

Издается с января 1955 г.

Содержание

Содержание

ЯЧЕЙСТЫЕ БЕТОНЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- ФОМЕНКО О. С. Производство и применение ячеистобетонных изделий в условиях рыночной экономики 2
- УХОВА Т. А. Способы повышения эффективности производства ячеистых бетонов 4
- ФЕДИН А. А. Научно-технические предпосылки совершенствования технологии силикатного ячеистого бетона 7
- ВОЛЖЕНСКИЙ А. В., ЧИСТОВ Ю. Д. Изготовление изделий из неавтоклавного газобетона 12
- АМХАНИЦКИЙ Г. Я. Технология и оборудование для производства изделий из неавтоклавного ячеистого бетона 14
- КИЛЬКСОН А. Э., ЭСКУССОН К. К., ЭСКУССОН И. Ю., ОСТРАТ Л. И. Оптимизация технологии газосиликата 16
- ЭСКУССОН К. К. Использование зол и шлаков в производстве ячеистых бетонов за рубежом 18

РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

- ГРЫЗЛОВ В. С., ТУЕВА Т. В. Использование вторичных ресурсов в производстве строительных материалов 19
- ДЖИГИРИС Д. Д., ЧУВАШОВ Ю. Н., МАХОВА М. Ф., КОЗЛОВСКИЙ П. П., РУДСКОЙ А. И. Штапельные волокна теплоизоляционного назначения из андезитового порфирита 21
- СЕМЕНОВ А. А. Отходы — в доходы 24

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- ТЕПЛОВА Л. А. Об использовании излучения оптических квантовых генераторов при фасонной резке рулонных битумных материалов 25

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- ШМИТЬКО Е. И., ЧЕРКАСОВ С. В. Управление плотностью прессованных материалов путем рационального использования потенциала поверхностных и капиллярных сил 26
- КАРАУШ С. А. Влияние плотности садки на угловые коэффициенты излучения при обжиге керамического кирпича в туннельных электропечах 29



Журнал продолжает публиковать материалы по совершенствованию технологии и повышению качества ячеистых бетонов и изделий из них — прогрессивных для современного строительства. В конце прошлого года эта тема широко обсуждалась специалистами на прошедших в гг. Москве, Минске семинарах. В помещенных в этом номере журнала статьях нашли отражение наиболее важные положения теории и практики производства и применения ячеистых бетонов, прозвучавшие в ходе дискуссии на семинаре, состоявшемся в Центральном межрегиональном институте повышения квалификации строителей (ЦМИПКС) МИСИ.

УДК 666.945.2-485.8-65.81.001

О. С. ФОМЕНКО, зам. председателя Госкомитета по архитектуре и строительству Российской Федерации

Производство и применение ячеистобетонных изделий в условиях рыночной экономики

Ячеистые бетоны по структуре, свойствам и способам получения не имеют равных среди традиционных материалов аналогичного назначения. Они нашли преимущественное применение при возведении ограждающих конструкций жилых и промышленных зданий. Однако эти материалы могут быть использованы при изготовлении несущих покрытий и перекрытий, теплоизоляционных ограждений и др.

Фактически изделия из ячеистого бетона являются универсальными, что значительно повышает их конкурентоспособность с аналогичными по назначению материалами и делает незаменимыми в условиях рыночной экономики. Сегодня это не вызывает сомнения у специалистов, и у ячеистобетонных изделий практически нет противников. Однако этому предшествовала долгая и упорная работа специалистов.

Ячеистые бетоны в нашей стране появились в предвоенные годы. Тогда была разработана и внедрена технология автоклавного пенобетона, который применялся преимущественно в качестве теплоизоляции при возведении промышленных зданий. В середине 50-х годов интерес к ячеистым бетонам значительно повысился. Была разработана технология и начато производство газосиликатных изделий, в частности несущих

и самонесущих конструкций жилых зданий. В гг. Воронеже, Калининне, а также на Урале и в других регионах нашей страны началось строительство жилых зданий из ячеистобетонных изделий. И хотя интерес к этим материалам возрос, объем производства был еще невелик. Тогда это были первые шаги на пути к развитию массового строительства зданий из ячеистых бетонов.

Позже за рубежом было закуплено для строительства 10 мощных заводов ячеистобетонных изделий большой мощности, а в начале шестидесятых годов стало постепенно осваиваться производство ячеистобетонных изделий на Ступинском (Московская обл.), Пензенском, Ижевском и других заводах. Объем производства ячеистобетонных изделий стал расти, но этого оказалось недостаточно. Появилась необходимость значительно увеличить производственные мощности работающих предприятий и несколько изменить номенклатуру изделий, прежде всего, путем увеличения выпуска стеновых камней, которые пользовались высоким спросом у населения для индивидуального строительства.

Коренной перелом в отношении к ячеистым бетонам наступил после того, как Госстроем СССР в 1988—1990 гг. были определены перспективы развития производ-

ства ячеистобетонных изделий до 1995 и на 1995—2000 г.

Начались работы по реконструкции действующих предприятий и монтажу нескольких десятков технологических линий, а также по проектированию и строительству новых заводов, но промышленность оказалась неспособной обеспечить потребность строящихся объектов в оборудовании, и прежде всего, в автоклавах и шаровых мельницах. Большинство начатых строительством предприятий и технологических линий на действующих и строящихся заводах превратились в долго-строк.

Оценивая состояние производства ячеистобетонных изделий в России, следует отметить, что до начала заметного его спада в 1990 г. 45 предприятий выпустили 2,54 млн. м³ изделий, из которых 58 % приходилось на стеновые камни.

Удельный объем ячеистобетонных изделий в балансе стеновых материалов составляет всего лишь 3,9 %, в то время, как в других странах он значительно выше. Например, в Швеции более 50 % стеновых конструкций возводится из этого эффективного материала.

В настоящее время Российская Федерация располагает базой строительной индустрии для строительства 70—75 млн. м² площади жилья, из которых более половины будет крупнопанельным — из керамзитобетонных, шунгизитобетонных и других аналогичного вида панелей.

В 1992—1993 гг. объем ввода жилья в эксплуатацию снизился по сравнению с 1989—1990 гг. практически в 2 раза. В современном строительстве эффективные ячеистобетонные изделия применяются в очень небольшом объеме.

Увеличение мощностей и совершенствование технологии изготовления изделий из ячеистого бетона является первоочередной задачей в расширении базы строительной индустрии. При этом особое значение имеет увеличение выпуска высококачественных неармированных стеновых камней для малоэтажного строительства, годовой объем производства которых должен составить к 2000 г. 6100 млн. шт. условного кирпича,

т. е. предполагается увеличить существующие мощности в 4—4,5 раза.

Комитетом по архитектуре и строительству РФ совместно с заинтересованными организациями разработан проект программы развития производства изделий из ячеистых бетонов, которым предусмотрено ввести новых мощностей на 12,5 млн. м³ в год. Это будет решаться как путем строительства новых, так и реконструкции действующих предприятий. Последних насчитывается не менее 140 в 58 административных районах страны.

В порядке рекомендаций будет предложено применение на отдельных заводах различных технологических приемов. Намечается увеличить число предприятий по изготовлению оборудования с привлечением мощностей в рамках осуществляемой конверсии.

Следует отметить, что отечественная наука в области ячеистых бетонов успешно конкурирует с зарубежной, однако в производстве мы еще не добились желаемых результатов. Общей задачей науки и производства является определение наиболее эффективных путей развития технологии ячеистых бетонов. Это особенно важно в период перехода к работе в рыночных условиях, которые, к сожалению, по-настоящему пока не сформированы, и тем не менее необходимо дать потенциальным заказчикам наиболее рациональные технологические решения. При этом следует обратить внимание на достижения зарубежных фирм, а также наших специалистов по вопросам теории и практики производства и применения ячеистобетонных изделий.

Выпускаемые на наших предприятиях изделия по основным показателям качества не отвечают мировому уровню и поэтому не являются конкурентоспособными с материалами зарубежного производства. Большинство предприятий изготавливают изделия из ячеистого бетона повышенной (600—650 кг/м³ и выше) плотности, а иногда и сравнительно небольшой прочностью — 30—50 %, возможно, достижимой для этих материалов. Фактически же мы уже теперь можем существенно повысить прочность ячеистых бетонов и выпускать стеновые конструкции с показателями средней плотности 400—500 кг/м³ и

прочностью, равной нормативной для ячеистых бетонов плотностью 600 кг/м³.

Нормируемая морозостойкость ячеистых бетонов явно ниже его возможного потенциала по этому показателю. Как многопористый материал ячеистый бетон может иметь морозостойкость 100 и более циклов попеременного замораживания и оттаивания.

В настоящее время есть интересные предложения по технологии малоцементных и бесцементных автоклавных ячеистых бетонов, а также безавтоклавных изделий, изготавливаемых на основе обычных цементов и новых вяжущих веществ. В связи с этим вполне закономерно уменьшается выпуск автоклавных ячеистых бетонов на основе цементно-песчаных смесей. Производство таких материалов сократилось в 1991 г. практически в 2 раза.

Большинство специалистов считают наиболее целесообразным применение на заводах ячеистобетонных изделий смешанных вяжущих веществ, полученных на основе местного сырья. Перед учеными же стоит задача по разработке технологии получения нового поколения ячеистых бетонов с более высокими, чем у существующих, прочностью и морозостойкостью. Это позволит значительно расширить область их применения не только в ограждающих, но и в несущих конструкциях.

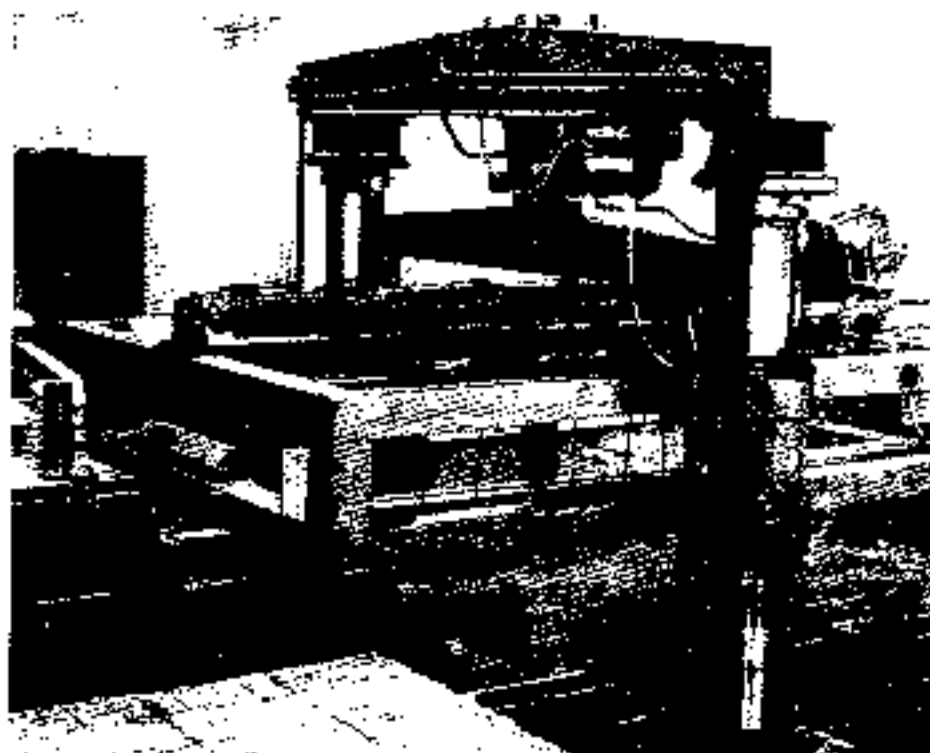
Особое значение может иметь

создание технологии для производства теплоизоляционных изделий и конструкций, а также получения декоративно-защитной отделки зданий. Решение этих задач позволит повысить конкурентоспособность ячеистобетонных изделий наравне с другими, и наши предприятия смогут выйти на мировой уровень по их качеству.

Важный вопрос — повышение технико-экономической эффективности ячеистобетонных изделий путем, например, более широкого использования при их производстве отходов промышленности, в частности различных зол и шлаков. На сегодняшний день промышленность располагает как положительным, так и отрицательным опытом применения вторичного сырья при производстве ячеистых бетонов, поэтому нужны серьезный анализ, обобщения и практические рекомендации.

Развитие производства ячеистобетонных изделий, а также совершенствование их технологий и получение новых видов этого материала невозможно без соответствующего оборудования. Однако у нас производство материалов и изделий не всегда скоординировано с разработкой и изготовлением требуемого оборудования. И если не преодолеть этого несоответствия, процессы производства ячеистобетонных материалов и совершенствования их технологии будут протекать крайне медленно.

На Люберецком комбинате строительных материалов успешно эксплуатируется линия по производству стеновых блоков из ячеистого бетона. Производство базируется на технологии, предусматривающей формирование массива, его разрезку, автоклавную обработку, подачу на склад готовой продукции на собственном поддоне, без капитальной и перетиски массива-сырца закатами. Мощности линии около 50 тыс. м³ изделий в год.



На снимке: двухстоечная резательная машина

Способы повышения эффективности производства ячеистых бетонов

В настоящее время потребность в ячеистых бетонах в строительстве превышает достигнутый уровень производства не менее, чем в 10 раз. В условиях же рыночной экономики и увеличения доли строительства индивидуальных, частных и кооперативных домов с 20 до 80 %, по сравнению с государственным жилым фондом, актуальность развития производства изделий из ячеистого бетона приобретает еще большее значение. При этом резко возрастает потребность в расширении производства мелких стеновых блоков и создании отрасли строительства жилых домов со стенами из монолитного ячеистого бетона.

Основным условием решения поставленной задачи является расширение сырьевой базы для производства ячеистых бетонов, в первую очередь, путем широкого использования вторичных продуктов промышленности и энергетики (шлаков, зол, флотохвостов, жидких и твердых отходов химической промышленности).

Наиболее дешевыми, химически активными крупнотоннажными вторичными продуктами среди других являются золошлаковые отходы тепловых электростанций.

Широкое применение при производстве изделий из автоклавных ячеистых бетонов нашли высокоосновные золы от сжигания сланцев, на которых работают (без добавки цемента и извести) Ахтмесский и Нараский комбинаты, изготавливая до 430 тыс. м³ изделий в год.

Кислые золы от сжигания каменного и бурого углей, вводимые в качестве кремнеземистого компонента при изготовлении изделий из автоклавного и неавтоклавного ячеистых бетонов, имеют ряд преимуществ:

в результате сокращения затрат на помол снижается энергоемкость производства;

ячеистый бетон при прочих равных условиях получается с меньшей на 15—20 % теплопроводностью;

появляется возможность изготовления на основе таких зол изделий из неавтоклавных бетонов и смесей для монолитного строительства, поскольку золы обладают большей, чем у песка, гидравлической активностью при твердении в нормальных условиях.

Несмотря на указанные преимущества применения зол сухого отбора, а также гидрозолоудаления при изготовлении ограждающих конструкций и деталей из автоклавного, неавтоклавного и монолитного ячеистых бетонов, объем выпуска изделий с их применением, как отмечалось выше, не превышает 30 % производства ячеистобетонных материалов.

Основная причина, сдерживающая широкое применение зол и золошлаковых смесей — это неоднородность их состава и свойств. Этот недостаток может быть значительно уменьшен путем направленного регулирования режима тепловых агрегатов и обогащения и гомогенизации смесей.

Широкое применение зол и золошлаковых смесей для изготовления крупноразмерных изделий из неавтоклавного ячеистого бетона обусловлено сравнительно большими усадочными деформациями и пониженной трещиностойкостью изделий из этих бетонов.

Другим многотоннажным вторичным продуктом, который может быть использован при изготовлении ячеистых бетонов, как показали исследования, выполненные в НИИЖБ, являются твердые и жидкие отходы обогащения различных руд, например, отходы обогащения флюоритовых руд.

Отходы от обогащения руд представляют собой тонкоизмельченные (2500—3000 см²/г) шламы, содержащие до 65 % SiO₂. При этом в процессе обогащения тонкоизмельченные руды были подвергнуты выщелачиванию в условиях автоклава, что привело к активизации поверхности кварцевых частиц.

Твердые продукты обогащения

флюоритовых руд имеют ряд преимуществ перед кварцевым песком:

они обладают гидравлической активностью, что позволяет уменьшить расход цемента;

при их применении сокращаются или исключаются вовсе затраты на помол;

комплексное использование жидких и твердых продуктов обогащения руд в сочетании со шлаками обеспечивает возможность изготовления безавтоклавных ячеистых бетонов;

с их утилизацией освобождаются занятые этими отходами площади или просто прекращается отвод земель для этих целей.

Исследования специалистов в НИИЖБ показали целесообразность применения при изготовлении ячеистых бетонов в качестве добавок различного назначения отходов производства удобрений — фосфогипса, гальванического и алюминиевого производства, парфюмерных фабрик и т. д. К сожалению, эти отходы так же, как золы и золошлаковые смеси, характеризуются неоднородностью состава и свойств.

Эффективным способом обогащения отходов промышленных и химических производств и создания на их основе готовых продуктов является разработка с использованием традиционных вяжущих (цемента, извести) или без них рецептур и способов приготовления многокомпонентных тонкомолотых сухих смесей, в том числе вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) и тонкомолотого цемента (ТМЦ). Последние предназначены для изготовления автоклавных, неавтоклавных ячеистых и других бетонов для строительства монолитных домов. Исследования в этом направлении проводились в течение 3 лет.

Разработаны составы многокомпонентных смесей, получаемые путем совместного помола вяжущего (портландцемента или портландцемента и извести-кипелки, а также шлаков) и кремнеземи-

стых компонентов, которыми могут служить кварцевые пески, золь-уноса, хвосты обогащения различных руд.

При изучении режимов помола вяжущих, как с комплексными химическими добавками (в том числе с водопонижающими), так и без них, установлено, что регулируя процесс, мы можем получить из одних и тех же сырьевых материалов сухие смеси, резко различающиеся между собой, как по активности, так и по срокам схватывания.

Определены требования к составам и режимам их подготовки для получения бетонов автоклавного твердения и неавтоклавного ячеистого бетона.

В последние годы рядом институтов проводились интенсивные исследования по возможности получения и применения при изготовлении ячеистых бетонов вяжущего низкой водопотребности — ВНВ. Изучены такие вяжущие более 100 разновидностей. Они различались между собой по минералогическому составу клинкера, виду и содержанию кремнеземистого компонента, виду и количеству комплексных добавок, в том числе водопонижающих, режиму помола.

Был сделан вывод: ВНВ — материал будущего, обладающий большими потенциальными возможностями. На его основе можно получать ячеистые бетоны, не уступающие по своим физико-механическим свойствам лучшим зарубежным аналогам. Например, можно получать автоклавный газобетон марки Д 500 с прочностью не менее 35 кгс/см^2 , а неавтоклавный ячеистый бетон той же марки при плотности $650\text{—}700 \text{ кг/м}^3$. Кроме того, применение ВНВ открывает путь развитию новых технологий ячеистого бетона.

Благодаря применению ВНВ в сочетании с химическими добавками можно в очень широком диапазоне регулировать сроки нарастания пластической прочности ячеистого бетона. Получены ячеистобетонные смеси с $\rho=600 \text{ кг/м}^3$, пластическая прочность которых через 20—30 мин после приготовления составляет $2\text{—}3 \text{ кгс/см}^2$. Это дает возможность создать новые безрезательные технологии, например роторные, для получения эффективных качественных ячеистобетон-

ных блоков, а также быстро расплубливать крупноразмерные изделия, затем запаривать их без форм. Исследования в этом направлении продолжают.

Эффективным вяжущим, позволяющим получать высококачественные ячеистые бетоны с регулируемыми сроками нарастания пластической прочности, является ТМС, которое отличается от ВНВ тем, что в него в процессе изготовления не вводят химических добавок, в том числе водопонижающих. Это новое вяжущее по сравнению с ВНВ имеет преимущества и недостатки. К преимуществам относятся: меньшая стоимость; возможность применения для его получения однокамерных шаровых вибромельниц;

производство его более экологически чистое;

его можно изготавливать на серийно выпускаемых технологических линиях.

