Министерство образования и науки украины

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

# Курсовая работа по предмету: Использование промышленных отходов для производства строительных конструкций изделий и материалов

# на тему: Использование побочных продуктов металлургии в строительстве

Одесса – 2010

**Использование шлака в вяжущих**

Из отраслей-потребителей промышленных отходов наиболее емкой является промышленность строительных материалов. Установлено, что использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40% потребности строительства в сырьевых ресурсах. Применение промышленных отходов позволяет на 10…30% снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений достигает 35..50%.

В настоящее время основным потребителем http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-72/111.htm доменных шлаков является цементная промышленность.

Шлакосодержащие вяжущие 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, объем производства которых превалирует в общем выпуске цемента. Высока и технико-экономическая эффективность использования бесклинкерных шлаковых вяжущих, характеризующихся низкой себестоимостью, несложной технологией изготовления и сравнительно высокими строительно-техническими свойствами.

*Портландцемент*. В соответствии с европейскими нормами цементы общестроительного назначения разделяют в зависимости от вида и содержания добавок на пять типов. В группу портландцементов относят портландцемент I типа, содержащий до 5% активных минеральных добавок, и портландцемент II типа, содержащий от 6 до 35% минеральных добавок.

Цемент III типа — шлакопортландцемент. Он может содержать от 36 до 80% доменного шлака. Цементы IV и V типов — соответственно пуццолановый и композиционный цементы. Первый содержит от 21 до 55% пуццолановых добавок, второй — 36—80% композиции добавок, в которую как одна из добавок вводится обязательно доменный гранулированный шлак.

**Доменный шлак** в производстве цементов на основе клинкера применяют как компонент сырьевой смеси и как активную минеральную добавку. Экономическая эффективность применения гранулированного шлака в качестве активной минеральной добавки в цемент в несколько раз выше, чем в качестве сырьевого компонента. Как сырьевой компонент целесообразнее применять отвальные шлаки, ресурсы которых весьма велики. По химическому составу в качестве компонента портландцементной сырьевой шихты пригодны также и сталеплавильные шлаки.

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 А1203 (5—7%) в них вводят соответствующие корректирующие добавки.

Высокий уровень подготовки сырьевой смеси при применении доменных шлаков обеспечивает повышение производительности печей и экономию топлива. Замена глины доменным шлаком позволяет снизить на 20% содержание известкового компонента, уменьшить при сухом способе производства клинкера удельный расход сырья и топлива на 10—15%, а также повысить производительность печей на 15%.

Для заводов сухого способа производства, эксплуатирующих печные агрегаты с циклонными теплообменными устройствами, наиболее рациональным представляется использование шлаков в качестве компонента сырьевой смеси с организацией совместного измельчения всех исходных материалов.

При применении *маложелезистых шлаков* — доменных и ферро-хромовых (разновидность шлаков ферросплавного производства) — при создании восстановительных условий плавки в электропечах возможно получение белых цементов. При окислении металлического хрома, содержащегося в феррохромовых шлаках, получают клинкеры с ровной и стойкой зеленой окраской.

В портландцемент с минеральными добавками при измельчении клин-кера 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%. По сравнению с бездобавочным цементом наблюдается некоторое понижение прочности на сжатие и изгиб в ранние сроки твердения, увеличивается усадка и повышается водоотделение. Коррозионная стойкость портландцемента с добавкой шлака выше, чем для бездобавочного цемента как при нормальном твердении, так и после тепловлажностной обработки.

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 раздельно.

**Гранулированные доменные шлаки** в производстве шлакопортланд-цемента, так же как и портландцемент применяют не только как активную минеральную добавку, но и в качестве сырьевого компонента цементного клинкера. Вместо доменных шлаков при получении шлакопортландцемента можно применять электротермофосфорные шлаки.

Шлакопортландцемент является одним из наиболее эффективных видов вяжущих, так как при его производстве значительная часть клинкера заменяется более дешевым гранулированным шлаком. При использовании доменных шлаков для производства шлакопортландцемента топливно-энергетические затраты на единицу продукции снижаются в 1,5—2 раза, а себестоимость — на 25—30%. Например, при производстве шлакопортландцемента марки М400 расход топлива в среднем на 36% ниже, чем при производстве бездобавочного портландцемента той же марки. Расход электроэнергии сокращается на 12, а затраты на содержание и эксплуатацию оборудования — на 10—15%.

