

069.162.245.2

T 93

А. В. ТЫСОВИЙ

**ШЛАКИ
ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
ПРИРОДА, СВОЙСТВА, ОБРАБОТКА
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**



1936

ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие	5
-----------------------	---

Глава I. Доменные шлаки

Природа и свойства доменных шлаков	7
Исторический обзор	—
Природа доменных шлаков	—
Физические свойства шлаков	10
Гидравлические свойства доменных шлаков	11
Внешний вид и механические свойства	12
Обработка доменных шлаков	13
Грануляция	—
Мокрая грануляция	—
Сухая грануляция	20
Полусухая грануляция	21
Жолобный полусухой способ грануляции	22
Стоимость гранулята	27
Шлаковая вата	28
Шлаковая пемза	44
Обогащение доменных шлаков	46
Оживление доменных шлаков	50
Обогащение доменных шлаков глиноземом	51
Способ и режим хранения доменных гранулированных шлаков	54
Использование доменных шлаков	65
Цементная промышленность	—
Шлаковый бетон	71
Шлаковый кирпич	73
Шлаковые растворы	74
Извлечение металла из шлака	75
Извлечение серы	—
Удобрение почвы	76
Дорожное строительство	79
Баланс доменных шлаков по СССР	80
Отвалы доменных шлаков	85
Баланс отвалов шлаков по СССР	—
Разработка отвалов	86
Природа отдельных доменных шлаков	87
Использование отдельных доменных шлаков	88

Глава II. Тяжелые металлургические шлаки

Мартезовские шлаки	91
Природа	—
Обработка	—
Грануляция	92
Литье камней из мартезовских шлаков	98
Обработка томасшлаков	103
Использование мартезовских шлаков	106
Баланс мартезовских шлаков по СССР	109
Ваграночные шлаки	111
Природа	—
Грануляция	112
Литые изделия	116
Использование ваграночных шлаков	119
Баланс ваграночных шлаков	123

Глава III. Топливные шлаки

Котельные шлаки	125
Природа	—
Обработка и использование	126
Торфяные шлаки	129
Природа	—
Обработка и использование	—
Сланцевая зола	130
Природа	—
Обработка и использование	131
Баланс топливных шлаков по СССР	144

ПРЕДИСЛОВИЕ

Непрерывный рост в СССР выплавки металла, добычи и потребления угля влечет за собой получение все большего количества неметаллических продуктов — шлаков. Шлаки — прекрасное сырье не только для строительных и термоизоляционных материалов, но и источник получения металла, серы, удобрительного тука, предметов ширпотреба и пр.

Рациональное использование шлаков может обеспечить массовое производство местных строительных материалов и значительно смягчить дефицит последних, особенно в районах интенсивного строительства. Тем не менее промышленность СССР до сих пор практически не использует шлаки. Шлакообрабатывающие установки (грануляционные, обогатительные и т. д.) на многих заводах отсутствуют, имеющиеся чрезвычайно примитивны и не удовлетворяют требованиям ни в качественном, ни в количественном отношении.

Около 70% всех шлаков, как правило, вывозятся на свалку совместно с другими отходами и мусором, следовательно, приводятся в негодное для обработки состояние.

Промышленность и транспорт не учитывают в своих планах возможность использования шлаков и, не неся никакой ответственности за правильное их использование, не наблюдают за их выходом, хранением и судьбой.

Научно-исследовательская работа по технике обработки и использованию доменных, мартеновских, ваграночных, котельных и других шлаков, по изготовлению шлаковых материалов в заводском масштабе, в особенности по обогащению шлаков — получение металлов и серы из шлаков, — а также их обработка, как правило, проводится теми же, не соответствующими индустриализации страны.

Новые заводы зачастую проектируют и строят по-прежнему, без установок для использования шлаков.

Отсутствие до последнего времени специального хозоргана, который руководил бы во всесоюзном масштабе работой по выявлению и приведению шлаков в товарный вид и передаче соответствующим потребителям приводит на практике к невозможности освоения всех имеющихся шлаковых ресурсов.

Приказ ЦКТИ о концентрации всего дела по выявлению, учету, обработке шлаков и приведению их в товарный вид, о сосредоточении соответствующих научно-исследовательских и опытных работ и планового распределения во Всесоюзной организации организационно совершенно правильно разрешил вопрос об использовании шлаков.

Оптимальное использование шлаков возможно только при широком знании нашими хозяйственниками и общественностью положения и развития всего шлакового хозяйства в нашем Союзе, при знании основных

свойств шлаков, которые определяют то или иное применение этого ценного продукта.

Приведение шлаков в товарный вид обогащением, грануляцией их и т. д. в связи с расширением сферы применения шлаков все более усложняется и требует специальных знаний.

В нашей литературе за последнее время стали появляться статьи и брошюры, главным образом по доменным шлакам. Большой частью они носят узко специальный характер по отдельным видам применения этого шлака.

В настоящем труде кратко описаны основные виды шлаков черной металлургии и топливные шлаки, описаны способы обработки шлаков, важнейшие технологические процессы, сопутствующие данному производству.

С целью освещения действительных размеров и качественного состояния нашего шлакового хозяйства в настоящем труде даны балансы шлаков, составленные на основе обследования наших заводов и предприятий, имеющих тот или иной шлак.

Обработка доменных шлаков грануляцией как за границей, так и у нас — доминирующий способ приведения шлаков в товарный вид. Поэтому в данной книге изложены все положительные и отрицательные стороны существующих методов грануляции. Следует отметить, что установка по полусухой грануляции шлаков на наших заводах дала возможность получать хороший гранулят, причем благодаря наличию центрального управления для воды и воздуха шлак по нашему желанию может быть получен любой влажности. В связи с важнейшей проблемой получения термоизоляционного материала из различных шлаков здесь изложены основные показатели производства шлаковой ваты из различных шлаков и освещены первые положительные результаты получения пробки из шлаковой ваты. Как в нашей, так и в иностранной литературе нет данных о способах обработки и об использовании мартеновских и ваграночных шлаков. Поэтому этот вопрос нами здесь особенно подробно освещен. Изучение хранения гранулированных доменных шлаков в условиях Украины дает исчерпывающий ответ по режиму и срокам хранения гранулята и для других районов Союза.

Поскольку в нашей технической литературе имеются весьма обширные труды, подробно описывающие доменное, мартеновское и бессемеровское производства, а также роль шлаков в процессах выплавки металлов, в настоящем труде эти вопросы не затрагиваются и для ознакомления с ними рекомендуются следующие книги.

В. Линин, Металлургия чугуна, железа и стали, т. I.

Инж. Яковлев, Бессемеровское производство.

Проф. Павлов, Определение размеров доменных и мартеновских печей.

Инж. Фанбулов, Практика чугунного литья.

Инж. А. Ф. Калашников, Уборка доменного шлака, изд. 1932 г.

Глава I

ДОМЕННЫЕ ШЛАКИ ПРИРОДА И СВОЙСТВА ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

Исторический обзор

Доменными шлаками называются неметаллические продукты, получающиеся при выплавке чугуна в результате сложного взаимодействия составных частей доменной шихты—руды, топлива и флюсов.

Еще 70 лет назад доменный шлак почти не имел никакого применения и накапливался в огромных отвалах. В 60-х годах прошлого столетия научились изготовлять из доменного шлака кирпич и другие строительные материалы. В 1861 г. директором Германского металлургического завода в Фроздорфе Ланге впервые было обнаружено полезное действие грануляции на свойства доменного шлака. В 90-х годах прошлого столетия в Германии, Франции, Бельгии и Швейцарии занимались уже изготовлением из шлака различных цементов. В этот же период на заводе Южно-Брянского общества из шлаков изготовляли цемент, а на трех других южных заводах—Александровском, Каменском и Сосновском—из шлака изготовлялся кирпич.

В настоящее время доменный шлак получает все большее и большее применение, непосредственно как строительный материал и как гидравлическая добавка к строительным материалам. В США, где выход шлака в год составляет 20 миллионов т, шлак широко применяется главным образом для строительства дорог и мостовых. Значительная часть шлаков используется также для бетонных построек второстепенного значения, и только около 5% шлаков используется на изготовление различных цементов.

В Германии, где ежегодный выход доменных шлаков составляет около 7 млн. т, шлак используется главным образом в промышленности строительных материалов для изготовления цемента, кирпича, труб и пр., лишь незначительная часть идет на дорожное строительство. Еще до сих пор принято определять доменные шлаки как отход или отброс доменного производства. Такое определение надо признать неправильным, ибо шлак по своим ценным свойствам является самостоятельным сырьем, получающимся в результате доменного процесса. Поэтому можно доменную печь рассматривать как агрегат, выпускающий металлический продукт—чугун, и неметаллический—доменный шлак.

Природа доменных шлаков

Доменные шлаки состоят из различных окислов; важнейшими являются известь CaO , кремнезем SiO_2 , глинозем Al_2O_3 . В доменных шлаках имеется также окись марганца MnO , окись железа FeO , магния MgO

и сернистые соединения, обычно в виде сернистого кальция CaS. Некоторые доменные шлаки содержат и другие окислы: двуокись титана TiO₂, окислы фосфора, мышьяка и пр.

Химический состав доменных шлаков крайне разнообразен даже в отношении содержания главных окислов—извести и кремнезема. В зависимости от количественного содержания последних, доменные шлаки делятся на: 1) основные и 2) кислые.

Основными шлаками принято называть такие шлаки, у которых весовое отношение суммы извести и магнезии к сумме кремнезема и глинозема больше или равно единице. Основность шлака M выражается формулой:

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

Для основных шлаков $M \geq 1$.

Основные шлаки обыкновенно получают при выплавке чугуна на минеральном топливе. Как правило, содержание извести в таких шлаках должно превышать 40%.

Кислыми доменными шлаками называются такие, у которых указанное выше весовое отношение меньше единицы. Кислые шлаки обычно получают при выплавке чугуна на древесноугольном топливе и лишь в некоторых случаях при выплавке чугуна на минеральном топливе, содержащем незначительное количество сернистых соединений.

В Германии, ввиду того, что глинозем при большом наличии в шлаке извести и магнезии может играть роль кислого соединения, а при большом количестве кремнезема—роль основного соединения, основность шлака M определяется по другой формуле, а именно:

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

Некоторые исследователи шлаков выделяют группу так называемых нейтральных шлаков, у которых отношение основных окислов к кислотным равно единице, т. е. когда

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 1.$$

Известный немецкий исследователь природы шлаков Пассов все основные шлаки по химическому составу (с точки зрения их гидравлическости) разбивает на две группы: активные и неактивные (инертные со скрытой активностью). Химический состав каждой группы приведен ниже (в процентах):

	Активные	Неактивные
SiO ₂	27—31	33—37
Al ₂ O ₃	13—20	9—12
CaO	50—45	51—46
MgO	2—8	1—3
CaS	4—8	2—4

Активная группа характеризуется повышенным содержанием глинозема и пониженным содержанием кремнезема. Шлаки этой группы при охлаж-

дении легко растекловываются. Для приготовления из них различных цементов требуется большее количество шлаков.

Количество и качество получаемого шлака зависит не только от химического состава руды, рода топлива и флюсов, но и от сорта выплавливаемого чугуна. Шлаки в зависимости от рода топлива и сорта выплавливаемого чугуна имеют следующий состав (табл. 1).

Таблица 1

Сорт чугуна	Род топлива	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO
Серый	древесный уголь	41—67	3—14	0,4—17	12—39	0,9— 6
	кокс	23—48	7—25	1—18	27—50	0,3—11
Пелый	древесный уголь	43—49	6—11	4—13	21—27	5—12
	кокс	28—48	4—20	2—14	22—47	0,5—12
Зеркальный	кокс	29—42	6—12	1— 9	9—43	3—40

Шлаки южных заводов при работе на коксе в зависимости от сорта руды и назначения чугуна имеют следующий состав (табл. 2)¹.

Таблица 2

Сорт чугуна и руды	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	CaS
Ферромарганец	29,9	10,1	42,0	3,1	8,9	4,6
»	31,0	9,0	45,0	2,5	5,1	6,2
Вессемеровский (криворожская руда)	33,1	10,4	48,2	1,9	1,3	4,8
Томасовский (керченская руда)	3,8	8,3	38,8	2,9	4,9	3,8
Томасовский (смесь керченской и криворожской руды)	34,1	13,4	39,1	4,5	2,4	5,2
Маргеновский (криворожская руда)	36,5	10,7	41,1	1,6	3,1	5,6
Литейный (криворожская руда)	30,6	12,9	45,3	2,0	0,5	6,9
Литейный (смесь криворожской руды и красного железняка)	30,9	14,7	45,1	2,0	—	6,7

Из данных табл. 1 и 2 видно, что шлаки необходимо различать не только по химическому составу, но и по производственным признакам (в зависимости от сорта чугуна и применяемой руды). В металлургии общеприняты следующие термины для шлаков: литейные, переделные, марганцовые и титанистые шлаки.

Литейные шлаки². Литейными шлаками называются шлаки, получающиеся при выплавке литейного чугуна. Шлаки литейных чугунов характеризуются более высоким содержанием извести.

¹ По данным НИС ВПУ за 1932 г.

² Номенклатура по сорту чугуна указана согласно проекту стандарта ИНОРС, № 16/187 от 14/VII 1933 г.

Переделные шлаки. Переделными шлаками называются шлаки, которые получаются при выплавке чугуна для дальнейшей переплавки в сталь. Расход кокса при выплавке этого сорта чугуна ниже, чем при выплавке литейного чугуна, и соответственно содержание извести в этих шлаках ниже, чем в литейных.

Марганцовые шлаки. Марганцовые шлаки получаются при выплавке чугуна с большим содержанием марганца. С целью повышения содержания марганца в чугуне в шихту вводят наряду с прочими составными ее частями марганцовую руду, получающиеся при этом шлаки обильно обогащаются марганцем. Марганцовые шлаки характеризуются сравнительно большим содержанием закиси марганца (до 30%).

Титанистые шлаки. Титанистые шлаки получаются при выплавке чугуна из титанистых железных руд и содержат довольно значительное количество окиси титана, доходящее до 36—42%.

Физические свойства шлаков

Шлаки, основные и кислые, после выпуска из доменной печи, в зависимости от условий охлаждения, а следовательно и скорости перехода из жидкого в твердое состояние, обладают совершенно различными свойствами.

Основные шлаки, будучи вылиты в расплавленном состоянии в отвалы, после медленного остывания распадаются в белый порошок. Это явление объясняется тем, что значительная часть содержащихся в шлаках окислов выделяет в кристаллическом виде различные минеральные образования, главным образом известковые и известково-глиноземистые силикаты. Распадение шлаков имеет огромное значение для оценки качества медленно остывшего основного шлака при использовании его в промышленности строительных материалов. Чем богаче шлак известью, тем большее количество может образоваться в этом шлаке двухкальциевого силиката $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Этот силикатлюбозитен тем, что, образовавшись при достаточно высокой температуре, он существует при все более понижающихся температурах в виде кристаллов в модификации, именуемой бета (β). При 675° он начинает превращаться в кристаллы другой своей модификации, называемой гамма (γ), имеющей по сравнению с β -модификацией меньший удельный вес (γ -модификация около 3,0, β -модификация около 3,3). Поэтому кристаллы γ -модификации занимают объем на 10% больше первоначального, что вызывает внутренние напряжения в массе застывшего шлака и ведет к распаденню шлака.

При большом содержании извести в шлаках это явление происходит почти немедленно вслед за остыванием шлака при выливании его в отвал. Шлак превращается в так называемую шлаковую муку. В некоторых случаях малое содержание $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ задерживает переход в γ -модификацию, и распадение шлака происходит весьма медленно и шлак по внешнему виду кажется прочным, что может ввести потребителя в заблуждение при использовании шлаков. Для определения распадающихся и склонных к распаду шлаков д-р Гутман за границей применяет ультрафиолетовые лучи (при помощи кварцевой лампы). Здоровые шлаки имеют темно- или светлофиолетовую окраску, а склонные к распаду или распадающиеся светятся желтоокрашенным цветом.

Немецкие исследователи Гартман и Ланге провели ряд многочисленных опытов¹ по выяснению влияния на устойчивость шлаков режима их охлаждения. Указанные исследователи сплавляли доменные шлаки с различным, но определенным количеством извести при 1400°. Через час температуру медленно снижали до известной точки, после чего шлавы быстро охлаждали. В результате большого количества опытов установлены области устойчивых и неустойчивых шлаков, а также промежуточная область шлаков, склонных к распаду. Таким образом при содержании 47% CaO и ниже шлаки, медленно охлаждаемые, целиком находятся в области устойчивых шлаков. При содержании выше 48% CaO шлаки приближаются к рассыпающимся, при содержании 50% CaO и выше они полностью образуют шлаковую муку. Указанные выводы подтверждают исследования шлаков ультрафиолетовыми лучами. Таким образом для определения постоянства основных шлаков имеется вполне надежный способ.

Кислые шлаки, будучи вылиты в расплавленном виде в отвал, застывают в виде сплошной стекловидной массы. Даже при медленном застывании вязкость жидкого шлака так быстро возрастает, что почти совсем не происходит выделения кристаллических образований.

Гидравлические свойства доменных шлаков

Доменные шлаки обладают гидравлическостью, т. е. весьма ценной способностью медленно затвердевать под водой. Чем больше в шлаках извести и магнезии, тем выше гидравлическость шлаков. Это свойство шлаков зависит не только от их химического состава, но и от соответствующей обработки. Шлаки должны быть подвергнуты быстрому охлаждению, так как они сохраняют свою гидравлическость только в том случае, если они быстрым охлаждением при соответствующей температуре переведены в стеклообразное состояние, т. е. если им не дано было достаточно времени, чтобы затвердеть в виде кристаллов. Ценной составной частью шлаков является глинозем. Шлаки, богатые глиноземом, активны даже при минимальном (42%) содержании CaO.

SiO₂ понижает гидравлическость шлаков, но зато облегчает переход их в стеклообразное состояние. Фосфор и закись марганца также понижают гидравлическость шлака. Содержание MnO не должно превышать 5%. Содержание в шлаках до 8% CaS и до 16% MgO повышает их гидравлические свойства.

Вопросом влияния содержания Al₂O₃ и других компонентов на гидравлическость доменных шлаков занимались различные исследователи. Пассов² в 1909 г. доказал, что реактивная способность шлаков зависит не только от большого содержания основных веществ. Он доказал, что при малом содержании Al₂O₃ и большом содержании SiO₂ указанная способность шлаков в определенных границах уменьшается, богатые глиноземом шлаки сами затвердевают вследствие образования алюмината. В 1923 г. Кюль³ также подтвердил, что богатые глиноземом шлаки затвердевают, но только с примесью гипса. Он установил также, что кусковые шлаки подобного состава обладают еще более значительной способностью затвердевать.

¹ Гартман и Ланге, «Stahl und Eisen», 1930.

² Пассов, «Stahl und Eisen», 1909.

³ Кюль, Цемент, 1923 г.

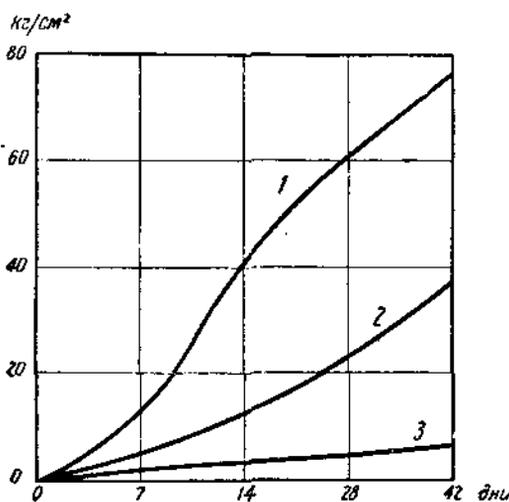
Позднее проф. Грюн и д-р Кейль¹, исследуя шлаки с различным содержанием глинозема, извести и кремнезема с точки зрения их гидравлическости, пришли к следующим выводам: увеличенное содержание глинозема уменьшает тенденцию шлаков к расстеклению и тем самым предотвращает понижение их гидравлических свойств.

При одинаковом соотношении извести и кремнезема шлаки с большим содержанием глинозема можно легче получить в стеклообразном состоянии, чем более бедные глиноземом.

Глинозем предотвращает расстекление, получающееся в богатых известью шлаках даже при резком охлаждении. Благоприятное влияние высокого содержания глинозема менее заметно на богатых кремнеземом шлаках, чем на богатых известью. Поэтому высокое содержание глинозема при достаточном количестве извести в доменных шлаках, идущих для изготовления цемента, весьма полезно. Особенно полезным является одновременное высокое содержание извести и глинозема. Очень богатые известью шлаки не должны быть бедны глиноземом, так как в противном случае происходит расстекление шлаков, а вместе с ним и уничтожение гидравлических свойств шлака.

Внешний вид и механические свойства

Основные и кислые шлаки в зависимости от режима доменной печи и от входящих в них компонентов обладают различным цветом: литейные



Фиг. 1. Зависимость прочности шлаковых образцов от тонкости помола.

1 — шлак тонкости помола цемента; 2 — шлак, измельченный в бегунок; 3 — немолотый гранулированный шлак.

при нормальном ходе домы имеют светлосерый цвет; перодельные — светложелтый, шлаки с повышенным содержанием марганца — зеленоватого цвета различных оттенков; марганцовые шлаки имеют цвет от светлозеленого до густозеленого в зависимости от содержания в них закиси марганца. Шлаки при расстроеном ходе домы вследствие наличия в них высокого процента закиси железа — темного цвета, доходящего до черного. Титанистые шлаки имеют светлосерый, темносерый или красноватый оттенок. Удельный вес доменного шлака колеблется от 2,5 до 2,8.

Объемный вес обработанного (гранулированного) доменного основного шлака в рыхлом состоянии при влажности около 10% составляет 560—650 кг/м³, гранулированного кислого тяжелого шлака 1100—1500 кг/м³, кислого в плотных кусках до 2500 кг/м³, пористого шлака (термозита) в рыхлом

¹ Проф. Грюн — Кейль. Влияние глинозема на гидравлические свойства шлака.

состоянии 400—1100 кг/м³; возможно получение термозита весьма разнообразной пористости и объемного веса — от 200 до 1600 кг/м³. Объемный вес шлаковой пены 200—400 кг/м³.

Сопротивление сжатию доменного шлака обычно не определяют. Трамбованные стандартным образом кубики из основного шлака при затвердевании через 28 дней обладают сопротивлением сжатию от 5 до 60 кг/см² в зависимости от тонкости помола. Тонкость помола оказывает огромное влияние на активность шлака, которая была изучена в Днепропетровской лаборатории по бетону для трех тонкостей помола: помол до тонкости цемента, размол на бегунах и немолотый гранулированный шлак. Зависимость прочности бетона от тонкости помола шлака изображена на диаграмме, полученной вышеуказанной лабораторией (фиг. 1).

Фиг. 1 показывает, что наибольшая прочность шлака достигается при наилучшем помоле шлака, т. е. до тонкости помола цемента, при этом такой шлак через 28 дней показывает сопротивление сжатию 60 кг/см² и через 42 дня почти около 80 кг/см².

Доменные шлаки обладают теплопроводностью, которая зависит от объемного веса шлака и характеризуется следующими коэффициентами.

При объемном весе 250 кг/м ³	$L = 0,10$	(высушенный шлак)
» » » 700 »	$L = 0,16$	» »
» » » 1000 »	$L = 0,25$	» »
При объемном весе 800 кг/м ³	$L = 0,25$	
» » » 1250 »	$L = 0,46$	

Изделия из шлаков (бетонный кирпич и пр.), как правило, обладают морозоустойчивостью. Влажность товарного шлака, т. е. процентное содержание влаги, зависит от способа обработки шлака (см. раздел Обработка шлаков).

ОБРАБОТКА ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

Грануляция

Сущность грануляции (зернения) заключается в быстром охлаждении жидких горячих шлаков. При быстром охлаждении горячих шлаков не успевает произойти препятствующая приобретению шлаками гидравлических свойств кристаллизация силикатов — основной составной части доменных шлаков. Силикаты остаются аморфными — стеклообразными.

До настоящего времени существует три способа грануляции: мокрый, полусухой и сухой. Все три способа практически дают почти одинаковую продукцию, но с различным содержанием влаги в шлаках.

Мокрая грануляция

Самым простейшим способом обработки горячих шлаков является мокрая грануляция. Существует несколько вариантов этого способа:

- 1) индивидуальные бассейны непосредственно у доменных печей,
- 2) центральные бассейны вне доменных печей,
- 3) грануляционные башни вне доменных печей,
- 4) жолобной гранулятор непосредственно у доменных печей,
- 5) жолобной гранулятор вне доменных печей.

Зачастую выбор заводами того или иного варианта обработки горячих

шлаков зависит от наличия свободной рабочей площади у доменных печей или вне их, состояния внутривозовских железнодорожных путей, запаса воды и состояния ковшевого хозяйства данного завода. Однако зависимость выбора установки для мокрой грануляции от перечисленных факторов надо признать недопустимой, ибо препятствует разрешению основного вопроса получения наиболее эффективной товарной продукции — шлака, являющегося ценнейшим сырьем для различных нужд нашего народного хозяйства. Не менее важным фактором при выборе грануляционной установки является стоимость данной установки и себестоимость обработки горячих шлаков.

Рассмотрим каждый из названных способов подробнее.

1. Индивидуальные бассейны у домен состоят обычно из круглой или квадратной забетонированной ямы, в которой сверху подвешены



Фиг. 2. Бассейн у доменной печи (Оулицкий завод).

от шлаковой лотки литые чугунные желоба. Для уборки шлака из бассейна и погрузки его в специальные полувагоны-коробки у каждого бассейна имеются специальные грейферные краны (гидравлические поворотные на колонках или электрические мостовые). Процесс грануляции происходит следующим образом: расплавленный шлак по желобам сливается в бассейн, наполненный отработанной водой от домы; при соприкосновении горячего шлака с водой происходит мгновенное парообразование, которым шлак разбивается на отдельные быстро охлаждающиеся зерна (Фиг. 2).

Наличие такого бассейна у самой домы освобождает ковшевое хозяйство завода от перевозки горячего шлака и дает возможность гранулировать весь шлак данной домы, но значительное парообразование мешает работе у домы. Образующиеся при грануляции сернистые газы сильно отравляют окружающий воздух, что вредно отражается на здоровье рабочих. При грануляции этим способом получаемые при расстройном ходе домы черные шлаки перемешиваются с нормальным шлаком; в ре-

зультате получается смесь гранулированного шлака, непригодного для использования.

При выгрузке шлака из бассейна и погрузке в железнодорожные коробки прилегающие железнодорожные пути заливаются водой и засоряются шлаком, что требует дополнительной рабочей силы для очистки путей, особенно в зимнее время. Затраты на постройку индивидуальных бассейнов не превышают 60—80 тыс. руб. (по данным строок в 1933 г.), однако эксплуатация их вызывает излишние затраты на рабочую силу, которая значительно отражается на себестоимости гранулированного шлака.

На некоторых металлургических заводах Урала, имеющих весьма незначительный выход ярко выраженных кислых шлаков, установлены упрощенного типа бассейны (деревянные), где грануляция происходит также путем слива через жолоб горячего шлака непосредственно в воду, нахо-



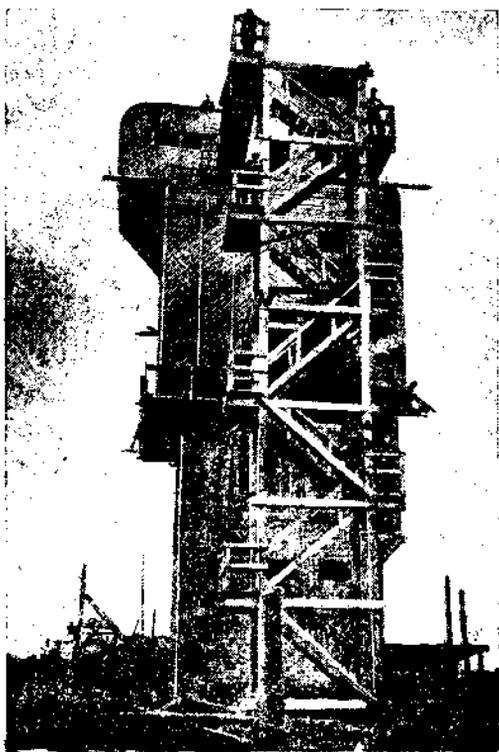
Фиг. 3. Упрощенная грануляционная установка (Павийский завод).

дящуюся в бассейне. Кислая природа шлаков позволяет пользоваться деревянными бассейнами, так как при соприкосновении с водой такие шлаки быстро вспучиваются в виде пемзообразной массы. При этом для более полной аккумуляции шлаков водой последние обычно в момент соприкосновения с водой перемешиваются металлическими прутьями. Выгрузка происходит вручную или при помощи упрощенного тельфера (фиг. 3).

2. Центральные грануляционные бассейны обычно установлены вне территории доменных печей; состоит они из одной прямоугольной забetonированной ямы, разделенной на несколько секций с целью приема горячих шлаков сразу из нескольких печей. Все секции бассейна для выгрузки и погрузки шлака в железнодорожные коробки обслуживаются одним или двумя мостовыми кранами с грейферами. Горячий шлак к центральной установке подвозится в ковшах и сливается через наклонные сливные лотки в секции бассейна. Наличие на заводах центральной установки по грануляции шлаков дает возможность 100% охвата грану-

лящей всех горячих шлаков, устраняет необходимость грануляции шлаков от расстроенного хода домы, и парообразование при грануляции не мешает основному производству завода.

Эксплуатация центральной установки значительно дешевле индивидуальной, но постройка такой установки требует продолжительного времени и больших капиталовложений, доходящих до 1,5—2 млн. руб. Быстрое и зачастую неравномерное выливание из ковша горячего шлака препятствует полному охлаждению его, что вызывает образование комьев шлака и дает плохой гранулят.



Фиг. 4. Грануляционные башни (Чусовской завод).

3. Грануляционные башни являются типовой установкой грануляции шлаков для Урала, главным образом для заводов, работающих на минеральном топливе. Эта установка состоит из круглой забетонированной ямы емкостью 50 м³, оборудованной ковшевым элеватором производительностью 40 м³/час и бункером емкостью 160 м³ шлака (фиг. 4).

Вся система заключена в башню железобетонной конструкции. При подаче ковшами горячего шлака последний сливается через жолоб в бассейн, однако перед сливом в бассейн горячий шлак, идущий по приемному жолобу, разбивается тремя сильными струями воды и вместе с ней попадает в бассейн: гранулят из бассейна подается ковшами элеватора в бункер. Бункер снабжен жолобом с затвором для выпуска гранулята в железно-

дорожные вагоны особым откидным совком, дающим возможность грузить шлак в крытые вагоны. Удобство такой установки заключается в том, что образующийся при грануляции пар и сернистый газ выходят через вытяжную трубу, расположенную в верхней части башни, а теплотой пара обогревается бункер, чем устраняется возможность в зимнее время замерзания шлака в бункере.

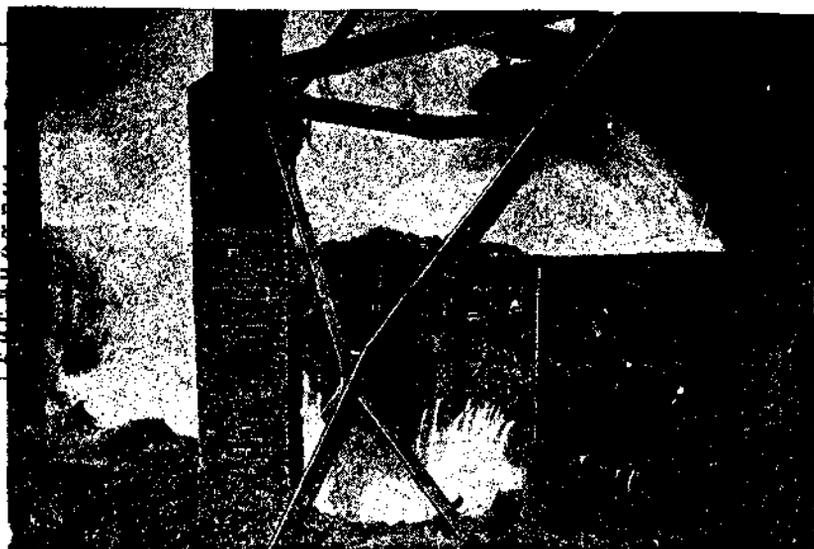
Аналогичная установка башенного типа имеется в Германии на заводе Круппа, но там применяется наклонный ковшевой элеватор. При испытаниях на наших установках наклонного элеватора последний вследствие неравномерного напряжения элеваторных цепей часто выходил из строя и у нас начали применять прямые элеваторы.

Недостатком башенной установки является сравнительно быстрая срабатываемость элеваторных цепей и приемного жолоба. Достоинством яв-

ляется компактность ее, требующая небольшой рабочей площадки и низкая стоимость постройки (не более 80—100 тыс. руб.).

4. Грануляция жолобом (при отсутствии соответствующих установок) при помощи железнодорожных вагонов (коробов), подаваемых под жолоб к доменным печам, является наиболее распространенным способом грануляции шлаков. В этом случае одновременно с выпуском горячего шлака по наклонному жолобу пускают в жолоб сильную струю воды, которая зернит шлак и вместе с ним попадает в железную коробку.

Железная коробка имеет в бортах специальные отверстия для воды, которая стекает под вагон в особые отводные каналы (фиг. 5 и 6), устроенные у железнодорожных путей, а увлажненный шлак в этих же коробках вывозится на склад. Этот способ грануляции дает полную аккумуляцию



Фиг. 5. Грануляция у доменной печи (завод им. Сталина).

шлака водой, и гранулят получается нормального качества. Этот способ грануляции устраняет необходимость строить дорогостоящие установки для грануляции, требуя затраты незначительной рабочей силы при обслуживании жолобов, что предопределяет незначительную себестоимость гранулята. Однако грануляция по этому способу, аналогично установкам у самой домы, вызывает большое парообразование, мешающее основному производству завода, а кроме того засоряет и заливает подвешенные железнодорожные пути. Обычно заводы в зимнее время, когда парообразование особенно значительно, прекращают грануляцию и вывозят шлак конями на свалку. Описываемый способ грануляции требует большого количества железных коробок (в среднем 20 коробок на таком заводе, как завод им. Сталина), а также специального паровоза по уборке железнодорожных коробок из-под жолобов.

5. Жолобная установка вне доменных печей в целях грануляции и пылеулавливания в строительстве грануляционных

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

64157

38579

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

ных или у домен с бассейнами с дорогостоящими мостовыми грейферными кранами, а также в целях разгрузки рабочей площадки у самой домы, у нас в Союзе впервые осуществлена на заводе им. Сталина.

Жолобная установка построена на откосе шлаковых отвалов таким образом, что, используя разность урваний отвала и заводской территории, устраняется необходимость иметь бассейны и дорогостоящие мостовые краны. Жолобная установка состоит из приемного лотка для горячего шлака, защитной стенки, грануляционной камеры-жолоба, водопровода с распределительным колодцем, двух бункеров и водоотстойника с насосной станцией. Грануляция в такой установке происходит следующим образом. Горячий шлак из ковша равномерно сливается в железный прием-



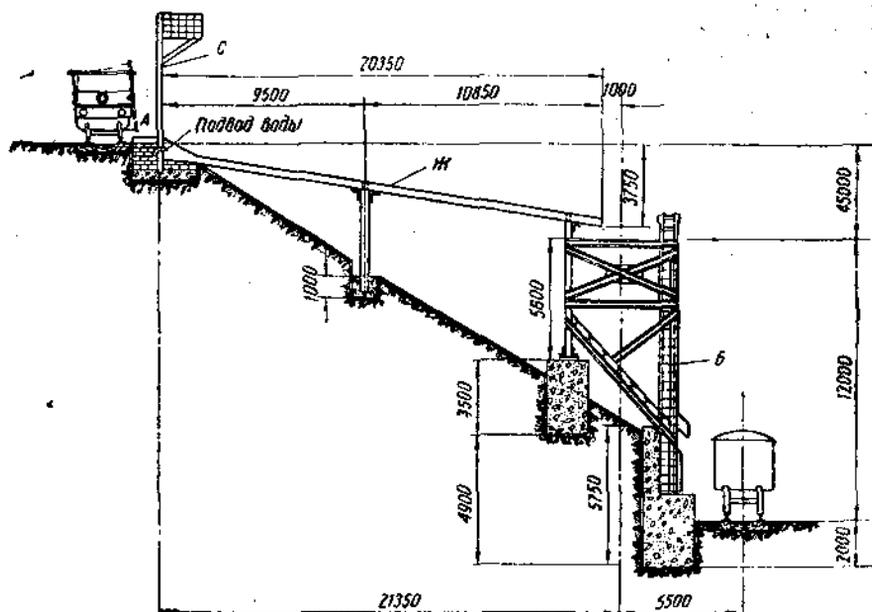
Фиг. 6. Откидной жолоб для грануляции шлака у доменной печи (завод им. Сталина).

ный лоток, который для предохранения от разъедания футерован огнеупорным кирпичом.

Образующийся при неблагоприятном ветре в большом количестве пар не дает возможности наблюдать и регулировать сливание шлака из ковша. При содержании в шлаке чугуна в момент грануляции могут быть взрывы, опасные для обслуживающего персонала. Поэтому между грануляционной камерой и подаваемым ковшом поставлена защитная шлакобетонная стена, которая одновременно используется и как несущая конструкция площадки, с которой обыкновенно в застывшей корке шлака пробивают отверстие, необходимое для равномерного сливания шлака в начальный период кантовки ковша. Жолобная установка оборудована насосной станцией для подачи воды из резервуара к грануляционной камере и создания избыточного напора в 2—3 ат. Производительность такой установки, исходя из емкости бункеров по 60 м³ каждый, выражается в 400 т шлака в сутки.

На заводе им. Сталина в Сталине построены рядом два жолоба с двумя бункерами каждый, дающие возможность гранулировать до 800 т шлака

в сутки. Процесс грануляции на такой установке происходит следующим образом. Горячий шлак через суживающуюся часть приемного лотка, проходящего через небольшое отверстие в защитной стенке, стекает в грануляционную камеру. При стекании в камеру шлак на своем пути подвергается с трех сторон действию каскада воды, стекающей из трех труб с избыточным напором в 2—3 ат: спереди, по направлению течения шлака из узкой щели и с боков. Таким образом получается водяной фокус, который и гранулирует шлак. Далее шлак вместе с водой стекает по желобу (уклон желоба 0,075) в бункера, в которых с помощью затвора шлак задерживается, а вода через сетчатые фильтры, устроенные в нижней части



Фиг. 7. Желобная грануляционная установка с бункером (завод им. Сталина).

A — приемный лоток; B — защитная стенка; Ж — желоб; В — бункер.

воронки бункеров, отводится системой желобов в сточную канаву, направляющую воду в отстойник. После стока воды шлак из бункера самотеком через затвор выгружается в железнодорожные вагоны (фиг. 7).

Постройка такой установки требует незначительных затрат, в особенности при возможности использования водопроводной магистрали завода. Простота устройства не требует больших земляных работ, а также устройства громоздкого оборудования, каким является мостовой кран. Расположение установки на отвалах освобождает рабочую площадку доменного цеха. Грануляция водяным фокусом с последующим движением шлака с водой по желобу надежно охлаждает шлак и дает хороший гранулят. Обслуживание такой установки требует незначительного персонала, что дает заметное снижение себестоимости гранулята.

Желобная установка по грануляции шлаков вне доменных печей вполне заменяет центральную установку бассейного типа, дает возможность при

двух желобах обработать до 800 т горячего шлака в сутки, не требует больших затрат на капитальное строительство и дает хороший гранулят.

Описанный мокрый способ обработки горячего шлака гарантирует получение устойчивого шлака благодаря быстрому охлаждению, но большое содержание воды в шлаках, достигающее до 40%, а в пенястом и до 50%, требует при использовании шлака значительных затрат на сушку и вызывает большие расходы по перевозке его.

Сухая грануляция

Отрицательные стороны мокрого способа грануляции заставили применять сухой, или, как его иногда называют, воздушный способ. Известно несколько способов сухой грануляции. Наиболее совершенным является грануляция в барабане Янца.

Барабан Янца для сухой грануляции шлака состоит из длинного вращающегося железного цилиндра, установленного на двух парах роликов и приводимого во вращение мотором. Ось барабана наклонена к горизонту под углом 20°. В верхней своей части барабан слегка суживается, и в его открытый конец входит жолоб от шлаковой лент. Под жолоб подводится струя воды и воздуха. Струя сжатого воздуха направляется по трубе на струю расплавленного шлака, распыляет последний и в виде мелкого дождя направляет его в наклонный вращающийся барабан. Барабан все время охлаждается водой, циркулирующей между его стенками, так что шлак все время соприкасается с холодными местами барабана. Частицы шлака, выходящие из барабана в виде шлакового песка, охлаждены, не требуют сушки и могут быть использованы непосредственно в производстве строительных материалов. Установка работает почти автоматически и требует небольшого количества рабочих.

Вследствие наклонного положения барабана шлак медленно движется к выходу, где он подается элеватором в бункер. Обычно вследствие малой теплоемкости воздуха очень трудно произвести необходимое быстрое охлаждение шлака. Поэтому при воздушном способе грануляции приходится все же вводить в барабан воду, распыляемую воздушной струей, для охлаждения шлаковых зерен.

Для сухой грануляции часто применяют, особенно в Германии, особые мельницы. Горячий шлак, попадая в мельницу, где вращаются рифленые вальцы или тарелки, разбивается на мелкие частицы в виде зерен. Расплавленный шлак обычно до поступления в мельницу в особом жолобе разбивается водой и уже в разрыхленном состоянии направляется в мельницу.

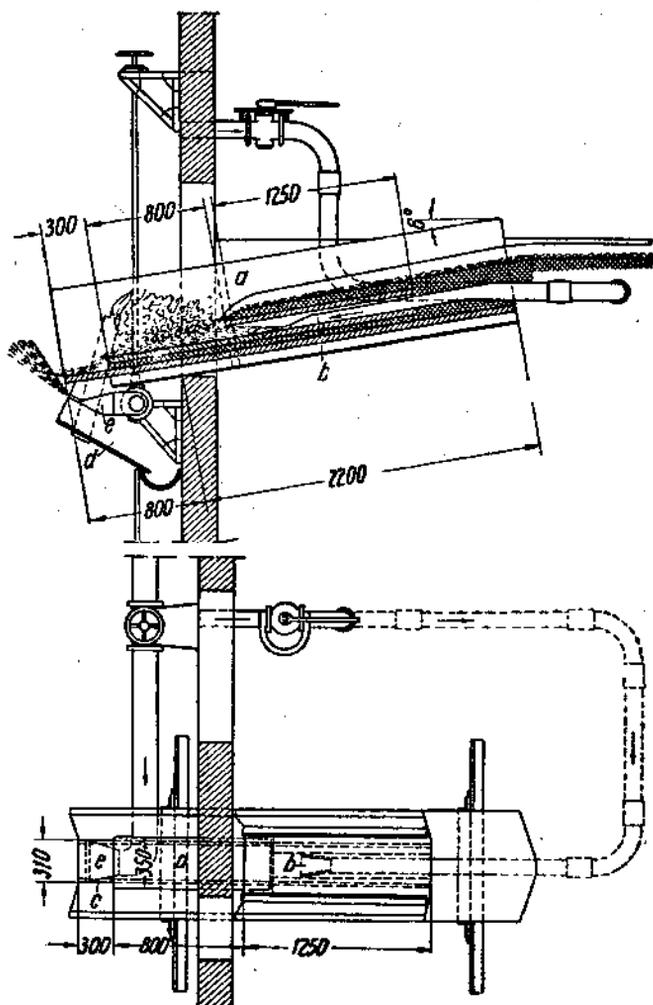
Описанные способы сухой грануляции дают возможность получить шлак с содержанием влаги от 0 до 7%, что освобождает от последующей сушки его. Тем не менее до сих пор преимущественно применяют мокрый способ, как обеспечивающий более быстрое и энергичное охлаждение шлака. Кроме того шлаки с большим содержанием глинозема (более 14%) трудно гранулируются сухим способом. Поэтому для них предпочтительна грануляция водой. При сухой грануляции шлаки обычно имеют большой объемный вес, который колеблется в пределах 1000—1200 кг/м³, в то время как при мокром способе грануляции в жолобе или бассейне их объемный вес при 10% содержании влаги 550—650 кг/м³.