Недостаток вяжущего заключается в том, что он имеет несколько меньший, чем ВНВ, технический эффект, как в отношении улучшения физико-механических свойств бетона, так и повышения интенсификации технологического процесса при изготовлении изделий из него.

Применение многокомпонентных сухих смесей для производства ячеистых бетонов позволяет: повысить их физико-механические свойства благодаря повышению однородности сырьевых материалов;

расширить сырьевую базу, так как при производстве ТМС можно так подобрать такое сочетание компонентов сырьевой смеси, при котором устраняются недостатки одних и усиливается положительное влияние других;

организовать сравнительно дешевые малые предприятия по выпуску качественных изделий из ячеистых бетонов.

В связи со сказанным основная концепция НИИЖБ в плане развития производства ячеистых бетонов состоит в том, что его следует развивать по нескольким направлениям.

Первое и основное направление — это строительство крупных заводов мощностью по $200\text{—}300 \text{ тыс. м}^3$ в 1 год, оснащенных автоклавами и мощным помольным отделением. Такие предприятия следует располагать в районах с хорошей сырьевой базой, напри-

мер вблизи от крупных ТЭЦ или ГРЭС, на которых имеются большие запасы зол.

Предприятия должны быть оснащены оборудованием, обеспечивающим производство по результирующей технологии комплектных конструкций и изделий для строительства многоэтажных домов, а также мощными помольными отделениями, осуществляющими выпуск сухих смесей для изготовления ячеистого бетона и для снабжения ими предприятий небольшой мощности около $5\text{—}10 \text{ тыс. м}^3$ в год по выпуску только мелких блоков на неавтоклавного ячеистого бетона — дешевых, оснащенных максимально простым оборудованием. Предусматривается, что помольные отделения крупных предприятий будут поставлять сухие смеси на крупные стройки для получения «теплых» кладочных и отделочных растворов и продавать индивидуальным застройщикам. На этих же помольных отделениях можно получать сухие смеси для возведения малоэтажных домов из монолитного ячеистого бетона.

Второе направление — строительство заводов мощностью $100\text{—}150 \text{ тыс. м}^3$ в 1 год автоклавного ячеистого бетона, работающих на многокомпонентных смесях, которые характеризуются сверхбыстрым набором пластической прочности. Составы для таких смесей уже разработаны. Предназначены они для изготовления изделий и конструкций в индивидуальных формах. Благодаря быстрому набору бетоном прочности распублика изделий будет происходить до автоклавной обработки. Это позволит значительно интенсифицировать производство за счет сокращения сроков оборачиваемости форм. Такие заводы должны быть оснащены автоклавами диаметром $3,6 \text{ м}$.

На указанных предприятиях также должны быть помольные отделения, выпускающие сухие смеси для менее мощных предприятий, изготавливающих стеновые блоки по роторной технологии. Сухие смеси и в этом случае целесообразно поставлять для монолитного малоэтажного строительства.

Для реализации названных выше направлений производства ячеистого бетона в НИИЖБ есть технологические разработки составов для разных технологий, ведутся работы по получению

«теплых» растворных смесей, антикоррозионных покрытий и покрытий поверхности форм.

Важная задача заключается в выпуске достаточного количества технологического оборудования для предприятий различных типов при максимальной его унификации. Конструкторская документация для ряда производств уже имеется.

В настоящее время для изготовления изделий из ячеистых бетонов по раздаточной технологии выпускается серийное оборудование линии «Универсал» (НПО «Силбет») и оборудование линии БТ 40.

МНИИПТИ «Стройиндустрия» создал новое поколение модернизированных линий мощностью от 80 до 400 тыс. м³ в 1 год на основе оборудования линии БТ 40. Разрабатывается на той же базе оборудование для малоэтажного жилищного строительства.

НПО «Силбет» разработал технологические линии мощностью 100 тыс. м³ ячеистого бетона и

более, например в г. Бобруйске. Имеются разработки Гипростроммашины линий производительностью 130—160 тыс. м³ в 1 год.

Сегодня наибольшим спросом пользуются технологические линии малой мощности. Поэтому представляется целесообразным разработать на основе существующих и разработанных конструктивных решений два варианта производства ячеистых бетонов и изделий из них.

1. Производство мощностью 40 тыс. м³ изделий в 1 год, включающее выпуск мелких блоков — 20 тыс. м³ и плит перекрытий и покрытий — 20 тыс. м³ из ячеистых бетонов автоклавного твердения, оснащенное оборудованием на базе действующего (г. Люберцы) и выпускаемого серийно Брянским ПО «Строймелиормаш».

2. Производство мощностью 10—20 тыс. м³ в 1 год. Продукция — мелкие стеновые блоки из неавтоклавного ячеистого бетона. Предусмотрено оборудование, изготавливаемое на основе современ-

ных технологических разработок с использованием имеющихся конструктивных решений.

МНИИПТИ «Стройиндустрия» готов взять на себя разработку оборудования и разместить его изготовление на машиностроительных заводах в объеме 15—20 комплектов в 1 год.

Весьма важным является создание оборудования для новых технологий получения ячеистого бетона, в том числе для монолитного домостроения. Такая работа ведется.

Проводятся исследования по расширению области применения изделий из ячеистых бетонов. Так, в НИИЖБ разработаны составы ячеистых бетонов, которые можно применять в условиях воздействия высоких и сверхнизких отрицательных температур (до —194 °С). Изучается возможность использования ячеистых бетонов как радиозащитных материалов и в качестве дрелирующего теплозащитного слоя для выращивания овощных и садовых культур.

ФИРМА ГАРАНТИРУЕТ

АО институт «Волгостромпроект» свыше 25 лет успешно решает проблемы, связанные с производством строительных материалов и созданием оборудования для отрасли.

Специалисты института имеют богатый опыт в проектировании новых и реконструкции действующих заводов, цехов, участков, производящих кирпич (глиняный, силикатный, огнеупорный), изделия из керамики, гипса, пено-, шлако- и железобетона, натурального камня (мрамор, гранит), стекла и т. п.

По проектам института построен и успешно эксплуатируется целый ряд предприятий в Поволжском и других регионах России и «ближнего зарубежья».

В настоящее время институтом установлен деловой контакт с рядом инофирм, поставляющих технологическое оборудование для отрасли. Это позволит в ближайшем будущем закладывать в проекты высокопроизводительное импортное оборудование и гарантировать заказчику его поставку в оговоренные сроки.

Солидный конструкторский потенциал и наличие собственной производственной базы позволили оснастить ряд заводов России и бывшего СССР машинами оригинальной конструкции.

Например, Самарский и Лобненский заводы стройфарфора свыше 10 лет успешно эксплуатируют механизированные станки для производства сантехизделий.

Большой популярностью на гипсовых заводах пользуются созданные институтом карусельные установки

для изготовления гипсовых блоков и перегородочных плит.

Широкое применение на мраморных и гранитных карьерах нашли гидроклиновые установки для добычи камня и станки для его обработки.

Кроме этого, институт может оказать заказчикам целый ряд других проектно-исследовательских услуг — проектирование санитарно-защитных зон, котельных, компрессорных, тепловых сетей, ЛЭП, подъездных и внутренних дорог, жилых и гражданских зданий, предприятий торговли, общественного питания, соцкультбыта, коммунального хозяйства и др.

По первой просьбе заказчика специалисты института соберут необходимые исходные данные, выберут площадку, проведут инженерные изыскания, разработают полный комплект проектно-сметной документации, запроектируют любое нестандартное оборудование, изготовят, смонтируют, отладят его, сдадут «под ключ» с последующим гарантийным обслуживанием и изготовлением необходимых запчастей.

Желающим сотрудничать с институтом сообщаем адрес: 443045, г. Самара, ул. Авроры, 181, контактный телефон 22-15-07, телетайп 344153 «РИТМ».

А. А. ФЕДИН, д-р техн. наук (ЦМИГКС при Московском инженерно-строительном институте)

Научно-технические предпосылки совершенствования технологии силикатного ячеистого бетона

Существующие ячеистые бетоны различаются между собой по виду и составу вяжущего, по способам порообразования, формования и твердения, по назначению.

Наибольшее распространение получили ячеистые бетоны автоклавного твердения, но сегодня повышается интерес к неавтоклавным, изготавливаемым на основе традиционных и новых вяжущих веществ. Специалисты вновь стали обращать внимание на ячеистые бетоны, полученные с применением пенной поризации. Многообразие способов поризации вызывает определенные трудности при выборе вида ячеистого бетона и обосновании технологии его изготовления.

Каждый способ получения ячеистого бетона имеет свои преимущества и недостатки. Выявить те или другие из литературных источников не всегда представляется возможным, так как в статьях или докладах по любому из бетонов в основном обращается внимание на преимущества предлагаемого материала и недостатки всех остальных, что не способствует объективной оценке материала и способа его получения.

Как было сказано выше, наибольшее распространение получили бетоны автоклавного твердения. Они хорошо зарекомендовали себя как по показателям прочности, морозостойкости, деформативности и т. д., так и по стоимости.

Автоклавный метод твердения позволяет обеспечить синтез наиболее высококачественных цементующих веществ даже при использовании формовочных смесей, полученных на основе местного и полутного сырья. Более того, применение известково-песчаных смесей с добавками оказывается более выгодным, чем цементно-песчаных, так как получаемые ячеистые бетоны в большей степени отвечают современным требованиям и, прежде всего, по

показателям средней плотности, деформативности и технико-экономической эффективности.

Первые попытки производства ячеистых бетонов из известково-песчаных смесей не дали положительных результатов в основном из-за низкого качества известки и особенностей твердения таких смесей. В связи с этим широкое распространение получили смешанные вяжущие вещества. В настоящее время они используются преимущественно в заводской практике производства ячеистых бетонов.

При определении состава смеси большое значение имеет соотношение отдельных составляющих. К сожалению, бытует неправильное мнение, что, чем выше расход цемента, тем лучше качество ячеистого бетона. Чаще всего наблюдается обратная картина, когда при увеличении содержания цемента качество ячеистого бетона снижается вследствие увеличения деформации и, следовательно, уменьшения трещиностойкости, например, ограждающих конструкций.

Ячеистые бетоны, изготовленные на основе отходов промышленности — зол, шлаков и других, получают все большее применение. Это выгодно не только с экономической, но и экологической точек зрения. Однако здесь все не так просто, как кажется. Золо и шлаки (за исключением гранулированных) в большинстве своем не однородны. Их состав часто меняется. Это создает неблагоприятные условия для применения вторичных сырьевых материалов в технологическом процессе, не включающем каких-либо дополнительных переделов, позволяющих их обогащать и усреднять.

Обработку вторичного сырья, которая гарантировала бы более однородный состав шлаков и зол, минимальное содержание в них вредных примесей, можно осуществлять на специальных предпри-

ятиях по переработке шлаков и зол.

Таким образом, при производстве ячеистых бетонов наиболее целесообразно с учетом сказанного выше применять смешанные вяжущие вещества, основными компонентами которых являются известково-песчаные смеси с добавками цемента или гранулированного шлака. Такие смеси в достаточной степени апробированы. Они технологичны и обеспечивают получение ячеистых бетонов высокого качества. При их применении достигаются большая экономия цемента и низкие значения средней плотности бетонов.

Следует отметить, что по сложившейся привычке специалисты зачастую переоценивают роль цемента и недооценивают его влияние на синтез гидратных соединений, установленное в соответствии с последними достижениями кристаллохимии, термодинамики и других составляющих теории и практики химии вяжущих веществ.

Часто специалисты обосновывают увеличение содержания цемента необходимостью снизить активность (по содержанию CaO) смеси, что связано с применением в заводской практике формовочных масс с низкими значениями водотвердого отношения (V/T), хотя при производстве ячеистых бетонов нет надобности снижать V/T смеси, а затем разжижать ее путем вибрации и других методов.

Из вышесказанного следует, что есть необходимость детально рассмотреть сущность синтеза гидратных новообразований при использовании многокомпонентных сырьевых смесей и выявить роль при этом известки, цемента и других компонентов. На основе этих данных целесообразно разработать предложения по определению рационального состава смешанных вяжущих веществ, обеспечивающее высокое качество ячеистых бетонов и минимальные затраты на их производство.

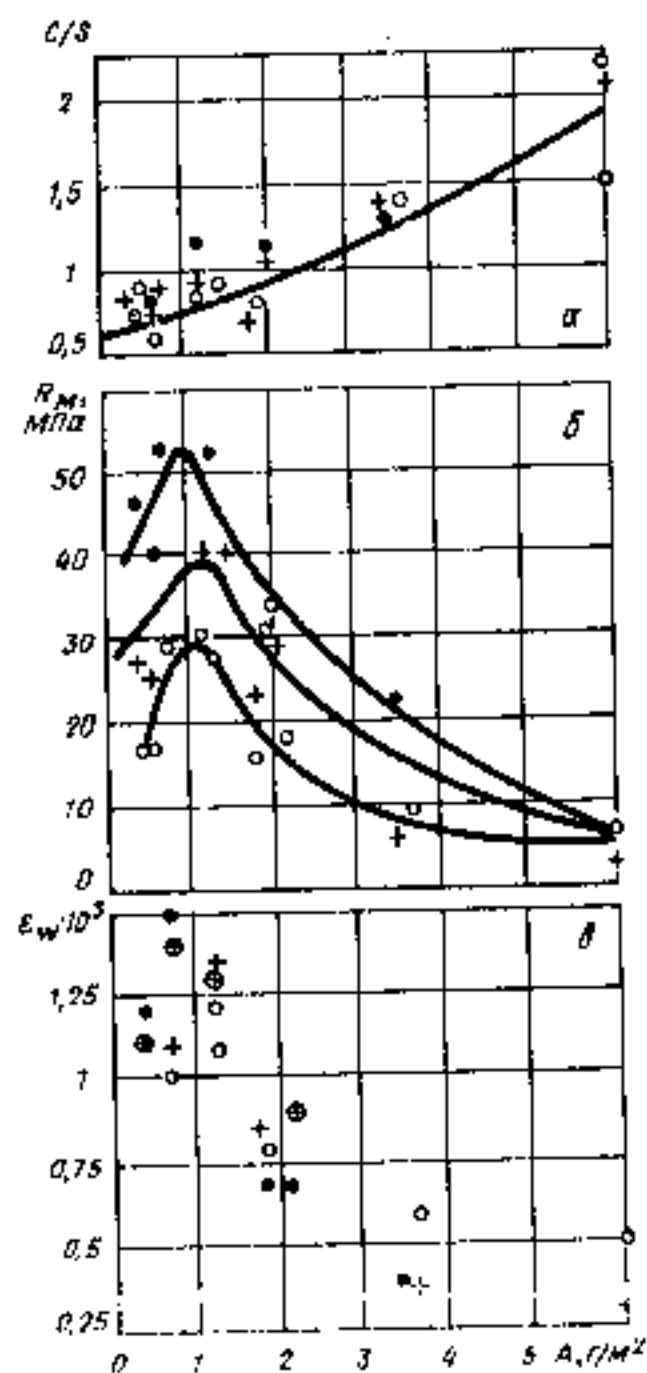


Рис. 1. Зависимость C/S -новообразований; R_m и ϵ_w микросиликата от насыщения поверхности аморфного кремнезема оксидом кальция
 ● — $V/T=0,3$; + — $V/T=0,45$; ○ — $V/T=0,6$

Для обоснования состава смешанного вяжущего проведены научные исследования.

Теоретической основой рабочей гипотезы формирования состава смешанного вяжущего автоклавного твердения являются результаты работ по кристаллохимии силикатов Н. В. Белова [1] и его последователей. К сожалению, в практике полученные результаты ученых не нашли широкого применения.

Для обоснования оптимального состава сырьевой смеси при производстве высококачественных ячеистых бетонов следует всесторонне изучить состав и структуру новообразований, которые обеспечивают монолитизацию твердосоставляющей основы материала в процессе автоклавной обработки изделий.

Результаты исследований харак-

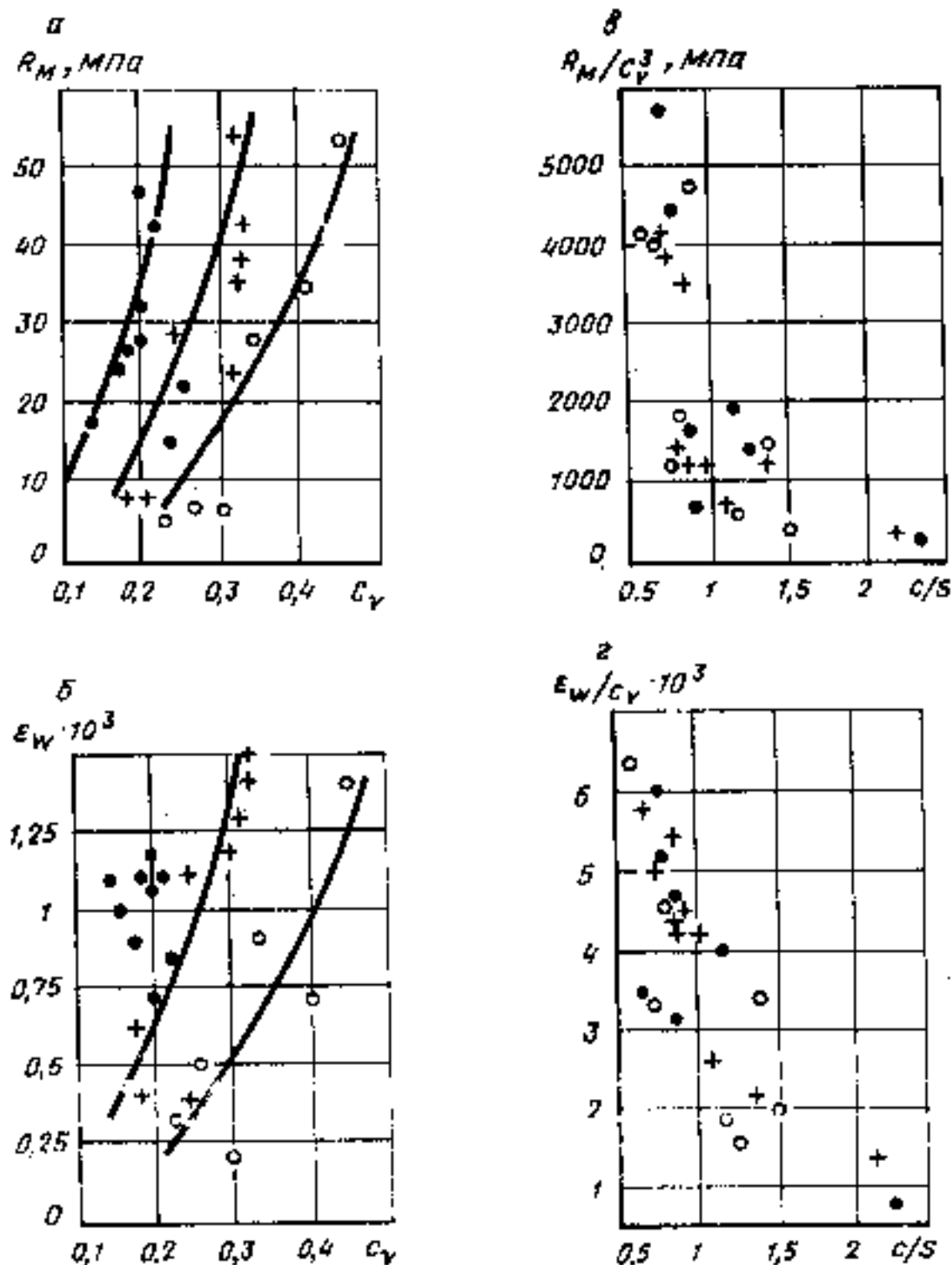


Рис. 2. Зависимость R_m и ϵ_w микросиликата от C/S (а, б)
 ● — активность, 14%; + — то же, 22%; ○ — то же, 30%

теристик структуры и свойств материала межпоровых перегородок ячеистого бетона показаны на рис. 1 и 2. Средняя основность новообразования в бетоне зависит от насыщения поверхности частиц кремнезема гидроксидом кальция (см. рис. 1, а). Установлено оптимальное значение насыщения поверхности частиц кремнезема CaO , которое в рассматриваемом случае равно 1 г/м^2 (см. рис. 1, б). Влажностные деформации снижаются при увеличении насыщения частиц кремнезема CaO (см. рис. 1, в).

