кг/м ³ , доменных — 1000 кг/м ³ , ваграночных — 1000 кг/м ³ . Содержание шлаков стекловидной крупности не более 10% по весу	0—8	10—15	9—12	40—500	не вполне морозостойки	Пригодны для изготовления щебня для белых шоссе, черных покрытий облегченного типа, а также для постройки каменных оснований и цементно-бетона марок не выше 110	
II-й	Медные, марганцевые, доменные и ваграночные	Шлаки с кристаллической и скрыто-кристаллической структурой. Содержание шлаков стекловидной и крупности не более 15%. Марганцевые шлаки допускаются при наличии белого налета	—	50	15	—	не вполне морозостойки	Пригодны для постройки каменных оснований и для постройки покрытий с коротким сроком службы	
II-й	Марганцевые, доменные и ваграночные	Шлаки крупности и поздравовой структуры и распадающиеся	—	—	—	—	не вполне морозостойки	Пригодны для постройки каменных оснований на дорогах с малым движением и для улучшения проезжей части грунтопах дорог	

* Испытание на морозостойкость обязательно для 1, 2 и 3-го классов материала, если водопоглощение выше, чем указано в Т. У.

различных типов дорог приняты размеры шлаковых зерен, приведенные в табл. 10.

Отсутствие стандарта в СССР на металлургические шлаки как дорожностроительный материал в значительной степени препятствует широкому применению их в строительстве.

Поэтому ниже излагаются рекомендуемые нами требования к дорожному шлаковому щебню, заполнителю для асфальтобетона, брусчатке и пробужденному бетону.

Шлаковый щебень представляет собой зерна различной крупности (от 5 мм и выше), получаемые дроблением и отсевом отвалных или искусственно охлажденных в специальных ямах металлургических шлаков.

При оценке шлаков как каменного материала не всегда нужно производить полные испытания, аналогичные каменным материалам, а в большинстве случаев показателями качества шлаков могут являться внешний вид, плотность, ноздреватость, пористость, стекловатость и наличие известкового и железного распада. Известно, что стекловидные плотные шлаки часто обладают высоким временным сопротивлением сжатию, а в то же время могут быть хрупкими и иметь слабое сцепление с цементом и битумом и наоборот кристаллические или скрыто кристаллические ноздреватые могут оказаться совсем слабыми. К стекловидным шлакам в большинстве случаев относятся ваграночные шлаки, поэтому они являются малоценным дорожностроительным материалом. При оценке ваграночных шлаков важно определить степень их кристаллизации. Для доменных и мартеновских, а также медных шлаков, если они не стекловидны, лучшей оценкой их качества является объемный вес рыхлого щебня размером 30—60 мм. Лучшие доменные шлаки имеют объемный вес не менее 1100 кг/м³, мартеновские не менее 1300 кг/м³, а медные вообще обладают высокой прочностью, объемный вес лучших из них не менее 1400 кг/м³. Для доменных и мартеновских шлаков требуется обязательная оценка по степени распада; следует различать шлаки, которые в процессе охлаждения и кристаллизации сохраняют свой объем, шлаки, сохранившие свой объем, но при воздействии отдельных реагентов постепенно распадающиеся, и шлаки, которые распадаются на мельчайшие частицы.

На основании вышеизложенного качество шлаков в основном можно характеризовать по структуре, распаду и объемному весу и водопоглощению. В зависимости от химических и физико-механических свойств шлаки разделяются на классы: Технические требования на металлургические шлаки, при-

меняемые при устройстве каменных покрытий, приведены в таблице 11.

Устойчивые нераспадающиеся шлаки не должны иметь белых налетов известкового распада и желто-ржавых налетов железного распада, а также не должны содержать включений непогасившейся извести (мартеновские шлаки).

При освещении ультрафиолетовыми лучами аналитической кварцевой лампы шлаки не должны давать при флуоресценции многочисленных бело-желтых и цвета бронзы иризирующих пятен и точек большей или меньшей величины на светлофиолетовом (реже на темнофиолетовом) фоне, а также ржаво-бурых пятен со светлокоришневыми точками. При отсутствии кварцевой лампы шлаки двукратно пропариваются в автоклаве, при этом они не должны давать признаки разрушения. При содержании СаО менее 45% испытание на известковый распад не производится. При выдерживании их в воде в течение 2 дней они не должны иметь признаков железного распада.

Шлаки не должны иметь признаков разрушения после 15-кратного замораживания, а для районов с резким континентальным климатом (низкими зимними температурами) после 25-кратного замораживания до -15°C .

Шлаковый щебень должен быть отгрохочен с выделением фракции в зависимости от типа покрытия и должен по возможности отвечать требованиям, показанным в табл. 12.

Таблица 12

Наименование покрытий	Размер фракций в мм			
	60(65)— 40(35) нормаль- ный щебень	40(35)— 20(25) щебень мелкий	20(25)— 10(15) клинец	10(15)— 5(4) каменная мелочь
	в п р о ц е н т а х			
Щебеночное шоссе . .	90—80		10—20	
Черное шоссе, построен- ное по методу смеше- ния на базе или дороге:				
а) покрытие толщи- ною 7 см	80—85			15—20
б) покрытие толщи- ной 4 см		70—75		25—30
Цементно-бетонное по- крытие	30—55		40—70	

Примечание: Для щебеночного шоссе из каменных материалов 3-го и 4-го класса применяется щебень увеличенных размеров.

Шлаковый щебень не должен быть засорен кирпичом, глиной, углем и кусками железа. При наличии железа последнее должно быть отсортировано магнитными сепараторами. Высевки, получаемые при разработке старых шлаковых отвалов, не должны применяться в дорожных покрытиях и могут быть использованы только для улучшения глинистых и пылеватых грунтов путем смешения с ними по принципу оптимальных смесей.

Шлаковым порошком, предназначенным для асфальтобетона в качестве заполнителя, называется материал, состоящий из мелких зерен специального помола. Он должен быть устойчивым по отношению к воде. В соответствии с этим шлаки в виде размолотого тонкого порошка (крупностью зерен 0,15—0,20 мм) не должны набухать в дистиллированной воде свыше 10%. Шлаковый порошок (крупностью зерен 0,15—0,20 мм) при кипячении в воде в течение 10 часов должен растворяться не свыше 1,5—2% по весу¹. Порошок должен иметь определенную тонкость помола и не быть загрязненным глиной и другими примесями. Зерна порошка должны проходить через сита следующих размеров: 0,5 мм — не менее 95%, 0,15 мм — не менее 85%, 0,074 мм — не менее 60%. Порошок не должен содержать более 1,5% глины по весу.

Образцы асфальтового покрытия, изготовленные с шлаковым порошком, должны быть проверены на механическую прочность и набухание при 24-часовом выдерживании в воде после насыщения их под вакуумом.

Шлаковая брусчатка представляет собой искусственный дорожный материал установленной формы и размеров, отлитый из металлургических шлаков. В зависимости от размеров брусчатка разделяется на низкую, среднюю и высокую. По качеству обработки брусчатка разбивается на два сорта. Она должна обладать постоянством объема в отношении распада и быть стойкой в отношении атмосферных влияний.

Шлаковая брусчатка не должна иметь белых налетов извести и желто-ржавых налетов железного распада. Освещенная ультрафиолетовыми лучами аналитической кварцевой лампы она не должна давать многочисленных беложелтых и цвета бронзы иризирующих пятен и точек большей или меньшей величины на светлофиолетовом (реже на темнофиолетовом) фоне, а также ржаво-бурых пятен со светлокоришневыми точками. Кроме того, брусчатка не должна иметь признаков разрушения при 15-кратном, а для райрнов с рез-

¹ Растворимость — факультативно.

ким континентальным климатом и низкими зимними температурами при 25-кратном замораживании до -15°C . Брусчатка должна быть однородного плотного строения. Структура ее должна быть кристаллической, объемный вес не менее $2,5\text{ г/см}^3$, водопоглощаемость менее $3-5\%$.

Шлаковая брусчатка должна быть высоко прочной в отношении сжатия, удара и истираемости. В воздушно-сухом состоянии и после испытания на морозостойкость она должна иметь временное сопротивление сжатию не менее 1000 кг/см^2 . Коэффициент сопротивления удару на копре Педжа должен быть не менее 8, а коэффициент сопротивления истиранию на приборе системы Дорри не менее 18. Брусчатка должна иметь определенные размеры и форму прямоугольного параллелепипеда с плоскими гранями и острыми ребрами, быть шероховатой и не иметь бугров, впадин и трещин. Кромки ее по лицу и лицевой поверхности должны быть такими, чтобы зазор при прикладывании одной брусчатки к другой не превышал 5 мм для I сорта и 8 мм для II сорта. В брусчатке I сорта допускается присутствие брусчаток II сорта не более 5% , а в брусчатке II сорта не более 10% брусков, не удовлетворяющих требованиям, предъявляемым отдельным брускам этого сорта. Размеры брусчатки должны соответствовать приведенным в табл. 13.

Таблица 13

Наименование	Длина в см	Ширина в см	Высота в см
Низкая брусчатка	15—20	12 и 15	10
Средняя	15—25	12 и 15	13
Высокая »	15—25	12 и 15	16

Пробужденный бетон представляет собой твердеющую подобно цементному бетону смесь, получаемую из шлака при механическом воздействии на него (обработкой на бегунах или катком) в присутствии воды и активизаторов. В соответствии с этим шлаки, идущие на производство пробужденного бетона, должны иметь следующие пределы содержания окислов (в %):¹

SiO_2 — 27 — 37%	MgO — 4 — 20%
Al_2O_3 — 13 — 20%	CaS — 2 — 8%
CaO — 45 — 52%	MnO — не свыше 4%

¹ Химический состав — факультативно,

Шлаки, быстро охлажденные, стекловидные (гранулированные), применяемые для изготовления пробужденного бетона, требуют добавки активизаторов (CaO , CaCl_2 , цемента, жидкого стекла и др.). Шлаки, медленно охлажденные, полугранулированные, применяемые для изготовления пробужденного бетона, также требуют активизаторов. Мелкие фракции распавшихся шлаков старых отвалов для изготовления пробужденного бетона не допускаются.

Активные шлаки, измельченные в тонкий порошок (крупность зерен 0,15—0,20 мм), должны в дистиллированной или известковой воде образовать хлопья и набухать: в воде — не ниже 50%, известковой воде — 400%.

Пробужденный бетон должен быть гидравлическим и иметь определенную прочность. Кубики размерами $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см, изготовленные из молотого шлака с активизаторами, должны удовлетворять следующим требованиям в отношении прочности:

а) для устройства верхнего слоя покрытия из пробужденного бетона с поверхностной обработкой черными материалами:

$$\begin{aligned} R_7 &= 40 - 80 \text{ кг/см}^2 \\ R_{28} &= 100 - 150 \text{ »} \end{aligned}$$

б) для устройства основания из пробужденного бетона под черные покрытия:

$$\begin{aligned} R_7 &= 30 - 60 \text{ кг/см}^2 \\ R_{28} &= 80 - 120 \text{ »} \end{aligned}$$

Контрольные 28-дневные кубики ($20 \times 20 \times 20$ см), взятые при изготовлении пробужденного бетона, должны показывать следующие прочности: а) для устройства верхнего слоя из пробужденного бетона с поверхностной обработкой не ниже 60—80 кг/см², б) для устройства оснований из пробужденного бетона под черные покрытия дорог не ниже 40—60 кг/см².

Постройку дорожных покрытий из пробужденного бетона следует проводить лишь в качестве опытного строительства.

Отбором пробы шлака называется взятие из отвалов или из штабелей образца, отражающего средние качества шлака.

Из разных шурфов с различных горизонтов отвала по указанию приемщика отбираются пробы, примерно по 20 кг каждая. В отобранной пробе должны быть все фракции шлака, которые имеются на месте взятия пробы. Средние пробы составляются по одному или нескольким шурфам или горизонтам, залегания, — в зависимости от однородности шлака: чем равномернее шлак, тем больше должно быть отобрано

средних проб. Средние пробы отбираются квартованием. Вес средней пробы должен быть не менее 50 кг. Из каждого штабеля объемом 200 м³ отбираются пробы из 5 мест по принципу взятия пробы из отвала.

Проба брусчатки отбирается в количестве 50 камней на 100 м³ брусчатки. Отобранная проба сортируется на месте по внешнему виду на группы однородных по структуре и качеству обработки брусчаток. Из каждой группы отбирается средняя проба в количестве трех брусчаток.

Г Л А В А VI

ПРИМЕНЕНИЕ ШЛАКОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Щебеночное шоссе из шлака строится обычно на песчаном основании толщиной 15—17,5 см. На основании рассыпают дробленый щебень размером от 2,5 до 10 см, укатывают его 10-тонным катком, затем рассыпают высевки и укатывают покрытие до полного уплотнения. Поливка, добавка высевок и укатка делятся до тех пор, пока на поверхности дороги не появится тонкий слой грязи. При значительной толщине покрытия, превышающей 15—18 см, укатка производится в два слоя, причем нижний слой устраивается без добавки мелочи и обильной поливки.

Покрытия из шлаков, построенные по типу щебеночного шоссе, но не обработанные вяжущим материалом, при интенсивном движении быстро изнашиваются и требуют больших затрат на ремонт.

При постройке черных облегченных покрытий (4—5 см) применяют шлаковый щебень, пропущенный через грохот с отверстиями диаметром 25 или 20 мм с добавлением части материала, проходящего через грохот с отверстиями диаметром 3 и 2 мм. Применение щебня крупнее 40 мм дает грубую шероховатость поверхности покрытия и приводит к быстрому износу автопокрышек; нельзя также допускать большого количества мелкого материала, чтобы не вызвать пыли на покрытии и не сделать его пыльным.

Шлаки, применяемые при строительстве щебеночных покрытий типа макадам, служат хорошим основанием для дорог высокого класса.

За границей щебеночные дороги из шлака устраиваются следующим образом: на земляное полотно рассыпают слой котельной гари и укатывают катком до плотного состояния. На подготовленное таким образом основание укладывается

пакеляж из кусков шлака размером до 35 см, на который рассыпается слой шлакового щебня фракции от 2 до 8 см, толщиной 8—15 см. После надлежащего уплотнения катком на укатанную поверхность рассыпается шлаковый песок или гранулированный шлак и производится окончательное уплотнение 10-тонным катком с поливкой. Иногда шлаковый щебень укладывают непосредственно на земляное полотно слоем в 15 см. При двухслойном покрытии нижний слой делается толщиной 8 см, а верхний в 5—6 см и больше, и каждый слой укатывается отдельно.

В СССР металлургические шлаки, не обработанные вяжущими материалами, применяются в дорожном строительстве в районах металлургических заводов.

В Украинском Полесье можно было встретить десятки километров шлаковых дорог, построенных из шлаков старых отвалов, полученных еще при кустарной добыче железа из болотных руд. Материалом для устройства этих дорог служил шлак, богатый окислами железа, с содержанием FeO до 50% как плотной, так и ноздреватой структуры. Большинство шлаков имело окраску темнотального или бурого цвета. Плотные шлаки выдерживали временное сопротивление сжатию около 2000 кг/см².

На тракте № 25 УССР в 1932 г. был построен опытный участок дороги из литейных шлаков. Постройка велась по типу шоссе, толщиной 18 см в плотном теле с укаткой в один слой. В качестве материала для щебенки был употреблен шлаковый материал разных сортов из одной и той же свалки:

- 1) кристаллической структуры, черного и серого цвета с временным сопротивлением сжатию до 2000 кг/см², хорошо сопротивляющийся удару и с трудом разбивающийся на щебень;

- 2) ноздреватый, черного и серого цвета, невысокой прочности, неоднородный по физико-механическим свойствам, плохо сопротивляющийся удару и легко разбивающийся на щебень;

- 3) стекловидный, зеленого цвета различных оттенков, твердый, слабо сопротивляющийся удару, хрупкий;

- 4) стекловидный, неплотный и хрупкий.

При укатке этих шлаков выявилось, что первый шлак легко поддается укатке, второй и особенно четвертый раздавливаются под катком, третий трудно укатывается. При таком составе шлака россыпь не уплотнилась в должной степени. Неукатанный участок шлаковой дороги, находящийся в эксплуатации с 1931 г., показал, что самозакатка проходит очень плохо. Это можно объяснить не только присутствием в шла-

ковом материале стекловидных частиц, но еще и тем, что щебень не был подобран по фракциям.