Способы сухой грануляции барабанами, а также в мельнице в Советском союзе не применяются, за исключением Краматорского завода, где рабо-

тает грануляционная мельница немецкой системы Бамаг. Сложность устройства, быстрая изнашиваемость механизмов, соприкасающихся с горячим шлаком, — вот те причины, вследствие которых описанные выше установки не применяются у нас в Союзе. Однако стремление получить при быстром и энергичном охлаждении шлака наименьшее количество влаги в нем побудило изыскать полусухой способ грануляции.

Полусухая грануляция

Принцип полусухой грануляции заключается в том, чтобы направить на горячий шлак наименьшее количество воды, которое обеспечивало бы



Фиг. 8 и 9. Голландский способ грануляции.

быстрое охлаждение шлака с одновременным распылением его воздухом или паром на мелкие части. Такой способ грануляции впервые был осу-

ществен в Голландии на металлургическом заводе в Имундене, где горячий шлак выпускался по желобу, смешиваясь с небольшим количеством воды, а вспученная масса шлака, идя по наклонному желобу вместе с водой, постепенно охлаждалась. В конечной части дна желоба были устроены специальные отверстия, через которые уходила избыточная вода. Под желоб от воздуходувки домы была подведена струя сжатого воздуха, которым шлак окончательно разбивался на мелкие части и поступал в приемник.

Необходимо отметить, что при распылении шлака струей воздуха частицы шлака при падении в приемник проходили по воздуху значительный путь, где шлак дополнительно охлаждался, что давало возможность применять любую систему выгрузки шлака из приемника (грейфер, элеватор и пр.). Схема устройства грануляционного желоба на заводе в Имундене изображена на фиг. 8 и 9. В желобе *a* расплавленный шлак встречается с небольшим количеством воды, подведенной по трубопроводу *b*. По скату этого желоба до его конца течет очень раздутый, но еще раскаленный шлак, почти тестообразной формы, постепенно охлаждающийся. Боковые выемки *c* в нижней направляющей пластине желоба отводят лишнюю воду. Под желоб подведено сопло с воздухом, которым шлак разбивается на мелкие зерна.

По описанному принципу голландского способа полусухой грануляции шлака в нашем Союзе была произведена опытная полусухая грануляция доменных шлаков.

Желобный полусухой способ грануляции

Для выбора системы желоба для полусухой грануляции необходимо было, во-первых, установить опытным путем надежное и быстрое охлаждение шлака, обеспечивающее ему гидравличность, во-вторых, дать гранулят с наименьшим количеством влаги, в-третьих, иметь возможность в зависимости от природы шлака механически регулировать количество подаваемой воды и воздуха и, наконец, дать такую конструкцию желоба, которая обеспечивала бы применимость его как непосредственно у доменной печи, так и вне ее.

В результате многочисленных опытов полусухой грануляции, проведенных на опытной установке, определилась конструкция желоба, изображенная на фиг. 10, обеспечивающая получение требуемого полусухого гранулята.

Так как желоб для полусухой грануляции служит главной основной частью установки независимо от того, где он будет применен, у бассейна или с системой бункеров, а также учитывая, что этот новейший способ грануляции у нас в Союзе является наиболее технически усовершенствованным, ниже приведено детальное описание его.

Самый желоб состоит из трех чугунных частей. Две из них отливаются по одной модели, а третья часть служит соединением с существующими желобами у доменной печи. Все три части скрепляются болтами таким образом, чтобы образовалось два порога высотой 150 мм каждый. Под порогами оба желоба имеют отверстия для укрепления в них вращающихся сопеи для воды (фиг. 11).

Длина первого и второго желоба по 1250 мм каждый, как подтвердили опыты, вполне достаточная; длина соединительной части 750 мм. Стенки

и днища рабочих секций жолоба делаются толщиной по 50 мм, толщина стенки соединительной секции по 75 мм. Такая значительная толщина днища необходима потому, что по днищу течет расплавленный шлак, обработка которого водой начинается только в начале следующей секции жолоба. Днища всех трех секций жолоба имеют форму трапеции с основаниями 300 и 350 мм, обращенной большим основанием к спуску шлака. Первая секция жолоба устанавливается с уклоном к горизонту 0,310, вторая и третья секция с уклоном 0,275.

Для отвода излишка воды и устранения попадания ее под действие воздушной струи, в конце первой секции жолоба прострогано пять поперечных канавок шириной 20 мм и глубиной 15 мм. Для того чтобы кусочки гранулированного шлака не застревали в канавках, в них просверливаются ряды конических дыр размером 10×15 мм.

Сумма поперечных сечений равна $29,85 \text{ см}^2$, что соответствует сечению трубы диаметром 62 мм, т. е. уборка лишней воды вполне обеспечена. С целью окончательного удаления воды под канавками с дырами прикрепляется чугунный водоотлив.

Подача воды для грануляции шлака происходит при помощи поворачивающихся на 90° сопел, вставленных в отверстия в первой и второй секциях жолоба. Указанные водяные сопла

изготовлены из газовой трубы диаметром 200 мм с просверленными рядами дыр диаметром 5 мм. Суммарное сечение этих дыр равно $19,6 \text{ см}^2$, что соответствует сечению трубы диаметром 50 мм, поэтому подающая воду труба тоже имеет диаметр 50 мм.

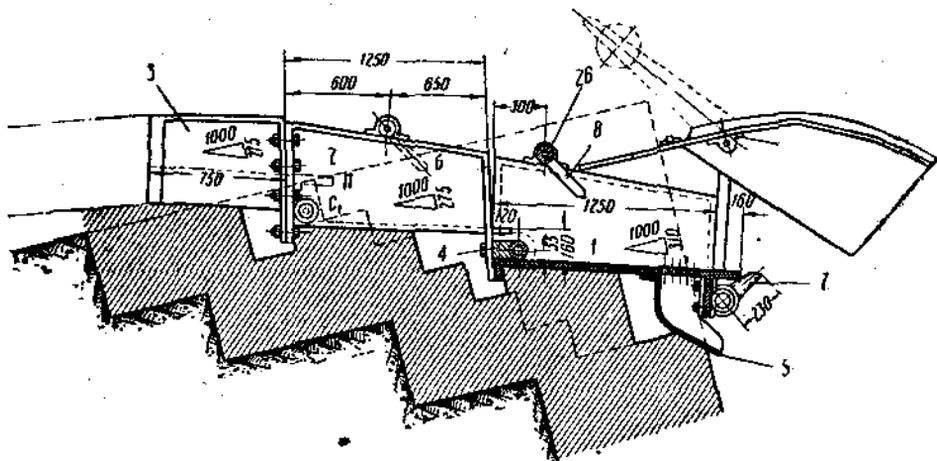
Для уменьшения количества воды, подаваемой водяными соплами позади них устанавливают чугунный вкладыш, прижимающийся к соплу двумя болтами. При поворачивании сопла ряды отверстий на нем прикрываются вкладышем, и тем уменьшается подача воды без уменьшения ее напора. Для более надежного проникновения воды в шлак помимо двух вращающихся водяных сопел над второй секцией жолоба устраивают брызгало, состоящее из шести отдельных струй. Для лучшего действия водяных струй брызгало может поворачиваться вокруг своей оси на 180° .



Фиг. 10. Опытный грануляционный жолоб полусухой грануляции (завод им. Войкова).

Оба водяных сопла и верхнее брызгало имеют самостоятельные вентили, расположенные в будке центрального управления. Поэтому они могут быть пущены в действие как все вместе, так и в различных комбинациях и с различными углами поворота.

Под порогом первой секции жолоба устанавливают сопло для подачи воздуха, которое угроено так, что может поворачиваться на 45° . Это сопло имеет выходное отверстие для воздуха размером 260×15 мм. На верхнем конце первой секции устроена также верхняя подача воздуха, назначение которой главным образом способствовать более быстрому движению гранулята по жолобу. Верхнее воздушное сопло состоит из семи отдельных воздушных струй диаметром 10 мм каждая и может, подобно нижнему, поворачиваться тоже на 45° . Воздушные сопла прикрепляются к жолобу при помощи хомутов.



Фиг. 11. Типовой жолоб для полусухой грануляции доменного шлака.

1 — первая секция; 2 — вторая секция; 3 — соединительная секция; 4 — первая секция; 5 — нижнее водяное сопло; 6 — направляющий щит; 7 — верхнее воздушное сопло; 8 — направляющий щит; 9 — соединительная секция; 10 — водослив; 11 — нижнее воздушное сопло; 12 — контргруз.

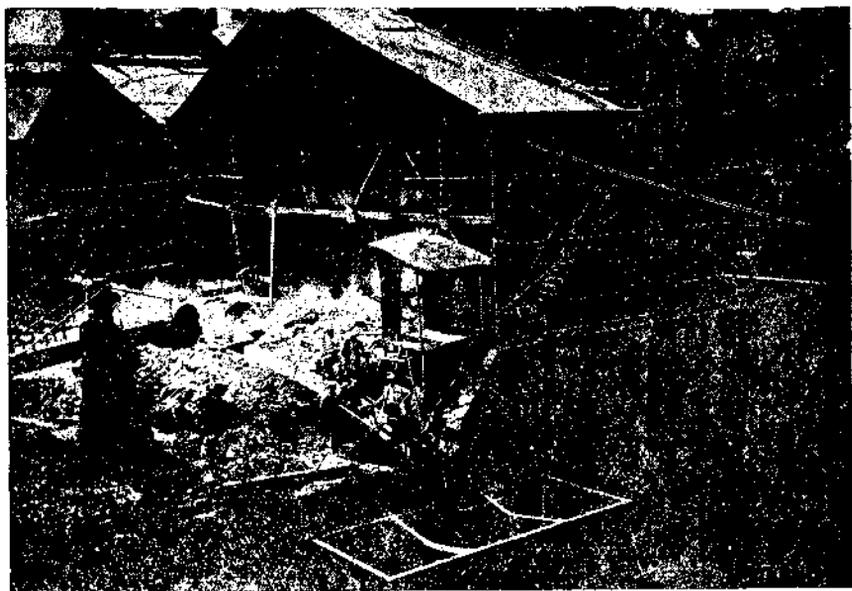
Все сопла, как воздушные, так и водяные, удобно монтируются на жолобе и в случае надобности могут быть легко сняты и заменены новыми. Последнее важно в том отношении, что не исключена возможность их порчи под влиянием раскаленного шлака. Для удобства их смены и осмотра с обеих сторон жолоба устраивают ряд ступенек и площадки шириной 700 мм.

Для более удобного наполнения вагона-коробки гранулированным шлаком, а также и для того, чтобы шлак сильно не разбрасывался воздушной струей в разные стороны, на переднем конце жолоба устраивают железный направляющий щит, который для лучшего направления струи гранулированного шлака может изменять угол своего уклона и даже откидываться в случае надобности назад. Щит для более легкого обращения с ним уравнивают контргрузом, укрепленным на рычаге (фиг. 12).

На расстоянии 2,5 м от оси шлакового жолоба расположено центральное управление всей установки, занимающее помещение размером $2,2 \times 2,5$ м.

с окном $1 \times 1,4$ м, обращенным в сторону жолоба. В этом помещении сосредоточены все вентили как воздушных, так и водяных трубопроводов, установлен щит для измерительных приборов, собраны сальники и рычаги для поворачивания воздушных и водяных сопел, за исключением одного сальника на воздухопроводе. Рычаг для поворачивания этого сопла воздухопровода также находится в помещении центрального управления.

Процесс грануляции и работа жолоба происходит следующим образом. Доменный шлак подается полной струей из шлаковой летки доменной печи в жолоба. Струя направляется на соединительную секцию грануля-

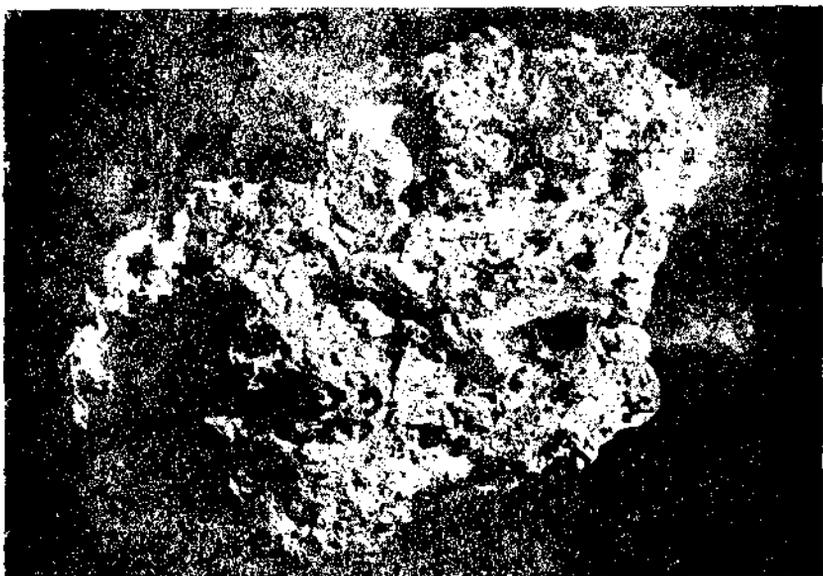


Фиг. 12. Установка по воздушной грануляции у доменной печи (завод им. Войкова).

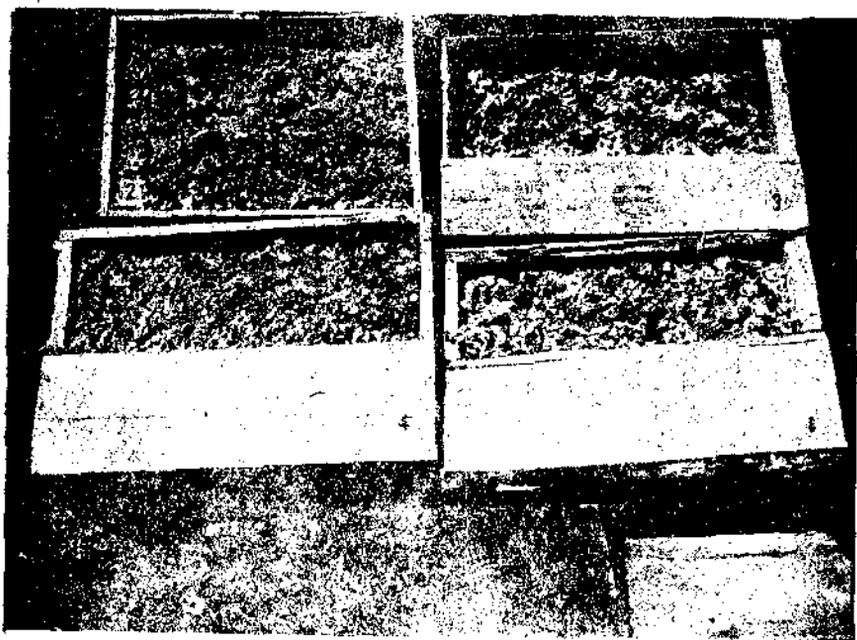
ционной жолоба, в конце которого устроен первый перепад-шорог — и поставлено первое водяное сопло с дырами диаметром 5 мм.

Попадая затем при этом первом перепаде непосредственно в воду, шлак вспучивается и пропитывается струями пара. Пропитывание шлака паром вполне обеспечивается тем, что при стыке секций жолоба получается закрытая со всех сторон коробка и пару нет иного выхода, как только через шлак. Далее, вспученный шлак идет большим массивом на водяной подушке, встречается со струями воды верхнего водяного брызгала и разбивается им на небольшие куски (фиг. 13).

При втором перепаде, образованном при стыке второй и первой секций жолоба, благодаря падению на 160 мм куски вспученного шлака переворачиваются, подвергаются одновременному действию воды из второго дырчатого сопла и образующегося при этом пара. После этого почти готовый гранулят уносится на пароводяной подушке по уклону в 0,310 в конец первой секции и здесь попадает под действие воздушной струи из нижнего сопла.



Фиг. 13. Кусок вспученного шлака, полученный во второй секции жолоба над-под верхнего брызгама.



Фиг. 14. Гранулированный шлак от воздушной грануляции в ящиках с различным содержанием влаги.

- | | | | | | |
|-----|---|---|---|-------|---|
| № 1 | — | » | » | 0,3% | » |
| № 2 | — | » | » | 2,1% | » |
| № 3 | — | » | » | 11,4% | » |
| № 4 | — | » | » | 33,7% | » |

В случае образования затора гранулята в первой секции воздух подается и через верхнее сопло, и воздушными струями гранулят сметается вниз по желобу. Под действием воздуха из нижнего сопла гранулированный шлак подбрасывается в щиту, ударяется о него, разбивается и затем падает в подставленный вагон-коробку. Для устранения излишнего увлажнения шлака при подаче большого количества воды последняя не попадает в вагон-коробку, а отводится через конические дыры в водоотлив.

Таким образом мы видим, что способ желобной полусухой грануляции обеспечивает получение гранулированного шлака с достаточной гидравлической активностью, с небольшим процентом влаги (от 4 до 9%), что устраняет излишние затраты на перевозку воды в шлаках (фиг. 14).

В результате проведенной грануляции шлаков по описанному способу установлены следующие основные показатели: на 1 т гранулированного шлака расходуется 0,5 т воды, 40 м³ воздуха; влажность колеблется от 4 до 9% и в среднем не превышает 7% при указанном расходе воды, объемный вес гранулята 650—700 кг/м³.

Данные о шлаковом кирпиче, изготовленном из полусухого гранулята, без добавки извести и без поливки водой при механическом испытании после 12 дней воздушной сушки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Разрушающий груз в кг	Напряжение в кг/см ²
5 100	22,3
5 000	22,1
4 900	21,8

Из табл. 3 видно, что гранулят получается с хорошей гидравлическостью, обеспечивающей эффективное использование такого шлака в промышленности строительных материалов.

Простота и несложность устройства желоба позволяют применять его как непосредственно у доменной печи, так и вне ее.

Наличие механической регулировки воды и воздуха, сосредоточенной в одном месте, и весьма незначительный расход этих элементов на тонну гранулята позволяет значительно уменьшить стоимость обработки горячих шлаков. Низкая стоимость установки и производства, простота эксплуатации, большая пропускная способность (до 90 т/час) вполне обеспечивают широкое применение этого способа грануляции на большинстве металлургических заводов.

Стоимость гранулята

Крайне разнообразная пропускная способность установок, различные способы обработки, а также разное состояние внутризаводского транспорта, обуславливают крайне пеструю картину стоимости готовой продукции. В табл. 4 приведены основные показатели стоимости гранулята по характерным районам нашего Союза.

Таблица 4

Заводы	Способ грануляции	Орделял стоимость по ценам 1933 г.	
		руб.	к.п.
Донбасса	Мокрый	2	30
	Сухой	2	40
Южного района	Мокрый	1	10
	Полусухой	1	40
Центрального района	Мокрый	2	10
Восточного района (Урал)	»	3	60

Табл. 4 показывает, что наиболее дешовый мокрый гранулят дают заводы Южного района, что объясняется наличием в Приднепровье и в Приазовье грануляционных устройств большой мощности. Заводы Донбасса и Центрального района выпускают гранулят несколько повышенной стоимости, что объясняется слабым развитием грануляционных установок и грануляцией в железнодорожных коробках, беспрерывная подача которых вследствие загруженности транспорта не обеспечена. Значительная стоимость гранулята по заводам Урала объясняется незаконченной реконструкцией железнодорожных путей для подвозки горячих шлаков в установки (большие пробеги), добавочной стоимостью подачи воды, а также незаконченным строительством установок для грануляции на заводах с большим выходом горячих шлаков.

Стоимость же гранулята полусухой грануляции благодаря небольшим производственным расходам ниже стоимости гранулята, полученного сухой грануляцией.

Стоимость гранулята в Германии, полученного мокрым способом с выпариванием 25% влаги (сушки), составляет 1,80 марок за 1 т, сухим способом — 0,40 марки, полусухим способом с выпариванием 5% влаги — 0,70 марок за 1 т.

Шлаковая вата

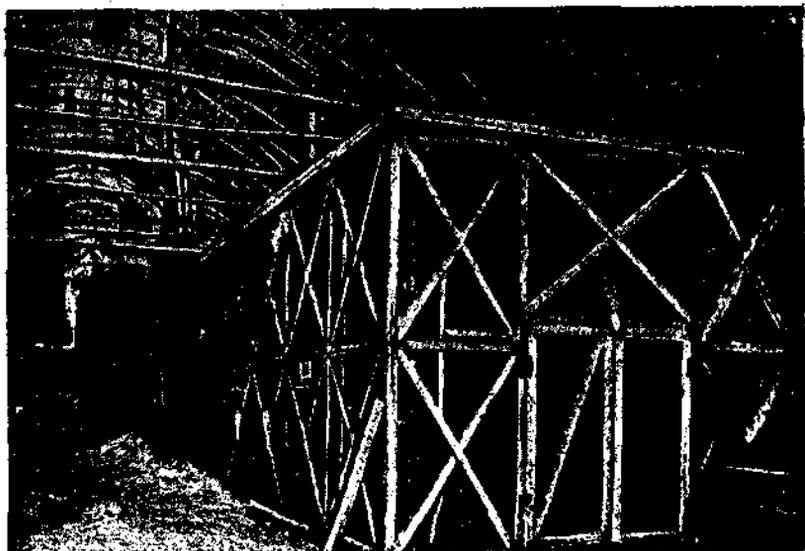
Кислые шлаки металлургических заводов Урала, ведущих доменное производство на древесноугольном топливе, являются высококачественным сырьем для производства термоизоляционного материала — шлаковой ваты.

Шлаковая вата, которую иногда называют минеральной или каменной, ватой, получается посредством вздувания жидкого шлака при помощи струи воздуха или пара; при этом вздуваемый шлак разделяется на бесчисленные мелкие шарики, которые распускаются в тонкие ватные нити толщиной 0,001—0,007 мм и длиной около 1 м.

Образование шлаковых нитей под действием струи пара или воздуха объясняется трением о поверхность шлаковых капель, которые в потоке системы газ-шлак движутся значительно медленнее газа, особенно в начале этого потока. При этом надо полагать, что вследствие этого трения тончайшие пленки застывающего шлака непрерывно, по мере образования, стравляются потоком газа с капель и, как более легкие, обгоняют их,

вытягиваясь в нити. Основным свойством шлака, способствующим этому процессу, является то, что переход его из жидкого состояния в твердое совершается не мгновенно, а в некотором значительном интервале температур. При таком способе вздутия шлака объем шлака увеличивается примерно в 12 раз, т. е. общий объем шлаковой ваты состоит из 8%, твердых частей и 92% воздуха, заключенного в шлаковых нитях; вследствие этого последние являются весьма ценным материалом для изоляции тепла и звука. Применяя те или иные усовершенствования при изготовлении шлаковой ваты, можно получить соотношение объемов шлака и воздуха равным 5:95.

Производство шлаковой ваты налажено на Урале, где имеются две фабрики (одна в Сатках, другая в Билимбае). Наиболее эффективным



Фиг. 15. Наружный вид камеры (заливная часть).

сырьем для этого производства являются огромные запасы отвальных шлаков, получаемых при выплавке чугунов, работающих на древесно-угольном топливе в доменных заводах. Самый процесс производства состоит в следующем. В обыкновенную вагранку высотой 4,2 м и диаметром 0,5 м загружают вместе с коксом шлак, предварительно разбитый на куски величиной 8—10 см. После разогрева вагранки расплавленный шлак выпускают струей диаметром около 15 мм. Перпендикулярно к выливающейся струе шлака направлен через особое сопло пар давлением около 8 ат; для уменьшения тягучести шлака в вагранку добавляют доломит в количестве около 2%, от веса шлака.

Вздутые паром тонкие нити ваты улавливаются особой камерой расположенной непосредственно у вагранки около самого сопла. Размеры камеры следующие: длина 26 м и по 3 м в ширину и высоту. Часовая производительность такой установки равняется 1,25 т ваты при расходе 750 кг пара. Для получения 1 т ваты необходимо 1,22—1,3 т шлака.

Разогрев вагранки, плавка доменного шлака, вздутые его паром производятся в одну 6-часовую смену. Выгрузка ваты начинается после остывания камеры и ваты, примерно через 2—3 часа, и производится вручную. Общая производительность такой установки при двух камерах около 3000 т шлаковой ваты в год (фиг. 15).

В целях более равномерного распределения потока шлаковых нитей по длине и толщине (внутри самой камеры) в камере устроены особые разделительные сетки, подвешенные сверху к задним боковым стенкам камеры на треть всей длины камеры (фиг. 16). Необходимость этих сеток диктуется тем, что при устремлении в камеру шлаковые ватные нити в силу различного веса дают различные сорта шлаковой ваты. Лучшие нити, т. е. более толстые и легкие, устремляются в конец камеры и, встречая на пути сетки, остаются на них. Более толстые



Фиг. 16. Боковые сетки внутри камеры, на которых висит вата высшего сорта.

и короткие нити вследствие большого веса проходят ниже сеток, в результате устраняется перемешивание различных сортов шлаковой ваты. Кроме указанных сеток, дающих возможность получать более однородную массу шлаковой ваты, в передней части камеры, у приемного окна, устроены вертикальные железные щиты, разделяющие переднюю часть камеры (примерно на треть всей длины) на три части. Обычно в приемное окно в начале потока поступает часть нитей со шлаковыми шариками, которые, перемешиваясь, осаждаются в передней части камеры. Устройство железных щитов вдоль передней части камеры дает в боковых двух отдельных коридорах свободное от потока пара пространство. В результате толстые нити и шарики падают в среднем коридоре, а тонкие, как более легкие, свободно осаждаются в боковых коридорах, чем также достигается односортность ваты.

Производство шлаковой ваты в нашем Союзе только начинает развиваться. Научно-исследовательская работа по выявлению всех техно-

химических свойств шлаковой ваты ведомая. Ниже приводим основные технико-экономические показатели.

Внешний вид и физические свойства шлаковой ваты. Шлаковую вату вырабатывают нескольких сортов. В зависимости от сорта она распределяется от 20 до 60 коп. за 1 м. Вышние сорта имеют ярко белый цвет. Полностью отсутствуют шлаковые шарики. Толщина шлаковых нитей от 0,0013 до 0,002 мм. Объемный вес около 50 кг/м^3 , объем пустот 98%.

Тонкие волокна этой ваты позволяют согнуть из них круг диаметром 15—20 мм. Средние сорта шлаковой ваты имеют тот же белый цвет, но с некоторым желтоватым оттенком, толщина нитей от 0,002 до 0,005 мм. В этих сортах имеется некоторая примесь шлаковых шариков и капель размером от 0,1 до 2 мм, объемный вес около $55—60 \text{ кг/м}^3$, объем пустот 96—98%. Более низкие сорта шлаковой ваты имеют также белый цвет, но с заметным зеленоватым оттенком, толщина нитей от 0,002 до 0,007 мм, объемный вес около $120—130 \text{ кг/м}^3$, объем пустот около 95—96%. В этом сорте количество шариков значительное, и размеры их доходят от 0,1 до 5 мм. Чем ниже сорт ваты, тем более в ней шариков.

Шлаковые шарики на длинных нитях ваты получаются вследствие того, что какие-то части горячего шлака не были схвачены струей пара, шарики же с короткими, висящими на них нитями, получают вследствие того, что хотя шлак и был схвачен струей, но продолжение не было доведено до конца. Точное определение количества шариков очень затруднительно вследствие их неравномерного распределения в вате. В настоящее время большей частью отказываются от точного определения количества шариков в шлаковой вате. Обычно объем шариков по сравнению с большой емкостью ваты незначителен, и механической очисткой количество шариков может быть уменьшено еще более.

В Германии очистка ваты от шариков производится в тех случаях, когда приходится считаться с постоянной ветряковой укладкой, где большая масса шариков благодаря своей кинетической энергии благоприятствует внутреннему трению и разрушению ваты. Некоторые германские заводы применяют, например, для изоляции системы труб шлаковую вату, которую очищают в особых подготовительных машинах и тут же смешивают с порошкообразным изолирующим материалом, например магнезитом или инфузальной землей. Магнезиту отдается предпочтение при изоляции паропроводных труб, так как при смешении с магнезитом мелкие частички пыли осаждаются вплотную на волокнах и защищают их от протирания и разрушения. Указанная смесь при самой благоприятной плотности укладки обладала тем же коэффициентом теплопроводности, что и шлаковая вата. Коэффициент теплопроводности ваты зависит от объемного веса; при среднем объемном весе 250 кг/м^3 он равен 0,053.

Объемные веса указанных выше сортов ваты даны для ваты, свободно уложенной. Шлаковую вату можно подвергать некоторому прессованию, причем предельное давление, после которого наступает разрушение волокон ваты, равно 1 кг/см^2 . Массовое же разрушение волокон ваты наступает после превышения давления 10 кг/см^2 (фиг. 16 и 17).

Коэффициент теплопроводности. Точное определение коэффициента теплопроводности для каждого сорта ваты имеет огромное зна-

чение. У нас в Союзе сейчас проводятся большие исследовательские работы по шлаковой вате, задачей которых является определение всех технико-экономических показателей уральской шлаковой ваты. Коэффициенты теплопроводности германской чистой волокнистой ваты, которой не уступает наша вата, при плотности укладки в $250-500 \text{ кг/м}^3$, колеблется между 0,05 и 0,06 по диаграмме германских заводов. Самый низкий коэффициент теплопроводности в 0,048 достигается при плотности укладки шлаковой ваты 400 кг/м^3 .

Напомним, что коэффициент теплопроводности воздуха 0,02, суррогата пробки 0,09 и котельных огарок 0,64.

Гигроскопичность шлаковой ваты. Гигроскопичность шлаковой ваты, т. е. количество воды, впитываемой сухой шлаковой ватой,



Фиг. 17. Прессовка ваты высших сортов.

находящейся в сыром помещении в течение 24 час., составляет 0,50—0,99% от веса ваты. Показатели по гигроскопичности шлаковой ваты взяты из опытов с германской ватой, но такое же колебание в зависимости от сорта ваты дает и наша вата. Температура спекания колеблется от 1200 до 1350° , что позволяет с успехом применять шлаковую вату, как изоляционный материал в печном и паросиловом хозяйстве.

Влияние шлаковой ваты на ржавление железа. Шлаковая вата, применяемая как изолятор, соприкасается с металлическими частями. Поэтому необходимо установить влияние ваты на ржавление железа. Практика применения шлаковой ваты установила, что шлаковая вата при соприкосновении с металлическими частями в сухой атмосфере почти не оказывает влияния на ржавление железа. По данным немецкой практики увеличение веса от ржавления тонкого листа железа (в 1 мм), помещенного со шлаковой ватой в закрытом сосуде, через 105 дней равнялось 0,2—1,0 мг на 100 см^2 , а во влажном воздухе достигало 0,2—

3,5 м на 100 см². Таким образом увеличение веса служащее мерилом образования ржавчины, крайне незначительно, в особенности при изоляции шлаковой ваты от атмосферных влияний. Из сказанного следует, что шлаковая вата с успехом может применяться в качестве термоизоляции и при соприкосновении ее с металлическими частями, без опасения ржавления металлических частей.

Применение шлаковой ваты. Указанные ценные свойства шлаковой ваты советского производства сами собой определяют применение шлаковой ваты, как огнеупорного, тепло-и звукоизоляционного и упаковочного материала. В Германии шлаковая вата в большом количестве применяется в холодильном деле для изотермических вагонов и пр. В Америке шлаковая вата широко применяется, как средство изоляции теплоты и звука при постройке фабрик и заводов.

Значительными потребителями шлаковой ваты в нашем Союзе являются объединения: ВАТ, Востокосталь, Уралмашстрой, Трест теплой изоляции, ЧТЗ, Союзпродмашина. Указанные предприятия употребляют шлаковую вату различных сортов, как термоизоляционный материал, в разрыхленном состоянии. Так, объединение ВАТ с успехом применяет вату первого сорта для изоляции кислородных колонок с температурой минус 200°, закладывая между колонкой и металлическим кожухом из тонкого железа слой шлаковой ваты толщиной 250—300 мм при плотности укладки 330 кг/м³.

Союзпродмашина применяет шлаковую вату второго сорта для изоляции переносных металлических хлебопекарных печей с температурой +230°. При этом под тонкий железный кожух закладывают слой шлаковой ваты толщиной 50 мм с плотностью укладки 300 кг/м³. Применение шлаковой ваты в качестве изоляционного материала дает отличные результаты.

Шлаковая вата является гигиеническим огнеупорным материалом. Шлаковая вата, главным образом низших сортов,—яд для грызунов, ибо последние гибнут от проникновения в дыхательные органы тонких кусочков шлаковатных нитей. Засыпка шлаковой ваты под настилку полов в жилых помещениях, а также в продуктохранилищах, вполне обеспечивает от проникновения грызунов. Не следует забывать, что половые настилы должны обеспечить от проникновения в жилые или продуктовые помещения шлаковой ваты, ибо последняя при вдыхании ее человеком является опасной и для него.

На Урале около шлаковатной фабрики в Билимбае построен деревянный дом, стены которого сооружены из 2-дюймовых досок; промежутки между досками засыпаны самым низким сортом шлаковой ваты. Слой ваты около 190 мм. Выстроенный дом в отношении теплопроводности наружных стен не уступает каменной постройке.

В Капфенберге Вепским физико-химическим исследовательским институтом¹ были проведены опыты над стальной постройкой в отношении теплопроводности стен. Одни опыты были проведены с древесной шерстью, а другие—со шлаковой ватой. Здание оттаивалось долго, вплоть до начала опытов. Толщина стен его 142 мм, причем стена состояла из 10-мм наружной облицовки, 50-мм гераклита, 80-мм воздушного пространства и 3-мм стальной пластины.

¹ Артур Гутман, «Stahl und Eisen», 1929.

В среднем потеря тепла составляла (в $\text{кал}/\text{м}^2 \text{ час } ^\circ\text{C}$)

Пустотелая стена	1,03
Набитая древесной шерстью	0,54
» шлаковой ватой	0,35

Коэффициент теплопроводности составил (в $\text{кал}/\text{м}^2 \text{ час } ^\circ\text{C}$):

Пустотелая стена	0,144
Набитая древесной шерстью	0,077
» шлаковой ватой	0,050

Если для сухой кирпичной стены за коэффициент теплопроводности принять 0,65, то стальная стена со слоем шлаковой ваты толщиной 14,3 см равноценна кирпичной толщиной 174 см. Указанные опыты доказывают большое преимущество наполнения пустотелых стен жилых помещений (построек) шлаковой ватой перед другими плохими проводниками тепла.

В целях ознакомления с производством шлаковой ваты за границей ниже приведен краткий обзор шлаковатного дела в Германии и Америке.

Производство шлаковой ваты в Америке и в Германии уже заняло прочное место. Несколько заводов, производящих шлаковую вату дают десятки тысяч тонн ее, причем путем особой шихтовки печей минеральными добавками шлаковую вату получают из основных шлаков. Шлак при этом выпускается так, что воздушная или паровая струя продувает равномерный поток шлака.

В Германии шлаковая вата получалась главным образом случайно, при сухой грануляции шлаков, богатых кремнекислотой. Только два завода переплавляли шлаки в особых печах. Разные по составу шлаки вследствие различного хода домы затрудняли как подбор давления пара, так и размер струи шлака. Поэтому решили, что наилучшим способом получения шлаковой ваты является способ, по которому шлак в особых печах расплавляется в смеси с особыми добавками в зависимости от природы шлака и выпускается таким образом, чтобы равномерно сильный и спокойный ток шлака с выверенной температурой подводился под ток воздуха или пара. Таким образом выпуск шлака должен быть абсолютной самоцелью в отношении изготовления шлаковой ваты.

По заявлению американского исследователя Гергарда Вольфа в Америке из различных печей, применяемых для переплавки шлака, — опрокидывающиеся электрические печи и отапливаемые нефтью или коксом пламенные печи и вагранки, работающие вытяжной тягой — способными удовлетворять полностью все предъявленные требования оказались лишь вагранки. Опрокидывающиеся плавильные печи давали очень хорошую шлаковую вату, но производительность таких печей была недостаточна высока, для того чтобы производство было рентабельным. Кроме того, как и при пламенных печах всех типов не достигалась одинаково важная как экономической, так и с технической точки зрения непрерывность работы.

При переплавке шлака в пламенных печах пытались достигнуть непрерывности работы, для чего во время выпуска горячего шлака делались садки новых смесей шлака. В результате получалось не только временное охлаждение шлака и неблагоприятные в отношении качества шлаковой ваты изменения условий работы, но и вызываемое сотрясанием ванны заметное раздувание потока шлака, так как тонкие горячие шлаки чередовались с более толстыми и одновременно более холодными.

После опытов с разными печами в Америке остановились на простой вагранке с разрежением около 0,05 ат и нефтяной топкой. Расход мазута составляет около 8%, пропускаемого количества шлака, причем удалось установить, что даже при отоплении вагранки мазутом добавка до 25% кокса или бурого угля давала значительно лучшие результаты.

Большое значение для поставленного технически безукоризненно производства шлаковой ваты является правильное направление дутья, размер и установка приемного приспособления (камеры), причем наиболее правильно — направлять дутье в правый угол к току шлака и брать расстояние отверстия сопла от струи шлака в 10 см. На таком же расстоянии должно находиться и отверстие камеры для приемки нитей шлаковой ваты. В Америке указанные выше вагранки дают возможность получить около 25—30 т шлака в сутки при приемнике в 18 м длиной и 3,5 м в ширину и высоту. Уборка ваты из камеры производится бесконечной стальной лентой шириной 1 м, идущей вдоль всей камеры и выступающей на 1 м из задней стены.

Производство шлаковой ваты из основных шлаков вполне возможно, но надо полагать что, основные шлаки вследствие высокой точки плавления потребуют большого расхода горючего или применения примесей, понижающих точку плавления. Химический состав шлаков имеет значение не только для изготовления ваты, но и в отношении качества продукции: содержание закиси железа и закиси марганца играет большую роль, чем содержание окиси кальция, так как указанные окислы могут при значительном наличии их в шлаковой вате вызвать появление ржавчины на металлических частях изолируемых паропроводов или газопроводов.

Большое содержание сернистого кальция при отсырени ваты может вызвать неприятный сероводородный запах.

В таб. 5 приведены составы шлаковой ваты отечественного, американского и германского производства, которые указывают на высокое качество шлаковой ваты, дающее возможность применять ее в качестве изоляционного материала в различных отраслях народного хозяйства.

Таблица 5

Химическое соединение	СССР	США	Германия
	в процентах		
SiO ₂	50,35	30,70	30,50
Al ₂ O ₃	15,85	10,35	14,78
CaO	23,15	17,02	32,98
MgO	10,15	11,33	3,96
SO ₂	0,50	0,86	0,09
Потери при прокатывании . .	—	29,74	—

Некоторые благоприятные показатели по производству шлаковой ваты дают медные шлаки, в особенности шлаки, получаемые при пиритных плавках, поскольку содержание с них железа невелико. Эти шлаки содержат незначительное количество серы и дают мягкую шлаковую вату с длинными волокнами. Содержание силикатов в этих шлаках не должно превышать 40—45%. На заводе «Красный Выборжец» в Ленинграде проведен ряд опытов по получению шлаковой ваты из медных шлаков.

по всем данным нашей и зарубежной практики шлаковая вата может быть получена из любого шлака с соответствующей шихтой ваграночным способом при помощи разбивки горячей струи шлака сжатым паром или воздухом. Ниже приводим описание пробного изготовления шлаковой ваты из ваграночных, мартеновских шлаков различной основности, а также из сланцевой золы. Пробное изготовление шлаковой ваты проводилось в полужавоцком масштабе, причем шлаки расплавлялись не в вагранках, а в графитовых тиглях системы «Красный Тигель» Лужского завода емкостью 200 марок.

Схема изготовления заключалась в следующем.



Фиг. 18. Пробное производство шлаковой ваты из мартеновских и ваграночных шлаков и сланцевой золы (в тиглях).

1. Шлак брали из отвалов и перед загрузкой в тигель дробили до размеров 3—5 см. Флюсом служил известняк. Сланцевую золу брали в порошкообразном состоянии, дробления, следовательно, она не требовала.

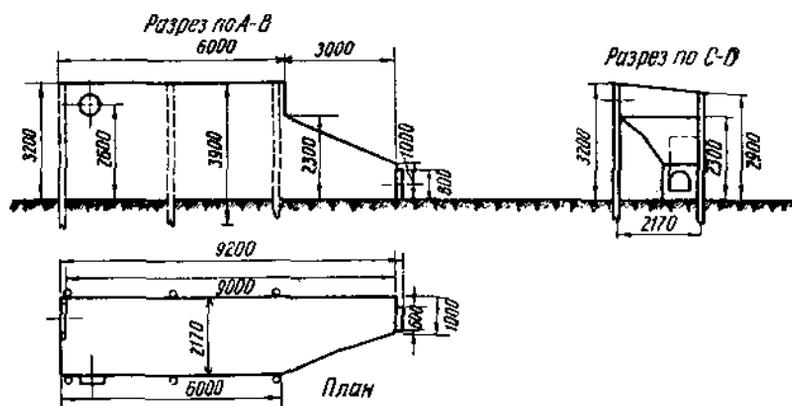
2. Отдельные компоненты взвешивали и после перемешивания загружали в горячий тигель. В отдельных случаях к шлаку добавок не давали.

3. Тигель с шихтой нагревали в горне.

По условиям заводской работы первые 11 плавков производились в однотигельных самодувных коксовых горнах (с естественной тягой без дутья). Последние 5 плавков проводили в нефтяных трехтигельных горнах с форсунами малого давления. Коксовые горны дают невысокую температуру (около 1300°), и расплавление в них идет значительно медленнее; кроме того во время плавления приходилось открывать горны для добавки кокса, что затягивало плавку. В нефтяных горнах плавка шла при более высокой температуре (около 1500°) и поэтому протекала скорей.

В указанных выше условиях расплавление и степень нагревания шлага контролировались перемешиванием шлага сверху железным прутом, причем более кислые шлаки, с большим содержанием кремнезема, получались настолько вязкими, что даже при нагревании до высокой температуры (около 1400°) тянулись за прутом, при выпытывании его из тигля после перемешивания. Менее кислые шлаки оказывались в расплавленном состоянии более жидкими и за прутом не тянулись. Некоторые смеси были настолько тугоплавкими, что их не удалось расплавить.

4. После расплавления и соответствующего нагревания шлага тигель вынимали из горна, затем взвешивали и подносили к месту продувки, подвешивали на цепь, медленно наклоняли и получали тонкую струю шлага (фиг. 18). На падающую вертикально струю жидкого шлага направляли струю сжатого воздуха под давлением 5—6 ат. Горячий шлаг при таком направлении струи воздуха вытягивался в тонкие нити, которые улавливались особой приемной камерой, где шлаковые нити в



Фиг. 19. Схема камеры для продувки шлага на вату.

виде снежной метели оседали по сортам в зависимости от удельного веса.

Из наблюдений над производством шлаковой ваты выяснилось, что размер приемной камеры, расположение ее по отношению к струе шлага, толщина этой струи, давление воздуха, а также расстояние сопла от струи горячего шлага, играют большую роль как с точки зрения полной продувки и приемки шлага в камеру, так и качества получаемой шлаковой ваты.

При получении шлаковой ваты из тяжелых металлических шлаков и сланцевой золы в описываемых условиях расположение сопла на расстоянии 5—6 см от струи шлага давало наилучшие условия продувки, расстояние же от струи шлага до отверстия в камере составляло около 20 см.