Значительный рост прочности и влажностных деформаций материала межпоровых перегородок с увеличением содержания в нем цементирующих веществ проиллюстрирован рис. 2, а, б. Из данных рис. 2, в и г можно сделать заключение, что прочность и

Зависимость R_m/C_v^3 и ϵ_w/C_v от C/S новообразований (в, г)

● — $V/T=0,3$; + — $V/T=0,45$; ○ — $V/T=0,6$

влажностные деформации новообразований снижаются при увеличении их средней основности. Здесь следует обратить внимание на то, что если увеличение прочности при росте концентрации и снижении основности является фактором положительным, то рост деформативности, напротив, — отрицательным.

Полученные данные совпадают с литературными и могут быть использованы при обосновании технологических параметров направленного регулирования структуры материала межпоровых перегородок в зависимости от требуемых свойств ячеистого бетона.

На основе анализа зависимости свойств материала от характеристик структуры и технологических факторов (см. рис. 3, а, б, в, г) сделано заключение о возможности использовать известное

уравнение Т. Пауэрса (описывающего зависимость прочности цементного камня от содержания в нем новообразований [2]) для соответствующих расчетов при исследовании силикатных бетонов:

$$R = R_n \cdot C^3,$$

где R_n — прочность новообразований; C — объемная концентрация новообразований в цементном камне.

Согласно нашим исследованиям, при изменении пористости цементного камня от 40 до 60 % наблюдается снижение его прочности с 50 до 20 МПа. По данным других исследователей (см. рис. 3, в), изменения прочности более значительны.

Усадка цементного камня также зависит от его капиллярной пористости. При увеличении последней от 30 до 60 % (в 2 раза) усадка возрастает в 4 раза (по литературным данным — в 4,5 раза). По всей видимости, авторы имеют дело с материалами, различающимися не только содержанием капиллярных пор, но и их морфологией.

Надо сказать, что размер пор цементного камня оказывает влияние и на его прочность.

Известно, что прочность заметно увеличивается при росте концентрации цементирующих веществ и уменьшении среднего размера капиллярных пор. Однако при этом увеличивается влажностная деформативность материала, т. е. происходит улучшение одних показателей и ухудшение других (что не всегда учитывается). Это обстоятельство предопределяет необходимость повышения качества новообразований, что позволит снизить деформации ячеистых бетонов. Решению этой задачи связано с совершенствованием структуры новообразований, улучшением их минерального состава.

Основными составляющими новообразований цементного камня являются гидросиликаты различной основности, тоберморит и другие соединения. Известно, что наиболее прочны и стабильны минералы высокой степени конденсации. В этом плане тоберморитовые фазы являются наиболее совершенными [2, 3]. Так, по данным литературы [4], прочность тоберморитов в 2 раза выше прочности минералов типа $C-S-H$ [1]. Поэтому увеличение содержания тоберморитовых

фаз обеспечивает повышение прочности цементного камня. Аналогичная выше названной мысль высказывается Тейлором [5]. Он считает, что при снижении соотношения C/S прочность материала при растяжении увеличивается примерно вдвое. Это явление, по его мнению, связано с ростом степени конденсации силикатных анионов.

Минералы с более высокой степенью закристаллизованности характеризуются меньшей усадкой, чем у таковых в фазах раннего образования. Тоберморитовые фазы имеют различные базисные расстояния. Так, при снижении давления водяного пара этот показатель уменьшается с $13,3$ до $9,7 \text{ \AA}$ и, следовательно, объем микропустот в цементирующих веществах, в которых могут располагаться слабосвязанные молекулы H_2O , также уменьшается. Внешне это сопровождается усадкой цементирующих веществ. Слабозакристаллизованные фазы цементирующих веществ имеют беспорядочно распределенные слои со средней толщиной около 30 \AA [5], поэтому они, в силу рассмотренных признаков структуры, подвергаются обычно более значительной усадке.

Установлено, что при добавке в смесь 10 % тонкомолотого ($S=8000 \text{ см}^2/\text{г}$) песка существенно (на 30—40 %) уменьшаются усадочные деформации цементного камня при незначительном изменении его предела прочности при сжатии, т. е. отмечается повышение закристаллизованности новообразований. Однако такое явление связано с увеличением энергозатрат на помол и снижением производительности шаровых мельниц.

Благодаря развитию современных представлений общей химии, кристаллохимии [1, 6], химии нестехиометрических соединений [7] и других фундаментальных наук, стало возможным совершенствовать новообразования путем создания многокомпонентных смесей, способствующих формированию более стойких цементирующих веществ без увеличения энергозатрат на технологический процесс.

Основными составляющими цементирующих веществ силикатных бетонов являются минералы тоберморитовой группы, из которых наиболее стойкий $T-11,3 \text{ \AA}$. Для его получения требуются сравни-

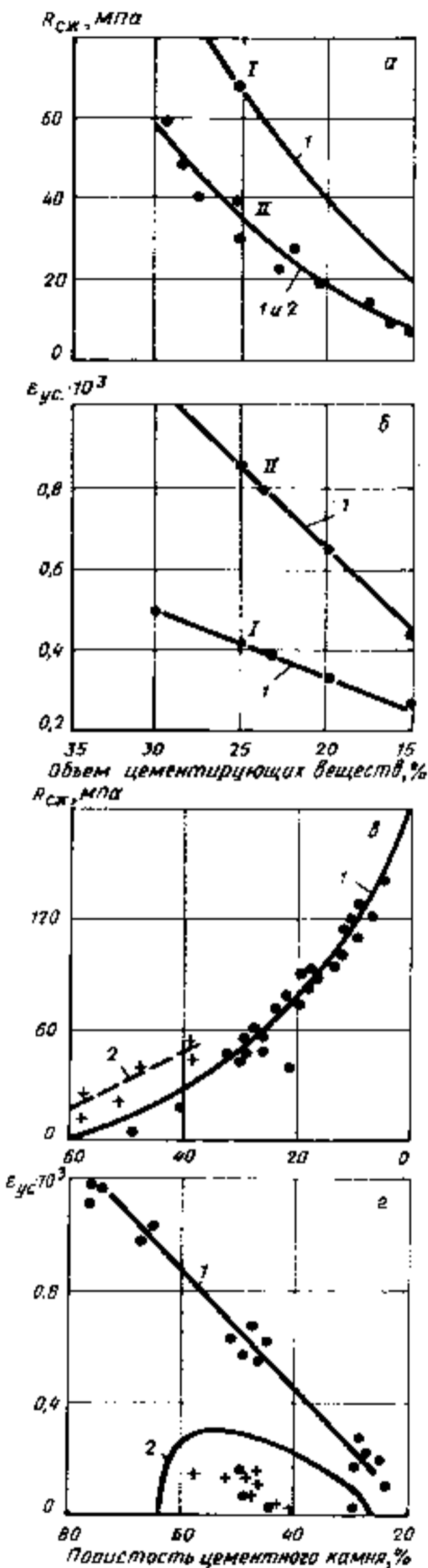


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии и деформации усадки затвердевшего цементного камня от концентрации цементирующих веществ (а, б) и пористости (в, г)
I — по данным литературы; 2 — по результатам исследования: I — тоберморит; II — CSH (1)

тельно высокие энергетические затраты, и тем не менее структура минералов тоберморитовой группы характеризуется большим объемом межплоскостных пространств и микрополостей, связанных с характером их образования.

Белов Н. В. [1] считает, что основой силикатов служат катионы кальция, к которым подстраиваются кремнекислородные радикалы, объединенные в виде цепочек, лент и колец. Ученый обращает внимание на то, что гидроксильные группы могут входить в кремнекислородный мотив. При благоприятных условиях часть тетраэдров кремния может быть замещена на тетраэдры алюминия. Однако с энергетической точки зрения для компенсации избыточного заряда, образовавшегося в результате этой замены, может происходить присоединение катионов небольшой степени окисления (Na^+ , K^+ , Li^+ и др.). Они способствуют повышению активности кремнезема при его гидратации и в процессе синтеза цементирующих веществ.

Частичное замещение кремния алюминием способствует уплотнению структуры гидросиликатов [5]. Однако содержание атомов алюминия ограничено. На основании исследований Д. Калоузека [8] можно ориентировочно определить требуемое количество алюминийсодержащих компонентов, которое находится в пределах 12—14 % массы смеси. Однако это зависит от состава исходных материалов и условий твердения бетона.

На уплотнение и повышение закристаллизованности новообразований указывает тот факт, что усадка материала снижается в 2 раза [9]. По другим данным [8], такой эффект достигается при введении в состав смеси наряду с Al^{+3} хлористого кальция.

Структура полученных минералов автоклавного синтеза из многокомпонентных смесей имеет отклонения от структуры классического тоберморита и поэтому их называют аномальными. Аномальные соединения обладают более высокой плотностью, и для их получения требуется значительно меньше энергии по сравнению с таковым показателем для нормальных (стехиометрических) соединений [7].

Образование аномалий в строе-

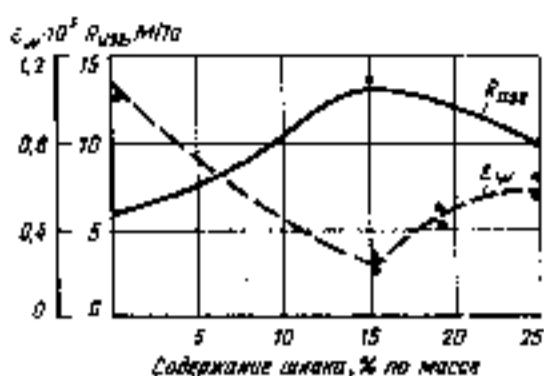


Рис. 4. Изменение прочности при изгибе и влажностной усадки при введении в состав смеси молотого гранулированного шлака

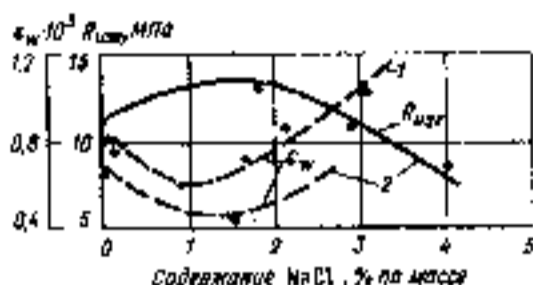


Рис. 5. Прочность при изгибе и влажностная усадка микросиликата, изготовленного с комплексными добавками

1 — с добавкой излака (13 %); 2 — с добавкой шлака (13 %) и гипса (2 %)

нии кристаллов является не исключением, а скорее правилом. Эти представления получили основное подтверждение после того, как ученые Шотки и Вагнер, использующие метод статистической термодинамики, установили взаимосвязь между дефектностью кристаллической решетки и нестехиометрией. Образование дефектов в кристаллах связано с тем, что система самопроизвольно стремится к минимуму свободной энергии. Это в соответствии со вторым принципом термодинамики может быть достигнуто путем увеличения энтропии, т. е. степени беспорядка в кристалле [7].

Идеальный монокристалл термодинамически нестабилен и при повышении температуры стремится к образованию дефектов, если они не были созданы искусственно. Поэтому целесообразно при кристаллизации гидратных соединений создавать условия для направленного дефектообразования.

Таким образом, при определении состава сырьевой смеси целесообразно применять вещества, содержащие Al^{+3} , щелочные ионы (Na^+ , K^+ и др.), компенсирующие избыточный заряд при замене тетраэдров кремния на тетраэдры алюминия.

Число полезных примесей не ограничивается перечисленными. Ион Cl^- также способствует уплотнению новообразований, за-

мещая ион OH^- [10]. Возможно улучшение структуры новообразований введением добавки гипса [11]. Анионы SO_4^{2-} интенсифицируют процесс синтеза цементирующих веществ и способствуют повышению их плотности. По мнению некоторых исследователей, анионы SO_4^{2-} участвуют в синтезе аномальных новообразований, частично замещая тетраэдры SiO_4 . В кристаллической решетке аномального тоберморита содержание SO_4^{2-} может достигать 5 % [12].

Силикатные системы — наиболее сложные для изучения их с позиций фундаментальной химии неорганических соединений. Они неоднородны по составу и структуре, даже при рассмотрении их в ограниченном объеме. Это связано с тем, что синтез новообразований протекает при взаимодействии компонентов гетерогенной системы.

Для экспериментального подтверждения научно-технических предпосылок совершенствования состава и структуры цементирующих веществ были проведены исследования*, в результате которых получена принципиально новая информация по существу поставленной задачи. На рис. 4 приведены результаты исследований прочностных и деформативных свойств цементного камня в зависимости от содержания гранулированного шлака в смеси. При определенном соотношении компонентов обеспечивается наибольшая прочность материала при его минимальных усадочных деформациях.

Результаты исследований цементирующих веществ, полученных на основе известково-песчаного вяжущего (ИПВ) и известково-песчано-шлакового приведены в таблице. Так, при введении шлака в количестве 13,3 %, что соответствует оптимальному содержанию его в смеси, обеспечивается более высокое содержание тоберморита в составе новообразований. Последние имеют наибольшую плотность — $75 \text{ м}^2/\text{г}$.

При введении в состав известково-песчаной смеси гипса (0,5—3,5 % массы сухого вещества) не обнаружено заметного изменения прочностных показателей микросиликата, но образуются более плотные цементирующие веществ-

* Исследования выполнены автором настоящей статьи совместно с А. В. Уколовой.

ва, усадка которых на 15—20 % ниже, чем аналогичных без гипса.

С присутствием анионов SO_4^{2-} ориентировочно в 2 раза ускоряется образование тоберморита. Еще больший эффект достигается при введении в состав смеси наряду с гипсом и хлористого натрия.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что для повышения прочности и трещиностойкости ячеистого бетона нужно стремиться к увеличению закристаллизованности новообразований путем использования многокомпонентного вяжущего автоклавного твердения, основой которого является известково-песчаная составляющая средней активности 18—20 %. Для ускорения синтеза гидратных соединений следует применять добавки, содержащие ионы AlO_4^{3-} , Cl^- и др., которые, замещая SiO_4^{4-} , OH^- , обеспечивают формирование малозернистых аномальных тоберморитов, способствующих не только улучшению прочностных показателей ячеистых бетонов, но и повышению их трещиностойкости.

Результатами исследований и практикой подтверждено, что содержание цемента, шлака, гипса должно быть ограничено и зависит от минерального состава последних. При применении цемента (лучше шлакопортландского) его количество — 7—10 % дает наилучшие результаты. При замене цемента молотым гранулированным шлаком содержание последнего должно находиться в пределах 12—14 % массы вяжущего. Увеличение содержания цемента до 10—15 % (до 120 кг на 1 м³ бетона и более) не дает положительных результатов и невыгодно с экономической точки зрения.

Большой опыт работы с ячеистыми бетонами и изучения литературных данных позволяет сделать вывод о том, что содержание извести на большинстве предприятий следует увеличить с 14—16 %

до 18—20 %, а содержание цемента с 20—25 % (120—150 кг на 1 м³ бетона) снизить до 7—10 % (40—60 кг на 1 м³ бетона).

Технологичность таких смесей значительно лучше, чем многоцементных, что связано с рядом положительных характеристик извести.

Проведем сравнительную оценку наиболее распространенных способов приготовления вяжущих веществ для получения ячеистобетонных смесей.

В заводской практике применяют и отдельный, и совместный помол составляющих. При этом первый предусматривает применение мельниц мокрого помола для кварцевого песка и мельниц сухого помола для извести и добавок. Совместное измельчение составляющих осуществляется в мельницах сухого помола, в них составляющие смеси тщательно перемешиваются.

На большинстве действующих предприятий, к сожалению, применяется отдельный помол основных составляющих. При этом для улучшения помола извести в мельницу сухого помола вводится небольшая добавка кварцевого песка, а при помоле кварцевого песка в мельницу мокрого помола вводится небольшая добавка извести. Фактически в этом случае одновременно совмещаются сухой и мокрый помол в одном технологическом процессе, что усложняет процесс приготовления сырьевой смеси, удорожает производство из-за увеличения общей массы оборудования, расхода электроэнергии, трудоемкости и др.

Одной из главных причин довольно распространенного отдельного помола является приобретение в свое время в Польше 10 заводов ячеистых бетонов, работающих по этой технологии подготовки смеси. Создание институтов и мастерскими последующих проектов происходило под

влиянием существующей технологии и имеющейся технической документации.

Отечественная технология изготовления ячеистобетонных изделий появилась задолго до приобретения польских заводов — в середине 50-х годов. В ее основе был заложен сухой совместный помол сырьевых компонентов. Сегодня по такой технологии работают 5 заводов и строятся новые высокопроизводительные предприятия.

При сравнительной оценке основных показателей качества ячеистых бетонов, полученных на предприятиях с отдельным помолом и с сухим совместным помолом, установилась преимущественно последнего. Это относится к показателям приведенной прочности ячеистого бетона.

Представляется возможным получить высококачественные ячеистые бетоны со средней плотностью 100 кг/м³ на основе технологии подготовки сырья по методу сухого совместного помола.

Преимущество сухого совместного помола извести и песка по сравнению с другими способами [13] подтвердили специальные исследования НИПСилкатобетона (г. Таллинн) и ВИСИ (г. Воронеж). Совместное измельчение компонентов смеси обеспечивает ускорение образования цементирующих веществ и, что самое важное, создает условия для управления процессами твердения. А это, в свою очередь, способствует повышению качества продуктов гидротермального синтеза.

Совмещение процессов помола и перемешивания приближает существующую технологию ячеистых бетонов к химической, что представляет собой принципиально новый этап ее развития и совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белояр Н. В. Кристаллохимия силикатов с крупными катионами. — М.: Изд-во АН СССР, 1961.
2. Пауэрс Т. Физические основы цементного теста и камня. — В кн. Труды 4-го Международного конгресса по химии цемента. — М.: Стройиздат, 1964.
3. Федин А. А. Основы технологии производства малощелочных и безщелочных ячеистых бетонов. — В кн.: Научно-технические достижения и передовой опыт в производстве строительных материалов. Информ. сборник ВНИИЭСМ. Вып. 1. — М.: 1991.
4. Жмбор Ж. — В кн.: Труды 5-го Международного конгресса по химии цемента. — М.—В.: Стройиздат, 1973.
5. Тейлор Х. Ф. В. Кристаллохимия продуктов гидратации портландцемент-

№ состава	Состав сырьевой смеси, %		Состав твердофазовых составляющих, %		Удельная пористость твердофазовых составляющих, м ³ /г	Основные свойства	
	ИПВ	Шлак	C—S—H	Тоберморит		Прочность при сжатии, МПа	Усадка, $\epsilon_p \times 10^3$
1	100	—	12,6	18	87	35,5	1,1
2	86,7	13,3	11,4	22	75	44	0,3
3	71,4	28,6	10,3	20,2	102	48	0,6

Примечание. Содержание основных составляющих новообразований определяли по методике Г. Грюнберг, ИПВ — известково-песчаная вяжущая активностью 19 %.

- та.— В кн.: 6-й Международный конгресс по химии цемента. Т. 11, Кн. 1.— М.: Стройиздат.
6. Кребс Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений.— М.: «Мир», 1971.
7. Третьяков Ю. Д. Химия нестехиометрических оксидов.— М.: Изд-во МГУ, 1974.
8. Квирозек Д. Л. Гидротермальная обработка бетона при высоком давлении.— В кн.: Пятый международный конгресс по химии цемента.— М.: Стройиздат, 1973.
9. Noorlander A. Proceedings of the International Symposium on Autoclaved Calcium Silicate Building Products.— London, 1964.
10. Георгану И., Мунтян М. Система силикаты кальция—вода—электролит.— В кн.: Шестой международный конгресс по химии цемента. Т. 11, Кн. 2.— М.: Стройиздат, 1976.
11. Федин А. А., Чернышов Е. М. и др. Влияние состава сырьевой шихты на структуру цементирующего вещества и физико-механические свойства силикатного ячеистого бетона.— В кн.: Исследования по цементным и силикатным бетонам.— Воронеж: Изд-во ВГУ, Вып. 4.
12. Шауман Э., Валтр Э. Внедрение сульфат-ионов в кристаллическую решетку 11 \AA° — тоберморита.— В кн.: Шестой международный конгресс по химии цемента. Т. 11, Кн. 1.— М.: Стройиздат, 1976.
13. Эскуссон К. Некоторые принципы управления прочностными и деформативными свойствами ячеистого бетона // Стронт. материалы. 1984. № 6.