Доменные шлаки с высоким показателем основности были применены для устройства дорожных покрытий в Донбассе.

Больше 10 лет назад заводоуправлением Алчевского металлургического завода была построена дорога протяжением 2 км, с устройством проезжей части из доменных основных шлаков своего завода. Дорога, по сведениям, полученным от местных жителей, в первый же год своего существования пришла в негодность.

Заводоуправление Константиновского металлургического завода построило в 1919 г. дорогу длиной 2,1 км из доменных основных шлаков. Вскоре на дороге появились выбоины.

В Горьковском крае строительство шлаковых дорог началось в 1930—1931 г. В табл. 16 указаны год постройки и тип шлаковых дорог, сооруженных в Горьковском крае за период 1932—1934 г.

Таблица 14

Район	Год постройки	Тип дороги	Наименование завода
Шоссе Горький—Мыза	1932	Шоссе	Выксунский доменный
Гор. Выкса и тракт Выкса—Досчатое	1930—1934	Мостовая	То же
Тракт Муром—Меленки и Муром—Ляхи .	1933—1934	Шоссе	Панфиловский
Тракт Пушкино—Лукьяновск	—	Мостовая	Ташинский
Гор. Омутинск	—	Шлаковая россыпь	Омутинский
Шоссе у Шурминской пристани	—	Шоссе	—
Тракт Горький—Кизнер	1934	Шлаковая россыпь	Троицкий медный
Тракт Ижевск—Горький	1934	Шоссе	Ижевский
Гор. Кулебаки	—	Мостовая	Кулебакский

Наблюдения за этими участками показали, что значительное влияние на расстройство коры оказывает качество шлаков. Так, участок из шлакового щебня, построенный в 1931 г. на дороге Горький—Автозавод, быстро разрушился вследствие присутствия значительного количества стекловидных шлаков, так как покрытия с применением большого количества стекловидного шлака укатываются плохо и имеют слабую цементацию. На участках с разносортными шлаками

получались местные разрушения и образование катунa, а в тех случаях, когда применялись слабые шлаки, участки сильно пылили. На большинстве участков в Горьковском крае применялся именно несортированный шлак.

В г. Надеждинске дорога была построена от города к центральному складу, мимо углеобжигательных печей, в низкой болотистой местности. Шлак преимущественно доменный, большей частью стекловидный или полустекловидный, ноздреватый, с незначительной примесью мартеновского шлака. Поверхность дороги сильно деформировалась, особенно там, где в покрытие уложены крупные куски шлака.

В г. Алапаевске россыпь шлака производилась еще до революции, причем периодически из года в год шлак добавлялся. Для россыпи применялся доменный шлак дымчатого и зеленого цвета с большим содержанием пемзовидных кусков. Дорога была сильно выбита и в 1929 г. покрыта расклинцовкой; к моменту обследования в 1934 г. поверхность дороги была засыпана гранулированным шлаком и находилась в удовлетворительном состоянии.

В 1930 г. была построена шлаковая шоссейная дорога на улицах Режевского завода, выходящих на тракты Реж — Невьянск и Реж — Алапаевск. Для постройки шоссе был использован доменный шлак, полустекловидный, различной пористости. Дорога профилированная, с песчаным основанием и весьма интенсивным движением, особенно в осеннее время. К 1934 г. она стала совершенно разбитой.

В г. Нижнем Тагиле многие улицы города покрыты медеплавильными шлаками, но покрытия большей частью неудовлетворительны, так как крупные куски шлака выдаются и создают неровную поверхность. На улице Маркса, по сведениям, полученным от старожилов, дорога существует 50 лет без ремонта при толщине покрытия 85 см. Покрытие дефектов не имеет.

Ознакомление о покрытиях из доменных шлаков показало неудовлетворительные эксплуатационные качества шлаковых дорог при большой грузонапряженности вследствие того, что при постройке этих дорог не уделялось внимания однородности и качеству шлакового материала. Применение медных шлаков в покрытиях как материала высококачественного и более однородного показало лучшие результаты.

В Днепропетровске широко применялся основной гранулированный шлак в качестве основания под мостовую и брусчатку. Практика показала, что хорошее основание из гранулированного шлака может быть получено при условии тщательного трамбования и поливки водой. Особо благоприятные ус-

ловия для службы шлакового основания создаются в пониженных влажных местах (например, площадь Озерного рынка в Днепропетровске, где по истечении года основание из гранулированного шлака под мостовой превратилось в прочную монолитную водонепроницаемую массу, с большим трудом поддающуюся какой-либо обработке).

Гранулированный шлак особенно ценен при укладке брусчатки, требующей монолитного, не поддающегося деформации основания. Эксплуатация 14 000 м² брусчатки и 30 000 м² мостовой с основанием из гранулированного шлака на улице Карла Либкнехта и проспекта Карла Маркса в Днепропетровске полностью подтвердила целесообразность устройства основания этого типа.

По Техническим условиям Гушосдора 1938 г. устройство шлаковых шоссе как самостоятельных покрытий допускается только на дорогах III класса. Пределы применения шоссе из доменных шлаков, в зависимости от качественных показателей исходного материала, определяются в соответствии с размерами движения, приведенными в табл. 15.

Таблица 15

Род шлакового материала	Число машин в сутки
Шоссе из отвалных шлаков . . .	100
» » литых раскисленных и кислых мартезовских шлаков . .	200

Максимальный продольный уклон шоссе из шлаков допускается в пределах от 4% до 7%, в зависимости от характера местности; однако при продольном уклоне более 6% покрытия этого рода лучше заменять мостовой. Поперечный уклон проезжей части шлаковых шоссе устанавливается в 3%. Дорожное покрытие из доменных шлаков укладывается в корыте или полукорыте с закладкой дренажных воронок. Шлаковое шоссе устраивается на дренирующем подстилающем слое, за исключением устройства покрытия из отвалных доменных шлаков, когда укладка дренирующего подстилающего слоя технически нецелесообразна и не оправдывается экономически.

Толщина подстилающего слоя назначается в зависимости от качества шлака по табл. 16.

Род грунта	Для отвальных шлаков при условии		Для литьих и раскисленных шлаков при условии	
	нормального и избыточного увлажнения	недостаточного увлажнения	нормального и избыточного увлажнения	недостаточного увлажнения
Песок, удовлетворяющий Т. У.	0	0	0	0
Песок, не удовлетворяющий Т. У. и суглинок	10	5	10	5
Песок пылеватый, супесь мелкая, суглинок	10	7	15	10
Тяжелый суглинок, глина	15	10	20	15
Пылеватый грунт, суглинок пылеватый	20	15	25	20

Толщина шлакового слоя в плотном теле назначается для отвальных, нейтральных шлаков — 20 см, для раскисленных и кислых мартеновских шлаков — 18 см. Коэффициент уплотнения шлакового щебня принимается: для коздреватых, нейтральных отвальных шлаков — 1,5, для мартеновских и раскисленных кристаллических шлаков — 1,3.

Обработка вяжущими материалами повышает сопротивляемость шлакового шоссе, увеличивает срок его службы, уменьшает стоимость эксплуатации и препятствует образованию пыли и грязи.

В Англии строительство дегтевых шлаковых дорог начали еще в конце прошлого столетия. На международном конгрессе по дорожному строительству в Лондоне в 1913 г. было установлено, что из 20 различных видов дорожных покрытий наилучшими оказались две опытные дороги из дегтеванного шлака. Такой тип дорог был признан как дорога будущего.

Большинство шлаковых дорог в Англии построено из шлакового термакадама. Шлаковым термакадамом называется шлаковое щебеночное шоссе, построенное по способу смешения с дегтем. Укладка термакадама производится горячим и холодным способом. Шлаковый термакадам имеет широкие перспективы применения при условии тщательного подбора шлакового материала и дегтя.

При постройке одежды из черного щебня (термакадама) в Англии придерживаются определенных технических правил. Одежда из шлакового термакадама устраивается обычно в три слоя. На подготовленное основание рассыпается первый слой, который состоит из обработанного дегтем шлакового щебня крупностью от 37 до 55 мм, уплотняемого не в полной мере катком от 6 до 8 т весом. Особенно сильная укатка россыпи не рекомендуется, так как может привести к раздроблению материала. Если после предварительной укатки в покрытии образуются пустоты, то они заполняются щебнем размерами от 10 до 35 мм рассыпанным тонким слоем во время укатки. Перед россыпью следующего слоя открывается движение по дороге в течение суток, после чего материал размерами от 10 до 35 мм распределяется и укатывается так же, как и первый слой, причем для заполнения промежутков употребляется материал размерами от 6 до 10 мм. Затем тонким слоем рассыпается и укладывается последний слой мелкого обработанного щебня (6—10 мм), после чего поверхность посыпается необработанными каменными высевками. Для получения прочной одежды через 24 часа после уплотнения требуется повторная укатка.

На магистральных дорогах с тяжелым проездом укладывается слой термакадама в 10 см. На второстепенных дорогах толщина слоя может быть уменьшена до 7—7,5 см. Расход материала при 10-сантиметровом слое выражается в следующих цифрах. На нижний слой расходуется 1 т щебня на 10 м² покрытия; 1 т щебня фракции 10—37 мм расходуется на 12,5 м² покрытия и 1 т мелкого щебня фракции 6—10 мм расходуется на 36 м² покрытия.

В среднем для слоев толщиной в 10 см необходимо приблизительно 1 т на 5 м² покрытия. При слое толщиной в 7,5 см одной тонной материала крупностью от 37 до 55 мм покрывают приблизительно 12,5 м², одной тонной материала крупностью от 10 до 37 мм — 16,5 м² и одной тонной материала от 6 до 10 мм — 36 м² покрытия. Для слоя толщиной 7,5 см необходима приблизительно 1 т материала на 6,6 м².

Для сохранения дороги от износа термакадам из шлака должен быть подвергнут поверхностной обработке в течение года после его россыпи.

В дальнейшем поверхностную обработку следует производить по мере надобности. При слишком частой обработке может получиться образование волн с последующим разрушением дороги.

Практика показала, что покрытие из доменных шлаков, построенное по трехслойной системе, при небольших ремон-

тах и ежегодном деформировании в летнее время выдерживает 9½-летнюю службу и притом на грузонапряженных дорогах.

В Англии широко распространен так называемый асфальтовый шлак. Это не что иное, как подобранный двухслойный шлаковый термакадам. В качестве материала для него применяется отборный шлак с временным сопротивлением сжатию 1500 кг/см².

При постройке дорог из асфальтового шлака нижний слой одежды состоит из подобранного асфальтового шлака крупностью от 25 до 55 мм, равномерно распределенного по основанию. Нижний слой после укатки имеет толщину 8 см. Верхний слой покрытия состоит из асфальтового шлака крупностью от 10 до 20 мм, распределенного нагретыми граблями и укатанного катком в 8—10 т весом до получения плотной, ровной и водонепроницаемой одежды толщиной 3—3,5 см. Поперечный уклон покрытий — от 3,3 до 3,5%. Окончательная обработка одежды производится мелким шлаком или другим каменным материалом крупностью 6 мм и мельче. Расход мелкого шлака составляет около 4 т на 800 м² поверхности дороги. Укатка мелочи производится легким катком.

В Англии имеются дороги, построенные из шлакового асфальтобетона. Они представляют собой рационально подобранную смесь щебня, высевок, песка и пылевидного материала с битумом или дегтем. Асфальтовый бетон укладывается на прочное основание в горячем состоянии и укатывается тяжелым катком до полного уплотнения. Обычно применяются два слоя: нижний — толщиной 3—5 см и верхний — толщиной 2—3,7 см. Для нижнего слоя берется отгрохоченный шлак крупностью 12,5 мм, а для верхнего — проходящий через грохот в 3 мм.

В США имеется большое количество дорог из обработанного вяжущими материалами шлака. Верхний слой посыпается цементом или известковой мукой. Этот тип одежды пригоден для движения тяжелых и быстроходных машин.

Применяются три способа устройства дороги с обработкой вяжущим веществом, так же как для покрытия из щебня и гравия:

- 1) розлив вяжущего материала на достаточно уплотненной и начисто выметенной поверхности дороги, с последующей ее засыпкой чистой прочной шлаковой щебенкой (поверхностная обработка);

- 2) устройство покрытия, известного под названием «смешение на месте», которое состоит в смешении шлакового ма-

материала, уже находящегося в теле дороги либо добавленного со стороны, с вяжущими веществами;

3) предварительное смешение вяжущих веществ со шлаковым материалом в специальной установке, известной под названием «предварительного смешения» или «смешения в установке». Полученная однородная смесь укладывается на полотно дороги, разравнивается и укатывается катком.

При первом способе на подготовленную поверхность наносится защитный слой из вяжущего материала и минеральной засыпки. Процесс обработки складывается обычно из двух последовательных розливов горячего битума с россыпью по каждому розливу шлакового материала соответствующей крупности. После каждого розлива и последующей засыпки производится укатка. При первичном розливе расход вяжущего зависит от пористости одежды. Наибольший расход вяжущего составляет $2,25 \text{ л/м}^2$, наименьший — $0,9 \text{ л/м}^2$. Шлакового щебня размером 10—18 мм расходуется от 13,5 до 22 кг/м^2 . Для поверхностной обработки применяются дегти и битумы, а также их смеси. Вяжущие материалы применяются как в холодном, так и в нагретом до 120° или 150° состоянии. Поверхностная обработка на рыхлых дорожных одеждах в штате Огайо показала, что шлаковые покрытия, уплотненные движением, дают лучшие результаты при обработке холодным дегтем для первичного розлива и вязким дегтевым битумом для второго розлива.

В США часто применяют способ смешения на месте. Существуют три основных типа обработки методом смешения на месте. Мелкозернистый тип — скелет состоит из песка и материала, проходящего через 6-миллиметровый грохот. Плотный среднезернистый тип — скелет состоит из материала последовательно подобранными по размерам частицами: от прошедших грохот в 25 мм и меньше до пыли включительно. Крупнозернистый тип — скелет представляет собой отсортированный щебень, свободный от пыли и подобранный по крупности зерен от частиц, прошедших через грохота от 37 до 6 мм. Шлаки широко используются в двух последних типах.

В плотном среднезернистом типе различают два варианта — А и Б: А — вариант смеси с наличием менее 7% материала, прошедшего через сито № 200, Б — вариант смеси с наличием материала, прошедшего через сито № 200, от 7 до 14%. Для типа А толщина обрабатываемого слоя в рыхлом состоянии должна быть не более 5 и не менее 2,5 см. Скелетный материал должен удовлетворять размерам, указанным в табл. 17.

Таблица 17

Размер отверстия грохота и № сита	Проходящий материал, в %	
	для несущего слоя	для защитного слоя
25 мм	100	100
6 »	10—70	0—20
Сито № 10 (1,65 мм)	25—50	0—5
» № 200 (0,074 мм)	менее 7	—

Количество дегтя зависит от гранулометрического состава и толщины покрытия. В табл. 18 приводится потребное количество вяжущего материала для шлаковой смеси.

Таблица 18

Толщина покрытия в рыхлом теле, в мм	Количество литров на 1 м ² покрытия		
	I смешение	II смешение	защитный слой
50	3,68	1,97	0,50
38	2,82	1,97	0,50
25	1,97	1,97	0,50

Для типа Б применяются скелетные частицы размером не более 2,5 см. Наиболее удовлетворительным является следующий гранулометрический состав: фракции, проходящие через грохот в 25 мм — 100%, через грохот 6 мм — 50—70%, через сито № 10 — 35—60% и через сито № 200 — 7—14%.

В качестве вяжущего материала для этого типа покрытия может быть применен или медленно густеющий жидкий битум или разжиженный битум, содержащий нелетучий разжижитель. Количество вяжущего определяется на основе определения объема пустот уплотненного минерального агрегата. Для типа Б наиболее желательна толщина коры от 5 до 7 см в плотном теле. Движение на дорогах такого типа допускается от 700 до 1500 экипажей в день. Крупнозернистый

тип получается из дробленого шлака и вяжущего материала, смешиваемых на месте (на поверхности дороги). Толщина слоя в рыхлом состоянии не должна быть более 7,5 и менее 2,5 см. Дробленый шлак должен состоять из медленно остывшего на воздухе доменного шлака. Он должен быть чистым, прочным и достаточно однородным по плотности. В нем не должно быть тонких, длинных и стекловидных кусков, объемный вес его должен быть не менее 1200 кг/м³. Количество шлака и вяжущего материала (дегтя или битума) в зависимости от толщины обрабатываемого слоя приводится в табл. 19.