Сжатый воздух брался от компрессора по железной трубке диаметром 37 мм, которая оканчивалась вентиляем в 2 м от места продувки. На конец трубки был навинчен резиновый шланг диаметром 23 мм и длиной 3 м, а на него сопло, состоявшее из медной трубки диаметром 25 мм, сплюсненной на конце до размера 38×2 мм. Камера для улавливания нитей ваты — простейшего устройства, на шести деревянных стойках, в которых прибито изнутри тонкое железо. Размеры камеры: в передней части

1,0×3,9 м, в задней части 3,9×3,2 м, длина ее 6 м. Приемное отверстие диаметром 60 см. В задней части камеры имеется железная дверь для уборки ваты из камеры и электрический вытяжной вентилятор, закрытый изнутри железной сеткой во избежание большего выноса ваты из камеры (фиг. 19).

Для пробного изготовления шлаковой ваты брались следующие сорта шлаков:

- 1) основной мартеновский шлак завода «Красный путиловец»,
- 2) кислый ваграночный шлак завода «Красный путиловец»,
- 3) сланцевая зола Термоблочного завода,
- 4) кислый мартеновский шлак завода «Большевик»,
- 5) основной мартеновский шлак завода «Большевик»,
- 6) кислый ваграночный завода им. Лепсе,
- 7) кислый ваграночный завода «Знамя труда»,
- 8) мартеновский шлак завода «Красный путиловец».
- 9) электросталелитейный шлак завода «Большевик».

Анализы шлака приведены в табл. 6.

Таблица 6

Наименование завода	SiO ₂	CaO	MnO	FeO	Al ₂ O ₃	MgO
Мартеновский шлак						
«Красный путиловец»	21,8	30,4	12,4	16,5	1,8	5,8
	24,8	35,8	16,4	4,9	3,4	16,2
«Большевик»	53,2	1,0	20,0	13,0	5,0	2,0
	28,0	43,0	10,1	7,0	3,0	9,0
Ваграночный шлак						
«Красный путиловец»	44,8	44,3	4,0	0,9	14,1	0,6
	51,9	30,0	3,3	1,9	10,7	2,1
Завод им. Лепсе	50,0	25,0	11,0	7,9	4,0	2,3
«Знамя труда»	50,0	23,0	1,4	4,3	5,0	3,0
«Большевик» (электросталелитейный)	55,0	1,0	20,0	12,0	5,0	3,8
Сланцевая зола						
»	37,2	30,0	—	9,5	13,5	0,5

Для производства шлаковой ваты обычно употребляют кислые шлаки. Для пробного изготовления применяли кислые ваграночные и мартеновские шлаки. Путем нейтрализации этих шлаков известняком или основным мартеновским шлаком в различных пропорциях получали шлаковую вату.

Результаты опытного производства шлаковой ваты из различных шлаков приведены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Наименование материала	Количество смеси		Температура смеси, при которой шла продукт?	Давление воздуха атм	Характеристика расплавленной массы и готовой продукции
	кг	%			
Ваграночный кислый шлак завода им. Лепсе	14,5	82,9	1300	5	Смесь была повышенной кислотности Шлаковая вата грубоватая, зеленого цвета, толщина нитей превышала 0,006 мм
Известняк	3,0	17,1			
Ваграночный шлак завода им. Лепсе	15,0	100	1250	5	Шлаковая вата светлозеленого цвета, значительная толщина нитей до 0,008 мм, много шариков
Ваграночный шлак завода «Красный путиловец»	15,0	100	1300	5	Шлаковая вата серого цвета, нити толщиной 0,008 мм, значительное количество шариков
Ваграночный шлак завода «Красный путиловец»	13,0	83,3	1250	5	Шлаковая вата грубая, серая, с толщиной нитей выше 0,007 мм, значительное количество шариков
Известняк	2,6	16,7			
Ваграночный шлак завода им. Лепсе	10,0	71,4	1250	5	Шлаковая вата грубая, светло-серого цвета, толщина нитей выше 0,008 мм, много шариков
Известняк	4,0	28,6			
Мартеновский кислый шлак завода «Большевик»	15,0	83,3	1100	3	Шлаковая вата темносерого цвета, толщина нитей 0,009 мм, большое количество шариков
Известняк	3,0	16,7			
Ваграночный шлак завода им. Лепсе	10,0	55,6	1350	6	Шлаковая вата мягкая, светло-серая, толщина нитей 0,006—0,006 мм, небольшое количество шариков
Известняк	8,0	44,4			
Ваграночный шлак завода им. Лепсе	10,0	50,0	1350	5	Шлаковая вата сероватого цвета, толщина нитей около 0,006 мм
Известняк	10,0	50,0			
Мартен. шлак, основной зав. «Красный путиловец»	1,0	6,2	1450	6	Вата хорошего качества
Известняк	6,0	31,3			
Слякован зола	10,0	62,5			

Таблица 8¹

Наименование материала	Количество смеси		Температура смеси, при которой шла продукт?	Давление воздуха атм	Характеристика расплавленной массы и готовой продукции
	кг	%			
Кислый ваграночный шлак завода «Зимья труд»	15,0	100,0	1300	5	Шлаковая вата белая, хорошего качества, небольшое количество шариков
Кислый мартеновский шлак завода «Большевик»	10,0	50,0	1300	5	Шлаковая вата белая, хорошего качества, небольшое количество шариков
Известняк	10,0	50,0			
Основной мартеновский шлак завода «Красный путиловец»	10,0	50,0	1400	5	Смесь перед продувкой подвижная, не таялась к моменту продувки, смесь быстро застыла
Слякован зола	10,0	50,0			

¹ Плавки, приведенные в табл. 8, проводились в нефтяном трехтигельном горне.

Наименование материала	Количество смеси		Температура смеси при которой шлак продувается	Давление воздуха ат	Характеристика расплавленной массы в готовой продукции
	кг	%			
Кислый маргеновский шлак завода «Большевик»	10,0	50,0	1 400	5	К концу продувки смесь тянулась очень сильно, шлаковая вата грубая, толщина нитей более 0,008 мм, большое количество шариков Смесь была жидкая, в конце продувки слегка тянулась, вата получилась хорошего качества с ничтожным количеством шариков
Основной маргеновский шлак завода «Красный путилонец»	10,0	50,0			
Основной маргеновский шлак завода «Красный путилонец»	10,0	50,0	1 350	5	
Ваграночный шлак завода «Красный путилонец»	10,0	50,0			

Приведенные результаты получения шлаковой ваты из сланцевой золы и металлических шлаков (отдельно по каждому виду шлаков или с различными добавками) свидетельствуют о том, что при соответствующем режиме производства может быть получена шлаковая вата хорошего качества. Опытные плавки показали, что продувку необходимо вести при температуре около 1300°, причем эта температура колеблется в зависимости от природы шлака или соответствующей смеси; температура 1100° во всяком случае слишком низка и дает шлаковую вату плохого качества.

Давление воздуха в 5 ат — нормальное, но не исключено и более высокое давление — 6—7 ат. Для получения хороших сортов ваты желательно иметь шлаки не слишком высокой кислотности. Большое сравнительно с доменными шлаками содержание в маргеновских и ваграночных шлаках окислов металлов дает некоторое количество шлаковых шариков, понижающих качество ваты. Кроме того, надо полагать, что большое содержание металла в шлаке затрудняет получение шлаковой ваты, окрашивает ее в темный цвет и дает короткие нити. Шлаковая вата, изготовленная из маргеновских и ваграночных шлаков и сланцевой золы, до сих пор не применяется. Надо полагать, что при дальнейшем выявлении теплотехнических свойств шлаковой ваты из указанных шлаков и изучения влияния окислов металлов на качество ваты последняя займет соответственное место среди термо-и звукоизоляционных материалов.

Большое значение при применении шлаковой ваты имеет способ ее прессования.

По данным заграничной печати для сохранения изолирующих свойств шлаковой ваты последнюю смешивали с другими каибивными теплоизоляционными материалами. Проведенные опыты положительных результатов не дали, так как асбест, имеющий короткие волокна, нельзя смешивать со шлаковой ватой без вреда для нитей шлаковой ваты, которые должны оставаться возможно длиннее. Американские опыты в этом направлении дают положительные результаты. Из шлаковой ваты путем примешивания различных материалов и воды получают густую массу, которая под низким давлением формуется. Формованная вата сушится в горячем воздухе и употребляется для изоляции трубопроводов.

По отзывам иностранных специалистов наша вата по качеству превосходит импортную, так как у нас она получается на естественном сырье,

т. е. из кислых уральских доменных шлаков, богатых кремнекислотой и бедных окислами металлов и серой, что устраняет ражавление изолируемых металлических частей паропроводов, водопроводов или газопроводов и неприятный сероводородный запах. Хорошую по качеству шлаковую вату давали шлаки следующего состава: 52—54% SiO_2 , 12—15% Al_2O_3 , 0,7—1,0% FeO , 17—20% CaO , 1,4—1,9% MnO , 9,0—16,0% MgO и 0,09—0,15% S.

Шлаковая вата отечественного производства заняла в ряде наших предприятий прочное место в качестве термозоляционного материала. Некоторые хозяйственники тем не менее из-за отсутствия стандартизированных показателей по применению шлаковой ваты, вследствие вообще



Фиг. 20. Шлаковый кирпич, изготовленный из одного гранулированного шлака с водой

недостаточного знакомства с этим материалом, неумения применять его в разрыхленном состоянии воздерживаются от использования столь ценного изоляционного материала, каким является шлаковая вата.

Помимо внедрения шлаковой ваты в различные отрасли нашего хозяйства, помимо дальнейшего изучения этого нового в нашем Союзе производства и подведения под него научной базы перед нашей промышленностью стоит задача получения шлаковой ваты не в разрыхленном состоянии (см. фиг. 20), а в виде брикетов или плит определенных размеров, облегчающих транспортировку шлаковой ваты.

По последним заграничным данным шлаковую вату брикетируют в специальных мешалках, путем смешения и подогревания ее с особыми битуминозными веществами, играющими роль вяжущего вещества. Брикетирование шлаковой ваты аналогично брикетированию угольной пыли, но в данном случае процесс протекает значительно сложнее, так как

волокна ваты не только склеиваются, но и образуют пленки, придающие брикету строение мельчайших замкнутых ячеек, заключающих в себе воздух, обуславливающий высокие теплоизоляционные свойства и водонепроницаемость брикета. После смешения в определенной пропорции с битуминозными веществами масса поступает на особые прессы, где подвергается прессованию при строго определенном давлении между вальцами, впитывающими избыток жидких веществ и предохраняющими волокна ваты от поломки. После прессовки вся масса должна подвергнуться окончательному удалению избытка твердых битумов, и после непродолжительной сушки (при обыкновенной температуре) плиты или брикеты готовы к употреблению.

Имеющаяся заграничная литература по этим вопросам носит в общем лишь повествовательный характер. Физико-химических данных как по производству шлаковой ваты, так и по получению из нее пробки в виде брикетов или плит не имеется.

В настоящее время у нас в Союзе заканчиваются опыты по получению путем цементации битуминозными и минеральными веществами шлаковой ваты в виде брикетов или плит, или так называемой шлаковой пробки. Ввиду особого интереса и козыря этого производства ниже приведены краткие предварительные данные по применению растворимого стекла в качестве вяжущего при изготовлении шлаковых брикетов. Для указанных целей применялось жидкое стекло следующего состава: 10,29% N_2O , 31,63% SiO_2 и 0,28% нерастворимых остатков. Силикатный модуль равен 3. Концентрация раствора жидкого стекла была 15—20—25—30° по Боме.

Формовались брикеты на ручных прессах в формах размером 25 × 45 см; 59 × 59 см и 50 × 50 см, формовка производилась следующим образом. Шлаковую вату укладывали в форму слоями, смачивали раствором жидкого стекла, которое подавалось на вату струей леечного типа, после чего вату подвергали прессованию под давлением 2—3 кг/см². Толщина получаемых плит была 4—6 см. Брикеты поступали в сушильную печь, нагретую до 150—250°, и для более прочных образцов до 350—500°.

Физико-механические свойства изготовленных брикетов получились следующие:

- 1) объемный вес 0,30—0,35 кг/м³,
- 2) коэффициент теплопроводности 0,086—0,114,
- 3) на механическую прочность были испытаны вырезанные из брикета два кубика одинаковых размеров; один выдержал давление в 13 кг/см² и не рассыпался, а лишь спрессовался в плотную тонкую плитку, второй кубик при давлении 4 кг/см² дал трещину, разделившую образец на две части параллельно давящим плоскостям,
- 4) расход растворимого стекла выразился в 314 кг на 1 м³ брикета,
- 5) водонепроницаемость легко обнаруживается, но изменения формы брикетов не наблюдается,
- 6) при прокаливании в окислительном пламени брикеты накаляются докрасна и сплавляются по поверхности, образуя местами корку желтоватого цвета, придающую брикетам большую прочность.

Приведенные данные по брикетированию шлаковой ваты посредством растворимого стекла являются предварительными, но и продолжающиеся опыты подтверждают возможность получения прочных шлаковатных брикетов с нормальным коэффициентом теплопроводности, обеспечивающим термоизоляционные свойства материала.

Помимо жидкого стекла при брикетировании применяют асфальт, каменноугольный и древесноугольный пек и жидкую древесную смолу. В качестве растворителя для асфальта могут служить керосин, бензин, бензол и лигроин.

Каменноугольный пек растворяется только в бензоле и бензине, и то *неполностью*. Раствор получается засоренным частицами углерода. Древесноугольный пек хорошо растворяется в сольвенте. Жидкая смола из-за засоренности углеродистыми частицами полностью не растворяется, давая иногда около 35% нерастворившегося осадка.

Для выяснения влияния концентрации раствора битума в растворителе на качество шлаковатного брикета, температуры, при которой возможно удаление растворителя, а также влияния окислительной и восстановительной среды при просушке брикетов были проведены лабораторные опыты. В качестве вяжущего вещества применялись 20, 30 и 50%-ный раствор асфальта и лигроина, 20 и 10%-ный раствор асфальта в керосине и сольвенте, 50, 20 и 10%-ный раствор смолы в сольвенте, 20 и 10%-ный раствор древесного пекса в сольвенте.

Результаты опытов показали, что 10—20%-ная концентрация растворов достаточна для получения брикетов.

Температура для удаления растворителей из брикетов: для лигроина—120—150°, сольвента—150—180° и керосина—180—220°.

При изготовлении круглых брикетов диаметром 200 мм и толщиной 35 мм, а также плиток размером 100×100×15 мм и 100×100×30 мм последние были подвергнуты сушке. Вследствие присутствия различных растворителей и различной толщины образцов продолжительность сушки колебалась от 1 до 4 часов.

Вата указанными вяжущими веществами пропитывалась путем опрыскивания ее слоев. Расслоения образцов, особенно при отношении веса ваты к объему раствора 1:6, при этом не наблюдалось. Избыток раствора отжимался при формовке и после отжатия количество раствора в образце равнялось 200—250% от веса ваты.

Объемный вес брикетов при таком способе изготовления равен 0,20—0,33 г/см³, а коэффициент теплопроводности 0,070—0,45.

Формовка производилась под давлением 0,5—5 кг/см², без резких колебаний прочности брикетов. Водопоглощение брикетов, изготовленных на органическом вяжущем веществе, меньше водопоглощения брикетов на растворимом стекле.

Брикет при прокаливании в окислительном пламени горит, давая пламя, благодаря присутствию органических веществ. Расход битума при максимальном объемном весе в 330 кг/м³ при применении 20%-ного битума составляет 40% от веса шлаковой ваты, т. е. около 132,5 кг.

Таким образом указанный способ пропитывания шлаковой ваты дает возможность получать брикеты и на базе битуминозных веществ, сохраняя термоизоляционные свойства шлаковой ваты.

Практика производства шлаковой ваты на Урале показывает, что наилучшая шлаковая вата имеет следующий химический состав:

SiO ₂	48,6	49,0	51,2
R ₂ O ₃	15,3	14,6	15,4
RO	35,2	34,4	32,8
H ₂ O	—	0,4	0,6

Удельный вес шлака колеблется в небольших пределах, в среднем он равен 2,69.

В процессе изучения производства установлено, что добавка щелочей уменьшает расход топлива, причем в качестве щелочи для введения в шихту можно применять как нефелинсиепит, так и хромпиковый сульфат. Добавки щелочей не должны превышать 4% (в вате), в противном случае вата может получиться грубая. Оптимальная величина коллош следующая: 135 кг шлака, 15 кг доломита, 2 кг сульфата и 15—18 кг кокса. Холостая колоша равна 135 кг кокса (при вагранке диаметром 550 мм). Таким образом расход кокса составляет от 10 до 12%. Большое влияние на качество ваты оказывают размеры сопла для продувки шлака и подогрев шлакового жолоба. Практика производства шлаковой ваты показала, что наиболее надежное продувание потока шлака происходит при ширине сопла 80 мм и толщине щели 0,5 мм.

Вследствие остывания шлака в жолобе и разъедания футеровки его горячим шлаком обычно изменяются размеры струи шлака и нарушается нормальная продувка шлака в камеру.

В настоящее время изучается влияние обогрева шлакового жолоба на понижение содержания шариков в шлаковой вате, а также разрабатывается наиболее оптимальная конструкция жолоба.

Выше было указано, что шлаковая вата на наших предприятиях разгружается из камер вручную. Вследствие этого низшие сорта ваты получают в виде разрыхленной массы.

Чтобы обеспечить непрерывность производственного процесса, выпуск продукции в виде войлоковых плит для изготовления в дальнейшем шлаковатных брикетов, или так называемой каменной пробки, в настоящее время ведутся научно-исследовательские работы по автоматизации разгрузки камер, по автоматизации прессовки шлаковых нитей.

В заключение необходимо указать, что шлаковая вата, или, как иногда ее называют, минеральная вата в Европе и Америке давно уже заняла прочное место среди термоизоляционных материалов.

Шлаковая пемза

Из различных доменных шлаков получают искусственную пемзу. Этот материал на германском строительном рынке называется термовитом и по структуре своей напоминает естественную пемзу. Шлаковую пемзу получают следующим образом. Шлак в расплавленном, лавообразном состоянии выливают в среду определенной влажности. Развивающиеся при этом пары и газы вспучивают шлак, который, остывая под действием относительно низкой температуры наружного воздуха, образует пемзообразную массу макропористой структуры. Шлаковая пемза благодаря малому объемному весу кусков—500—1000 кг/м³, внутренним замкнутым порам—от мельчайших микроскопических размеров до 1 см—достаточной механической прочности—один из наилучших термоизоляторов для строительства. Возможность получать материал различной прочности, уменьшать содержание серы позволяет применять шлаковую пемзу в железобетонных армированных конструкциях с косвенным вооружением.

Для изготовления шлаковой пемзы можно применять основные, кислые и нейтральные шлаки. Предпочтительно применяют кислые шлаки, содержащие по сравнению с другими шлаками меньшее количество извести,

а потому более устойчивые в химическом отношении в присутствии реагентов воздуха.

Химический состав шлаков для изготовления шлаковой пемзы должен быть следующий: 35—45% SiO_2 , 9—24% Al_2O_3 , 43—52% CaO , 0—7% MgO , 0—1% MnO , 0—2% Fe и 0—3,5% S .

Химический состав шлаковой пемзы аналогичен химическому составу примененного для этой цели шлака. Шлаки, содержащие одновременно 45% CaO и 33% SiO_2 , признаются негодными для изготовления шлаковой пемзы, ибо имеют тенденцию к разложению (рассыпаются в порошок). Особое внимание уделяется содержанию в шлаке железа и марганца, при содержании первого более 2%, и второго более 1%, шлаки бракуются. Шлак не должен содержать также королек чугуна.

Производство шлаковой пемзы в Советском союзе начало развиваться еще в начале 1932 г. на металлургических заводах Урала. Изготовление шлаковой пемзы не требует сложных и дорогостоящих сооружений. Изготавливается шлаковая пемза обычно в яме или бассейне, выложенном огнеупорным кирпичом, покрытым слоем сырого тугоплавкого песка. Для лучшего стекания шлака, выливаемого в приемник, последний строят с выпуклым дном. Слой песка в приемнике допускается не толще 20 см. Песок должен быть чистый, кварцевый. Максимально допустимый процент примеси глины и органических веществ не должен превышать 10. Влажность должна быть около 20% от веса сухого песка. Практика производства шлаковой пемзы на уральских установках показала, что шлак должен быть исключительно чистый, сливаться в бассейн без кусков остывшего шлака. Температура выливаемого шлака должна быть почти равна температуре выпущенного из доменной печи шлака, т. е. шлак ни в коем случае не должен быть остывшим. Приемник для шлака, как правило, желательно располагать вблизи доменной печи, и выпущенный в ковш горячий шлак должен немедленно выливаться в приемник, не дожидаясь следующего выпуска шлака из доменной печи.

При расположении приемника непосредственно у самой печи, что обычно и практикуется, желоб, подводящий шлак из доменной печи, должен быть доведен до середины приемника, чтобы горячий шлак стекал на его серединную часть. Над приемником устанавливают бункер (ящик с сеткой), в котором всегда должен быть небольшой запас влажного песка для высыпания его в нужных случаях на плохо вспучивающийся шлак. Как правило, ни в коем случае не допускается охлаждение выпущенного в приемник и вспученного шлака водой, так как полученная шлаковая пемза в виде легкой стекловидной массы будет рассыпаться и отдельные щебенки будут с трещинами.

Основными показателями качества шлаковой пемзы являются следующие его физические свойства: объемный вес в куске 500—1000 кг/м^3 , объемный вес в виде щебня крупностью частиц от 10 до 50 мм 300—500 кг/м^3 ; объемный вес смеси из щебня и песчаных частиц 400—700 кг/м^3 .

В шлаковой пемзе обычно присутствуют мелкие песчаные частицы с размером зерна до 5 мм. Количество их в нормальной шлаковой пемзе не должно превышать 30% от объема всего количества шлаковой пемзы.

Перечисленные объемные веса относятся к шлаку воздушносыхому. Механическая прочность шлаковой пемзы в виде кубика, т. е. сопро-

тивление сжатию в воздушносухом состоянии должно быть равно $15-25 \text{ кг/м}^2$.

Посторонних примесей, тонущих при опускании пробы шлаковой пемзы в воду, должно быть не более 10% по весу.

Нормальная шлаковая пемза должна содержать не более 10% по весу стекловидных сплошных частей, которые получаются при неполном вспучивании шлаковой пемзы. Цвет шлаковой пемзы, изготовленной из нормального шлака, обычно светлых оттенков: от белого до светлосерого. Шлаковая пемза черного цвета обычно получается из шлаков, выпущенных при расстроеном ходе доменной печи. Такая пемза считается непригодной для использования и должна быть забракована.

Шлаковую пемзу иногда в целях более рационального использования выливаемых в отвал шлаков изготавливают по способу, предложенному инж. И. Мирошниченко (Союзстандарт). Этот способ заключается в следующем. На месте выливания горячего шлака (на свалке) делают из кирпича или шлакобетона канавки глубиной $15-20 \text{ см}$, шириной $20-30 \text{ см}$ и длиной $1,5-2,0 \text{ м}$. Канавки располагают с соответствующим уклоном по направлению от точки выливания шлака так, чтобы расплавленный шлак легко мог попасть в каждую из них. Таких канавок делают столько, чтобы в них вместился весь выливаемый из ковша шлак. На дно канавок насыпают слой мокрого песка. Шлаковые отвалы обычно расположены далеко от доменной печи, на подвозку шлаков приходится затрачивать значительное время, в течение которого горячий шлак в ковше покрывается толстой коркой, шлак заметно остывает, и шлаковая пемза получается несколько худшего качества.

Шлаковая пемза благодаря своим ценным свойствам широко применяется в теплотехническом строительстве. В комбинации с порошком размолотого шлака, с добавлением $10-15\%$ извести (известковый шлаковый цемент) шлаковая пемза может дать теплотехнические камни объемным весом около 1000 кг/м^3 достаточной прочности. По данным ВИСМ прочность получаемых бесцементных бетонов на основе шлаковой пемзы колеблется в пределах $25-30 \text{ кг/см}^2$ при объемном весе бетонов $1000-1300 \text{ кг/м}^3$.

Обогащение доменных шлаков

Одним из видов обработки шлаков является обогащение, т. е. искусственное повышение их гидравлических свойств.

Выше было указано, что литейные и некоторые бессемеровские шлаки показывают наибольший модуль основности, что характеризует их повышенную гидравлическость по сравнению с передельными шлаками. Практика обогащения шлаков в Европе и Америке показывает возможность обогащения шлаков путем введения в шихту доменной печи соответствующих добавок, повышающих гидравлические свойства шлаков. В Советском союзе обогащение шлаков введением добавок в шихту для доменной печи не производилось. Только в 1930 г. по предложению акад. Орлова, инж. Терещенко и инж. Френкель проводилось опытное обогащение горячих шлаков в 20-кг ложках непосредственно у доменных печей. В горячие шлаки вводились различные добавки: доломит, природный гипс, известь, обожженная и гашеная и др. Результаты этих опытов показали полную возможность обогащения шлаков.

В 1932 г. по инициативе ВПУ ГУМП были произведены опыты по обогащению горячих шлаков уже в больших размерах; обогащение переносных шлаков осуществлялось в 10-м ковшах. Обогаителями служили следующие добавки: обожженная и гашеная известь, природный гипс, поваренная соль и сульфат натрия. Последние две добавки применялись в качестве разжижителей ввиду загущения шлака при введении обога- телей.

Самый процесс обогащения происходил следующим образом. Обога- тельные добавки тщательно перемешивали разжижителями, и полученную смесь постепенно забрасывали в ковш по мере наполнения его шлаком, чем обеспечивалось перемешивание и равномерное распределение вводи- мых добавок в горячий шлак. Температура расплавленного шлака, при которой происходило обогащение, колебалась от 1420 до 1460°. Обога- щению было подвергнуто всего девять ковшей шлака. В качестве добавки в горячий шлак вводили различные смеси, после чего измеряли вновь температуру уже обогащенного шлака, и последний подвергался грану- ляции.

В табл. 9 приведены количества и состав добавок, а также режим работы с ковшами и способ грануляции.

Таблица 9

№ смеси	Количество добавок	Наполнение ковша	Продолжитель- ность стояния ковша до грануляции		Способ грануляции
			час.	мин.	
1	$\frac{1}{2}$ м ¹ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 2 ж Na_2SO_4 (гипс) (сульфат натрия)	$\frac{1}{2}$	3	—	Мокрый
2	1 ж $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 2 ж Na_2SO_4	Полное	4	30	»
3	1 ж $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 2 ж NaCl	»	2	50	»
4	2 ж CaO + 2 ж Na_2SO_4	»	4	—	»
5	2 ж CaO + 2 ж Na_2SO_4	»	2	50	»
6	4 ж CaO + 3 ж Na_2SO_4	$\frac{3}{4}$	6	30	»
7	2 ж CaO + 3 ж Na_2SO_4	Полное	2	—	Сухой
8	3 ж CaO + 4 ж Na_2SO_4	$\frac{1}{2}$	1	20	»
9	5 ж $\text{CaO}(\text{OH})_2$ + 3 ж Na_2SO_4	$\frac{1}{3}$	2	—	»

Из таблицы видно, что наполнение ковша расплавленным шлаком было различное. Это происходило потому, что некоторые добавки давали бур- ную реакцию с большим газообразованием, главным образом сернистым.

Температура обогащенных шлаков колебалась от 1320 до 1380°, при этом гипс весьма значительно понижал температуру шлака и способ- ствовал его загустеванию в ковшах. Грануляция обогащенных шлаков как мокрым, так и сухим способом дала удовлетворительный гранулят.

В табл. 10 приведен химический состав шлаков до и после обога- щения.

Из таблицы видно, что во всех случаях применения обога- тельных добавок произошло увеличение содержания извести в обогащенных шлаках, при этом наибольшее количество дал шлак № 9.

¹ М означает мешок.

Таблица 10

№ шлага	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	S	Примечание
1	34,34	10,02	0,67	1,56	47,38	2,12	1,91	До обогащения
	34,02	10,11	0,46	1,39	47,48	2,0	1,40	После
2	34,92	10,12	0,60	2,46	46,00	3,16	2,41	До
	34,57	8,81	1,31	2,62	46,39	2,96	2,02	После
3	32,58	10,89	0,83	2,71	48,56	3,76	3,19	До
	32,46	9,35	0,81	2,09	49,20	3,56	2,69	После
4	35,00	9,30	1,10	2,04	48,71	0,85	2,82	До
	34,77	9,23	0,60	1,74	49,09	1,05	2,55	После
5	33,59	10,30	0,10	0,98	47,90	2,22	2,66	До
	34,24	8,65	0,98	1,12	48,50	2,38	2,38	После
6	34,22	10,40	0,40	2,98	45,94	2,97	2,04	До
	35,00	10,40	0,40	1,98	47,40	2,10	1,98	После
7	32,11	13,67	0,78	1,21	45,85	3,28	2,77	До
	32,30	12,80	0,78	0,97	46,18	2,72	2,71	После
8	32,71	11,67	1,21	1,67	47,57	3,30	1,87	До
	32,58	9,09	1,20	1,04	49,09	2,04	2,06	После
9	33,43	9,92	0,61	2,58	48,32	3,41	2,02	До
	32,35	8,68	0,83	2,21	50,13	3,12	0,91	После

Обессеривание шлаков должно происходить в результате вводимого в шлав сульфата натрия (Na_2SO_4). Незначительное понижение общей серы за счет сульфидной после обогащения объясняется тем, что сульфат натрия не успел дать должную диссоциацию, которая могла бы быть только при подогреве обогащаемого шлага.

По данным нашей и зарубежной практики обычно даже небольшие изменения содержания извести в шлаке оказывают заметное влияние на степень текучести шлага. Однако температура плавления шлага № 7 после обогащения несмотря на изменения содержания извести понизилась. Температура плавления шлага до обогащения была равна 1380° , после обогащения 1350° . Это объясняется введением сульфата натрия, играющего роль разжижительной добавки.

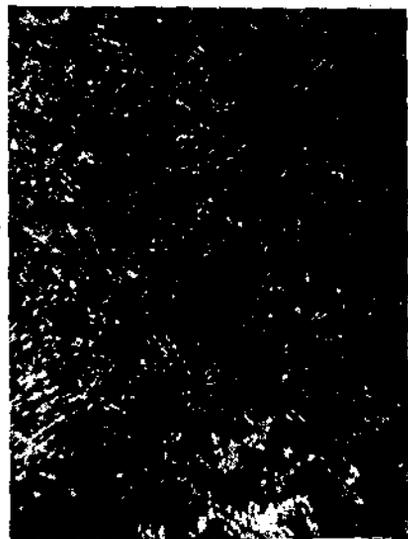
Для суждения о степени влияния различных добавок на обогащение шлаков в табл. 11 приведены результаты механических испытаний шлаков № 2 и 4 после мокрой грануляции, шлаков № 7 и 9 после сухой грануляции. Из этих шлаков был изготовлен шлаковый портландцемент (70% обогащенного шлага и 30% обычного клинкера). Из шлага № 7 был приготовлен также бесклинкерный цемент (93% обогащенного шлага, 5% природного гипса и 2% поваренной соли).

Из таблицы видно, что результаты испытания дали вполне удовлетворительные показатели. Шлак № 7 сухой грануляции, размолотый на цемент, по сравнению с остальными показал наилучшую механическую прочность, причем весьма значительно превысил нормы стандарта по портландцементу марки 0.

Гидравлическая активность шлаков (кроме шлага № 1) возрастает настолько медленно, что изготовленные из них цементы в первые сроки (4—7 дней) не обнаруживают быстрого нарастания механической прочности, тогда как механическая прочность портландцемента быстро нарастает со временем. Объясняется это тем, что местные заводские

Таблица 11

№ шихта	Постоянство объема	Нормальная влажность, %	Содержание влаги, %				Опорные значения, к/м.к.								
			начало		конец		размеры через						скажию через		
			4 дн.		7 дней		28 дней		4 дн.		7 дн.		28 дн.		
			ч.	м.	ч.	м.	1:0	1:3	1:0	1:3	1:0	1:3	1:0	1:3	1:3
2	Постоянный	26	9	20	12	25	17,2	8,5	24,9	13,9	48,2	21,9	63,0	128,0	269,5
4	»	23	8	30	11	25	15,2	9,1	23,5	14,7	51,2	21,4	73,5	132,0	250,6
7	»	26	5	35	7	20	24,1	16,4	34,8	18,8	53,6	25,0	83,4	193,3	325,3
9	»	26	8	00	12	00	23,3	11,9	34,0	14,2	53,3	21,9	93,4	133,6	256,3
7	»	19	3	40	4	46	23,5	14,8	23,6	16,9	34,0	23,5	100,2	127,3	206,3
Стандарты на портланд-цемент марки 0			—	—	Не ранее 20 м.	Не позже 12 ч.	20	10	25	12	35	16	70	100	160

Фиг. 21. Микрофотография шлака № 4 от мокрой грануляции. $\times 200$.Фиг. 22. Микрофотография шлака № 7 от сухой грануляции. $\times 200$.

условия не позволяли произвести наиболее оптимальные добавки для обогащения шлаков при проведении опытов.

Для определения микроструктуры шлаков были произведены соответствующие оптические испытания шлаков. На фиг. 21 и 22 изображены микрофотографии обогащенного доменного шлака № 4, гранулированного по способу мокрой грануляции, и № 7—по способу сухой грануляции.

Шлак № 4 полностью, что видно на фигурах, состоит из аморфной модификации, а шлак № 7—из аморфной и кристаллической модификации.

Таким образом данные по изучению микроструктуры шлака № 7 — шлака с большой гидравлическостью — были подтверждены результатами механических испытаний шлакового портландцемента, изготовленного из этого шлака.

Описанный способ обогащения горячих шлаков различными добавками имеет целью увеличить содержание в шлаках извести. Многочисленные опыты по обогащению шлаков в Советском союзе и за границей свидетельствуют о том, что более целесообразно предварительное обогащение доменных шлаков добавлением глинозема, что дает понижение температуры плавления шлака. При прибавлении глинозема и извести к расплавленному шлаку значительно повышается его гидравлическая способность и облегчаются условия получения при грануляции стекловидного конечного продукта. Д-р Грюн, ссылаясь на д-ра Пассона и Кюля, с большой уверенностью утверждает, что имеется возможность при обогащении глиноземом получить богатые известью шлаки в остеклившемся состоянии, которые при переработке на шлаковый портландцемент придают последнему хорошую прочность особенно в начале затвердевания, что является безусловно следствием образования алюмината.

Таким образом обогащение шлаков глиноземом и известью открывает широкие перспективы использования таких шлаков для изготовления высокоортных шлаковых портландцементов, а также дает возможность при минимальных добавках (не более 15%) клинкера получать дешевый и значительно превосходящий нормы цемент. Шлаки с повышенным содержанием глинозема можно также получать с большой гидравлическостью путем введения в шихту доменных печей бокситов и других богатых глиноземом минералов.

Оживление доменных шлаков

Касаясь вопроса обогащения отвальных шлаков, необходимо указать, что отделение путем магнитных сепараторов вкрапленных корольков чугуна, а также отсеортировка шлака от различных посторонних примесей обогащает шлак. Однако опыты проф. Штейнгафера¹ по оживлению шлаков показывают, что размешанный под бегунами доменный шлак, взятый из отходов с небольшим количеством влаги превращается в своеобразную цементирующую массу. Обработка чистого, незасоренного шлака для получения цементирующей массы при большой мощности бегунов длится 4—6 мин., количество добавляемой воды обычно устанавливается опытом. Интересно отметить, что при обработке таких шлаков на бегунах даже вначале, при нескольких оборотах бегунов, шлак начинает потеть, становится влажным и получает более темную окраску. При дальнейшей обработке шлак подогревается, начинает выделять сероводород H_2S и превращается в липкую массу, которой можно придать любую форму. Иногда шлак так сильно начинает потеть, что превращается почти в жидкое тесто, поэтому с дозировкой воды надо быть осторожным. Добавка большого количества воды, поглощающей тепло, обычно отрицательно влияет на химическое преобразование массы, затрудняя обработку и измельчение последней. Температура массы шлака иногда доходит до 60°. При этом масса сильно выделяет пары воды.

¹ Журн. «Технические новости» № 35, 1929.

Иногда изменение температуры массы замедляется, что объясняется наличием в шлаке остатков металла, поглощающего тепло. Наблюдаемые при обработке шлаков на бегунах явления — потение, сгоревание, выделение газов и изменение цвета шлаков — определено указывают, что в результате механической обработки шлаков происходят физико-химические изменения всей массы шлаков, которая становится ожившей. Изготовленный из такой ожившей массы под прессом кубик через несколько недель показал прочность 200 кг/см^2 , при соотношении оживленной массы и шлакового песка (гранулята) 1:1,2 по объему.

Изготовленные шлаковые кирпичи показывали спустя 4 недели после изготовления сопротивление сжатию $80\text{--}100 \text{ кг/см}^2$ и при дальнейшем выдерживании давали еще лучшие показатели.

По данным заграничной практики оживление шлаков указанным способом заняло давно уже прочное место среди различных методов обработки доменных шлаков. Использование оживленной массы шлака в качестве материала для изготовления растворов шлаковых камней, шлаковых кирпичей, растворов для штукатурных работ и пр. также получило широкое распространение.

Из доклада № 9, приведенного в журнале Союза германских чугунопудельщиков за октябрь 1927 г., видно, что металлургический завод в Любеке первый начал получать оживленную массу шлаков из отвалов для изготовления шлаковых кирпичей. Шлаки этого завода были преимущественно литейные; химический состав их колебался в следующих пределах $31,0\text{--}34,0\%$ SiO_2 , $9,0\text{--}11,8\%$ Al_2O_3 , $0,7\text{--}0,9\%$ FeO , $0,3\text{--}0,7\%$ MnO , $47,0\text{--}51,0\%$ CaO , $2,6\text{--}2,7\%$ MgO , $2,0\text{--}2,8\%$ S.

Необходимо указать, что этот завод, имея установку для грануляции, изготавливает шлаковые кирпичи из оживленного шлака, взятого из отвалов и гранулята. По данным упомянутого журнала химический состав отвальных шлаков был следующий: $33,2\text{--}34,8\%$ SiO_2 , $0,7\text{--}10,6\%$ Al_2O_3 , $0,9\text{--}2,9\%$ Fe_2O_3 , $37,6\text{--}40,9\%$ CaO , $12,4\text{--}14,3\%$ MgO и $2,3\text{--}2,6\%$ S.

Шлаковые камни изготавливали при соотношении оживленной массы и бегуна и шлакового песка 2,5:1 по объему. Сопротивление камней сжатию составляло более 200 кг/см^2 .

Обогащение доменных шлаков глиноземом

Если проследить научно-исследовательские работы проф. Грюна, д-ра Кайла, Иассова, Кюля, Шоха, проф. Юнг и др. за последние 25 лет по вопросу влияния повышенного содержания глинозема на гидравлические свойства шлака, то становится неоспоримым, что обогащение шлаков глиноземом открывает широкие перспективы по использованию такого глиноземистого шлака для получения высококачественного вяжущего, или так называемого глиноземистого цемента. Глиноземистый цемент уже спустя несколько часов после затворения его приобретает колоссальную механическую прочность, что предопределяет его эффективное использование.

В иностранной и в нашей литературе имеются определенные указания на возможность получения из доменной нечи шлака, обогащенного глиноземом.

Еще в 1908 г. американцы изготовили особый цемент, главными частями которого были алюминаты кальция.

Этот цемент получил некоторое распространение в Америке.

Высокое значение глиноземистого цемента ярко может быть иллюстрировано примерами промышленного и гражданского строительства. Фундаменты под машины, возведенные из бетона из глиноземистого цемента, через 3—4 дня можно подвергать чрезвычайно сильным сотрясениям. Железобетонные шпалы на вторые сутки можно укладывать в путь и подвергать динамической нагрузке проходящих поездов. Торговое помещение в Ницце например было расширено на 1000 кв. м в течение 1—2 дней. Шоссе может быть открыто для движения через двое суток по окончанию бетонирования.

Указанные темпы производства строительных работ возможны благодаря способности глиноземистого цемента быстро твердеть после периода схватывания. По данным иностранной литературы¹ главные свойства глиноземистых цементов, встречаемых в природе, характеризуются приведенными в табл. 12 показателями.

Таблица 12

Механические свойства	Средняя величина	Максимальная величина	Минимальная величина
Тяжесть помола:			
Остатки на сите, %:			
90) <i>от/см²</i>	1,0	0,2	0,0
4900 » »	4,4	7,2	1,1
10000 » »	12,8	17,5	4,8
Времени схватывания, час.			
качало	4½	7½	1½
конец	7	12	4
Сопротивление сжатию раствора с песком (1:3) <i>кг/см²</i> образцов, хранившихся:			
1 день во влажном воздухе	522	624	338
2 дня в воде	564	659	462
3 » » »	696	651	501
7 » » »	625	668	521
28 » » »	691	726	649
28 дней комбинированного хранения	814	877	724
Сопротивление разрыву раствора с песком (1:3) образцов, хранившихся в <i>кг/см²</i>:			
1 день во влажном воздухе	28	32	24
2 дня в воде	31	37	25
3 » » »	33	36	29
7 » » »	34	39	28
28 » » »	34	39	28
28 » комбинированного хранения	43	47	39

Приведенные в табл. 12 показатели механической прочности указывают на высокие качества глиноземистого цемента.

В табл. 13 приведен химический состав глиноземистого цемента (в процентах).

¹ «Tonindustrie Zeitung», 1930—1931.

Таблица 13

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нерастворимый остаток	1,23	1,12	—	8,70	0,44	—	—	—	4,12	4,00	5,12	—
SiO ₂	8,71	11,34	9,03	8,14	5,74	10,11	5,85	6,36	3,83	4,32	2,96	7,64
TiO ₂	1,31	—	—	—	—	1,74	—	—	—	—	—	—
CaO	41,06	42,45	41,50	37,93	37,84	38,80	37,50	38,96	36,48	35,92	35,54	40,68
Al ₂ O ₃	40,85	38,17	40,48	43,05	39,40	42,31	44,39	43,61	40,45	41,25	42,00	47,96
FeO	5,86	—	5,60	—	4,25	—	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	0,62	6,31	0,94	3,81	16,0	1,80	12,13	9,79	13,13	14,11	1,26	2,35
MgO	0,37	0,36	0,56	0,61	0,32	0,61	0,29	0,62	0,65	0,11	0,53	0,22
SO ₂	0,08	0,05	0,63	0,26	0,0	Следы	0,25	0,58	0,20	0,54	1,18	0,09
SO ₂	0,15	0,24	0,42	—	—	0,24	0,01	0,04	0,02	0,00	0,65	0,92
Потери при прокаливании	—	—	0,43	1,04	0,23	—	0,33	0,45	0,10	0,31	0,16	—
Остальное	—	—	0,35	2,41	—	0,14	—	—	—	—	0,20	0,15

Основным соединением в глиноземистом цементе является однокальциевый алюминат $CaO \cdot Al_2O_3$, содержание которого доходит до 70%, остальные 30% состоят из двухкальциевого силиката $2CaO \cdot SiO_2$ и других соединений. Глиноземистый цемент не разрушается от действия морских и других агрессивных вод, что дает возможность применять его для специальных сооружений. В условиях зимних работ глиноземистый цемент является незаменимым вяжущим веществом, так как выделение тепла при твердении дает возможность работать на этом цементе в более холодное время.

Глиноземистый цемент значительно дороже портландцемента. Поэтому понятно, что при одновременном производстве чугуна и глиноземистого цемента производство последнего — высокосортного вяжущего — будет значительно дешевле.

За границей опыты по получению глиноземистого цемента начали проводить в 1914 г. В 1928 г. Джозеф Киней и Вуд доложили Американскому институту горных инженеров и металлургов об опытах, проведенных ими на малой доменной печи объемом 16 м³ с целью получения шлаков, пригодных для глиноземистого цемента. В результате их работы были получены такие шлаки без больших затруднений; при этом наблюдалось только повышение расхода кокса с 2100 до 2600 кг на 1 т чугуна. Ими было получено 30 т чугуна и 70 т шлака.