Цементная промышленность выпускает обычный, быстротвердеющий и сульфатостойкий шлакопортландцементы.

При производстве сульфатостойкого шлакопортландцемента используют клинкер с содержанием С3А не более 8% и шлак с содержанием А1203 не более 8%.

Для получения быстротвердеющего шлакопортландцемента рациона-лен двухстадийный помол, т. е. предварительное измельчение клинкера с последующим совместным помолом клинкера и шлака до удельной поверхности не менее 4000 см2/г. Двухстадийный помол обеспечивает более тонкое измельчение клинкерных зерен; он целесообразен при использовании основных шлаков, по размалываемости близких к клинкеру Конечная прочность и другие свойства шлакопортландцемента улучшаются также и при более тонком измельчении шлака.

Исследования на ряде цементных заводов показали, что при содержании в быстротвердеющем шлакопортландцементе шлака 30—40% и удельной поверхности 3500 см2/г достигается прочность через 2— 3 сут 25—30 МПа при марке цемента 500. При удельной поверхности 4000 см2/г прочность цемента при сжатии через 1 сут составляет 15— 20 МПа. При одном и том же расходе цемента на 1 м3 бетона быстро-твердеющий шлакопортландцемент позволяет на 10—30% сократить продолжительность тепловлажностной обработки железобетонных изделий, причем в большинстве случаев прочность после пропарива-ния составляет 70—90% марочной прочности. После тепловлажностной обработки бетоны, приготовленные на быстротвердеющем шлакопортландцементе, продолжают интенсивно набирать прочность.

Шлакопортландцемент не оказывает коррозирующего действия на стальную арматуру в железобетонных изделиях и прочно сцепляется с ней.

Строительно-технические свойства шлакопортландцемента характе-ризуются рядом особенностей по сравнению с портландцементом: более низкой плотностью (2,8—3 г/см3); несколько замедленным схватыванием и нарастанием прочности в начальные сроки твердения. Изготавливают следующие марки шлакопортландцемента: М300; М400; М500. Быстротвердеющий шлакопортландцемент через 2 суток имеет прочность на сжатие не менее 15 МПа. Марка его должна быть не менее М400. Для сульфатостойкого шлакопортландцемента установлены марки М300 и М400.

Для строительства массивных сооружений, работающих в водной среде, кроме высокой стойкости шлакопортландцемента к химической агрессии, важно его пониженное тепловыделение, достигающее к 3-м и 7-м суткам твердения примерно 141 — 197 кДж/кг.

Особенностью шлакопортландцемента, важной для заводского производства сборного железобетона, является интенсивный рост его прочности при пропаривании, особенно в области высоких температур. Наиболее интенсивно растет прочность при изгибе. Одновременно повышаются морозо-, соле- и трещиностойкость. Характерно, что эффективность шлакопортландцемента при тепловлажностной обработке повышается по мере увеличения количества шлака в цементе, что обусловлено образованием при повышенной температуре и щелочно-сульфатной активизации дополнительного количества гидросиликатов кальция и формированием плотной мелкопористой структуры цементного камня.

Пониженное содержание в шлакопортландцементе свободного гидроксида кальция объясняет его более высокую стойкость против агрессивного воздействия мягких и сульфатных вод, а также к повышенным температурам.

Морозостойкость шлакопортландцемента несколько ниже морозостойкости портландцемента; она уменьшается с увеличением содержания шлака. Бетоны на шлакопортландцементе обычно выдерживают 50—100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Существенно повысить морозостойкость бетонов на шлакопортландцементе можно введением воздухововлекающих веществ.