Таблица 19

Толщина слоя в рыхлом состоянии в см	Количество щебня в кг/см²	Прошло через грохот с крупными отверстиями, в мм	Потребное количество вяжущего материала		
			I смешение в л/м²	II смешение в л/м²	защитный слой в л/м²
7,6	88	19—38	3,02	2,82	1,70
6,3	76	19—38	2,82	2,26	1,70
5,1	70	19—38	2,26	1,70	1,70
3,8	46	6—25	1,70	1,70	1,70
2,5	31	6—19	2,82	—	1,70

В США для покрытий применяют готовые смеси шлака с вяжущим веществом, приготовленные в специальных установках. Эти смеси носят различные названия, большинство их запатентовано. В качестве примера приводим некоторые из них.

Битослег представляет собой смесь преимущественно из доменных шлаков различного зернового состава минерального порошка и специального асфальта (битоцемент).

Слэгмак — двухслойная одежда, в которой вяжущим веществом является специально приготовленный очищенный каменноугольный деготь или битум. Смесь укладывают в холодном состоянии. Анализы образцов готовой одежды показали содержание вяжущего вещества в нижнем слое 4,4% и в верхнем 6%.

Уэстфелт — смесь, состоящая из твердого, тщательно подобранного по крупности дробленого шлака и песка, хорошо перемешанных с минеральным порошком, порошкообразным битумом и разжижителем в такой концентрации, что смесь, подвергнутая нагреванию перед укладкой, приобре-

дает сцепление и все прочие свойства нормальной асфальтобетонной смеси.

Этот материал заготавливается на стационарном заводе в виде рыхлой несвязной смеси, которую перевозят на открытых платформах или грузовиках; такая смесь может храниться в кучках в течение продолжительного времени. На месте работ материал нагревается до 120—135°С непосредственно перед укладкой в дело, смешение же на заводе, до отправки на место работ, производят в холодном состоянии. По указаниям фирмы, производящей этот материал, в смесь входят твердый асфальтит (гильсонит) в порошкообразном состоянии и минеральное масло. В холодном состоянии порошкообразный гильсонит и масло не соединяются.

В Центральных Европейских странах также широко развито применение металлургических шлаков с вяжущими материалами. Ряд предприятий работает исключительно на доменном шлаке хорошего качества, почти не отличающемся от базальта. Для двухслойных покрытий применяется щебень размером 5—18 мм и 18—65 мм, а для четырехслойных — щебень с постепенно уменьшающейся величиной зерна (в мм):

слой IV	30—50
» III	15—30
» II	5—15
» I	0—5

Покрытия из дегтеванного шлака до последнего времени обычно делались в три слоя: нижний слой 7—8 см — крупный щебень, средний слой 2 см — мелкий щебень, верхний слой 0,5 см — тонкий материал (песок). Первые два слоя укладывались в холодном состоянии и отдельно укатывались. В верхний слой укладывался подогретый дегтеванный песок.

Иногда применяли покрытия из дегтеванного щебня в два слоя: нижний слой толщиной около 7 см (размер щебенки от 3 до 6 см) и верхний слой толщиной около 1,5 см, (размером зерен от 5 до 15 мм). Дороги, построенные по этому способу, несмотря на большую грузонапряженность, имели хорошее устойчивое покрытие.

В последнее время начинают применять на автомобильных дорогах шлаковой термакадам. На одной из дорог (длина 20 км, ширина 16 м) было уложено 41,5% покрытия из дегтеванного доменного шлака (макадам). Через год после открытия движения она была одной из лучших дорог. На другой дороге было уложено 50% покрытия из шлакового термакадама.

В Европе обычно приняты следующие толщины одежды термакадама (в см):

для дорог с тяжелым движением	— 7
» » » средним	» — 5
» проселочных дорог	— 3

Для усиления шлаковых покрытий, построенных по типу водосвязного шоссе, прибегают к способу пропитки или смешения с каменным материалом на месте. Этот вопрос изучался на ряде опытных участков. Опытные работы показали, что покрытия с применением дегтеванного шлакового щебня могут выдерживать грузонапряженность от 800 до 1450 т в день.

Для восстановления изношенных покрытий мостовых применяется также дамман-асфальт из шлака. Дамман-асфальт обычно укладывается слоем толщиной от 2,5 до 5 см. В последнее время порошок из прочных металлургических шлаков нашел себе применение в песчаном асфальте. Для этой цели применяется шлак, удовлетворяющий техническим требованиям (см. главу V).

В СССР на Украине шлако-дегтевый покров по способу поверхностной обработки был устроен (1932 г.) на дороге Константиновка — Славянск, на перегоне Кондратьевка — Дружковка. Обработке, в порядке опыта, было подвергнуто белое щебенчатое шоссе. До обработки этот участок находился в эксплуатации один год. Кора имела песчаное основание 12 см, нижний щебеночный слой — из местного мергелистого известняка, а верхний — из щебня кварцевого песчаника с временным сопротивлением сжатию от 1200 до 1700 кг/см².

Перед розливом дегтя проезжая часть шоссе подвергалась очистке от пыли и грязи стальными и березовыми метлами и мягкими волосяными щетками. Расчистка (удаление мелочи) шоссе была произведена на глубину до 2 см. Для лучшей связи дегтя со щебеночной одеждой было проделано обрызгивание последней креозотовым маслом; через день после этого было приступлено к поливке шлако-дегтем.

Для обработки шоссе применялся каменноугольный деготь из пека и креозотового масла в соответствии 1,85 : 1, что по физико-механическим свойствам соответствует дегтям для поверхностной обработки; удельный вес 1,23 и вязкость по Хетчинсону при 25° С — 45 сек. Лабораторным подбором количественного соотношения шлаковой пыли и дегтя было

установлено, что наилучшим раствором в отношении температуры, консистенции и вязущих свойств будет раствор по весу из 60% пыли и 40% составленного каменноугольного дегтя. Раствор давал следующие показатели физико-механических свойств: температура размягчения 24°C , температура каплепадения 38° и вязкость по Хетчинсону 74 сек. Шлако-дегтевый материал готовился в открытых железных котлах емкостью до 1000 л. Загруженный в котле каменноугольный пек разжижался при температуре 120°C , после чего всыпалось небольшими порциями потребное количество доменной шлаковой пыли размером 2—4 мм, при постоянном помешивании, а затем вливалось креозотовое масло. Такая очередность составления смеси выбрана вследствие того, что шлаковая пыль содержала некоторое количество влаги, которая могла дать бурное вспенивание приготовленному дегтю. Готовый шлако-дегтевый раствор разливался на поверхности шоссе ведрами и распределялся равномерно березовыми метлами.

Расход шлако-дегтя на 1 м^2 поверхности шоссе определялся в 4 кг при одиночном розливе. Поверх шлако-дегтя производилась рассыпка каменной клинцовки размером 10—15 мм. Расход клинцовки определялся из расчета 1 м^3 на 100 м^2 поверхности дороги. Прикатка обработанного шоссе производилась катком в 10 т.

Во время прикатки наблюдалось прилипание дегтевого покрова к барабанам катка и наворачивание его на каток. На вырванных местах наблюдалось совершенное отсутствие связи дегтевого покрова со щебеночной корой ввиду плохой очистки последней от пыли. Толщина шлако-дегтевого покрова достигала в некоторых местах 10 мм, а в некоторых и 4 мм. В среднем следует считать толщину черного покрытия равной 5 мм. После окончательной отделки покрытие имело хороший вид, но появились волны, образовавшиеся вследствие неравномерного распределения шлако-дегтевого материала по поверхности шоссе. После окончания работ (21 августа) было открыто движение по участку; грузооборот данного участка дороги по учету и наблюдениям составил 123 т в день. При проходе автомобильного транспорта не наблюдалось прилипания дегтя к резиновым шинам, и отсутствовало пылеобразование, присущее белому шоссе. При проходе лошадей наблюдалось глубокое (до 3 мм) врезывание шипов от подков в ковровый покров и уменьшение сопротивления движению против движения по белому шоссе. Для устранения излишних деформаций покрытия шлако-дегтевому раствору следовало бы придать большую вязкость, т. е. повысить ее с 75 секунд по Хетчинсону до 100 секунд.

Наблюдения над опытным участком показали, что шлако-дегтевый раствор значительно лучше и прочнее связывается с расчищенным шоссе, чем составные или готовые дорожные дегти и битум. Добавка шлаковой пыли (0—2 мм) в деготь придает ему высокие качества для поверхностной обработки. При всем этом введение заполнителя уменьшает расход дегтя, заменяя некоторую его часть пылью. Вязкость шлако-дегтевого раствора по Хетчинсону должна быть выше 80 секунд, а в южных районах УССР, во избежание размягчения, около 150 секунд.

В дорожном строительстве Макстроя была принята в практике следующая конструкция постройки дорог из шлакового асфальтобетона. Основание состоит из щебня доменных шлаков по типу шоссе и имеет толщину слоя до 25 см. Укатка производится в два слоя. Размер щебня нижнего слоя — 50—80 мм, верхнего — 30—50 мм. По приготовленному основанию укладывается слой биндера из крупнозернистого асфальтобетона толщиной 40—50 мм с минеральной составляющей исключительно из доменных шлаков крупностью 0—28 мм. По биндеру укладывается верхний слой из среднезернистого асфальтобетона толщиной 35—40 мм, состоящий из мартеновского шлака и колошниковой пыли.

При сооружении проезжей части приняты следующие этапы работы. Возводимое полотно укатывается тяжелым катком 8—10 проходами. На укатанное дно корыта укладывается нижний слой из шлакового щебня толщиной в рыхлом теле на 15—20% большей толщины в плотном теле. После укладки и разравнивания по профилю производится укатка тяжелым трехвальцовым катком (Калужского завода). Число проходов катка 15—20. Во время укатки производится поливка водой. После укатки нижнего слоя покрытие выдерживается 2—3 дня; в это время развозится щебень для верхнего слоя. Уложенный и разровненный по профилю щебень поливается и частично укатывается 5—6 проходами катка, после чего насыпается шлаковый песок, полученный из местного шлакодробильного завода. Шлаковый песок рассыпается с таким расчетом, чтобы он занял все пустоты верхнего слоя.

Шлаковый песок значительно улучшает качество укатки; обладая вяжущими свойствами, он способствует сцеплению отдельных щебенки между собой. Толщина слоя песка 30—40 мм. По песчаной россыпи производится укатка тем же катком, и покрытие обильно поливается водой. Количество проходов катка 10—15. При укатке верхнего слоя необходимо следить за тем, чтобы весь рассыпанный песок занял пустоты между щебнями. Если песок насыпан с избытком, о

чем можно судить в процессе укатки, его необходимо смести метлами. Поверх подготовленного основания укладывается крупнозернистый биндер из щебня доменных шлаков и асфальтобетон из щебня мартеновских шлаков. Кроме того, применялась конструкция проезжей части дороги, отличающаяся от описанной выше тем, что нижний слой сделан из пакеляжа с размером камней до 150 мм.

В Днепропетровске в 1935/36 г. несколько улиц было покрыто мелкозернистым асфальтом из шлака. Асфальт укладывался на центральных улицах с преобладанием автомобильного движения. Асфальтобетонное покрытие строилось главным образом с применением комбинированных минеральных порошков:

№ 1 — шлако-портланд-цемент и колошниковая пыль;

№ 2 — пылевидный гранулированный шлак и колошниковая пыль;

№ 3 — продукт распада отвального шлака и колошниковая пыль (опытный участок);

№ 4 — пылевидный гранулированный шлак (опытный участок);

№ 5 — продукт распада отвального шлака (опытный участок).

Литые асфальты в массовом порядке применялись с комбинированными минеральными порошками № 2 (30 000 м²) и № 3 (20 000 м²). На опытном участке применен литой асфальт на минеральном порошке № 1.

Эксплуатация всех производственных и опытных участков с покрытием из асфальтобетона и литого асфальта на протяжении двух-трех лет не выявила никаких дефектов в покрытиях.

Московской дорожно-исследовательской станцией был построен участок с применением ваграночного шлака завода им. Войкова. На старый щебеночный слой толщиной 20 см, лежащий на песчаном основании, наносилась шлакобитумная одежда толщиной в 5 см в плотном теле. Опытный участок был разбит на две секции: а) секция протяжением в 99 м по методу облегченной пропитки битумной эмульсией, б) секция протяжением 11 м по методу смешения, также с применением битумной эмульсии.

Шлак завода им. Войкова по химическому составу принадлежал к кислым шлакам (табл. 20), а по физико-механическим свойствам (табл. 21) — к довольно прочным материалам.

Состав битумной эмульсии следующий:

1) битум с глубиной проникания 120—172—52%,

2) вода — 46,53%,

Таблица 20

Окислы	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	MnO
Содержание, в %	49,6	22,5	21,5	3,5

Таблица 21

Удельный вес	Водопоглощаемость в %	Водоотдача (число дней)	Сопротивление сжатию в кг/см ²	Сопротивление удару на копре Педжа	Износ в барабане Деваля в %
3,44	3,3	8 при температуре 21—23°	864—1225	9—12	5,2

3) эмульгатор (натровая сульфонафтенная кислота) — 1,4%,

4) щелочь — 0,07%.

Эмульсия для секции с пропиткой расходовалась в количестве 9 л на м² и 3,5 л на 1 м² при поверхностной обработке; для секции по способу смешения — в количестве 5,8—6% всего шлакового материала и 2 л на 1 м² при поверхностной обработке. На секции с пропиткой, прежде чем приступить к обработке эмульсией, старая одежда подвергалась очистке от пыли и грязи и сплошной кирковке для выравнивания выбоин на глубину 6—7 см. Для секции с пропиткой битумной эмульсией применялся шлаковый щебень следующих фракций:

- 1) 25—50 с расходом 10 м³ на 100 м² покрытия,
- 2) 12—25 » » 0,9—1 м³ на 100 м² покрытия,
- 3) 3—12 » » 0,7—0,8 м³ на 100 м² покрытия.

Эмульсия разливалась в два приема, по 4,5 л на 1 м² в каждый прием. При работе применялся распределитель битума Этнайер емкостью в 3000 л. После первого разлива производилась россыпь клинца, после второго — россыпь каменной мелочи. Покрытие укатывалось катком весом 10 т через 2—3 часа после разлива эмульсии. Обработанный в таком виде участок был окончательно уплотнен проездом, после чего была произведена поверхностная обработка. На секции по способу смешения основание подготавливалось, как и на секции с пропиткой, затем рассыпалась смесь каменного материала с эмульсией; эта смесь приготавливалась на железном

бойке вручную. Для секции по способу смешения была найдена оптимальная смесь по методу наибольшей плотности.

Рабочий состав этой смеси (в %):

- 1) щебень 25—50 мм — 70,
- 2) клинец 12—25 мм — 15,
- 3) каменная мелочь 3—12 мм — 15.

Для заполнения пустот коры применялась каменная мелочь 3—12 мм в количестве 0,65 м³ на 100 м². Эта же мелочь в количестве 1 м³ на 100 м² была израсходована при одиночной поверхностной обработке. Россыпь производилась граблями под шаблон с расходом шлакобитумной смеси 6,5—7 м³ на 100 м² покрытия. Затем через двое суток производилась укатка покрытия с нанесением под каток каменной мелочи из шлака для заполнения пустот коры. По окончании укатки была произведена поверхностная обработка с россыпью каменной мелочи из шлака. В процессе работы выяснилось, что каток весом 10 т был слишком тяжел, вследствие чего россыпь по методу смешения сильно перемещалась, особенно налитанная водой после прошедшего дождя.

В процессе пропитки произошло сильное раздробление щебня при первой укатке россыпи (проба показала, что 40% щебня оказалось менее 25 мм); раздробление щебня повлекло плохое заклинивание и уплотнение коры. По истечении трехмесячной эксплуатации участков из покрытия были вырублены образцы. Анализ их показал следующее:

- 1) Образец с участка по методу смешения:
толщина слоя в плотном теле — 5 см,
объемный вес — 2,25 г/см³,
содержание битума — 3%,
суммарное количество пустот — 28,15% объема.