Состав чугуна был следующий: 4,6% С, 0,036% S, 0,368% SiO₂. Состав шлаков: 44,14% CaO, 7,88% SiO₂, 43,44% Al₂O₃, 1,17% FeO, 2,07% TiO₂ и 0,72% SO₂.

Шихта составлялась из бокситов, извести, железных стружек и руды. Состав шихты (средний) на 1 т чугуна составлял: 1670 кг бокситов, 1970 кг извести, 2288 кг кокса и 665 кг стружки. Среднее давление дутья 123 мм рт. ст.

При рассмотрении химического состава полученного шлака видно, что при таком составе шихты шлаки получались обогащенными глиноземом (43,4%) и пониженным содержанием кремнезема (7,8%), что при среднем содержании извести в 44,1% характеризует их как продукт, обладающий высокими гидравлическими свойствами.

Аналогичные опыты по получению глиноземистого шлака, пригодного для изготовления глиноземистого цемента, проводились с 1925 по 1930 гг. в Германии, где в качестве глиноземистой добавки применялись германский и французский бокситы. Для уменьшения содержания кремнезема в шлаках в шихту добавлялась окалина, небольшое количество колчеданных огарков и богатая руда.

Полученный при этих опытах шлак содержал более 45% $Al_2O_3 + TiO_2$, не более 40% CaO и не более 7,5% SiO_2 . Чугун содержал 4,5—5% C, 0,3% Si и меньше 0,02% S.

Таким образом и американские и германские опыты достаточно ярко иллюстрируют возможность получения как качественного чугуна, так и шлака, пригодного для получения глиноземистого цемента.

У нас на Урале имеются богатые залежи бокситов. По данным геолога Архангельского¹ на Урале имеются следующие запасы бокситов по категориям и сортам (в тыс. т) (табл. 14).

Таблица 14

Местонахождение	Категория			Химический состав			Категория			Химический состав		
	A+B	C ₁	C ₂	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	A+B	C ₁	C ₂	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
Надеждинское	414	—	2 600	2,9	5,6	28,0	—	—	—	—	—	—
Ахтаевское	—	—	—	—	—	—	279	—	—	1,5	45,0	18,0
Рожовское	—	—	—	—	—	—	1 036	—	950	7,8	23,0	53,0
Каменское	1 630	1 600	7 000	3,7	36,0	37,0	700	—	8 000	8,9	36,5	32,0
Итого	2 044	1 600	9 600	—	—	—	2 005	—	8 950	—	—	—

Приведенные данные свидетельствуют о солидном запасе богатых глиноземом бокситов на Урале.

Сравнивая химический состав бокситов, применяемых в Америке для получения глиноземистого шлака (2,75% SiO_2 , 57,0% Al_2O_3 и 16,5% Fe_2O_3), с уральскими, мы видим, что уральские бокситы, обладая большим содержанием Fe_2O_3 , потребуют только меньшей добавки руды в печь. Проводимые в Советском союзе научно-исследовательские работы по получению глиноземистых шлаков открывают широкие возможности получения высококачественного глиноземистого цемента, обладающего чрезвычайно ценными свойствами высокой гидравлическости.

СПОСОБ И РЕЖИМ ХРАНЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШЛАКОВ

Изменяются ли гидравлические свойства шлаков от способа и режима хранения (магазинирования), а также от предварительного подсушивания шлака с целью разгрузки транспорта от перевозки излишней воды в шлаке — этот вопрос в литературе не освещен. В целях ознакомления с основными выводами проведенных научно-исследовательских работ по затронутому вопросу необходимо несколько остановиться на тех опыт-

¹ Аллювиальные руды на Урале, журн. «Хозяйство Урала» № 1—2, 1933.

ных условиях хранения и испытания шлаков мокрой грануляции, которые легли в основу приводимых ниже выводов¹.

Для опытного хранения литейный и передельный шлаки Краматорского завода и завода им. Рыкова, обработанные мокрой грануляцией, были помещены под навес. Туда же были помещены шлаки тех же заводов, но искусственно высушенные до содержания 0,5—1% влаги.

Химический состав шлаков приведен в табл. 15.

Таблица 15

Наименование материалов	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	S	SO ₂
Литейный шлак Краматорского завода	32,58	8,92	1,03	0,33	59,93	2,00	3,53	0,40
Передельный шлак Краматорского завода	31,47	8,40	0,80	3,76	48,91	2,75	3,02	0,58
Литейный шлак завода им. Рыкова	34,47	8,80	1,22	0,92	49,70	2,40	2,43	0,37
Передельный шлак завода им. Рыкова	34,66	8,33	0,80	2,34	48,35	1,30	2,00	0,72

Содержание влаги в средних пробах шлака определяли ежемесячно, скорость поглощения влаги — через каждые 5—6 дней.

Шлаки подвергались действию ультрафиолетовых лучей для выявления изменений, происходящих в стекловидном веществе шлака, а также и физико-механическим испытаниям. Названные испытания производили также со шлаковым поргланцементом. Хранили шлаки под навесом в течение года, что дало возможность получить исчерпывающие данные в различное время года. Как в начале, так и в конце опыта был сделан химический анализ шлаков.

Проведенным опытом установлено, что гранулированные доменные шлаки могут естественно высухать почти до такого состояния, при котором возможен их размол на цемент без предварительной просушки, а также самостоятельно увлажняются, не превышая первоначальной их влажности. Интересно отметить, что чем выше была основность шлака, тем больше увеличивалось в нем содержание влаги. Это подтвердилось тем, что первоначальная и конечная влажность литейных шлаков мокрой грануляции была выше влажности передельных шлаков мокрой грануляции тех же заводов.

Литейные шлаки, предварительно высушенные, при хранении дают показатели, аналогичные показателям невысушенных шлаков. Предварительно высушенные литейные шлаки при высоком высушении и увлажнении очень сильно и быстро слежались, что объясняется происходящей в них гидратацией. Слеживание же шлаков, хранимых с естественной влажностью, происходило в значительно меньшей степени. Передельные шлаки слеживанию не подвергались.

Для разрешения вопроса о технологической целесообразности предварительной сушки гранулированных шлаков до перевозки их по железной дороге были проведены испытания на водопоглощение, при этом из-под

¹ ИИС ВПУ, 1933.

навеса были взяты шлаки как предварительно высушенные, так и невысушенные. Все эти шлаки были высушены до постоянного веса и помещены при температуре 15° во влажное пространство.

В табл. 16 приведены результаты испытания образцов шлаков на водопоглощение.

Таблица 16

№ образца	Наименование гранулированного шлака	Влажность до высушки по влажной среде	Влагопоглощение в % через					
			6 сут.	12 сут.	18 сут.	24 сут.	30 сут.	36 сут.
1	Литейный Краматорского завода с естественной влажностью . . .	0	4,9	5,2	6,6	7,5	9,4	10,1
2	Тот же высушенный перед магнитохранением . . .	0	4,0	6,3	6,4	7,4	9,3	9,4
3	Передельный Краматорского завода, хранящийся с естественной влажностью . . .	0	1,8	2,3	2,7	3,6	4,0	4,1
4	Тот же, высушенный перед хранением . . .	0	1,2	1,8	2,3	2,3	2,4	2,4
5	Литейный завод им. Рыкова, хранящийся с естественной влажностью . . .	0	6,7	9,2	9,2	10,2	10,1	10,1
6	Тот же, высушенный перед хранением . . .	0	3,6	6,0	6,4	6,5	6,0	6,0
7	Передельный завод им. Рыкова, хранящийся с естественной влажностью . . .	0	2,8	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4
8	Тот же, высушенный перед хранением . . .	0	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2	1,2

При рассмотрении данных табл. 16 видно, что литейные шлаки как с естественной влажностью, так и предварительно высушенные более гигроскопичны, чем передельные; высушенные перед хранением литейные шлаки поглощают во влажной среде меньше влаги, чем невысушенные перед хранением. Все шлаки поглощают сравнительно большой процент влаги: на 6-й день хранения во влажной среде содержание влаги составило 1,6—6,7%.

Таким образом шлаки при перевозке, учитывая условия различной погоды — естественные туманы, дожди и пр. — будут поглощать значительное количество влаги и естественно должны будут подвергнуться вновь сушке, ибо при использовании шлаков на изготовление шлакового порландцемента влажность шлака должна быть не более 1—2%.

После хранения в течение года указанные выше шлаки имели состав, приведенный в табл. 17.

При сравнении приведенных анализов шлаков с анализами шлаков до хранения видно, что особых изменений химического состава не обнаружено, за исключением значительных изменений процентного содержания сульфидной (S) и сульфатной (SO₃) серы, содержание сульфатной серы после годичного хранения увеличилось, а сульфидной уменьшилось, что объясняется окислением серы в шлаке кислородом воздуха.

Исследования микроструктуры шлава после продолжительного его хранения показали, что кристаллические образования в шлаках в основном

Таблица 17

Наименование шлака	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	в	SO ₂
Литейный Краматорского завода мокрой грануляции . .	32,88	9,64	1,07	0,68	49,65	1,75	2,36	2,94
Передельный Краматорского завода мокрой грануляции .	31,07	8,06	1,17	3,44	48,90	2,62	2,24	1,56
Литейный завода им. Рыкова мокрой грануляции	34,92	8,31	1,32	0,83	49,43	1,89	1,42	1,87
Передельный завода им. Рыкова мокрой грануляции . .	34,26	7,42	0,65	2,20	48,45	3,93	1,53	1,53

остаются без изменений. Исследования ультрафиолетовыми лучами показали, что при хранении шлаков количество зерен, светящихся фиолетовым светом, постепенно уменьшается, количество включений желтого цвета увеличивается, что характеризует весьма медленное расстекловывание шлака.

При испытании на сжатие все шлаки, хранившиеся 3 месяца, дали наибольшие показатели, через 6 месяцев дали незначительное понижение и затем некоторое повышение в 12 месяцев хранения. Таким образом при хранении как литейных, так и передельных шлаков в течение года гидравлические свойства шлаков не изменяются. Гидравлическость шлаков, искусственно высушенных перед хранением, во всех случаях несколько меньшая, чем шлаков, хранимых с естественной влажностью; в конце годичного хранения гидравлические свойства их уравниваются.

При испытании на разрыв обнаружилось, что все пробы шлаков ведут себя при хранении разнообразно; так, шлаки Краматорского завода дали снижение гидравлическости до 3 месяцев хранения по сравнению с первоначальными данными, при дальнейшем хранении эти показатели уравниваются. Сушка перед хранением не оказала влияния.

Шлаки завода им. Рыкова уже после месяца хранения дали большие показатели гидравлическости (весьма превышающие первоначальные), после 3 и 6 месяцев хранения гидравлическость их несколько снизилась. Высушенные перед хранением шлаки по сравнению с несущеными дали несколько худшие показатели сопротивления разрыву.

В общем же как литейные, так и передельные шлаки обоих заводов в результате годичного хранения своих гидравлических свойств не изменяют.

Здесь необходимо лишь указать, что шлаковый портландцемент, из шлаков, предварительно высушенных перед хранением, по сравнению с такими же цементами из шлаков, хранимых с естественной влажностью, дают показатели более медленного схватывания. Зависимости скорости схватывания от продолжительности хранения шлаков не обнаружено.

Любопытно отметить, что между содержанием влаги в шлаках до сушки перед размолом и гидравлическими свойствами шлака часто наблюдается обратная зависимость, т. е. максимальному содержанию влаги в шлаке до его сушки соответствует пониженная механическая прочность шлакового портландцемента, полученного из такого шлака. Объясняется это тем, что при сушке влажный шлак разрушается. Разрушение зерна шлака происходит от быстрого испарения влаги, заключенной в порах гранулированного шлака, под влиянием высокой температуры сушильных бара-

бывов. После разрушения зерна шлака становятся более реактивно способными (от нарушения пленки, полученной в момент грануляции). В дальнейшем происходит гидратация, т. е. запаривание шлака образовавшимся при сушке паром. Указанное явление, обнаруженное в результате исследований работ, подтверждается и практикой производства шлакового кирпича, где гранулированный шлак обычно пропускают через бегуны в целях нарушения зерна шлака; в дальнейшем для ускорения гидратации кирпич запаривают в особых печах.

Необходимо отметить отрицательное влияние двойной сушки шлаков до хранения и затем перед размолом на цемент. В этом случае гидравлические свойства цементов, приготовленных из искусственно высушенных шлаков, ниже, чем приготовленных из шлаков с естественной влагой и подсушенных только один раз перед размолом.

Таким образом результаты научно-исследовательских работ по установлению режима хранения шлаков мокрой грануляции и по определению пригодности их для дальнейшего использования показывают, что в промышленности строительных материалов даже для изготовления шлакового портландцемента возможно применять доменные шлаки, гранулированные мокрым способом и хранившиеся до года. Химический состав шлаков при этом не изменяется. Расстекловывание шлаков происходит весьма медленно и незначительно. Помещение для хранения шлаков должно быть крытым и проветриваться. Сушка шлаков при небольшом содержании в них влаги способствует увеличению их гидравлическости, однако производить сушку шлаков на месте производства грануляции шлаков с целью уменьшения перевозки воды со шлаком нецелесообразно, так как окрестность поглощений влаги высушенными шлаками весьма значительна и вследствие этого потребуются вторая сушка, которая может вызвать потерю гидравлическости шлаков.

Кроме того при хранении сухой шлак в короткий промежуток времени сильно слеживается, в результате чего более сильно подвергается влиянию влажности и углекислоты воздуха, чем шлак предварительно несухой, последний сам в сравнительно короткое время (1 месяц) подсыхает и требует незначительной сушки перед размолом.

В табл. 18 приведены результаты испытания хранившихся шлаков полумокрой и сухой грануляции на влагосодержание в зависимости от состояния погоды. Шлаки полусухой грануляции как с естественной влажностью, так и искусственно высушенные, а также шлаки сухой грануляции без предварительной подсушки были, аналогично шлакам мокрой грануляции, помещены под навес, где хранились в течение 6 месяцев.

Таблица 18

Климатологические данные	1933 г.						
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Среднее давление воздуха, мм	761,2	762,4	746,8	746,2	741,6	747,1	746,8
Количество осадков, мм	31,9	15,9	40,7	117,3	80,6	63,4	47,1
Средний относительная влажность воздуха, %	82,0	76,0	80,0	70,0	78,0	76,0	76,0
Средняя температура воздуха, °C	-7,4	-2,6	6,9	14,1	16,0	21,5	17,8

Наименование образцов шлака	Влагосодержание, %						
	первоначаль- но	ч е р е з					
		1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.	6 мес.
Литейный Краматорского завода полу- мокрой грануляции (с естественной влажностью)	6,4	6,0	4,7	5,0	3,9	2,4	0,9
Тот же (искусственный высушенный)	0,0	2,0	1,6	3,2	1,1	4,8	1,6
Передельный Краматорского завода полумокрой грануляции с естествен- ной влажностью	7,2	3,1	1,5	0,7	1,3	1,5	0,5
Тот же, искусственно высушенный	0,0	1,9	1,0	1,7	5,4	3,0	0,6
Литейный Краматорского завода су- хой грануляции	1,0	1,9	3,7	3,4	7,3	10,3	0,8
Передельный Краматорского завода сухой грануляции	0,3	3,9	3,0	3,5	1,5	3,8	0,4

Приведенные данные показывают, что в процессе хранения гранулированные шлаки полумокрой и сухой грануляции (аналогично шлакам мокрой грануляции) могут естественно высушаться и увлажняться, причем высушивание шлаков иногда происходит до такого предела, при котором возможно применять их для размола на цемент без предварительной подсушки. Шлаки мокрой грануляции при увлажнении поглощают влагу в количестве, не превышающем первоначальной влажности, обусловленной грануляцией, шлаки сухой грануляции способны поглощать до 10 %.

Шлаки более основные (литейные) как полумокрой, так и сухой грануляции в процессе хранения в основном содержат несколько больше влаги, чем менее основные (передельные), хранимые в тех же условиях. Шлаки полумокрой грануляции, высушенные перед хранением, ведут себя в этом отношении аналогично. Необходимо отметить, что литейные шлаки полумокрой и сухой грануляции при хранении не слеживаются, что, как указано выше, наблюдается у литейных шлаков мокрой грануляции и особенно у предварительно подсушенных. Данное явление объясняется тем, что при подсушке шлаков с весьма незначительной первоначальной влажностью (6—7%) приходится удалять меньшее количество воды. В связи с этим верхняя пленка зерна шлака, образовавшаяся в момент грануляции и предохраняющая шлаковое зерно от действия углекислоты и влаги воздуха, разрушается в значительно меньшей степени. Для суждения о водопоглощении при транспортировке шлаков полумокрой грануляции, предварительно подсушенных, а также шлаков сухой грануляции были произведены испытания этих шлаков путем помещения их во влажное пространство (этим были созданы наиболее жесткие условия). В табл. 19 приведены результаты этих испытаний со шлаками Краматорского завода.

Приведенные в табл. 19 данные показывают, что литейные шлаки полумокрой и сухой грануляции (как и мокрой грануляции) более гигроскопичны, чем передельные. Влага поглощается шлаками полумокрой и сухой грануляции на протяжении первых 18 дней и в дальнейшем остается почти стабильной. Так как максимальное содержание влаги для

Таблица 19

Наименование образцов шлака	Влажность перед высушкой во влажном пространстве	Влагопоглощение в % в раз						Примечание
		в % в раз						
		6 сут.	12 сут.	18 сут.	24 сут.	30 сут.	36 сут.	
Шлак литейный полумокрой грануляции с естественной влажностью	0	1,7	2,3	3,3	3,5	3,6	3,0	Рост на протяжении 24 сут.
Тот же, высушенный перед хранен.	0	1,6	1,8	2,8	3,2	3,0	2,4	То же
Передельный полумокрой грануляции, хранившийся с естественной влажностью	0	1,1	1,2	1,5	2,1	1,5	1,4	То же
Тот же, высушенный перед хранением	0	1,0	1,4	1,5	1,9	1,5	1,4	То же
Литейный сухой грануляции, хранившийся с естественной влажностью	0	1,8	1,7	3,4	3,0	3,0	3,1	Рост на протяжении 24 сут.
Передельный сухой грануляции хранившийся с естественной влажностью	0	0,6	1,0	1,5	1,6	1,5	1,6	То же

литейных шлаков 3,5%, для передельных 2%, и к тому же при размоле шлаков на шлаковый портландцемент добавляется 30—40% клинкера, возможно применять эти шлаки на месте производства цемента без дополнительной подсушки.

В табл. 20 приведен химический состав шлаков Краматорского завода до и после 6-месячного хранения во влажном пространстве (в процентах).

Из таблицы видно, что в основном химический состав этих шлаков не изменяется.

Сульфидная сера (S) в процессе хранения, как это наблюдалось и в шлаках мокрой грануляции, окисляется под действием кислорода воздуха и переходит в сульфатную. В табл. 21 приведены данные о скорости процесса окисления серы в шлаках.

Таблица 20

Наименование шлака	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MnO	
	до	после	до	после	до	после	до	после
Литейный полумокрой грануляции	30,92	30,61	8,09	8,01	1,40	1,38	1,10	1,09
Передельный полумокрой грануляции	33,40	32,57	7,23	7,96	1,83	1,89	1,86	1,87
Литейный сухой грануляции	31,90	31,99	10,43	10,46	1,21	1,21	0,59	0,59
Передельный сухой грануляции	32,40	32,41	8,89	8,89	1,30	1,30	1,48	1,48
Литейный полумокрой грануляции	51,56	51,04	0,55	0,54	3,59	3,46	0,40	1,22
Передельный полумокрой грануляции	49,12	49,32	2,15	2,06	2,60	2,00	0,85	1,04
Литейный сухой грануляции	51,28	52,03	0,28	0,28	3,61	2,43	0,79	1,60
Передельный сухой грануляции	50,78	50,43	0,49	0,49	3,0	2,20	0,48	1,16

Петрографические исследования шлаков полумокрой и сухой грануляции после 6-месячного хранения показывают, что все шлаки в основном состоят из стекловидного вещества, весьма слабо задетого с поверхности зерен процессом растеклования. Таким образом эти исследования показывают, что процесс хранения шлаков почти не отражается на их качестве, что подтвердилось и при ежемесячном освещении этих шлаков ультрафиолетовыми лучами, которое показало, что в противоположность шлакам мокрой грануляции шлаки полумокрой и сухой грануляции в процессе хранения почти не изменяются; количество зерен, светящихся фиолетовым светом, а также включений желтого оттенка в основном остается одно и то же, что характеризует почти полное отсутствие растеклования стекловидного вещества шлава, а следовательно, и нормальное качество шлака.

Для определения физико-механических свойств шлаков полумокрой и сухой грануляции в зависимости от условий хранения были вычлалены через 1, 3, 6 месяцев хранения измолоты образцы литейных шлаков Краматорского завода. Из этих образцов совместно с клинкером завода им. Радченко изготовили шлаковый портландцемент, который был подвергнут физико-механическим испытаниям по ОСТ.

В табл. 22 приведены результаты испытаний литейных и переделанных шлаков полумокрой грануляции Краматорского завода.

Таблица 21

Наименование шлака	г	SO ₂	г	SO ₂	г	SO ₂	г	SO ₂
	первоначально		1 мес.		3 мес.		6 мес.	
Литейный полумокрой грануляции с естественной влажностью	3,59	0,40	3,53	0,72	3,49	0,98	3,46	1,22
Литейный, высушенный перед хранением	3,59	0,40	3,40	0,50	3,25	0,60	3,12	0,74
Переделанный полумокрой грануляция, хранившийся с естественной влажностью	2,60	0,85	2,50	0,97	2,35	0,99	2,00	1,04
Переделанный, высушенный перед хранением	2,60	0,85	2,43	0,94	2,20	0,97	2,00	1,05
Литейный сухой грануляции	3,61	0,79	3,42	0,91	2,85	1,23	2,13	1,63
Переделанный сухой грануляции	3,00	0,48	2,88	0,63	2,54	0,94	2,29	1,16

Анализируя данные табл. 22, необходимо отметить, что проба портландцемента, изготовленного из шлака, хранимого с естественной влажностью, при испытании на сжатие в начале хранения постепенно повышает сопротивление сжатию (за исключением 28-дневных испытаний, давших максимальные показатели через месяц хранения) с последующим незначительным уменьшением через 3 и 6 месяцев хранения. Сопротивление разрыву повышается на протяжении 6 месяцев хранения.

Этот же шлак, будучи высушен перед хранением, в основном при той же закономерности изменения прочности дает все время несколько меньшую прочность.

В табл. 23 приведены результаты физико-механических испытаний по

Срок хранения	Остаток доменного шлага, размоленного на шлакостой портландцемент	Дополнительная влажность		Плотность объема	Нормальная влажность			Отсыревание			Размеры зерна						Сметно зерел			
		90 ом/сек	90 ом/сек на сите 0,075		ростера	время	время	время	4 дня			7 дней			28 дней			4 дня	7 дней	28 дней
									1:0	1:3	1:0	1:3	1:0	1:3	1:0	1:3	1:0			
		час.	мин.		час.	мин.	час.	мин.	час.	мин.	час.	мин.	час.	мин.	час.	мин.	час.	мин.	час.	мин.
В начале хранения То же	Шлак с естественной влажностью	1,6	78,8	По-тону	24,0	7,0	2	30	6	55	25,6	14,5	44,5	21,3	49,4	25,6	113	188	323	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Рабочего	1,6	76,9	»	21,5	7,0	—	—	—	—	68,1	23,2	54,7	23,8	58,7	25,9	84	426	488	
	Шлак с естественной влажностью	1,6	79,9	»	25,0	7,5	4	45	10	—	25,7	16,1	46,3	22,1	65,6	29,9	122	176	336	
3 месяца	Шлак, искусственно высушенный	2,0	79,9	»	25,0	7,0	4	30	10	—	30,9	18,3	52,9	23,6	64,9	28,2	126	164	334	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Рабочего	1,9	77,5	»	23,0	6,7	3	25	6	05	36,8	20,7	52,6	21,2	68,4	24,8	239	267	359	
	Шлак с естественной влажностью	1,2	79,2	»	23,8	7,0	5	05	8	30	29,2	18,8	58,1	24,9	55,3	25,9	136	193	313	
6 месяцев	Шлак, искусственно высушенный	1,4	81,0	»	22,2	7,8	4	50	9	35	27,2	16,7	43,9	24,3	50,5	29,0	125	179	307	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Рабочего	1,1	81,0	»	24,2	8,0	5	05	4	15	31,2	19,5	40,2	23,8	42,5	26,7	155	255	307	
	Шлак с естественной влажностью	1,0	81,5	»	25,5	7,0	4	10	6	55	38,8	21,8	53,7	25,9	62,8	27,3	188	244	261	
	Шлак, искусственно высушенный	1,1	79,5	»	24,0	7,0	4	35	7	10	35,1	19,7	50,8	20,4	60,3	21,1	136	186	217	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Рабочего	1,4	79,0	»	23,8	7,0	2	40	3	55	44,9	20,8	54,8	18,2	61,8	27,1	290	337	373	

Примечания: 1. Шлаковый портландцемент из томится из смеси 70% шлага и 30% портландцементного клинкера завода им. Рабочего.
 2. Портландцемент изготовлялся на смеси 98% клинкера и 2% гисса.
 3. Для изготовления образцов из растора браков нормальный тогский песок.

Таблица 23

Срок хранения	Состояние шлама, размоленного во влаковой порты цемент	Теплота помы		Полнота обжиг	Содержание				Сопределение, м/м										
		900 °C в ст.	до 400 °C		Нормальная густота		начало		разрыв через		4 дня		7 дней		28 дней		сжатие через		
					тест	платформа	ч.	мм.	ч.	мм.	1:0	1:3	1:0	1:3	1:0	1:3	1:3	1:3	4 дня	7 дней	28 дней
		0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1 месяц	Шлак с естественной влажностью	1,6	80,2	24,0	6,7	3	15	7	10	10,3	10,2	19,3	17,4	43,0	25,7	24	164	298	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Радецкого	1,6	78,9	21,5	7,0	—	—	—	—	68,1	23,2	54,7	22,8	68,7	25,9	34	425	488	
	Шлак с естественной влажностью	1,6	80,2	24,5	7,2	4	40	10	25	22,8	13,4	34,9	17,9	60,3	27,8	79	142	274	
3 месяца	Шлак, искусственно высушенный	2,0	78,6	25,0	7,0	5	25	11	20	22,1	11,8	32,1	18,5	57,3	23,0	83	135	251	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Радецкого	1,9	77,5	28,0	6,7	3	25	6	05	36,8	2,7	52,6	21,2	68,4	24,8	239	267	359	
	Шлак с естественной влажностью	1,5	78,8	24,0	7,1	7	30	12	05	19,7	12,2	34,3	15,9	50,9	29,1	87	124	276	
6 месяцев	Шлак, искусственно высушенный	1,2	82,6	25,0	7,0	2	60	5	50	21,3	15,0	36,9	22,0	52,7	27,0	107	192	392	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Радецкого	1,4	81,0	24,0	8,3	3	05	4	15	31,2	19,5	40,2	23,3	42,8	28,7	155	256	307	
	Шлак с естественной влажностью	1,0	80,5	25,5	7,2	5	15	8	50	24,2	13,4	33,0	17,9	52,5	23,8	106	140	218	
	Шлак, искусственно высушенный	1,2	80,8	25,0	7,2	7	35	10	25	16,7	11,9	35,7	2,4	52,4	25,2	125	210	243	
	Клинкер вращающихся печей завода им. Радецкого	1,4	79,0	23,8	7,0	2	40	3	36	4,49	20,8	54,8	18,2	61,8	27,1	290	337	373	

Примечания: 1. Шлаковый порландцемент изготовлен из смеси 70% шлама и 30% порландцементного клинкера завода им. Радецкого.

2. Порландцемент изготовляется из смеси: 90% клинкера и 10% шлама.

3. Для изготовления образцов в растворе образцы нормальный влажности шлама.

ОСТ передельного шлака полумокрой грануляции Краматорского завода после различных сроков хранения.

Данные табл. 23 по испытанию передельного шлака показывают, что хранимый с естественной влажностью шлак при испытании на сжатие после месяца хранения дает небольшое снижение прочности, которое в основном не изменяется до 3 месяцев хранения. Затем наблюдается такое же небольшое увеличение прочности к 6 месяцам хранения (за исключением 28-дневных показателей, давших уменьшение прочности к 6 месяцам хранения).

В начале (через месяц) хранения шлак показывает незначительное увеличение своих гидравлических свойств, а затем некоторое уменьшение их к 3 месяцам с последующим выравниванием к 6 месяцам хранения за исключением 28-дневных испытаний, показавших после месяца хранения повышение прочности до 3 месяцев хранения, а затем снижение к 6 месяцам.

Портландцемент из подсушенного перед хранением шлака показывает, однако, несколько более высокую прочность, за исключением 28-дневных испытаний на разрыв.

При испытании литейных и передельных шлаков сухой грануляции последние показали до 1 месяца хранения повышение механической прочности. При дальнейшем хранении литейные шлаки показывают снижение прочности к 3 месяцам, продолжающееся до 6 месяцев хранения. Передельный же шлак показывает повышение прочности к 3 месяцам и незначительное снижение к 6 месяцам хранения. Гидравлические свойства шлаков сухой грануляции в результате 6 месяцев хранения также не ухудшаются. Изготовленный шлаковый портландцемент (70% шлака + 30% клинкера) из шлаков различных сроков хранения во всех случаях удовлетворяет нормам соответствующего **ОСТ** и во многих случаях даже значительно превышает его.

Незначительная влажность сухой и полумокрой грануляции при сушке вызывает их разрушение и запаривание и поэтому зависимости между содержанием влаги в шлаке до сушки его гидравлическими свойствами не наблюдается.

Сушка шлаков полумокрой грануляции перед хранением, а потом вторичная сушка перед размолом (по сравнению со шлаком мокрой грануляции) оказывает небольшое влияние, так как шлаки с ненарушенными вернами при хранении не поддаются сильному воздействию углекислоты и влаги воздуха, обычно ухудшающих качество шлаков (в связи с их гидратцией).

Подводя итоги опытов по хранению шлаков полумокрой и сухой грануляции, мы видим, что указанные шлаки, хранившиеся до 6 месяцев, можно успешно применять. Изготовленные из них цементы удовлетворяют соответственным нормам **ОСТ**.

Химический состав шлаков при хранении в основном не изменяется: происходящий при этом переход сульфидной серы в сульфатную не нарушает качество шлака. Активная часть шлака — его стекловидное вещество — в основном не изменяется.

Аналогично шлакам мокрой грануляции, шлаки сухой и полусухой грануляции следует хранить в крытых, проветриваемых помещениях, так как шлаки полумокрой грануляции смогут значительно подсохнуть, а шлаки сухой грануляции смогут оставаться в сухом состоянии. Подсушка шлаков

с небольшим содержанием влаги дает повышение гидравлических свойств шлака. Склеивания шлаков сухой и полумокрой грануляции не наблюдается.

Учитывая, что скорость поглощения влаги мокрыми шлаками сухой и также предварительно подсушенными шлаками полумокрой грануляции сравнительно незначительна (в среднем 3,5% за 18 дней), а также то обстоятельство, что шлаки, хранимые во влажном пространстве, показывают незначительное увеличение содержания влаги, следует считать возможным и целесообразным производить перевозку таких шлаков в крытых вагонах.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

Ценные свойства доменных шлаков сами собой предопределяют широкое применение его в различных отраслях нашего народного хозяйства, но оптимальное использование зависит главным образом от химического состава шлаков, способов охлаждения и обработки их. При разрешении вопроса о применении шлаков необходимо иметь в виду, что различие в свойствах в зависимости от химического состава имеется только у шлаков с сильно выраженной основностью или кислотностью.

Выше было уже указано, что основные шлаки обладают ценным свойством гидравлическости, т. е. способностью медленно затвердевать под водой, что и привело к разнообразному применению шлаков в промышленности строительных материалов.

При определении выгодности использования шлака в различных материалах необходимо учесть, что 1 т шлака дает следующее количество материала: около 10 бочек известковошлакового или шлакового портландцемента при использовании обычного клинкера, или около 7 бочек цемента при изготовлении клинкера также из шлака, или около 300 шлаковых кирпичей, или около 1,5 м³ теплого бетона, или около 1,5 м³ известкового раствора, или около 1 т пористого щебня, или около 0,75 м³ тяжелого щебня.

Отпускная стоимость указанного количества материалов¹ следующая:

10 бочек цемента по 4—6 руб.	40—60 руб.
300 шлаковых кирпичей по 0,033 руб.	9 р. 90 к.
1,5 м ³ известкового раствора по 7 руб.	10 р. 50 к.
1,5 м ³ теплого бетона по 12 руб.	18 руб.
1 т пористого щебня, или 2 м, по 10 руб.	20 руб.
0,75 м ³ тяжелого щебня по 10 руб.	7 р. 50 к.

Цементная промышленность

Таким образом в промышленности строительных материалов по ценности получаемого материала наиболее выгодным является использование шлака для производства различных видов цемента. Еще в 1862 г. д-р Ланге в Германии обнаружил, что быстро вылитые в воду расплавленные шлаки дают материал, из которого при размоле с некоторым количеством извести получается цемент. Производство изобретенного в Германии цемента быстро распространилось в первую очередь в Австрии,

¹ Постановление УЭС от 16/1 1933 г. № 4/701.

затем во Франции, где уже через несколько лет были построены большие заводы по изготовлению шлакового цемента. В Германии же шлаковый цемент не нашел себе потребителей. Так как о химическом и физическом составе доменного шлака знали мало, то материал по своим качествам и составу получался разнообразный, следовательно не заслужил доверия потребителя. Кроме того шлаковый цемент не мог сравниться с портландцементом, производство которого развилось в Германии значительно раньше и было уже достаточно хорошо налажено.

В 70-х годах XIX в. научно-исследовательские работы Михаэляса показали, что качество портландцемента значительно улучшается при прибавлении к нему некоторого количества доменного шлака. В результате этого открытия многие портландцементные заводы начали использовать шлак, прибавляя все больший и больший процент шлака при производстве портландцемента. В 1882 г. Союз германских портландцементных заводов установил размеры дозировки шлака, запретив делать прибавки к клинкеру более чем 2%. В 1892 г. д-р Штейн нашел способ приготовления рентабельно из шлака с известняком. Это открытие дало возможность рентабельно изготавливать клинкер для шлакового портландцемента при металлургических заводах, и уже в 1895 г. в Вецларе в заводском масштабе изготовлялся так называемый железопортландцемент, т. е. цемент из 70% клинкера, 28% гранулированного шлака и 2% гипса; клинкер был шлаковым.

В 1906 г. начали изготавливать в массовом масштабе так называемый доменный цемент, т. е. цемент, состоящий из 15% клинкера с прибавлением 83% шлака и 2% гипса. Применение доменных шлаков в цементной промышленности шло в Германии по линии использования основных доменных шлаков. Химический состав этих шлаков приведен в табл. 24.

Таблица 24

Состав	До 1900 г.		1901—1913 гг.		1914—1925 гг.		1927 г.		1927—1928 гг.	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
SiO ₂	34,23	35,40	32,93	33,94	31,70	34,20	29,6	34,11	22,22	33,91
Al ₂ O ₃	10,02	10,90	11,9	13,80	10,92	13,74	9,84	15,0	10,01	15,15
FeO	0,55	0,64	0,65	0,81	0,35	1,71	0,58	2,17	0,37	2,09
MnO	Следы	0,46	0,30	0,55	0,28	0,60	0,24	0,50	0,32	0,50
CaO	46,74	48,26	42,41	46,67	42,41	46,10	42,30	46,10	41,45	46,0
MgO	1,13	1,36	3,20	3,98	2,33	4,41	1,98	4,57	2,04	4,64
CaS	1,81	2,17	2,37	2,79	3,60	6,91	3,69	6,96	3,64	6,86

В таблице 24 необходимо обратить внимание на тот факт, что в Германии для производства шлакового портландцемента постепенно все больше и больше стали применять шлаки с более повышенным содержанием магнезии и сернистого кальция, но более бедные содержанием извести. В табл. 25 приведены данные, характеризующие степень использования шлаков в цементной промышленности Германии.

Из табл. 25 видно, что в то время как производство портландцемента в 1927 г. составляло всего 87,7% от производства 1913 г. производство шлакового портландцемента составляло 284,1%.

Таблица 25

Кол-во лет в периоде	Годы	Портландцемент 100% клинкера			Железопортландцемент (70% клинкера + 30% шлака)			Шлаковый портландцемент (70% шлака + 30% клинкера)			Итого шлакового портландцемента (клинкер + шлак)		
		тыс. т	в процентах		тыс. т	в процентах		тыс. т	в процентах		тыс. т	в процентах	
			к предыдущему периоду	к 1913 г.		к предыдущему периоду	к 1913 г.		к предыдущему периоду	к 1913 г.		к предыдущему периоду	к 1913 г.
—	1885	2 115	—	—	10	—	—	—	—	—	10	—	—
6	19 0	3 375	159,6	—	110	1 110,0	—	—	—	—	110	1 110,0	—
6	1906	3 855	114,2	—	180	163,6	—	10	—	—	190	172,7	—
4	1910	5 565	144,4	—	200	111,1	—	100	1 100,0	—	300	157,8	—
3	1913	6 910	124,2	100,0	240	120,0	100,0	200	200,0	100,0	440	146,7	100,0
7	1920	1 855	26,8	26,8	170	70,8	70,8	235	117,5	117,5	405	92,0	92,0
5	1925	5 130	273,5	74,2	320	188,2	133,3	350	148,9	175,0	670	165,4	152,3
1	1926	4 870	94,9	70,5	415	129,7	172,9	360	102,9	180,0	775	115,7	176,1
1	1927	6 065	124,5	87,8	625	150,8	260,4	625	173,6	312,5	1 250	161,3	284,1

Примечание. В 1913 г. в Германии произведено 7 350 тыс. т цемента, а в 1927 г. 731,9 тыс. т.

В 1913 г. производство шлакового портландцемента составляло всего 6,4% от общего количества портландцемента, в 1927 г. оно составляло уже 20,6%. Очень сильно возросло за 1927 г. производство доменного цемента (с добавкой от 85 до 30% шлака) и достигло 625 тыс. т (до 312,5% от производства 1913 г.), причем оно достигло в этом году размера производства железопортландцемента (70% клинкера и 30% шлака). Здесь необходимо отметить, что изготовление портландцементов, по всей вероятности, поддерживалось за счет рационализации старых заводов, а рост производства шлаковых цементов шел за счет строительства новых и расширения старых заводов. Кроме того оба продукта—железопортландцемент (с 1904 г.) и доменный цемент (с 1917) по всем признакам определения являлись равноценными нормальному портландцементу. Как в Германии, так и других странах к ним предъявлялись совершенно одинаковые с портландцементом требования. Таким образом, подводя итоги приведенных здесь цифровых данных, следует указать, что несмотря на то, что в 1927 г. производство всего цемента в Германии составляло всего 99,5% от производства 1913 г. все же производство шлакового портландцемента заняло прочное место в промышленности этой страны.

В СССР использование шлаков для производства различных цементов широко практикуется в производстве строительных материалов. По ориентировочному плану второй пятилетки использование шлака для изготовления цементов в 1937 г. выразится в сумме 3660 тыс. т¹, что даст возможность получить в 1937 г. около 30 млн. бочек различных шлаковых цементов, не уступающих по своим качествам нормальному портландцементу. Динамика потребления шлака для изготовления цементов во второй пятилетке показывает, что уже в 1935 г. она составит 154,7%.

¹ См. баланс шлаков стр. 81—82.

по отношению к первому году пятилетки и дойдет до 165,8% в 1937 г. Столь значительное использование шлака в последнем году пятилетки необходимо отнести как к расширению сети помольных установок, так и за счет пуска новых шлакоцементных заводов в районах Приднепровья, Приазовья и Восточной области.

В табл. 26 приведены средние анализы шлаков, характерные для отдельных районов Советского союза.

Таблица 26

Заводы	Наименование шлака	SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Южная группа:									
Приднепровье	Передельный	32,0	35,6	9,26	13,56	46,57	50,94	2,30	3,37
	Литейный	30,33	32,51	9,55	10,13	51,48	51,80	1,64	2,50
Приазовье	Передельный	31,30	32,82	12,33	14,30	39,87	42,22	3,23	7,36
	Литейный	29,49	31,71	12,69	15,49	43,55	45,06	2,59	7,60
Донбасс	Передельный	30,0	34,66	8,33	14,0	46,00	49,00	2,0	4,30
	Литейный	30,0	34,47	8,8	18,0	42,00	50,93	1,5	2,75
Центральная группа	Передельный	51,0	51,08	10,8	11,07	29,30	29,60	1,05	3,18
	Литейный	32,5	38,0	10,7	10,51	45,54	51,00	1,80	2,75
Восточная группа	Различные	26,31	56,0	10,2	22,54	21,41	44,60	0,5	10,34
Заводы	Наименование шлака	FeO		MnO		S		P ₂ O ₅	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Южная группа:									
Приднепровье	Передельный	0,83	2,43	0,89	2,48	2,36	3,22	—	—
	Литейный	0,20	0,85	0,72	1,00	2,40	2,80	—	—
Приазовье	Передельный	0,51	1,66	0,98	2,02	2,65	2,85	0,12	0,18
	Литейный	0,37	0,58	0,32	0,52	2,95	3,50	—	—
Донбасс	Передельный	0,20	0,80	2,00	3,76	2,00	3,50	—	—
	Литейный	0,20	1,00	0,33	—	2,43	3,53	—	—
Центральная группа	Передельный	2,20	2,82	2,15	2,60	2,30	3,50	0,15	0,30
	Литейный	0,50	3,50	0,30	1,00	3,00	3,60	—	—
Восточная группа	Различные	0,26	2,22	0,46	6,71	0,16	3,33	—	—

При рассмотрении приведенных в табл. 26 анализов видно, что первые три района обладают шлаками, пригодными для использования в качестве сырья для различных цементов, и что больших колебаний в отношении основных окислов не наблюдается. Повышенное содержание магнезии в Приазовской и Центральной группе заводов часто вызывало у некоторых специалистов сомнение в пригодности таких шлаков для изготовления цементов. Выше было уже указано, что магнезия повышает гидравлические свойства шлаков, и в противоположность портландцементу большая часть извести может быть заменена магнезией. Заграничная

практика в основных шлаках с точки зрения их гидравличности допускает содержание до 20% MgO. По Кюлю и Клоту¹ доменные шлаки белого чугуна с содержанием 36,48% SiO₂, 9,40% Al₂O₃, 1,20% FeO, 4,01% MnO, 33,02% CaO, 12,70% MgO, 0,17% SO₃ и 2,78% CaS признаются годными как гидравлическая добавка при изготовлении цементов. По авторитетным данным Шоха магнезия не является вредной составной частью в стеклообразном застывающем шлаке, а, наоборот, может полностью компенсировать известь и при малом содержании извести, но при повышенном содержании магнезии (в сумме около 53%) шлак является материалом с большой гидравличностью.

Одновременно и д-р Пассов заявил, что наличие в шлаке до 13% MgO, увеличивает гидравличность стеклообразного основного шлака, не изменяя постоянства объема. Постоянство объема не нарушается, если основные шлаки, богатые магнезией, перемальваются и переменчиваются с нормальным клинкером.