Шлакопортландцемент - универсальный вяжущий материал, его можно эффективно применять для бетонных и железобетонных конструкций, наземных, подземных и подводных сооружений. С применением шлакопортландцемента возведены крупнейшие гидроэлектростанции на Днепре, Енисее и др., он был широко использован для строительства предприятий черной металлургии и других отраслей тяжелой индустрии в Донбассе, на Урале, в Сибири, Закавказье. Шлакопортландцемент успешно применяют для производства сборных железобетонных конструкций и изделий с применением пропаривания. Имеется положительный опыт применения шлакопортландцемента для строительства дорог и аэродромов.

Цементы специального назначения. Кроме шлакосодержащих цементов на основе портландцементного клинкера, широко применяемых во всех областях строительства, металлургические шлаки являются сырьевыми материалами для ряда вяжущих, обладающих специальными свойствами.

Некоторые виды шлаков и в частности отвальные шлаки алюмо-термического производства могут использоваться для получения глиноземистого цемента — высокопрочного быстротвердеющего вяжущего, основные свойства которого определяются преобладанием в его составе низкоосновных алюминатов кальция.

Минералогический состав шлаков представлен в основном глиноземом (70—80%), магнезиальной шпинелью (3—10%) и соединениями титана, хрома и бора в зависимости от разновидности шлака. Перспективным видом сырья для производства обычного глиноземистого цемента являются отмытые шлаки вторичной переплавки алюминия и его сплавов. Предложен способ спекания смеси из указанных шлаков, мела и небольшого количества гипса, который позволяет получать глиноземистый цемент с высокими строительно-техническими свойствами.

**Глиноземистый шлак** может быть использован для получения расширяющегося цемента. В НИИцементе Ю.Ф. Кузнецовой и И.В. Кравченко предложен расширяющийся портландцемент (РПЦ), который состоит из портландцементного клинкера — 60—65%; глиноземистого шлака — 5—7%; двуводного гипса — 7—10%; и гидравлической добавки — 20—25%. Портландцементный клинкер должен содержать не менее 7% С^А и не менее 55% C3S. В природном двуводном гипсе должно быть не менее 95% CaS04 \* 2Н20.

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. Активная минеральная добавка в составе расширяющегося портландцемента может быть представлена осадочными горными породами типа трепелов или опок или доменным гранулированным шлаком. При выпуске РПЦ осуществляют совместный помол указанных материалов до тонкости помола, характеризующейся остатком на сите № 02 не более 1 % и на сите № 008 - не более 7%.

На основе металлургических шлаков предложен ряд тампонажных вяжущих и растворов для тампонирования нефтяных и газовых скважин. В процессе цементирования существенное значение имеют структурно-механические свойства тампонажных растворов. Интенсивное загустевание цементных суспензий часто является причиной серьезных осложнений при цементировании. Шлаковые растворы в течение длительного времени после затворения не подвергаются загустеванию. Однако существенным недостат-ком шлаковых растворов является большая водоотдача. Снижение водошлакового отношения способствует повышению вязкости растворов и ускоряет их схватывание.

В основном, шлакопортландцемент в «холодных» скважинах применяется для повышения коррозионной стойкости камня при изоляции агрессивных пластовых вод.

**Шлакопесчаный цемент** приготавливается путем совместного помола шлака с песком. При этом получаются тампонажные материалы с гаммой разнообразных свойств, обеспечивающие необходимое качество цементирования скважин при различных условиях.

Несмотря на то, что молотый песок обладает большей удельной поверхностью, чем песок естественной крупности, шлаковые растворы, приготовленные с добавлением молотого песка, в отличие от аналогичных цементно-песчаных растворов, не подвергаются интенсивному загустеванию в течение длительного времени после их приготовления. Это обстоятельство имеет большое значение при прокачивании раствора в скважину.

На основе некоторых видов шлаков и, в частности, феррохромового можно получать **цветные цементы** и пигменты.

Поскольку состав феррохрома строго нормируется, колебания химического состава феррохромового шлака незначительны, что гарантирует стабильность технологического процесса получения цементов и пигментов на основе феррохромового шлака.

Феррохромовый шлак представляет собой серый порошкообразный материал с высокой дисперсностью, которая объясняется полиморфным превращением Р-двухкальциевого силиката в у-модификацию, сопровождающимся увеличением объема. При этом удельная поверхность шлака равна 2500—2800 см2/г. Данные седиментационного анализа показали, что содержание тонких фракций (размером менее 40 мкм) составляет более 70%.

