

РАЗДЕЛ 2.

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЛЕКЦИЯ 8

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИИ



8.1. Шлаки из отходов металлургии.



Шлаки — это продукты высокотемпературного взаимодействия компонентов исходных материалов (топлива, руды, плавней и газовой среды). Шлак — расплав (после затвердевания — стекловидная масса) в металлургических, плавильных процессах, покрывающий поверхность жидкого металла, состоит из всплывших продуктов пустой породы с флюсами. Шлак предохраняет металл от вредного воздействия газовой среды печи, удаляет примеси.

Обычно шлак — побочный продукт или отход от производства металла, после очистки от остатков ценных компонентов (обеднения) отправляемый в отвал.

Хим. состав и структура зависят от:

- *состава пустой породы,*
- *вида выплавляемого металла,*
- *особенностей металлургического процесса,*
- *условий охлаждения и др.*

Шлаки могут быть получены:

- ✓ *без появления расплава при сжигании низкокалорийных видов топлива и при алюмотермических процессах;*
- ✓ *при частичном расплавлении исходных компонентов в процессе сжигания топлива;*
- ✓ *при полном расплавлении исходных компонентов (в большинстве металлургических процессов).*



Металлургические шлаки: *шлаки черной и цветной металлургии.*

Шлаки черной металлургии делят на следующие виды:

- *доменные;*
- *сталеплавильные;*
- *производства ферросплавов;*
- *ваграночные.*

Химический состав доменных шлаков представлен в основном четырьмя оксидами:

- ✓ *CaO (29—30%),*
- ✓ *MgO (0—18%),*
- ✓ *Al₂O₃ (5—23%),*
- ✓ *SiO₂ (30—40%).*



Для шлаков **цветной металлургии** характерны пониженное содержание CaO + MgO (7—13%) и высокое содержание FeO (21—61%). Кроме основных компонентов шлаки цветной металлургии могут содержать в небольших количествах неизвлеченные металлы — медь, цинк, свинец, никель и др.

При оценке шлаков как сырья для строительных материалов важной характеристикой их химического состава является соотношение в них основных и кислотных оксидов — *модуль основности*:

$$M_0 = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3),$$

при $M_0 > 1$ шлаки относятся к основным,

$M_0 < 1$ — к кислым.



При медленном охлаждении шлаков происходит их распад и самопроизвольное превращению кусков шлака в порошок.

Известны **силикатный**, **железистый** и другие виды распада шлаков.

Силикатный распад – следствие полиморфного превращения $P-2CaO-SiO_2$ в $Y-2CaOSiO_2$ при температуре ниже $525\text{ }^{\circ}\text{C}$, сопровождается увеличением объема примерно на 10%. Эта форма распада наблюдается при содержании оксида кальция в шлаках, превышающем 44-46%. Предотвратить его можно быстрым охлаждением шлаков и их грануляцией.



Железистый и *марганцевый распады* вызываются увеличением объема при взаимодействии сульфидов железа или марганца с водой и образованием гидроксидов. Так распадаются шлаки, содержащие более 3% FeO и 1% сульфидной серы.

Рассыпание шлаков возможно в результате гидратации свободных CaO и MgO (*известковый* и *магнезиальный распады*).

Практически во всех металлургических шлаках в том или ином количестве наряду с продуктами кристаллизации содержится стекловидная фаза.

Из всех видов металлургических шлаков в производстве строительных материалов наиболее широко применяются *доменные шлаки*.



Доменные шлаки – продукты взаимодействия флюсов (карбонатов кальция и магния) с пустой породой железной руды и золой кокса.

Химическая активность шлака определяется *коэффициентом качества K* , устанавливаемым по следующим формулам:

при содержании MgO до 10%

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}},$$

при содержании MgO более 10% —

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 10}{\text{SiO}_2 + \text{TiO} + (\text{MgO} - 10)}.$$

В настоящее время основным потребителем доменных шлаков является цементная промышленность.

Переработка шлаков – грануляция, сущность которой заключается в резком охлаждении шлаковых расплавов водой, паром или воздухом и образовании в результате этого стекловидных зерен размером до 10 мм.

Применяют два способа грануляции: *мокрый* и *полусухой*.

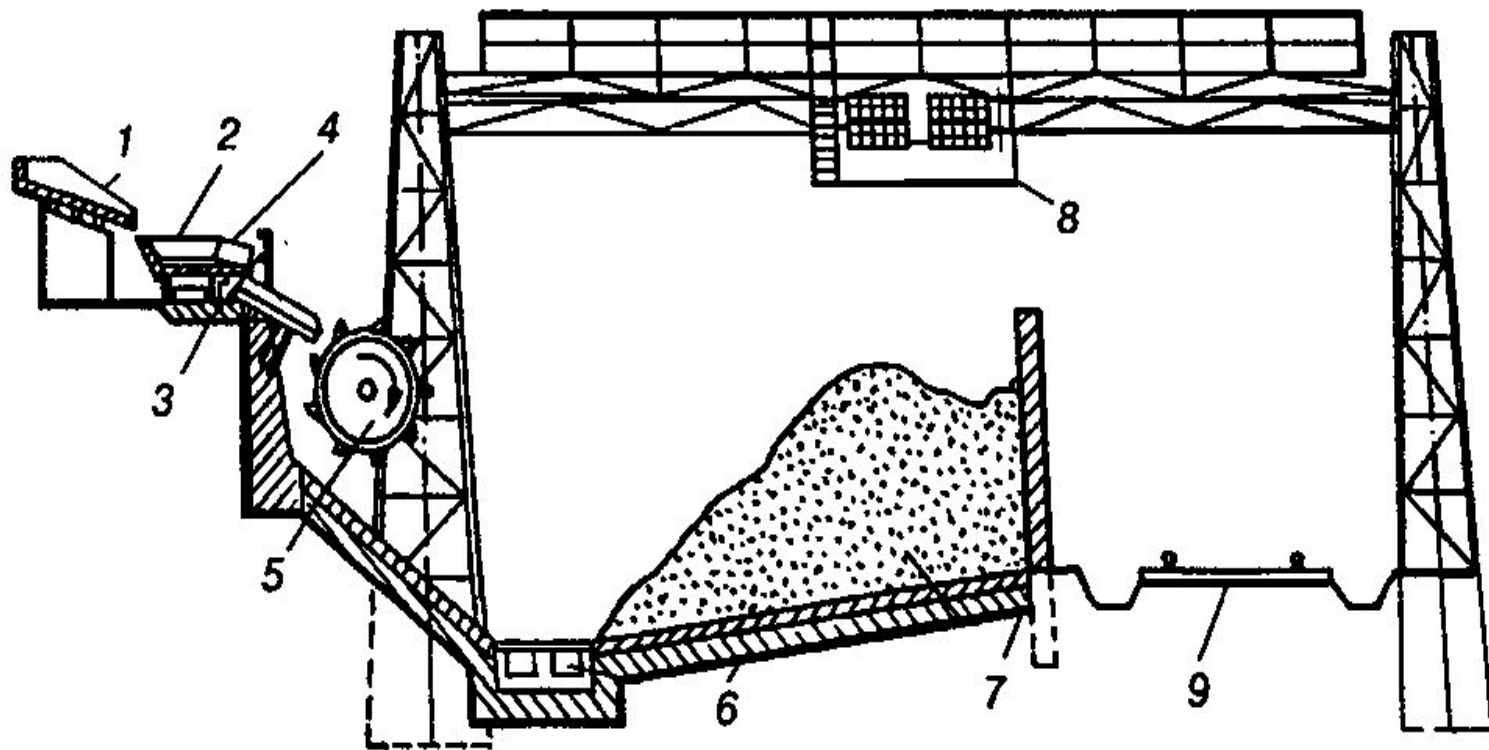


Мокрая грануляция – резкое охлаждение расплавленного шлака в железобетонных резервуарах объемом до 800 м³, наполненных водой, и диспергирование его образующимся паром, а также газами, выделяющимися из расплава.

Установки мокрой грануляции несложны, имеют высокую производительность, а выполнение технологического процесса требует небольших затрат труда.

Шлаки мокрой грануляции имеют высокую влажность (10-30%), что приводит к смерзанию их в зимнее время, повышению стоимости транспортирования, вызывает необходимость значительных затрат тепла на их сушку.