Таким образом из сказанного ясно, что повышенное содержание магнезии в шлаках заводов первых трех районов (табл. 17) не является отрицательным фактором. Необходимо еще отметить, что шлаки этих районов в основной массе получаются при работе домен на минеральном топливе, что вызывает в них повышенное содержание серы (обычно в виде CaS). Научно-исследовательскими работами, проведенными как в нашем Союзе, так и за границей, установлено, что повышенное содержание сернистого кальция (CaS) даже до 10% не только не вредно, но даже повышает гидравличность шлаков в особенности, когда в последнем содержится не более 5% MgO. Д-р Грюн несколько уточнил влияние сернистого кальция. Он выявил, что при содержании 5,6% CaS и 11,4% MgO гидравличность доменных шлаков больше, чем при содержании 5,1% CaS и 3,1% MgO. Таким образом содержание серы в шлаках упоминаемых заводов Центральной группы, Приднепровья, Приазовья и Донбасса — в норме. Состав шлаков Восточной группы заводов (табл. 26) крайне пестрый и резко отличается от состава шлака первых трех групп, так как в эту группу входят заводы Уральской области, где большая часть доменных печей, работающих на древесноугольном топливе, дает кислые шлаки. В эту же группу входят домы Магнитогорского и Кузнецкого заводов, а также Бакальские, Халиловские, Сучанские и Петровские домы.

Вопрос об использовании шлаков для изготовления различных цементов на базе основных шлаков Кузнецка, Магнитогорска был разрешен в положительную сторону еще в период проектирования указанных заводов. Использование кислых шлаков Уральских заводов для производства известкового шлакового цемента и шлакового портландцемента по данным проф. Кинда и Уралвисма возможно. Практически эти шлаки в настоящее время для изготовления названных выше цементов не используются.

Доменные шлаки — химически активные вещества — используются в СССР для изготовления главным образом следующих цементов: 1) известкового шлакового цемента, 2) шлакового портландцемента, 3) бесклинкерного цемента.

Согласно общесоюзному стандарту технические условия для указанных выше цементов установлены нижеследующие:

¹ Проф. Кюль, Химия цемента в теории и практике, 1931

Известковый шлаковый цемент. Известковый шлаковый цемент — продукт теснейшего смешения заводским путем порошкообразной гашеной извести с предварительно измолотым в тонкий порошок гранулированным основным доменным шлаком. Весовое содержание гашеной извести в готовом продукте в зависимости от свойств и состава шлаков колеблется обычно от 10 до 30%. Характерная особенность известкового шлакового цемента заключается в том, что он медленно твердеет, особенно на воздухе, и дает большую прочность в подземных и подводных сооружениях, чем в надземных. В растворе 1:3 с нормальным песком и при хранении в воде известковый шлаковый цемент на 28-й день обладает временным сопротивлением сжатию 170 кг/см² и выше.

Шлаковый портландцемент. Шлаковый портландцемент получается путем совместного перемола портландцементного клинкера и гранулированного доменного шлака. Весовое содержание шлака в готовом продукте зависит от свойства и состава шлака и не должно превышать 85%. Количество гипса, прибавляемого к клинкеру и шлаку при их перемолу для замедления схватывания шлакового портландцемента, не должно превышать 3%. Для изготовления шлакового портландцемента употребляются главным образом основные гранулированные доменные шлаки, где весовое отношение суммы извести и магнезии к сумме кремнекислоты и окиси алюминия должно быть не менее единицы, при этом количество закиси марганца не должно превышать 3%. Шлаковый портландцемент в смеси с нормальным песком в пропорции 1:3 обычно через 28 дней обладает сопротивлением сжатию не меньше 160 кг/см² и характеризуется как медленно схватывающийся и твердеющий цемент. По своим высоким качествам нормальный шлаковый портландцемент получил широкое применение при производстве бетонных и железобетонных работ.

Шлаковый бесклинкерный цемент получается путем совместного перемола доменного шлака с ускоряющим затвердевание шлака, минеральными веществами (обожженный доломит, ангидрид, растворимое стекло, гипс, соль и пр.).

Шлаковый бесклинкерный цемент. Для производства шлакового бесклинкерного цемента употребляются сильно основные доменные шлаки или основные доменные шлаки с искусственно повышенным (обогащенным) перед грануляцией содержанием окиси кальция. Указанному перемолу подвергаются шлаки в просушенном состоянии и без добавки портландцементного клинкера. Шлаковый бесклинкерный цемент относится к группе так называемых новых цементах, производство которых начато у нас в Союзе только в 1930 г. Существуют два способа изготовления бесклинкерного цемента. Первый — проф. Н. П. Дудникова и инж. В. М. Лежаева и второй — акад. Е. И. Орлова, инж. В. А. Терещенко и инж. А. С. Френкеля.

По первому способу к 90% сильно основного гранулированного шлака вводится при его помоле 5% обожженного при 750° доломита и 5% ангидрида.

По второму способу к 100 частям шлака добавляют 2% природного гипса, 2% поваренной соли и 2% растворимого стекла.

По проекту всесоюзного стандарта технические условия шлакового бесклинкерного цемента предложены следующие. Весовое содержание основных доменных шлаков в готовом продукте должно быть не менее

85%. Химический состав шлаков должен быть следующий: не менее 46% CaO, не менее 9% Al₂O₃ и не более 3% MnO. Начало схватывания должно наступать не ранее 30 мин., а конец не позднее 12 час. от начала затворения. Шлаковый бесклинкерный цемент должен равномерно изменять свой объем в воде и при горячих пробах. В отношении тонкости помола — остаток на сите 900 *от/см*² не должен превышать 2% (от навески). Через сито в 4900 *от/см*² должно проходить не менее 85% (от навески). Временное сопротивление растяжению чистого шлакового бесклинкерного цемента в пропорция 1:0 должно составлять:

Через 4 дня	20 кг/см ²
» 7 дней	25 »
» 28 »	35 »

Временное сопротивление сжатию раствора с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должно составлять:

Через 4 дня	70 кг/см ²
» 7 дней	100 »
» 28 »	160 »

Эффективность использования шлака — как основного сырья для изготовления шлакового бесклинкерного цемента — может идти только за счет использования литейных и некоторых бессемеровских шлаков, удовлетворяющих указанному выше химическому составу. Стоимость добавок по первому способу на 1 т цемента обходится в 2,5 раза дешевле, чем по второму способу, но зато способ акад. Орлова не требует обжига добавок. Шлаковый бесклинкерный цемент вследствие простоты оборудования для его изготовления (нет надобности в мельнице, во вращающихся печах и пр.) дешевле портландцемента на 35% и шлакового портландцемента на 15%. Шлаковый бесклинкерный цемент с успехом применяется в качестве материала для бетона, железобетона и сложных растворов.

Шлаковый бетон

Доменный шлак в качестве гидравлической добавки, или заполнителя для изготовления различных бетонов давно уже получил широкое применение в жилищном и промышленном строительстве. Динамика развития потребления доменного шлака во второй пятилетке для различных бетонов показывает, что в 1935 г. использование доменного шлака для этой цели составит 950 тыс. т, или 152,6% по отношению к 1933 г., и доходит к концу пятилетки до 1900 тыс. т, или 731,8% по отношению к 1933 г. Столь значительное и все возрастающее использование доменного шлака для изготовления бетонов объясняется эффективностью применения доменного шлака как местного строительного материала, не требующего сложного оборудования. Применение шлакового бетона, представляющего собой разновидность теплого (или легкого) бетона, позволяет также вместо кирпичных стен толщиной в два кирпича (52 см) возводить стены толщиной 38 см. Стоимость 1 м² стены уменьшается примерно в два раза. Для изготовления шлакового бетона применяются главным образом гранулированные шлаки, как основные с добавкой извести или без нее, так и кислые с добавкой извести и других веществ. Обработка увлажненных водой шлаков производится на обычно-

венных бегунах. Выше уже было указано, что особенно широко применяется доменный шлак для бетонных и железобетонных работ в Америке. Химический состав применяемых там шлаков крайне разнообразен. В табл. 27 приводится химический состав шлаков из Огайо (США), применяемый для изготовления бетона¹, в табл. 28 шлаков из Пенсильвании, Алабамы и Кентекута и в табл. 29 шлаков заводов Карнеджи.

Таблица 27

Состав	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MnO	MgO	S
Максимальный	36,7	14,1	45,8	2,0	0,7	19,4	1,7
Минимальный	31,6	11,8	31,8	0,3	0,2	1,6	1,2
Средний	34,5	12,7	39,3	0,9	0,5	9,5	1,4

Таблица 28

Состав	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	S
Максимальный	49,2	15,6	44,7	3,7	13,9	2,2
Минимальный	31,4	12,3	17,0	0,5	1,3	0,14
Средний	37,9	13,7	33,8	1,5	9,6	1,36

Таблица 29

Состав	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	S
Максимальный	38,4	20,7	46,5	9,0	3,2	1,6
Минимальный	30,3	13,8	32,9	1,4	1,4	1,5
Средний	33,9	17,0	41,9	3,3	2,1	1,4

Анализ этих таблиц показывает, что химический состав шлаков не имеет решающего значения с точки зрения применения их для бетона. Последние исследования, как за границей, так и у нас в Союзе, подтверждают, что бетон, изготовленный даже из распавшегося (и потому основного) доменного шлака, обладает такой же прочностью, как бетон с кусковым шлаком. Государственное управление по испытанию строительных материалов в Берлине провело ряд опытов по применению гранулированного шлака различного состава в качестве добавок к бетону. Были взяты четыре характерные образца шлака: два легких и два тяжелых. Из них были составлены с портландцементом смеси с соотношением — цементный шлак: песок: щебень = 1:2:3, 1:3:5, 1:5:8. Для сравнения были взяты также смеси с естественным песком и кремневым щебнем.

¹ Таблица взята из НИС ВПУ ГУМН за 1932 г.

Результаты испытания показали, что легкие шлаки имеют несколько меньшую крепость, чем бетон из доменного кускового шлака, а также из рейнского песка. Закономерную зависимость прочности бетона от объемного веса гранулированных шлаков установить было затруднительно, так как самый легкий шлак (№ 2) показал прочность бетона выше, чем более тяжелый шлак (№ 1); шлак № 3 — более легкий, чем шлак № 4 — дал бетон с большей прочностью чем последний. Таким образом только по объемному весу шлаков, без специального испытания, нельзя делать выводов о прочности бетона. Управление по испытанию материалов в Берлине не установило и твердой зависимости и закономерности между химическим составом шлаков и прочностью бетона из них. Оно выявило лишь, что модуль упругости бетона из гранулированных шлаков меньше модуля упругости натуральных песков. Исследования влияния гранулированных шлаков на железную арматуру показали, что в смесях 1:2:3 ржавления не обнаружено, и только смеси 1:5:8 и 1:3:5, где содержание извести в шлаке было незначительным, показали признаки ржавления. Таким образом из результатов исследования были сделаны следующие выводы: бетон и железобетон можно готовить из всех видов шлаковых иесков. Ввиду возможности ржавления арматуры при изготовлении железобетона следует применять только густые смеси (1:2:3). Легкие шлаковые пески дают бетон с меньшей прочностью, а тяжелые дают бетон с большей прочностью, чем естественный песок.

Проведенные в СССР научно-исследовательские работы по использованию доменных шлаков в качестве материала для бетонных и железобетонных работ дали богатые результаты. На основании всех вышеприведенных данных следует констатировать, что доменный шлак вполне оправдал себя в качестве основного материала для бетонных и железобетонных работ¹.

Шлаковый кирпич

Одним из простейших видов использования шлака является применение его для изготовления шлакового кирпича. Еще в 70-х годах прошлого столетия научились изготавливать кирпичи из шлака путем смешивания измельченного и затворенного водой шлака (90%) с негашеной известью (10%). Изготовленная смесь поступала в особые формы, где под прессом или без него, после соответствующей сушки на воздухе, получали шлаковые кирпичи. Постепенно, в зависимости от изучения различных свойств шлаков и установления той или иной гидравличности шлаков, научились применять различные добавки к шлакам: гаш известь, песок и пр., и изготовлять шлаковый кирпич с последующей запаркой в особых печах с давлением пара от 4 до 8 ат, что придавало кирпичу необходимую твердость и устраняло возможность его распада. В СССР из доменного шлака изготовляют шлаковый кирпич, главным образом на самих металлургических заводах, что освобождает от дальних перевозок шлака, крайне удорожающих производство шлакового кирпича.

Динамика использования шлака для изготовления кирпича по годам пятилетки (см. табл. 35) показывает, что уже с начала 1935 г. потребление шлака на эти нужды остается стабильным, что объясняется переходом

¹ См. проф. Михайлов, Бетоны, 1933.

ряда заводов к использованию шлака на крупноблочное производство, а также организацией изготовления шлакобетонных камней. Шлаковый кирпич не является материалом, превосходящим по своим теплотехническим свойствам обычный красный кирпич. Шлаковый кирпич уступает последнему по прочности (50 $\text{кг}/\text{см}^2$ вместо 80), что, однако, не имеет значения для невысоких заданий (до трех этажей), где большая прочность обычного кирпича не используется.

Шлак у нас в Союзе для изготовления шлакового кирпича применяется в различных дозах. Характер и качество добавок определяется опытом в зависимости от товарной продукции шлаков, например на заводе «Гранулит» близ ст. Краматорская для изготовления шлакового кирпича применяется следующий состав: 80% гранулированного шлака, 13% негранулированного и 7% песка. Шлаковый кирпич получил весьма широкое применение в жилищном строительстве. Фундаменты, построенные из шлакового кирпича, благодаря гидравлическости гранулированных шлаков в сырых местах увеличивают свою прочность и устраняют появление сырости в жилых помещениях.

Шлаковые растворы

Доменный шлак как гидравлически активный материал с успехом используется в промышленности строительных материалов для изготовления различных растворов для кирпичной кладки. В качестве катализатора (возбудителя) применяется в небольших дозах известь или цемент. По данным инж. Мирошниченко¹ приготовление шлакового раствора достаточной прочности возможно и на базе одних молотых шлаков, без каких-либо добавок извести или цемента, однако в этом случае раствор получается жестким и неэластичным, плохо пристает к кирпичу, что затрудняет его применение. Прочность указанных растворов из гранулированных шлаков, в которых содержание извести колебалось от 46 до 52%, приведена в табл. 30.

Таблица 30

С о с т а в	Пропорции	Сопротивление разрыву в $\text{кг}/\text{см}^2$	
		Через	
		28 дней	56 дней
Шлак, два раза молотый на бегуных ($< 0,75 \text{ мм}$)	—	26	66
Известковое тесто:			
шлак, два раза молотый	1:8	28	37
шлак, три »	1:1	54	94
шлак, сеяный ($d < 0,75 \text{ мм}$)	1:4—6	15	30—35

В гранулометрическом отношении после второго перепада шлак представляет собой смесь, состоящую из 30% зерен размером 0,15 мм, 25% размером от 0,15 до 0,25 мм, 25% размером от 0,25 до 0,5 мм и 5% размером зерен от 0,5 до 0,75 мм. Данный помол представляет собой вполне готовый раствор со шлаковым песком и таким же вяжущим. В ре-

¹ «Строительная промышленность», № 12, 1929.

в результате смешения этого шлака с водой получается тяжелый и жесткий раствор, показывающий схватывание в достаточно прочную массу через 10—12 часов.

Приготовление шлакового раствора для каменной кладки взамен обычного известкового или сложного раствора удешевляет стоимость раствора в силу сокращения расхода вяжущих. Состав шлакового раствора: 1 часть извести, 3 части шлака; состав обычного раствора: 1 часть извести, 3 части песка или 1 часть извести, 1 часть цемента и 10 частей песка. Если принять стоимость 1 м³ обычного раствора в 10 руб., а шлакового раствора в 7 руб. (цены Украины), то удешевление выражается в $\frac{10}{7} = 1,43$ раза. Кроме того в инструкции Украинского института сооружений указывается, что вследствие малого объемного веса и теплопроводности шлакового раствора толщина кирпичных из обычного кирпича стен может быть уменьшена до 1 $\frac{1}{2}$ кирпича, чем достигается удешевление стоимости стены на 25%.

Извлечение металла из шлака

Использование горячих доменных шлаков для получения из них металла — чугуна — практически в СССР еще не осуществляется. Научно-исследовательские работы, проведенные в этом направлении, показывают на возможность извлечения включенного в шлак чугуна. Необходимо отметить, что при нормальном доменном процессе, как правило, включения чугуна в горячий шлак не превышают 1—2%. Только в тех случаях, когда шлак тянет чугун, т. е. при расстроенном ходе домы, включения чугуна в горячий шлак достигают 10% и больше в зависимости от степени ненормальности доменной плавки.

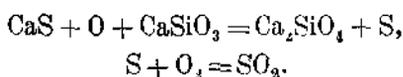
По данным иностранной литературы в Германии имеются микробиообразные установки, через которые пропускается расплавленный шлак для смешивания и получения из шлаков включенного чугуна. В Америке чугун извлекается из охлажденного шлака при помощи специальных электромагнитных сепараторов, причем практика показала, что включения чугуна не превышают 2% от веса шлаков. В СССР в настоящее время уже намечено к осуществлению извлечение чугуна из остывшего шлака при помощи подвижного электромагнитного сепаратора (транспортера системы Макензи), устанавливаемого на заводе им. Сталина (Сталино) и заводе им. Андреева (Таранрог) при разработке отвалов доменных шлаков.

Использование доменных шлаков, содержащих большой процент металлических окислов, главным образом окиси марганца, широко применяется на ряде наших заводов, ведущих плавку ферромарганцевых чугунов. Получаемый при этом марганцовый шлак, содержащий до 30% MnO идет обратно в домну, как марганцовая руда при изготовлении мартемовских чугунов. Обычно эти шлаки используются в остывшем состоянии.

Извлечение серы

Использование доменных шлаков для получения из них серы практически осуществлено в Германии, где (по литературным данным) еще в 1921 г. проф. Дилу удалось после многочисленных опытов сконструировать специальный аппарат для извлечения серы из жидкого шлака. Извлечение серы из шлаков может производиться двумя способами. Первый способ

заключается в том, что обычно содержащийся в шлаке сернистый кальций окисляется воздухом, образуя, с одной стороны, известь (воспринимаемая метасиликатом шлака с образованием ортосиликата), а с другой стороны, — свободную серу, которая при избытке воздуха сгорает в сернистый ангидрид SO_2 , а при недостаточном притоке воздуха отводится газом в свободном виде. Реакция при этом идет по следующим формулам:



Второй способ заключается в прибавлении в расплавленный шлак сернистого кальция, который разлагается под действием высокой температуры шлака и одновременно так окисляет серу шлака, что после этого сера в шлаке остается в весьма небольшом количестве в виде сульфидов. Отходящий газ содержит $\frac{1}{6}$ часть по объему сернистого ангидрида. По данным проф. Дилия при обработке шлака одним воздухом объемное содержание SO_2 в газе достигает 8,2%, а с добавкой ангидрида — 10,75%. Необходимо подчеркнуть, что в обоих случаях газ получается совершенно чистый и свободный от содержания таких вредных примесей, как хлор, мышьяк, окись углерода и пр., что особенно ценно для приготовления чистых продуктов. Получение серы из доменных шлаков не лишает возможности дальнейшей обработки последних путем грануляции и использования их для других целей. В СССР в настоящее время проводят исследовательские работы по выработке способа получения серы из шлаков применительно к условиям получения горячих шлаков на наших заводах. Использование шлаков для получения серы имеет для нашего Союза особо важное значение, так как серу мы импортируем.

Несколько слов необходимо сказать об использовании серы доменных шлаков для лечебных целей. При грануляции основных доменных шлаков, содержащих повышенное количество серы (в сравнении с кислыми шлаками), вода растворяет сернистые соединения, имеющиеся в шлаке. При этом получаются сернокислые воды с температурой, доходящей при грануляции до 70°. Испытание этих вод для лечебных целей показало возможность устройства лечебных ванн из отходящих вод. На заводе им. Петровского оборудованы ванны с сернокислой водой, широко применяемые для лечебных целей.

Удобрение почвы

Доменные шлаки в качестве удобрения почвы применяются в Германии, где большие пространства кислой почвы особенно нуждаются в известковом удобрении. Наиболее пригодными шлаками для удобрения кислой почвы являются доменные шлаки, богатые известью, следующего состава: 30—35% SiO_2 , 10—14% Al_2O_3 , 45—50% CaO , 1—3% MgO и 1—1,5% S.

Свойство шлаков в дистиллированной воде давать щелочный раствор характеризует способность шлаков своей известью связывать почвенную кислоту и давать азотным бактериям ту жизненную активность, которая помогает переводить азот в состояние наиболее легкого восприятия его растениями. Общеизвестно, что магния для многих культурных растений является необходимой составной частью почвы. Сера, хотя и находится в шлаке в небольшом количестве, все же может предохранять растения от появления животных вредителей. Доменные шлаки не только химически

воздействуют на почву, но и благодаря своему пористому строению делают тяжелую плотную почву более рыхлой и тем самым более способной к быстрому прорастанию. По данным американской практики доменные шлаки с успехом применяются для подстилки в стойле домашних животных. Деревянные части стойл, будучи засыпаны шлаком, долгое время не поддаются гниению, а при вывозе из поля естественного навоза с последним используются и ценные свойства шлака.

В СССР научно-исследовательские работы по использованию доменных шлаков для удобрения почвы дают благоприятные результаты. Надо полагать, что при ежегодном использовании до 3 млн. т минерального удобрения доменный шлак займет соответствующее место среди известковых удобрений.

Применение доменных шлаков для удобрения почвы в СССР было осуществлено в опытным порядке на подзолистых почвах и на черноземе, причем для этих нужд применялись шлаки различных заводов. Химический состав этих шлаков приведен в табл. 31.

Таблица 31

Наименование материала	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	S
Шлаки завода им Гойкова	30,06	9,05	44,03	1,13	0,89	2,90	1,30
Шлаки Косовского завода	31,66	11,37	37,69	5,28	1,58	0,37	2,00
Шлаки Златоустовского завода	34,75	9,31	48,80	1,50	0,35	0,30	1,40
	49,95	15,75	21,41	3,72	3,73	3,40	1,65
Шлаки завода им. Ворошилова	33,20	11,51	45,88	2,59	2,20	1,00	1,87
Шлаки завода им. Петровского	30,06	9,05	44,03	1,13	0,90	2,90	1,13

В табл. 32 приводятся результаты проведенных опытов. См. табл. на 78 стр.

При рассмотрении данных табл. 32 нетрудно заметить, что положительное действие доменных шлаков, как материала для удобрения, проявилось в подзолистой почве и не проявилось заметно на черноземной. На подзолистой почве без удобрения шлаки за исключением уральского (златоустовского) повышали урожай как овса, так и клевера.

На почве с азотнофосфатным удобрением шлаки в одинарной дозе оказывали действие, которое превышает действие извести для овса и несколько ниже для клевера.

При двойной дозе одни шлаки (заводов им. Ворошилова и Дзержинского) действовали лучше извести на развитие овса, а другие (Златоустовского завода), — хуже извести, т. е. действие было отрицательным. На почве с полным удобрением положительное действие шлаков проявилось только на клевере, в большинстве случаев понизив несколько урожай овса.

Указанные показатели по опытному использованию доменных шлаков для удобрения почвы свидетельствуют о возможности широко применять эти шлаки и в этой области. В настоящее время намечаются дальнейшие опыты в большой полевой обстановке. Надо полагать, что в ближайшем будущем мы будем иметь данные о широкой возможности использовать доменные шлаки в качестве удобрения для нужд сельского хозяйства.

Таблица 33

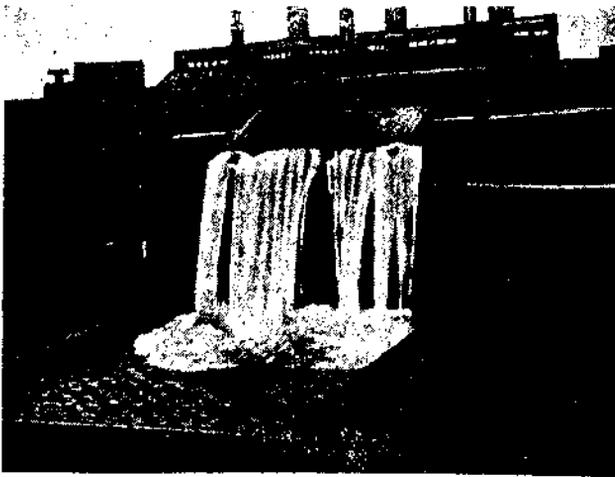
Чернозем			Подзолистая почва		
Состав удобрения	Овес	Кле- вер	Состав удобрения	Овес	Кле- вер
Без удобрения	6,35	2,55	Без удобрения	7,42	0,92
NK ¹	17,00	3,07	CaCO ₃ (1)	12,45	1,34
CaCO ₃ (1)	6,65	1,97	Шлак завода им. Войкова (1)	10,77	1,54
Шлак завода им. Войкова ² (2)	5,90	2,67	» Косогорского завода (1)	9,85	1,30
» Косогорского завода (1)	5,75	2,37	» Златоустовского заво- да (1)	6,80	0,92
» Златоустовского заво- да (1)	5,70	2,30	» Алчевского завода (1)	11,25	1,60
» Алчевского завода (1)	6,22	2,47	» завода им. Дзержин- ского (1)	10,23	1,27
» завода им. Дзержин- ского (1)	5,85	2,27	NK	12,15	1,47
NK + CaCO ₃ (1)	17,60	1,75	NK + CaCO ₃ (1)	11,70	2,57
NK + CaCO ₃ (2)	1,05	2,27	NK + CaCO ₃ (2)	13,75	2,27
NK + шлак завода им. Войко- ва (1)	19,15	3,05	NK + шлак Косогорского завода (1)	14,25	1,57
NK + шлак Косогорского заво- да (1)	16,08	3,15	NK + шлак завода им. Войко- ва (1)	14,10	1,68
NK + шлак Златоустовского за- вода (1)	18,60	2,62	NK + шлак Златоустовского за- вода (1)	12,15	1,80
NK + шлак Алчевского заво- да (1)	18,15	2,17	NK + шлак завода им. Воро- шилова (1)	15,52	2,00
NK + шлак завода им. Дзержин- ского (1)	17,01	2,07	NK + шлак завода им. Дзержин- ского (1)	13,00	2,22
NK + шлак завода им. Войко- ва (2)	17,92	2,40	NK + шлак завода им. Войко- ва (2)	15,10	1,87
NK + шлак Косогорского заво- да (2)	16,05	2,50	NK + шлак Косогорского за- вода (2)	13,60	2,50
NK + шлак Златоустовского за- вода (2)	16,45	2,40	NK + шлак Златоустовского за- вода (2)	9,30	1,65
NK + шлак завода им. Вороши- лова (2)	18,21	2,60	NK + шлак завода им. Воро- шилова (2)	18,42	1,35
NK + шлак завода им. Дзержин- ского (2)	18,05	2,95	NK + шлак завода им. Дзержин- ского (2)	16,70	1,95
			NK + CaCO ₃ (1)	23,27	2,22
			NK + шлак завода им. Войко- ва (1)	29,02	1,72
			NK + шлак Косогорского за- вода (1)	27,95	1,80
			NK + шлак Златоустовского за- вода (1)	23,95	1,90
			NK + шлак завода им. Воро- шилова (1)	26,75	1,55
			NK + CaCO ₃ (2)	24,85	2,12
			NPK + шлак завода им. Вой- кова (2)	24,65	2,60
			NPK + шлак Косогорского за- вода (2)	25,12	2,45
			NPK + шлак Златоустовского завода (2)	23,32	1,65
			NPK + шлак завода им. Воро- шилова (2)	24,35	1,95
			NPK + шлак завода им. Дзержин- ского	33,55	1,65

¹ Указанные в таблице обозначения означают: N — азот, K — калий, P — фосфор.

² Цифры в скобках (1), (2) означают количество даваемого шлака: одинарная или двойная доза по сравнению с обычным удобрением.

Дорожное строительство

Уже 70 лет доменный шлак занял прочное место в дорожном строительстве Америки. Особенно широкое применение шлака на эти нужды наблюдается сейчас в Америке, где 45% товарной продукции шлаков идет на постройку дорог и мостовых. Существуют различные способы использования доменных шлаков в дорожном строительстве. Эти способы базируются на использовании двух видов доменного шлака — расплавленного и остывшего. Использование расплавленного шлака заключается в том, что горячий шлак выливают в открытые сверху формы из литейного чугуна. Затвердевающие отливки в целях устранения могущих образоваться трещин поступают в особые печи для отжига. Прочность таких отливок достигает 1000 кг/см^2 и выше. Иногда вместо отжига в печах отлитый



Фиг. 23. Каменное литье из шлаков (Мансфельд).

в металлические формы шлак прикрывают сверху горячей коркой шлака, чем достигается медленное и равномерное остывание его. Для литья применяются главным образом кислые шлаки (фиг. 23).

Наиболее эффективно используется остывший кусковой доменный шлак из отвалов путем смешения его с равным по объему количеством мокрого гранулированного шлака. Получаемая смесь размалывается и дает активный шлаковый раствор, который при смешивании в обыкновенной бетономешалке с тяжелым шлаковым щебнем и шлаковым дробленым песком дает надежный бетон, успешно применяемый в дорожном строительстве под асфальтовой одеждой. Такой способ использования доменного шлака был применен в 1927 г. в Брауншвейге при постройке асфальтированной дороги. Молотая масса, крупный заполнитель (до 70 мм) и мелкий заполнитель (до 5 мм) были взяты в пропорции 3:1:0 до 1:1:0 при тонких работах и от 3:1:1 до 3:2:2 при массивных работах. На постройку таким способом дорог применяются главным образом основные доменные шлаки.

Широкое использование доменных шлаков в дорожном строительстве

имеет место в нашем Горьковском крае, где используются кислые шлаки из отвалов. Химический состав этих шлаков следующий: 54% SiO_2 , 2,82% FeO , 29,59% CaO , 11,07% Al_2O_3 , 8,18% MgO , 2,15% MnO и 0,25% P_2O_5 . Указанные доменные кислые шлаки применяются в дорожном строительстве:

- 1) в качестве щекаляжа под асфальтобетонное шоссе,
- 2) в качестве дробленого камня для обычного шоссе (щебенки),
- 3) в качестве мелочи для верхнего покрова гидронированного шоссе, размер мелочи от 0,5 до 2,5 см и
- 4) в качестве обычного бута.

Используются эти шлаки так же, как и соответствующий по габаритам бутовый камень.

Бутовая мостовая (Горьковский край), засыпанная мелким шлаком-вместе с отработанный формовочной землей (дозировки частей не соблюдалось), дала гладкое ровное шоссе. Если же шлак засыпать обычным песком, то последний выдувается и вымывается дождевой водой, и мостовая становится негодной для использования под гужевой транспорт. Указанное свойство молких шлаков и формовочной земли, т. е. способность сцепляться с бутовым шлаком и противостоять вымыванию, дает возможность использовать шлак и для гидротехнических работ. Весьма ценные результаты получаются при использовании доменных шлаков в железнодорожном строительстве, где применяется тяжелая щебенка обыкновенного габарита, как балластный материал, куда идут главным образом кислые шлаки. Основные шлаки в виде мелочи размером до 10 мм, взятые из отвалов, в смеси с шлаковым песком могут дать хорошую постель для укладки железнодорожных рельс. Деревянные шпалы, уложенные в шлаковую настилку и засыпанные шлаковым песком, долгое время не подвергаются гниению и выдерживают почти двойной срок службы. Кроме того в сырых местах, а также в местах, подвергнутых разливу реж, устраняется опасность размыва железнодорожного пути, так как доменные основные шлаки даже в смеси с обыкновенной грунтовой землей обладают способностью сцепления и дают надлежащий материал, обеспечивающий прочность железнодорожного пути. В настоящее время в Донбассе, в Сталинском районе, проложены десятки километров железнодорожного пути, где отвальный доменный шлак в виде мелочи до 10 мм вместе с просеянным шлаковым песком широко применен для постройки железнодорожного полотна. Проводимые научно-исследовательские работы по выявлению основных дозировок, а также установления прочности таких построек дадут возможность широко использовать отвальные шлаки и на главных путях железнодорожной магистрали.

Баланс доменных шлаков по СССР

Возрастающая в нашем социалистическом хозяйстве потребность в доменных шлаках заставила не только перейти на правильный учет и распределение этих шлаков между потребителями, но и потребовала от металлургических заводов контрольных цифр по обработке этих шлаков, являющихся ценнейшим резервом промышленного сырья для различных нужд народного хозяйства.

В табл. 33 приведен выход доменных шлаков по годам второй пяти-лети с учетом выхода различных шлаков в зависимости от сорта выплавляемого чугуна.

Таблица 33

Наименование завода	Сорт выплавляемого чугуна	Выход шпана, тыс. т				
		1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Д о к б а с с						
Им. Сталина	Передельный	290	269	292	306	333
	Литейный	19	57	55	56	56
» Рыкова	Передельный	100	156	68	72	60
	Бессемеровский	130	158	202	216	216
	Литейный	139	48	28	48	150
	Ферромарганцовый	19	19	15	17	22
» Томского	Передельный	281	333	374	354	446
	Литейный	103	90	192	276	295
	Ферромарганцовый	20	22	25	33	38
» Ворошилова	Передельный	218	269	331	315	345
	Литейный	150	72	13	13	13
	Ферромарганцовый	18	16	16	15	17
» Фрунзе	Передельный	27	35	43	46	36
	Литейный	70	56	49	84	98
Кадыевский	Литейный	91	87	91	102	93
Краматорский	Передельный	71	146	135	121	138
	Литейный	116	120	122	124	126
Всего	Передельный	987	1 208	1 233	1 215	1 358
	Бессемеровский	130	158	202	216	216
	Литейный	698	530	550	703	831
	Ферромарганцовый	57	57	56	65	77
Итого	—	1 862	1 953	2 041	2 199	2 482

Южный район (Приднепровье — Прказовье)

Им. Петровского	Передельный	184	170	66	80	62
	Литейный	55	56	55	95	110
	Бессемеровский	115	133	242	242	242
	Ферромарганцовый	30	31	31	36	36
ДЗМ	Литейный	82	87	87	79	87
Им. Дзержинского	Передельный	204	136	171	265	433
	Литейный	63	63	35	54	65
	Бессемеровский	165	220	242	242	242
Криворожский	Передельный	29	270	234	425	606
	Литейный	35	21	75	—	10
Им. Ильича	Передельный	123	135	149	144	144
Азовсталь	Передельный	38	270	242	399	368
	Литейный	26	24	109	80	109
Никопольский	Передельный	—	—	—	133	310
Им. Войкова	Передельный	131	161	180	203	260
	Литейный	64	26	24	23	3

Наименование завода	Сорт выплавленного чугуна	Выход шлака, тыс. т				
		1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Запорожсталь	Передельный	114	337	500	597	623
Судянский	Передельный	39	32	35	11	19
	Литейный	7	12	12	13	5
Всего	Передельный	862	1511	1577	2251	2827
	Литейный	332	289	397	344	389
	Бессемеровский	288	353	484	484	484
	Ферромарганцовый	30	31	31	36	36
Итого	—	1512	2184	2489	3115	3736
Центральный район						
Косогорский	Литейный	135	143	155	158	176
Новотульский	Передельный	6	166	241	234	234
«Свободный сокол»	Литейный	109	114	129	128	138
Новолипецкий	Передельный	38	270	278	253	290
Выксунский	Передельный	10	29	35	35	34
Всего	Передельный	54	465	554	522	553
	Литейный	244	262	284	286	314
Итого	—	298	727	838	808	872
Восток (ближний)						
Востокосталь	Передельный	330	362	390	601	812
	Литейный	50	60	65	70	75
Мариногорский	Передельный	479	717	750	816	1 028
Кузнецкий им. Сталина	Литейный	53	79	83	90	114
	Передельный	316	539	530	573	569
Бавальский	Передельный	55	94	93	101	100
	Литейный	—	—	—	—	130
Халиловский	Передельный	—	—	—	20	72
Сучанский	Передельный	—	—	—	—	66
Петровский	Передельный	—	8	30	46	40
	Литейный	—	1	3	4	4
Всего	Передельный	1 125	1 626	1 700	2 056	2 717
	Литейный	158	234	244	265	293
Итого	—	1 283	1 860	1 944	2 321	3 010
Всего по всему Союзу	Передельный	3 028	4 810	5 064	6 044	7 460
	Литейный	1 422	1 315	1 475	1 598	1 827
	Бессемеровский	418	511	686	700	700
	Ферромарганцовый	87	88	87	101	113
Итого по всему Союзу	—	4 955	6 724	7 312	8 443	10 100

В табл. 33 приведены данные о выходе горячих шлаков, только годных к дальнейшей обработке, причем при установлении количественных показателей выхода шлаков по заводам принималось в расчет 65%, по весу литейных и 60% от прочих чугунов с соответствующим учетом определенного количества шлаков, негодных для обработки по причине расстроенного хода домы (черные шлаки), утечки при разливе, закоржение при перевозке к местам обработки и пр.

По рассмотрению табл. 33 видно, что основную массу шлаков в 7460 тыс. т, или 75,3%, к выходу всех шлаков, к концу пятилетки составляют перелитые шлаки, шлаки от специальных чугунов (марганцовых), составляющих в начале пятилетки 1,7%, а в конце 1,1% от выхода всех шлаков, сконцентрированных в четырех заводах Союза, а именно, в Донбассе на заводах им. Рыкова, Томского и Ворошилова и в Приднепровье на заводе им. Петровского.

Выход литейных и бессемеровских шлаков (наиболее эффективное сырье) особенно для цементной промышленности к концу пятилетки составит 25,2% к выходу всех шлаков. На долю Донбасса падает наибольшая часть этих шлаков, т. е. 831 тыс. т, на Южную группу — 389 тыс. т, по Центру — 314 тыс. т и, наконец, по Востоку — 297 тыс. т шлава.

Таким образом с точки зрения характеристики природы шлаков богатые известью литейные и бессемеровские шлаки мы имеем не только по всем областям и районам, но и почти на всех металлургических заводах Союза.

Для разрешения вопроса о балансе шлаков необходимо остановиться на перспективах развития обработки этих шлаков, лимитирующей потребление шлаков на различные нужды народного хозяйства.

По ориентировочному плану¹ обработки шлаков за вторую пятилетку товарная продукция доменных шлаков по четырем районам — Донбассу, Южному, Центральному и Восточному — должна выразиться в следующих цифрах (табл. 34).

Таблица 34

Р а й о н	1933 г.		1934 г.		1935 г.		1936 г.		1937 г.	
	Годный шлак	Обработанный шлак								
Донбасс	1 862	860	1 953	1 005	2 041	1 421	2 199	1 759	2 482	2 232
Южный	1 512	916	2 184	1 529	2 489	1 991	3 115	2 803	3 736	3 352
Центральный	298	196	727	450	838	754	808	808	872	872
Восточный	1 283	150	1 860	400	1 944	600	2 321	1 500	3 110	2 000
Итого	4 955	1 322	6 724	2 384	7 312	4 266	8 443	6 870	10 100	8 456

Приведенная таблица показывает, что наибольшая часть обработанной готовой продукции шлаков намечена к выходу по каждому году пятилетки по Южной группе заводов, обладающих наибольшим количеством установок по обработке шлаков, и наименьшая часть — по Восточной группе, где уменьшение идет за счет постепенного ввода в строй новых домен-

¹ По данным ВПУ ГУМЦ.

ных печей Магнитогорского и Кузнецкого заводов с соответствующим строительством установок по обработке шлаков. В конце пятилетия только по трем районам можно ожидать 90—100% обработки горячих шлаков, так как по Восточной группе часть доменных печей вступает в строй только в 1936 и 1937 гг. и пусковой период установки по обработке шлаков не позволит обработать все 100% горячих шлаков.

Широко поставленные в Советском союзе научно-исследовательские работы не только по изучению природы шлаков и способов обработки этих шлаков, но и по изысканию более оптимальных путей их использования, вполне обеспечивают потребление всей массы товарной продукции шлаков.

В табл. 35 приведены ориентировочные цифры потребления шлаков по годам второй пятилетия различными отраслями нашего народного хозяйства. Таблица составлена с учетом результатов научно-исследовательских и экспериментальных работ, намеченных во вторую пятилетку.

Таблица 35

Потребитель	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Цементная промышленность:					
различные цементы	606	886	1 106	1 884	3 680
Строительная промышленность:					
шлаковый кирпич	420	520	660	660	660
» бетон (камни, блоки)	140	590	950	1 800	1 900
раствор, набивка	95	300	750	1 500	1 600
теплоизоляция	0,5	1	50	150	200
дорожное строительство	—	2	240	290	350
железнодорожное строительство	—	2	365	400	450
Черная металлургия:					
на переплавку	70	83	80	94	100
Химическая промышленность:					
краски	0,5	1	10	20	30
сера	—	—	5	10	20
Стекольная промышленность	—	—	10	20	30
Сельское хозяйство:					
удобрение почвы	—	1	40	60	80
	1 332	2 384	4 266	6 870	9 080

Из данных табл. 35 видно, что наибольшая и все возрастающая потребность в обработанном шлаке падает на цементную промышленность, причем цементная промышленность до 1936 г. обеспечена полностью наиболее богатыми известью шлаками, т. е. литейским и бессемеровским, и только к концу пятилетия цементная промышленность получит часть передельных шлаков.

Развитие заводов шлакового цемента и помольных установок по всем четырем районам Союза обеспечено соответственным количеством обработанных шлаков. Потребность в шлаке для шлавокирпичного производ-

ства возрастает только до 1935 г. и далее остается на одном уровне, так как непрерывно увеличивается потребление шлаков в крупноблочном строительстве, а также на изготовление растворов, набивки и пр.

Потребность в шлаке в качестве изоляционного материала указана ориентировочно, исходя из производственных возможностей получения специального изоляционного материала — шлаковой ваты.

Для черной металлургии используется незначительное количество шлаков. Для этой цели используются главным образом сильно марганцовистые шлаки. Использование шлаков для дорожного и железнодорожного строительства получит развитие только в начале 1935 г., так как только в 1934 г. намечается планомерное изучение массового потребления обработанных шлаков в транспорте.

ОТВАЛЬНЫЕ ДОМЕННЫЕ ШЛАКИ

Сравнительно незначительное использование доменных шлаков до начала развития социалистического хозяйства привело к тому, что почти на всех металлургических заводах имеются огромные отвалы шлаков, которые продолжают накапливаться и загромождать целые районы, прилегающие к заводам. Если на Юге и в центре еще в дореволюционное время шлаки частично использовывались, то на Урале в 1932 г., как общее правило, основная масса шлаков сваливалась в отвал.

Баланс отвальных доменных шлаков

По произведенному обследованию¹ металлургических заводов Союза количество доменных шлаков по заводам и районам выражается в следующих цифрах (табл. 36).

Таблица 36

Район	Завод	Шлака в отвалах тыс. т	Район	Завод	Шлака в отвалах тыс. т
Долбасс	Им. Сталина . . .	7 800	Южный	Им. Петровского .	500
	» Рыкова . . .	3 400		ДЗМ . . .	10
	» Томского . . .	3 000		Им. Дзержинского	2 700
	» Ворошилова .	3 800		» Ильича . . .	3 000
	» Фрунзе . . .	350		» Войкова . . .	100
	Кадиевский . . .	250		Сулинский . . .	1 100
	Краматорский . .	1 200		Гданьско (Кривой Рог)	800
	Краматорский . .	1 200	Таганрогский . .	1 000	
	Всего . . .	19 000		Всего . . .	9 510
Центральный	Босогорский . . .	30	Восточный	Заводы на минеральном топливе	2 800
	«Свободный союз»	50		Заводы на древесноугольном топливе	3 200
	Виксунский . . .	100			
	Итого . . .	180		Итого . . .	6 000

¹ ВЦУ ГУМЦ.

При рассмотрении этой таблицы видно, что в первом году второй пятилетки мы имели всего 35 490 тыс. т шлаков в отвалах. Учтывая то, что определенная часть горячих шлаков по годам пятилетки не будет обработана (табл. 34) и пойдет в отвал, в конце пятилетки мы будем иметь: по Донбассу 22 700 тыс. т, по Южному району около 12 000 тыс. т, по Центральному району 600 тыс. т, по Восточному району около 12 000 тыс. т, а всего по всем районам около 47 300 тыс. т доменных шлаков в отвалах. Здесь необходимо отметить, что незначительный прирост шлаков в отвалах по Донбассу и по Южному району объясняется тем, что большая часть горячих шлаков этих районов подлежит обработке. В Центральном и Восточном районах увеличение отвальных шлаков идет за счет постепенного ввода в строй новых доменных печей. Установки для обработки шлаков этих печей вступают в строй только после завершения всего основного строительства.