Учитывая близость химического состава феррохромового шлака к портландцементу, наличие в нем ряда модифицирующих элементов и оксида хрома — сильного хромофора, этот вид шлака можно использовать в качестве основного компонента сырьевой смеси для получения цветных цементов, в частности, для получения зеленого цемента и пигментов широкой цветовой гаммы. По своим характеристикам зеленый цемент на основе феррохромового шлака полностью отвечает требованиям ГОСТ. При этом температура обжига цементного клинкера значительно ниже температуры обжига декоративных цементных клинкеров, выпускаемых цементными заводами.

**Сульфатно-шлаковые цементы** — это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным тонким измельчением доменных шлаков и сульфатного возбудителя твердения (гипса или ангидрита) с небольшой добавкой щелочного активизатора (извести, портландцемента или обожженного доломита).

Широкое распространение из группы сульфатно-шлаковых получил гипсошлаковый цемент, содержащий 75—85% шлака, 10—15 дву-водного гипса или ангидрита, до 2% оксида кальция или 5% портланд-цементного клинкера. Высокая активизация обеспечивается при использовании ангидрита, обожженного при температуре около 700 °С, и высокоглиноземистых основных шлаков. По мере уменьшения основности шлаков целесообразно увеличение концентрации извести (от 0,2 г/л СаО для основных шлаков до 0,4—0,5 г/л для кислых).

Разновидностью этой группы цементов 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 СаС03, а кислых — при температуре 1000—1100 °С до полной диссоциации СаС03 ( 2.5).

Активность сульфатно-шлаковых цементов существенно зависит от тонкости измельчения. Высокая удельная поверхность вяжущих (4000—5000 см2/г) достигается с помощью мокрого помола. При высокой тонкости измельчения и рациональном составе прочность этих цементов не уступает прочности портландцемента. Однако недостатком сульфатно-шлаковых цементов является быстрое снижение активности при хранении; характерным для них является связывание повышенного количества воды при гидратации, что вызывает в бетонах значительный сдвиг оптимальных В/Ц в сторону больших значений (до 0,5—0,65). Пониженная пластичность сульфатно-шлаковых цементов обусловливает существенное снижение прочности бетонов на их основе по мере отощения, т. е. увеличения содержания заполнителей.

Оптимальная температура твердения этих цементов 20—40 °С, при более низких температурах или более высоких прочность снижается.

Как и другие шлаковые вяжущие, сульфатно-шлаковые цементы имеют небольшую теплоту гидратации к 7 сут, что позволяет применять их при возведении массивных гидротехнических сооружений. Этому способствует также их высокая стойкость к воздействию мягких и сульфатных вод. Химическая стойкость сульфатно-шлаковых цементов выше, чем шлакопортландцемента, что делает их применение целесообразным в различных агрессивных условиях.

Сульфатно-шлаковые вяжущие твердеют сравнительно медленно. Их марки Ml50—М300. В течение первых 2—3 недель твердения бетоны на этих вяжущих необходимо предохранять от высыхания. В противном случае поверхностный слой конструкций становится недостаточно прочным.

Для изготовления сульфатно-шлаковых вяжущих целесообразно применять основные доменные шлаки с повышенным (10—20%) содержанием глинозема. Для кислых шлаков желательно, чтобы модуль основности был не менее 0,8 и модуль активности не ниже 0,45. Арматура в бетонах на сульфатно-шлаковых вяжущих при повышенной влажности подвергается коррозии.

**Известково-шлаковые цементы** — это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным помолом доменного гранулированного шлака и извести ( 2.6). Их применяют для изготовления строительных растворов и бетонов марок не более М200. Для регулирования сроков схватывания и улучшения других свойств этих вяжущих при их изготовлении вводится до 5% гипсового камня. Цементы более высокого качества можно получить, применяя основные шлаки с повышенным содержанием глинозема и негашеную известь, содержание которой 10—30%.