Центральная барабанная грануляционная установка:

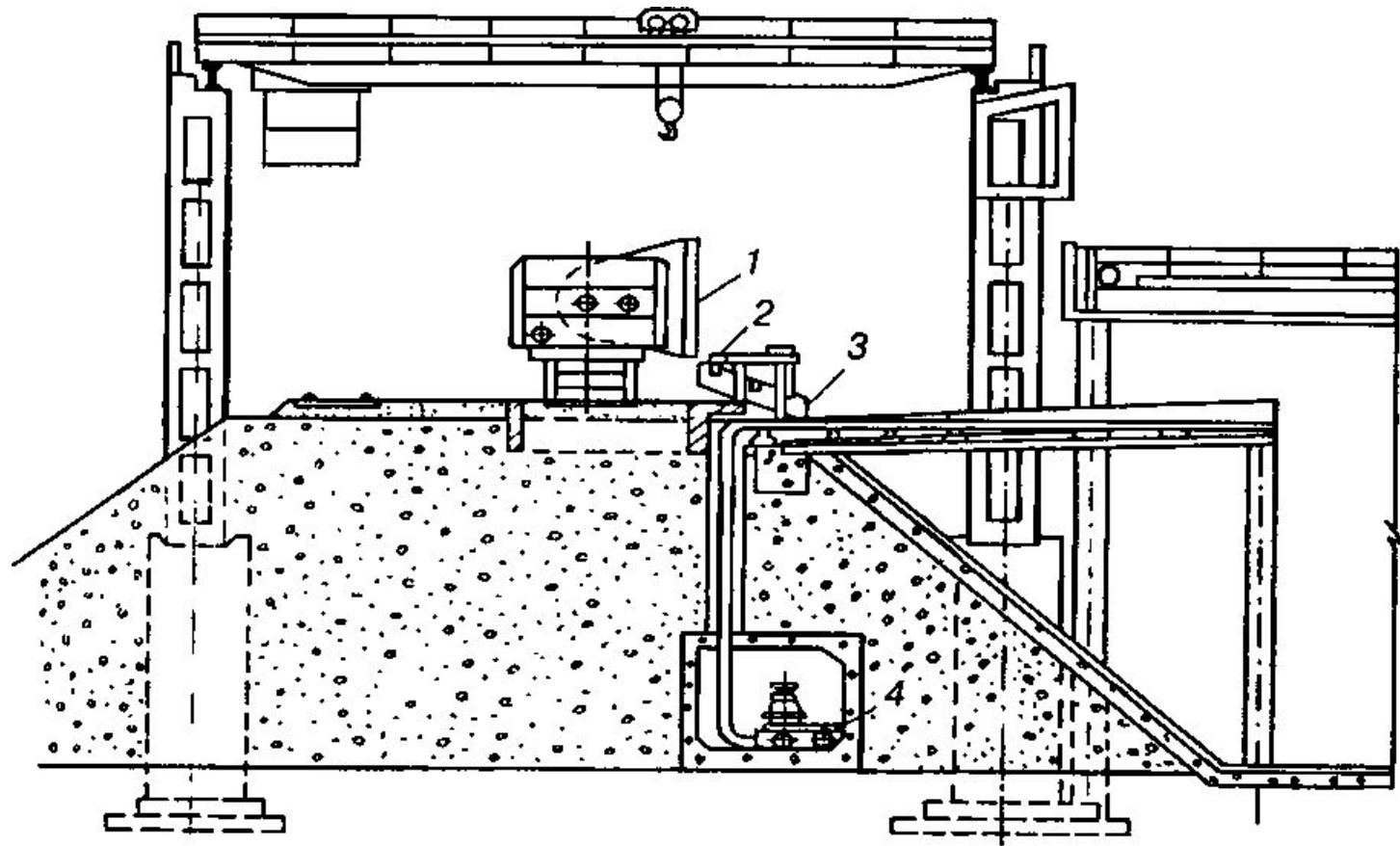
- 1 — направляющий желоб для расплавленного шлака;
- 2 — приемная передвижная ванна;
- 3 — устройство для подачи воды;
- 4 — нижний грануляционный желоб;
- 5 — барабан;
- 6 — канавы для слива излишков воды;
- 7 — склад гранулированного шлака;
- 8 — мостовой кран;
- 9 — защитная стенка

Полусухая грануляция – более эффективна, основана на комбинированном охлаждении шлаков: сначала водой, а затем воздухом. Конечная влажность гранулированного шлака 4-7%.

Для полусухой грануляции наиболее прогрессивны в настоящее время гидрожелобные.

В таких установках расплав первоначально поступает в приемную ванну, а затем на наклонный желоб, где охлаждается водой, подаваемой под давлением 0,7—0,8 МПа. Гранулированный шлак отбрасывается водой на расстояние до 20 м и выносится в приемник пульпы, а затем по трубопроводам поступает в систему обезвоживающих бункеров, откуда подается на склад. Гранулировать шлак полусухим способом можно также на барабанных, гидроударных установках и в грануляционных мельницах.





Гидрожелобная установка для полусухой грануляции шлаков:

- 1 — шлаковозный ковш;
- 2 — приемная ванна;
- 3 — наклонный желоб;
- 4 — центробежный насос

Способ переработки и режим охлаждения шлаков влияют на их физико-механические свойства.

Сталеплавильные шлаки характеризуются высоким модулем основности, при их охлаждении они практически полностью кристаллизуются и почти не содержат стекла. Эти шлаки не гранулируются, а сливаются в отвалы, где медленно остывают.

Мартеновские шлаки содержат включение металла (1—3%), поэтому их не гранулируют, а сливают в отвалы. Для мартеновских шлаков характерна высокая основность, что способствует их полной кристаллизации. Этот вид шлаков имеет плотную или ноздреватопористую структуру.

Основные шлаки в отвалах распадаются на куски вследствие известкового распада. Прочность мартеновских шлаков 80-150 МПа, они выдерживают более 200 циклов испытаний на морозостойкость.



Конвертерные и электроплавильные шлаки обычно содержат продукты распада. Кусковые шлаки имеют плотную структуру, среднюю плотность 3100—3400 кг/м³. Прочность при сжатии 60—130 МПа.

При плавке литейного чугуна в вагранках образуются **ваграночные шлаки**, модуль основности которых довольно низкий и, как правило, не превышает 0,8. В этих шлаках, как гранулированных, так и в отвальных, присутствует стекло.

Из **шлаков производства ферросплавов** наибольший интерес представляют шлаки от выплавки феррохрома и феррованадия, имеющие высокий модуль основности (1,6—1,8), а также кислые ферромolibденовые шлаки. В основных ферросплавных шлаках преобладает ортосиликат кальция в γ -модификации, и они обычно при охлаждении рассыпаются в шлаковую муку. Шлаки ферросплавов содержат остаточные количества соответствующих элементов (Cr, V, Mo и т. п.) в виде металлов, оксидов или других соединений.



Из шлаков производства ферросплавов для производства строительных материалов наибольший интерес представляет *феррохромовый шлак*, получаемый при производстве феррохрома, применяемого для раскисления и легирования стали. Этот шлак представляет собой порошкообразный материал с высокой дисперсностью. Использование феррохромового шлака в качестве алюмосиликатного и окрашивающего компонента сырьевой шихты позволяет получить портландцементный клинкер зеленого цвета, что существенно снижает себестоимость цветного цемента.

Из *шлаков цветной металлургии* наибольшее значение для строительства имеют медеплавильные и никелевые шлаки.

Шлаки цветной металлургии применяют пока в небольшом количестве при производстве цемента в качестве железистого компонента и активной минеральной добавки, а также при получении минеральной ваты и литых изделий. Потенциально шлаки цветной металлургии являются перспективной базой различных строительных материалов. Их выход в 10—25 раз превышает выход цветных металлов.



8.2. Шламовые побочные продукты.



При производстве алюминия и ряда других металлов в больших количествах образуются отходы в виде водных суспензий дисперсных частиц — **шламы**.

Для производства строительных материалов промышленное значение имеют *нефелиновые, бокситовые, сульфатные, белые и монокальциевые шламы*.

Минералогический состав шламов, кроме монокальциевого, характеризуется преобладанием двухкальциевого силиката $2\text{CaO} - \text{SiO}_2$ (50—90%), а также наличием алюминатов и ферритов кальция. Наличие в шламах значительного количества воды приводит к частичной гидратации минералов и образованию гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов.

Нефелиновый (белитовый) шлам получают при извлечении глинозема из нефелиновых пород.



Бокситовый (красный) шлам получают как отход переработки основного сырья для производства алюминия-бокситов.

Сульфатные шламы получают при замене соды на сульфат натрия Na_2SO_4 в производстве глинозема способом спекания. Они характеризуются наличием соединений, содержащих серу различной степени окисления.

На металлургических заводах образуется значительное количество различных ***железосодержащих пылей и шламов***. Они с успехом могут применяться в качестве железистой корректирующей добавки в производстве портландцементного клинкера. Железосодержащие добавки используются также при получении керамзита для улучшения вспучивания и спекания глинистого сырья.



8.3. Шлакосодержащие вяжущие



Их можно подразделить на следующие основные группы: *портландцемент* и *шлакопортландцемент, сульфатно-шлаковые, известково-шлаковые, шлакощелочные вяжущие*. Из них наиболее важное значение для строительства имеют портландцемент и шлакопортландцемент.

Доменный шлак в производстве **цементов** на основе клинкера применяют как компонент сырьевой смеси и как активную минеральную добавку.

Химический состав доменных шлаков позволяет использовать их вместо глинистого и части карбонатного компонентов в составе сырьевых смесей при производстве клинкера. Для доведения силикатного модуля сырьевых смесей до обычных пределов при низком содержании в шлаках Al_2O_3 (5—7%) в них вводят соответствующие корректирующие добавки.