УДК 666.973.6

А. В. ВОЛЖЕНСКИЙ, д-р техн. наук, Ю. Д. ЧИСТОВ, канд. техн. наук (МИСИ)

Изготовление изделий из неавтоклавного газобетона

Широкое использование бетонов ячеистой структуры в современном строительстве объясняется их высокой эффективностью.

Производство неавтоклавного ячеистого бетона получило развитие практически в начале нашего столетия. В первый период ячеистый бетон приготавливали на основе портландцемента с его расходом 350—500 кг/м³, а затем стали применять вяжущие на основе шлаков и зол.

Целенаправленные комплексные исследования неавтоклавных ячеистых бетонов выполнены в МИСИ, НИИСМ (г. Киев), Донецком, Уральском и других ПромстройНИИпроектах. Доказана возможность получения неавтоклавного газобетона, удовлетворяющего требованиям СНиП.

С целью снижения расхода цемента можно применять природные и искусственные активные минеральные добавки. Однако использование ряда добавок при производстве неавтоклавного газобетона сопровождается снижением его прочности при естественном вызревании. При пропаривании изделий прочность возрастает, но усадка остается высокой — 2—3 мм/м.

При твердении ячеистого бетона в условиях пропарочных камер при атмосферном давлении с использованием в качестве вяжущего тонкодисперсных смесей цемента и активных добавок удается получить не только теплоизоляци-

онный, но и конструкционный газобетон для ограждающих конструкций малоэтажных зданий.

Следует отметить, что в зданиях со стенами из ячеистых бетонов благодаря их высокой паропроницаемости создается благоприятный микроклимат.

Особенно эффективно применение мелких блоков (камней) для строительства малоэтажных зданий в сельской местности. Учитывая рассредоточенность населения и его тенденцию к малоэтажному строительству, целесообразно расширять использование мелкоштучных изделий из неавтоклавного газобетона. Однако технология приготовления такого бетона на основе портландцемента по литевой технологии имеет ряд недостатков: она технически несовершенна; связана с большим расходом цемента; изделия получают с низкой прочностью при сжатии, с высокими усадкой и ползучестью, большой отпускной влажностью (20—30 % по массе), низкой трещиностойкостью. Все это послужило основанием для практического прекращения производства этого материала в промышленном масштабе и перехода к изготовлению автоклавного ячеистого бетона.

Ячеистый бетон автоклавного твердения имеет повышенные трещиностойкость и морозостойкость, меньшую усадку. Автоклавная обработка позволяет в более короткие сроки получать изделия

с достаточно высокой прочностью при пониженном расходе вяжущего. Вместе с тем, помимо положительных качеств, у автоклавной обработки имеются и существенные недостатки: сложность паросилового хозяйства, дорогостоящее оборудование и специфика его эксплуатации, требующая высококвалифицированного обслуживающего персонала, высокая металлоемкость автоклавов, низкий к. п. д., не превышающий 0,3 использования по объему. Время эксплуатации автоклавов в определенной степени ограничено из-за возникновения и развития дефектов в металле под влиянием попеременного давления и меняющейся температуры, а также его коррозии. В структуре бетона при запаривании возникают микродефекты примерно в 4 раза больше, чем при пропаривании, что приводит к снижению долговечности изделий и конструкций.

По данным А. Д. Дикун и Т. В. Златинской [1], при обследовании автоклавного газобетона плотностью $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ в ограждающих конструкциях зданий на Крайнем Севере после 17 лет эксплуатации обнаружены случаи разуплотнения структуры из-за карбонизации, попеременного замораживания и оттаивания, усадок и набухания.

Аналогичные изменения в ячеистом бетоне после 10 лет эксплуатации зданий отмечает Г. П. Сахаров [2].

В последние годы вновь резко возрос интерес к неавтоклавному газобетону. Хотя по ряду свойств он и уступает автоклавному ячеистому бетону, но его технология более проста. К тому же в последнее время неавтоклавиный газобетон изготавливается с применением более современного технологического оборудования, новых видов тепловлажностной обработки. Подобраны оптимальные составы бетонной смеси с учетом достижений в области диспергирования материалов и т. д.

Накоплен многолетний опыт производства и применения неавтоклавиного газобетона в строительстве и доказана принципиальная возможность изготовления армированных и неармированных стеновых блоков из неавтоклавиного газобетона, удовлетворяющего нормативным требованиям [3, 4, 5].

На основании практического опыта разработаны «Рекомендации по изготовлению и применению изделий из неавтоклавиного ячеистого бетона», что открывает широкие возможности внедрения этих бетонов в практику строительства.

Авторами статьи разработана технология изготовления стеновых изделий из неавтоклавиного газобетона на основе мелких песков для малоэтажного строительства. Особенностью предложенной технологии является получение изделий с заданной прочностью, пониженной отпускной влажностью и повышенной трещиностойкостью. Для этого необходима оптимизация состава газобетонной смеси с учетом свойств песков и проведение тепловлажностной обработки изделий по специально разработанному двухступенчатому режиму.

В процессе тепловлажностной обработки исключаются пропаривание или автоклавирование, что положительно отражается на теплофизических и деформативных свойствах бетона в первые годы его эксплуатации.

Газобетон неавтоклавиного твердения, полученный на основе пылевидных песков, имеет повышенную прочность при изгибе. Отношение $R_{изг}/R_{сж}$ = 0,24—0,32, в то время, как у бесцементного автоклавиного ячеистого бетона эта величина не превышает 0,2. Отношение $R_{прнз}/R_{куб}$ колеблется от 0,8 до 0,9. Модуль упругости при

прочности 5—6 МПа составляет 3100—4200 МПа, а коэффициент Пуассона — соответственно 0,2 и 0,23. Предел прочности при сжатии в высушенном состоянии — 5,5 МПа для бетона с плотностью $\rho_m = 1000 \text{ кг/м}^3$ и 7,5 МПа для бетона $\rho_m = 1200 \text{ кг/м}^3$.

После термообработки газобетон с влажностью 8—9 %, высушая до постоянной массы, характеризуется усадкой около 1,5 мм/м. Такой газобетон оказался достаточно стойким к попеременному замораживанию и оттаиванию и к попеременному увлажнению и высушиванию. Так газобетон с $\rho_m = 1000—1200 \text{ кг/м}^3$ выдерживает 35 циклов замораживания и оттаивания. Он переносит 50 циклов увлажнения и высушивания, что указывает на его хорошее сопротивление к расшатыванию структуры.

По теплофизическим свойствам газобетон неавтоклавиного твердения конкурирует с керамзитобетоном той же средней плотности. Термическое сопротивление газобетона с $\rho_m = 1200 \text{ кг/м}^3$ равно $0,65 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, а у керамзитобетона той же плотности — $0,58$, у глиняного кирпича — $0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Процесс изготовления газобетонных изделий из песка и цемента складывается из четырех основных технологических переделов: первый — получение тонкомолотой цементно-песчаной смеси; второй — приготовление газомассы; третий — формование изделий и четвертый — тепловлажностная обработка последних. При изготовлении крупных стеновых блоков высотой до 3 м, шириной до 1,5 м и толщиной до 0,4 м с армированием стальным каркасом необходимо прохождение всех четырех технологических переделов.

В случае изготовления мелких стеновых камней возможно исключение первого передела. Это во многом зависит от дисперсности исходного песка и требуемой марки бетона по прочности. Практический опыт подтвердил вышесказанное.

При модуле крупности песка не более 1,5 и содержании в нем глинистых примесей менее 7 % можно изготавливать стеновые камни, исключая сушку песка и его совместный помол с цементом. Такая технология значительно упрощает и удешевляет весь процесс. Отпадает необходимость в

сушильном и помольном отделениях и исключаются связанные с этим тепло- и энергозатраты, защитные меры от пыления. При этом следует сознательно идти на расход портландцемента около 350 кг на 1 м^3 для изготовления газобетона средней плотности $1100—1200 \text{ кг/м}^3$.

В целях экономии цемента до 60—40 % целесообразно оставить помольное и сушильное отделения, так как в данном случае цементно-песчаную смесь можно заменить на цементно-известково-пуццолановую песчаную, т. е. использовать разработанные авторами малоклинкерные или бесклинкерные вяжущие.

Так, например, известковый портландцемент содержит в себе клинкерной части всего 40—60 % по массе, сохраняя при этом свойства исходного портландцемента. Применение такого цемента позволяет не только экономить дорогостоящий и дефицитный портландцемент, но и сокращать режим термообработки, а следовательно, снижать энерго- и теплозатраты.

Получение неавтоклавиного газобетона по описанной схеме предусматривает замену песка золой, трепелом, опокой, диатомитом и т. п. Таким образом, практически в любом регионе можно по достаточно простой технологии изготавливать стеновые камни. При наличии сухих строительных смесей процесс изготовления стеновых камней упрощается. Он сводится к приготовлению газобетонной смеси, ее разливке в формы и твердению.

Расчеты показали, что в цехе размером $18 \times 72 \text{ м}$ можно за 1 год изготовить 12—14 тыс. м^3 газобетона, т. е. около 900 тыс. штук стеновых камней размером $190 \times 190 \times 380 \text{ мм}$.

Предлагаемая технология внедрена в Туркменистане. В Республике работают два завода мощностью 50 тыс. м^3 газобетонных изделий в 1 год каждый. Строится цех полигонного типа в г. Хиве мощностью 10 тыс. м^3 газобетона в 1 год.

К настоящему времени построено более 4600 сельских домов, а также школы, магазины, детские учреждения, производственные здания сельскохозяйственного назначения. Есть опыт двухэтажного строительства.

Авторы данной технологии рас-

полагают необходимой проектной документацией и готовы оказать помощь в разработке и проектировании цехов по производству неавтоклавного газобетона.

За справками следует обращаться по адресу: 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26, МИСИ, кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дикун А. Д., Златинская Т. В. Дилатометрические исследования газозобетона // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез. докл. VI Республ. конф.—Таллинн, 1987. Ч. 1.
2. Сахаров Г. П., Виноградов Б. Н., Кропивицкий С. В. Сравнительная оценка надежности газобетона разных видов и структуры // Бетон и железобетон. 1987. № 3.
3. Технология и свойства изделий из неавтоклавного газобетона с нормативными влажностью и теплопроводностью // А. В. Волженский, Ю. Д. Чистов, Т. А. Карлова, А. И. Исхакова // Строит. материалы. 1990. № 11.
4. Виноградов О. П. Опыт производства и применения неавтоклавных ячеистых бетонов // Строит. материалы. 1986. № 7.
5. Федюкин Н. И. Технология неавтоклавного ячеистого газобетона повышенной прочности и долговечности // Строит. материалы. 1990. № 11.

УДК 666.973.6.002.51

Г. Я. АМХАНИЦКИЙ, канд. техн. наук (ВНИИжелезобетон)

Технология и оборудование для производства изделий из неавтоклавного ячеистого бетона

Высокие технико-экономические показатели изделий из ячеистого бетона являются основанием ускоренного наращивания объемов их производства в ближайшем будущем. Однако реальное положение дел в данной подотрасли выявило серьезные трудности обеспечения новых предприятий металлоемкими и дорогостоящими автоклавами с рабочим давлением 8—12 ат и паровыми котлами высокого давления. По этой причине особую актуальность приобрело создание современной технологии изготовления изделий из неавтоклавного ячеистого бетона средней плотности 600—900 кг/м³ классов по прочности В 1,5—В 3,5 (М25—М50), основанной на достижениях в области бетоноведения, использовании передового отечественного и зарубежного опыта. Действующим ГОСТ 25485—89 данная разновидность ячеистого бетона рекомендуется для изготовления мелких стеновых блоков.

В России в 1990 г. при общем объеме производства изделий из ячеистых бетонов 2,54 млн. м³ (автоклавного твердения) выпуск мелких стеновых блоков составлял 1,34 млн. м³. При этом существенным моментом является прирост их выпуска по сравнению с 1985 г. более, чем в 1,7 раза. Эта тенденция сохранялась и в последующие годы.

Мелкие стеновые блоки рекомендуются к применению при

строительства жилых домов (до 5 этажей), домов усадебного типа, общественных и производственных зданий. В настоящее время сохраняется дефицит на эти изделия.

Мелкие стеновые блоки из ячеистого бетона предназначены для кладки наружных и внутренних стен, перегородок зданий различного назначения с относительной влажностью воздуха не более 75%. Изготовление блоков и их показатели регламентируются ГОСТ 21520—89. Стандарт предусматривает выпуск блоков десяти типов с размерами по высоте, толщине и длине соответственно 88—288×200—300×288—588 мм. Одной из технических задач повышения качества данных изделий является снижение отклонений их геометрических параметров (предельных отклонений по размерам, нарушение прямоугольной формы). Последнее позволяет наряду с сокращением расхода кладочного раствора и снижением трудоемкости повысить теплозащитные свойства и несущую способность ограждающих и внутренних элементов зданий.

В результате исследований и опытно-промышленных испытаний разработана усовершенствованная технология изделий из неавтоклавного ячеистого бетона средней плотности 600—900 кг/м³, обеспечивающая улучшение физико-технических свойств изделий и интенсификацию процессов их изго-

товления. Ее особенности диктуются применением цементного вяжущего, характеризующегося замедленным начальным структурообразованием (по сравнению с автоклавным ячеистым бетоном на смешанном цементно-известковом вяжущем). Технология включает применение малоподвижной ячеистобетонной смеси и алюминиевого газообразователя, использования вибрационных воздействий (на стадиях приготовления смеси и формирования поровой структуры) и тепловой обработки при атмосферном давлении и температуре 80—95 °С.

Результаты экспериментальных исследований технологических параметров изготовления и физико-механических свойств неавтоклавного ячеистого бетона на основе цемента и различных видов кремнеземистого компонента приведены в таблице.

Золошлаковые отходы (ЗШО) в основном соответствовали требованиям к кремнеземистому компоненту для ячеистого бетона и имели дисперсность в пределах 135—440 м²/кг, потери при прокаливании от 3—4,8% (ЗШО Курганской ТЭЦ) до 22,7% (ЗШО Черниговской ТЭЦ). Содержание кислотных оксидов в них составляло 88—94,2% по массе.

В целях сопоставления в таблице приведены параметры изготовления и свойства неавтоклавного ячеистого бетона на кварцевом песке (Криводановского карьера,

с содержанием кварца 76,9 %). В качестве вяжущего ячеистого бетона применяли цемент активностью 40—45 МПа. Исключением являлась серия опытных образцов на ЗШС Курганской ТЭЦ, изготовленная на цементе с активностью 35 МПа. Ячеистый бетон изготавливали по вибрационной технологии и тепловлажностной обработка при температуре 90—95 °С по режиму 2+8+10 ч и остывании за счет естественного охлаждения.

Анализируя экспериментальные результаты, следует отметить преимущество использования высокодисперсных зол ТЭС с удельной поверхностью 200—440 м²/кг по сравнению с грубодисперсной золошлаковой смесью с удельной поверхностью менее 150 м²/кг. Эта особенность связана с пуццоланической активностью высокодисперсной золы, обеспечивающей повышение прочности неавтоклавного ячеистого бетона или существенное сокращение удельного расхода цемента (15 % и более) при сохранении равной прочности. Отсутствием взаимодействия кремнезема и извести при пропаривании объясняется пониженная прочность неавтоклавного ячеистого бетона на кварцевом песке.

Данные таблицы свидетельствуют, что одним из основных технологических факторов, влияющих на прочность неавтоклавного ячеистого бетона, является соотношение кремнеземистого компонента к цементу «С». В случае использования золошлаковых отходов

оптимальное значение «С» с учетом экономного расходования цемента находится в пределах З:Ц = 1,5:1—2:1 по массе. Изготовление неавтоклавного ячеистого бетона на кварцевом песке равноценной прочности возможно при увеличении удельного расхода цемента (при С=1—1,25).

Установлено, что прочность после изготовления ячеистого бетона на золе и портландцементе колеблется в пределах 70—80 % от марочной в 28-суточном возрасте. К 3,5 мес прочность данного ячеистого бетона повышается дополнительно на 10—20 %. Неавтоклавный ячеистый бетон на основе золы Каширской ТЭС при марках по средней плотности D700—D800 соответствует классам по прочности при сжатии В2—В5 при удельном расходе цемента в пределах 255—330 кг и на отвальной ЗШС Черниговской ТЭЦ при плотности D600—D800—классам В1,5—В3,5 при расходе цемента 225—230 кг. Неавтоклавный ячеистый бетон плотности D800—D900 на грубодисперсной ЗШС из отвала Курганской ТЭЦ по прочности при сжатии соответствует классам В2,5—В3,5 при удельном расходе цемента 280—330 кг.

Результаты экспериментальных исследований выявили эффективность применения тонкомолотого многокомпонентного вяжущего (ТМВ), являющегося продуктом совместного помола минерального вяжущего (цемент или цемент + известь до удельной поверхно-

сти 350—400 м²/кг) с минеральной добавкой (ЗШС или кварцевый песок) в соотношении 1:0,5—1:0,7 по массе. Позитивный эффект достигается также при использовании водопонижающих добавок (например, суперпластификатора С-3). Применение указанных технологических приемов обеспечивает наряду с повышением прочности неавтоклавного ячеистого бетона (в среднем, на одну марку) или снижением удельного расхода цемента (на 10—25 %) интенсификацию технологического процесса изготовления изделий.

Неавтоклавный ячеистый бетон является материалом высокой морозостойкости и соответствует по этому показателю марке F35—F75. Влажностная усадка данной разновидности ячеистого бетона, оцениваемая по стандартной методике, составляет 2,1—2,5 мм/м.

В результате натурных испытаний в течение 1,5 лет опытных изделий в воздушно-сухих условиях (при относительной влажности воздуха 60—80 % и температуре 20±2 °С) установлено, что состояние мелких стеновых блоков хорошее, на их поверхности усадочные трещины или иные дефекты не образуются.

Неавтоклавный ячеистый бетон, изготовленный на основе как золошлаковых отходов ТЭС, так и кварцевого песка, по своим физико-техническим характеристикам полностью соответствует требованиям ГОСТ 21520—89 для мелких стеновых блоков.

ВНИИжелезобетонном разработана технология и совместно с соисполнителями нестандартизированное оборудование для изготовления мелких стеновых блоков из неавтоклавного ячеистого бетона на конвейерной формовочной линии системы «Униблок». Комплект оборудования указанной линии универсален и применим также при изготовлении армированных крупноразмерных изделий и переводе производства на выпуск изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения.

Изготовление стеновых блоков осуществляется по виброрезательной технологии в формах с размерами массива до 3,1×1,25×0,6 м. (Размеры мелких стеновых блоков приняты соответствующими ГОСТ 21520—89). Способ струнной разрезки принят с учетом особенностей начального структурообразо-

Наименование	З золь (песок), м ² /кг	Состав бетона*			Рас-плыв, см	Результаты испытаний		Примечание
		Ц, кг	Пудра, %	В/г		С _с , кг/м ³	R _{сж} , МПа	
Золошлаковая смесь Черниговской ТЭЦ (отвальная)	440	230	0,08	0,47	16,3	615	2,8	Цикл виброформования 6 мин
		260	0,06	0,46	14	690	4,2	
		280	0,04	0,44	12,5	745	5	
		220	0,08	0,39	17	695	3,3	
		270	0,05	0,38	16	850	5	
Зола Каширской ТЭЦ	190	270	0,08	0,44	15	710	3,1	Цикл виброформования 8 мин
		295	0,06	0,43	14	780	4,6	
		315	0,035	0,39	10,5	910	7,5	
		255	—	0,41	11,5	800	4,3	
		230	—	—	—	850	5,7	
Золошлаковая смесь Курганской ТЭЦ (отвальная)	135	310	0,065	0,4	13,5	820	3,3	Цикл виброформования 6 мин
		340	0,04	0,38	11	900	4,9	
		295	0,06	0,41	14	860	3	
Песок Криводановского карьера	230	315	0,05	0,4	13,5	920	4,7	—
		270	0,08	0,35	13,5	725	2,1	
		330	0,06	0,36	14	770	2,9	
		345	0,04	0,34	12	920	4,1	
		320	0,08	0,27	17	910	5,2	С добавкой СП С-3

Примечание. * В качестве щелочной добавки применяли известь в количестве 5 % или поташ — 1 % от массы цемента.