Известково-шлаковые цементы по прочности уступают сульфатно-шлаковым. Их марки: М50, М100, Ml50, М200. Начало схватывания должно наступать не ранее чем через 25 мин, а конец — не позднее чем через 24 ч после начала затворения. При снижении температуры, особенно после 10 °С, нарастание прочности резко замедляется и, наоборот, повышение температуры при достаточной влажности среды способствует интенсивному твердению. Твердение на воздухе возможно лишь после достаточно продолжительного твердения (15— 30 сут) во влажных условиях. Для известково-шлаковых цементов характерны низкая морозостойкость, высокая стойкость в агрессивных водах и малая экзотермия.

**Шлаковые вяжущие для бетонов автоклавного твердения** — это продукты тонкого измельчения мартеновских, ваграночных и некоторых других низкоактивных при нормальном твердении шлаков с активи-заторами твердения, которыми служат цемент или известь (10—20%) и гипс (3—5%). Их активность особенно проявляется при тепловлаж-ностной обработке в автоклавах под давлением 0,8—1,5 МПа при температуре 170—200 °С. Прочность при сжатии автоклавированных образцов из пластинных растворов состава 1:3 достигает 20—30 МПа и более. Получают их, в основном, так же как известково- и сульфатно-шлаковые цементы. До дробления и помола из шлаков отделяют с помощью магнитных сепараторов металлические включения. Размалывают вяжущие вещества до остатка на сите № 008 не более 10—15%.

Способностью интенсивно твердеть при автоклавной обработке обладают не только тонкоизмельченные гранулированные, но и отвальные металлургические шлаки. Последние состоят в основном из кристаллических фаз, неспособных твердеть при 20—100 °С. При более высоких температурах они взаимодействуют с водяным паром и образуют гидратные соединения, что сопровождается твердением шлаков. Твердению отвальных шлаков в автоклавах способствует добавка к шлакам химических активизаторов, а также механическая активизация — тонкое измельчение на бегунах, в шаровых и вибрационных мельницах и т. д.

Обширные исследования по получению и применению автоклавных материалов на основе металлургических шлаков проведены в Московском инженерно-строительном институте под руководством А.В. Волженского. Было показано при использовании шлаков различных заводов, что если значения прочности образцов нормального твердения находятся в пределах от 0,8 до 5,8 МПа, то прочность ав-токлавированных образцов изменяется от 12,2 до 36,1 МПа.

В условиях автоклавного твердения приобретают способность твердеть немолотые шлаки, саморассыпающиеся в результате перехода минерала 2CaOSi02 из |3- в у-форму. Особенностями шлаковых вяжущих автоклавного твердения являются пониженные усадка на воздухе и набухание во влажной среде, высокая стойкость по отношению к мягким и сульфатным водам.

**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.

Шлакощелочные вяжущие предложены и исследованы под руководст-вом В.Д. Глуховского в Киевском национальном университете строительства и архитектуры.

Для получения шлакощелочных вяжущих применяют гранулированные шлаки — доменные, электротермофосфорные, цветной металлургии. Необходимое условие активности шлаков — это наличие стекловидной фазы, способной взаимодействовать со щелочами. Тонкость помола должна соответствовать удельной поверхности не менее 3000 см2/г.

В качестве щелочного компонента применяют каустическую и кальцинированную соду, поташ, растворимый силикат натрия и др. Обычно используют также попутные продукты промышленности: плав щелочей (содовое производство); содощелочной плав (производство капролактама); содопоташную смесь (производство глинозема); цементную пыль и т. п. Использование щелочесодержащих отходов позволяет получать значительные объемы шлакощелочных вяжущих. Оптимальное содержание щелочных соединений в вяжущем в пересчете на Na20 составляет 2—5% массы шлака.

Для шлаков с модулем основности (М0) больше единицы могут применяться все щелочные соединения или их смеси, дающие в воде щелочную реакцию, для шлаков с М0 < 1 только едкие щелочи и щелочные силикаты с модулем 0,5—2, несиликатные соли слабых кислот и их смеси могут быть использованы только в условиях тепловлажностной обработки.