Значительный прирост производства клинкера можно получить при двухстороннем питании вращающихся печей. Разработаны и применяются технологические схемы подачи молотого шлака в печь с ее горячего конца, а также дополнительного питания печей путем введения доменного шлака за цепную завесу и в зону декарбонизации. При этом производительность печей повышается на 20—25%, а удельный расход топлива снижается на 10—15%.

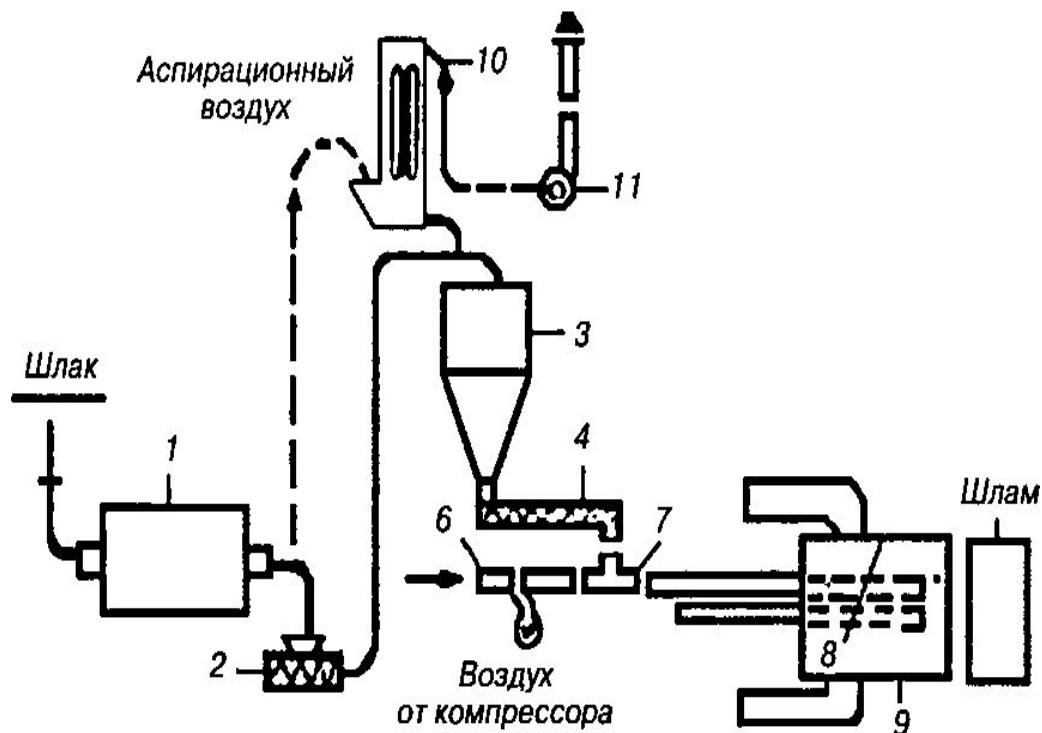


Схема подачи шлака в печь с горячего конца при производстве портландцементного клинкера:

- 1 — мельница;
- 2 — винтовой насос;
- 3 — бункер молотого шлака;
- 4 — шнек;
- 5 — эжектор;
- 6 — расходомерная шайба для замера воздуха;
- 7 — шлаковая форсунка;
- 8 — топливная форсунка;
- 9 — печь;
- 10 — рукавный фильтр;
- 11 — вентилятор

В портландцемент с минеральными добавками при измельчении клинкера допустимо введение до 35% доменного шлака. При этом практически без изменения активности цемента расход клинкера снижается на 14—16%, а расход топлива уменьшается на 17—18%.

Портландцемент с добавкой доменных шлаков обладает достаточно высокой морозостойкостью. Он надежно защищает стальную арматуру в бетоне от коррозии.

Использование добавки шлака в портландцементе является эффективным средством предотвращения вредного влияния щелочных оксидов, что особенно важно при использовании реакционноспособных заполнителей, а также для борьбы с высолообразованием. Хорошие результаты достигаются при использовании в портландцементе смешанной добавки, содержащей доменный шлак и активную минеральную добавку осадочного происхождения.



Шлакопортландцемент — это гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое совместным тонким измельчением клинкера, требуемого количества гипса и доменного гранулированного шлака (35-80%) или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных отдельно.

Шлакопортландцемент является одним из наиболее эффективных видов вяжущих, так как при его производстве значительная часть клинкера заменяется более дешевым гранулированным шлаком.

Шлакопортландцемент обычно применяют в тех же условиях, что и обычный портландцемент.

Технологическая схема производства шлакопортландцемента предусматривает сушку гранулированного шлака до остаточной влажности 1—2% и совместное измельчение его с клинкером.



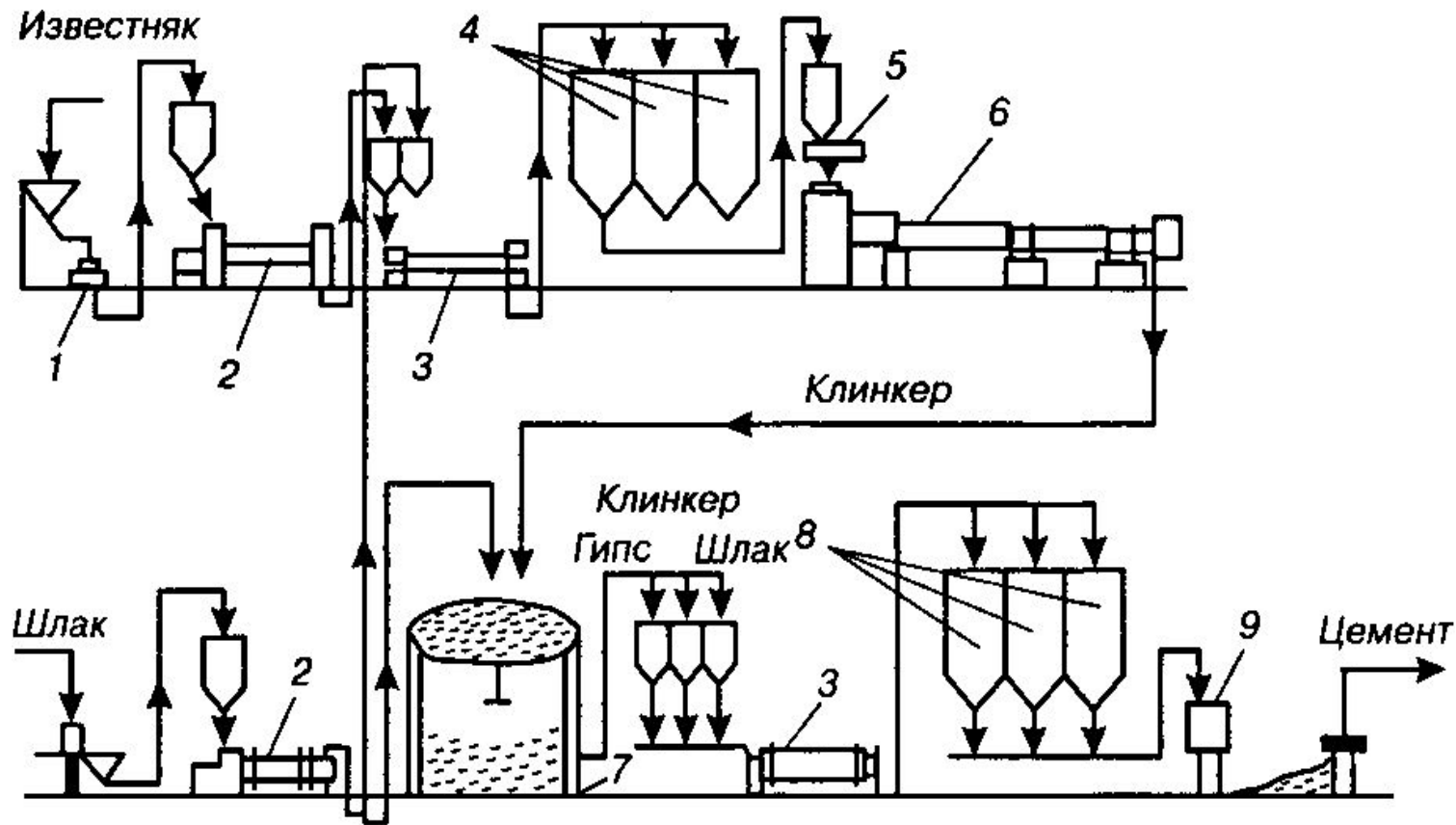


Схема производства шлакопортландцемента:

- 1 — дробилка; 2 — сушильный барабан; 3 — мельница;
 4 — смесительные силосы; 5 — смесительный шнек;
 6 — вращающаяся печь; 7 — клинкерный склад; 8 — цементные силосы;
 9 — упаковочная машина

Строительно-технические свойства шлакопортландцемента характеризуются рядом особенностей по сравнению с портландцементом: более низкой плотностью (2,8—3 г/см³); несколько замедленным схватыванием и нарастанием прочности в начальные сроки твердения.