- 2) Образец с участка по методу пропитки:
толщина слоя — 5 см,
объемный вес — 2,5 г/см³,
содержание битума — 3,44%,
суммарное количество пустот — 30,17% объема.

Большое число остаточных пустот можно отнести за счет пористости самого шлака, которая достигает 10—12% объема. Опыт показал, что при применении эмульсии нельзя производить чрезмерно долгое перемешивание с ней шлакового щебня, так как получается нежелательное явление — преждевременный распад эмульсии, причем выделившаяся из нее вода вызывает отслаивание от поверхности щебня битума. При методе пропитки укатку шлаковой смеси лучше вести катком весом 6—8 т, чтобы не раздроблять шлаковый щебень. Построенные участки в период эксплуатации в течение

ние более двух лет при грузонапряженности 1360 т брутто в сутки при конном и автомобильном транспорте находились в хорошем состоянии.

Ваграночный шлак завода им. Войкова, по этим опытным данным, может быть вполне пригоден в качестве хорошего дорожного материала.

Горьковской дорожной исследовательской станцией в Сормовском районе г. Горького был произведен на Университетской ул. (1932 г.) опыт по устройству шлакового шоссе с полупропиткой битумом с применением мартеновских шлаков Сормовского завода. На одной секции (длиной 180 м) на песчаном основании была устроена шлаковая мостовая по принципу пакеляжа, толщиной 15 см в плотном теле, со шлаковым щебеночным слоем толщиной 9 см в плотном теле, с полупропиткой битумом. На другой секции (длиной 50 м) по песчаному слою была устроена россыпь щебня толщиной 21 см в плотном теле с полупропиткой битумом. В качестве материала был взят мартеновский шлак Сормовского завода.

Шлак был трех сортов, без специальной сортировки: первого сорта плотного, кристаллической структуры — 85%, второго и третьего сорта стекловидного и ноздреватого — 15%. Второй и третий сорта применялись на расщебенку шлаковой мостовой.

Физико-механические свойства сормовского мартеновского шлака приведены в табл. 22.

Таблица 22

Сорт шлака	Пористость в % по объему	Износ в барабане Деваля в %
Плотный	6	5,6
Средней плотности . .	23,5	6
Ноздреватый	37 —	16,8

По химическому составу шлаки были кислые и основные. Оба вида шлака имели большое содержание железа: в кислом шлаке — до 24%, в основном — около 13%.

Химический состав сормовских шлаков приведен в табл. 23.

При опыте применялся шлаковый щебень ручной бойки следующих фракций (в мм):

	SiO ₂	CaO	MgO	FeO	Al ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	SO ₂
Кислый шлак	52,2— 58,2	1,6— 2,0	следы	22,7— 23,8	1,4— 3,0	14,3— 19,1	0,13— 0,2	0,16— 0,23
Основной шлак	19,14— 20,60	31,90— 30,25	8,75— 12,0	12,24— 12,79	1,09— 2,43	12,54— 22,30	0,9— 2,19	1,17— 1,46

щебень — 35—65,
 мелкий щебень — 20—35,
 клинец — 12—20,
 шлаковая мелочь — 5—12.

В качестве связующего был взят бакинский битум с глубиной проникания при 25° — 124, тягучестью при 25° — выше 110 см, температурой размягчения по кольцу и шару — 35°.

Для обеих секций был принят один и тот же тип одежды — полупропитка с одиночной поверхностной обработкой, с расходом битума на полупропитку 5,6—5,8 кг/м², на поверхностную обработку 2,6 кг/м². Подкатка производилась конным катком весом 3 т, укатка — моторным трехвальцовым катком весом 9,5 т. Готовое покрытие имело поперечный уклон 3,5%. При осмотре опытных участков было установлено, что при грузонапряженности 2500 т в день состояние участка вполне удовлетворительное: поверхность ровная, гладкая, без деформаций. На участке не имелось выбоин, просадок, колеи, пыли и грязи. Этот опыт показал, что даже и неоднородные, плохо сортированные шлаки при обработке их битумом могут быть применены в покрытие.

Кузнецким металлургическим комбинатом было построено несколько типов покрытий с применением доменных шлаков:

тип I: основание — гравий 20 см, биндер — черный шлак 17 см, дегтебетон из каменной или шлаковой мелочи 3 см;

тип II: основание — гравий 15 см, биндер — черный шлак 12 см, дегтебетон из шлаковой мелочи 3 см;

тип III: старое гравийное шоссе, подсыпка из гравия 10 см, биндер — черный шлак 7—10 см, дегтебетон из шлаковой мелочи 3 см;

тип IV: основание — гравий 15 см, пропитка щебня из шлака 12—15 см и дегтебетон из шлаковой мелочи 3 см.

Применявшиеся для покрытий материалы имели следующие характеристики:

1) сырой деготь — отход коксового производства после тронки легких масел и воды при температуре 170° в течение — 4 час.;

2) шлак доменный карьерный — с временным сопротивлением сжатию $600\text{--}1000\text{ кг/см}^2$ и гранулированный шлак в количестве 40%;

3) шлак, медленно охлажденный — временное сопротивление сжатию $600\text{--}1000\text{ кг/см}^2$ и гранулированный шлак в количестве 20%;

4) черный шлак — изготавливается смешением фракций: 0—20 мм — 20%, 20—40 мм — 52%, 40—50 мм — 28%. На бволакивание черного шлака требовалось дегтя 80—90 л на м^3 . Дегтебетон изготовлялся на шлаковом щебне фракций — 15 мм.

Среднее число проходов катков (Рыбинского завода) по тому месту составляло по биндеру 15—20 раз, по дегтебетону 20—25 раз.

Опыты постройки дорожных участков с применением шлаков показали, что в случае неоднородных и мало прочных материалов (в частности, в Сталинске, где материалом служила шлаковая мелочь) необходимо применять дегтебетон мелких фракций, так как покрытие из бетона крупных фракций изнашивается неравномерно. Напротив, при наличии материала достаточной прочности ($600\text{--}1000\text{ кг/см}^2$) целесообразно применять дегтебетон среднезернистый (фракции 0—1 мм).

Мостовые из шлаковой брусчатки. Шлаковая брусчатка постепенно завоевывает себе место в городском дорожном строительстве. За границей она издавна пользовалась спросом для устройства пешеходных переходов и велосипедных дорожек. При современном автомобильном движении шлаковые камни дают прекрасную одежду для быстрого безопасного движения. Опытами О. Графа по определению износа и степени шероховатости брусчатки из медных лаков на опытной дорожке установлено, что коэффициент трения шлаковой брусчатки выше гранитной и базальтовой на 0—40%, а износ меньше. Считают, что продолжительность службы мостовой из шлаковых камней может быть 40 и больше лет. Например, в Швейцарии покрытие из шлаковой медной брусчатки существовало свыше 25 лет и имело прекрасный вид. Покрытие находилось возле рынка, где сосредоточено весьма большое движение повозок и пешеходов.

Доменная шлаковая брусчатка укладывается на прочное основание, иногда связанное шлако-цементным раствором; между основанием и брусчаткой устраивается промежуточная

прослойка песка толщиной в несколько сантиметров. Брусчатка укладывается со швами около 8 мм в перевязку, для чего применяются краевые полукорнового размера (24 × 16 × 14 см) камни. Нижняя часть швов на высоту до 40 мм от поверхности заливается шлакоцементным раствором с мелким песком. Верхняя часть швов заливается битумом в горячем состоянии или же их заполняют холодным способом каменной мелочью с эмульсией. Описанная мостовая из шлаковой брусчатки является прекрасным типом дороги. В Центральной Европе мостовые из шлаковой брусчатки строятся по принципу мостовой из брусчатки естественных пород. Подготовка основания состоит: а) для второстепенных улиц при хорошем грунте — из слоя в 15—20 см хорошо укатанного гравия, б) для магистральных улиц с трамвайными путями — из пакеляжа или из бетона; песчаная прослойка в 5—7 см толщиной; при применении шлаковой брусчатки и мозаики допускается песок с фракциями от 1 до 6 мм. Поперечный уклон покрытия может быть 1°. Брусчатка укладывается со швами средней толщины (6—8 мм). Швы заполняются оспрозраненным песком с последующей заливкой черным материалом. Обычно выравнивание поверхности покрытия производится трамбованием.

По Т. У. Гумседера 1938 г. устройство шлаковых брусчатых мозаичных мостовых производится по тем же правилам, что и для мостовых из естественного камня, однако следовало бы учесть, что литая брусчатка (кленшпльстер) может иметь гораздо меньшие колебания в размерах, чем брусчатка естественных пород.

Покрытие из пробужденного (векбетона) шлакового бетона находится еще в стадии опытного строительства. На одной дороге в Европе было построено несколько опытных участков. На одном участке пробужденный бетон был уложен в нижний слой толщиной 12 см, покрытый сверху (верхний слой) лампан-асфальтом. Другой участок целиком был сделан из пробужденного бетона в два слоя толщиной нижний 10 см и верхний 5 см с прибавкой цемента (от 5 до 10%). Пробужденная смесь изготовлялась из отвалных шлаков литейного чугуна с добавкой гранулированного шлака в приблизительном объемном соотношении 1:1. Смесь обрабатывалась на бегунах и опвозилась на грузовиках к месту работы. Обработка каждой порции занимала 4 мин. На месте работ смесь с добавкой шлакового щебня, воды и цемента (для верхнего слоя) поступала в бетономешалку, после чего пробужденный бетон укладывался в покрытие при соответствующей трамбовке и выравнива-

нии. Через три недели после постройки дороги были открыты для движения тяжелых грузовиков. Суровая зима с сильными морозами и частыми оттепелями не повлияла на качество пробужденного бетона опытных участков. Эти участки выдержали испытания наравне с участком, построенным из хорошего портланд-цемента. При прочности пробужденного бетона, аналогичной прочности цементобетона, стоимость его обошлась вдвое дешевле.

Данные по постройке опытных участков показали, что применение векбетона для дорожного строительства вполне возможно и экономически целесообразно. Приводим необходимые условия для получения покрытия из пробужденного бетона высокой прочности. Укладку его можно производить аналогично укладке дорожного цементобетона. Желательно применять более интенсивное уплотнение, а также вибрирование.

Для создания влажного режима хранения пробужденный бетон должен быть закрыт в течение 10—14 дней с момента его укладки мокрым песком или рогожами. Лучше применять комбинированное хранение бетона: 5—6 дней во влажной среде, затем смачивать водой в течение 10 дней. Укладка пробужденного бетона допускается при температурах не ниже $+10^{\circ}\text{C}$.

По данным проф. Бируля, на Украине производились опыты по постройке шлакобетона и двуслойного шлакобетона. Опыты производились на константиновских шлаках, которые в порошкообразном состоянии обладали гидравлическими вяжущими свойствами.

Шлаки имели следующий химический состав (в %):

CaO — 52,77	} модуль основности 1,30.
Al ₂ O ₃ — 10,41	
SiO ₂ — 31,66.	
Fe ₂ O ₃ — 0,78.	
MnO — 0,17.	
MgO — 1,54.	
CaS — 1,96.	

При испытании шлака на схватывание иглой Вика было установлено: начало схватывания наступает через 6 ч. 25 мин. и конец — через 51 ч. 40 мин. Образцы, приготовленные из шлакового порошка, после выдерживания в течение 3 дней на воздухе и 14 дней в воде показали временное сопротивление 6,38 кг/см². На опытных участках общей длиной 600 м были заложены следующие конструкции.

Шлакобетон. В нижний слой уложен шлаковый щебень размером 50—100 мм и укатан 16 проходами катка весом 12 т с поливкой водой. Верхний слой уложен из шлакового бетона. На нижний слой завозился щебень размером 30—50 мм, смешанный со шлаковой пылью в пропорции 1:2 по объему. Бетон приготавливался обычным способом, разравнивался по поверхности нижнего слоя и укатывался проходом катка по одному месту 10 раз. В продолжение 6 дней производилась по 2 раза в день поливка водой укатанного покрытия.

Шлакобетон двухслойный. В нижний слой уложен бетон следующего состава: доменный шлак размером 50—100 мм—2 объема, шлаковая пыль—1 объем и песок—2 объема. Бетон укатывался тем же катком, число проходов 16 по одному месту. Через три дня укладывался второй слой из бетона следующего состава: шлаковый щебень 30—50 мм—2 объема, песок—1 объем, шлаковая пыль—1 объем. Верхний слой укатан 13 проходами катка по одному месту. Трехлетними наблюдениями над службой участков установлено, что лучшей конструкцией является шлакбетон.

Шлаковые покрытия получают в виде твердой монолитной одежды, но способны быстро истираться, пылить и в дальнейшем давать выбоины.

Поэтому при интенсивном движении шлаковые покрытия нуждаются в поверхностной обработке черными вяжущими материалами для обеспыливания и уменьшения истирания. Шлаковые покрытия могут быть также вполне использованы под основание высокого типа черных покрытий: дамман-асфальт, термакадам и асфальтобетон.

ГЛАВА VII

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ШЛАКОВ

Свойства шлаков определяются: структурой, минералопетрографическим и химическим составами, удельным и объемным весом, пористостью, стабильностью в отношении распада, водоустойчивостью, морозостойкостью, сопротивлением сжатию и удару, сопротивлением щебня давлению штампа, износом и ситовым анализом. Ниже приведены визуальные, полевые, полулабораторные и лабораторные методы определения качества шлаков. При визуальном методе оценка шлака дается по внешним признакам без применения какой-либо аппаратуры. При полулабораторном методе применяются чашечные весы и неградуированные сосуды. При лабораторном методе необходимо специальное оборудование.

Структура. Под структурой шлака понимается совокупность его признаков, определяемых морфологическими особенностями отдельных составных частей и их пространственными взаимоотношениями.

Для определения характеристики внешней структуры отбираются несколько кусков шлака, характеризующих среднюю пробу. Определение внешней структуры производится невооруженным глазом и при помощи 10—5-кратной лупы или микроскопа.

При внешнем осмотре взятого образца определяются: 1) вид шлака, 2) окраска, 3) однородность, 4) зернистость, 5) стабильность, 6) пузырчатость и 7) трещиноватость. Микроструктура определяется под микроскопом при изучении минерало-петрографического состава.

Минерало-петрография. Под минерало-петрографией шлака понимается вещественный состав, состоящий из кристаллов и нераскристаллизованной массы, и структурные особенности. От пробы, подлежащей исследованию, отбиваются два-три кусочка шлака, из которых изготавливаются шлифы толщиной от 0,02 до 0,05 мм. Определение состава производится поляризационным микроскопом в специальных минерало-петрографических лабораториях.

При минерало-петрографическом исследовании производятся следующие определения: 1) степень кристаллизации, 2) абсолютные размеры кристаллов, 3) форма кристаллов, 4) взаимные отношения количеств кристаллов и стекловидного материала, 5) трещиноватость.

Химический состав. Химический состав шлака характеризуется суммой окислов элементов, входящих в состав шлака.

Определение химического состава производится обычными методами валового анализа силикатов. От каждой пробы, подлежащей испытанию, отбиваются несколько кусочков, общим весом 10—20 г. Отобранные кусочки шлака измельчают в фарфоровой, а затем агатовой ступке до тонкого, как пудра, порошка. Определение производится в лабораториях, приспособленных для химического анализа силикатов.

Химический состав шлаков определяется путем химического анализа; при этом должны быть в основном определены следующие окислы: кремниевая кислота (SiO_2), окись кальция (CaO), окись магния (MgO), окись алюминия (Al_2O_3), окись железа (Fe_2O_3), закись железа (FeO), окись марганца (MnO), сера (S), серный ангидрид (SO_2).

Кроме перечисленных окислов, для более полного анализа могут быть определены закись марганца и фосфорный

ангидрид (в томассовских шлаках). За основу может быть принят метод анализа шлака портланд-цемента $\left(\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКТП}} 320\right)$.

Удельный вес. Удельным весом шлака принято считать отношение веса высушенного при 110°C образца к занимаемому им объему без пор. От каждой пробы, подлежащей испытанию, отбиваются несколько кусочков общим весом до 200 г. Отобранные кусочки шлака измельчаются сначала в стальной, а затем в фарфоровой ступке до тонкости фракций 0,2 мм (сито 900 отверстий на 1 см^2). Определение удельного веса шлака производится двумя методами: а) определением в пикнометре (емкость пикнометра около 20 см^3), б) определением в приборе Лешателье—Кандло (полевой метод) (рис. 1).