вания в свежесформованных массивах при производстве изделий из неавтоклавно-го ячеистого бетона (повышенная пластическая прочность сырца и ее неравномерное распределение по сечению массива).

В состав конвейерной формовочной линии входят смесительное и формовочное оборудование, агрегат для калибровки открытой поверхности массивов, пост их распалубки и комплект агрегатов струнной разрезки сырца. Нестандартизированное оборудование формовочной линии разработано с учетом:

- применения малоподвижной ячеистобетонной смеси;
- использования сокращенного режима вызревания свежесформованных массивов;
- распалубки и струнной разрезки массивов при пластической прочности в пределах 0,02—0,1 МПа, отказа от переноски массива — сырца посредством захвата;
- разрезки массивов посредством струн, обеспечивающих высокую точность размеров стеновых блоков (отклонения линейных размеров в пределах 1—2 мм), пра-

вильность их геометрической формы и улучшенное качество поверхности блоков;

● исключения отходов массы и ручного удаления «горбушки».

Комплект оборудования опытно-промышленной формовочной линии «Униблон ВА-1» принят для изготовления мелких стеновых блоков из неавтоклавно-го ячеистого бетона с применением отвальной золошлаковой смеси Курганской ТЭЦ. Ряд агрегатов линии апробирован в условиях длительной эксплуатации. Остальное оборудование линии изготовлено и прошло приемочные испытания. В настоящее время завершается монтаж всего оборудования технологической линии.

В последний период разработана усовершенствованная конвейерная формовочная линия типа «Униблон ВА-2». Производительность линии составляет 40—50 тыс. м³ изделий в год (при 2-сменной работе).

Отличительные особенности линии «Униблон ВА-2» от опытно-промышленного образца заключается в уменьшении числа постов, модернизации оборудования со снижением его общей металлоемкости (примерно, на 40 %).

Конвейерная линия размещается в 18-метровом пролете длиной 102—120 м, оснащено мостовым краном грузоподъемностью 5 т. Производство может быть размещено как в новом, строящемся производственном корпусе, так и освобождающихся пролетах реконструируемых предприятий.

В целях сокращения капитальных вложений на начальном этапе организации и освоения нового производства, сокращения сроков ввода в эксплуатацию актуальным является возможность использования разработанного оборудования при агрегатно-поточной схеме организации производства. В этом случае из состава нестандартизированного оборудования линии «Униблон» используется лишь несколько агрегатов общей массой 11 т (без оснастки). Производительность такой технологической линии 15—20 тыс. м³ в год.

ВНИИжелезобетон предлагает свою научно-техническую помощь в разработке и внедрении современной технологии и оборудования для производства высококачественных и эффективных мелких стеновых блоков из неавтоклавно-го ячеистого бетона.

УДН 66.765.2-405.2.004.68

А. Э. КИЛЬКСОН инж., К. К. ЭСКУССОН, канд. техн. наук,
И. Ю. ЭСКУССОН, инж., Л. И. ОСТРАТ, канд. техн. наук
(НИПИ силикатобетон)

Оптимизация технологии газосиликата

Выполнена оптимизация технологических условий и параметров изготовления газосиликата. Установлено, что прочность и жесткость газосиликата увеличиваются с повышением содержания хорошо закристиализованного тоберморита. Поскольку синтез тоберморита при автоклавной обработке газосиликата протекает в гетерогенной системе, характеризующейся малой растворимостью

CaO и SiO₂ при весьма ограниченных диффузионных расстояниях этих составляющих, то важное значение для максимальной реализации прочностного ресурса по содержанию CaO и SiO₂ приобре-

тает однородность микрораспределения указанных компонентов в исходной смеси.

Замена отдельного измельчения извести и песка их совместным помолом приводила к увеличению коэффициентов прочности при сжатии ($A_{см} = P/p_c^2$) в 1,59 раза и на растяжение при изгибе ($A_{рн} = P_{рн}/l_c^3$) в 1,36 раза, коэффициента жесткости ($A_E = E_{бн}/l_c^2$) в 1,38 раза и предельной упругой растяжимости при изгибе $\frac{\sigma_{рн}}{p_{рн}}$ на 10 % [1]. При прочих равных условиях количество растворимого SiO₂ в бетоне увеличивалось с 18,7 до 21,6 %, а C/S снижалось с 1,25 до 0,91.

Для повышения однородности распределения частичек алюминиевой пудры в ячеистобетонной смеси и оптимизации реологических условий ее вспучивания, растворные смеси рекомендуется перемешивать в гидродинамических или турбинных газобетоносмесителях.

Математическое моделирование технологии и свойств для одного из вариантов изготовления газосиликата выполнено по 9-факторному плану Фехтшафнера, где независимыми переменными являлись: начальная подвижность растворной смеси; влажность песка; удельная поверхность песка $S_{п}$

продолжительность изотермической выдержки t_n ; давление пара P_n ; количество алюминиевой пудры; активность смеси по содержанию CaO a_c ; температура воды и количество цемента C . Выходными параметрами были: средняя плотность ρ_c ; прочность при сжатии; прочность при растяжении при изгибе и раскалывании; начальный модуль упругости; характеристика ударостойкости ($H = P_{рн}^2 / E_{бн}$), их коэффициенты ($A = P / \rho_c^2$), где P — конкретный показатель рассматриваемого свойства и предельная растяжимость.

Коэффициенты полиномов второй степени, а также некоторые результаты анализа моделей приведены в изданной ранее литературе [2]. С помощью последних установлено, что по своему влиянию на свойства газосиликата технологические факторы можно разделить на три группы.

1. **Управляющие факторы**, подбором значений которых возможно и целесообразно достигать необходимый уровень свойств материала — количество алюминиевой пудры, влияющее на плотность и через нее практически на все основные свойства материала; факторы, задающие состав смеси (активность смеси, расход цемента) и влияющие в основном на свойства межпоровых перегородок; давление пара, так же влияющее на свойства перегородочного материала, главным образом на его деформативность.

2. **Оптимизирующие факторы**, подбором значений которых можно в значительной степени влиять на свойства материала, но использовать которые для управления свойствами нецелесообразно, так как они являются оптимальными (по отношению к свойствам) при каждом значении управляющих и некоторых других оптимизирующих факторов. К ним относятся влажность песка при его совместном помоле с известью, тонкость помола песка и время изотермической выдержки массива газосиликата.

3. **Маловливающие факторы**, влияние которых на свойства бетона несущественно. Сюда относятся начальная растекаемость растворной смеси и ее температура при заливке в формы, связанная с температурой воды затворения. Эти технологические факторы довольно значимы при формировании

Свойства ячеистого бетона	Показатели			
Марка по средней плотности D	400 (450)	500	600 (750)	800
Марка по прочности M	15 (20)	35	50 (75)	100
Марка по морозостойкости $M_{рз}$	— (15)	35	50 (50)	100

крупногабаритных массивов газосиликата, они обуславливают свободу выбора значений, оптимальных именно для этой цели.

Комбинации значений факторов, обеспечивающие максимальные показатели отдельных свойств, не совпадают, а максимальные и близкие к ним значения одного показателя можно достичь при существенно различающихся комбинациях значений технологических факторов.

Технологические параметры конкретного производства следует выбирать с учетом всех существенных свойств ячеистого бетона (не только плотности и прочности при сжатии) и решать при этом задачу оптимизации по заданным критериям.

Из рассматриваемых факторов наиболее сильное влияние на прочностные свойства и жесткость готового материала оказывают активность смеси и расход цемента, определяющие минералогический состав бетона и характер структуры твердения, в том числе возможное количество тоберморита.

С увеличением расхода цемента $\rho_{рн}$ существенно снижается, а с увеличением давления пара, а также растекаемости растворной смеси (т. е. водотвердого отношения B/T) этот показатель заметно увеличивается. Снижению B/T сопутствует значительное увеличение жесткости и теплопроводности бетона при постоянной плотности.

При моделировании морозостойкости газосиликата (по ГОСТ 12852.4—77), выполненном по пятифакторному плану Хартли, независимыми переменными были a_c , C , $S_{пг}$, P_n , t_n . Модели и их анализ приведены в литературе [3]. Анализ моделей позволяет установить, что при низкой удельной поверхности песка с увеличением расхода цемента от 0 до 20% морозостойкость газосиликата сильно увеличивается. При бесцементном материале (марка по средней плотности $D600$) высокая морозостойкость прогнозируется, когда $a_c = 17—19\%$ CaO и $S_{пг} = 260—280 м^2/кг$.

При оптимизированном технологическом процессе получены бетоны со следующими свойствами (см. таблицу).

Усадочные деформации бетона при его высыхании не превышали 0,5 мм/м. Наиболее высокую прочность при сжатии $R = 3,94$ МПа (по ГОСТ 10180) при средней плотности 467 кг/м³ имели бетоны с составом, %: известь — 24,7 по CaO ; шлакопортландцемент — 7,5; гипс 2,5 и песок (содержание $SiO_2 = 87\%$).

Существенного влияния структуры твердения газосиликатной смеси (химического состава по содержанию растворимой SiO_2 , C/S — новообразований и количества нерастворимого в HCl остатка) на морозостойкость газосиликата не обнаружено. Так же не выявлено заметной зависимости морозостойкости этого материала от водотвердого отношения и способа формирования (литая или вибрационная). Температура воды может сильно (на 1—2 марки) изменять морозостойкость.

Анализ моделей показал, что процесс изготовления газосиликата с заданной прочностью при постоянной плотности целесообразно регулировать лишь изменением состава смеси. Для повышения прочности бетона на один класс, например при $D500$ с $M 15$ до $M 25$ или с $M 25$ до $M 35$ требуется увеличить расход извести (до 10%) и суммарные энергозатраты на помол и запаривание (до 5%).

С применением математических моделей разработаны технологические регламенты изготовления газосиликата с заданными свойствами, в том числе высокопрочного. Так, на основе регламентов изготовлены крупногабаритные изделия из него — стеновые блоки марок $D800$, $M 75$; панели покрытий марок $D500$, $M 35$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эскуссон К. К. Некоторые принципы управления прочностными и деформационными свойствами ячеистого бетона // Строит. материалы. 1985. № 5.
2. Эскуссон К. К., Кильксон А. Э., Острат Л. И., Эскуссон И. Ю. Моделирование технологии и свойств газосиликата: анализ влияния движущих технологических факторов на объемную массу, прочностные и деформационные свойства материала. — Сб. трудов НИИТМ-Силикатобетон. — Таллинн, 1987.
3. Эскуссон К. К., Эскуссон И. Ю., Кильксон А. Э. Исследование морозостойкости газосиликата Довл. на VI конф. по долговечности. Таллинн: «Валгуса», 1987. Ч. 1.

К. К. ЭСКУССОН, канд. техн. наук (НИПСиликатобетон)

Использование зол и шлаков в производстве ячеистых бетонов за рубежом

Антрацитовые и бурогольные (кислые) золы ТЭЦ находят широкое применение в производстве ячеистых бетонов в странах Восточной Европы — Польше, Чехии и Словакии, Венгрии. На базе высокоосновных зол металлургической промышленности ячеистый бетон выпускали в течение длительного времени в Швеции (завод в г. Шведе). В настоящее время на шлакоцементном вяжущем работает завод фирмы «Лохья» (Финляндия).

Общий объем выпуска ячеистых бетонов на этих заводах в 1990 г. превышал 5 млн. м³ в 1 год. Объем производства ячеистого бетона на сланцеозольном вяжущем в Эстонии достигает 400 тыс. м³ в 1 год.

На территории стран СНГ с использованием золошлаковых отходов в 1990 г. выпускалось 202 тыс. м³ ячеистых бетонов при их общем объеме производства 7 млн. м³. Установлено, что золошлаковые отходы на 20 месторождениях угля принципиально могут быть использованы для заводского производства высококачественных изделий из ячеистого бетона. Металлургические шлаки лишь эпизодически применяются в основном в виде добавок к классическим вяжущим (цементу, извести) или в составе цемента.

Трудность использования зол и шлаков заключается в том, что их химико-минералогический состав и технологические свойства изменчивы. Для сглаживания этих колебаний на венгерских заводах (в г. Матра, Боршод) золы усредняли путем их многократной перекачки и сливания технологических потоков.

На польских заводах золы усредняются в гомогенизаторах специальной конструкции. На Долна-Стрединском заводе (б. Чехословакия) перемешивание золы и извести производится в шаровых мельницах. При изготовлении ячеистых бетонов вводится добавка гипса и словосола — стабилизато-

ра вспучивания.

На заводе г. Икаалине (Финская фирма «Сипорекс») газобетоны марок Д400, Д450 и Д500 изготовляют на базе местного полевошпатово-кварцевого песка. Используются в качестве вяжущего шлакопортландский цемент (г. Вирккала), смесь двух шлаков (г. Раударууки, Финляндия, и г. Окселунд, Швеция) и химические добавки — сода, борокс, дихромат натрия, стабилизатор вспучивания. Применение сложной композиции шихты, в частности двух видов шлаков, обеспечивает при мелкокварцевом песке (до 50 % кварца) весьма высокие показатели ячеистого бетона, например марки Д500: $f_c = 470 \pm \pm 15$ кг/м³; $R_{cm} > 3$ МПа; $R_{pm} \geq 0,86$ МПа; $v_w \approx 0,3$ мм/м.

Шлаки г. Раударууки размалывают по сухому способу, а шлаки г. Окселунд — по мокрому. Составы смеси, режим запаривания и другие параметры технологии оптимизировали по критериям прочности при сжатии R_{cm} и растяжении при изгибе R_{pm} с учетом требования по влажностной усадке.

Управление технологическими процессами приготовления растворной смеси и запаривания автоматизировано.

Для бетонов марок Д400 и Д500 в качестве газообразующей добавки применяется алюминиевая пудра разной тонкости.

Номенклатура изготавливаемой продукции — широкая. Кроме мелкоштучных изделий, выпускаются армированные стеновые панели, панели перекрытий и покрытий, перегородки.

Применяются разные системы резательных машин. Завод в г. Матра (производительность 500 тыс. м³ в 1 год) работает по новейшей технологии фирмы «Хебель», завод фирмы «Лохья» (г. Икаалине) — по усовершенствованной технологии фирмы «Сипорекс». В последнем случае поперечная разрезка ячеистобетон-

ного массива выполняется, когда блок находится в подвешенном положении после извлечения его из формы.

Калибровка массива, образование пазов и фигурная обработка изделий происходят при передаче массива с поста на пост при пластической прочности бетона до 200 кПа.

Точность резки ячеистобетонного массива зависит от ее направления. Например, при поперечной резке она составляет $\pm 1,5$ мм (при ширине массива 1,5 м).

Перегородочные плиты калибруются после доработки бетона в автоклаве на автоматизированной линии и упаковываются в пленку.

Многие золы и шлаки, как сказано выше, являются хорошим сырьем для изготовления ячеистого бетона. Однако нужен грамотный подход к их использованию. В НИПСиликатобетоне (г. Таллини) разработана методика исследования этих материалов и оптимизации технологии получения на их базе ячеистых бетонов. Методика базируется на изучении физико-химических процессов минералообразования при синтезе тоберморитов, оптимальных составов смеси по различным показателям свойств материала (прочности, морозостойкости, усадке, ударостойкости, стойкости агрессивным средам) и кинетики химико-технологических процессов.

Объем исследований зависит от конкретного вида сырья, номенклатуры производимой продукции и требований заказчика.

Работа по поиску оптимальных технологических решений в производстве ячеистобетонных материалов и в направлении повышения их качества продолжается. Вновь эти вопросы будут рассматриваться на предстоящем (26—29 октября сего года) Третьем Всероссийском семинаре по теме «Совершенствование технологии ячеистобетонных изделий на действующих, строящихся и проектируемых предприятиях». Семинар организует ЦМИПС МИСИ по инициативе АО «Росстрой», Госстроя Российской Федерации при участии журнала и фирмы «Итонг».

Вам предоставляется возможность принять участие в семинаре и (при желании) выступить с докладом или сообщением по существу рассматриваемой проблемы, а также заключить договор на выполнение тех или иных разработок, проведение проектных, научно-исследовательских и других работ.

За справками просим обращаться к профессору ЦМИПС МИСИ А. А. Федяну по телефону: 412-97-60.

УДК 691.002.2.004.8

В. С. ГРЫЗЛОВ, д-р техн. наук, Т. В. ТУЕВА, инж. (Череповецкий филиал Вологодского политехнического института)

Использование вторичных ресурсов в производстве строительных материалов

Утилизация вторичных ресурсов экономически выгодна как потребителям, так и предприятиям, располагающим этими ресурсами. Однако до сих пор медленно внедряются малоотходные и безотходные технологические процессы. Использование вторичных ресурсов позволяет существенно снизить загрязнение среды воздушного и водного бассейнов, способствует сокращению дефицита стройматериалов и расширению их рынка.

Череповец является крупным индустриальным центром, где сосредоточены предприятия металлургической, химической, энергетической отраслей.

Отходами данных предприятий являются доменные, сталеплавильные шлаки (табл. 1), углеотходы, зола-унос (до 65 т в год), фосфогипс (до 1 млн. т в год).

Зола ТЭЦ Череповецкого металлургического комбината (ЧМК) относится к сухой золе электрофильтров и отличается стабильной однородностью. Ее влажность менее 1%, по содержанию свободной CaO она относится к низкокальциевой. Удельная поверхность достигает 5000 см²/г. Потери при прокаливании составляют 10—17%, что выше значений, указанных в ГОСТ 25818—83.

В связи с тем что удельная

Таблица 1

Выход и переработка шлаке	Число, тыс. т в год
Огнеупорно-жидкий шлак на доменные печи 1—5	
граншлак	1600,1
шлаковая пемза	109,3
щебень	498
Всего:	2207,4
Мартеновский	550
Электросталеплавильный	86
Конверторный	1150
Всего:	1786

Таблица 2

Добавка золы, %	Водопоглощаемость раствора 1:3, %	Предел прочности при сжатии, МПа, через		Предел прочности при сжатии, МПа, через	
		1 сут	28 сут	1 сут	28 сут
0	64	2,65	3,27	14,57	26,43
20	71,8	2,09	3,87	14,74	20,72
30	71	2,39	4,07	16,9	21,57
40	73	2,9	3,24	14,4	18,4
50	76,5	2,39	2,81	12,15	14,1

поверхность золы-уноса высокая, золоцементное вяжущее приготавливалось путем тщательного перемешивания двух компонентов: зола-унос и цемент, без предварительного домала. Поиск оптимального состава вяжущего сводился к определению количества добавки. Золой-уносом заменяли 20—50% (мас.) цемента. В работе использовали портландцемент М 400 Пикалевского цементного завода.

Таблица 3

Класс (марка) бетона	Подвижность, см	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси							Характеристики			
		Цемент ПЦ-400, кг	Зола-уноса, кг	Щ. пемза фр. 10—20 мм, кг	граншлак фр. 0—5 мм, кг	шлаковый щебень 5—10 мм, кг	вода, л	ЛСТ, кг	Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Предел прочности при сжатии после ТВО, МПа		λ, Вт/м·°С
										1 сут	28 сут	
В 15 (200)	1—4	255	110	570	550	370	225	5,9	1740	18,1	24,4	0,37
В 20 (250)	1—4	300	130	560	500	370	230	7	1750	20,1	27,9	0,386
В 25 (300)	1—4	320	130	550	490	365	260	7,3	1760	24,3	29,2	0,396

Анализ результатов испытаний золоцементного вяжущего показал, что оно характеризуется высокой водопотребностью и замедленными сроками схватывания. По прочностным свойствам наиболее эффективным оказался состав с 30% золы. Результаты испытаний золоцементного вяжущего приведены в табл. 2.