Шлакопортландцемент — универсальный вяжущий материал, его можно эффективно применять для бетонных и железобетонных конструкций, наземных, подземных и подводных сооружений.

Дефицитность глиноземистого шлака заставила искать более доступный его заменитель. В 1965 г. И.В. Кравченко и Г.И. Чистяковым был предложен **расширяющийся портландцемент**, в котором был применен отход сталеплавильного производства — сталерафинировочный глиноземистый шлак.



Исследования показали, что замена глиноземистого шлака сталерафинировочным шлаком, имеющим несколько иной минералогический состав, не ухудшила строительно-технических свойств расширяющего портландцемента.

Широкое распространение из группы сульфатно-шлаковых получил гипсошлаковый цемент, содержащий 75—85% шлака, 10—15 двуводного гипса или ангидрита, до 2% оксида кальция или 5% портландцементного клинкера. Разновидностью этой группы цемента является также *шлаковый бесклинкерный цемент*, состоящий из 85—90% шлака, 5—8% ангидрита и 5—8% обожженного доломита. Степень обжига доломита зависит от основности шлаков. При использовании основных шлаков обжиг ведут при температуре 800—900 °С до частичного разложения CaCO_3 , а кислых — при температуре 1000—1100 °С до полной диссоциации CaCO_3 .



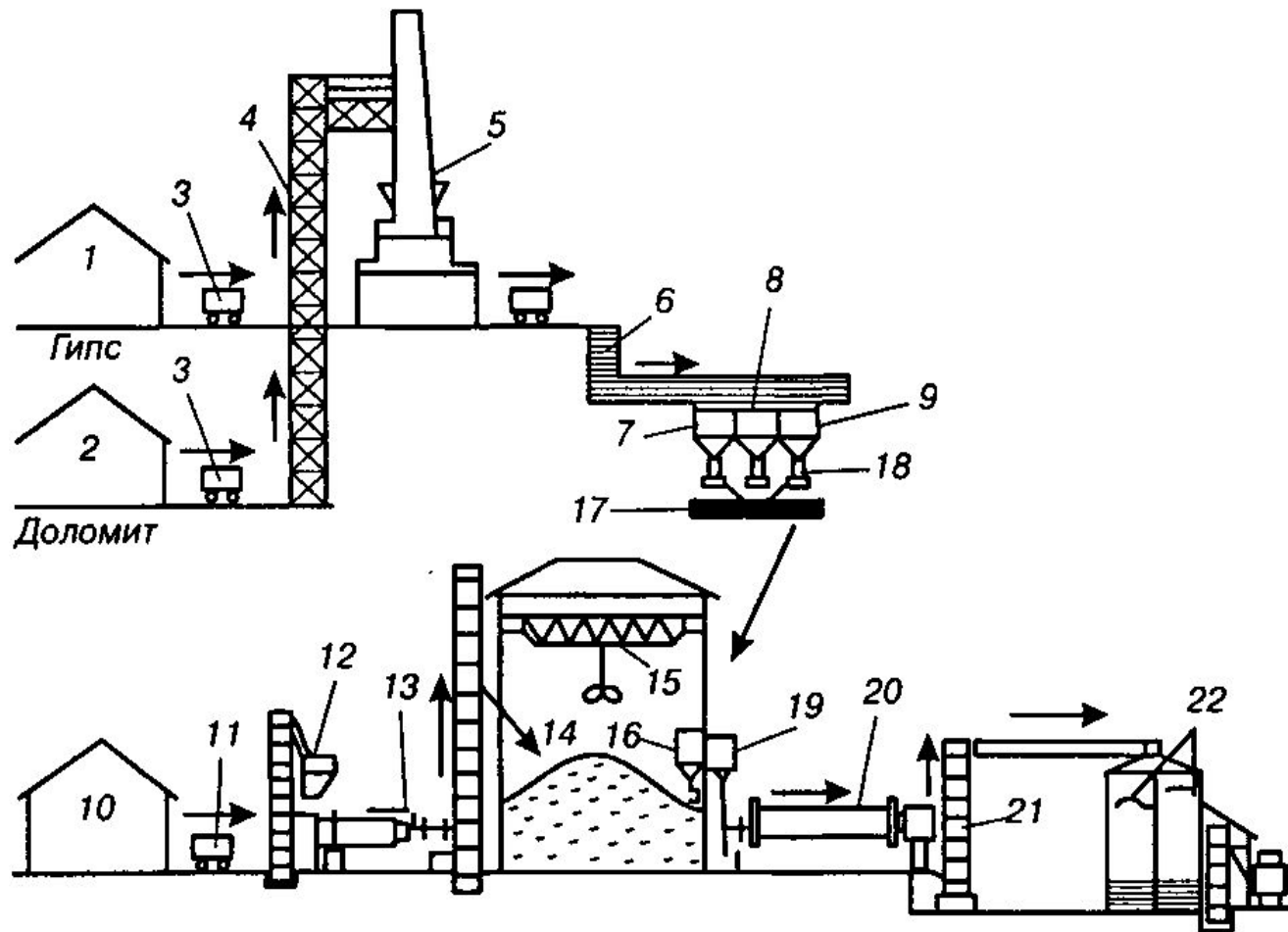


Схема производства сульфатно-шлакового цемента при использовании доломита:

1— склад доломита; 2 — склад гипса; 3 — вагонетка; 4 — подъемник печи; 5 — шахтная печь для обжига доломита; 6 — дробилка; 7— бункер обожженного доломита; 8 — бункер ангидрита; 9 — бункер гипса; 10 — склад мокрого шлака; 11— вагонетка; 12— приемный бункер сушильного барабана; 13 — сушильный барабан; 14 — склад сухого шлака; 15 — грейферный кран; 16 — бункер шлака над мельницей; 17— шнек; 18— питатель; 19— бункер добавок; 20— шаровая мельница; 21 — элеватор; 22 — силосы сульфатно-шлакового цемента

Сульфатно-шлаковые цементы имеют небольшую теплоту гидратации к 7 сут, что позволяет применять их при возведении массивных гидротехнических сооружений. У них высокая стойкость к воздействию мягких и сульфатных вод, что делает их применение целесообразным в различных агрессивных условиях. Сульфатно-шлаковые вяжущие твердеют сравнительно медленно. Для изготовления сульфатно-шлаковых вяжущих целесообразно применять основные доменные шлаки с повышенным (10-20%) содержанием глинозема.

Известково-шлаковые цементы — это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным помолем доменного гранулированного шлака и извести. Их применяют для изготовления строительных растворов и бетонов. Для регулирования сроков схватывания и улучшения других свойств этих вяжущих при их изготовлении вводится до 5% гипсового камня.



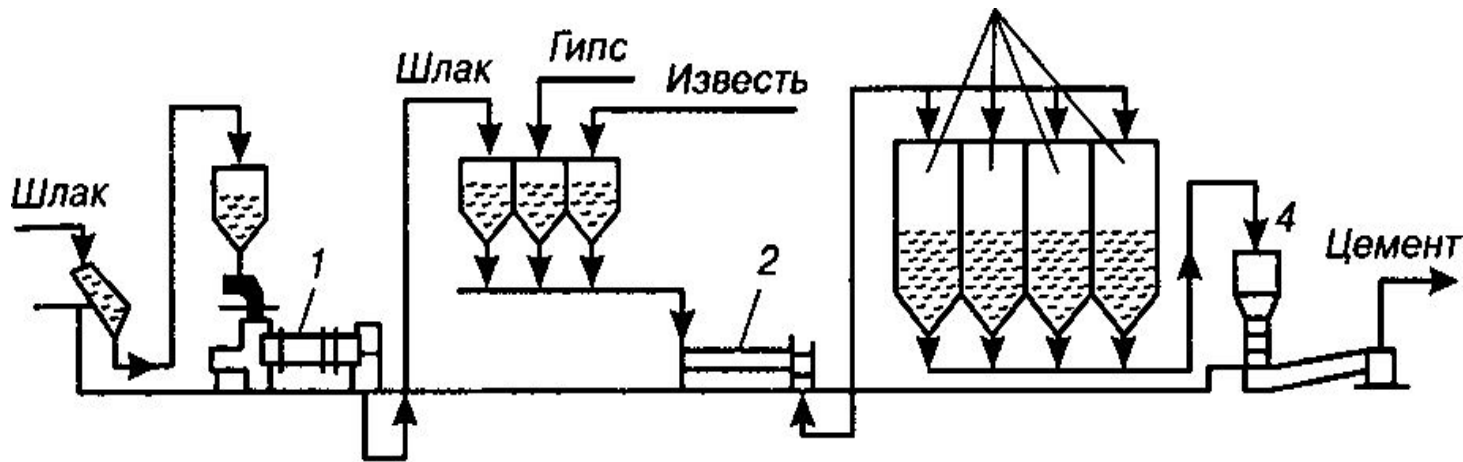


Схема производства известково-шлакового цемента:

1 — сушильный барабан; 2 — мельница;

3 — цементные силосы; 4 — упаковочная машина

Шлакощелочные вяжущие — это гидравлические вяжущие вещества, получаемые измельчением гранулированных шлаков совместно со щелочными компонентами или затворением молотых шлаков растворами соединений щелочных металлов (натрия или калия), дающих щелочную реакцию.