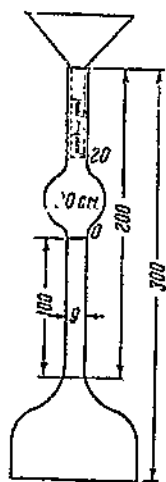


Рис. 1. Прибор Лешателье-Кандло

В пикнометре определение ведется без кипячения при комнатной нормальной температуре ($15-18^{\circ}\text{C}$). Число определений должно быть не менее двух. Навеска около 10 г. Предварительно определяют вес пикнометра с дистиллированной водой. Для этого сначала определяют вес пикнометра, высушенного в термостате при температуре $+110^{\circ}\text{C}$, затем наполняют пикнометр водой и помещают в водяную баню с температурой, слегка повышенной (на 2°) против нормальной. Через 30 минут обрывками фильтровальной бумаги отсасывают из пикнометра излишнюю воду и приводят уровень последней к черте на горле пикнометра. Вынув после этого пикнометр из ванны, его обтирают, выдерживают в течение 30 мин. в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г.

В этот же пикнометр, свободный от воды и высушенный, всыпают около 10 г средней пробы испытуемого шлака, просеянного через сито с отверстием 0,2 мм (900 отверстий на 1 см^2), затем пикнометр ставят открытым в термостат, где выдерживается 2—5 час. при температуре $+110^{\circ}\text{C}$ до постоянного веса, после чего охлаждается в эксикаторе в течение 30 мин. и взвешивается.

Далее пикнометр с навеской выдерживается под вакуумом 5—10 мин., сначала с навеской, немного смоченной водой, затем наполненный на $\frac{2}{3}$ объема пикнометра.

Уровень воды приводят к черте на горле пикнометра после выдерживания в водяной ванне в течение 30 мин., затем пикнометр вынимают, выдерживают в продолжение 30 мин. в эксикаторе и взвешивают.

В приборе Лешателье—Кандло определение ведется при комнатной температуре. Число определений должно быть не менее двух. Навеска 90—100 г. Прибор помещают в стеклянную ванну с водой так, чтобы вся градуированная часть прибора была погружена в воду. Во избежание всплывания прибор закрепляют в специальном штативе. Необходимо наблюдать, чтобы как при первом, так и при втором отсчетах температура воды в сосуде была одна и та же. Прибор наполняется водой (при кислых шлаках) или тяжелым безводным бензином, керосином (при сильно основных шлаках) до нижней нулевой черты, что устанавливается по нижнему мениску, после чего свободная от жидкости часть прибора (выше нулевой черты) тщательно протирается тампоном из фильтровальной бумаги. Отвешивают с точностью до 0,01 г 90—100 г тонко измолотого шлака, просеянного через сито с отверстиями 0,2 мм (900 отверстий на 1 см²) и предварительно высушенного в течение 1 часа при 110° С и затем охлажденного в эксикаторе. Через воронку прибора совочком или ложечкой всыпают шлаковый порошок небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не поднимется до черты с делением 20 см³ или с любым другим делением в пределах градуированной части прибора. В случае образования пробок в приборе их проталкивают тонкой проволокой. При втором отсчете рекомендуется повернуть несколько раз прибор вокруг его вертикальной оси для удаления пузырьков воздуха. Остаток шлака после испытания взвешивают. Разность между обоими взвешиваниями, определяющая количество всыпанного в прибор шлака, деленная на величину вытесненного объема жидкости, выражает удельный вес шлака.

Вычисление удельного веса в пикнометре производится по формуле:

$$D_t = \frac{md_t}{m + P_t - P_m},$$

где:

D_t — удельный вес средней пробы,

m — вес навески в г,

P_t — вес пикнометра с водой при температуре измерения,

P_m — вес пикнометра с водой и навеской при температуре измерения,

d_t — удельный вес воды.

Расхождение между результатами отдельных определений по обем навескам не должно превышать 0,005; в противном случае испытание производится повторно, для чего берутся новые две навески из того же порошка. Результатом испытания образца считается среднее арифметическое из обеих навесок.

Вычисление удельного веса в приборе Лешателье — Кандло производится по формуле:

$$D_t = \frac{m - m_1}{d},$$

где:

D_t — удельный вес шлака,

m — вес взятой навески,

m_1 — остаток после испытания,

d — объем вытесненной жидкости.

Удельный вес определяется как среднее из двух опытов: точность определения до 0,02.

Объемный вес, водопоглощение и пористость. Объемным весом шлака в куске называется отношение веса высушенного до постоянного веса при 110° С образца к занимаемому им объему, включая поры. Водопоглощением называется выраженное в процентах отношение веса поглощенной образцом воды к его весу в сухом состоянии при атмосферном давлении. Пористостью называется сумма всех пор, выраженных в процентах к общему объему образца.

Определение объемного веса и пористости для брусчатки производится на трех образцах правильной формы — кубиках или цилиндрах, изготовленных при помощи резательной пилы (или буровой машины) и шлифовального станка, а для щебня — на пяти образцах неправильной формы. Размеры образца устанавливаются следующие: кубики 4 × 4 × 4 см или 5 × 5 × 5 см, цилиндры диаметром и высотой 5 см; щебень должен проходить через кольцо диаметром 6 см и задерживаться на кольце диаметром 5 см. Определение объемного веса щебня в рыхлом состоянии производится на фракциях крупностью от 30 до 60 мм. Объемный вес определяется при помощи гидростатических или технических весов на 1 кг и штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. Объемный вес в рыхлом состоянии определяется при помощи железного цилиндрического сосуда емкостью 5—10 л и чашечных весов на 10—20 кг.

Определение объемного веса на образцах правильной формы. Изготовленные образцы изменяются штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, и вычисляется объем $[V]$. После измерения образцы высушиваются при температуре 105—110° С до постоянного веса P ; высушенные и охлажденные до нормальной температуры образцы взвешиваются на технических весах с точностью до 0,1 г.

Определение объемного веса на образцах неправильной формы. Отобранные щебенки очищаются щеткой от пыли и мелких осколков и высушиваются при 110°С до постоянного

веса P . Высушенные и охлажденные щебенки (по отдельности каждая) взвешиваются на технических весах с точностью до 0,1 г.

Объем образца определяется по объему вытесненной воды (V), для чего образец насыщают водой и взвешивают в воздухе, и в воде на гидростатических весах (рис. 2). Насыщение водой

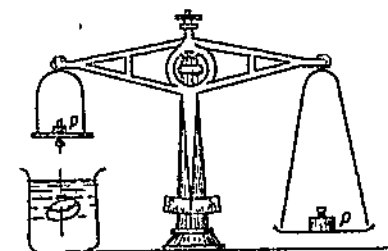


Рис. 2. Гидростатические веса

образца производится постепенным заливанием водой (см. «Водопоглощение»). Для взвешивания насыщенного водой образца под водой имеется прикрепленная к короткой чашке весов петелька или сетка из тонкой проволоки. Для экономии времени полезно поставить предварительно на весы гири в количестве, необходимом для уравновешивания сухого образца (вес P), и добавить к ним гири, показывающие вес поглощенной образцом воды (P_1), а при взвешивании образца под водой, не снимая ранее установленных гирь, поставить гири на короткой чашке (вес P_2). Во время взвешивания необходимо следить, чтобы под образцом не было пузырьков воздуха.

Для шлаков, не стабильных в отношении известкового и железного распада, и шлаков с крупными порами (пенообразных) применяется вместо насыщения образца водой парафинирование его с поверхности. В этом случае высушенный при 110° С до постоянного веса (P) и предварительно взвешенный образец помещается на короткое время в расплавленный парафин, в результате чего на его поверхности образуется тонкая сплошная корка из парафина, препятствующая проникновению жидкости в поры образца. При этом необходимо следить, чтобы на парафиновой пленке не

осталось открытых пор. Вторичное взвешивание образца после погружения в парафин определяет его вес (P_1) вместе с парафином. При погружении в воду определяется объем образца с парафином (V_1). Объем парафина может быть вычислен по его удельному весу (0,93).

Определение объемного веса гидростатическим методом можно производить также на обычных технических весах, для чего проволоку для укрепления подвешивают к сережке коромысла, не снимая чашек весов. Весы в таком виде уравниваются. Сосуд с водой ставится на кольцо, зажатое в штатив.

Полевой метод. На тарелке 5—10-килограммовых чашечных весов уравнивают сосуд емкостью 1—2 л с налитой в него до половины высоты водой. В воду опускают на проволоке кусок шлака большого объема, весом около 1 кг (или несколько щебенки, связанных между собой), до его полного погружения, не допуская при этом соприкосновения образца с дном сосуда, после чего весы вновь уравнивают. Вес гирь, добавленных для уравнивания весов после погружения каждого образца (выраженный в граммах), соответствует объему образца в куб. сантиметрах.

Определение объемного веса щебня в рыхлом состоянии. Испытуемый щебень фракций от 30 до 60 мм высушивают сначала на воздухе, а потом при 110°C до постоянного веса и насыпают совком в мерный сосуд (емкостью 5—10 л) до образования над верхом цилиндра конуса. Избыток щебня снимают линейкой, после чего цилиндр с щебнем взвешивают.

Определение водопоглощения. Образцы шлака правильной или неправильной формы, высушенные при 110°C до постоянного веса (P), взвешиваются и погружаются в воду. Сначала заливают водой до $\frac{1}{4}$ высоты, затем по истечении часа уровень воды повышают до $\frac{1}{2}$ высоты и по истечении второго часа до $\frac{3}{4}$ высоты. По истечении 22 час. пробные образцы погружают в воду полностью. Рекомендуется производить взвешивание с начала погружения через 1, 2, 22 и 48 час. и т. д. до тех пор, пока образец не приобретает постоянного веса (P_1). Такое взвешивание образца характеризует интенсивность водопоглощения. При определении веса образца, насыщенного водой, поверхность последнего вытирают увлажненным полотенцем.

Вычисление результатов испытания производится по следующим формулам.

Для объемного веса:

$$R = \frac{P}{V} \text{ с точностью до } 0,01 \text{ г/см}^3,$$

где:

R — объемный вес г/см³,

P — первоначальный вес образца г,

V — объем образца см³.

При гидростатическом взвешивании V численно равно P_2 (потеря веса образца в воде).

При парафинировании:

$$V = P_2 - \frac{P_1 - P}{0,93},$$

где:

$\frac{P_1 - P}{0,93}$ — объем парафина, приставшего к образцу.

Для водопоглощения:

$$W = \frac{P_1 - P}{P} \cdot 100\% \text{ с точностью до } 0,1\%.$$

Для пористости:

$$A = \frac{D_t - R}{D_t} \cdot 100\% \text{ с точностью до } 0,1\%.$$

где: D_t — удельный вес.

Гранулометрия. Гранулометрическим составом шлака называется соотношение в нем зерен различной крупности. Гранулометрический состав характеризуется «частными» остатками (в процентах по весу на каждом сите) или же «полными» остатками. Средняя проба шлака, взятого из отвала, или проба щебня, песка и заполнителя, взятая из штабеля или бункера, подвергается сушке сначала на воздухе, а затем в сушильном шкафу при 110°С до постоянного веса.

Для определения гранулометрического состава щебня, песка и заполнителя применяются сита с отверстиями различной величины, в зависимости от назначения шлака. Для просеивания берется средняя проба весом для щебня 10 кг, для песка 1 кг и для заполнителя 100 г. Просеивание пробы, взятой из отвала, производится на полном наборе сит; при этом проба просеивается через все сита, начиная с самого крупного и кончая самым мелким. Пробы, взятые из штабеля или бункера, просеиваются: песок и заполнитель — на малых ситах (5 мм и ниже), щебень — на ситах крупнее

5 мм. Остатки, полученные на ситах, взвешиваются отдельно со следующей точностью: щебень — до 5 г, песок — до 0,5 г и заполнитель — до 0,1 г. Для заполнителя просеивание считается законченным, когда в течение 1 мин. через сито проходит не более 0,1 г шлака. Просеивание производят для каждой пробы дважды. Гранулометрический состав определяется как среднее из двух просеиваний.

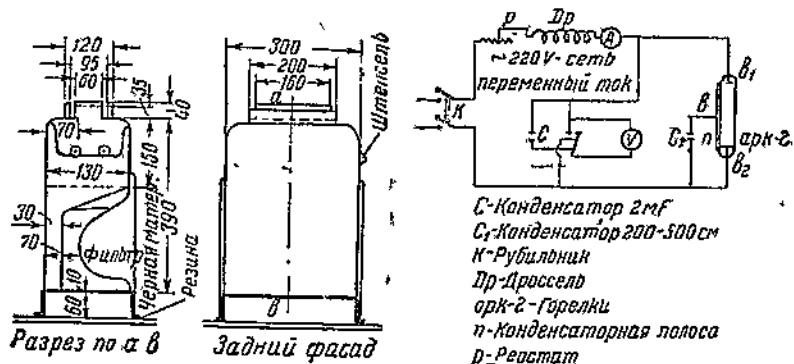


Рис. 3. Монтаж кварцевой лампы

Стабильность. Под стабильностью понимается способность шлаков не подвергаться известковому и железному распаду. Подготавливается щебень со свежим изломом, размером 30—60 мм, тщательно очищенный от пыли и грязи, в количестве 5—10 кг.

Для определения стабильности шлаков пользуются кварцевой ртутной лампой. Свет ее пропускают через черный фильтр (кварцевое стекло, покрытое окисью никеля). Шлак под влиянием фильтрованных ультрафиолетовых лучей дает более ясную флуоресценцию различных цветов и оттенков. Наблюдения за флуоресценцией производятся в комнате, изолированной от дневного света. В качестве источника света можно использовать кварцевую горелку переменного тока (типа АРК-2, электрозавода им. Куйбышева). Никелевые фильтры для ультрафиолетовых лучей изготавливает Государственный оптический институт в Ленинграде. Монтаж лампы может быть осуществлен по схеме, представленной на рис. 3.

Установка кварцевой лампы должна иметь следующий режим: 1) напряжение питания — 200 V переменного тока; напряжение ниже 200 V не допускается; 2) пусковой ток — 6 А; 3) установившийся ток через 10—15 мин. через включения — 3,5—4 А, напряжение на лампе 120 ± 6 V.

Стабильность можно также определять в автоклаве лабораторного типа с давлением 1,5—2 атм.

Испытание кварцевой лампой. Несколько кусков шлака освещаются ультрафиолетовыми лучами кварцевой лампы. При этом необходимо: 1) укладывать образец шлака на черный матовый картон, 2) производить наблюдения в ультрафиолетовом свете только после того, как лампа проявит свою полную мощность, т. е. через 20—30 мин.; наблюдения флуоресценции проводить через очки с синими стеклами.

Устойчивый по отношению к известковому распаду шлак в ультрафиолетовом свете дает однообразное темнофиолетовое или темнокоричневое, реже светлофиолетовое, свечение. Шлаки, подверженные известковому распаду, распознаются (на свежей поверхности размола) по наличию многочисленных, иногда соединенных в гнезда, бело-желтых и светло-желтых (до цвета бронзы) призрающих пятен и точек большей или меньшей величины на светлофиолетовом, реже на темнофиолетовом, фоне.

Испытание в автоклаве. Куски шлакового щебня в количестве 5 кг пересчитываются и помещаются в автоклав на металлическую решетку. В автоклаве шлак подвергается действию пара с давлением от 1,5 до 2 атм. в течение 6 час., после чего извлекается из автоклава и медленно охлаждается при нормальной температуре; после охлаждения каждая щебенка тщательно осматривается: нет ли внешних признаков изменения и разрушения. Образцы подвергаются двукратному пропариванию и охлаждению. Количество разрушившихся щебенки устанавливает процент неустойчивого шлака в общей массе.

Полевой метод. Около 100 шлаковых щебенки кипятят в воде по 6 час. трехкратно. Шлак признается устойчивым, если после испытания количество распавшихся щебенки не превысит 2%.

Железистый распад. Десять кусков шлака кладут в воду на 1—2 дня, после чего наблюдают, не происходит ли распад образцов.

Водоустойчивость. Под водоустойчивостью понимается растворимость порошкообразных шлаков в воде. Водоустойчивость шлаков служит ориентировочным показателем их основности. От каждой пробы, подлежащей испытанию, отбиваются несколько кусков общим весом 30 г. Отобранные куски шлака измельчаются в фарфоровой ступке до крупности фракций, проходящих через сито 0,20 мм и задерживающихся на сите 0,15 мм.