Высокая активность соединений щелочных металлов, по сравнению с соединениями кальция, дает возможность получить быстротвердеющие, высокопрочные вяжущие. Наличие щелочей интенсифицирует разрушение и гидролитическое растворение шлакового стекла, образование щелочных гидроалюмосиликатов и создание среды, способствующей образованию и высокой устойчивости низко<эсновных кальциевых гидросиликатов. Малая растворимость новообразований, стабильность структуры во времени являются решающими условиями долговечности шлакощелочного камня.

Начало схватывания этих вяжущих не ранее 30 мин, а конец — не позже 12 ч от начала затворения.

По пределу прочности при сжатии через 28 сут шлакощелочные вяжущие подразделяют на марки от М300 до М1200. Для ускорения набора прочности и уменьшения деформативности в вяжущее вводят добавку цементного клинкера (2—6%, масс). Предел прочности при сжатии быстротвердеющего шлакощелочного вяжущего в возрасте 3 сут для марок М400 и М500 составляет не менее 50% марочной прочности, а для марок М600—М1200 — не менее 30 МПа.

Шлакощелочные вяжущие восприимчивы к действию тепловлаж-ностной обработки. При температуре пропаривания 80—90 °С цикл обработки может быть сокращен до 6—7 ч, активная часть режима составляет 3—4 ч. Можно значительно снизить и максимальную температуру пропаривания, а также использовать ступенчатые и пиковые режимы обработки.

Контракция шлакощелочных вяжущих в 4—5 раз меньше, чем у портландцемента, вследствие чего они имеют более низкую пористость, что обеспечивает их высокую водонепроницаемость, морозостойкость, относительно низкие показатели усадки и ползучести. Несмотря на интенсивный рост прочности в ранние сроки твердения, тепловыделение у них невысоко (в 1,5—2,5 раза меньше, чем у портландцемента).

Шлакощелочные вяжущие обладают высокой коррозионной стойкостью и биостойкостью. Щелочные компоненты выполняют роль противоморозных добавок, поэтому вяжущие интенсивно твердеют при отрицательных температурах.

Исследованиями В.Д. Глуховского, П.В. Кривенко, Е.К. Пушкаревой, Р.Ф. Руновой и др. разработан ряд специальных шлакощелочных вяжущих: высокопрочных, быстротвердеющих, безусадочных, корро-зионностойких, жаростойких, тампонажных.

Экономическая эффективность их высока. Удельные капиталовложения на производство этих вяжущих в 2—3 раза меньше, чем при производстве портландцемента, так как отсутствуют фондо-, капитале- и материалоемкие технологические операции: не нужны разработка месторождений, подготовка сырья, дробление, обжиг и др. Например, сравнивая затраты на производство шлакощелочных вяжущих марок М600—М1200 и портландцемента марки М600, увидим, что их себестоимость ниже в 1,7—2,9 раза, удельный расход условного топлива—в 3—5, электроэнергии — в 2, приведенные затраты — в 2— 2,5 раза меньше, чем при производстве портландцемента.

**Использование металлургических шлаков в качестве заполпителей**

Металлургические шлаки являются значительным резервом обеспече-ния строительной индустрии заполнителями для бетонов. Шлаковые запол-нители по величине насыпной плотности могут быть тяжелыми (ρ > 1000 кг/м3) и легкими (ρ < 1000 кг/м3), а по крупности зерен — мелкими (< 5 мм) и крупными (> 5 мм).

**Шлаковый щебень.** Шлаковый щебень получают дроблением отвальных металлургических шлаков или специальной обработкой огненно-жидких шлаковых расплавов (литой шлаковый щебень). Для производства щебня в основном применяют отвальные шлаки, сталеплавильные (приемлемые для переработки в щебень), а также медеплавильные, никелевые и другие шлаки цветной металлургии.

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.