Для снижения водопотребности вяжущего и улучшения удобоукладываемости смеси целесообразно использовать добавки-пластификаторы.

Исследовалось влияние добавок ЛСТ и СЗ на реологические свойства. Наибольшую эффективность показала добавка СЗ в количестве 0,8% от массы цемента. Прочность при сжатии соответствовала контрольной, а водопотребность снизилась на 9,3%.

Данное золоцементное вяжущее использовалось для приготовления шлакозолобетонных кл. В 15, В 25, В 20 с целью экономии цемента, снижения плотности и теплопроводности материала. Подбор состава конструкционного шлакозолобетона проводился с использованием трех видов шлаковых заполнителей: шлакового щебня, шлаковой пемзы, гранулированного шлака, выпускаемых ЧМК.

Результаты исследований прочностных и теплофизических характеристик приведены в табл. 3.

На основании экспериментального анализа теплотехнических характеристик разработанный шлакозолобетон имеет коэффициент теплопроводности на 20—30% ниже, чем известные равнопрочные шлакопемзобетоны.

Проведены опыты по получению зольного гравия на основе золы-уноса ТЭЦ и отходов углеобогащения коксохимического

производства ЧМК. В лабораторных условиях изготавливались гранулы с влажностью 30—35 %, которые затем подвергали обжигу при 1000 °С в течение 3—4 ч.

Данные опыты показали принципиальную возможность получения зольного гравия. Плотность зерен гравия составила 1,3—1,35 г/см³, прочность зерен 3,4 МПа, насыпная плотность 500—550 кг/м³.

Другое направление использования вторичных ресурсов ЧМК — изготовление шлакоблоков.

Шлакобетонные камни изготавливались из легкого бетона на цементном вяжущем по технологии полусухого прессования (удельное давление прессования 20 МПа). В ходе работы подобраны рациональный состав, условия получения шлакоблоков, определены физико-механические характеристики.

В качестве основных материалов для изготовления блоков использовали шлакопортландцемент ШПЦ-300, доменный гранулированный шлак и шлакопемзовый песок. В качестве микронаполнителя применяли молотый гранулированный доменный шлак.

Для подбора состава варьировали расходами цемента и молотого граншлака. Увеличение количества вводимого молотого граншлака с 7 до 20 % (мас.) повышает прочность шлакоблоков на 40 %. Отсутствие добавки молотого граншлака даже при увеличении количества шлакопортландцемента снижает прочность шлакобетонных камней. Увеличение расхода цемента в пределах 7—20 % незначительно влияет на прочность и одновременно ведет к росту плотности шлакоблоков.

Для придания камням красноватого цвета добавляли в бетонную смесь пыль из электрофильтров мартеновских печей ЧМК, которая также является отходами производства. Пигмент играет роль микронаполнителя бетонной смеси и также способствует увеличению прочности. Делались попытки заменить молотый граншлак золой-уносом и молотыми углеотходами. Полученные результаты свидетельствуют о возможности замены молотого граншлака, хотя изделия характеризуются несколько пониженной прочностью, что объясняется низкой активностью золы в сочетании со ШПЦ. Кроме этого, отсутствие молотого гранш-

лака или замена его на золу-унос, углеотходы приводит к снижению коэффициента размягчения (до 0,7).

Лучшие прочностные характеристики показывали образцы, в которых в качестве заполнителя использовался шлакопемзовый песок. Предел прочности при сжатии через 1 сут после тепловлажностной обработки составил 14,6 МПа, а аналогичный состав на граншлаке — 9,6 МПа.

Физико-механические характеристики шлакоблоков следующие: средняя плотность — 1800 кг/м³, предел прочности при сжатии через 28 сут — 27,3 МПа, морозостойкость — 25 циклов, водопоглощение — 6 %, теплопроводность в сухом состоянии — 0,45 Вт/м·°С, коэффициент размягчения — 1.

Исследовалась возможность использования для изготовления шлакоблоков фосфогипсового вяжущего. Наиболее эффективным оказался ангидрит, полученный из фосфополугидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ термической обработкой при 600 °С. Микронаполнителем и одновременно активизатором твердения ангидритового вяжущего являлся молотый гранулированный шлак. Предел прочности при сжа-

тии в возрасте 28 сут составил 7,4 МПа. Увеличение расхода вяжущего от 30 до 50 % (мас.) практически не влияет на прочность.

Ангидрит может быть использован для изготовления камней низких марок 25, 35, 50.

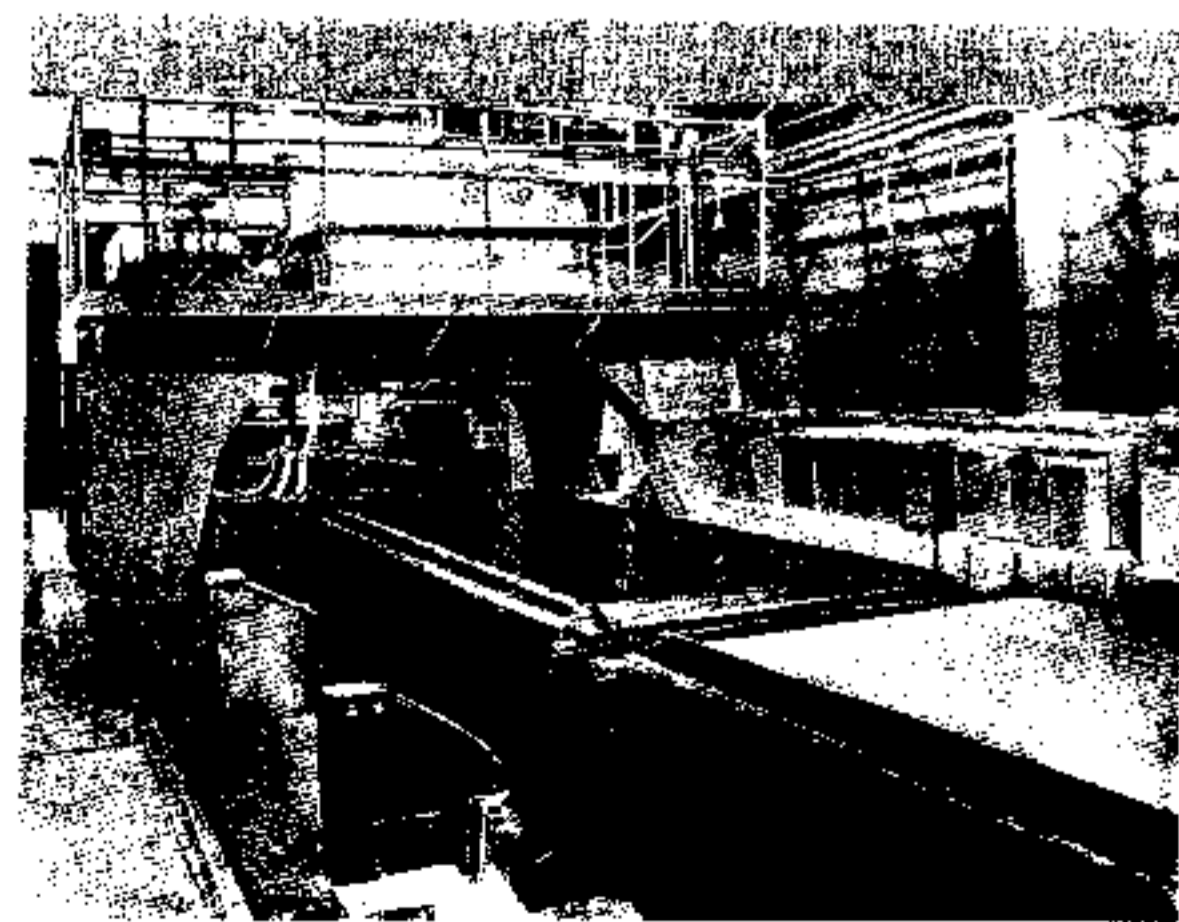
Разработана технология изготовления стеновых камней из опилкобетона методом вибропрессования. В качестве заполнителя использовали кварцевый песок, доменный гранулированный шлак и опилки (мелкая стружка хвойных пород).

Полученные опилкобетонные камни имеют следующие характеристики: средняя плотность — 1000—1300 кг/м³, предел прочности при сжатии — 2,5—5 МПа, водопоглощение — до 35 %, коэффициент размягчения — не менее 0,7, теплопроводность в сухом состоянии — 0,22—0,28 Вт/м·°С и рекомендуются для индивидуального строительства.

Разработанные технологические регламенты позволяют существенно расширить базу стройиндустрии Череповецкого региона, целенаправленно использовать вторичное сырье, внести определенный вклад в решение экологической проблемы.

Линия по производству стеновых блоков из ячеистого бетона на Дзержинском комбинате строительных материалов. Формование массива, его резка, автоклавная обработка, подача на склад готовой продукции осуществляются на поддоне, без конвоирования и переноса массива-сырца.

На снимке: узел формования массива



Д. Д. ДЖИГИРИС, канд. техн. наук, Ю. Н. ЧУВАШОВ, канд. хим. наук, М. Ф. МАХОВА, канд. техн. наук, П. П. КОЗЛОВСКИЙ, инж., А. И. РУДСКОЙ, инж. (Научно-исследовательская лаборатория базальтовых волокон Института проблем материаловедения АН Украины)

Штапельные волокна теплоизоляционного назначения из андезитового порфирита

Комплексные лабораторно-технологические исследования андезитовых порфиритов Краснозвездного месторождения Таджикистана позволили установить, что они могут служить основным компонентом для получения штапельных волокон теплоизоляционного назначения.

Известно, что волокнистые изделия из базальтов широко применяются как теплозвукоизоляционный и фильтрационный материал во всех отраслях народного хозяйства [1].

Андезитовые порфириды, относящиеся к классу магматических горных пород, представляют собой плотные, крепкие, свежие эффузивные природные образования от темно-зеленовато-серого до розовато-серого цветов. В основной массе породы содержится значительное количество вторичных минералов — эпидота, хлорита, серицита, глинистых минералов, карбоната, цеолитов. Вкрапленники плагиоклаза сильно изменены.

Для лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний были взяты мелкообъемная и представительная (технологическая) пробы андезитового порфирита. Химический состав андезитовых порфиритов и (для сравнения) базальта Берестовецкого месторождения Украины, широко используемого в производстве штапельных тонких и супертонких волокон теплоизоляционного назначения, показан в табл. 1.

$$M_x = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} \quad (1)$$

где SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO — оксиды, % по массе.

$$M_s = \frac{MSiO_2 + 2MAl_2O_3 + \dots}{2MFe_2O_3 + MFeO + MCaO + \dots + MMgO + MK_2O + MNa_2O} \quad (2)$$

где $MSiO_2$, $2MAl_2O_3$ и т. д. — окси-

Таблица 1

Оксиды	Химический состав, % по массе		
	андезитового порфирита		базальта Берестовецкого месторождения
	лабораторная проба	технологическая проба	
SiO_2	48,77	48,97	49,03
TiO_2	1,26	1,22	2,85
Al_2O_3	19,59	18,28	12,58
Fe_2O_3	5,78	5,03	3,88
FeO	4,94	4,54	10,15
CaO	7,11	8,24	9,53
MgO	4,56	4,64	5,47
P_2O_5	Не определены	Не определены	0,3
MnO	0,14	0,14	0,32
K_2O	1,80		0,66
Na_2O	4,31	6,36	2,34
SO_2	Не определены	Не определены	Сп
П.П.П.	1,88	2,58	2,8
Сумма	99,44	100	99,91
M_k	5,8	5,2	4,1

Модуль кислотности M_k и модуль вязкости M_v определяли по К. Э. Горькову [2]:

ды, в мольных долях.

Как следует из данных табл. 1, лабораторная и технологическая пробы андезитовых порфиритов по химическому составу близки между собой и отличаются от берестовецкого базальта меньшим содержанием оксидов железа, кальция и магния. В андезитовых порфиритах больше содержится щелочных оксидов. Модули кислотности и вязкости, отражающие кислотно-основные характеристики породы, у андезитовых порфиритов выше.

Расплав из андезитового порфирита имеет высокую вязкость, поэтому, чтобы проверить возможность его использования для получения штапельных волокон, были проведены исследования по ее снижению путем введения корректирующей добавки. В качестве добавки выбрали местный известняк Гуаанского месторождения, характеризующийся постоянством химического состава, % по массе: SiO_2 — 1,04; TiO_2 — 0,001;

$Fe_2O_3 + FeO$ — 0,34; CaO — 54,55; MgO — 0,35; P_2O_5 — 0,009; K_2O — 0,05; Na_2O — 0,08; SO_2 — 0,05; CO_2 — 43,23; Σ — 99,73.

Известняк — недоломитизированный и состоит в основном из кальцита ($CaCO_3$). Малые количества SiO_2 (как тугоплавкого) и MgO (повышающего кристаллизацию) положительно сказываются на плавлении шихты.

Шихту готовили из 2 компонентов — андезитового порфирита и известняка в соотношении 80:20; 75:25 и 70:30. Для устранения пыления при плавлении сырьевых компонентов и ускорения этого процесса шихту увлажняли до 8 %.

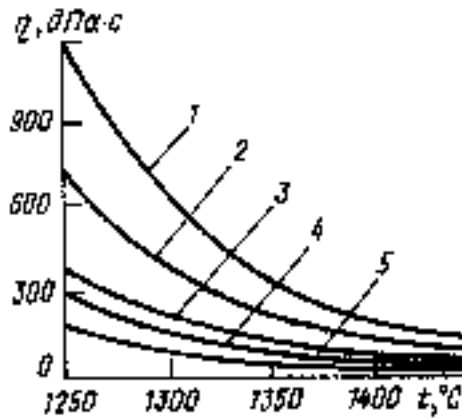
В лабораторных условиях шихту расплавляли в химически инертных платиновых стаканах емкостью 500 мл и выдерживали при температуре 1450 °С до полной гомогенизации. Однородность получения стекол контролировали, наблюдая под микроскопом при увеличении 750 \times . При отсутствии в стекле кристаллических и газовых включений его считали однородным. Такие стекла исследовали для установления основных технологических свойств — вязкости, температуры верхнего предела кристаллизации ($T_{в.п.к.}$). Указанные свойства, а также значения M_k и M_v приведены в табл. 2. Температурная зависимость вязкости расплавов шихт в сопоставлении с таковой для однокомпонентного сырья-породы показана на рисунке.

Как следует из данных табл. 2, вязкость расплава при подшихтовке известняком в количестве 20 % снизилась в 1,5 раза и составила при 450 °С 79 дПа·с. При этом $T_{в.п.к.}$ повысилась с 1250 °С до 1275 °С, т. е. до предельной температуры, при которой возможна выработка супертонкого волокна [3]. С увеличением добавки известняка до 25 % вяз-

Таблица 2

Состав шихты ¹	Вязкость η , дПа·с при °С					M_k	M_b	$T_{в.п.к.}$
	1450	1400	1350	1300	1250			
Андезитовый порфирит — 100	115	190	330	610	1180	5,2	2,46	1250
Андезитовый порфирит — 80 Известняк — 20	79	128	215	378	705	2,5	1,63	1275
Андезитовый порфирит — 75 Известняк — 25	26	42	74	134	269	2,2	1,46	1290
Андезитовый порфирит — 70 Известняк — 30	16	28	47	82	158	1,9	1,31	1300
Базальт Берестовецкий — 100	36	62	106	190	354	4,1	1,97	1275

¹ Состав шихты указан в %.



Температурная зависимость вязкости расплава шихты из горных пород
1 — андезитовый порфирит без добавки;
2, 3, 5 — то же с добавкой известняка 20, 25 и 30 % соответственно; 4 — базальт Берестовецкого месторождения

кость расплава резко снижается и $T_{в.п.к.}$ возрастает до 1290 °С. Такой расплав пригоден для получения штапельных тонких волокон.

Испытания проводили на промышленной установке для производства базальтового штапельного супертонкого волокна в цехе базальтовых теплоизоляционных материалов Ирпенского комбината «Победа» Киевской обл.

Технологический процесс производства базальтового супертонкого волокна основан на раздуве первичных волокон высокоскоростным потоком раскаленных газов (способ РПВ) и заключается в следующем. Базальтовый щебень загружается в ванную плавильную печь. Полученный расплав поступает в выработочную печь-фидер и через электрообогреваемый струйный питатель подается в 200-фильтрный питатель, из которого формируются первичные волокна диаметром 200—250 мкм. Затем эти волокна при высоких температуре (1600 °С) и скорости раздуваются в супертонкие — диаметром до 2 мкм, оседают в результате разрежения на сетке приемного конвейера и собираются в холст, который наматывается на барабан и периодически срезается.

Таблица 3

Свойства супертонкого волокна	Показатели	
	для супертонкого волокна из шихты: андезитовый порфирит — 80 %, известняк — 20 %	в соответствии с требованиями РСТ
Средний диаметр, мкм	1,3	Не более 3
Доля неволоконистых включений «корольков» размером более 0,25 мм, % по массе	6	Не более 8
Теплопроводность Вт/(м·К) при		
25 ± 5 °С	0,036	0,040
125 ± 5 °С	0,055	0,060
300 ± 5 °С	0,083	0,096
Влажность, %	0,9	2
Выщелачиваемость в пересчете на Na_2O на 5000 см ² , мг	4,2	5
Доля ионов хлора, % по массе	0,008	0,03
Температура применения, °С	700	700

Таблица 4

Свойства тонкого штапельного волокна	Показатели	
	для штапельного тонкого волокна из шихты: андезитовый порфирит — 75; известняк — 25	в соответствии с требованиями РСТ СССР 1972—86
Средний диаметр, мкм	13,8	Не более 15
Содержание неволоконистых включений размером свыше 0,5 мм, % по массе	0,3	Не более 10
Теплопроводность, Вт/(м·К) при температуре		
25 ± 5 °С	0,032	0,04
125 ± 5 °С	0,051	0,098
300 ± 5 °С	0,085	0,2
Влажность, %	0,8	1,5
Температура применения, °С	650	650

Технологическая проба андезитовых порфиритов, взятая для опытно-промышленных испытаний, была представлена фракцией 80—100 мм, а известняка Гуванского месторождения — фракцией 20—100 мм.

Шихту указанного выше состава испытывали при следующих технологических параметрах: температура в плавильной части печи — 1440—1450 °С; температура в выработочном фидере — 1380—1390 °С; уровень расплава в фидере — 50 ± 5 мм; сила тока струйного питателя — 7,5—7,7 А; то же, фильерного питателя — 44—45 А; давление газа в камере сгорания — 12—13 КПа; давление сжатого воздуха в этой же камере — 3—15 КПа.

Для улучшения условий смешивания и плавления шихты сырьевые компоненты измельчали до фракции размером 3—20 мм. Процесс формирования супертонких волокон проходил стабильно.

Основные свойства полученных супертонких волокон из андезитового порфирита показаны в табл. 3.

Анализ данных этой таблицы показывает, что штапельные супертонкие волокна, полученные из предложенной шихты, полностью соответствуют требованиям РСТ УССР 1970—86.

Положительные результаты опытно-промышленных испытаний по получению супертонких волокон из андезитового порфирита послужили основанием для успешного освоения их производства в строительной организации «Бинокор» г. Ходжента Республики Таджикистан.

Опытно-промышленные испытания по получению штапельных волокон способом вертикального раздува расплава шихты сжатым воздухом (ВРВ) проводили на установке НИЛБВ.

Сущность способа вертикального раздува заключается в том, что дробленую горную породу фракций 20—100 мм плавят в ванной плавильной печи. Расплав поступал в выработочную часть печи — фидер, в которой он гомогенизировался. Из фидера расплав подавался в жаростойкий электрообогреваемый фильерный питатель, с помощью которого формируются струи расплава, поступающие в раздувочное устройство для образования тонких штапельных волокон. Волокна собираются в камере волоконосаж-

дензя в виде ковра, который либо сворачивается в рулон, либо перерабатывается в изделия — прошивные теплоизоляционные маты, шнуры, плиты и др.