Навеска шлака для исследования берется на аналитических весах. Растворение производится в химическом стакане емкостью 500 см³. Шлаки, измельченные до крупности зерна 0,15—0,20 мм, отмываются декантацией (промывка водой) от приставшей шлаковой пыли и просушиваются при 100—110° С до постоянного веса. Затем берется навеска в 3 г высушенного шлака, помещается в стакан емкостью 500 см³ и заливается дистиллированной водой из расчета 100 см³ на 1 г шлака. Первоначальный объем жидкости отмечается на стакане, который затем накрывается стеклом и помещается на кипящую водяную баню. Стакан с навеской и водой выдерживается при частом перемешивании на кипящей водяной бане в течение 10 час. (объем жидкости в стакане все время поддерживается постоянным), после чего получившийся водяной раствор шлака быстро отфильтровывается и пять раз отмывается декантацией и на фильтре от оставшегося шлака. Фильтрат выпаривается досуха во взвешенной платиновой чашке, просушивается в термостате при 110—120° С и взвешивается. Количество шлака, перешедшего в раствор, определяется в процентах по отношению к первоначальной навеске шлака.

Расчет результатов определения. Растворимость шлака определяется по формуле:

$$n = \frac{A_1}{A} 100\%,$$

где A — взятая навеска,

A_1 — количество растворившегося шлака.

Таблица 24

Группа	Водоустойчивость шлака	Тип шлака	Модуль основности шлака	Раствори- мость шлака в воде при 10-часовом кипячении в %
			$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$	
1	Водоустойчивые	Кислые	$< 0,6$	< 1
2	Средней водоустойчивости	Кислые и близкие к нейтральным ¹	от 0,6 до 0,8	от 1 до 1,5
3	Маловодоустойчивые	Основные и близкие к ним нейтральные	от 0,8 до 1,5	от 1,5 до 4

¹ Мартеновские шлаки могут иметь более высокую основность (от 1 до 2).

Для характеристики водоустойчивости шлаков приводится таблица их растворимости (см. табл. 24).

Морозостойкость. Морозостойкостью шлаковых материалов называется способность их сопротивляться без разрушения повторным температурным колебаниям. Для определения морозостойкости образцы из нее изготавливаются образцы правильной формы стандартных размеров (см. «Определение временного сопротивления сжатию»). Для определения морозостойкости щебня обычно берется 5 и 10 кусков фракции 3—6 мм. Более правильная оценка морозостойкости щебня получается при испытании большего количества щебенки так, чтобы их можно было испытать на износ в барабане Деваля или в полевом барабане Шильникова (см. «Испытание на износ»). Испытание на морозостойкость может производиться в морозном ящике любой конструкции, позволяющей получить температуру -20°C . Подготовленные образцы подвергаются очистке, освобождаются жесткими щетками от рыхлых частиц и взвешиваются. Затем образцы помещаются в воду и хранятся там до приобретения ими постоянного веса (водопоглощения), после чего укладываются в холодильную камеру так, чтобы каждый образец имел одинаковые условия охлаждения. Образец подвергается 15-кратному замораживанию, а для районов с резким континентальным климатом и низкими температурами — 25-кратному замораживанию при температуре -15°C . Образцы при каждом замораживании должны находиться в морозном ящике менее 4 час, в том числе при постоянной температуре -15°C не менее 2 час. При этом колебание температуры допускается в пределах $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Оттаивание образцов производится в течение не менее 2 час. Перед каждым новым замораживанием образцы должны взвешиваться и подвергаться исследованию в части появления следов разрушения. По окончании опыта отфильтровыванием воды через фильтр определяется вес оттаявших частиц. При большом количестве щебенки производится испытание на износ в барабане. Износ шлакового щебня после испытания на морозоустойчивость сравнивается с износом того же шлака, не испытанного на морозе. Образцы правильной формы после замораживания испытываются на временное сопротивление сжатию.

При испытании на морозоустойчивость надо определить:

- 1) вес насыщенных водой пробных образцов до испытания,
- 2) вес насыщенных водой образцов после испытания,
- 3) данные освидетельствования пробных образцов после испытания

на замораживание, 4) вес отпавших частиц, приведенных к весу сухого материала, 5) понижение сопротивления сжатию или износ после испытания на морозостойкость.

Механическая прочность. Временным сопротивлением сжатию шлака называется предельное сопротивление образца сжимающим усилиям. Определение сопротивления сжатию шлака производится на образцах правильной формы — кубиках или цилиндрах, изготовленных при помощи резательной пилы (или буровой машины) и шлифовального станка. Размеры образца устанавливаются следующие: кубики $4 \times 4 \times 4$ см или $5 \times 5 \times 5$ см или цилиндры диаметром и высотой 5 см. Грани образца, на которые производится давление, тщательно отшлифовываются. При испытании шлаковой брусчатки с водопоглощаемостью выше 1,5% изготавливаются шесть образцов, из которых три испытываются в воздушно-сухом состоянии и три — на морозостойкость. Из каждой брусчатки (проба в три образца) берутся два образца. Для испытания шлака с водопоглощаемостью менее 1,5% берутся три образца, по одному из каждой брусчатки.

Для испытания применяется гидравлический пресс, обеспечивающий: а) получение давлений, достаточных для раздавливания кубиков стандартного размера из испытываемого шлака; применяются прессы 60—100 т; б) равномерно плавный подъем давления со скоростью около 15—20 кг на 1 см^2 поперечного сечения образца в секунду; в) отсчет давления с точностью не менее 2% определяемой величины временного сопротивления сжатию.

Измерение объема образца производится штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Изготовленный и высушенный при 110°C до постоянного веса образец — кубик — устанавливается в центре нижней плиты прессы. После установки кубика приступают к опусканию верхней плиты прессы. Необходимо при этом следить за тем, чтобы образец не был смещен. После того как образец будет плотно зажат между обеими плитами прессы, приступают к испытанию, тщательно наблюдая за равномерностью и постепенностью возрастания давления. Окончанием испытания считается момент, когда стрелка манометра при увеличивающемся давлении начинает возвращаться обратно. Следует также отметить усилия, при которых появляются первые трещины, характеризующие начало разрушения. Результаты испытания выражаются в целых кг/см^2 и получаются делением максимального груза в кг на площадь сечения образца в см^2 .

временное сопротивление вычисляется по формуле:

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{F} \text{ кг/см}^2,$$

где: $P_{\max}$ — разрушающий груз в кг,
 F — площадь поперечного сечения в см².

Временное сопротивление удару есть предельное сопротивление образца динамическим воздействиям. Образцы для определения сопротивления удару изготавливаются высверливанием буровым станком при помощи алмазной и суррогатно-алмазной коронки. Высверливание производится перпендикулярно лицевой стороне брусчатки. Торцы высверленных цилиндров тщательно отшлифовываются на шлифовальном станке. Испытание производится на образцах диаметром и высотой 25 мм.

Для образца допускаются отклонения в размерах не более $\pm 0,5$ мм по высоте и диаметру. Испытание производится на копке Педжа. Изготовленные образцы, высушенные при 110°C до постоянного веса, устанавливаются на наковальне прибора. На образец становится подбавок с шаровой поверхностью весом 1 кг, центрируемой над образцом. Удар производится падающей бабой весом 2 кг с высоты 1 см, затем 2 см, 3 см и т. д. Коэффициентом сопротивления на удар является порядковый номер удара, при котором образец разрушился. В зависимости от полученных результатов шлаки подразделяются на: 1) очень вязкие — > 10 , 2) средние — от 5 до 10, 3) низкой вязкости — < 5 .

Под сопротивлением щебня давлению штампа понимается способность его противостоять раздроблению и откалыванию кромок у углов. Для испытания готовится щебень с размером зерен от 30 до 60 мм из равных весовых частей фракций 30—40, 40—50 и 50—60 мм в количестве 15 кг. Для определения сопротивляемости щебня давлению штампа применяется цилиндрический сосуд с внутренним диаметром 170 мм (рис. 4), высотой 150 мм и обычный гидравлический пресс не менее 50 т. Из подготовленного воздушно-сухого щебня отбирается средняя проба в 3 кг, помещается в стальной цилиндр вышеуказанной формы и слегка встряхивается. Сверху щебень покрывается сталь-

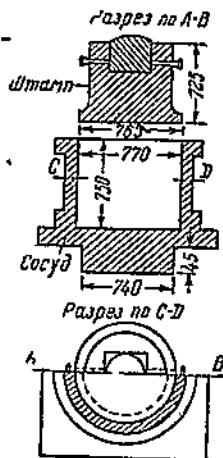


Рис. 4. Цилиндр для испытания щебня

ным штампом и подвергается на прессе давлению до 40 т. Сейчас же по достижении предельного давления нагрузка снимается. После этого материал просеивается через сито с отверстиями в 10 мм, и потеря веса, т. е. мелочь, прошедшая через сито, определяется в процентах к первоначальному весу.

Потеря веса в процентах определяется по формуле:

$$n = \frac{A - a}{A} 100\%,$$

где: A — вес пробы до испытания (3 кг),

a — вес пробы после просеивания,

n — потеря в весе в %.

Показателем служит среднее из трех определений.

В случае значительных расхождений результатов отдельных определений число последних увеличивается до пяти раз. Для прочных шлаков потеря в весе после испытания не должна превышать 35—40%.

Износ. Под износом шлакового щебня понимается степень скалывания кромок и истирания щебенки друг о друга.

Испытание на износ производится: а) в барабане Девалья, б) в полевом барабане Шильникова.

Лабораторные испытания в барабане Девалья. Для определения износа в барабан Девалья набивается щебень, проходящий через кольцо диаметром в свету 60 мм и задерживающийся на кольце диаметром в 50 мм. Из приготовленного щебня отбираются щебенки, весом каждая примерно 100 г, с тем, чтобы общий вес щебеночной пробы несколько превышал 5000 г. Отобранный щебень тщательно промывают и помещают в сушильный шкаф, где выдерживают при температуре 110° С до постоянного веса, после чего выбирают около 40—50 щебенки весом 5000 г (с точностью до 10 г), загружают в барабан и пускают его в действие. После 10 000 оборотов барабан останавливают, выбирают по счету крупные щебенки, мелочь же просеивают через сито с отверстиями в 1,5—2 мм. Остаток на сите и выбранные крупные щебенки вновь промывают, высушивают в шкафу при температуре 105° С до постоянного веса и после охлаждения взвешивают. Разность между первоначальным весом пробы и весом после испытания, отнесенная к весу пробы, в процентах определяет износ щебня.

Полевые испытания в барабане Шильникова. Барабан Шильникова (рис. 5) состоит из полого цилиндра

с внутренним диаметром 125 мм, наружным диаметром 130 мм и длиной 640 мм, с обеих сторон закрывающегося плоскими, плотно пригнанными крышками толщиной 20 мм, укрепленными на болтах. Барабан установлен на подшипниках, укрепленных на деревянной станине.

Для вращения барабана на крышках имеются рукоятки. При приборе имеются шесть шарикоподшипниковых стальных шаров диаметром от 48 до 50 мм. Барабан при работе устанавливается строго вертикально. Полуоси должны находиться на одной горизонтальной линии и легко вращаться в подшипниках. Крышки должны быть всегда плотно привинчены к барабану во избежание пропуска пыли. Стенки цилиндра должны быть идеально гладкими и при этом содержаться в чистоте. При перевозке выступающие части прибора (полуоси, подшипники и ручки) могут сниматься и упаковываться внутрь цилиндра.

Для определения износа в барабане Шильникова отбирается щебень при помощи мерных колец диаметром от 30 до 40 мм, в количестве 1,5 кг для одного испытания. Отобранный щебень высушивается в сушильном шкафу при температуре 105—110° С до постоянного веса, после чего отбирается проба весом 1,5 кг, но не более 40 щебенки, и загружается в барабан в два приема. Сначала загружается половина взятой пробы, сверху укладываются шесть шаров, после чего засыпается остальная часть пробы. Далее процесс испытания производится таким образом: барабан из обычного (вертикального) положения резким движением (рывком) поворачивается за рукоятки на 180° и обратным поворотом возвращается в прежнее положение, что принимается за два оборота. После ста поворотов испытание заканчивается, проба вынимается и просеивается через сито с отверстиями 15 мм (вместо сит иногда пользуются мерным кольцом диаметром 15 мм); разность между первоначальным весом пробы и весом остатка на сите, отнесенная к первоначальному весу образца, определяет процент износа щебня.

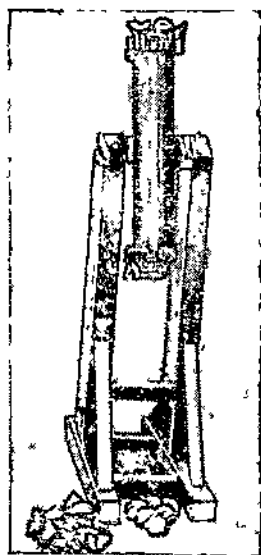


Рис. 5. Барабан Шильникова

Потеря веса определяется по формуле:

$$n = \frac{A - a}{A} 100 \%,$$

где:

A — вес пробы до испытания (5000 г или 1500 г),

a — вес пробы после испытания,

n — потеря в весе в %.

В случае получения разницы при испытании проб: а) в барабане Деваля свыше 2,5% и б) в барабане Шильникова свыше 1,5% производится третье контрольное испытание. Ниже приводится таблица, характеризующая износ материала в барабанах.

Таблица 25

Класс материала	Характеристика	По данным исследования	Для сравнения приводятся данные из Т.У. Гушосдора
		износ в полевом барабане, в %	износ в барабане Деваля, в %
I	Прочный материал	< 3,5	< 4—5
II	Средний материал	3,5—6,0	6—7
III	Материал низкой прочности	6,0—8,0	8—15
IV	Материал очень низкой прочности	> 8,0	не установлен

Истираемость. Для испытания брусчатки на круге Дорри из каждого образца, выверливается по одному цилиндру диаметром 25 мм и высотой около 100 мм. Истиранию подвергается лицевая сторона брусчатки. В тех случаях, когда круга Дорри не имеется, испытание ведется на круге Баушингера, изготовляют образцы 7 × 7 × 7 см или 5 × 5 × 5 см.

Истирание производится на круге Дорри и при нагрузке, прижимающей образец к диску при помощи пружины и равной 1,25 кг на полную площадь образца. Испытание на круге Баушингера производится с нагрузкой 0,6 кг/см².

Испытание на круге Дорри. Одновременно испытываются на круге два образца, предварительно высушенные при 110° С до постоянного веса. Диску сообщается вращательное движение со скоростью 20 об/мин. В течение всего времени испытания на круг подсыпается из воронок

кварцевый песок крупностью 0,50—0,36 мм из расчета 7,5 кг на каждое испытание. После 1000 оборотов образцы взвешиваются на технических весах с точностью до 0,01 г.

Испытание на круге Баушингера (рис. 6). Изготовленные образцы (7×7×7 см или 5×5×5 см) предварительно высушиваются в сушильном шкафу при 110° С до постоянного веса и взвешиваются на технических весах с точностью до 0,1 г. Затем образец зажимается в обойму (гнездо) и с ней взвешивается. Гнездо с образцом устанавливается под площадку движка на расстоянии 22 см от центра вращения диска и при помощи рычага и груза

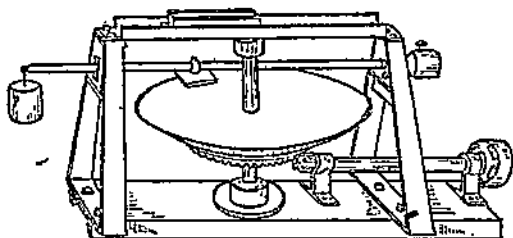


Рис. 6. Круг Баушингера

прижимается к диску с силой 0,6 кг/см². Перед установкой гнезда с образцом вес рычага уравнивается противовесом. Во время испытания на диск равномерно сыпается истирающий материал — корунд — размерами зерен от 0,25 до 0,5 мм, в количестве 20 г на каждые 22 оборота. Изношенный материал удаляется с диска — при помощи волосяных щеток. После 110 оборотов круга, что соответствует 5-кратной подсыпке корунда, образец вынимается из обоймы, очищается от приставшего корунда и взвешивается. Затем образец снова устанавливается, но с поворотом его на 90° в горизонтальной плоскости. Далее такая же операция производится еще 3 раза, с тем, чтобы полное число оборотов круга было 440, что соответствует пробегу 680 м.