*Физико-механические свойства литого шлакового щебня:*

Средняя плотность кусков, кг/м3 2200—2800

Истинная плотность, кг/м3 2900—3000

Предел прочности на сжатие, МПа 60—100

Водопоглощение, % масс 1—5

Насыпная плотность щебня, кг/м3 1200—1500

**Литой шлаковый щебень** характеризуется высокими морозо- и жаростойкостью, а также сопротивлением истиранию. Стоимость его почти в 2 раза меньше, чем щебня из природного камняhttp://click01.begun.ru/click.jsp?url=O5t5ND85ODkOmpTfg5T\*6scNuuSszVJywfavpCun5Ml1xinT-173kX5pr-bGDMrWgOLDFe0ect34VTo\*gnAxPsbVQxaHAgr\*-L6QJ4M2lPqM6vGkPBSkwXpcIrlwna-RGxNXTaB7C8byibivJoZ9In4-y0zN9rZmy1Bxpg759v\*61tV9cnqVOcJ00WvqE5huIS8r0BgTYaS7Y61tUdgYfG-V8MPEIhYkhI1ZxAXN3GdoeqKazXO4vYg1QG3WgYqCT\*IJLhuhAW13mp6QyD45nF5U0RmElx71LqyQpCYvvM4vHGamWuljVkPOkFD\*ReLhhIcVnQ. Для изготовления бетонных и железобетонных изделий применяют фракционированный литой шлаковый щебень крупностью 5—70 мм. Несортированный материал используется в дорожном строительстве и в производстве минеральной ваты, а отсев может служить заполнителем жароупорных бетонов и частично заменять гранулированный шлак в производстве шлакопортландцемента. Для получения литого плотного шлакового щебня кристаллической структуры применяются «малогазистые» огненно-жидкие шлаки, в которых при охлаждении образуется минимальное число пор, а средняя плотность кусков — не менее 2200 кг/м3.

Необходимым условием получения заполнителей из металлургических шлаков является устойчивость их к различным видам распада. Особенно опасен силикатный распад, характерный для высококальциевых, маломарганцевых и малоглиноземистых шлаков.

Для предотвращения известкового и магнезиального распада в шлаках, перерабатываемых на заполнители, не допускаются свободные оксиды кальция и магния.

Прочность шлакового щебня характеризуется его маркой. Для щебня из доменного шлада, применяемого в качестве заполнителя тяжелого бетона, установлено пять марок по прочности:

Таблица 1 . – Марки прочности

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка щебня по прочности | 1200 | 1000 | 800 | 600 | 300 |
| Потеря в массе после испытаний, % | До 15 | 15-25 | 25-35 | 35-45 | 45-55 |

Щебень марки M1200 может быть использован при изготовлении бетона марки М400 и выше, М1000 — марки МЗОО, М800— марки М200 и М600 — ниже М200. Щебень низких марок применяется также при изготовлении бетонов более высокой прочности, но после соответствующей проверки и технико-экономического обоснования.

В зависимости от числа циклов, которые выдерживает щебень при испытании, устанавливают его марки по морозостойкости.

Наряду с плотными отвальными шлаками для производства щебня используют **пористые шлаки**, образуемые из расплавов с большим газонасыщением, вспучиванием пузырьками выделяющихся газов. Прочность пористых отвальных шлаков 2,5—40 МПа; средняя плотность в куске составляет 400—1600 кг/м3, что позволяет обеспечить насыпную плотность щебня 800 кг/м3 и менее и применять их для производства легких бетонов.

Физико-механические свойства шлакового щебня изменяются в более широком интервале, чем щебня из горных пород что обусловлено колебаниями качества сырьевых материалов и технологических параметров.

Шлаковый щебень применяется не только как заполнитель цементных бетонов, но также в дорожном строительстве для укрепления оснований и устройства асфальтобетонных покрытий. В зависимости от структурных особенностей, сопротивления истиранию и дроби-мости шлаковый щебень делится на марки:

Таблица 2. – Марки шлакового щебеня

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка щебня по истираемости | ИI | ИII | ИIII | МIV |
| Потеря в массе после испытаний, % | До 25 | 25-35 | 35-45 | 45-60 |

**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.

Шлакоминеральные смеси, уложенные в слое основания, практически не требуют специального ухода и позволяют открыть движение сразу после уплотнения. Они допускают укладку асфальтобетонных покрытий сразу после уплотнения основания. При устройстве оснований из шлакоминеральных смесей на дорогах высших категорий можно использовать не только местные малопрочные каменные материалы, но и песчано-гравийные смеси.