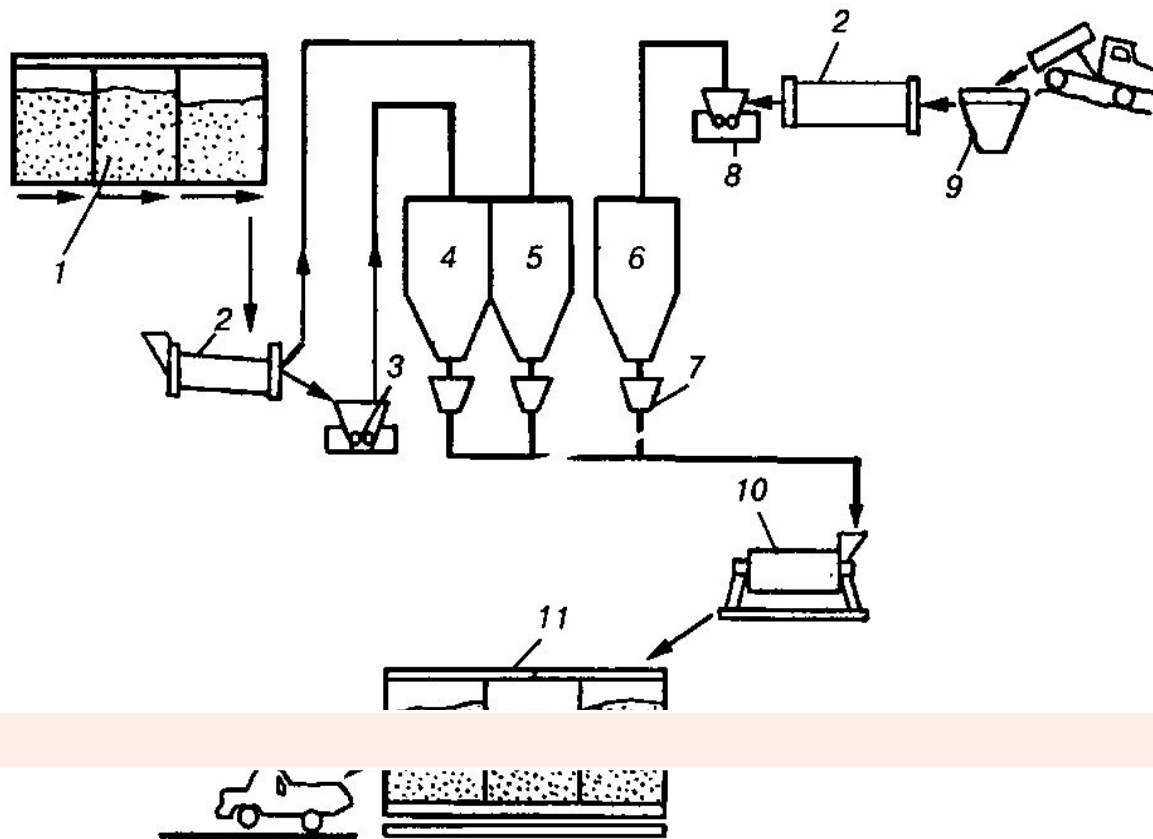


Схема производства шлакощелочного вяжущего:

- 1 — склад; 2 — сушильный барабан; 3 — вальцы;
 4, 5 — расходные бункеры шлака и активной минеральной добавки;
 6 — расходный бункер щелочного компонента; 7 — дозаторы;
 8 — вальцы для измельчения щелочного компонента;
 9 — склад щелочного компонента;
 10 — мельница; 11 — склад вяжущего



Шлакощелочные вяжущие предложены и исследованы под руководством В.Д. Глуховского в Киеве.

Для их получения применяют гранулированные шлаки — доменные, электротермофосфорные, цветной металлургии.

Щелочной компонент — каустическая и кальцинированная сода, поташ, растворимый силикат натрия и др.

Шлакощелочные вяжущие восприимчивы к действию тепловлажностной обработки, обладают высокой коррозионной стойкостью и биостойкостью.

Щелочные компоненты выполняют роль противоморозных добавок, поэтому вяжущие интенсивно твердеют при отрицательных температурах.



8.4.Щебень из отходов металлургии



Шлаковый щебень получают дроблением отвальных металлургических шлаков или спец. обработкой огненно-жидких шлаковых расплавов (литой шлаковый щебень).

К эффективным видам тяжелых заполнителей бетона, не уступающих по физико-механическим свойствам продуктам дробления плотных природных каменных материалов, относится *литой шлаковый щебень*. При производстве этого материала огненно-жидкий шлак из шлаковозных ковшей сливается слоями толщиной 250—500 мм на специальные литейные площадки или в трапециевидные ямы-траншеи. При выдерживании в течение 2—3 ч на открытом воздухе температура расплава в слое снижается до 800 °С и шлак кристаллизуется. Затем его охлаждают водой, что приводит к развитию многочисленных трещин. Шлаковые массивы на линейных площадках или в траншеях разрабатываются экскаваторами с последующим дроблением и грохочением.



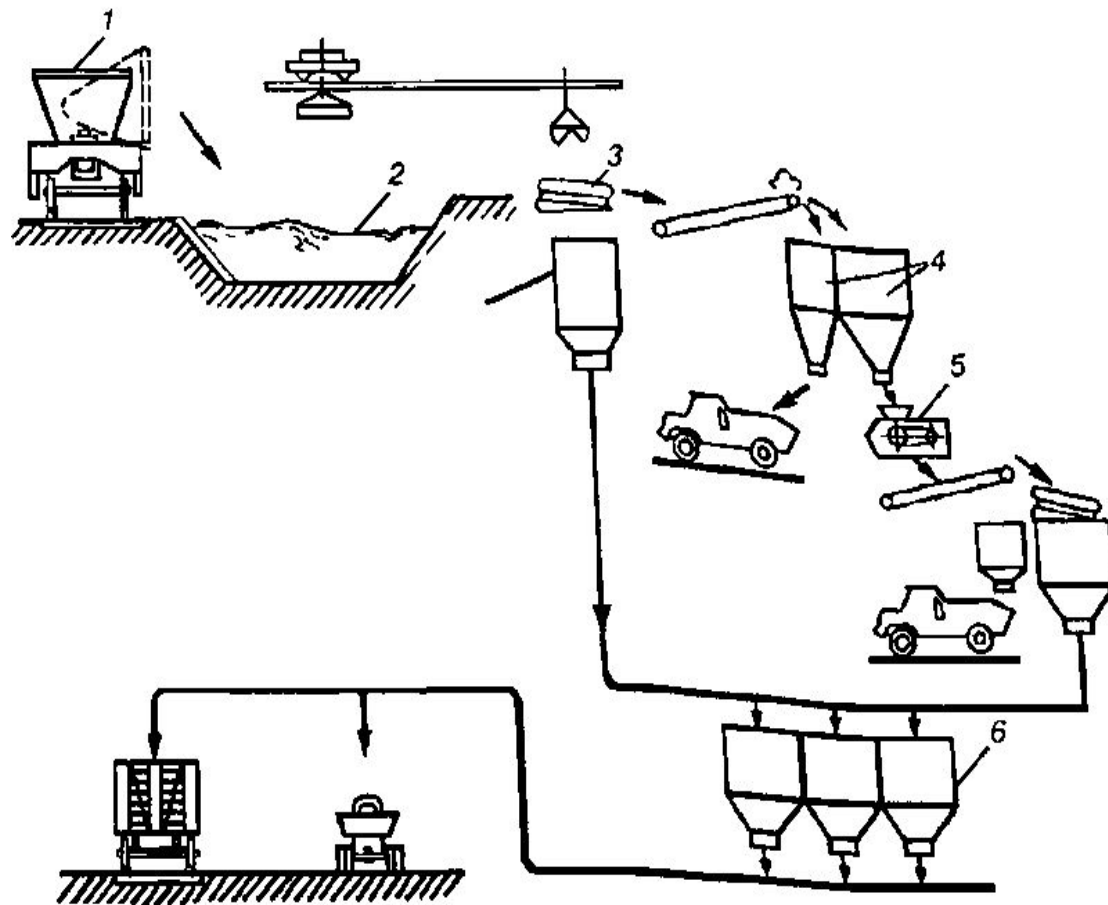


Схема производства литого щебня траншейным способом:

- 1 — шлаковозный ковш; 2 — траншея для шлаковых расплавов;
 3 — грохот; 4 — бункеры; 5 - дробилка;
 6 - бункеры для готовой продукции (шлакового щебня)



8.5.Шлакоминеральные смеси.