В лабораториях при оценке строительных материалов на истирание пользуются сопоставлением величины истирания с величинами истирания эталона. За эталон принимают кварцевый материал, который зарекомендовал себя в покрывных в качестве брусчатки.

Потерю в весе шлака при испытании на круге определяют коэффициентом износа по формуле:

$$K = 20 - a'3,$$

где: κ — коэффициент, характеризующий сопротивление камня истиранию,

α — потеря в весе при истирании в г.

Истираемость на круге Баушингера шлака характеризуется:

потерей веса образца, отнесенного к площади истирания, по формуле:

$$g = \frac{D - D_1}{F},$$

где:

D — вес образца до истирания в г,

D_1 — вес образца после истирания в г,

F — площадь образца;

или потерей объема образца, численно выражающегося по формуле:

$$V = \frac{D - D_1}{dF}$$

где: d — объемный вес образца в г/см³.

Активность. Активные свойства шлака определяются временным сопротивлением пробуждаемого бетона сжатого гидравлическими свойствами и набуханием в воде.

Кубиковая прочность пробужденного бетона. Средняя проба испытываемого шлака высушивается при 110° С до постоянного веса и затем размалывается в лаборатории шаровой мельницей в барабане Деваля шестью шарами до тонкости помола в пределах следующего гранулометрического состава:

Остаток на сите 0,2 мм (900 отв/см ²) до крупности песка, в %	Остаток на сите 0,088 мм (4900 отв/см ²) в %	Прошло через сито 0,088 мм (4900 отв/см ²) в %
50	15	35

Измолотый шлак до его использования во избежание поглощения влаги из воздуха хранится в стеклянных закрытых банках или ящиках. Количество высушенного и измолотого шлака для каждого испытания должно быть не менее 40 кг. В качестве активизаторов применяется CaO, CaCl₂, растворимое стекло и др. Образцы готовятся в железных разборных формах, принятых для цемента: 7,07 × 7,07 × 7,07 см. Уплотнение массы в формах производится на копке Клебе (рис. 7). Для взятия контрольных кубиков в процессе укладки пробужденного бетона в покрытие применяются формы 20 × 20 ×

12 × 20 см и трамбовка весом 12 кг с площадью 12 × 12 см. Для получения временного сопротивления активизированного (пробужденного) шлака должны быть изготовлены пробные смеси из шлака и активизаторов примерно в следующих составах и пропорциях (табл. 26).

Приготовленный порошкообразный шлак с активизаторами и водой в нужных соотношениях смешивают в барабане Девала с шестью шарами в течение 30 мин., после чего активизированный шлак переносится в хорошо закрывающуюся посуду. Из каждой смеси изготавливаются кубики 7,07 × 7,07 × 7,07 см. Для определения временного сопротивления сжатию должно быть приготовлено пятнадцать кубиков, из которых три испытываются через 7 суток; шесть — через 28 суток и шесть — через 3 месяца. Готовую смесь распределяют в формы, отвешивая для каждого кубика около 800—900 г. Трамбование производится на цементном копре Клебе с затратой

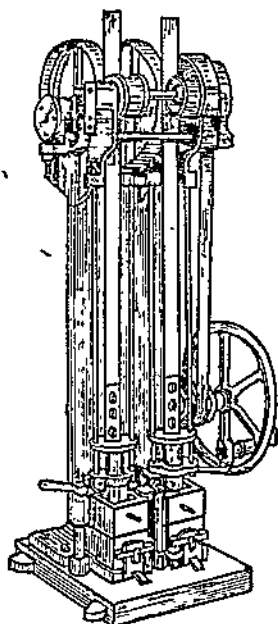


Рис. 7. Копер Клебе

Таблица 26

Род шлака	В % от веса сухого шлака	
	Активизаторы	Воды ориентировочно для получения землесто-влажной массы
Доменный кусковой коксовой плавки	а) Без добавки б) 2% цемента + 2% CaCl_2 в) 3—5% извести	10—15
Доменный кусковой древесноугольной плавки	а) 2% цемента + 5% извести б) 5% извести в) 5% извести + 5% жидкого стекла	—
Доменный гранулированной коксовой плавки	а) Без добавки б) 5% извести в) 3% цемента + 1—3% CaCl_2	Количество воды может быть повышено

работы в количестве 1 кг/м на 10 г. сухой смеси. Вес бабы должен быть 3 кг, высота падения 0,5 м (при этих условиях требуется 53 удара). Изготовленные кубики в формах первые сутки хранятся на стеклянных пластинках в закрытом шкафу, в котором в открытых сосудах находится вода в достаточном количестве. Через 24 часа с момента изготовления кубики освобождают из форм, нумеруют и оставляют храниться на 6 дней в том же шкафу. По истечении 7 суток со дня изготовления испытываются первые 3 образца. Из оставшихся 12 образцов 6 образцов перено-

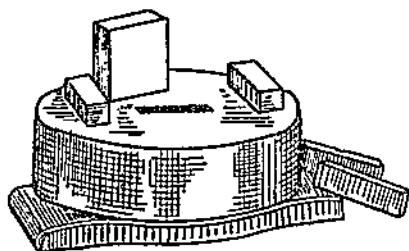


Рис. 8. Формочки для призм

сятся в воду и 6 оставляются на воздухе. Через 28 дней испытываются 6 образцов, из них 3—хранившиеся в воде и 3—хранившиеся на воздухе.

Оставшиеся 6 образцов хранятся до 3-месячного возраста, после чего испытываются. Критерием прочности считается временное сопротивление сжатию 28-дневных образцов, хранив-

шихся 7 дней во влажном пространстве и 21 день на воздухе. Контрольные кубики $20 \times 20 \times 20$ см изготавливаются с уплотнением в два слоя трамбовкой весом 12 кг (свободное падение) из расчета 36 ударов с высоты 10 см на каждый слой, при условиях хранения, аналогичных пробужденному бетону в покрытии. Для получения среднего значения временного сопротивления сжатию берется среднее арифметическое из двух наибольших результатов.

Гидравлические свойства. Под гидравлическими свойствами шлака понимается способность его твердеть (быть прочным) не только на воздухе, но и в воде. Средняя проба шлака размалывается в шаровой мельнице лабораторного типа до тонкости фракций, проходящих полностью через сито с отверстиями 0,088 мм (4900 отверстий на 1 см²) и дающих на сите с отверстиями 0,060 мм (10 000 отверстий на 1 см²) остаток не выше 10%. Для изготовления образцов применяются маленькие формочки (рис. 8), позволяющие изготовить кубики с поверхностями в 2 см² или призмочки шириной в 1 см и длиной 3 см. Для уплотнения массы в формах применяются прессы мощностью не выше 3 т.

Для испытания на изгиб (малых образцов — балочек) при-

меняется специальный аппарат Кюля. Из подготовленного тонко размолотого шлака готовятся образцы как из чистых шлаков, так и из активизированных, путем прессования под давлением 100 кг/см^2 . Добавка воды всегда берется $10-11\%$. Изготовленные образцы разделяются на две группы.

Образцы первой группы оставляются во влажном пространстве и через 7 и 28 дней испытываются на временное сопротивление сжатию и изгибу на приборе Кюля. Испытание на изгиб и сжатие производится следующим образом.

На изгиб. Испытываемая призма вставляется в гнездо аппарата, сверху на нее надевается подвижное гнездо, находящееся на конце рычага. Нагрузка производится посредством насыпания дроби в ведро, повешенное на другой конец рычага. В момент, когда происходит излом, ведро падает и прекращает подачу дробы. Вес ведра с дробью должен быть умножен на 10.

На сжатие. Испытание кубиков происходит таким образом, что сначала кубик ставят на плиту пресса, затем на кубик накладывается пластинка с шаровым шарниром. Шарнирное приспособление дает возможность избежать бокового скалывания образца (рис. 9).

Размокание в воде образцы второй группы выдерживаются в течение суток во влажном пространстве, после чего из них берется один пробный кубик и опускается в воду. Если в воде он размокает, то все остальные кубики оставляются во влажном пространстве до тех пор, пока взятый из них пробный кубик не приобретает устойчивости в воде. Тогда остальные кубики и балочки, подлежащие испытанию, помещаются в воду и хранятся в ней до момента испытания. Количество дней, необходимых для выдерживания образцов из шлакового теста во влажном пространстве для приобретения им устойчивости в воде, является характеристикой гидравлического свойства шлакового теста.

Прочности, получаемые при испытаниях малых образцов как на разрыв, так и на раздавливание, не могут быть равны прочностям, получаемым при испытании нормальных (стандартных) образцов. Прочности, получаемые на малых образцах (по указанию Кюля), ниже получаемых при нормальных испытаниях. Поскольку нет критерия оценки прочности шлакового теста для пробужденного бетона в малых образцах,

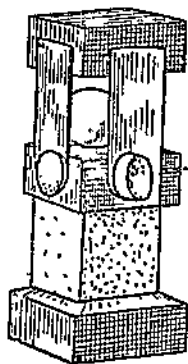


Рис. 9. Шарнирное приспособление для испытания маленьких кубиков

необходимо полученные при испытаниях данные сравнивать с прочностью какого-нибудь эталона. В качестве эталона можно принять цемент марки 200, испытанный на малых образцах в аналогичных условиях. Гидравлические свойства, характеризующиеся количеством дней, необходимых для выдерживания образца из шлакового теста во влажном пространстве, приводятся в табл. 27.

Таблица 27

Гидравлические свойства шлаков	Сроки выдерживания образцов во влажном пространстве до помещения их в воду
Высокие	от 1 до 5 дней
Средние	» 5 » 10 »
Низкие	» 10 » 20 »

Набухание в воде. Набуханием называется способность порошкообразных шлаков образовывать хлопья и набухать в воде или в растворе извести; набухание шлаков служит ориентировочной характеристикой их гидравлической активности (в данной среде). Для определения степени набухания готовится проба шлака в виде порошка, прошедшего через сито с отверстиями 0,088 мм и дающего остаток на сите с отверстиями 0,060 мм не свыше 10%. Определение производится в мерных цилиндрах на 100 см³. Навеска шлака в 5 г указанной степени измельчения помещается в мерный (на 100 см³) цилиндр с притертой пробкой и уплотняется путем 10-кратного постукивания, после чего измеряется ее объем; затем шлак в цилиндре заливается дистиллированной водой до уровня 75 см и оставляется для набухания на 15 дней. Другая такая же порция шлака заливается раствором извести (5 мг СаО в 1 см³ воды). За этот период содержимое цилиндра ежедневно один раз взбалтывается. Через 15 дней определяется занимаемый шлаком объем. Увеличение объема шлака вычисляется в процентах по отношению к первоначальному объему. Схватывание шлака определяется без взбалтывания. Шлаки, обладающие вяжущими свойствами с вышеуказанным количеством воды (дистиллированной или известковой), дают твердый цементированный осадок. Увеличение объема шлака определяется по формуле:

$$H = \frac{B - A}{A} 100\%,$$

где:

A — первоначальный объем,

B — объем после набухания,

H — увеличение объема в %.

Приводим таблицу набухания шлаков (табл. 28).

Т а б л и ц а 28

Активность шлаков	Увеличение объема шлака в различных средах при набухании, в %	
	в дистиллированной воде	в известковой воде
Активные	От 50 до 130 и выше	От 400 до 1000 и выше
Средней активности .	» 10 » 50	» 100 » 400
Мало активные . . .	» 2 » 10	» 100 и ниже

**Химический состав различных металлургических шлаков
(доменных, мартеновских, ваграночных и медных)**

Род плавки и сорт выплавленного металла	Химический состав							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	CaS	TiO ₂
А. Доменные процессы								
I. Коксовая плавка								
1. Переплавный чугун								
а) мартеновский . .	34,55	14,75	43,47	1,8	0,46	0,91	3,46	—
	36,5	10,7	43,1	1,6	0,9	3,1	5,6	—
	36,5	9,3	32,6	13,7	1,5	3,6	2,1	—
	30,0	9,7	52,2	1,2	—	1,5	—	—
б) бессемеровский .	33,2	12,2	39,0	9,5	1,5	2,2	3,0	—
	35,5	9,8	47,0	4,2	0,5	0,8	2,0	—
	33,3	10,8	34,7	16,6	0,4	0,5	5,9	—
	35,2	15,2	45,1	2,0	—	0,9	—	—
в) томассовский . .	30,5	19,5	42,3	2,0	2,0	0,8	2,3	—
	32,8	12,4	39,5	4,2	1,9	3,9	4,5	—
	30,8	18,7	38,8	2,6	—	4,6	3,8	—
	37,8	8,2	36,3	12,2	0,2	1,2	3,1	—
	37,4	8,2	33,7	13,1	4,0	1,3	2,8	—
2. Литейный чугун								
	30,6	12,9	45,3	2,0	0,6	0,5	6,9	—
	31,1	15,5	35,5	12,3	0,5	0,6	5,7	—
	29,8	19,9	40,3	3,0	—	—	6,9	—
	27,9	26,7	31,4	10,3	—	—	4,0	—
	33,0	18,2	42,3	3,8	1,2	0,3	3,4	—
3. Специальный чугун								
а) ферросиликатный								
	28,8	23,2	38,3	2,0	0,6	0,8	6,2	—
	39,0	13,0	36,5	1,5	0,9	0,7	6,0	—
	19,6	27,4	43,1	1,4	—	0,2	—	—
	56,8	4,1	32,1	1,0	—	9,2	—	—
б) зеркальный . . .								
	36,1	6,5	38,1	6,6	0,3	7,9	8,8	—
	31,6	10,4	45,3	2,2	—	5,2	4,8	—
в) силикошпигель . .								
	35,6	11,1	28,0	1,1	—	19,6	—	—
г) ферромарганцевый								
	32,7	8,2	45,0	4,6	—	8,9	2,7	—
	29,9	10,1	44,5	3,1	0,5	8,8	4,6	—
	31,0	9,0	45,0	2,5	0,8	5,1	6,2	—
	29,7	8,3	34,3	2,0	—	22,3	—	1,0
д) плавка титано-магнет.								
	16,48	18,41	15,47	8,1	3,53	0,45	2,0	38,21

Род плавки и сорт выплавленного металла	Химический состав							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	CaS	TiO ₂
II. Древесноугольная плавка								
1. Передельный чугун								
а) мартеновский . .	34,3	99,8	30,9	1,0	2,4	1,6	—	—
	54,6	10,1	19,4	5,4	0,4	8,5	1,5	—
	48,1	10,5	27,5	5,6	1,6	5,5	1,2	—
б) бессемеровский .	36,5	27,2	19,7	5,9	1,2	8,9	0,6	—
	52,2	19,5	10,5	10,7	—	4,6	—	—
	42,8	15,1	16,8	11,4	—	11,9	—	—
2. Литейный чугун . .	40,3	21,6	18,1	16,3	—	2,0	—	—
3. Специальный чугун								
а) ферросиликатный	42,4	32,6	16,0	4,5	—	2,9	—	—
	42,5	12,8	33,5	0,8	—	0,3	—	—
б) ферромарганцевый	35,7	11,5	32,0	5,8	—	11,8	—	—
	33,1	9,2	28,7	6,3	—	19,7	—	—
Б. Передельные процессы								
1. Бессемеровские . . .	48,52	1,04	0,55	0,15	10,4	39,2	—	—
	54,65	—	—	—	12,78	32,47	—	—
	47,20	—	—	—	15,78	36,85	—	—
2. Томассовские	8,17	0,70	58,28	1,74	4,16	3,13	1,69	P ₂ O ₅ 21,11
	3,0	8,0	49,9	0,1	12,0	7,0	1,0	19,0
3. Мартеновские	20,80	6,27	37,52	8,43	10,76	15,0	0,60	0,73
	12,40	1,97	46,28	5,92	17,03	10,25	0,70	5,00
	11,40	2,46	44,46	6,56	17,29	9,36	0,80	7,84
	35,11	3,73	2,17	9,21	19,44	9,02	—	—
В. Ваграночные	44,80	14,10	44,30	0,60	0,90	4,00	—	—
	47,30	9,98	30,04	3,00	7,48	0,32	1,30	—
	59,00	5,00	30,40	—	9,65	4,24	—	—
Г. Медные								
а) конвертерные . .	19,98	2,65	1,46	0,31	65,43	—	3,83	1,86
	30,18	1,63	3,91	1,73	51,40	7,19	3,05	0,58
б) ватержакетные . .	30,40	3,16	4,05	0,49	53,50	1,82	2,01	0,42
	33,96	5,10	5,44	0,81	46,15	5,58	2,19	0,49
в) отражат. печей . .	38,31	3,95	2,54	0,77	40,87	2,09	1,07	0,42
	48,88	7,64	20,96	1,51	16,46	3,18	0,52	0,31