При разрешении вопроса, какое количество отвальных шлаков подлежит использованию по годам пятилетки, необходимо учесть, что потребление отвальных шлаков зависит от степени засоренности их, от развития промышленности строительных материалов и от результатов научно-исследовательских работ по определению оптимальных путей использования отвальных шлаков на различные нужды нашего народного хозяйства. Данные использования отвальных шлаков за первый год второй пятилетки показывают, что отвальные шлаки потреблялись на те же нужды, что и обработанный горячий шлак, но в значительно меньшем размере; так, в промышленности строительных материалов (цемент, шлаковый бетон, раствор и пр.) было использовано в Донбассе около 50 тыс. т, по Южному району около 200 тыс. т, Центральному району 30 тыс. т, Восточному 50 тыс. т, всего 330 тыс. т.

В дорожном и железнодорожном строительстве: в Донбассе 40 тыс. т, Центральном 15 тыс. т, Южном 10 тыс. т, Восточном 20 тыс. т, всего 85 тыс. т.

На прочие нужды (химическая промышленность, стекольная, термоизоляционная и пр.) около 2 тыс. т по всем четырем районам. Таким образом использование отвальных шлаков за первый год пятилетки выражается в сумме 417 тыс. т. Отвальные доменные шлаки используются большей частью в Южном районе, где имеются весьма эффективные шлаки, расположенные в Гданцеве (Кривой Рог).

Разработка отвалов

Взорванный амоналом в карьере шлак распадается на куски различной величины. Иногда эти куски по размерам (по габариту и весу) не могут быть пущены в дальнейшую работу. Обычно на том же карьере куски вручную разбивают на более мелкие части, затем все количество грузят в саморазгружающиеся вагонетки и тросовой тягой через лебедку подают к дробильным установкам, состоящим из дробилок системы Блэе мощностью 10 м²/час. Поданный вагонетками шлак выгружается перед загрузочным окном дробилки на помост, откуда подается в дробилку для дробления до нужного размера (25—45 мм). Часть шлака, размер кусков которого и без дробления годен для сдачи потребителю, не идет в дробилку, а пропускается, минуя ее, сквозь решетку в помосте. Вышедший из дробилки и прошедший сквозь решетку шлак поступает на ленточный

электромагнитный транспортер (типа Махензи), по которому направляется в грависортировку уже без металлических вкраплений, отделенных указанным электромагнитным транспортером. Грависортировка сортирует его по сортам заданного габарита, после чего отдельные фракции шлака подаются на склад.

При суточной выработке 200 м³ шлака полная заводская себестоимость 1 м³ разработанного шлака колеблется от 6 р. до 6 р. 50 к. Стоимость подрывных работ составляет около 22%, от стоимости 1 м³ разработанного шлака.

Природа отвальных доменных шлаков

Обычно для разрешения вопроса о целесообразности разработки отвалов и об использовании их для различных нужд устанавливается процент засоренности шлака, а также химический состав этих шлаков. Для суждения о природе отвальных шлаков Советского союза в табл. 37 приведен средний химический состав ряда отвалов по четырем районам.

Таблица 37

Наименование завода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	S
Д о н б а с с							
Им. Сталина	31,7	14,1	0,2	47,5	2,1	2,0	2,9
» Рыкова	32,8	12,1	0,7	44,3	1,6	1,2	3,0
» Томского	32,0	14,3	0,8	45,7	2,8	2,1	2,8
» Ворошилова	32,6	11,3	1,0	48,5	2,3	1,7	2,4
» Фрунзе	30,1	12,8	1,3	48,9	2,5	1,5	3,2
Кадиевский	32,3	10,0	1,2	49,8	2,3	1,3	2,4
Краматорский	33,1	10,8	0,8	49,2	1,7	1,4	2,4
Южный район							
ДМЗМ	30,6	9,0	2,9	44,0	1,1	0,9	1,3
Им. Петровского							
» Держинского	36,6	9,1	1,2	35,9	2,1	0,7	3,1
» Ильича	31,2	12,3	0,6	39,0	3,6	0,8	2,6
» Войкова	27,8	12,4	0,6	32,0	4,8	0,8	2,7
Сулгинский	32,4	9,2	0,8	50,4	3,3	0,9	3,2
Гданцевский	23,3	11,2	0,9	42,0	0,5	0,4	3,4
Таганрогский	30,8	9,2	1,2	38,2	2,4	4,6	2,0
Центральный район							
Косогорский	32,1	10,5	0,8	44,3	2,2	0,7	2,9
«Свободный сокол»	32,0	10,8	0,7	45,5	2,4	0,9	3,0
Выксунский	54,0	11,1	2,4	30,0	7,6	1,9	—
Восточный район							
Заводы на минеральном топливе	29,6	20,0	0,9	39,6	7,4	1,0	1,6
Заводы на древесно-угольном топливе	48,1	15,0	1,9	31,0	2,8	1,2	0,4

При рассмотрении анализов отвальных шлаков по районам видно, что наиболее однообразен состав шлаков, главным образом основных, заводов

Донецкого и Центрального районов. Шлаки Выксунского завода (Центральный район) имеют ярко выраженный кислый характер. В Восточном районе в отвалах сосредоточены исключительно кислые шлаки, полученные при выплавке чугунов на древесноугольном топливе.

Использование отвальных доменных шлаков

Изучение отвальных шлаков для выявления оптимальных путей использования их проводится в нашем Союзе и охватывает главным образом те области, где невозможно использовать горячие шлаки. Так например, выксунские горячие шлаки до настоящего времени не обрабатываются, так как расположение основных агрегатов мешает производить грануляцию этих шлаков. В этом районе отвальные шлаки изучаются для применения их в дорожном строительстве. В Кривом Роге гданцевские отвалы, полученные от существовавших здесь доменных печей, содержат около 800 тыс. т шлаков, обладающих большой активностью. Изучение этих шлаков центральной лабораторией б. Силикатгresta под руководством проф. Будникова выяснило полную пригодность этих шлаков для изготовления шлакового портландцемента, причем они удовлетворяли стандарту даже при 85% содержания шлака в цементе. В настоящее время из этих отвалов Криворожстрой изготавливает шлаковые кирпичи. Гидравлические свойства этих шлаков позволили изготавливать шлаковый кирпич без всяких добавок. Полученный после прессования шлаковый кирпич укладывают на складе в штабеля и без дальнейшего закрепления в запорочных котлах или камерах применяется на стройке, так как такой кирпич обладает достаточной прочностью.

Ниже мы приводим результаты¹ научно-исследовательской работы по изучению таганрогских отвалов доменного шлака от бывших в Таганроге доменных печей. Вследствие огромной потребности района в местном строительном материале, а также вследствие отсутствия горячих шлаков и больших запасов отвальных шлаков (до 1 млн. т) были произведены испытания этих шлаков для применения их в бетоне вместо гравия и щебня.

При испытании были отобраны шлаки из 10 различных точек отвала. Затем эти шлаки были измельчены и смешаны, и из них была составлена средняя проба. Кроме того были взяты шлаки, обработанные дробилкой. Из указанных шлаков было оставлено пять проб.

Проба 1. Отсев от шлака в естественном состоянии с размером зерен меньше 7 мм в диаметре.

Проба 2. Средняя проба шлака в естественном состоянии без отсева.

Проба 3. Средняя проба шлака неотсеянная с размером зерен больше 7 мм.

Проба 4. Шлак из дробилки неотсеянный.

Проба 5. Шлак из дробилки отсеянный и отмытый с кусками больше 7 мм.

Все пробы измельченных шлаков испытывались на равномерность изменения объема как в естественном состоянии, так и в смеси с 15% извести и 15% цемента. Шлаковый песок, отсеянный от шлака, в естественном состоянии показал неравномерность изменения объема. Пробы

¹ По данным НИС ВПУ ГУМЛ.

шлака в кусках размером больше 7 мм в диаметре, а также пробы на дробилки показали равномерность изменения объема.

Химический состав указанных выше проб следующий (табл. 38).

Таблица 38

№ пробы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	Влага
1	32,19	6,65	9,54	32,78	2,98	3,70	3,07	3,1
2	30,6	8,41	5,29	39,91	3,55	5,46	3,18	2,6
3	31,11	11,95	4,30	43,34	1,25	4,94	1,83	1,71
4	31,63	9,14	7,78	34,62	2,11	4,48	2,03	3,75
5	29,54	10,30	5,30	39,43	3,23	6,11	1,99	2,98

При рассмотрении анализов видно, что все они сходны по своему химическому составу, за исключением шлакового отсева, где произошел распад шлака благодаря большому содержанию железа и малому содержанию глинозема, причем этот распад повлек за собой отщепление извести в свободное состояние, которая с течением времени частично гидротизировалась, образовав гидрат окиси кальция (гашеную известь). При определении модуля основности по формуле:

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

пробы показали:

проба 1 $M = 0,93$,

проба 2 $M = 1,11$,

проба 3 $M = 1,03$,

проба 4, $M = 0,90$,

проба 5 $M = 1,07$.

Пробы шлаков с кусками больше 7 мм, т. е. пробы 3 и 5, показали отношение основных элементов к кислотным, довольно близкие между собой.

Шлаки по химическому составу, дающие модуль основности меньше 1,2, считаются обычно условно кислыми и годными для использования их как балласт в бетоне. Однако при определении модуля основности необходимо считаться с физическим состоянием пробы, т. е. с содержанием значительного процента мелочи (распада). Поэтому решение вопроса о пригодности шлака по модулю возможно только в отношении крупного-кускового шлака (размеров гравия, щебня), а для шлаков № 1, 2 и 4 это не дает существенных результатов, поскольку они являются продуктом распада или кусковыми шлаками с большой примесью продукта распада. Во всяком случае повторные пробы шлаков Таганрогских отвалов показали, что там имеются условно кислые шлаки, а частичный распад явился, повидимому, следствием неправильного хода домы. В результате исследования под микроскопом шлака № 3 и отобранных крупных кусков шлака № 4 обе пробы показали слегка пористую однородную растеклованную массу. Следовательно, по химическому и физическому

составу кусковые шлаки— вполне устойчивые соединения, пригодные для применения их в бетон вместо гравия или щебня. Для испытания шлаковой мелочи размером зерен меньше 7 мм были изготовлены кубики из раствора на вольском песке и раствора на шлаковом песке. После соответствующего пропаривания образцы испытывались на сжатие и показали: раствор на вольском песке образцов № 1 и 2 сопротивление сжатию $77,0 \text{ кг/см}^2$ (среднее), а раствор на шлаковом песке 105 кг/см^2 . Таким образом прочность шлаковой мелочи в растворах после пропаривания надо признать достаточной.

Засоренность отвальных шлаков в различных точках Советского союза в настоящее время равна 10—40%, но при соответствующей сортировке и очистке эти шлаки с успехом могут применяться для различных нужд народного хозяйства.

Отвальные доменные шлаки широко применяются в Центральном районе. Так, в Тульском районе они с успехом используются в цементной промышленности, а в Горьковском крае — в дорожном строительстве. В Восточном районе из отвальных шлаков изготовляют шлаковую вату, а также широко применяют в дорожном строительстве.

Глава II

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ

МАРТЕНОВСКИЕ ШЛАКИ

Природа

В процессе передела чугуна на сталь в мартеновских печах получают мартеновские шлаки. Последние, аналогично доменным шлакам, распределяются на основные и кислые. Обычно, если плавка ведется в основной печи, т. е. в печи, под плавильного пространства которой изготовлен из основных огнеупорных материалов, шлак получается основным за счет введенной в шихту извести. Химический состав основных мартеновских шлаков следующей: 17,0 — 25,0% SiO_2 , 1,0 — 6,0% Al_2O_3 , 31,0 — 49,0% CaO , 8,0 — 13% MgO , 4,0 — 16,0% FeO , 9,0 — 16,0% MnO , 0,2 — 0,7% S.

Если под плавильного пространства печи изготовлен из кислых кремнеземистых материалов, шлак получается кислый (за счет кремнезема).

Состав кислых шлаков следующей: 40,0 — 57,0% SiO_2 , 0,4 — 5,0% Al_2O_3 , 0,5 — 5,0% CaO , 0,5 — 1,7% MgO , 4,0 — 14,0% FeO , 15,0 — 18,0% MnO .

Из приведенных данных о химическом составе мартеновских шлаков видно, что эти шлаки содержат большой процент окислов железа и марганца. В этих шлаках кроме того обычно имеется некоторое количество чистого металла, вкрапленного в шлак в виде корольков. При этом количество вкрапленного металла зависит от метода ведения плавки и способа слива шлака. При нормальном мартеновском процессе содержание металла в шлаках колеблется от 5 до 10% от веса шлака. При расстроенном ходе мартеновских печей содержание металла в шлаке доходит до 30—40%.

Сера в мартеновских шлаках содержится в незначительном количестве, обычно в пределах от 0,2 до 0,8%. Чаще всего она встречается в виде CaS и MnS .

Наиболее распространен основной процесс, и на большинстве наших заводов получают главным образом шлаки основные.

Обработка

В настоящее время основная масса мартеновских шлаков с успехом используется в шихту доменных печей, причем обычно остывшие шлаки крошат на определенный габарит.

Мартеновские шлаки стали применять в качестве балласта для бетона и даже для железобетона как в виде щебенки, так и песка. Для устойчивости шлаков при использовании их в бетонном производстве рекомендуется применять шлаки лишь при содержании в них менее 45% CaO .

Мартеновский шлак для использования его в виде щебенки в остывшем состоянии измельчается обычно в дробилках Блэка на стандартные размеры, и в таком виде шлак поступает для производства бетона. Для получения шлакового песка шлак гранулируется. Способы грануляции мартеновских шлаков ни в заграничной печати, ни в нашей до сих пор не освещены.

Большинство заводов, имеющих мартеновские печи, затрачивают огромные средства на очистку литейных площадок от шлака. При разливке в шлаковницы шлак загромождает и засоряет рабочую площадку мартеновских цехов и требует большого расхода рабочей силы и добавочного механического оборудования для уборки тяжелых шлаковых «возлов». Указанные обстоятельства, а также необходимость получения мартеновского шлака в виде песка для применения его в бетонном производстве в тех районах, где отсутствуют какие-либо другие шлаки, побудили к изучению и выбору способа грануляции мартеновских шлаков.

Грануляция

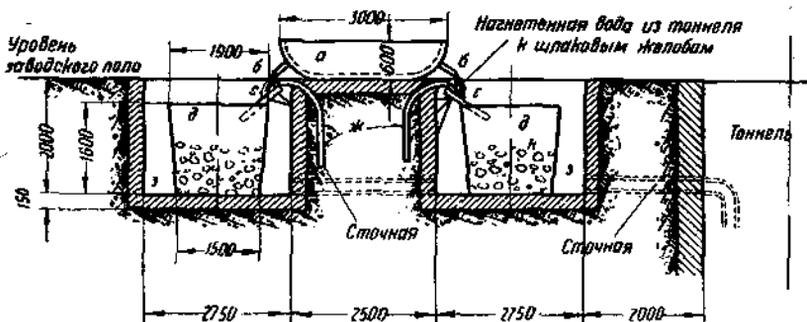
Для разрешения вопроса о грануляции мартеновских шлаков в условиях современного расположения мартеновских цехов необходимо остановиться на характерной особенности этого шлака, имеющей весьма существенное значение при практическом осуществлении грануляции. Мартеновский шлак благодаря большому содержанию в нем металлических окислов сравнительно быстро остывает, вследствие чего устраняется возможность вывозки жидкого шлака из цеха. Следовательно, необходима обработка горячего шлака грануляцией почти немедленно после слива шлака в шлаковницы. Незначительная рабочая площадка при мартеновских печах обычно не позволяет иметь грануляционные устройства, аналогичные доменным печам. Слабая сравнительно с доменным шлаком жидкотекучесть мартеновского шлака и значительное количество вкрапленного в шлак металла требуют не только повышенного расхода воды при грануляции этого шлака, но обязательно предварительной разбивки шлаковой струи напором воды.

Произведенные опытные работы по грануляции мартеновских шлаков на заводах «Серп и молот» в Москве и «Красный Октябрь» в Сталинграде подтвердили полную возможность мокрой грануляции мартеновских шлаков непосредственно у мартеновских печей. Опытные данные по грануляции этих шлаков на заводе «Красный Октябрь» легли в основу разработки простейшего типа установки в трех вариантах, обеспечивающих нормальную грануляцию мартеновских шлаков в современных условиях работы мартеновских печей. Ниже приведены схемы и описание всех трех вариантов¹. Для организации грануляции мартеновских шлаков на заводе «Красный Октябрь» (Сталинград) в 1932 г. был принят первый вариант грануляционной установки — наиболее подходящей в условиях расположения мартеновских печей этого завода.

Первый вариант (фиг. 24). После слива металла из мартеновской печи в ковш туда же выпускают из печи и шлак. Металл из ковша разливают по изложницам, а остающийся шлак в ковше подводится к приемной шлаковнице *a* и путем опрокидывания ковша выливается в шлаком-

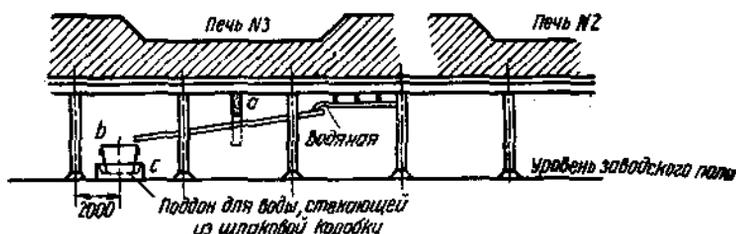
¹ Проекты автора.

лицу. Из шлаковницы шлак через отверстие *б* поступает по желобам *с* в железные коробки *д*. Одновременно со шлаком по желобам спускается вода из водопроводных труб *ж* в железные выемные коробки *з*, установленные в бассейне *а*. Шлак остается в коробке *д*, вода уходит через отверстия *к* в бассейны, а из бассейнов — в сточный тоннель. Коробки из бассейна вынимаются за цапфы краном и опрокидываются в железнодорожные полувагоны, расположенные по пути съезди литейной канавы.



Фиг. 24. Схема установки по грануляции мартеновских шлаков.

Второй вариант (фиг. 25). После заполнения ковша в мартеновской печи остается незначительное количество шлака, которое после отвода ковша от печи вытекает обычно на площадку у самой печи из специального отверстия посреди желоба, открываемого после отгона ковша. В этом варианте шлак (обычно его незначительное количество — 0,5—0,75 т) попадает в желоб *а*, по которому одновременно пускается вода из водопроводной трубы *б*. По желобу шлак одновременно с водой поступает в железную выемную коробку *в*, установленную в поддоне *с*. Вода из коробки вытекает из отверстий в поддон и далее в сточный

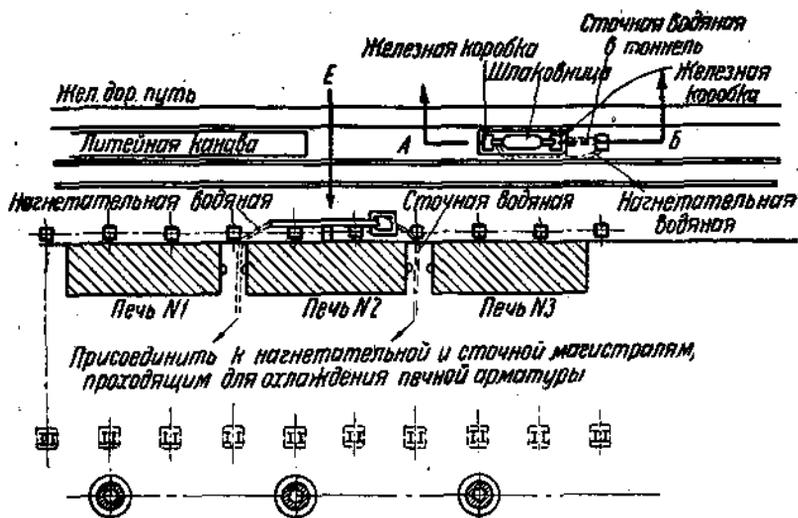


Фиг. 25. Схема установки по грануляции мартеновских шлаков (2-й вариант).

тоннель. Железная коробка по заполнении шлаком берется крапом и высыпается в железнодорожную коробку, как и в первом варианте (фиг. 26).

Третий вариант (фиг. 27). Третий вариант предусматривает грануляцию шлака из новых мартеновских печей завода «Красный Октябрь» и заключается в следующем. Шлак из ковша *а* поступает путем опрокидывания ковша в желоб *б*, причем ширина передней части желоба рассчитана на максимальную отброску шлака из ковша (700 мм). Далее

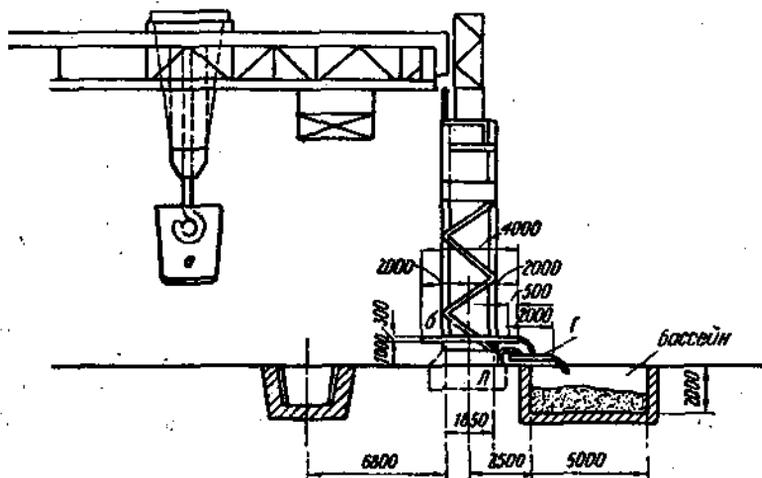
шлак идет уже в узкую часть жолоба и падает на второй жолоб с водой, выпускаемой из водопроводной трубы *л*. Затем зернистый шлак



Фиг. 26. Расположение (в плане) грануляционных установок 1 и 2-го вариантов.

и вода попадают в бассейн, где он и остается до выгрузки его из бассейна элеватором или грейфером.

Для получения основных данных по грануляции мартеновских шлаков в качестве примера приведены условия грануляции этих шлаков на заводе «Красный Октябрь».



Фиг. 27. Установка по грануляции мартеновского шлака (3-й вариант).

Мартеновские шлаки завода «Красный Октябрь» — основные — обычно делаются на две группы: 1) от плавок сталей хромоникелевых и хромистых и 2) от плавок углеродистых сталей и металла торгового качества.

Типичный состав шлака первой группы: 17,2% SiO₂, 7,9% MnO, 18,4% FeO, 1,2% Al₂O₃, 44,5% CaO, 3,5% MgO, 2,7% Fe₂O₃, 0,4% SO₃, 1,2% P₂O₅.

Типичный состав шлака второй группы: 23,4% SiO₂, 9,2% FeO, 9,5% MnO, 42,6% CaO, 1,4% P₂O₅, 3,9% MgO, 0,6% SO₃, 3,2% Al₂O₃.

Обе типичные группы дают основную массу чистых маргеновских шлаков, сливаемых вместе со сталью в ковш. Эти шлаки содержат незначительное количество серы и фосфора, которые удаляются при сквашивании первичных шлаков, и представляют собой основные шлаки с нормальной жидкотекучестью и сравнительно устойчивой температурой.

Температура вытекающего из печи шлака обычно колеблется от 1575 до 1620°, средняя принята за 1600°. Обычно понижение температуры струи шлака от начала до конца слива в ковш составляет 40—50°, причем общее понижение температуры шлака за период разливы металла в ковш и подачи ковша с оставшимся в нем шлаком в приемной шлаковнице для грануляции составляет 300—250°, т. е. к моменту грануляции шлака температура последнего 1300—1250°. Указанный расчет произведен при 10-минутной продолжительности разливы металла из ковша в изложницу и подаче ковша на расстоянии 30 м от изложниц до приемной шлаковницы.

Первый вариант установки по грануляции шлаков на заводе «Красный Октябрь» предусматривал получение горячих шлаков от трех печей старого маргеновского цеха, дающих в каждую плавку металла:

Печь № 1	.....	30 м
» № 2	.....	20 »
» № 3	.....	30 »

или соответственно годного шлака:

Печь № 1	.....	3 т
» № 2	.....	2 »
» № 3	.....	3 »

что составляет при трех плавках в каждой печи в сутки 24 т шлака.

Как общее правило, выпуск металла и шлака из каждой печи не совпадает во времени, но, учитывая возможность получения сразу двух плавов, можно получить одну плавку в 5 т от печи № 1 и № 2 или 6 т от печи № 1 и 3, а с учетом 20% на отход шлака, на сквашивание, разливку и пр. получаем соответственно возможность одновременного получения 4—4,8 т шлака.

Для гранулирования максимального количества горячего шлака за один прием, т. е. 4,8 т, на заводе имеется приемная шлаковница общей емкостью $3 \times 0,6 \times 1,2 \text{ м} = 2,16 \text{ м}^3$, что при объемном весе шлака 2,6 дает $2,16 \times 2,5 = 4,4 \text{ т}$.

Бассейновые коробки емкостью каждая $1,9 \times 1,6 \times 1,0 \text{ м} = 3,04 \text{ м}^3$ или $3,04 \times 2,5 = 7,6 \text{ т}$, т. е. обе коробки вмещают 15,2 т шлака. Емкость бассейнов по $2,7 \times 2,0 \times 1,6 \text{ м} = 8,64 \text{ м}^3$ или $8,6 \times 2,5 = 15,6 \text{ т}$.

Указанные размеры грануляционной установки дают возможность без выгрузки коробов принять полностью три максимальных двойных плавки от печей, т. е. 14,4 т горячего шлака. Обычно одной из причин отказа заводов от организации грануляции маргеновских шлаков является опа-

чение бурного процесса при зернении шлака водой, а также значительный расход воды. Поэтому здесь приведены примерный расход воды и основные условия грануляции мартеновских шлаков, устраняющие бурный процесс.

В описанных условиях суточная потребность в воде для грануляции 19,2 т шлака (24 т — 24 · 0,20) при теплоемкости шлака 0,25, температуре шлака 1380°, температуре воды 15° и охлаждении шлака ниже точки кипения, т. е. до 60°, составит:

$$\frac{0,25 (1300 - 60) 19200}{60000 - 15000} = 136,5 \text{ м}^3.$$

Опытным путем найдено, что наиболее спокойная грануляция без кипения достигается при соотношении шлака и воды 1:10. Указанный выше расход воды дает соотношение 1:7, что также позволит вести грануляцию без кипения, так как последняя наблюдалась только при соотношении шлака и воды 1:5. Необходимо учесть также происходящее испарение воды при грануляции, поглощающее в восемь раз больше тепла, чем нагрев воды до 60°, охлаждение воды через стенки и отдачу тепла в воздух, что снижает потребное количество воды. Зернение шлака по желобу до слива в бассейне коробки требует указанного количества воды. При этом получается зерно размером от 10 до 20 мм. Однако, чем длиннее путь горячего шлака в воде, тем меньше диаметр зерна. При глубине бассейна коробки 1,6 м шлак зернится до 3—5 мм. Таким образом желательно иметь соответствующее количество воды в бассейне коробки для того, чтобы шлак в ней остыл с 60 до 50°. Суточный расход воды при теплоемкости шлака 0,25, температуре шлака, идущего с водой в коробку, 60°, температуре воды 15° и охлаждении шлака до 50° составит:

$$\frac{0,25 (60 - 50) 19200}{1000 (50 - 15)} = 1,4 \text{ м}^3.$$

Общий суточный расход выражается в $136,5 + 1,4 = 137,9 \text{ м}^3$ воды, т. е. в 7,2 раза больше веса шлака.

При учете потери около 1 м³ воды на каждую тонну шлака (на влаго-содержание и испарение) количество отходящей при грануляции воды будет $137,9 - 19,2 = 118,7 \text{ м}^3$.

Обычно состояние ковшевого хозяйства заводов не дает возможности произвести выпуск шлака по желобам в коробки через сливное (стакан) отверстие ковша. Поэтому шлак из ковша выливается путем опрокидывания его. При этом получается неравномерная струя шлака, что и вызвало необходимость наличия приемной шлаковницы, из которой уже через специальное отверстие шлак выливается через желоб в коробку. При этом размеры шлаковницы дают возможность принять из ковша в 2—3 мин. весь шлак (максимум две плавки — 4,8 т). Наличие специальных отверстий в шлаковнице с двух сторон дает возможность быстро (в среднем в 6 мин.) слить весь шлак по двум желобам в бассейне коробки. Шлак при выпуске из шлаковницы попадает под струю воды, идущей из водопроводной трубы с напором около 1—2 ат. Это обеспечивает надежное зернение мартеновского шлака и одновременно отделяет от него металлы (корольки) (фиг. 28).

Для более быстрого слива шлака из шлаковницы по жолобам с целью устранения закоржания шлаков в жолоба — уклон последних по отношению к коробкам не менее 20°.

Разгрузка бассейных коробок со шлаком производится обычно тем же мостовым краном, который обслуживает ковши при разливке металла и шлака. На заводе «Красный Октябрь» впереди мартеновских печей за длинной канавой проложен железнодорожный путь, по которому ходит малый кран (кукушка). Последний за цапфы вынимает коробки из бассейна и опрокидывает их в железнодорожный полувагон, установленный на той же ветке.

Описанный способ (первый вариант) грануляции мартеновских шлаков требует весьма незначительной рабочей площади (размером 10 × 3 м),



Фиг. 28. Гранулированный мартеновский шлак.

дает огромное сокращение рабочей силы при уборке шлака из цеха, так как для обслуживания такой установки требуется всего двое рабочих.

При указанном выше соотношении количества горячего шлака и воды совершенно устраняется кипение воды (т. е. возможность бурной грануляции). При разбивке шлака водой легко отделяется от шлака металл, и при выгрузке шлака из бассейной коробки металл может быть легко изъят магнитным сепаратором. Получаемое при грануляции пористое зерно шлака благодаря быстрому охлаждению горячего шлака повышает свою гидравлическую активность.

Аналогичная обработка горячих шлаков мокрой грануляцией производилась и на заводе «Серп и молот» (Москва), где средний химический состав мартеновских шлаков был следующий: 21,28% SiO₂, 39,69% CaO, 4,47% Al₂O₃, 9,11% MnO, 12,31% FeO, 9,1% MgO, 1,98% P₂O₅, 0,73% SO₃.

Указанный химический состав характеризует природу этих шлаков, как основных шлаков, модуль основности которых по формуле:

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 1,8$$

При грануляции этих шлаков получалось мелкое зерно, частью пористое, частью в виде кусочков сферической поверхности размером от 5 до 15 мм (фиг. 35). Несмотря на наличие в указанном шлаке вкраплений металла, доходящих иногда до 10%, грануляция этих шлаков при соотношении количества шлака и воды 1:10 и 1:7 происходила вполне спокойно и только при соотношении шлака и воды 1:5 наблюдалось сильное кипение воды.

Литье камней из мартеновских шлаков

В настоящее время закончены опытные работы по получению из мартеновских шлаков различного рода каменного литья.

Указанные опытные работы по получению литых изделий из мартеновских шлаков были проведены по инициативе ВПУ ГУМЦ Академией коммунального хозяйства в Москве и Институтом прикладной минералогии в Ленинграде. Результаты этих работ показали возможность получения каменного литья как из чистых мартеновских шлаков, так и с различными добавками к ним ваграночных шлаков. Для получения каменного литья из жидких мартеновских шлаков были применены шлаки завода «Серп и молот», состав которых приведен в табл. 39¹.

Таблица 39

№ шлака	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	FeO
1	19,8	9,38	41,03	7,24	7,00	1,91	13,44
2	18,84	7,62	42,16	9,82	2,50	1,92	17,68
3	20,6	8,34	37,47	8,64	9,36	0,83	7,40
4	23,12	5,54	40,13	7,48	4,35	2,34	10,12
5	25,44	7,62	27,18	8,08	6,72	1,86	11,30
6	21,96	10,15	37,46	8,03	2,81	1,80	13,95
7	23,18	12,37	37,18	7,86	2,70	1,78	14,25
8	25,76	8,74	37,22	7,30	5,41	1,73	11,70

Приведенный состав мартеновских шлаков указывает, что эти шлаки относятся к группе основных шлаков, причем значительный процент содержащихся в них металлических окислов характеризует высокий объемный вес этих шлаков (фиг. 29).

В целях сохранения наибольшей температуры при производстве литья из жидких шлаков последние разливались в формы через сливное отверстие ковша (стакан) сейчас же после разлива металла в изложницы. Рядом опытов было установлено, что наилучшая кристаллизация мартеновских шлаков происходила при 1350—1400°. Отливки помещались

¹ По материалам ВПУ ГУМЦ.

в отжигательную печь с температурой отжига 900—1100°; отжиг длится от 3 до 9 часов.

Отливки из шлака № 5 при температуре разливки 1350° и температуре отжига 1000° в течение 9 час. дали полную кристаллизацию. Отливка из шлака № 8 при температуре разливки 1350° и температуре в 900° в течение 3 час. также дала, хотя и неполную, но достаточную кристаллизацию. Таким образом рядом опытов было установлено, что



Фиг. 29. Кусок мартеновского шлака из отвала.

наилучшая кристаллизация отливок из мартеновского шлака наблюдается при температуре отжига 900—1000°, причем повышение содержания в шлаках окислов металлов, особенно закиси железа, несколько задерживает кристаллизацию.

Механические и физические испытания отливок из мартеновского шлака дали следующие результаты: объемный вес 3,14—3,16, кг/м^3 удельный вес 3,30, влагопоглощение 0,39%, твердость по Дорри 18,41—18,61, вязкость на копре Педжа 16,0—20,0, сопротивление сжатию 1210—1540 кг/см^2 .

Приведенные величины механической прочности отливок из мартеновских шлаков дают возможность использовать последние в виде брусчатки для дорожного строительства.

В табл. 40 приведены сравнительные данные прочности материалов, применяемых в дорожном строительстве.

Таблица 40

Материал	Сопротивление истиранию (круг Дорра) $ки/см^2$	Коэффициент испытания на удар (колес Цеажа)	Сопротивление раздавливанию $ки/см^2$	Влагопоглощение %
Клинкер по ОСТ 4 245	14—16—18	8—12—15	100— 700—1 000	2—6
Каменная плита по ОСТ 4 901	12—14—16	8—10	300— 600—1 000	—
Шлаковая брусчатка из мартеновского шлака	18,41—18,68	16—20	700—1 200—1 500	0,5—0,6

Из таблицы видно, что шлаковая брусчатка занимает первое место по механической прочности среди указанных материалов. Однако слишком большой объемный вес шлаковых отливок (шлак 3116 ки/м^3 , клинкер 1900 ки/м^3) может создать затруднения при транспортировке столь тяжелой брусчатки и позволит использовать этот материал лишь вблизи территории данного завода.

Приведенные данные по обработке жидких мартеновских шлаков для получения из них каменного литья являются предварительными и требуют проработки в заводском масштабе.

Опыт получения литья из чистых мартеновских шлаков показывает, что иногда эти шлаки с высокой основностью требуют при отливке весьма высокой температуры, что в условиях работы мартеновских цехов не всегда возможно. Кроме того такие шлаки дают очень «короткое» стекло, которое при застывании сразу же кристаллизуется и сильно растрескивается. Указанные обстоятельства побудили произвести ряд опытов по получению литья из комбинированных шлаков, т. е. прибавления к мартеновским шлакам различных добавок. Чрезвычайно важную роль при этом играют богатые кремнеземом и глиноземом добавки. Такие добавки в небольшом количестве (10—15%), как например, кислый мартеновский шлак, десок, стекло, нефелин и глина, значительно улучшают литейные свойства шлакового стекла. В процессе разливки сваренное стекло получается значительно гуще и «длинным». В настоящее время закончены опыты по получению литья из комбинированного шлака, составленного из 50% мартеновского и 50% ваграночного шлака. В качестве исходного материала служили мартеновские и ваграночные шлаки ленинградских заводов. Химический состав приведен в табл. 41.

При производстве опытного литья указанные шлаки брались из отвалов с целью получения более однородной смеси измельчалась до размера зерна около 2 см. Вкрапленный в шлак металл для более успешной кристаллизации литья отделялся магнитным сепаратором. Наиболее важным свойством для литья является получение достаточно легкой подвижной массы, хорошо льющейся, не особенно вязкой, хорошо заполняющей формы и сравнительно медленно застывающей. Поэтому до составления шихты

Таблица 41

Соединения	Мартеновский основной шлак			Ваграночные шлаки	
	«Красный пугиловец»		«Большевик»	«Знамя труда» № 5	«Красный пугиловец»
	первый слив	второй слив			
SiO ₂	29,53	19,40	21,16	47,30	48,23
TiO ₂	Следы	Следы	0,31	0,74	0,82
Al ₂ O ₃	8,44	11,79	2,88	9,98	11,42
Fe ₂ O ₃	5,09	5,24	6,49	0,40	1,49
FeO	2,51	12,10	6,76	7,48	5,11
CaO	34,57	30,50	45,79	30,04	30,57
MgO	15,32	6,40	16,46	3,00	0,74
MnO	4,32	15,20	0,19	0,32	1,51
SO ₂	0,34	Следы	0,50	1,33	0,76

определялась температура размягчения каждого шлака. Указанные выше шлаки показали следующую температуру размягчения:

Мартеновский шлак первого слива завода «Красный пугиловец»	1300°
» » третьего » » »	1312°
» » завода «Большевик»	1325°
Ваграночный » » «Знамя труда»	1162°
» » » «Красный пугиловец»	1190°

Температура размягчения смеси ваграночных и мартеновских шлаков составляла:

Смесь № 1. Ваграночный шлак завода «Знамя труда» + 50% шлака завода «Красный пугиловец»	1165°
Смесь № 2. Мартеновский шлак завода «Красный пугиловец» первого слива + 50% второго слива	1298°
Смесь № 3. Мартеновский шлак завода «Большевик» 50% первого слива + мартеновский шлак завода «Красный пугиловец»	1270°
Смесь № 4. Ваграночная смесь № 1 + 50% мартеновской смеси № 3	1145°

Таким образом путем комбинирования мартеновского и ваграночного шлаков удалось получить достаточно легкоплавкую смесь.

В результате многочисленных опытов шихта, составленная из 50% мартеновских шлаков и 50% ваграночных шлаков, дала легко подвижное и хорошо выполняющее формы шлаковое стекло при 1200° с температурой провара 1350°. Продолжительность варки, считая от момента засыпки его до разливки, равнялась 8 часам. Полученное шлаковое стекло не имело камней и пузырей, что указывало на хорошо сварившуюся смесь. Опытные образцы в виде кубиков, восьмерок и т. д. показали полную кристаллизацию.

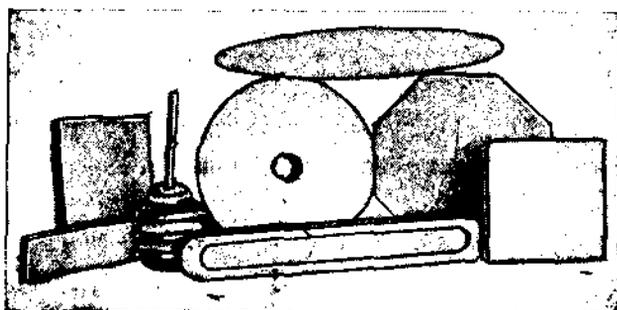
Здесь необходимо указать, что отлитые образцы рекомендуется охлаждать только до темнокрасного окрашивания, после чего они должны быть немедленно помещены в отжигательную печь. При большом охлаждении отливки растрескиваются, что вызывает значительное уменьшение прочности. Кроме того сама отливка должна происходить при температуре не выше 1200°, так как при более высокой температуре отливки давали большую и неравномерную усадку.

В процессе кристаллизации комбинированный плавный шлак заметно уплотнялся, что подтверждается увеличением удельного веса с 3,157 для стеклообразного до 3,265 у закристаллизовавшегося.

Отливки из комбинированных шлаков обладают большой механической прочностью и большим сопротивлением истиранию. Так, сопротивление сжатию равно 2689 $\text{кг}/\text{см}^2$, истиранию 42 $\text{кг}/\text{см}^2$, твердость по шкале Мооса 6,5. Указанные свойства отливок не уступают свойствам онежского диабаз, сопротивление сжатию которого колеблется в пределах 2300—2800 $\text{кг}/\text{см}^2$. Комбинированные шлаки могут быть применены во всех случаях, где требуется большая механическая прочность и большое сопротивление истиранию. На фиг. 30 изображены изделия, полученные литьем из шлаков.

Химический состав отливок из комбинированных шлаков следующий: 35,60% SiO_2 , 9,32% Al_2O_3 , 8,21% FeO , 29,27% CaO , 0,69% TiO_2 , 3,01% Fe_2O_3 , 7,31% MnO , 6,21% MgO , 0,70% SO_3 .

Химическая стойкость отливок данного состава в крепких кислотах, определенная по методу Загера и Крамера, показала полную раствори-



Фиг. 30. Литые изделия из комбинированных шлаков (мартемовских и ваграночных)

мость массы, т. е. непригодность ее в качестве кислотоупора. Испытания растворимости в щелочах показали потерю в весе 0,56%.

В целях определения пригодности использования комбинированных отливок из шлака для электротехнических нужд были изготовлены образцы в виде пластинок сечением 7×7 см, при толщине 0,99 см. Проведенные испытания этих образцов показали электропробиваемость током 18 кВ, что говорит о применимости плавного комбинированного шлака для низковольтных и слаботоковых изоляторов.

Минералогическое исследование отливок из комбинированных шлаков показало, что основная масса их состоит из минерала мелилита, кристаллы которого имеют большую трещиноватость по спайности. Это обстоятельство оказывает влияние на механическую прочность плавных шлаков в сторону ее ухудшения. Поэтому с целью уменьшения количества мелилита в закристаллизовавшейся массе и увеличения химической стойкости материала в настоящее время проводятся дополнительные экспериментальные работы по введению в эти шлаки различных добавок, богатых кремнекислотой и глиноземом, которые, как указано выше, значительно улучшают литейные свойства шлакового стекла.

При переделе чугуна на сталь по способу Томаса получаются так называемые томасшлаки, характеризующиеся большим содержанием извести и фосфорной кислоты. Способ томасирования заключается в том, что в большой реторте, называемой конвертором, жидкий чугун продувается воздухом. Плавка ведется на основной футеровке, к расплавленному фосфористому чугуну добавляют значительное количество извести, облегчающей переход фосфора в шлак. Получаемый по ходу технологического процесса томасшлак делится на два сорта. Первый томасшлак — сливаемый из конверторов в специальные шлаковницы круглого сечения и значительного объема (6 т) еще до получения законченного продукта, т. е. стали того или иного состава, и второй томасшлак — получаемый из ковша после раскисления металла. Химический состав томасшлака следующий: 3,0—13,0% SiO₂, 12,3—17,0% Fe_{обм}, 12,9—19,2% FeO, 1,3—8,3% Al₂O₃, 2,9—7,0% MnO, 38,4—42,6% CaO, 0,35—7,0% MgO, 0,1—0,3% S, 15,9—19,5% P₂O₅.

Из приведенного анализа видно, что томасшлаки содержат большое количество фосфорной кислоты. Эти шлаки перемалывают на шлаковую муку, которая является прекрасным удобрением.