Шлакоминеральное основание более жестко по сравнению с битумо-минеральным, однако оно гораздо гибче и деформативнее оснований, устроенных из цементированных материалов, в том числе из бетона.

По трещиностойкости шлакоминеральное основание уступает би-тумоминеральному и поперечные трещины в нем возникают при перепадах температур.

В дорожно-строительной практике хорошо зарекомендовали себя составы шлакоминеральных смесей, в которых расход гранулированного шлака изменяется от 10 до 20%.

Дорожное строительство является наиболее материалоемкой областью применения шлакового щебня. Требования, предъявляемые 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.

**Шлаковый наполнитель**. Из сталеплавильных шлаков получают высококачественный минеральный порошок, являющийся важным структурообразующим компонентом (наполнителем) асфальтобетона. На долю минерального порошка приходится 90—95% суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав 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 е 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 трещиностоикость покрытий и резко снижает их сдвигоустойчивость.

**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.

Технология изготовления гранулированного шлака не сложна и заключается в резком охлаждении жидкого расплавленного шлака водой или холодным воздухом. Подвергать грануляции можно любые шлаки. Этот процесс шлакоемкий, т.е. из 1 т шлакового расплава получается 2-2,5 кубометров гранулированных шлаков. Целесообразнее всего резко охлаждать шлаки, богатые окисью кальция (доменные, мартеновские). Это предотвращает силикатный распад, а стекловидная структура с неупорядоченными химическими элементами обладает вяжущими свойствами.

**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.

Особенности структуры шлаковой пемзы зависят от свойств и состава поризуемого расплава, а также от природы газов и их количества. Исходные расплавы могут иметь разнообразный химический состав, однако должны быть устойчивы ко всем видам распада. Температура расплава, поступающего на поризацию, не менее 1250 °С, вязкость при этом не должна превышать 5 Пас.

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 брызгаль-но-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. Образуемые 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.

Наиболее эффективным в настоящее время является гидроэкранный способ, основанный на резком охлаждении шлакового расплава в системе последовательно установленных гидрожелобов, состоящих из желобов и гидромониторных насадок, через которые подается вода.

Шлаковую пемзу выпускают в виде щебня трех фракций (5—10, 10—20 и 20—40 мм) и песка (рядового с зернами крупностью менее 5 мм, мелкого— менее 1,25 и крупного—1,25—5 мм). Для каждой фракции щебня, а также мелкого и крупного песка нормируется зерновой состав.

В зависимости от насыпной плотности (кг/м3) шлаковую пемзу делят на марки: для щебня - 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900; песка - 600, 700, 800, 900, 1000.

Шлаковая пемза применяется как заполнитель легких бетонов с широким диапазоном по средней плотности и прочностным показателям. Ее используют как пористый заполнитель для конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов с плотностью 1300—1600 кг/м3 и прочностью 5—7,5 МПа и конструкционных бетонов с плотностью 1500—1800 кг/м3 и прочностью 10—20 МПа. При использовании шлаковой пемзы для армированных и в особенности преднапряженных конструкций должна быть проверена стойкость арматуры, коррозия которой возможна за счет содержащийся в шлаке серы.

**Заключение**

Возможность применения шлаков в строительной индустрии очень велика. Шлаки являются не только загрязняющим грузом, но и весьма полезным сырьем. При применении, которого меняются свойства привычных строительных материалов, как в положительную так и в отрицательную сторону.

Множество технологий применения шлаков находятся на стадии развития, поэтому для инженеров строительной индустрии имеется большое поле для деятельности.

**Список используемой литературы**

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов про-мышленности.- Учебно-справочное пособие, 2007.

2. Дворкин Л.И., Пашков И.А. Строительные материалы из отходов промышленности. – К.: Выща школа, 1989.

3. Черепанов К.А., Черныш Г.И., Динельт В.М., Сухарев Ю.И. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии. – М.: Металлургия,1994.

4. В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов и др. «Строительные материалы. Материаловедение и технология.» Москва. 2002 г.