Описание образца	Удельный вес	Объемный вес, в г/см ³	Пористость, в %	Водопоглощае- мость, в %	Временное сопротивление сжатию, в кг/см ²	
					сухого образца	насыщен. образца
Плотный темносерый кусок с отвала; кислый	2,98	2,90	2,69	—	1716	—
	2,98	2,91	2,35	0,36	—	1136
	2,98	—	—	—	1417	—
	2,98	2,76	8,00	0,94	—	700
Ноздреватый образец с большо- го отвала; кислый	3,08	2,33	24,35	—	644	—
	3,08	2,36	23,4	—	675	—
	3,08	2,46	20,1	1,14	—	526
	3,01	1,69	43,8	—	—	147
Сильноноздреватый, пемзовид- ный, железовидный кусок; кислый	3,04	1,65	45,7	5,5	187	—
	3,04	1,65	45,7	—	—	183
	2,97	3,80	3,13	—	1886	—
Плотный серый кусок с отвала, крупнокристаллического стро- ения; кислый	2,97	2,96	0,34	—	2096	—
	2,97	2,97	0,00	0,36	—	779
	2,97	2,97	0,00	0,20	—	1217
	3,02	2,88	4,63	—	865	—
Плотный темносерый кусок с отвала; кислый	3,02	2,89	4,62	0,45	—	561
	3,00	2,46	18,00	—	474	—
	3,00	2,31	23,00	—	546	—
Ноздреватый кусок серого цве- та, кристаллического строе- ния, но с признаками распада (белые выцветы на поверхно- сти и хрупкая белая корочка); кислые	3,00	2,33	22,36	2,40	—	383
	3,00	2,33	22,33	2,62	—	426
То же, но без признаков само- распада, более темного цве- та; кислый	3,01	2,23	25,9	—	371	—
	3,01	2,38	20,9	—	467	—
	3,01	2,34	22,3	3,02	—	233
Темносерый, мелконоздреватый шлак с отвала; кислый	2,88	2,10	27,10	—	760	—
	2,88	2,16	24,88	—	801	—
	2,88	2,15	25,29	0,73	—	612
	2,88	2,16	24,88	0,81	—	674
	3,04	1,48	51,32	—	38	—
Железовидный кусок темнесе- рого цвета, ноздреватость равномерная, размер 4 мм, пемзовидный; кислый	3,04	1,82	54,58	—	101	—
	3,04	1,89	54,28	14,87	—	35
	2,89	2,81	2,76	—	2999	—
Черно-глянцевитый кусок с от- вала (наиболее типичный об- разец), стекловидный; основ- ной	—	—	2,76	0,11	—	1801
	2,75	2,49	9,45	—	846	—
То же, основной	2,75	2,69	кубик с трещиной 2,18	—	2555	—
	2,75	2,74	0,36	0,09	—	3674
	2,75	2,45	10,91	0,04	—	2110

Описание образца	Удельный вес	Объемный вес в г/см ³	Пористость, в %	Водопоглощаемость, в %	Временное сопротивление сжатию, в кг/см ²	
					сухого образца	насыщен. образца
Ноздреватый кусок с отвала	2,95	2,36	20,00	—	870	—
	—	2,19	25,86	1,12	—	775
	—	2,21	25,09	1,07	—	884
	—	2,29	22,37	—	688	—
Желтовидный кусок темного цвета, ноздреватость равномерная, поры до 10 мм в диаметре, пемзовидный; кислый	3,01	1,92	35,88	3,34	—	152
	3,01	1,85	38,54	4,17	—	194
	3,01	1,83	39,20	—	115	—
	3,01	1,56	48,17	—	62	—
Сильно ноздреватый кусок, с отвала, пемзовидный кусок; кислый	3,04	2,07	31,91	5,43	—	272
	3,04	2,04	32,90	—	131	—
	3,04	1,31	56,91	—	55	—
	3,04	1,08	64,47	10,13	—	22
Кусок с отвала зеленого цвета, стекловатый, ноздреватый; основной	2,81	2,17	23,59	—	346	—
	2,81	2,23	21,48	0,29	—	601
Темнозеленый, стекловидный, ноздреватый; основной	2,78	2,25	19,07	—	265	—
Дымчатый, плотный, стекловидный кусок, с отвала, плотный; основной	2,84	2,84	0,00	—	1 015	—
	2,84	2,61	8,10	—	1 956	—
	2,84	2,84	0,00	0,0	—	1213
	2,84	2,84	0,00	0,0	—	2579
Темнозеленый, стекловидный, плотный; основной	2,78	2,37	14,7	0,18	—	1309
Зеленый, полустекловидный; основной	2,79	1,97	29,39	—	119	—
Зеленый, полустекловидный, пемзовидный; основной	2,79	1,84	34,05	0,76	—	69
Серо-зеленого цвета, имеет четыре слоя:	2,92	2,54	—	0,48	1 372	8,68
1) стекловидную корку толщиной в 0,5 см	—	—	—	—	—	750
2) мелкокристаллический толщиной 2 см	—	2,68	—	—	1 726	—
3) слой с крупными порами	—	—	—	—	1 500	—
4) нижний слой стекловидный, мелкопористый	—	—	—	—	—	—

Физико-механические свойства мартеновских шлаков

Описание образца	Удельный вес	Объемный вес, в г/см ³	Пористость, в %	Водопоглощаемость, в %	Сопротивле- ние сжатию в кг/см ²		Износ в барабане Девала, в %
					сухого образца	насыщен. образца	
Плотный, основной	3,61	2,2	—	9,9— —1,5	900 и выше	—	4—6
Темносерого цвета, мало по- ристый	—	2,92	—	—	895	—	—
То же	—	2,91	—	1,02	689	—	5,52
Серого цвета, плотный; кислый	3,26	3,11	4,6 (по объему)	0,54	142,5	—	5,6
Серого цвета, пористый; кисл.	3,45	2,76	17,1	1,89	—	—	11,3
Темносерого цвета; основной	3,51	2,86	19,66	1,93	—	—	6,6
Темносерого цвета, мало по- ристый; основной	3,50	2,21	8,28	0,65	—	—	8,99
Буро-серого цвета, пористый	3,70	3,32	10,37	—	514 618	—	5,6
Черно-серого цвета, пористый	3,39	2,78	18	2,92	—	—	14,77
Темносерого цвета, мало по- ристый	—	3,03	—	—	947	—	4,95
То же	—	2,98	—	—	959	—	—
Черно-серого цвета, имеется небольшая ноздреватость .	3,62	3,53	1,97	—	4 082	—	—
То же	—	3,42	5,42	—	—	—	—
»	—	3,58	1,10	0,27	—	3 250	—
»	—	3,3	8,56	0,61	—	1 758	—
»	3,55	3,12	12,10	—	2 678	—	5,2
»	—	3,37	5,10	0,09	—	1 442	—
Пемзовидный	3,55	2,04	42,00	—	372	—	—
То же	—	1,58	55,5	2,09	—	346	10,6
Ноздреватый	3,73	3,02	19,04	—	850	—	—
То же	—	3,02	19,04	1,24	—	505	3,03
»	—	2,97	20,4	4,31	—	1 104	—
»	3,60	2,95	18,06	0,44	—	1 460	—
»	—	2,95	18,06	—	1 555	—	—
»	3,60	3,02	16,11	—	1 582	—	—
»	—	2,91	19,17	0,53	—	1 250	—
Темносерый, плотный	3,61	3,40	1,97	0,58	1 979	788	4,46
То же	—	—	6,16	1,82	—	—	—
Пористый	3,67	3,32	4,73	1,42	771	417	3,52
То же	—	—	17,70	5,53	—	—	—
Ноздреватый	3,18	—	—	1,55	121	—	—
То же	3,10	2,46	—	2,10	—	—	31,0
Плотный	—	3,24	—	0,24	2 401	3 057	7,48
»	—	3,50	—	—	1 623	—	9,98
»	—	3,47	—	—	—	—	—
Ноздреватый	—	3,02	—	—	1 826	—	—

физико-механические свойства ваграночных шлаков

Описание образца	Удельный вес	Объемный вес, в г/см ³	Пористость, в %	Водопоглощаемость, в %	Сопротивление сжатию в кг/см ²		Износ в барабане Лёваля, в %	Примечание
					сухого образца	насыщенного образца		
Шлак плотный, мелкозернистый	3,39	3,15	7,07	0,6	1 289	—	2,8	*) Кубики для испытания на сжатие приготовить не удалось, распались
Шлак крупнозернистый	—	2,92	—	1,28	*)	—	8,36	
Шлак неоднородный	3,66	2,98	18,50	2,65	1 197	—	4,88	
Шлак стекловидный	2,91	2,86	1,71	0,20	*)	—	15,36	
То же	—	2,54	—	—	455	—	—	Шлак хрупкий и проинан волосными трещинами
»	—	2,66	—	—	746	—	—	
»	2,83	—	—	—	1 798	—	12,7	В период изготовления на образцах появились трещины
Поверхность шлака черная, с веле-новатым огливом; в изломе пористые прослойки	2,67	—	—	—	500	—	—	
То же	2,77	—	—	—	2 884	—	—	Сопротивление удару на копре (копер Педжа), число ударов 9—12
»	3,45	—	—	—	864	—	5,2	
»	—	—	—	3,3	1 225	—	—	

Физико-механические свойства медных шлаков

Описание образца	Удельный вес	Объемный вес, в г/см ³	Пористость, в %	Водопоглощаемость, в %	Сопротивле- ние сжатию в кг/см ²		Износ в барабане Деваля, в %
					сухого образца	насыщен. образца	
Плотный	—	3,35	—	0,15	2 347	—	} 7,56
То же	—	3,65	—	0,01	3 149	—	
Железистого цвета, однород- ный	3,78	3,76	0,53	—	1 923	—	} 8,56
То же	—	3,48	7,94	0,57	—	1 164	
Верхняя корка шлака стекло- видная	3,90	3,34	—	0,31	2 175	—	} 8,6
То же	3,18	—	—	—	2 076	—	
»	—	—	—	—	1 661	—	} 7,4
»	—	—	—	—	1 937	—	
Средняя часть шлака с во- локнуисто-кристаллической структурой	3,87	3,59	—	0,34	2 919	—	} 3
То же	3,73	—	—	—	1 459	—	
»	—	—	—	—	2 070	—	} —
Нижний слой с кристалличе- ской структурой	5,28	—	—	—	1 327	—	
То же	5,54	—	—	—	1 897	—	

ЛИТЕРАТУРА

- Борок М., Индустриальные формы переработки доменных шлаков. Сборник «Индустриальное строительство», ОНТИ НКТП, 1938.
- Бергман Ф., Ресурсы и географическое размещение доменных шлаков СССР. Труды ВНИИМСА, 1934.
- Бредлей и Хейкук, Усовершенствованные дороги и улицы, ОГИЗ, Гострансиздат, 1932 (перев. с англ.).
- Браун и Коинер, Дороги низкой стоимости, Гострансиздат, 1936 (перев. с англ.).
- Проф. М. И. Волков, проф. К. И. Штауб, доц. В. О. Гельмер, Дорожные строительные материалы, издательство Наркомхоза РСФСР, Москва 1939.
- Проф. Гуттман, Применение доменных шлаков, ОНТИ НКТП, Киев 1935.
- Значко-Яворский, Использование доменных шлаков в Преднепровском металлургическом районе, ОНТИ НКТП, Харьков 1938 г.
- Калужский Я., Исследование производственных составов наполненных дегтей, Труды Харьковского автодорожного института, вып. 5, 1939.
- Мачулин А., Кострико и Асинкритов, Дорожностроительные материалы Уральской области, Свердловск 1934.
- Лагунов Г., Металлургические шлаки в строительстве и их стандартизация, Стандартгиз, 1936.
- Перебуд П., Холодный асфальт, Госстройиздат, Ленинград 1934.
- Рейнер В., Новые методы дорожного строительства, ОГИЗ, Гострансиздат (перев. с немецкого).
- Сборник статей. Применение доменных шлаков в строительстве, ОНТИ НКТП, Харьков 1936.
- Сборник статей 3. Строительные материалы из доменных шлаков и вопросы технологии бетона, ГОНТИ, Харьков 1939.
- Сиверцов Р. Пробужденный бетон из доменных шлаков, Госстройиздат, 1939.
- Сиверцов Р., Инструкция по изготовлению и применению бетона и раствора из пробужденных шлаков, горелых пород и других материалов, Стройиздат, 1940.
- Старичин А., Шлаковые цементы, ГОНТИ НКТП, Свердловск 1939.
- Смолянский И., Основы учения о шлаках, ОНТИ НКТП, Харьков — Киев 1936.
- Силин В., Каменное литье из огнеупорных шлаков. Сборник трудов Украинского института сооружений, вып. 1, ОНТИ НКТП, 1937.
- Сперантов Н. А., Использование металлургических шлаков в коммунальном хозяйстве, издательство «Власть Советов», Москва 1936 г.
- Тезисы докладов. 2-я конференция по применению доменных шлаков в строительстве, Харьков 1939.
- Тисский А., Шлаки черной металлургии, ОНТИ, 1934.
- Шильников В. и Кубланова М., Физико-химические методы оценки металлургических шлаков. «Новости дорожной техники», сборник 9, 1937.
- Шильников В. и Полункина А., Липецкие шлаки, как вяжущий материал для дорожного строительства. «Новости дорожной техники», сборник 14, 1938.
- Шильников В., Шлаки, глава III в стабильном учебнике «Технология дорожностроительных материалов», под редакцией Мезериной, ОГИЗ, 1934.
- Шильников В., Применение металлургических шлаков в дорожном строительстве, статья в книге Переработка и применение до-

менных шлаков в строительстве. Государственное издательство строительной литературы Москва — Ленинград 1941 г.

Шманенков И., Зверев А., Библиография по шлакам, журнал «Минеральное сырье», № 7—8, 11—12 за 1932 г., № 1 за 1934 г.

Clarence Edn. Bardsby, «Bul. of the School of Min. Met. Univ. of Michigan», t. 10, № 1, ноябрь 1926. Применение доменного шлака для строительства усовершенствованных дорог.

Hubbard, F. и др. «Proc. Am. Soc. Test. Mat.», 1930, т. I, стр. 545.— Отношение сопротивления коксовых доменных шлаков истиранию к пригодности их для бетона.

Hubbard F. American Society Testing materials. Протоколы 1939 г., Конференция, 1936 г., стр. 297—326.

«Fr. Cool, Tr. Rev.» 1920, 25 октября, стр. 544.— Применение отвалных шлаков в дорожном строительстве.

«Symposium Nat. Slag. Assoc.», № 7 (1928) — Применение шлака, для бетонных дорог и мостовых, № 8 (1928), № 9 (1928), № 13 (1929) и № 15 (1929).

Научные и технические отчеты (за 1930—40 гг.) Архив ДОРНИИ.

Lüer, Teerstrassenbau unter besonderer Berücksichtigung der Hochofenschlacken 1931.

Журналы (за 1930—42 гг.):

- «Дорога и автомобиль»,
- «Промышленность строительных материалов»,
- «Советская металлургия»,
- «Строительство дорог»,
- «Строительная индустрия»,
- «Строительная промышленность»,
- «Строительные материалы»,
- «Цемент»,
- «Public Roads»,
- «Zement».

ОПЕЧАТКИ

к книге инж. В. А. Шильникова «Металлургические
шлаки как дорожно-строительный материал»

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
23	Табл. 11, 3-й класс 7-я ко- лонка	40—600	400—600
39	Табл. 19, 2-я колонка (заго- ловок)	Количество щеб- ня в кг/см ³	Количество щеб- ня в кг/м ²
63	27 сверху	морозном ящике менее 4 час,	морозном ящике не менее 4 час.