Для производства муки из томасшлака идет исключительно первый шлак (из конвертора), так как второй шлак (из разливочного ковша) сильно загрязнен металлическими включениями, что сильно затрудняет переработку его на томасмуку, и значительно меньше содержит в себе фосфорной кислоты. Шлаковницы, наполненные шлаком, подаются на специальных железнодорожных платформах под мостовой кран томасшлаковой мельницы. Так как внутри наружной затвердевшей корки шлака имеется еще жидкая фаза, то шлаковницы выдерживают до застывания шлака около 10 час., а затем шлаковницу переносят на склад, где выдерживают до полного охлаждения (фиг. 31).

Шлак обычно разбивают чугунной бабой, затем отсортировывают от скрапа и бьют на куски не свыше 250 мм (по наибольшей оси). Разбитый на куски шлак грузится в коробку и мостовым краном подается в бункер мельницы. Из бункера по двум наклонным качающимся затворам шлак попадает в дробилки первичного помола, т. е. в шаровые мельницы.

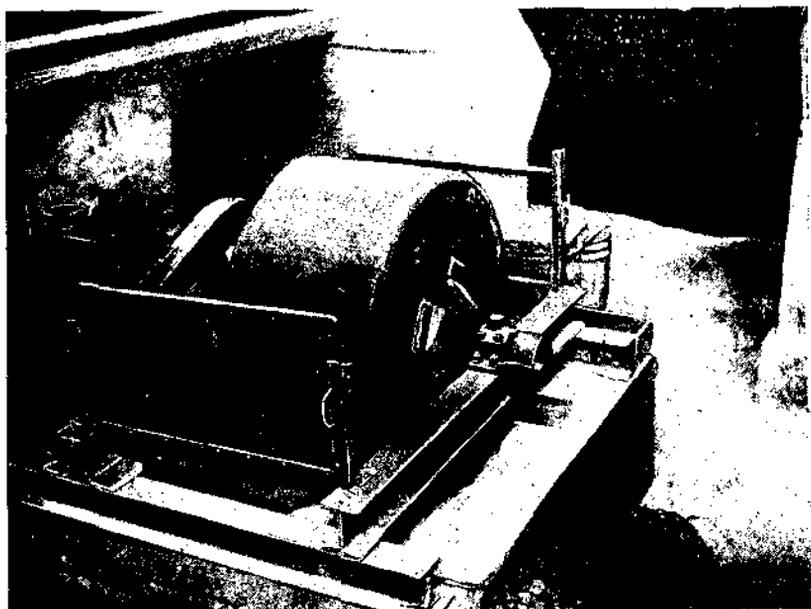
Размеры мельницы первичного (грубого) помола (фиг. 32): ширина 1,4 м, диаметр 2,7 м. Мельница выложена внутри стальными плитами. По окружности корпуса установлено три ряда сит с постепенно уменьшающимися отверстиями. Потребная мощность 40 л. с., число об/мин—21, мельница наполняется стальными шарами диаметром 60—70 мм, общим весом до 2 т.

Мельница вторичного тонкого помола состоит из железного барабана, футерованного внутри кварцем. Длина барабана 7 м, диаметр 1,3 м. Барабан наполнен стальными шарами диаметром 50—70 мм, общим весом до 15 т. Шары заполняют барабан, не доходя до оси барабана (в состоянии покоя) на 200 мм. Число об/мин 32. Потребная мощность 80—100 л. с. Производительность такой мельницы 9—10 т/час.

Характеристика первичного помола: проходимость не менее 30—35% через сито № 100 по Тейлору (100 отв/м²); от шаровых мельниц первичного помола шнек подает томасмуку на элеватор, который подает



Фиг. 31. Томасшлак в отвале перед разгрузкой его на габарит для томасмельницы.



Фиг. 32. Шаровая мельница грубого помола (первичного томасшлака).

его по вертикали к шаровой мельнице тонкого помола (барабанного типа).

Характеристика вторичного помола: проходимость через сито № 100 по Тейлору не менее 75%, из шаровой мельницы подача томасмуки возможна по двум направлениям. Первое — мука из мельницы вторичного помола подается шнеком на автоматические весы и попадает в специальные мешки, которые тут же зашиваются, идут на склад готовой продукции. Второе — из мельницы вторичного помола через шнек попадает в элеваторную яму, откуда шнеком подается в силососы для хранения. Из силососов через шнеки мука опять подается в элеваторную яму, затем шнеком на автоматические весы и в мешки.

Выход шлака составляет в среднем 22% от выхода стали. Хорошая мука обладает серо-бурым цветом и по химическому анализу должна удовлетворять следующим условиям. Растворимость в лимонной кислоте должна быть не менее 13%, в случае проходимости через сито менее 75%, мука поступает на вторичный размол, что дает возможность совершенно не иметь отходов от производства.

Томасшлак, содержащий высокий процент фосфорной кислоты (причем в такой легкой усваиваемой растением форме), давно получил широкое применение в качестве сельскохозяйственного удобрения не только у нас в Союзе, а также в Западной Европе и Америке (фиг. 33).

Этот вид удобрения получил широкое распространение еще в 1912 г. Томасмуки для удобрения почвы за 1912 г. было израсходовано в Германии 2,5 млн. т, во Франции 675 тыс. т, в Бельгии 534 тыс. т и в Англии 150 тыс. т, а в остальных странах — 150 тыс. т. Америка же в 1926 г. выпустила на рынок более 15 млн. бочек томасмуки.

В Советском союзе имеется пока только одна фабрика по перемолу томасшлаков на томасмуку, но в пятилетнем плане развития черной металлургии предусмотрено, что часть заводов Приазовья будет давать томасшлаки, что соответственно увеличит выход столь ценного продукта, каковым является томасмука.



Фиг. 33. Томасшлаковая мука в мешках, готовая к отправке на экспорт (завод им. Войкова).

Использование мартеновских шлаков

Значительная часть мартеновских шлаков, как было указано выше, используется как шихта в доменных печах. Шлаки основного мартеновского процесса часто используются, как шихта для мартеновской печи.

В силу крайне разнообразного химического состава мартеновских шлаков, а также отсутствия каких-либо определенных стандартов по основным свойствам этих шлаков использование их в промышленности строительных материалов носит пока зачаточный характер. Широко развернутые научно-исследовательские работы по определению свойств этих шлаков показали, что получение на базе этих шлаков различных шлаковых цементов затруднительно в силу наличия в этих шлаках большого процента окислов металла, особенно закиси марганца. В некоторых мартеновских шлаках имеется большое количество свободной извести, поэтому шлак теряет свойство постоянства объема и легко распадается. Мартеновские шлаки, долго пролежавшие в отвалах, что устраняет в них наличие негашеной извести, используются как балласт для бетонов. Использование для бетонов свежих, только что остывших мартеновских шлаков часто в силу неустойчивости шлака вызывает распадение бетонов. Такие шлаки для предварительного гашения извести должны быть тщательно промыты водой.

Таким образом для разрешения вопроса об использовании того или иного мартеновского шлака необходимо знать, в результате какого мартеновского процесса получены данные шлаки, какова природа и физические свойства этих шлаков.

До настоящего времени ни в заграничной, ни в нашей литературе подробно не освещена гидравлическая активность мартеновских шлаков, обработанных грануляцией, условия использования вяжущих свойств этих шлаков для изготовления искусственных камней, блоков, растворов и других строительных материалов. С целью ознакомления с основными показателями использования мартеновских шлаков, обработанных мокрой грануляцией и по анализу своему часто получаемых в результате основного мартеновского процесса, ниже приведены результаты законченных в 1933 г. опытных работ по использованию этих шлаков в промышленности строительных материалов. Для испытания были взяты мартеновские шлаки, полученные при выплавке стали следующего состава: 0,2—0,5% С, 0,3—0,8% Мп, до 0,04% Р, до 0,04% S, 0,22—0,38% Si. Химический состав шлаков, полученных при выплавке указанной выше стали, приведен в табл. 42.

Таблица 42

SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	SO ₂
25,44	11,30	6,72	1,78	37,17	8,08	7,62	1,10
24,96	13,45	2,89	1,86	37,06	8,03	10,15	1,28
23,18	14,25	2,70	1,80	37,18	7,86	12,37	0,90
25,76	11,70	5,47	—	37,52	7,30	6,74	0,38

Как видно из табл. 42, шлаки эти основные с модулем основности, в среднем равным 1,5. В этих шлаках наблюдается определенная устойчивость в отношении содержания окиси кальция, колебание которой вы-

ражается в десятых долях процента. Содержание кремнезема менее устойчиво и колеблется в отдельных шлаках от 1,5 до 2,5%. Колебания содержания металлических окислов весьма значительны и доходят для железа до 8%, для марганца—до 5%. Объемный вес указанных шлаков 710 кг/м³. Шлаки после обработки мокрой грануляцией, отделения от них металлических включений магнитным сепаратором и помола подвергались соответствующему испытанию как в чистом виде, так и с различными добавками вяжущих.

В результате большого числа опытов выявлено, что гранулированные мартеновские шлаки, измолотые до определенной тонкости помола, будучи затворены с водой, обладают способностью медленно затвердевать. Гидравлические свойства шлаков зависят от качества помола, так как шлак, просеянный через сито 0,15 мм, обладал через 28 дней сопротивлением сжатию 6,8 кг/см² и через 3 месяца—18,95 кг/см². Сопротивление сжатию просеянного шлака через 28 дней 19,9 кг/см² и через 3 месяца—30,4 кг/см².

Начало схватывания через 4 ч. 50 м., конец—через 6 ч. 45 м. Сопротивление растяжению 4,5 кг/см². Испытание на постоянство объема через 28 дней дало положительные результаты. Пропаривание при 90° в течение двух суток увеличивает прочность, давая через 6 дней после пропарки сопротивление сжатию 40 кг/см².

Для испытания шлака с различными добавками была взята известь состава: 5,12% SiO₂, 64,84% CaO, 0,33% MgO, окислов тина R₂O₃, 1,00% и трепел состава: 74,62% SiO₂, 0,76% CaO, 0,23% MgO, 0,68% SO₃. Изготовленные искусственные камни состава 3:2:1 (шлак, известь, трепел) в условиях естественного затвердевания показали через 28 дней R_{сж} = 12 кг/см².

При изготовлении различных растворов необходимо особо отметить смесь (9:1) мартеновского шлака с глиной, затворенных в подкисленной воде. Сопротивление таких растворов сжатию показало весьма резкое нарастание: через 28 дней сопротивление сжатию составляло 15,5 кг и через 90 дней 80 кг/см².

На фиг. 34 приведен график нарастания прочности различных шлаковых растворов для следующих смесей.

- Смесь I. Чистый молотый гранулированный мартеновский шлак.
- Смесь II. Молотый гранулированный мартеновский шлак + трепел (7:3).
- Смесь III. Молотый гранулированный мартеновский шлак + цемент + трепел (7:2:1).
- Смесь IV. Молотый гранулированный мартеновский шлак + глина в подкисленной воде (9:1).
- Смесь V. Молотый гранулированный мартеновский шлак + известь (9:1)

Таким образом добавка трепела к молотым мартеновским шлакам, предварительно гранулированным для приготовления смешанных растворов, повышает их прочность. При наилучшей рецептуре (шлак: трепел = 7:3) сопротивление сжатию через 28 дней равно 22 кг/см², а через 60 дней—30 кг/см². Добавка портландского цемента повышает прочность. При наилучшей рецептуре (цемент: трепел: шлак = 2:1:9) через 28 дней (при хранении во влажной среде) сопротивление сжатию равно 30,5 кг/см² и через 60 дней—54 кг/см². В качестве заполнителя бетона можно применять гранулированный мартеновский шлак с объемным весом 2,2—

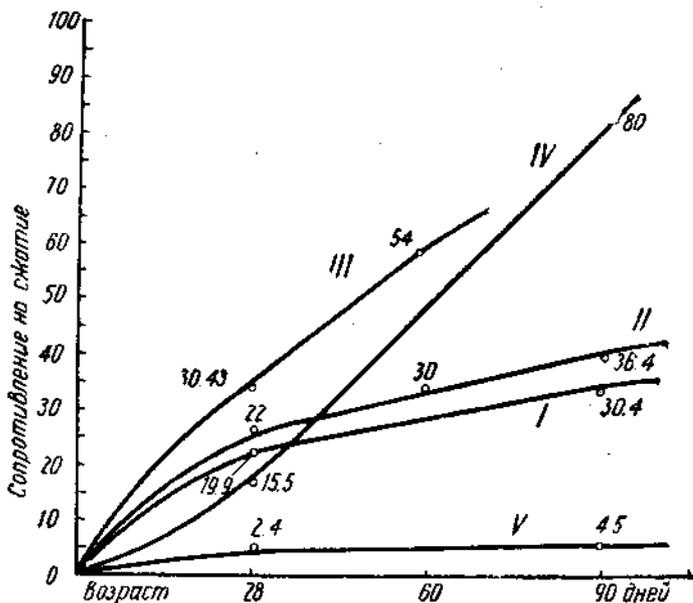
2,6 и размерами зерен 5—20 мм. Негранулированный мартеновский шлак можно применять в качестве наполнителя только из старых отвалов, где шлак под действием атмосферных осадков уже разложился и свободную известь можно считать гашеной.

При этом рекомендуются следующие рецепты:

$\left. \begin{array}{l} 1:1:7:3 \\ 1:2:10:6 \end{array} \right\} \text{Портландцемент известь-кипалька; кусковой мартеновский шлак; песок.}$

Сопротивление сжатию готовых блоков по указанным рецептам $R_{28} = 20-25 \text{ кг/см}^2$.

Кусковой мартеновский шлак используется также для изготовления точильных изделий, половых плит, чернильных приборов и пр. Для изгото-



Фиг. 34. Прочность шлаковых растворов в зависимости от их возраста.

товления точильных изделий из мартеновских шлаков применяется добавка к мартеновскому шлаку стекловидного доменного шлака, кварца и хлористого магния (кварц брался как отход Колыванской фабрики брусков). Обычно мартеновские шлаки очищают от пыли и грязи, затем пропускают через сита № 100, 80, 60, 50, 40 и 20. Для изготовления точильных камней, применяемых для полировки, употребляют помол № 100, 50, а для более крупных обдирочных точил — помол от № 50 до 20. Таким образом размалывают доменные шлаки и кварц.

В зависимости от назначения точильного камня составляют смесь из мартеновских и доменных шлаков, а также кварца соответствующих номеров помола. К этой смеси прибавляют порошкообразный магнетит, который должен быть чистым, без всяких примесей. Всю смесь тщательно перемешивают, после чего к ней добавляют 20% MgCl , затем вторично перемешивают, полученной массой набивают формы и под давлением 10 кг/см^2 запрессовывают в них точильные предметы. Запрессованную

в формах массу осторожно вынимают на железных поддонах, накрывают легкой деревянной доской, перевертывают; при этом железный поддон снимают, а доску с точилом ставят в склад для сушки. Через сутки точильные изделия снимают с доски и переносят в сушильный шкаф для дальнейшей сушки. В сушильный шкаф снизу поступает горячий воздух с температурой 50—70°, который, омывши все изделия, находящиеся в шкафу, вытягивается наружу электровентилятором. Сушка в шкафу продолжается от 3 до 7 дней в зависимости от величины изделия. После сушки изделия складываются в сухой, теплый и проветриваемый склад, где они хранятся не менее месяца. По истечении месяца точильные изделия испытывают на станках.

Для приготовления половых плиток и чернильных приборов применяются следующий рецепт:

Мартеновский шлак	100	частей (негранулированного или гранулированного)
Известь	100	> (негранулированного или гранулированного)
Доменный шлак		50 частей
Вода		120 >
Котельный шлак		50 >

Чтобы получить однородную смесь все шлаки тщательно перемешивают с известью сперва в сухом виде, а затем к ним прибавляют воду и опять перемешивают. Полученным тестом набивают формы и прессуют под давлением 10 кг/см². После прессовки изделия складываются для сушки на деревянные полки в склад и после суточного лежания изделия вспрыскивают водой, причем это продлевается в течение 4—6 дней. Наибольшая прочность изделий наблюдается при более полном пропитывании водой раза два-три в течение первых 5—6 дней лежания на складе. После вылеживания на складе в течение месяца изделия приобретают большую прочность.

При желании получить цветные изделия в указанную смесь можно прибавить в сухом виде различные краски (охру, мумию и пр.).

Баланс мартеновских шлаков по СССР

Количество шлаков, получающихся в результате мартеновского процесса, зависит от характера самого процесса; при основном мартеновском процессе количество получаемых мартеновских шлаков обычно колеблется в пределах от 15 до 25%, при кислом процессе—от 10 до 20% от веса получаемой стали.

В силу крайне разнообразных способов выпуска шлака из печей, разливки и транспортировки шлаков, зачастую засоренности этих шлаков от перемешивания их с другими отходами от производства на каждом заводе различно количество годных шлаков для дальнейшего использования. Практика показала, что этот процент не превышает 15% от выхода шлаков.

В табл. 43 приведены данные о выходе мартеновских шлаков, в тыс. т годных для дальнейшего использования, по заводам четырех районов, составленной по ориентировочному плану выплавки стали во второй пятилетке по варианту 20 млн. т в 1937 г.

Таблица 43

Р а й о н ы	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Донбасс	325	360	435	482	531
Южный	427	560	883	1 081	1 350
Центральный	148	172	192	201	207
Восточный	342	406	537	661	928
В с е г о	1 242	1 498	2 047	2 425	3 016

В указанной таблице в район Донбасса вошли все заводы этого района, имеющие мартеновские печи. Южный район обнимает все заводы Приднепровья, Приазовья, а также заводы Харьковской области. В Центральный район вошли заводы Центрального района и Северо-западной области. В Восточный район входят все заводы Пижней Волги, Уральской области, а также Магнитогорский и Кузнецкий заводы.

Из табл. 43 видно, что наибольшая масса выходов мартеновских шлаков находится в Южном и Восточном районах, где значительное увеличение выхода шлаков объясняется вводом новых мартеновских печей Приазовских и Приднепровских, а также Магнитогорского и Кузнецкого заводов.

Для разрешения вопроса о балансе мартеновских шлаков необходимо остановиться на перспективах использования этих шлаков во вторую пятилетку и наличия этих шлаков в отвалах.

В табл. 44 приведены данные о наличии в отвалах мартеновских шлаков по четырем основным районам Советского союза на каждый год пятилетки.

Таблица 44

Р а й о н ы	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
	тыс. т				
Донбасс	80	90	109	110	115
Южный	70	80	110	140	160
Центральный	930	940	945	950	955
Восточный	3 300	3 400	3 500	3 575	3 800
В с е г о	4 380	4 510	4 764	4 775	5 030

Табл. 44 составлена по данным фактического использования шлаков в каждом районе, причем в основном шлаки используются в качестве флюсов в шихту доменных печей. Заводы Донбасса и Южной группы, имеющие наряду с мартеновским и доменное производство, 90% своих мартеновских шлаков употребляют для доменного производства и только около 10% остается в отвалах. Эти 10% получаются главным образом на заводах, не имеющих доменных печей: завод им. Шмидта, Торецкий,

Андре Марти, Большевик и др. Незначительная часть шлака из-за засоренности не может быть использована в доменном производстве.

Если проследить выход свежих мартеновских шлаков по годам пятилетки с динамикой накопления этих шлаков в отвалах по всем четырем районам, то можно заметить, что прирост шлаков последующего года не превышает 10—13% выхода шлаков предыдущего года. Если сравнить выход шлаков за все 5 лет (составляющих 10 228 тыс. т) с наличием 5 030 тыс. т в отвалах к концу последнего года пятилетки, то нетрудно заметить, что потребление мартеновских шлаков с развитием доменного производства значительно возрастает и к концу пятилетки достигает почти 50% от всех шлаков, полученных за 5 лет. Из общего количества мартеновских шлаков в 5 200 тыс. т, намеченных к использованию во второй пятилетке в качестве шлака для доменных, мартеновских и ваграночных печей, используется 4 680 тыс. т, или 90% общего количества шлака, на дорожное строительство 250 тыс. т, или 4,8%, на удобрение почвы 120 тыс. т, или 0,4%, на промышленность строительных материалов 150 тыс. т, или 2,8%.

ВАГРАНОЧНЫЕ ШЛАКИ

Природа

В процессе переплавки чугуна в вагранках получают ваграночные шлаки. Выход этих шлаков обычно колеблется от 8 до 10% от веса переплавленного чугуна. Природа ваграночных шлаков всецело зависит от химического состава загружаемых в вагранку материалов. Ваграночный шлак состоит из SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , FeO , MnO , P_2O_5 .

Главнейшей составной частью ваграночного шлака является кремнезем, который получается в шлаке из коксовой золы, песка, попадающего в некотором количестве в вагранку из кладки вагранки, и кроме того из кремния, который содержится в металлической шихте, загружаемой в вагранку.

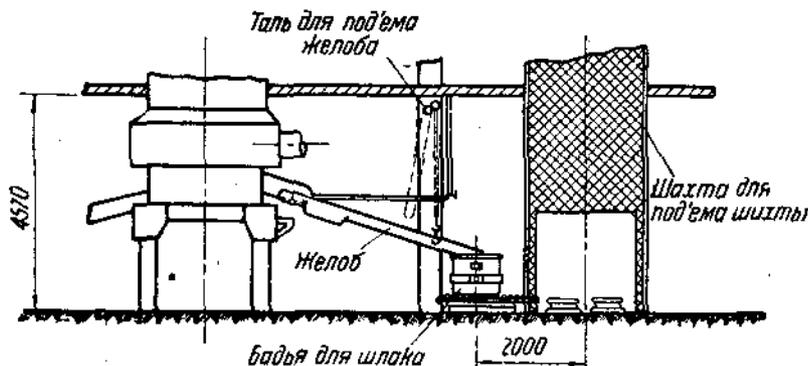
Известь в шлак переходит из известняка, являющегося наиболее распространенным флюсом, переводящим кремнезем, глинозем, магнезию и закись железа в шлак. При этом количество закиси железа значительно колеблется и зависит от количества железа, сгорающего перед фурмами, и кроме того от степени ржавления загруженного в вагранку материала. Количество глинозема, находящегося в шлаке, также колеблется и зависит от материала кладки вагранки. Динасовый кирпич дает меньшее, а шамотовый большее содержание глинозема в шлаке. Закись марганца в значительном количестве получается за счет сгорания марганца, входящего в состав загруженной в вагранку шихты. Таким образом мы видим, что для определения природы шлаков необходимо учитывать состав шихты, который зависит от сорта отливок, предполагаемых к получению из вагранки. Химический состав ваграночных шлаков следующий: 61,0—35,0% SiO_2 , 11,0—1,0% MnO , 11,0—0,9% FeO , 20,0—4,0% Al_2O_3 , 42,0—7,0% CaO , 7,0—0,4% MgO , 2,0—0,4% P_2O_5 , 1,3—0,1% S.

Из приведенного анализа видно, что ваграночные шлаки по своему химическому составу крайне разнообразны. Однако при одних и тех же чугуновых отливках состав получаемых шлаков более или менее одно-

ден. Ваграночные шлаки относятся к кислым шлакам, так как модуль основности обычно меньше единицы. Таким образом природа этих шлаков определяет как обработку, так и использование их.

Грануляция

Основным стимулом такой обработки являлось стремление заводов избежать засорения рабочих площадок у вагранок, а также устранять излишние расходы по уборке шлаков из литейных цехов. Благодаря грануляции не только рационализируется уборка шлака из цеха, но и получение соответствующей товарной продукции ваграночного шлака в виде мелкого зерна, имеется возможность легко отделять чугун, вкрапленный



Фиг. 35. Установка по грануляции ваграночного шлака на Сталинградском тракторном заводе (общий вид).

в ваграночный шлак, а также получать соответствующей крупности зерна шлака при использовании его в промышленности строительных материалов.

На фиг. 35 приведена схема грануляции ваграночного шлака, обеспечивающая не только надежное отделение металла из шлаков, но и получение соответствующего гранулята (фиг. 35).

Изображенная на фиг. 35 установка по грануляции ваграночных шлаков проверена опытным заводским путем на различных ваграночных шлаках. Горячий шлак из вагранки сливается по желобу, одновременно необходимо по желобу давать воду с таким расчетом, чтобы струя горячего шлака падала на текущую с достаточным напором воду (1—1,5 ат). Горячий шлак, попадая в воду, зерниется уже в самом желобе до крупности 1—3 мм. Чем больше путь движения горячего шлака с водой, тем мельче получается зерно. Учитывая кислую природу ваграночных шлаков и слабую в связи с этим жидкотекучесть этих шлаков, быструю затвердеваемость их, грануляцию необходимо производить непосредственно у вагранки без какого-либо приемника для транспортировки шлака. Иногда расход воды для грануляции лимитирует устройство такой обработки шлаков. Ниже приведен примерный расчет количества воды, потребной для грануляции ваграночных шлаков на заводах, имеющих шесть вагранок (тип новых заводов). Средняя температура вытекающего из вагранки шлака обычно колеблется от 1300 до 1400° (в зависимости от шихтовки вагранки).

В нашем расчете температура принята равной 1350°. Понижение температуры струи шлака до момента встречи шлака с водой не превышает 20—30° вследствие незначительного пути горячего шлака до встречи с водой в желобе (50 см). Таким образом температура шлака к моменту грануляции равна 1320°. Указанный здесь тип грануляционной установки предусматривает грануляцию шлаков из одной вагранки, дающей в сутки около 3 т шлака. Суточная потребность воды для грануляции 3 т шлака при теплоемкости влажа в 0,25, температуре влажа 1320°, температуре воды 15° и охлаждении ниже точки кипения, т. е. до 60°, выразится следующей величиной:

$$\frac{0,25 (1320 - 60) 3000}{(60 - 15) 1000} = 21,0 \text{ м}^3.$$

Соотношение шлака и воды 1:3 дает кипение воды. Такое количество воды следует признать недостаточным, могущим вызвать ожоги рабочих при производстве грануляции. Расчет воды в данной установке следует взять с отношением шлака к воде 1:7, с учетом расхода воды на испарение и доведением температуры горячего шлака до 60°, при указанном отношении количества шлака и воды совершенно устраняется кипение воды. Однако кипение воды не наблюдается и при отношении 1:4 и 1:5. Учитывая, что при грануляции шлака последний может быть смешанным, так как выходит из вагранки с металлом и является более тяжелым, требующим для зернения повышенного расхода воды, желательно соотношение шлака и воды брать не менее чем 1:7. Последнее диктуется также возможностью получить при более повышенном расходе воды наиболее мелкое зерно — до 0,5 мм, при котором металл, имеющийся в шлаке, легко изъять из приемника гранулятора, так как при увеличенном расходе воды металлические зерна из шлака, как более тяжелые, чем шлак, попадают на дно приемника (коробки или бадьи) и при разгрузке (коробок или бадьи) легко могут быть отделены магнитным сепаратором упрощенного типа.

Таким образом при устройстве у каждой печи описанной установки по грануляции общий суточный расход воды по заводу, где имеется шесть вагранок, выразится в $21,0 \times 6 = 126 \text{ м}^3$.

Выше было указано, что расход воды был взят несколько преувеличенный для более успешного отделения металла от шлаков для случая, когда шлак будет пушен в смеси с металлом. При нормальном выпуске шлака без металла расход воды может быть снижен. Кроме того необходимо учесть снижение расхода воды на испарение при грануляции, поглощающей в восемь раз больше тепла, чем требуется для нагрева воды до 60° и на охлаждение воды через стенки и отдачу тепла в воздух. Если общее состояние водопроводной магистрали не позволит израсходовать указанное количество воды, то снижение расхода может быть достигнуто путем увеличения давления воды до 2 ат и, наконец, путем получения более горячего зерна до 70—90°. В таком случае при доведении температуры гранулированного шлака до 90° расход воды выразится следующей величиной:

$$\frac{0,25 (1320 - 90) 3000}{(90 - 15) 1000} = 12,3 \text{ м}^3,$$

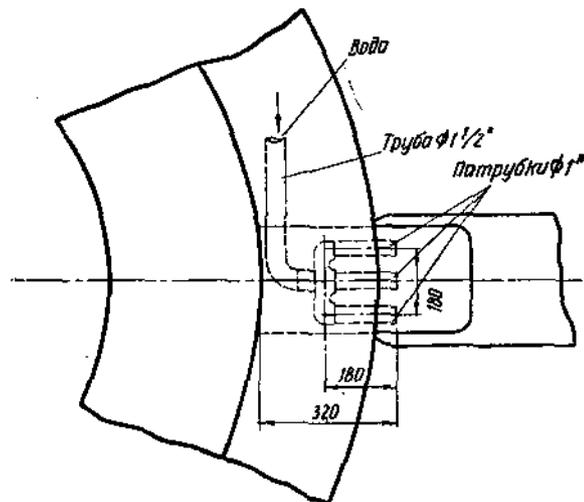
т. е. расход воды может быть снижен до отношения шлака к воде 1:1,4, и весь расход на шесть вагранок выразится $12,3 \times 6 = 73,8 \text{ м}^3$.

При расчете количества отходящей воды необходимо учесть потерю около 1 м^3 воды на каждую тонну шлака на влагосодержание и испарение при грануляции, т. е. количество отходящей воды от каждой установки при температуре зернистого шлака в 60° будет $21 - 3 = 18 \text{ м}^3$, а при шести установках $18 \cdot 6 = 108 \text{ м}^3$. При температуре зернистого шлака в 90° количество отходящей воды от одной установки будет $12,3 - 3 = 9,3 \text{ м}^3$, а при шести установках: $9,3 \cdot 6 = 55,8 \text{ м}^3$.

Описанный способ грануляции предусматривает устройство жолоба при наличии у вагранки отдельного отверстия для выхода шлака помимо отверстия для выхода металла. Таким образом установленный жолоб

у самого выходного отверстия дает возможность грануляции 100% выхода шлака.

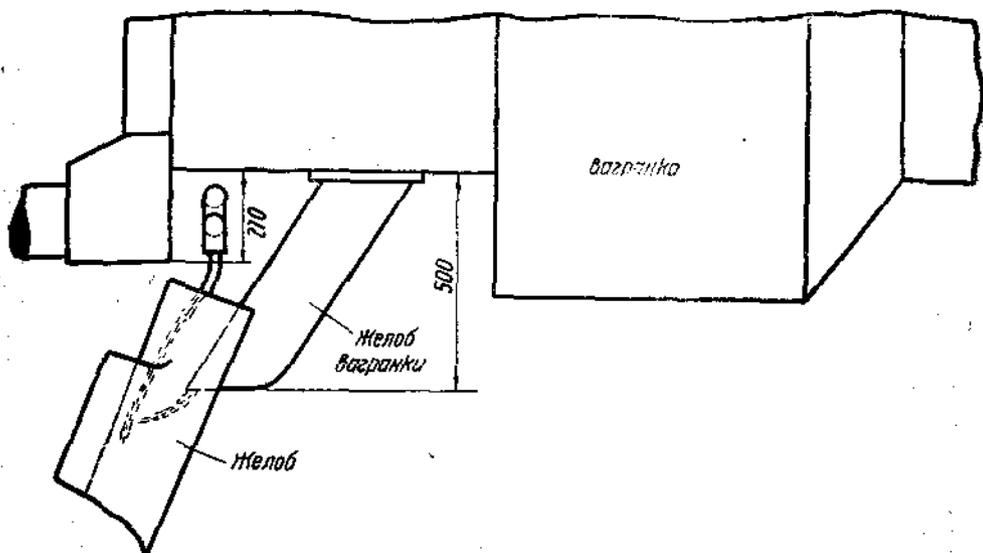
Горячий шлак по выходе из отверстия вагранки попадает в жолоб на текущую воду, выпускаемую, как видно на фиг. 36 из трех отверстий диаметром в 25,5 мм. Необходимо отметить, что успешное зернение шлака происходит при обязательном условии пуска воды раньше выпуска струи горячего шлака, как указано на фиг. 37. При этом горячий шлак, соприкасаясь с текущей водой, зернится и вместе с водой легко попадает



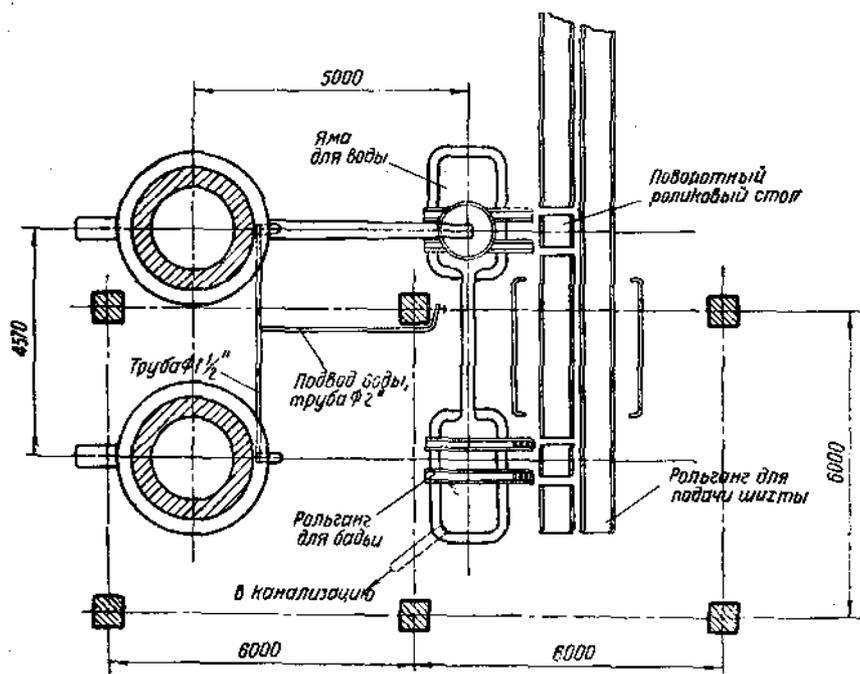
Фиг. 36. Схема подвода воды для грануляции ваграночных шлаков.

в бадью (фиг. 35). Как указано выше, в некоторых случаях вместе со шлаком идет и металл. В последнем случае выходящий шлак более тяжел, и благодаря этому он начинает скопиться в верхней части жолоба, проедает дно и мешает движению шлака по жолобу. Для устранения указанных явлений в верхней части жолоба, т. е. в месте падения струи шлака, на длине 1200 мм вырезано отверстие и к жолобу приварена коробка, которая футеруется огнеупорным кирпичом или заливается бетоном по форме жолоба (бетон служит дольше кирпича). Описанным устройством верхней части жолоба устраняется проедание дна жолоба, скопление же шлака устраняется регулированием напора воды, а также специальным железным прутом, которым рабочие ворошат собирающийся шлак, последний легко смывается по жолобу в бадью.

При выходе шлака с металлом наблюдается некоторое искрение, иногда мешающее рабочему регулировать количество воды и вообще вести наблюдение за выходом шлака. Для устранения этого в верхней части жолоба сделана откидная крышка. Таким образом горячий шлак, попадая в текущую по жолобу воду, идет в бадью вместе с водой. Последняя



Фиг. 37. Схема подвода воды для грануляции ваграночных шлаков.



Фиг. 38. Общий вид установки (план). Блок из двух вагранок.

через специальные отверстия стекает в бетонированную яму. На фиг. 38 изображена установка для двух вагранок. Каждая из вагранок имеет свою яму.

Объем бадьи составляет $3,17 \times 0,5 \times 0,8 = 0,63 \text{ м}^3$. Она вмещает от 1 до 1,5 т шлака (в зависимости от природы шлака) и вполне обеспечивает грануляцию одного выпуска шлака из вагранки.

На каших новых заводах имеется хорошо оборудованное крайнее хозяйство для загрузки в вагранку металла. Край легко убирает и выгружает бадью со шлаком.

При заполнении бадьи гранулированным шлаком жолоб, лежащий на бадье, поднимается талью и легко выкатывается по роликам под край на поворотный пункт. Здесь бадья забирается краном и выгружается на склад. При выгрузке шлака магнитным краном металл отделяется от шлака, если таковой был в шлаке, и загружается обратно в вагранку.

Таким образом при грануляции ваграночных шлаков при помощи данной установки необходимо иметь отдельное отверстие для выхода горячего шлака из вагранки. Емкость бадьи обеспечивает грануляцию всего выпуска шлака из вагранки. Простота и несложность устройства обеспечивает непрерывность работы с небольшой затратой рабочей силы. Отделение металла при грануляции происходит легко, без бурного процесса при соблюдении соотношения шлака и воды 1:4—1:7. Шлаковое зерно получается размером от 0,5 до 3,5 мм в зависимости от расхода воды. Чем больше воды, тем мельче зерно. Более основной шлак требует меньшего расхода воды, кислый — большего. Зерно при грануляции получается очень чистое, пористое, стеклообразного вида, с острыми концами и напоминает черное бутылочное стекло.

Литые изделия

Опытные работы по изучению литья из ваграночных шлаков показали, что чистые ваграночные шлаки могут быть использованы для каменного литья. Температура провара для шлакового стекла равна 1300°, а температура отливки 1200°. Получаемое стекло подвижно и хорошо заполняет формы.

Небольшие добавки к ваграночным шлакам в размере 10—15% глины, песка, мартеновского шлака улучшают литейные свойства шлака. Физико-химические свойства таких комбинированных отливок указаны в разделе обработки мартеновских шлаков.

Схема производства литья из ваграночных шлаков как чистых, так и с добавками заключается в следующем: подготовка сырья → плавка в печи → разливка шлака → отделка изделий.

Подготовка сырья к плавке заключается в измельчении шлаков до размеров зерна не более 2 см. При комбинированных смесях с целью получения более однородной массы и лучшего отделения металла из шлака последний надо измельчать до крупности зерен не выше 5 мм. Только после этого шлак пропускается через магнитный сепаратор.

Для расплавления шлака с целью более надежного провара лучше применять пламенную печь на мазуте, имеющую более глубокую ванну, чем обычная стеклоплавильная печь. Как указано выше, температура литья должна быть ниже температуры провара, так как при горячем литье возможно появление брака от большой усадки. Охлаждение осу-

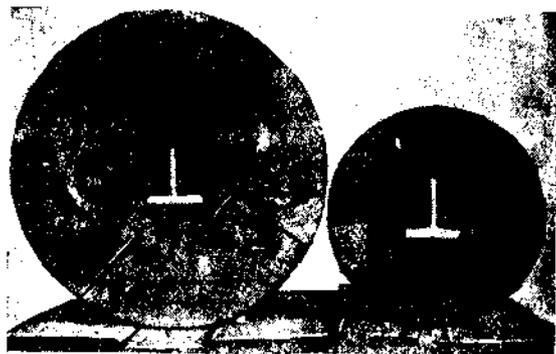
поставляется в ковшах. Некоторые опытные данные говорят, что плавку шлаков возможно производить и в обыкновенных вагранках, однако в этом случае необходимо для устранения пузырчатости шлака переливать последний в специальные футеровочные ковши, предварительно подогретые.

Обыкновенное шлаковое стекло по сравнению с обычным стеклом является очень «коротким», т. е. не переходя через тестообразное состояние, быстро переходит из жидкого состояния в твердое, покрываясь при этом хрупкой коркой, которая при дальнейшем охлаждении трескается и может вызвать расщепление литых изделий. Для устранения указанного явления формы для литья должны быть подогреты до 600—700°. Для получения надежной кристаллизации, обеспечивающей прочность изделий, последние помещаются в обжигательную печь. Опытом установлено, что первоначальная температура печи должна быть не менее 700—800°, причем через час температура должна быть поднята до 800—850° и выдерживаться в течение 3 часов; затем температура равномерно снижается по 30° в час и доводится до 40—60°, после чего литье может быть выгружено. В результате отжиг продолжается в течение 30 час. (подъем температуры 1 час, выдержка 3 часа и охлаждение 26 час.). Изделия после выемки из печи поступают на обдирочно-шлифовальные станки для очистки, а затем на склад готовых изделий.

Для получения изделий достаточной прочности иногда возможно и не применять обжигательных печей и подогрева форм, а получать литье используя тепло самой расплавленной массы шлаков. Такой опыт был произведен со шлаками, получаемыми от электропечей. Выпуск металла из электропечи производится в ковшах, куда сливается и шлак. После разливки металла по изложницам оставшийся шлак в ковше был вылит в металлические формы. Для медленного остывания отливки были засыпаны формовочной землей, чем достигалась постепенность остывания шлака. Хотя эти опыты носили кустарный характер и не дали точных экспериментальных данных, однако получение литых изделий указанным несложным путем свидетельствует о возможности получения такого литья и о необходимости научно-исследовательской проработки этого вопроса.

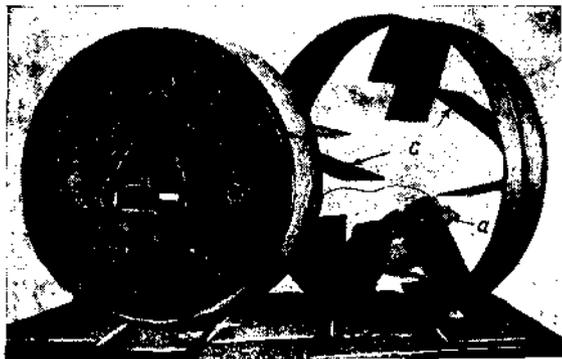
Ниже приведены результаты производства таких отливок, полученных на заводе Ростсельмаш, где научным работником этого завода тов. Звигиным литье шлаки от электропечей были применены в качестве груза для хедера (фиг. 39) комбайнов, при этом разница в удельном весе чугуна и шлака компенсировалась соответствующим увеличением объема шлакового груза, что с конструктивной стороны вполне возможно.

Самый способ изготовления отливок заключается в следующем. Из отходов черного листового железа толщиной 1,5—2 мм сваривались ободки



Фиг. 39 Отливки противовесов из шлаков от электропечей для хедера комбайнов (на заводе Ростсельмаш).

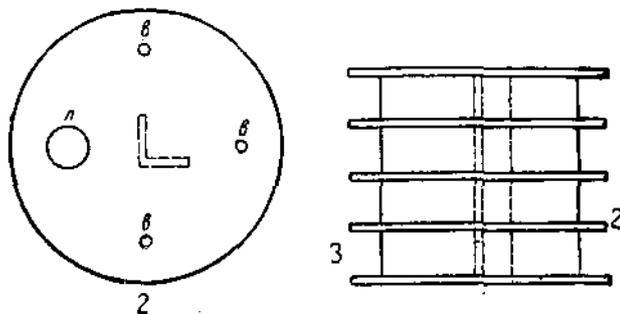
диаметром 410 мм и высотой 90 мм. Внутри ободка приваривались тонкие железные скобки. Ободки служили одновременно и формой и предохранителями от разрушения отливок в случае удара друг о друга. Для этой цели служила и арматура, состоящая из маленьких обрезков железа, проволоки, сетки и пр., которая закладывалась в ободок до заливки его шлаком (фиг. 40).



Фиг. 40. Готовая отливка и ободок с железными скобками (с) и арматура (а), куски железа и проволоки.

Получение отверстия таврового сечения достигалось применением земляной нишки. Формовка заменяется следующими операциями. Кладется чугуная плита 1 (фиг. 41), которая отличается от плиты 2 тем, что не имеет дырок для литника и выпора « (для выхода пара и газа); на плиту 1 кладется ободок 3, затем ставится нишка. Внутри ободка насыпается арматура (обрезки железной проволоки и пр.) примерно около 0,3 м, после чего этот ободок накрывается плитой 2.

Таким образом составляется колонка из четырех-пяти ободков. При этом отверстия для литника должны быть на одной прямой на всех плитах.



Фиг. 41. Схема формовка протизавеса.

После заливки шлака в формы последние засыпались на 6 час. отработавшей формовочной землей, чем достигалось постепенное охлаждение литья.

Необходимо указать, что в качестве арматуры нельзя применять оцинкованного железа, так как цинк горит при 700°, при этом продукты горения делают шлак пузырчатым, легким и непрочным.