Был рекомендован состав шихты из андезитового порфирита и известняка в соотношении, % — 75:25. Порода дробили до крупности 3—20 мм.

В процессе проведения опытно-промышленных испытаний были установлены следующие технологические параметры получения штапельных тонких волокон: температура в плавильной части печи — 1510—1520 °С; температура в выработочной части печи — фидере — 1460—1470 °С; уровень расплава над фильерным питателем — 100—110 мм; сила тока на жаростойком питателе — 70—73 А; давление сжатого воздуха — 62—63 кПа.

При названных технологических параметрах из шихты указанного выше состава получено тонкое штапельное волокно. Его свойства приведены в табл. 4.

Данные табл. 4 свидетельствуют, что полученное волокно соответствует техническим требованиям ГОСТ СССР 1972—86 «Волокна стеклянные штапельные из горных пород».

Таким образом, как показали лабораторно-технологические исследования и опытно-промышленные испытания, для получения штапельных волокон могут быть рекомендованы двухкомпонентные шихты на основе андезитового порфирита Краснозвездного месторождения и известняка Гузганского месторождения — местного сырья Таджикистана.

Производство супертонких волокон из андезитового порфирита освоено строительной организацией «Биннокор» г. Ходжента Таджикистана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джигирис Д. Д., Махова М. Ф., Сергеев В. П. Базальтоволоконные материалы. — Сб. Промышленность полимерных, мягких кровельных и теплоизоляционных строительных материалов. Обзор. информ. ВНИИЭСМ. — М., Сер. 6. Вып. 3, 1989.
2. Горьянов К. Э., Дубанецкий К. Н., Васильков С. Г. Технологии минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. — М.: Стройиздат, 1976.
3. Исследование основных свойств расплава горных пород / М. Ф. Махова, Д. Д. Джигирис, С. Ф. Горбачев, Т. М. Бачило. — Сб. Базальтоволоконные композиционные материалы и конструкции. — Киев: Наукова думка, 1980.



Фирма «КА ДЖИ ВЕ» (г. Санкт-Петербург)

предлагает

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ производства австрийской фирмы Heraklith:

легкие теплоизоляционные панели помогут Вам
возвести стены по оригинальной технологии фирмы

звуконизоляционные акустические панели
для отделки помещений с сопутствующим
оборудованием

рулонные и гонтовые кровельные материалы
различных цветов для всех видов крыш

Ждем вас по адресу: г. Санкт-Петербург, Невский проспект, 49/2.
Телефон: (812) 113-15-79. Факс: 113-14-43.

*Вы хотите быстро построить коттедж или дачу
из дешевого, прочного, экологически чистого
и комфортного строительного материала?*

Тогда выбирайте АРБОЛИТ

Арболит — это комплекты сборных конструкций усадебных одноэтажных полносборных жилых домов: одноквартирных — с 3-комнатной квартирой и двухквартирных — с 3-комнатными или 2- и 4-комнатными квартирами.

На 1 января 1993 г. себестоимость комплекта конструкций одноквартирного дома общей площадью 78 м² составляла 400 тыс. р., а двухквартирного общей площадью 157 м² — 600 тыс. р.

В комплект сборных конструкций домов входят:

- фундаментные блоки из тяжелого бетона;
- цокольные плиты, несущие панели для внутренних и наружных стен, перегородки из арболита;
- карнизные блоки, цокольные и чердачные плиты перекрытий — из арболита в сочетании с железобетоном.

Предприятия и частные лица, желающие организовать производство арболита, могут обратиться по адресу:
410005, г. Саратов, ул. Пугачевская, д. 147/151, АО «РНСМ», отдел арболита.
Телефон: (8452) 24-43-15.

(См. далее статью А. А. Саженова «Отходы — в доходы»)

А. А. СЕМЕНОВ, инж. (АО «Республиканский институт строительных материалов», г. Саратов)

Отходы — в доходы

(из опыта использования)

Арболит (древобетон) — легкий материал, изготовляемый из органических заполнителей (отходов древесины, костры конопли и льна) и минеральных вяжущих. Наиболее распространен арболит, полученный из отходов древесины (кусковых отходов, отсевов от технологической щепы, из стружки и опилок) и портландцемента М 400.

Арболит применяется для строительства 1-2-этажных жилых и производственных зданий в виде: панелей (глухих, с оконными и дверными проемами) и крупных блоков для возведения наружных и внутренних стен;

мелких блоков (камней) размером $250 \times 250 \times 500$ мм и др.;

плит перекрытий и покрытий зданий различного назначения пролетом от 3,6 до 4,5 м;

моноплитных стеновых конструкций, возводимых на строительной площадке из легкоподвижных (поризованных) арболитовых смесей;

теплоизоляционных плит взамен минераловатных для утепления цокольных и чердачных перекрытий.

Навесные (самонесущие) панели из арболита размером $6 \times 1,2 \times 0,25$ м и другие применяются в многоэтажных зданиях каркасно-панельной конструкции различного назначения.

Производство арболита налажено в Якутии, Республике КОМИ, в Архангельской, Нижегородской, Новосибирской, Саратовской и других областях, в Красноярском крае. Малые предприятия, кооперативы, выпускающие мелкие блоки (камни), имеются практически во всех регионах России. За рубежом (в Германии, Японии, Швейцарии, Голландии, Бельгии, Австрии) материалы, подобные арболиту, широко используются в течение нескольких десятилетий.

Арболит прост в изготовлении, долговечен в эксплуатации, водо-, био- и морозостоек, мало тепло- и звукопроводен, трудногорюем. Этот материал легко пилится, прочно сцепляется с отделочными слоями, в него легко забиваются гвозди.

Низкая плотность $500-750 \text{ кг/м}^3$ — основное преимущество арболита при производстве и применении перед другими традиционными строительными материалами (керамзитобетоном, кирпичом). Благодаря этому свойству арболита при применении его в строительстве можно:

уменьшить толщину стен, снизить массу зданий;

почти в 2 раза уменьшить энерго- и металлоемкость производства;

в 1,6 раза сократить транспортные затраты;

снизить расход цемента на $30-40 \text{ кг}$ на 1 м^2 стены

по сравнению с керамзитобетоном, хотя на изготовление 1 м^3 арболита цемента расходуется больше.

Если древесные отходы деревообрабатывающих предприятий и цехов составляют более 500 плотных м^3 в 1 год, производство арболитовых изделий эффективно даже в районах с развитой базой минеральных заполнителей.

Рациональна организация арболита на территориях лесопильно-деревообрабатывающих предприятий и заводов сборного железобетона.

Небольшие еще пока объемы применения арболита объясняются: дефицитом цемента — отгрузка его до недавнего времени производилась только по плановым фондам;

относительно небольшой стоимостью традиционных строительных материалов;

отсутствием достоверной информации (рекламы).

В настоящее время в связи с удорожанием энергоносителей больше чем в 100 раз резко выросли цены на все строительные материалы. В такой обстановке арболит оказался дешевым (и эффективным) строительным материалом благодаря использованию отходов. Например, стоимость древесных отходов в г. Саратове не превышает 300 р. за 1 м^3 , а керамзит (только заполнитель) стоит 1400—1600 р. 1 м^3 .

Следует отметить, что изделия из арболита можно изготавливать не только в заводских условиях, но и в полевых (на полигонах) без применения сложных механизмов, в разборных формах, с помощью ручной трамбовки без затрат больших физических усилий.

Арболитовые конструкции положительно показали себя в жилых зданиях Саратовской области, поэтому все семь лет с начала пуска цех арболита Саратовского завода стройконструкций работает рентабельно, не испытывает затруднений со сбытом продукции. С 1992 г. объем производства арболитовых домов не только не снизился, но и увеличился при общем резком спаде усадебного строительства в области.

В 1993 г. эффективность производства арболита будет увеличена благодаря внедрению экономичных составов и применению нового малоэнергоемкого технологического оборудования, например, рубительной машины для измельчения кусковых отходов, арболитосмесителя, формовочной установки.

Изделия из арболита в объеме 4 тыс. м^3 в 1 год изготавливает для малоэтажного жилищного строительства цех Саратовского завода стройконструкций АО «РИСМ».

УДК 67 6.58.891.16.621.791.94

Л. А. ТЕПЛОВА, канд. техн. наук (НПО «Полимерстройматериалы»)

Об использовании излучения оптических квантовых генераторов при фасонной резке рулонных битумных материалов

Материально-техническая база строительства в настоящее время не отвечает современным требованиям. Уровень механизации кровельных работ, в частности при устройстве мягких кровель жилых, гражданских и других зданий, не превышает 50 %.

Применение традиционных рулонных мягких кровельных материалов усложняет производство работ по устройству кровель на криволинейных поверхностях куполов, сводов, сфер, складок зданий и сооружений. Кровли, изготовленные из традиционных рулонных материалов, не отвечают эстетическим и декоративным требованиям, предъявляемым современным уровнем градостроительства.

В связи с этим во ВНИИстройполимере совместно с ВНТЦ «Технопом» (МАДИ) были проведены работы по исследованию эффективности фасонной резки рулонных битумных материалов специализированным лазерным комплексом. При исследовании в качестве излучателей использовали лазеры непрерывного, импульсного и импульсно-периодического действия [2—4]. Активными средами лазерных установок, соответственно, являлись углекислый газ, гранат, рубин и неодимовое стекло.

Эксперименты показали, что для получения качественной резки рулонных материалов, движущихся с высокими скоростями относительно луча ОКГ, наиболее эффективными являются непрерывные CO_2 -лазеры. В качестве рабочего вещества газовой струи в технологическом процессе наиболее оптимальным оказалось использование поддува воздуха при давлениях 2—6 кгс/см² (применение азота или инертных газов

способствует удорожанию процесса).

При проведении функционально-стоимостной оценки технологии резки полотен рулонных кровельных материалов технологический процесс оценивали в зависимости от способа резки полотна, скорости его движения при фиксированной мощности излучения, а также от разнообразия номенклатуры битумных материалов.

В ходе выполнения работ учитывались ограничения, накладываемые на скорость резания и выходную мощность оптических квантовых генераторов (ОКГ) (на современном этапе развития лазеростроения в нашей стране). В проведенных расчетах рассматривался наиболее эффективный отечественный лазерный технологический комплекс мощностью 5 кВт. Ограничение мощности величиной 5 кВт обусловлено работоспособностью устойчивого резонатора. Ограничение, наложенное на скорость резания 20—37 м/мин, было выбрано исходя из технических возможностей существующих машин.

При лазерно-механическом способе резания рассматривалась система, обеспечивающая расщепление луча ОКГ мощностью 5 кВт на два одинаковой мощности. Цель системы — увеличение производительности установки и проведение фасонной лазерной резки по двум направляющим одновременно.

Были предусмотрены вопросы изготовления в металле системы вытяжки, обеспечивающей отсос токсичных газообразных веществ и возможность газоструйного поддува в зоне резки.

В ходе определения эффективности лазерно-механического способа резки кровельных материа-

лов рассматривались три скорости резания: первая — 36,9 м/мин, обусловленная заданной скоростью движения полотна — 30 м/мин; вторая — 30,8 м/мин при скорости движения полотна 25 м/мин и третья — скорость резания — 20 м/мин, при которой рулонный кровельный материал перемещался со скоростью 16,3 м/мин.

В отечественной практике лазерной резки материалов скорость резания 20 м/мин является реальностью на настоящем этапе развития лазерной техники. В результате проведенных исследований была выявлена возможность использования скорости резания 30,8 м/мин рулонных кровельных материалов на плитки заданной формы в условиях работы лазера мощностью 5 кВт и расщепления луча ОКГ на два одинаковой мощности. Прогнозируется возможность скорости резания 36,9 м/мин на 5 кВт-ном лазере (эксперимент не был поставлен вследствие отсутствия координатного стола, обеспечивающего скорость движения полотна — 25—30 м/мин).

При механическом способе резания рулонных кровельных материалов, обеспечивающем высокую скорость резки полотна — 25—30 м/мин, имеются значительные потери рабочего времени (10—15 %) на переналадку механических ножей в связи с изменением марки материала, а также его налипанием на режущую кромку ножей.

Большим преимуществом лазерной технологии фасонной резки является отсутствие потерь эффективного времени работы оборудования на его переналадку в связи с изменением номенклатуры обрабатываемых материа-

лов — в этом случае изменяется лишь программа ЭВМ лазерного комплекса. Кроме того, при использовании лазерной технологии исключаются затраты, связанные с износом механических ножей и налипанием битумных материалов на рабочую поверхность режущего инструмента (норма затрат на текущий ремонт, техническое обслуживание и содержание комплекта оборудования для резки битумных листов составляет 11 %).

Результаты проведенных работ позволили сделать вывод о перспективности использования излучения ОКГ для фасонной резки рулонных битумных материалов.

Ожидаемый экономический эффект от применения комплекса АЛК при лазерно-механическом способе резки составил от 8 млн. р. (в процессе резания используется расщепленный лазерный луч и 3 механических ножа) до 10 млн. р. в ценах 1993 г. (в процессе резания применяются расщепленный лазерный луч и один механический нож для поперечной резки полотна).

В расчетах не учитывались эргономические и социальные результаты использования лазерного комплекса, повышающего общую культуру производства и соответствующего эстетическим требованиям обслуживающего персонала, а также не рассматривалась полная фасонная резка лучом ОКГ вследствие высоких скоростей резания и ограниченной технической возможности координатной машины.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о целесообразности использования лазерного излучения при фасонной резке мягких кровельных материалов для воплощения творческих замыслов дизайнеров и создания новых, оригинальных форм покрытий зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Епифанов В. А. Развитие арендных отношений индустриальной базы строительства Москвы. — М.: Эллис, 1991.
2. Лазерная технология. Тезисы Всесоюзного семинара «Лазерная техника и технология». Вып. 6. — Вильнюс, 1988.
3. Применение импульсных методов и обработки давлением для производства порошковых изделий, композиционных материалов и покрытий. — Тезисы, докл. Межреспубликанской научно-технической конференции. — Волгоград, 1990.
4. Архипов В. Е., Виргер Е. М. Оборудование для лазерной технологии и условия его эксплуатации. — М.: Машиностроение, 1990.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 666.3.032.6.001.5

Е. И. ШМИТЬКО, канд. техн. наук, С. В. ЧЕРКАСОВ, инж. (ВИСИ)

Управление плотностью прессованных материалов путем рационального использования потенциала поверхностных и капиллярных сил

Для многих строительных изделий, получаемых прессованием (силикатный кирпич, цементно-песчаная кровельная черепица, стеновые камни и др.), достижение высокой плотности сырца является неременным условием гарантированных показателей ряда определяющих свойств (прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и др.). На практике задачу повышения плотности обычно стремятся решить через повышение прессового давления. Наши исследования показывают, что значительного эффекта в этом направлении можно добиться, если целенаправленно использовать потенциал внутренних поверхностных и капиллярных сил. Причем управлять этими силами можно через обычные технологические факторы: влажность и дисперсионный состав формовочной смеси.

Как известно [1, 2, 3], поверхностные и капиллярные силы во влажных дисперсных системах обусловлены избыточной поверхностной энергией на границах раздела фаз, которая является причиной перехода воды в поверхностно-связанное (пленочное) состояние, а также образования искривленных поверхностей раздела в виде капиллярных менисков. Также известно, что в поверхностных пленках воды действует, так называемое, пленочное расклинивающее давление, значения которого меняются в зависимости от толщины пленки и соотношения дисперсионных и электростатических сил, а в заполненных водой капиллярах действует отрицательное, способствующее стяжению дисперсной системы, давление, ве-

личина которого находится в обратной зависимости от радиуса капилляра.

Итак, в своих исследованиях мы исходили из того, что расклинивающее пленочное давление способствует преимущественно разуплотнению частиц дисперсной системы, а капиллярное давление — их сближению. Правильность этой посылки хорошо иллюстрируется экспериментальной кривой плотности цементно-водной дисперсии, представленной на рис. 1. Необходимо заметить, что уплотнение цементно-водной дисперсии (смеси цемента с водой) в наших опытах осуществлялось практически без участия внешних сил (после тщательного смешения смесь закладывалась в мерный сосуд и уплотнялась лишь легким постукиванием сосуда о край стола). Поэтому достигнутые в опытах показатели плотности можно рассматривать как результат взаимодействия только внутренних сил.

Значения плотности на рис. 1 представлены как функция влажности смеси; при этом нижний предел влажности соответствовал сухому порошку цемента, а верхний — сильно разбавленной цементной суспензии, т. е. охвачен весь диапазон возможных влажностных состояний цементно-водной дисперсии в реальных композициях.

На кривой плотности четко выделяются три характерных участка, первый из которых соответствует разуплотнению порошка цемента (участок АВ), второй — самоуплотнению влажной смеси (участок ВD) и третий — разуплотнению цементного теста в результате раз-

бавления его водой (участок DG). Границы участков совпадают с минимумом (точка В) и максимумом (точка D) плотности.

Понижение плотности дисперсии в пределах первого участка кривой мы связываем с образованием и постепенным утолщением на зернах цемента оболочек из пленочной воды, обладающей в сравнении с объемной водой большей структурностью, упругостью, способностью воспринимать внешние силы. Утолщающиеся пленки воды за счет действия расклинивающего давления раздвигают зерна цемента, в результате чего плотность упаковки последних снижается (см. нижнюю кривую на рис. 1).

Наши расчеты показали, что в точке перегиба В вероятная толщина пленок воды достигает 200 нм. Постепенный загиб кривой на подходе к этой точке может быть обусловлен непропорциональностью между приростами в расходе воды и в толщине пленок, меньшей упругостью более толстых пленок воды и др. Однако главное значение мы придаем тому, что начиная с некоторого влажностного состояния в дисперсии наряду с пленочной существует объемная жидкость: сначала в виде разобренных манжетов, а затем, по мере повышения влажности, в виде сообщающейся капиллярности [2]. Соответственно образуются мениски жидкости, которые вызывают сначала локальное, а затем и глобальное стяжение системы.

Отрицательное давление, возникающее под вогнутыми менисками, обеспечивает не только стяжение и, как результат, деформирование пленок воды на зернах цемента, но и частичный переток воды из пленок в объем капилляров, что также способствует сближению частиц цемента. В конкурирующем взаимодействии пленочного и капиллярного давлений капиллярное давление становится доминирующим, начиная с точки перегиба В.