К шлакоминеральным смесям относятся каменные материалы, укрепленные гранулированным доменным шлаком и предназначенные для устройства оснований автомобильных дорог. Для активизации шлаков и твердения смесей в их состав вводят добавки гашеной извести (1—3%) или портландцемента (3—5%).

Шлакоминеральные смеси, активированные гашеной известью, медленно схватываются и твердеют, что позволяет делать разрывы в несколько суток между приготовлением смеси и ее укладкой в основания. Шлакоминеральные смеси, активированные цементом, схватываются быстрее и позволяют вести строительные работы в течение 6—8 ч.



Дорожное строительство наиболее материалоемкая область применения шлакового щебня. Требования к шлаковому щебню, зависят от слоя дорожной одежды, где он используется. Так, материал, укладываемый в подстилающий слой, должен обладать водоустойчивостью и морозостойкостью, щебень для оснований — шероховатой поверхностью. В утрамбованном состоянии материал для строительства дорог должен обладать высокой прочностью на сдвиг. Для обеспечения движения с установленной скоростью покрытия должны иметь высокую износостойкость и сохранять ровность. Одним из основных требований к щебню для дорожного строительства является его способность не дробиться при укладке и уплотнении.



В дорожных насыпях и подстилающих слоях применяют щебень из несортированных отвальных шлаков. Нефракционированный шлаковый щебень пригоден также для устройства упорных призм плотин и дамб, укрепления их откосов, подверженных волновым воздействиям. Щебень из доменных и сталеплавильных шлаков легко укатывается в основаниях дорог, цементируется и образует монолитный слой особенно в смеси со щебнем из слабых известняковых пород. Щебень из мартеновских шлаков успешно применяется для расклинивания оснований из гранитного щебня, плохо поддающегося укатке.



8.6.Шлаковый наполнитель.



Из сталеплавильных шлаков получают высококачественный **минеральный порошок**, являющийся важным структурообразующим компонентом (наполнителем) асфальтобетона. Основное его назначение — это перевод битума в пленочное состояние, а также заполнение пор между крупными частицами, в результате чего повышаются плотность и прочность асфальтобетона.

Минеральному порошку из сталеплавильных шлаков свойственна более развитая поверхность, чем у порошка из карбонатных материалов и, как следствие, более высокое набухание его в смеси с битумом.

Минеральный порошок повышает прочность асфальтобетона, но вместе с тем увеличивает его хрупкость, поэтому его содержание в смеси должно быть предельно минимальным, достаточным лишь для придания асфальтобетону нормативной плотности и прочности. Повышение массовой доли минерального порошка в смеси сверх необходимого минимума понижает трещиностойкость покрытий и резко снижает их сдвигоустойчивость.

8.7. Легкие шлаковые заполнители.



Гранулированный шлак применяют в бетонах как мелкий заполнитель. По зерновому составу он соответствует крупному песку. Примерно 50% его массы составляют зерна крупностью более 2,5 мм. Насыпная плотность гранулированного шлака зависит от свойств шлакового расплава и технологии грануляции и составляет 600—1200 кг/м³. Гранулы, образующиеся при быстром охлаждении шлакового расплава водой или паровоздушной смесью, характеризуются высоким содержанием стекловидной фазы и пористостью. Гранулированный шлак является эффективным заполнителем обычных и мелкозернистых бетонов, может служить укрупняющей добавкой для обогащения природных мелких песков. Пористые разновидности гранулированного шлака применяют как заполнители легких бетонов.



Шлаковая пемза — один из наиболее эффективных видов искусственных пористых заполнителей. Ее получают поризацией шлаковых расплавов в результате их быстрого охлаждения водой, воздухом, паром, а также воздействием минеральных газообразователей. Возможны следующие механизмы поризации расплава: вспучивание подъемом газовых пузырьков в расплавленной массе; вспучивание путем смешивания расплава с поризующими газами.

Поризация расплава происходит при перенасыщении его газами, которое наступает вследствие понижения их растворимости и кристаллизации расплава.


Освоено производство шлаковой пемзы следующими способами: *брызгально-траншейным, бассейновым, вододутьевым и гидроэкранным.*



Наиболее простым и высокопроизводительным является **брызгально-траншейный способ**. Однако его недостатками являются неравномерная пористость получаемого материала, неоднородность, а также необходимость выделения больших площадей под траншеи.

Вододутьевой (струйный) способ заключается в дроблении шлака и перемешивании его с водой в аппаратах специальной конструкции с помощью сжатого воздуха или пара.

При использовании **бассейнового способа** шлаковый расплав выливается в стационарный или опрокидной металлический бассейн, в который через перфорированное днище под давлением 0,4—0,6 МПа подается вода. Под воздействием образуемого пара и выделяемых газов происходит вспучивание расплава. Образованные глыбы пористого материала дробятся и рассеиваются на фракции. Стационарные и опрокидные установки различны по способу выгрузки: в первых она выполняется с помощью экскаваторов или скреперов, а во вторых — опрокидыванием бассейна.



8.8. Бетоны на основе металлургических шлаков.



По назначению шлаковые бетоны делятся на:

- конструкционные или общего назначения;*
- конструкционно-теплоизоляционные, применяемые при возведении ограждающих конструкций;*
- гидротехнические;*
- дорожные;*
- теплоизоляционные;*
- кислото- и жаростойкие.*



Бетоны на шлаковом щебне имеют более высокую прочность при растяжении и изгибе, чем на гранитном.

Удобоукладываемость шлаковых бетонных смесей зависит от водопотребности заполнителя. Обычно бетоны на шлаковом щебне более жесткие и менее удобоукладываемые, чем на гранитном.

Морозостойкость бетонов на шлаковых вяжущих и крупном плотном заполнителе ниже, чем обычных цементных, и составляет 50—100 циклов, кроме бетонов на шлакощелочных вяжущих, где она значительно выше. Повышение морозостойкости может быть достигнуто как общими для всех бетонов технологическими приемами (например, снижением В/Ц, смягчением режима тепловой обработки, введением воздухововлекающих добавок), так и применением вместо пропаривания автоклавной обработки.

Деформативные свойства шлаковых бетонов и сцепление их с арматурой аналогичны свойствам цементных бетонов на плотных заполнителях, что позволяет изготавливать из пропаренных и автоклавных бетонов на шлаковых вяжущих и заполнителях разнообразные несущие железобетонные конструкции промышленного и гражданского строительства.



Мелкозернистые бетоны. В строительстве накоплен положительный опыт применения тяжелых и легких мелкозернистых шлаковых бетонов. В роли вяжущего используют бесклинкерные шлаковые вяжущие и шлакопортландцемент, а заполнителями служат шлаковый песок и гранулированный шлак. При использовании бесклинкерных шлаковых вяжущих наилучшие физико-механические свойства обеспечиваются при автоклавной обработке мелкозернистых бетонов под давлением 0,9— 1,6 МПа. При давлении 0,9 МПа оптимальная длительность запаривания составляет 6—8 ч, а с повышением давления она сокращается. Гранулированный шлак предварительно дробят. Целесообразно дробить шлак в аппаратах ударного и ударно-истирающего действия (например, в молотковых дробилках, шаровых мельницах и др.). Зерновой состав шлакового заполнителя должен обеспечивать минимальную водопотребность смеси. Следует учитывать, что с уменьшением отношения цемент:шлак оптимальное содержание мелких фракций в шлаке увеличивается, так как они являются микрозаполнителем, способствующим улучшению структуры и строительно-технических свойств бетонов.

Легкие бетоны. Шлаковые цементы и заполнители широко применяют для производства легких бетонов со средней плотностью 1200—1600 кг/м³ и прочностью на сжатие 5—25 МПа. Для легких шлаковых бетонов характерны общие свойства, присущие легким бетонам, такие как достижение максимальной прочности при расходе воды, обеспечивающем минимальный выход бетонной смеси, а также при использовании фракционированных пористых заполнителей; рост прочности с увеличением расхода вяжущего до определенного предела и др. Особенности легких шлаковых бетонов на бесклинкерных шлаковых вяжущих являются большая деформативность и несколько меньшее сцепление с арматурой, чем у бетонов на портландцементе.

Легкими заполнителями шлаковых бетонов служат: шлаковая пемза с насыпной плотностью $p_0=500—800$ кг/м³, гранулированный доменный шлак ($p_0=700—1000$), доменные поризованные отвальные шлаки ($p_0=800—1000$).



Шлакопемзобетоны имеют высокую морозостойкость, что обусловлено особенностями структуры шлаковой пемзы, способствующей резкому снижению исходного водоцементного отношения бетонной смеси из-за быстрого поглощения заполнителем воды затворения и соответственно образованием низкой капиллярной пористости цементного камня. Повышенной морозостойкости шлакопемзобетона способствуют хорошая деформативность заполнителя, гасящего значительную часть возникающего внутреннего давления, и прочная контактная зона шлакопемзового щебня с матрицей (растворной частью). Возможно получение конструкционного шлакопемзобетона морозостойкостью до 600 циклов и более.