При производстве указанного литья применялся шлак следующего химического состава: 58,37—60,64% SiO_2 , 4,18—12,56% CaO , 8,15—16,44% Fe_2O_3 , 6,63—17,56% MnO , 0,20—1,10% MgO , 2,52—11,64% Al_2O_3 . Указанный химический состав характеризует весьма кислую природу этих

шлаков, при этом большое содержание кремнезема и среднее содержание глинозема делало шлаковое стекло «длинным». Данные опытов свидетельствуют о том, что литье из таких шлаков возможно производить и в песчаных формах, а земляную шихту можно заменить металлической постоянной. Использование шлаков для контргрузов комбайнов позволяет сэкономить для каждого комбайна 175 кг чугуна, так как все пять чугунных грузов, обычно имеющих на комбайнах, можно заменить шлаковыми отливками.

Использование ваграночных шлаков

Практика использования ваграночных шлаков в промышленности строительных материалов показала, что ваграночные шлаки как в гранулированном, так и в негранулированном виде благодаря ярко выраженной кислой своей природе почти не обладают вяжущими свойствами.

Ниже в табл. 45 приводятся результаты испытаний ваграночных шлаков следующего химического состава (в процентах):

Нерастворимые остатки	61,4
Оксидов типа R_2O_3	11,5
MnO	1,57
CaO	16,43
MgO	1,57

Испытывался шлак, просеянный через сито 0,15 мм.

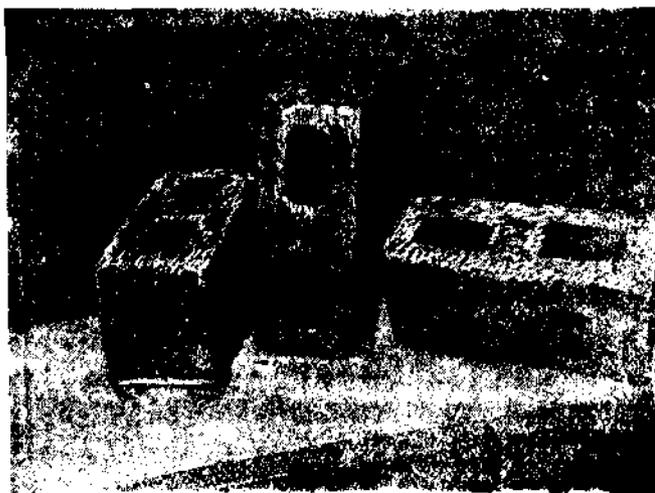
Таблица 45

Состав смеси	Сопротивление сжатию в $кг/см^2$ через		Вес кубика (7,07 × 7,07 см) в 2 дня		Количество воды для загусте- ния %	Примечание
	14 дней	28 дней	14 дней	28 дней		
Чистый шлак	1,50	2,20	663	663	17,5	Хранив- шийся во влажной атмосфере
Шлак и нормальный воль- ский песок (1:1)	2,15	2,35	725	710	10,0	
Шлак + трепел + вольский песок (4:1:15)	2,15	2,60	720	715	9,0	»
Шлак + цемент + вольский песок (4:1:15)	27,1	38,1	735	737	8,5	»

Цемент при этих испытаниях применялся портландский с активностью $R_7 = 148$ кг/см, $R_{28} = 185$ кг/см². Трепел применялся просеянный через сито с отверстиями 0,15 мм и состав его был следующий: 75,62% SiO_2 , 14,75% оксидов типа R_2O_3 , 0,76% CaO , 0,23% MgO , 0,68% SO_2 , 4,88% влаги гигроскопической, 3,82% потерь при прокаливании.

Как видно из приведенных данных, прибавка трепела незначительно увеличила прочность, показав через 28 дней сопротивление сжатию равным 2,6 кг/см² (несколько более благоприятное действие оказывает добавка цемента к смеси шлака с песком). Сопротивление сжатию воз-

растает примерно раз в десять по сравнению с сопротивлением сжатию смеси № 3. Изготовленные пустотелые камни размером $70 \times 35 \times 22$ см по рецепту 1:1:3:8 (портландцемент, известковое тесто, ваграночный молотый шлак, паровозный шлак (кусковой) обладали сопротивлением сжатию $R_{сж} = 14 \text{ кг/см}^2$ (фиг. 42). Запарка под давлением в некоторых смесях дает повышенные показатели прочности. Изготовленные два образца из ваграночного шлака, известкового теста и песка в соотношении: 1) 1;1:6¹, 2) 1:1:8 имели первый $R_{сж} = 12,4 \text{ кг/см}^2$ и второй $R_{сж} = 14,06 \text{ кг/см}^2$. При запарке под давлением первый образец имел $R = 30,4 \text{ кг/см}^2$ и второй $R = 40,1 \text{ кг/см}^2$.



Фиг. 42. Пустотелые камни, изготовленные из ваграночных (молотых) шлаков.

Таким образом мы видим, что ваграночные шлаки обладают незначительными гидравлическими свойствами и не могут быть использованы как самостоятельно вяжущий материал. Однако кислая природа ваграночных шлаков указывает на их устойчивость в смысле дальнейшего распада, что дает возможность использовать эти шлаки в качестве надежного наполнителя при изготовлении различных бетонов. Наиболее эффективные результаты должен дать гранулированный ваграночный шлак, так как при грануляции легко отделяется вкрапленный в шлак металл, зорно получается чистым, аморфным и более легкого веса, что обеспечивает получение бетонов со значительно меньшим весом.

Для более полного освещения вопроса об использовании ваграночных шлаков необходимо остановиться на применении отвальных ваграночных шлаков, засоренных отработанной формовочной землей. Ваграночные шлаки, отправляемые в отвал, зачастую там же засоряются отработанной формовочной землей. Правда, по причинам чисто экономического характера все литейные стараются использовать как можно больше старой земли, применявая к ней некоторое количество свежей, но все же значительная часть отработанной формовочной земли идет в отвалы.

¹ Первый образец в условиях естественного затвердевания.

Опытное производство по использованию ваграночных шлаков с формовочной землей было осуществлено в Ленинграде трестом «Ленлитмех», где были изготовлены небольшие опытные кубики размером $7 \times 7 \times 7$ см и большие кубы размером $20 \times 20 \times 20$ см. Для последних применялся ваграночный шлак в виде щебенки с зернами, проходящими через сито 20 мм и для первых — через сито 10 мм.

Образцы были изготовлены ручным трамбованием.

Для этих опытов был взят ваграночный шлак из отвала следующего химического состава: 35,95% SiO_2 , 5,40% Fe_2O_3 , 13,5% Al_2O_3 , 12,95% MnO , 28,26% CaO , 1,89% P_2O_5 , 1,49% MgO , 0,4% S .

Средний химический состав отработанной формовочной земли был: 80,20% SiO_2 , 5,04% CaO , 8,50% окислов типа R_2O_3 , 6,30% органических веществ.

Физические свойства материалов приведены в табл. 46.

Таблица 46

Наименование материала	Объемный вес рыхлого сухого	Удельный вес	Объем пустот в %
Ваграночный шлак с зернами 10 мм	1,47	16	2,76
» » » » 20 »	1,60	12	2,76
Формовочная земля	1,43	12	2,44

Опыты по испытанию на прочность различных растворов на базе формовочной земли показали, что последняя может с успехом заменить собой в портландцементных растворах песок, а следовательно, может быть применена в бетонах.

В табл. 47 и 48 приведены результаты испытаний на прочность бетонов на портландцементе, формовочной земле и ваграночных шлаках.

Таблица 47

Свойства бетона	Рецептура						Примечание
	1:4:5:9	1:6:9	1:8:9	1:11:16	1:15:11	1:15:20	
Сопротивление сжатию, кг/см ²							
Через 7 дней	40	625	47	29	24	26	Нормальное трамбование
» 28 »	99	78	765	56	43	41	
Объемный вес	2,27	2,47	2,41	2,41	2,55	2,50	
Расход цемента, кг на 1 м ³	165	153	140	90	90	67	

Из данных табл. 47 и 48 видно, что бетон на ваграночных шлаках и из формовочной земли на основе портландцемента является вполне пригодным материалом для искусственных камней, причем для несущих конструкций с сопротивлением сжатию до 10 кг/см² можно применять состав 1:11:16 с расходом цемента 90 кг на 1 м³ бетона, применяя нормальное трамбование, и состав 1:6:9 при ручном трамбовании и расходе цемента в 146 кг на 1 м³ бетона.

Свойства бетона	Рецептура						Примечание
	1:6:9	1:4,5:9	1:4,5:12	1:7:16	1:11:16	1:15:20	
Сопротивление сжатию, кг/см^2							
Через 7 дней	28,8	28,7	21,2	11	13,2	7,5	Ручное грамбо- вание
» 28 »	56,8	54,5	43,5	23,5	22	15,5	
Объемный вес	2,32	2,29	2,28	2,32	2,30	2,30	
Расход цемента, кг на 1 м^3	146	141	127	86,5	80,8	5,7	

Для несущих конструкций стен можно применять состав 1:15:20 при расходе цемента в 57 кг на 1 м^3 бетона,

Составы указаны по объемному весу, причем формовочная земля взята естественной влажности в 8%, и объемным весом $0,99 \text{ т/м}^3$. Для подсчета состава с формовочной землей в сухом состоянии надо учесть переводной коэффициент 1,56, например состав 1:11:16 при переводе на сухую формовочную землю будет 1:7:16.

«Бетонит» (Москва) успешно применяет отвальные ваграночные шлаки, засоренные отработанной формовочной землей. Химический состав этих шлаков следующий: 49% SiO_2 , 17—21% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, 26—30% CaO , 3,5% MnO и 0,1% MgO .

Объемный вес шлаков от 1,9 до 2,5 в зависимости от примеси грунта, объемный вес формовочной земли от 1 до 1,3. «Бетонит» применяет ваграночный шлак для изготовления теплобетонных камней с объемным весом 1400—1500 кг/м^3 по рецепту 1:2:6 (портландцемент: молотый шлак: крупные фракции). При использовании формовочной земли рецептура камней 1:2:2:4 (цемент: формовочный песок: ваграночный шлак: паровозный шлак). Мелочь от отсева на фракции используется как теплый песок для теплых растворов и штукатурок.

Приведенные данные указывают, что отвальные ваграночные шлаки можно использовать только после испытания их физико-химических свойств, так как каждый отвал имеет свои отличительные признаки.

Применение в дорожном строительстве. Использование ваграночного шлака для дорожного строительства было осуществлено на опытных участках Ленинградского шоссе в Москве Исследовательской станцией Мособлдортранса, где применялся холодный мелкозернистый асфальт по типу Даммана. Состав смеси был следующий (в процентах):

Шлаковая мелочь с зернами 4,0 мм	100
Битум № 1 + 25—30% креозотового масла	7

Пронитка с битумной эмульсией. Состав смеси был следующий (в процентах):

Шлаковый щебень 50—25 мм	70
Шлаковая мелочь 25—12 »	10
» » 12—3 »	20
	100
Битумной эмульсии с содержанием 52% битума	9 (от веса шлака)

Смешение на месте с битумной эмульсией. Состав смеси был следующий (в процентах):

Шлаковый щебень 50—25 мм	70
Шлаковая мелочь 25—12 »	15
» » 12—3 »	15
	100

Битумной эмульсии 6 (от веса шлака)

Применяемый шлак имел следующую характеристику:

- 1) химический состав: 49,5% SiO_2 , 21,5% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, 25,5% CaO и 3,5% MnO ;
- 2) сопротивление сжатию 864—1223 кг/см^2 ;
- 3) износ в барабане Деваля 5,2%;
- 4) число ударов на копре Педжа 9,12;
- 5) водопоглощение 3,3% по весу;
- 6) кажущийся удельный вес 3,46 кг/см^3 .

Первый опытный участок с холодным асфальтом по типу Даммана построен в 1931 г. и до настоящего времени находится в удовлетворительном состоянии. Два участка с эмульсией построены в 1932 г. и также до настоящего времени находятся в удовлетворительном состоянии.

Грузонапряженность на этих участках выражается до 1400 т брутто в сутки. Практика применения ваграночных шлаков для дорожного строительства показывает полную возможность эффективного использования их на эти нужды. Однако каждый шлак должен быть предварительно подвергнут испытанию в смысле физико-механических его свойств.

Баланс ваграночных шлаков

Количество ваграночных шлаков, получаемых в результате переплавки литейных чугунов в вагранках, обычно не превышает 10% от веса чугуна. Ваграночных шлаков во второй пятилетке мы будем иметь следующее количество (табл. 49):

Таблица 49

1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
тыс. т				
142	131	148	160	183

В табл. 50 указано распределение шлаков по главным районам.

Таблица 50

Р а й о н	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
	тыс. т				
Донбасс	22	22	23	25	27
Южный	40	40	41	49	52
Центральный	60	49	60	66	73
Восточный	20	20	24	25	31

В Южный район вошли заводы Приднепровья и Приазовья. В Центральный район вошли заводы Московской области, Горьковского края, Иваново-Вознесенской области, а также Северо-Западной области. В Восточный район вошли заводы Средневолжского и Нижневолжского края, а также Уральской области.

Количество отвальных ваграночных шлаков на 1/1 1934 г. составляло: в Южном районе около 60 тыс. т, в Восточном около 10 тыс. т и в Центральном около 180 тыс. т.

Приведенные в табл. 50 данные о выходе свежих ваграночных шлаков указывают, что наибольшее количество падает на Центральный район и наименьшее на Донбасс. Отвальные шлаки заводов Донбасса (вследствие незначительности выхода их по каждому заводу) обычно так засорены, что не могут быть приняты во внимание при подсчетах.

Наиболее чистые по продукции ваграночные шлаки получаются на заводах Московской, Северо-Западной областей и Горьковского края. В Южном районе только заводы Харьковский тракторный и Ростсельмаш имеют шлаки с незначительной засоренностью.

В Восточном районе значительная часть отвальных шлаков получается на Сталинградском тракторном заводе, причем наличие небольших запасов в отвалах объясняется грануляцией шлаков и использованием их в промышленности строительных материалов.

Размеры использования ваграночных шлаков крайне ничтожны, и по данным на 1933 г. использование в промышленности строительных материалов наблюдалось лишь в Центральном районе в размере около 60 тыс. т и в Восточном районе около 5 тыс. т.

Практика использования ваграночных шлаков в качестве заполнителя при бетонном производстве, а также развитие научно-исследовательской работы по применению этих шлаков на различное литье, получение из этих шлаков шлаковой ваты и пр. открывают пути использования этих шлаков, и надо полагать, что в период второй пятилетки использование ваграночных шлаков будет полностью освоено, в особенности на тех заводах, где годовой выход этих шлаков исчисляется в тысячах тонн и где отсутствуют другие виды шлаков.

Глава III
ТОПЛИВНЫЕ ШЛАКИ
КОТЕЛЬНЫЕ ШЛАКИ

Природа

В результате сгорания в котельных установках минерального или минерализованного топлива получаются неметаллические продукты, называемые котельными шлаками.

В конечном продукте сгоревшего топлива различают следующие части:
1) шлак — спекшиеся ноздревато-пористые или твердоостеклованные легкие куски, имеющие порой довольно большие размеры;

2) зола — неорганический остаток после полного сгорания топлива, имеющий вид рыхлого, мягкого вещества различного состава, вида и цвета в зависимости от количества попавших в него несгоревших мелких частичек минерального топлива и провалившихся через решетку кусочков топлива;

3) провал — более крупные чем зола кусочки несгоревшего угля и кокса, провалившиеся в зольник;

4) унос — рыхлая, мягкая порошкообразная масса, осаждающаяся в особых камерах или увлекаемая тягой трубы в воздух.

Очень часто шлаки и зола выгружаются из топки в одно место. Смесь их обычно называют гарью, ожигой, изгарью и т. п.

Различные свойства топлива и разный режим топок обуславливают весьма разнообразный химический состав конечного продукта. Поэтому при использовании котельного шлака, в особенности при доставке его на место производства, от различных котельных установок требуется весьма тщательный технический контроль этих шлаков. В табл. 51 приведен химический состав котельных шлаков, получаемых при различных углях.

Таблица 51

Сорт угля	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	SO ₂
Донецкий антрацит марки Ап, Ак, АО и АМ	29,0—47,0	0,9—9,0	9,0—32,0	10,0—38,0	0,54—2,43	0,48—6,7
Подмосковный уголь марки МеО и К	33,5—54,8	0,6—5,3	27,7—46,4	2,43—24,0	0,4—1,2	0,13—2,6
Челябинский уголь марки АО	30,0—48,8	3,0—5,0	14,0—51,0	11,0—16,0	0,4—2,7	0—1,5
Бурый уголь Центрального района	52,0—58,6	2,0—7,75	2,00—3,30	29,3—38,5	0,04—1,5	0,14—3,70

Химический состав шлаков крайне пестрый. Малое содержание основных окислов в котельных шлаках указывает на их кислую природу, что предопределяет и пути их использования.

Как в нашей, так и в иностранной литературе много писалось о пороках котельных шлаков. Следует лишь, подводя итоги, указать, что при выборе того или иного шлака приходится иногда считаться с наличием вкрапленных в шлак зерен свободной извести. Обычно в случае недожога или пережога этих известковых частиц процесс гашения может проявиться в готовых изделиях и вызвать их разрушение. При нормальном обжиге известковые вкрапления успевают погаситься, и они в этом случае безвредны.

При несовершенных топках часто наблюдается присутствие несгоревших частиц угля. Последние различными способами могут быть удалены из шлака. Обычно это делается с целью возвращения частицы топлива, так как наличие каменного угля — продукта законченного процесса обугливания древесины — не нарушает прочности изготавливаемых изделий.

Бурые угли по своей природе менее устойчивы. Щелочная среда вяжущего действует разрушающе на них, что в результате вызывает непрочность изготовленных изделий. Наличие окислов железа в котельных шлаках иногда вызывает образование ржавчины на арматуре, а промывка водой этих шлаков уменьшает активность железа.

В Америке были применены котельные шлаки на подсыпку в железнодорожном полотне. Оказалось, что шлаки до промывки водой вызывали ржавчину на рельсах, после промывки ржавчина не наблюдалась.

По данным проф. Михайлова¹ наличие в котельных шлаках соединений серы может повести к разрыхлению бетона путем образования гипса, а в цементных бетонах также сульфатами кальция, или так называемой цементной баццаллы.

По данным того же автора, д-р-инж. Питке рекомендует ограничивать в шлаках, применяемых для бетонов, изготовленных с порландцементом, содержание гипса 1% и растворимых сульфатов 0,2%. По данным американского исследователя Ли, содержание CaSO_4 можно доводить до 1,7%, а растворимых сульфатов до 0,4%. Таким образом при выборе котельных шлаков для использования их в промышленности строительных материалов рекомендуется применять шлаки с пониженным содержанием в них сернистых соединений.

Обработка и использование

Котельные шлаки в промышленности строительных материалов давно уже заняли прочное место. Некоторые котельные шлаки, например Челябинские, содержат большое количество глинозема, достигающего иногда до 50%. Это послужило основанием для изучения вопроса об обработке шлаков для выделения из них глинозема, а из него алюминия. В настоящее время единственным сырьем в Советском союзе, содержащим большое количество глинозема, являются бокситы.

Наши сырьевые запасы бокситов при все возрастающем потреблении алюминия недостаточны. Разрешение проблемы получения глинозема из котельных шлаков является для СССР особо важным.

¹ См. проф. Михайлов Р. М., Железные бетоны, 1932.

Проф. М. К. Шматько в настоящее время уже заканчивает исследовательские работы по обработке золы котельных шлаков с целью выделения из них глинозема. Характерной особенностью щелочного способа проф. Шматько является брикетирование шихты, создающее хорошие условия для спекания и улучшающее реактивную способность компонентов шихты, в результате чего увеличивается выход глинозема. Весь процесс заключается примерно в следующем:

1) зола в смеси с мелом и содой брикетуется и обжигается в печах при 900—950°;

2) образовавшийся плав из металлюмината натрия и моносилката кальция измельчается и идет на выщелачивание холодной водой;

3) отделенный от шлама и подогретый до 65—70° алюминат натрия подвергается карбонизации, в результате чего и получается гидрат алюминия;

4) после карбонизации полученный гидрат прокаливается, в результате чего получается глинозем.

Окончательных выводов по указанному способу выделения глинозема из шлаков еще не имеется, но данные опытов указывают на полную возможность выделения глинозема из шлаков до 87%, что в основном разрешает проблему получения новых источников сырья для производства металлического алюминия.

Обработка котельных шлаков для использования их в промышленности строительных материалов не сложна. Обычный процесс производства, например, цементно-шлаковых камней на базе котельных шлаков следующий.

На грависортировках отделяется и смачивается фракция котельных шлаков крупностью от 6 до 30 мм, затем отсортированный шлак и цемент отмеривают лещиками, загружают в бетономешалки и перемешанную массу загружают в формы. Формы обычно деревянные, раздвижные и откидные, обитые железом, на три камня.

Трамбуют двумя-тремя слоями ручными трамбовками в формах на земле. Освобожденные камни на поддоне переносят на площадку, покрывают рогожей и поливают водой пять-шесть раз в день в продолжение 5 дней, на 6-й день камни складывают в штабеля высотой в шесть рядов, где они вылеживаются в течение 20—25 дней.

Механическая прочность искусственных камней различна и зависит от состава материала и рецептуры, применяемой при производстве камней. Например «Килгражданстрой» (Ленинград) применяет котельный шлак для шлаковых камней и термоблоков при использовании котельного шлака среднего химического состава. Камни размером 40×19,5×19,5 см, состоящие из 1 части цемента по объему и 3 частей шлака обладали сопротивлением сжатию через 20 дней 61—68 кг/см².

Термоблоки, изготовленные из 0,4 части цемента + 1 части шлакового теста + 1,5 части шихтоффа (отход от производства серноокислого глинозема) + 3 части мелкого шлака + 5 частей крупного шлака обладали сопротивлением сжатию через 30 дней 25—60 кг/см², их объемный вес около 1500 кг/м³.

Широкое применение котельный шлак получил и при изготовлении различных растворов. Раствор, состоящий из 1 части цемента, 4 частей песка и 6 частей котельного шлака, через 28 дней обладал сопротивлением сжатию в среднем 37—40 кг/см². Шлак применялся круп-

ностью от 5 до 25 мм, содержание серы в шлаках составляло от 0,6 до 2,0%.

Котельные шлаки эффективно применяются и в качестве подстилки под шоссейную настилку, под асфальт на мостовых, а также для изготовления половых плиток. В последнем случае котельный шлак предварительно высушивается, отсеивается от золы и размалывается в порошок. Оптимальная рецептура для шлаковых плиток следующая.

Шлак котельный размолотый	17	весовых частей
Древесные опилки (просеяно через сито 1 мм)	10	» »
Магнесит	21	» »
Хлористый магниевый кристаллический	9	» »
Вода	11	» »
Крочка	1,5	» »

По указанной рецептуре всю массу тщательно перемешивают и набивают в желаемые формы, затем разглаживают гладилками и дают слегка затвердеть; через 4—6 час. в зависимости от температуры окружающего воздуха плитки полируют слабым раствором хлористого магния, после чего ставят на сутки для сушки. Через сутки плитки выбивают из формы, заглаживают крошки и прочие неровности и ставят на вторую сушку в продолжение 10—14 дней, при этом держат температуру 15°. После указанного срока плитки выходят совершенно затвердевшими с достаточной механической прочностью, обеспечивающей применение их при настилке полов.

Опыты по обогащению шлаков большой зольности от подмосковных углей показали возможность при наличии известковых баз получать изольцемент.

Для насыщения золы известью к сухому подмосковному углю производилась равномерная добавка дробленого сырого известняка в количестве 20—22% от веса угля.

Добавление известняка в указанном количестве не ухудшало теплового режима топки. Несколько увеличилось прилипание золы к задней стенке топки и в углах, но характер золы изменился: шлак на стенках был очень рыхлый, сыпучий, несплавленный, легко сдувался со стенок воздухом и рассыпался в порошок. Результаты химического анализа образцов обогащенной шлаковой золы показали увеличение содержания извести, так, до обогащения содержания извести было от 3 до 4%, после обогащения от 16,0 до 18,80%.

Однако даже при указанном повышенном содержании извести модуль основности получался 0,2, что, конечно, было недостаточно для гидравлическости вещества и побудило продолжать опыты по обогащению этих шлаков с целью получить в них не менее 60% CaO. Такой процент извести в шлаковой золе вполне обеспечит получение из них изольцементов и даст возможность рассматривать топку, как обжигательную печь для получения вяжущего материала.

Следует отметить, что получение изольцементов из шлаков от электростанций Каширы, Бобринки, сжигающих ежегодно сотни тысяч тонн подмосковного угля, разрешит вопрос получения вяжущего материала для всего Центрально-Промышленного района нашего Союза.

ТОРФЯНЫЕ ШЛАКИ

Природа

В процессе сжигания в различных топках торфа получаются торфяные шлаки, или, вернее, торфяные золы. Природа торфяной золы зависит от состава сжигаемого торфа. При этом название торфу дается по тому растению, из которого торф образовался. Различают два характерных вида торфа: торфы верховых болот и торфы низинных болот (луговых). Торфообразователями верхних болот служат главным образом сфагновые мхи, а низинных болот — осоки, тростник, хвощи и пр.

Различные образователи торфа дают различную зольность торфа, так, торфообразователи верховых болот дают зольность от 2,4 до 3,7%¹, а низинных болот от 3,0 до 15,9%¹.

Практика использования торфа в топках показывает процент зольности несколько выше, чем приведенный выше, так как в процессе торфодобычи (в особенности при гидравлическом способе) происходит попадание минеральных веществ, увеличивающих зольность торфа.

Приводим два примерных состава торфяной золы, полученной от сжигания торфа на электроцентралях в Белоруссии и Северо-Западной области.

Белоруссия: 26,21% SiO₂, 15,00% FeO, 4,10% Al₂O₃, 41,21% CaO, 5,50% MgO; зольность 26,72%¹.

Ленинградская область: 20,00% SiO₂, 2,00% FeO, 13,74% Al₂O₃, 5,50% CaO, 1,06% MgO, 0,84% SO₂; зольность 5,7%¹.

Приведенные два характерных анализа торфяной золы резко отличаются по своему составу, главным образом в отношении извести и процента зольности. Указанные обстоятельства диктуют необходимость изучить химический состав при разрешении вопроса использования торфяной золы.

Обработка и использование

В связи с развитием потребления торфа в качестве топлива, а с ним и выхода значительных количеств торфяных шлаков, последние с успехом применяются в промышленности строительных материалов как гидравлическая добавка при изготовлении различных бетонов и в качестве наполнителя в бетонных камнях. Из указанного выше состава торфяной золы (Белоруссия) были изготовлены искусственные камни по рецептуре: 7 частей торфяной золы, 1,5 части трепела и 1 часть извести. Размеры камней 38,1 × 18,7 × 19,3 см. Через 28 дней сопротивление камней сжатию равнялось 21,9 кг/см². Объемный вес камней 1380 кг/м³.

В табл. 52 приведены интересные результаты по использованию торфяных шлаков, полученные Ленинградским институтом новых строительных материалов, где были изготовлены бетоны на базе только одной извести и торфяных шлаков Ленинградской области указанного выше химического состава.

Из приведенных в табл. 52 данных видно, как с увеличением дозировки торфяных шлаков возрастает прочность известково-торфяных шла-

¹ Б. Д. Обшкко, Болотоведение.

Состав бетона	Возраст	Способ хранения	Объемный вес кг/м^3	Сопротивление сжатию кг/см^2
	дни			
Известь + 1 часть торфяных шлаков	27	В воде	—	6,0
То же	27	На воздухе	1280	11,0
1 часть извести + 2 части торфяного шлака	29	В воде	—	3,0
То же	29	На воздухе	—	12,0
1 часть извести + 3 части торфяного шлака	27	В воде	—	9,0
То же	27	На воздухе	1350	20,0

ковых бетонов, и при дозировке 1:3 сопротивление сжатию через 27 дней составляло 20 кг/см^2 .

Гидравлические свойства торфяной золы дают возможность применять ее для изготовления зольного цемента.

Еще в 1931 г. в Ленинградском институте сооружений и в Ленинградстрое был поставлен вопрос об использовании торфяной золы как гидравлической добавки, при этом торфяная зола была взята следующего химического состава: 47,0% SiO_2 , 10,0% Al_2O_3 , 15,0% FeO , 10% CaO , 1,88% MgO , 1,22% SO_2 . После тонкого размолла через сито 4900 отв/см^2 при рецентуре 60% извести + 40% торфяной золы раствор обладал через 28 дней сопротивлением сжатию 60 кг/см^2 , а разрыву 11 кг/см^2 . Через 3 месяца сопротивление сжатию составляло 120—150 кг/см^2 и разрыву около 30 кг/см^2 .

Эти растворы были испытаны также и на выветривание и замораживание. Во всех случаях они показали большое постоянство. Аналогичные работы были проведены Мосстройтрестом с торфяной золой, полученной от Шатурской электростанции, результаты были те же.

Таким образом следует признать, что торфяная зола является активной гидравлической добавкой с показателями, имеющими очень небольшую амплитуду колебаний.

СЛАНЦЕВАЯ ЗОЛА

Природа

При сжигании горючего сланца в котельных топках получается сланцевая зола. Горючие сланцы широко распространены на территории Советского союза. Они встречаются главным образом на Волге, в Сибири и Северо-Западной области.

Бурный рост нашего строительства поставил перед энергетической промышленностью такие колоссальные задачи, что пользоваться привозным топливом в силу загруженности транспорта становится невозможным, совершенно необходимо пользоваться местным топливом, каковым и являются горючие сланцы.

Горючими сланцами обычно называют глинистую или известково-глинистую породу, раскалывающуюся на тонкие листочки и плитки, в сухом виде легко загорающиеся даже от спички и горящие копящим пламенем

с более или менее резким запахом. Способность горючих сланцев легко загораться объясняется тем, что минеральная часть породы (глина, известь, мергель и т. п.) в той или иной степени пропитана битумами, образовавшимися от разложившихся растительных и животных микроорганизмов. Минеральная часть сланца в зависимости от месторождения бывает различна, и, следовательно, при сжигании получаются и различные по своему составу золы. Зольность в горючих сланцах достигает 50—60%. Химический состав сланцевой золы в зависимости от месторождения приведен в табл. 53.

Таблица 53

Компоненты	Словянке сланцы				Веймарские сланцы			Каштрские сланцы	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	36,7	40,0	34,3	37,2	32,5	30,4	40,9	38,5	35,7
R ₂ O ₃	27,5	22,4	23,0	22,7	19,2	14,1	20,4	17,1	21,6
CaO	22,2	29,0	34,9	30,6	35,2	38,3	23,8	27,0	26,2
MgO	Следы	0,6	0,4	0,5	2,7	0,03	0,20	1,5	2,5
SO ₂	11,0	4,6	4,5	8,2	6,3	3,8	10,6	9,8	10,6
Щелочи	—	—	—	1,03	1,02	0,2	—	3,6	—

Из приведенных анализов видно, что состав сланцев даже одного и того же месторождения сильно колеблется.

Химический анализ золы сам по себе еще не дает возможности судить об ее пригодности для той или иной отрасли в строительстве, так как в ряде случаев при одинаковом химическом составе получают различные по своему свойству золы. Это объясняется тем, что, с одной стороны, сланцевая зола оказалась недостаточно прожжена и потери при прокаливании различны (от 1,5 до 16%), с другой стороны, в золе сохранилось большое количество негорючего угля, изменяющее свойства золы. Горючие сланцы имеют большое количество вкрапленных известняков, которые порой не обжигаются нацело, а если и обжигаются, то известняка в золе такое количество, что последняя не может войти с ним в соединение.

Обработка и использование

Зола образуется обычно при 950—1200°, т. е. включенные в сланцевую породу соединения кальция, кремния, алюминия и пр. претерпевают диссоциацию с возможным переходом в активное состояние. Вследствие этого зола, как средство для образования строительных материалов, может явиться активно действующим веществом, находящим себе в строительстве самое разнообразное применение.

Результаты научно-исследовательских работ, проводимых в СССР по определению свойств сланцевой золы различных месторождений, и практика применения сланцевой золы за границей указывают, что сланцевая зола во всех видах безусловно является эффективным сырьем в промышленности строительных материалов. Сланцевая зола сама по себе является хорошим гидравлическим вяжущим веществом, причем по своим свойствам близка к портландцементу как в отношении консистенции, так и сроков начала и конца схватывания.

Использование золы горючих сланцев для цементного производства в Эстонии началось еще 15 лет назад и составляло в 1918 г. около 12%, в 1928 г. 26%, и в 1930 г. 65% всей полученной золы.

В Советском союзе была использована зола горючих сланцев Веймарского месторождения, которая обладала вяжущими свойствами. Химический состав этой золы следующий: 30,41% SiO₂, 14,14% R₂O₃, 38,36% CaO, 0,08% MgO, 3,78% SO₃, 11,30% потеря при прокаливании.

Будучи тонко измельчена, указанная зола после замешивания с водой давала начало схватывания через 40 мин. и конец схватывания через 1 ч. 35 м. Испытание на прочность при растяжении дало следующий результат:

1) для образцов без песка сопротивление сжатию через 7 дней — 11,7 кг/см², через 28 дней — 15,5, через 3 месяца — 23,5 и через 6 месяцев — 29 кг/см²;

2) для образцов с песком (1:3) через 7 дней — 6—7 кг/см², через 28 дней — 12,3, через 3 месяца — 22 и через 6 месяцев — 25,3 кг/см².

Интересно отметить, что в процессе опытов обнаружилась зависимость механических свойств золы от температуры сжигания сланца, причем чем выше была температура, при которой получалась зола, тем выше были показатели прочности испытуемых образцов.

Механические и физические свойства сланцевой золы, полученной из вторых и третьих пластов того же Веймарского месторождения, определенные Ленинградским институтом сооружений под руководством проф. Кюнда, приведены в табл. 54.

Из приведенных данных видно, что испытанные золы оказались близкими по свойствам к портландцементу в отношении как нормальной консистенции, так и сроков начала и конца схватывания.

Что касается постоянства объема, то на результаты оказали влияние различные условия обжига сланцев. Показатели на растяжении как чистого теста, так и раствора с песком свидетельствуют о том, что сланцевые золы обладают большой прочностью.

Рядом опытов в Волжском научно-исследовательском институте сооружений установлено, что сланцевая зола каширского сланца, полученная при температуре сжигания от 950 до 1050°, обладает вполне выраженными вяжущими свойствами и стали изготовлять сланцевольный кирпич в заводском масштабе в районе Средней Волги.

Для изготовления кирпича применялась зола следующего химического состава: 40,90% SiO₂, 23,84% CaO, 0,20% MgO, 20,49% R₂O₃, 10,69% SO₃, 33% потеря при прокаливании.

Объемный вес 0,75, удельный вес — 2,23.

Помол золы производился на шаровой мельнице. Кроме того часть золы пропускалась через дробилку Клеро.

Ситовой анализ после помола на Клеро (в процентах):

Остаток на сите 3 мм	3,75
» » » 2 »	10,75
» 64 отв/см ²	25,5
» 144 »	11,75
» 225 »	24
» 300 »	5
Прямко через сито 900	10

Таблица 54

Механические и физические свойства	З о л а					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Нормальная консистенция:						
1:0	25,5	35,0	30,0	29,0	36,25	32,5
1:3	8,5	10,0	9,0	8,75	10,75	8,75
Схватывание:						
Начало	2 ч. 30 м.	0 ч. 53 м.	0 ч. 40 м.	8 час.	2 час.	1 ч. 30 м.
Конец	3 » 05 »	3 » — »	2 » 25 »	17 »	6 ч. 16 м.	5 » 05 »
Постоянство объема:						
При нагревании	Выдерж.	Не выдер.	Выдерж.	Не выдер.	Выдерж.	Выдерж.
» кипячении	»	»	»	»	Не выдер.	»
В воде	»	Выдерж.				
Помол:						
Остаток на сите 900 <i>отв/см²</i>	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
» 4 900 »	13,6	7,2	4,1	11,2	14,5	5,6
» 10 000 »	14,2	8,1	3,1	5,8	8,0	7,9
Сопротивление растяжению, <i>кг/см²</i> :						
1:0 через 7 дней	2,4	21,5	—	—	—	7,9
1:0 » 28 »	4,2	27,0	—	—	—	24,8
1:0 » 3 месяца	15,0	27,8	—	—	—	—
1:3 » 7 дней	1,6	16,8	—	—	6,3	9,9
1:3 » 28 »	3,7	34,0	—	—	10,8	12,9
1:3 » 3 месяца	7,4	27,9	—	—	15,0	19,9
Сопротивление сжатию, <i>кг/см²</i> :						
1:0 через 7 дней	8,8	129,0	—	—	—	—
1:0 » 28 »	47,0	196,0	—	—	—	—
1:0 » 3 месяца	113,0	229,0	—	—	—	—
1:3 » 7 дней	6,5	105,0	69,0	4,0	29,0	47,0
1:3 » 28 »	9,0	161,0	114,0	12,0	66,0	94,0
1:3 » 3 месяца	31,0	218,0	176,0	27,0	114,0	150,0
Удельный вес	2,87	2,69	2,73	2,84	3,71	2,65

Для массы брались 4 части золы тонкого помола и 1 часть (по объему) грубого. Зола перелоначивалась, как при приготовлении бетона. Влажность массы была 15—16%. Запарка кирпичей производилась под давлением от 0,5 до 2 ат в течение 1 ч. 30 мин. В результате сланцевые кирпичи дали следующие показатели (табл. 55):

Таблица 55

Панелью или кирпича	Сопротивление сжатию через 7 дней	Объемный вес	Сопротивление сжатию через 14 дней	Объемный вес	Сопротивление сжатию через 28 дней	Объемный вес	Водопоглощение %	Толщина стен по формуле проф. Неврасова
	кг/см ²		кг/см ²		кг/см ²			
С усиленным прессованием (глубина штамповки 100—102 мм)	95,9	1,48	99	1,40	110	1,40	18,3	0,51
С нормальным прессованием (глубина штамповки 87—89 мм)	72	1,38	74	1,25	72	1,24	23,1	0,45

При испытании на морозостойкость кирпич, изготовленный при увеличенном давлении, выдержал 9-кратное замораживание без всяких дефектов, что свидетельствует о его полной пригодности, как материала для кладки стен. Кирпич с нормальным прессованием после второго замораживания показал значительное количество волосных трещин.

Проведенные опыты по получению кирпича из сланцевой золы каширских сланцев показывают, что кирпич получается высокой прочности, полной водостойкости и значительной морозостойкости. Необходимо лишь отметить, что добавка воды для составления массы должны точно регулироваться, так как излишек воды дает слишком мягкую массу, из которой пресс не может формовать кирпич, недостаток воды может вызвать неполный процесс гидратации. Воды в массе должно быть около 14—16%. Особое внимание следует обращать на подбор гранулометрического состава массы, глубину форм, прессы и режим запарки.

Результаты проводимых в настоящее время больших экспериментальных работ по использованию сланцевых зол различных месторождений показывают, что зола сланцев может быть одним только размолом превращена в самостоятельно цементирующий порошок, могущий идти на приготовление строительных растворов для кладки и штукатурки и для бетона.

Огромные залежи горючих сланцев в некоторых областях нашего Союза и развивающееся применение их в качестве топлива на мощных электростанциях могут дать такие запасы эффективной золы, которые не только обеспечат потребность в вяжущем местную промышленность строительных материалов, но которые можно будет перебросить и в другие районы Союза.

БАЛАНС ТОПЛИВНЫХ ШЛАКОВ ПО СССР

По контрольным цифрам добычи топлива во второй пятилетке выход соответствующей товарной продукции топливных шлаков определяется следующими цифрами (табл. 56).

Таблица 56

Род шлаков	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
	тыс. т				
Котельные	5 000	5 600	6 500	7 000	8 000
Торфяные	600	720	840	920	1 040
Сланцевые	300	540	1 200	2 100	3 100
Итого	5 900	6 860	8 540	10 020	12 140

В табл. 56 приведены данные об общем количестве шлаков на электроцентралях, в системе НКПС на транспорте и во всех прочих предприятиях и учреждениях, потребляющих то или иное топливо.

В табл. 57 указано ориентировочно распределение всей массы топливных шлаков по промышленным районам и в наиболее характерных областях нашего Союза.

В табл. 57 Центральный район составляет: Московская область, Горьковский край, Иваново-Вознесенская область и ЦЧО; Северо-Западная область охватывает Ленинградский район и Белоруссию. В Южный район включены Украина, Донбасс, Приднепровье и Приазовье. В Сибирь входят Новосибирский район, Дальневосточный край. В прочие включены южная часть Кавказа и Среднеазиатский район.

Рассматривая табл. 57, нетрудно заметить, что наибольшая масса товарной продукции котельных шлаков падает на Центральный район и главным образом за счет Московской области, составляющей около 75% всей области этого района.

Наименьшую часть котельных шлаков дают Приволжские области, где выход котельных шлаков к концу второй пятилетки составляет по отношению к 1933 г. всего 42,8%, что объясняется переводом значительной части топок на горючие сланцы. По той же причине почти стабилен выход котельных шлаков по Северо-Западной области, причем в этой области к концу второй пятилетки мы будем иметь огромные запасы сланцевой золы, главным образом в Ленинграде и его окрестностях.

Наличие топливных шлаков в отвалах на 1933 г. характеризуется следующими цифрами (табл. 58).

Топливные шлаки, находящиеся в отвалах в Центральном районе, получаются главным образом на электроцентралях Московской области и Москвы, составляющих примерно 60% всего района. По Северному Кавказу отвальные шлаки главным образом сосредоточены у ст. Шахты Северо-Кавказской ж. д.

В Урало-Башкирской области основная масса отвальных шлаков расположена на Челябинской и Егоршинской электростанциях (350 тыс. т), а также у Луньевских рудников (200 тыс. т).

Торфяные отвальные шлаки в Центральном районе сосредоточены в Иваново-Вознесенской области (около 60%) и остальные в Московской области. В Южном районе торфяные шлаки расположены в районе Киевщины. Сланцевые золы главным образом находятся в районе Ленинграда и Самары.

Таблица 57

Район и область	Котельные					Торфяные					Сланцевые				
	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.
	тыс. т														
Центральный	1300	1450	1800	1930	2370	410	485	530	540	610	—	—	—	—	—
Северо-Западная обл.	400	450	460	470	480	100	130	190	250	280	270	480	960	1700	2650
Южный	950	1050	1190	1250	1500	10	15	20	23	30	—	—	—	—	—
Северный Кавказ	200	250	300	350	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Приволжская обл.	350	350	250	200	150	20	25	30	32	40	30	60	240	400	450
Урало-Башкирская обл.	1100	1200	1400	1450	1700	60	65	70	75	80	—	—	—	—	—
Сибирь	350	500	600	750	800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Прочие	300	350	500	550	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Всего	4950	5600	6500	7050	8000	600	720	840	920	1040	300	540	1200	2100	3100

Таблица 58

Район и область	Котельные	Торфяные	Сланцевые
	1933 г.	1933 г.	1933 г.
	тыс. т		
Центральный	450	30	—
Северо-Западная область	250	30	50
Южный	350	10	—
Северный Кавказ	550	—	—
Приволжская обл.	25	—	20
Урало-Башкирская обл.	700	—	—
Всего	2325	120	70

Часть котельных шлаков, как товарная продукция, не поддается учету в силу значительного количества мелких потребителей минерального топлива, выбрасывающих свои шлаки вместе с прочими отходами и мусором. Кроме того часть шлаков от паровозных топок остается распяленной на железнодорожных путях и трудно поддается учету. По данным Всепромутилизации, ведущей работы по учету и распределению топливных шлаков за 1933 г., товарная продукция котельных шлаков составляет около 4 млн. т. Потребление для нужд строительной промышленности за 1933 г. составляло около 2 млн. т. Расход котельных шлаков на дорожное строительство носит случайный характер и составляет не более 1—2% от общего количества. Остальная масса котельных шлаков вывозится в отвалы.

Потребление торфяных шлаков в промышленности строительных материалов составляло в 1933 г. около 200 тыс. т, т. е. около 30% всей товарной продукции этих шлаков за этот год.

Потребление сланцевых шлаков имеет лишь опытный характер.