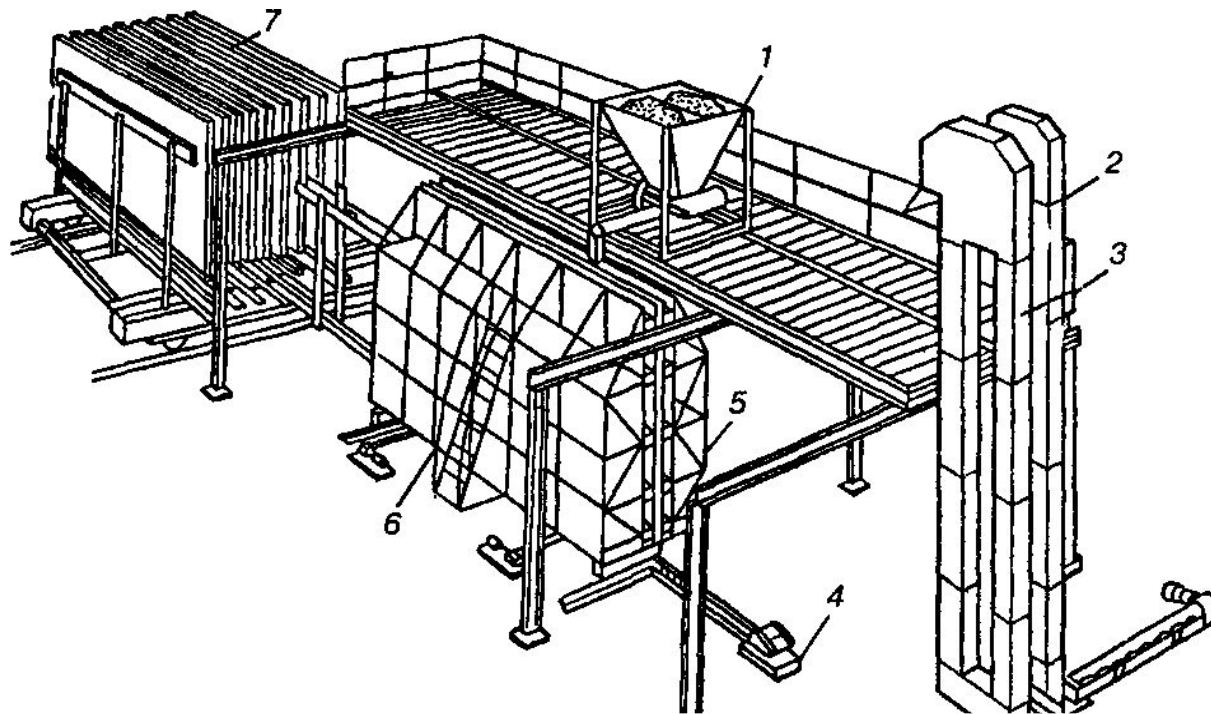
Плотный и поризованный шлакобетоны применяют при производстве стеновых панелей (рис. 2.10, 2.11), других ограждающих и несущих конструкций.

Легкие бетоны на пористых шлаковых заполнителях являются наиболее эффективными.



Ячеистые бетоны отличаются от других видов искусственных каменных материалов равномерно распределенными порами в виде сферических ячеек диаметром 1—3 мм. Изготавливаются из вяжущего, кремнеземистого компонента, порообразователя и воды (рис. 2.12). В производстве ячеистых бетонов, обычно твердеющих при автоклавной обработке, широко применяют шлаковые вяжущие, гидравлическая активность которых особенно проявляется с повышением температуры и давления водяного пара.





Установка для производства крупноразмерных гипсошлаковых панелей в вертикальной форме:

- 1 — гипсобетоносмеситель; 2 — элеватор для гипса; 3 — элеватор для шлака;
4 — электролебедка; 5 — неподвижная стенка; 6 — подвижная стенка;
7 — склад-тележка с готовыми панелями



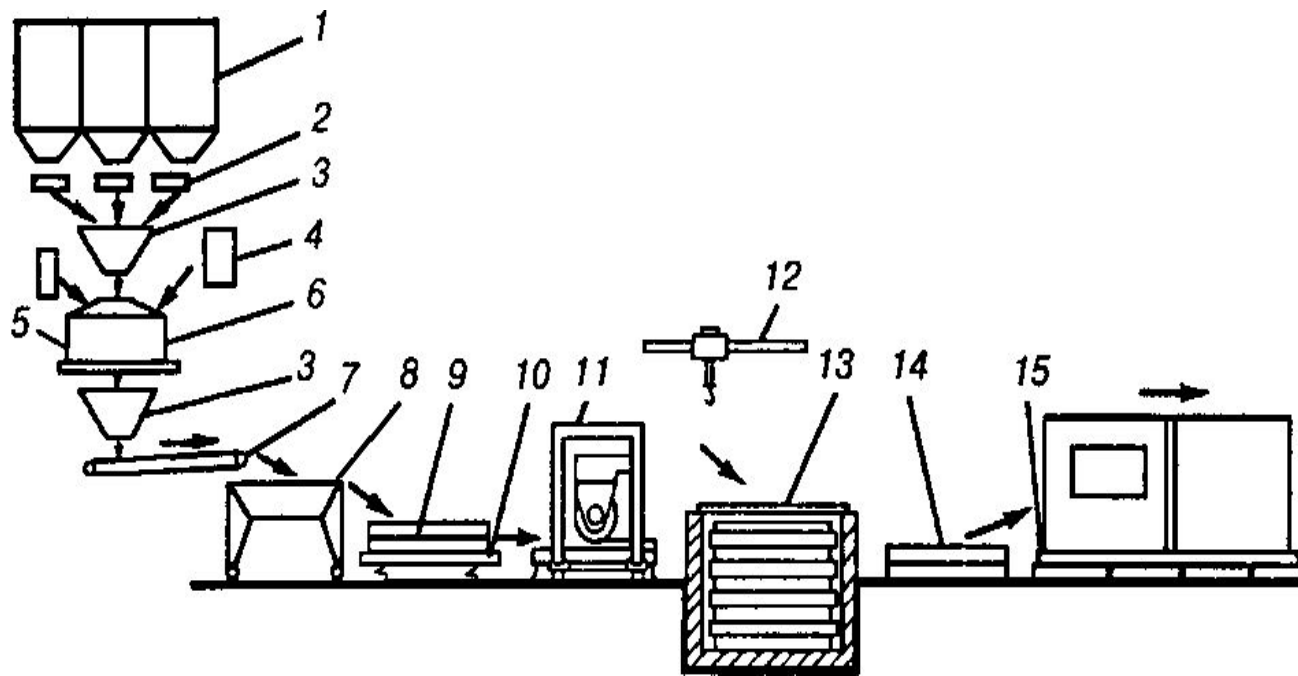


Схема производства стеновых панелей из пористого шлакопемзобетона:

1 — бункеры для сырья; 2 — весовые дозаторы; 3 — приемная воронка; 4 — бак для воды; 5 — смеситель для приготовления водноалюминиевой суспензии; 6 — бетоносмеситель; 7 — ленточный конвейер; 8 — бетоноукладчик; 9 — форма; 10 — виброплощадка; 11 — заглаживающее устройство; 12 — мостовой кран; 13 — пропарочная камера; 14 — пост распалубки; 15 — конвейер отделки панелей



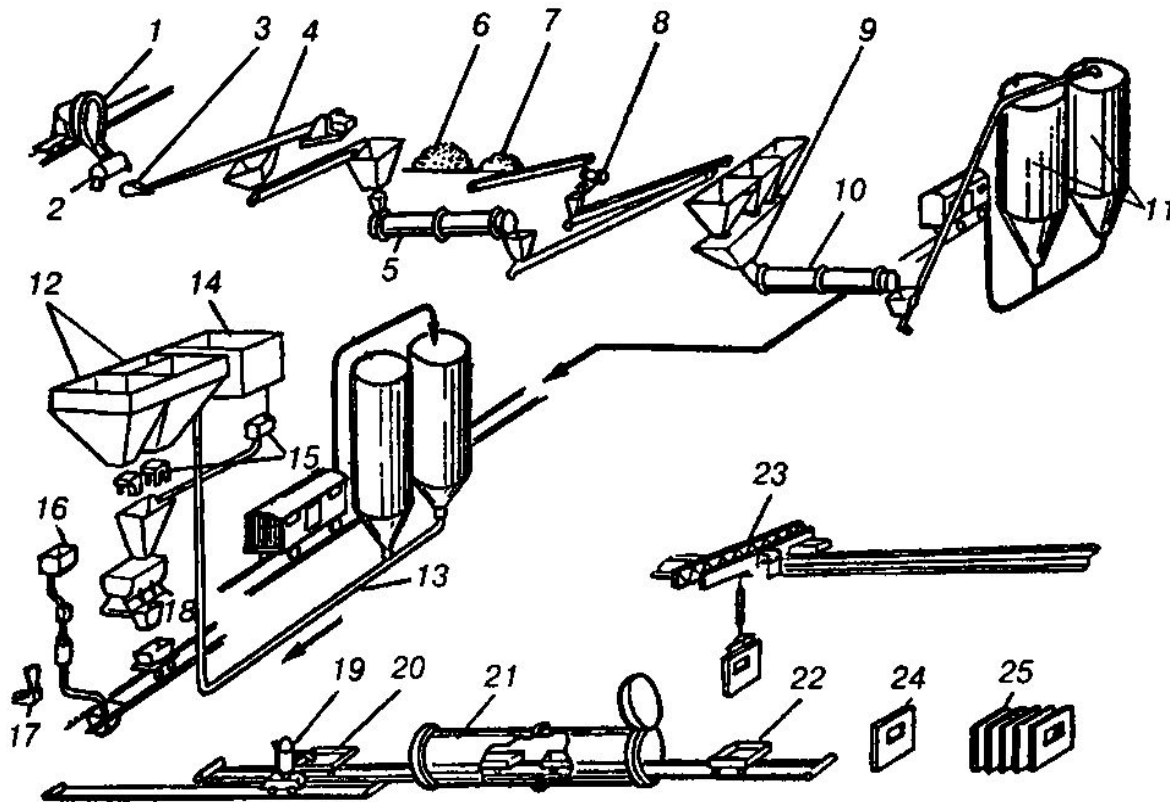


Схема производства стеновых панелей из автоклавного газшлакобетона:

1— шлаковозный ковш; 2 — грануляционный барабан; 3 — скреперная установка; 4— бункер с решеткой; 5— сушильный барабан; 6 — известь; 7 — гипс; 8— дробилка для извести и гипса; 9 — тарельчатые питатели; 10— мельница;

11— силосный склад для известково-шлакового порошка; 12 — расходные бункеры; 13 — пневмотрубопровод; 14 — бак для воды; 15 — дозаторы; 16 — бак для ПАВ; 17— весы для алюминиевой пудры; 18— растворосмеситель; 19— смеси-тель-раздатчик; 20 — вагонетка с формой; 21 — автоклав; 22 — место распалубки изделий; 23 — мостовой кран; 24 — участок отделки изделий; 25 — склад готовой продукции

Прочность ячеистых бетонов на шлаковых материалах изменяется в зависимости от средней плотности. Максимальная прочность ячеистых бетонов достигается при соотношении между шлаковым вяжущим и кремнеземистым компонентом в пределах 1:0,5—1:1,2 в зависимости от особенностей сырьевых материалов. На прочность также влияет тонкость помола шлаковых материалов. Показатели прочности и других свойств значительно улучшаются.

Ячеистые (шлаковые) бетоны оптимальных составов обладают сравнительно высокой морозостойкостью.

Для ячеистых бетонов характерны сравнительно высокие значения сорбционной влажности, паро- и воздухопроницаемости. Они в 5—10 раз больше, чем для тяжелого бетона, что обуславливает необходимость применения защитных покрытий в ограждающих конструкциях для предохранения ячеистых бетонов от увлажнения.



Жаростойкие бетоны. Шлаковые материалы широко используют в производстве жаростойких бетонов в качестве вяжущих, заполнителей, тонкомолотых добавок и отвердителей. Вяжущие на основе металлургических шлаков по жаростойкости превосходят портландцемент, что объясняется сравнительно низким содержанием в шлаковом цементном камне гидроксида кальция. Применяя шлакопортландцемент, можно получить жаростойкие бетоны, пригодные для эксплуатации до 1200 °С.

Заполнителями для жаростойких бетонов могут служить гранулированные и отвалыные металлургические шлаки, а также шлаковая пемза. Максимальная рабочая температура шлаковых жаростойких бетонов на портландцементе и шлакопортландцементе достигает 700—800 °С. При более высоких температурах прочность бетона резко уменьшается из-за размягчения стекловидной фазы в шлаковых заполнителях.




Качество жаростойких бетонов характеризуется следующими параметрами: прочностью на сжатие; термической стойкостью; деформацией под нагрузкой при высоких температурах; усадкой и термическим расширением. Жаростойкие бетоны на шлаковых заполнителях имеют сравнительно низкую термическую стойкость, что обусловлено повышенным коэффициентом термического расширения шлаков.

Некоторые разновидности шлаков (самораспадающиеся феррохромовые и марганцовистые) применяют как отвердители при изготовлении жаростойкого бетона на жидком стекле. Активность шлаковых отвердителей жидкого стекла зависит от их химического состава и тонкости измельчения.

Используя вяжущие и заполнители, полученные из шлаков сталеплавильного и ферросплавного производства, разработаны жаростойкие бетоны, работающие при 800—1700 °С.

Основным критерием пригодности доменных шлаков для использования в жаростойких бетонах является модуль основности, который должен быть не более 1.



Шлакощелочные бетоны. К бетонам этого вида относят бетоны, приготовленные на основе шлакощелочных вяжущих.

При твердении таких бетонов щелочи взаимодействуют не только со шлаком, но и с заполнителями, в первую очередь, с глинистыми и пылеватыми частицами, образуя нерастворимые щелочные гидроалюмосиликаты. В связи с этим требования к заполнителям для шлакощелочных бетонов значительно снижаются. Помимо традиционных заполнителей (щебня, гравия, песка) для этой цели могут быть использованы многие дисперсные природные материалы и попутные продукты различных отраслей промышленности.

Из природных материалов широко используют многие местные грунты и рыхлые горные породы, такие как мелкие пески, супеси, гравийно-песчаные и глино-гравийные смеси, которые из-за высокой дисперсности и загрязненности недопустимы для приготовления цементных бетонов. Содержание глинистых частиц может достигать 5%, а пылеватых — 20%. Недопустимо применение заполнителей, содержащих зерна гипса и ангидрита.

В качестве заполнителей для тяжелых и легких шлакощелочных бетонов из промышленных отходов можно применять различные шлаки, золы и золошлаковые смеси ТЭС, горелые породы, отходы камнедробления и камнепиления, в том числе известняковые, дисперсные органические отходы растительного происхождения и др.

Технология изготовления шлакощелочных бетонов позволяет использовать серийное оборудование. Молотый шлак перемешивают с заполнителем, а сухую смесь затворяют водным раствором щелочного компонента с плотностью 1100—1300 кг/м³. Мелкозернистые бетонные смеси перемешивают в бетоносмесителях принудительного действия. При приготовлении бетонных смесей щелочной компонент способствует значительному пластифицирующему эффекту.



Рекомендуемые методы формования изделий — это вибрирование, вибропрессование, прокат и др. При изготовлении монолитных конструкций применяют виброуплотнение, трамбование, торкретирование. Для создания оптимальных условий твердения в монолитных конструкциях поверхность свежешелюженного бетона защищают от высыхания защитными покрытиями на основе битумных или других эмульсий, пленками, матами и др.

Для изделий из шлакощелочных бетонов характерна повышенная коррозионная стойкость, так как в продуктах их твердения нет высокоосновных гидроалюминатов кальция, вызывающих сульфатную коррозию цементов, а также отсутствует свободная известь, выщелачивание которой приводит к разрушению цементного камня в мягких водах.


Шлакощелочные бетоны могут быть использованы как конструкционные материалы в промышленном и гражданском строительстве, а с учетом их особых свойств — и в других областях строительства (например, гидротехническом, водохозяйственном, дорожном, сельском, транспортном).

8.9. Применение в бетонах металлургической пыли и горелой земли.



В металлургических производствах образуется значительное количество пылей, которые необходимо улавливать и утилизировать с целью извлечения содержащихся в них металлов и поддержания необходимого уровня охраны окружающей среды. Для улавливания тонкодисперсных пылеватых частиц применяются системы сухого и мокрого пылеулавливания; в результате этого в последующие процессы переработки поступают сухие пыли или шламы

В настоящее время в производстве металлов используется Сухая *пыль ферросплавных пеней* представляет большой практический интерес как микрокремнеземистая активная добавка в цементные бетоны. Этот продукт состоит в основном из аморфного кремнезема (85—95% SiO_2) в виде частиц диаметром порядка 0,1 мкм и менее. Благодаря значительной дисперсности (15000—20000 $\text{см}^2/\text{г}$) пыль ферросплавных печей обладает высокой реакционной способностью. Для предотвращения возможного при этом повышения водопотребности в бетонные смеси должны вводиться добавки суперпластификаторов.



Регенерация *горелой земли*, образовавшейся после отливки изделий, состоит в удалении пыли, мелких фракций и глины, потерявшей связующие свойства под влиянием высокой температуры при заполнении формы металлом. Существуют два основных способа регенерации горелой земли: мокрый и сухой.

При регенерации земли мокрым способом формовочная и стержневая смеси поступают в систему последовательных отстойников с проточной водой. Песок на дне бассейна оседает, а мелкие фракции уносятся проточной водой. Затем песок просушивают и вновь пускают в производство. Мокрая регенерация применяется, как правило, в сочетании с гидравлической очисткой литья.

Сухой способ регенерации состоит из двух операций: обдирания от зерен песка связующих веществ и удаления пыли и мелких частиц, что достигается продуванием воздуха в закрытом барабане с последующим отсосом воздуха с пылью.