Дальнейшее добавление воды усиливает капиллярный потенциал, и система самоуплотняется. Причем в достаточно узком интервале влажности (участок CD) уплотнение системы происходит как бы спонтанно. Мы склонны считать, что в отмеченном интервале наряду с капиллярными силами существенную роль могут

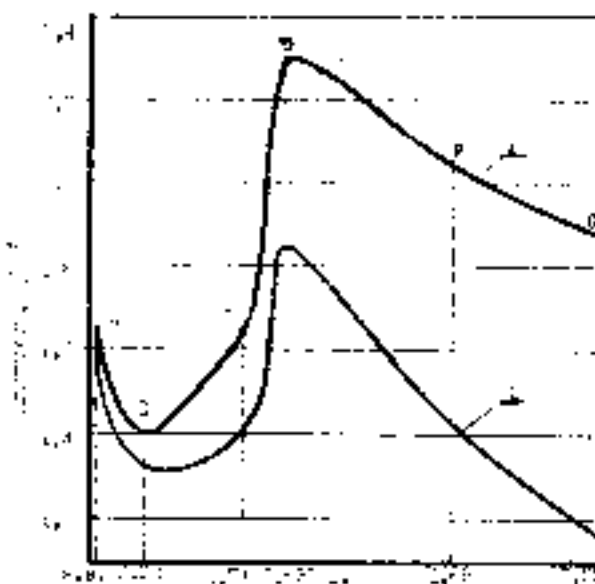


Рис. 1. Изменение плотности цементно-водной дисперсии в зависимости от содержания воды
1 — кривая плотности дисперсии; 2 — кривая парциальной плотности твердой фазы; а, в — адсорбционная влажность

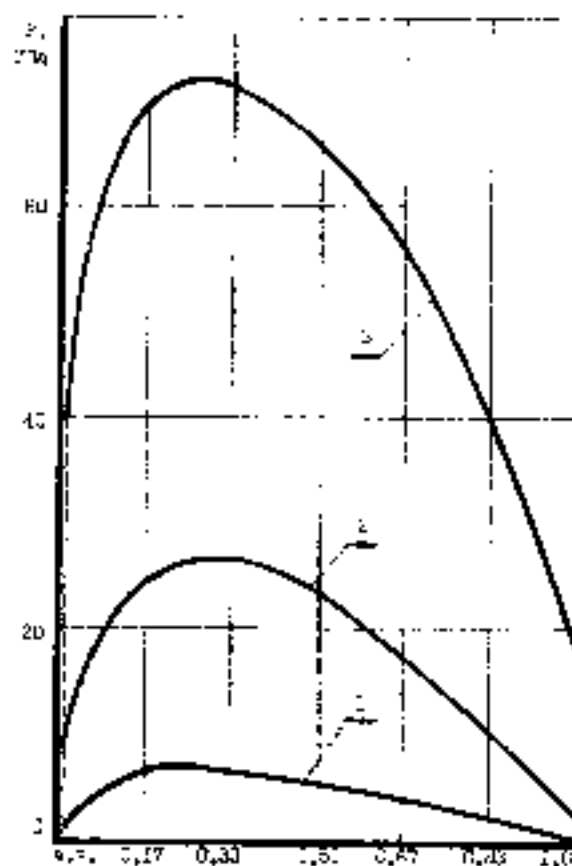


Рис. 2. Изменение прессового давления на образцы в зависимости от содержания воды в цементно-водной дисперсии. Межзерновая пористость в образцах: 1 — 44; 2 — 38; 3 — 33

играть гравитационные силы межчастичного взаимодействия, которые, согласно теории Лифшица, проявляют себя при сближении дисперсных частиц до 100 нм и менее. С межчастичными взаимодействиями связывают также [1, 3] смену знака (плюс на минус) расклинивающего пленочного давления в интервале толщин пленок от 100 до 20 нм. Именно такие расчетные значения толщин пленок воды получены нами для точек С и D.

Точке D на кривой плотности соответствуют наибольшая плотность и наибольшая агрегативная

связность системы. По И. Н. Ахвердову этой точке присущи экстремальные значения коэффициента внутреннего трения и некоторых других характеристик. Можно полагать, что капиллярный потенциал системы в рассматриваемом влажностном состоянии достиг своего максимума.

Дальнейшее добавление воды способствует полному насыщению межзернового объема (точка E), исчезновению вогнутых менисков и капиллярного стяжения системы. Значительная часть распределяется в виде сольватных оболочек на зернах цемента, которые стремятся разуплотнить систему. Сдерживающим фактором на участке кривой EF являются, по-видимому, межчастичные взаимодействия, благодаря которым система не теряет агрегативной устойчивости.

В точке F средняя расчетная толщина оболочек воды в межзерновых контактах снова достигла 100 нм, что должно, по нашему мнению, существенно понизить межчастичные взаимодействия и кинетическую устойчивость системы. Действительно, опыты многих исследователей указывают на низкую кинетическую устойчивость цементного теста с содержанием влаги выше, чем 1,65. Такую систему можно отнести к суспензиям.

Таким образом, проведенные экспериментальные данные и теоретический анализ кривой плотности показывают большие практические возможности управления плотностью и кинетической устойчивостью дисперсных систем за счет фактора влажности.

Ниже мы покажем справедливость этого вывода применительно к строительным изделиям (цементно-песчаной черепице, силикатному кирпичу, керамическим изделиям и др.), получаемым прессованием или прокатом влажных дисперсных формовочных масс, т. е. дисперсий, состояние которых можно охарактеризовать участком AD на кривой плотности (см. рис. 1).

Можно было бы ожидать, что внешнее прессовое давление способно подавить внутренние силы и поставить величину достигаемой плотности в зависимость только от величины прессового давления. Однако это не так.

На рис. 2 представлены экспериментальные кривые, отражаю-

щие связь величины прессового давления, необходимого для достижения заданной плотности упаковки зерен цемента в отпрессованных образцах (в образцах серии 1 межзерновая пустотность составила 44 %, серии 2 — 38 %, серии 3 — 33 %), с уровнем исходной влажности формовочной смеси (цементно-водной дисперсии). Эти результаты указывают на то, что поверхностные и капиллярные силы, изменяющиеся в зависимости от влажности формовочной смеси (силы межчастичного взаимодействия при постоянной плотности упаковки частиц цемента можно принять постоянными), могут существенно повлиять на величину внешнего давления при нормированной плотности образцов или же изменить величину плотности при нормированном внешнем давлении.

Так, пока относительная влажность формовочной смеси невелика (левые ветви кривых на рис. 2), а вводимая в систему вода утолщает в основном поверхностные пленки воды на зернах цемента и разуплотняет систему в целом, требуется значительное дополнительное внешнее давление, чтобы подавить эти пленки и восстановить заданную упаковку зерен цемента: при увеличении содержания воды от адсорбционного состояния до влажности 0,3 (см. рис. 2) прессовое давление пришлось увеличить в 10 раз в 1-й серии образцов и в 2,4 раза — в 3-й серии. Дальнейшее же увеличение содержания воды (правые ветви кривых на рис. 2) приводит к тому, что капиллярные силы компенсируют значительную часть внешнего давления и его величина может быть снижена по сравнению с максимумом в несколько раз.

Таким образом, для многих прессованных изделий оптимизация влажностного фактора может обеспечить значительное повышение плотности и экономию энергии на уплотнение.

Влияние дисперсности формовочной смеси на уровень проявления поверхностных и капиллярных сил можно проиллюстрировать (рис. 3) на примере результатов измерений, выполненных на прессованных образцах, твердый скелет в которых представлен цементно-песчаной смесью составов 1:1, 1:2, 1:3

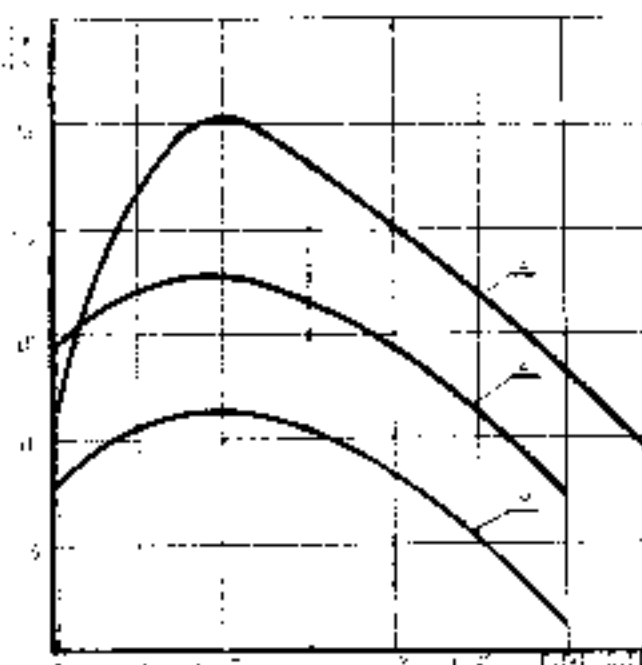


Рис. 3. Изменение прессового давления на образцы в зависимости от содержания воды в цементно-песчаной дисперсии
1 — Ц/П=1:1, 2 — Ц/П=1:2, 3 — Ц/П=1:3.

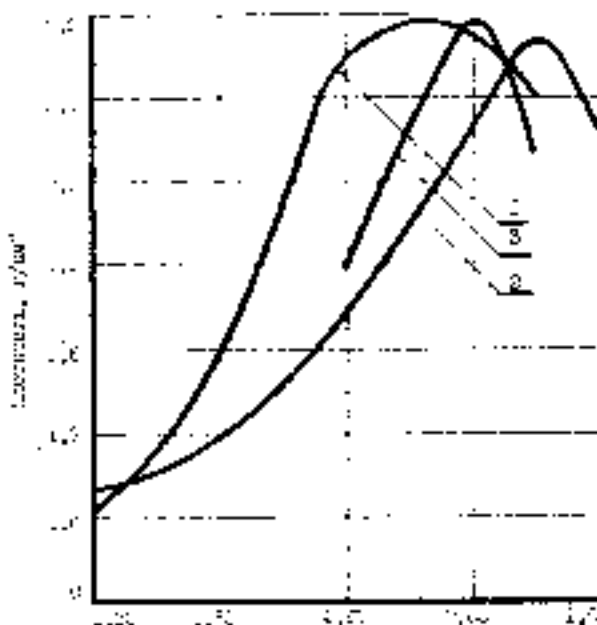


Рис. 4. Значения плотности межзернистого бетона в модельных образцах и в готовом изделии (черепице)
1 — лабораторные образцы с Ц/П=1:2; давление формования 0,06 МПа; 2 — лабораторные образцы с Ц/П=1:3, давление формования 0,06 МПа; 3 — черепица, отформованная на опытной линии

поверхностью $250 \text{ м}^2/\text{кг}$, песок строительный с $M_s=2,61$). Здесь, как и в предыдущих опытах, прессовое давление поставлено в зависимости от влажности формовочной смеси; межзерновая пустотность поддерживалась постоянной на уровне 0,25—0,27.

В полученных результатах обращает на себя внимание то, что вновь воспроизведена полученная ранее на цементно-водной дисперсии закономерность проявления внутренних сил. Из этого можно уже сделать вывод о типичности отмеченной закономерности. Вместе с тем следует обратить внимание на некоторые особенности поведения грубодис-

персных систем, а именно: подавление пленок воды на более грубодисперсных частицах происходит легче, чем на тонкодисперсных; экстремум, отвечающий максимальному проявлению пленочного расклинивающего давления, наступает тем раньше, чем более крупные частицы составляют дисперсную систему; эффективность проявления капиллярного стяжения системы осталась по-прежнему высокой соответственно относительно плотной упаковке частиц.

Все отмеченное согласуется с теоретическими положениями о возрастании величины расклинивающего давления на сферических частицах с уменьшением радиуса частиц, о зависимости емкости граничных слоев воды от удельной поверхности дисперсных частиц, о возрастании капиллярного потенциала с уменьшением радиуса капилляра [1—3].

Таким образом, регулируя дисперсный состав формовочной смеси, высокой плотности прессованного камня можно добиться не только за счет более компактной упаковки частиц, но и за счет более эффективного вовлечения в работу капиллярных сил.

В качестве одного из практических примеров использования выявленных закономерностей можно сослаться на результаты, полученные при внедрении составов формовочных смесей для производства цементно-песчаной черепицы на опытной линии одного из предприятий г. Воронежа (рис. 4).

Оптимизация состава формовочной смеси в лаборатории производилась по показателю плотности отформованного сырца на образцах-таблетках диам. 5 см и высотой 14 мм (соответственно толщине черепицы); внешнее давление моделировало работу прокатного вала и составляло 0,06 МПа. В целом проведенные опыты не принесли каких-либо неожиданных результатов. К отмеченному выше можно лишь добавить, что с увеличением в составе формовочной смеси содержания песка область оптимума сужается, что накладывает более жесткие требования в отношении точности дозирования материалов.

Полученные в лаборатории результаты достаточно адекватно воспроизведены на опытной уста-

новке (см. рис. 4), а достигнутый оптимум обеспечил высокие показатели свойств мелкозернистого бетона в черепице.

Таким образом, задача управления плотностью прессованных материалов с учетом потенциала поверхностных и капиллярных сил представляется вполне выполнимой, а ее реализация может обеспечить достаточно высокий технико-экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вода в дисперсных системах / Б. В. Дерягин, Н. В. Чураев, Ф. Д. Овчаренко и др. — М.: Химия, 1989.
2. Лыков А. В. Теплообмен: Справочник — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергия, 1978.
3. Хейфэн Л. И., Аймарк А. В. Многофазные процессы в пористых средах. — М.: Химия, 1982.

Предприятие предлагает приборы

для определения удельной поверхности порошков от 500 до 50000 см²/г
ПСХ-8 Автомат,

для измерения гранулометрического состава порошков от 2 до 50 мкм
Фотоседиментометр ФСХ-1,
а также выполнит научные исследования в области тонкого измельчения и механохимии неорганических материалов.

Почтовый адрес:

109428, Москва,
ул. Коновалова, д. 7, кв. 11.

Телефон: (095) 979-93-54.

Факс: (095) 292-65-11,
«РОМОЛ», вок 1222.

УДК 666.3.041:336.33

С. А. КАРАУШ, канд. техн. наук (НИИ строительных материалов при Томском инженерно-строительном институте)

Влияние плотности садки на угловые коэффициенты излучения при обжиге керамического кирпича в туннельных электропечах

Работа туннельных электрических печей характеризуется сложностью распределения температур и тепловых потоков во времени и в пространстве. Наиболее ответственной является зона обжига, в которой осуществляется передача тепловой энергии в основном излучением от нагревателей и стен печи к садке керамических изделий.

Тепловой расчет нагрева и обжига керамических изделий требует знания в первую очередь угловых коэффициентов излучения для системы «стена печи — садка керамических изделий» [1, 2]. Обычно в туннельных печах нагреватели располагаются с обеих сторон садки на полках стен печи и образуют два плоских излучателя. При обжиге сырца в печи садка его представляет собой по конструкции параллелепипед, сложенный из отдельных керамических изделий с прямоугольными каналами поперек садки, предназначенными для передачи лучистой энергии к ее центру.

Плоскость симметрии печи проходит через центральное сечение садки. Всю садку можно рассматривать как систему, состоящую из множества однотипных элементарных ячеек, каждая из которых представляет собой прямоугольный канал длиной l_{ij} , равной половине толщины садки, как показано на рис. 1.

Поверхность излучателя имеет намного большую площадь излучения, чем фронтальная площадь элементарной ячейки. В связи с этим можно предположить, что вся тепловая энергия с поверхности излучателя l элементарной ячейки полностью попадает на фронтальную и внутренние поверхности канала элементарной ячейки. Оценим влияние плотности садки керамических изделий на угловые коэффициенты излучения теплообменивающихся поверхностей.

Под плотностью садки будем понимать отношение объема канала

элементарной ячейки, занятого керамическими изделиями, к общему объему канала, т. е. в соответствии с рис. 1 имеем

$$\rho = \frac{l_{k1}(2\delta_2 + \delta_3)(2\delta_4 + \delta_3) - \delta_2 \cdot \delta_3}{l_{k1}(2\delta_1 + \delta_2)(2\delta_4 + \delta_3)}$$

Угловые коэффициенты излучения для рассматриваемой системы являются чисто геометрическими характеристиками, поэтому на рис. 1 представлен наиболее общий случай расположения керамических изделий в садке и нагревателя в пространстве печи.

Точным методом определения угловых коэффициентов излучения между телами 1, i , m , k , l , n является аналитический [3], в основу которого положено непосредственное интегрирование математического выражения для элементарного углового коэффициента излучения:

$$\psi_{i-j} = \int_{(F_i)} dF_i \int_{(F_j)} \frac{\cos\psi_i \cdot \cos\psi_j}{r^2} dF_j$$

где ψ_i, ψ_j — углы, образованные нормалью к площадкам i и j и линией, соединяющей центры этих площадок; r — расстояние между центрами площадок; F_i, F_j — площади поверхностей i -й и j -й площадок.

Расчет угловых коэффициентов излучения по вышеприведенной формуле требует большого объема вычислений даже для простейших систем, таких, как, например, на рис. 1; что связано с большим числом неизвестных угловых коэффициентов. Например, при числе поверхностей 18, используемых в зональном методе теплового расчета для ячейки, число неизвестных угловых коэффициентов составит 324.

При расчете зависимости угловых коэффициентов от плотности садки, последнюю изменяли путем

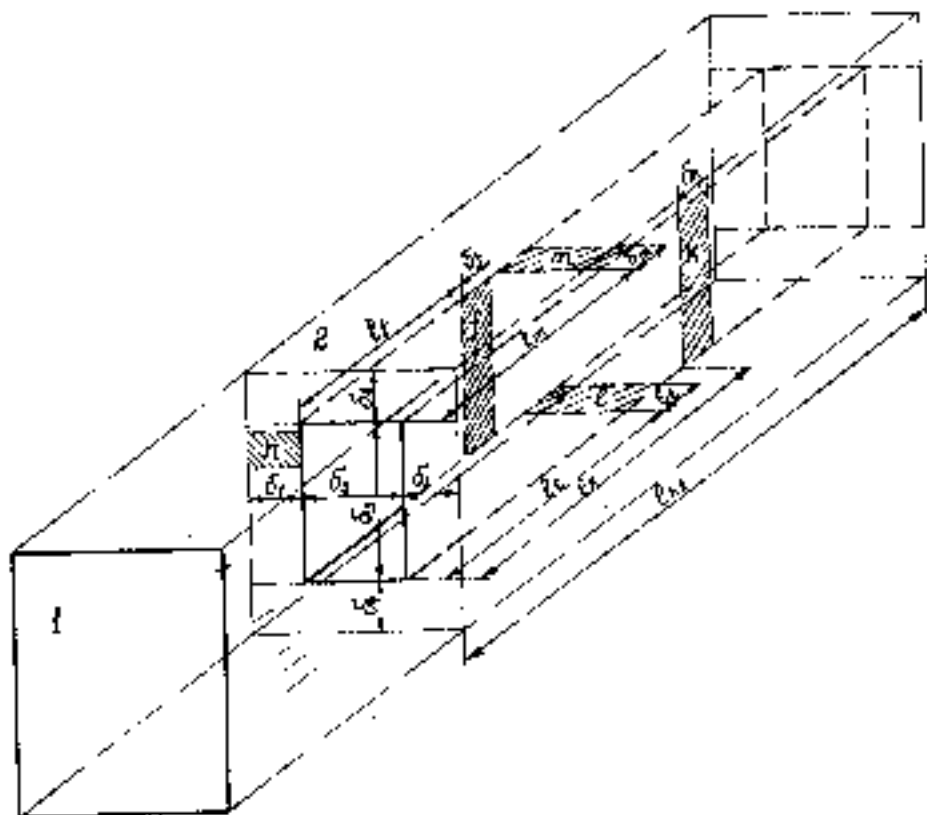


Рис. 1. Модель элементарной ячейки

1 — элемент плоского излучателя; 2 — керамические изделия в садке; $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6, \delta_7, \delta_8, \delta_9, \delta_{10}, \delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{14}, \delta_{15}, \delta_{16}, \delta_{17}, \delta_{18}, \delta_{19}, \delta_{20}, \delta_{21}, \delta_{22}, \delta_{23}, \delta_{24}, \delta_{25}, \delta_{26}, \delta_{27}, \delta_{28}, \delta_{29}, \delta_{30}, \delta_{31}, \delta_{32}, \delta_{33}, \delta_{34}, \delta_{35}, \delta_{36}, \delta_{37}, \delta_{38}, \delta_{39}, \delta_{40}, \delta_{41}, \delta_{42}, \delta_{43}, \delta_{44}, \delta_{45}, \delta_{46}, \delta_{47}, \delta_{48}, \delta_{49}, \delta_{50}, \delta_{51}, \delta_{52}, \delta_{53}, \delta_{54}, \delta_{55}, \delta_{56}, \delta_{57}, \delta_{58}, \delta_{59}, \delta_{60}, \delta_{61}, \delta_{62}, \delta_{63}, \delta_{64}, \delta_{65}, \delta_{66}, \delta_{67}, \delta_{68}, \delta_{69}, \delta_{70}, \delta_{71}, \delta_{72}, \delta_{73}, \delta_{74}, \delta_{75}, \delta_{76}, \delta_{77}, \delta_{78}, \delta_{79}, \delta_{80}, \delta_{81}, \delta_{82}, \delta_{83}, \delta_{84}, \delta_{85}, \delta_{86}, \delta_{87}, \delta_{88}, \delta_{89}, \delta_{90}, \delta_{91}, \delta_{92}, \delta_{93}, \delta_{94}, \delta_{95}, \delta_{96}, \delta_{97}, \delta_{98}, \delta_{99}, \delta_{100}$ — элементарные участки фронтальной, нижней, верхней и боковых поверхностей канала

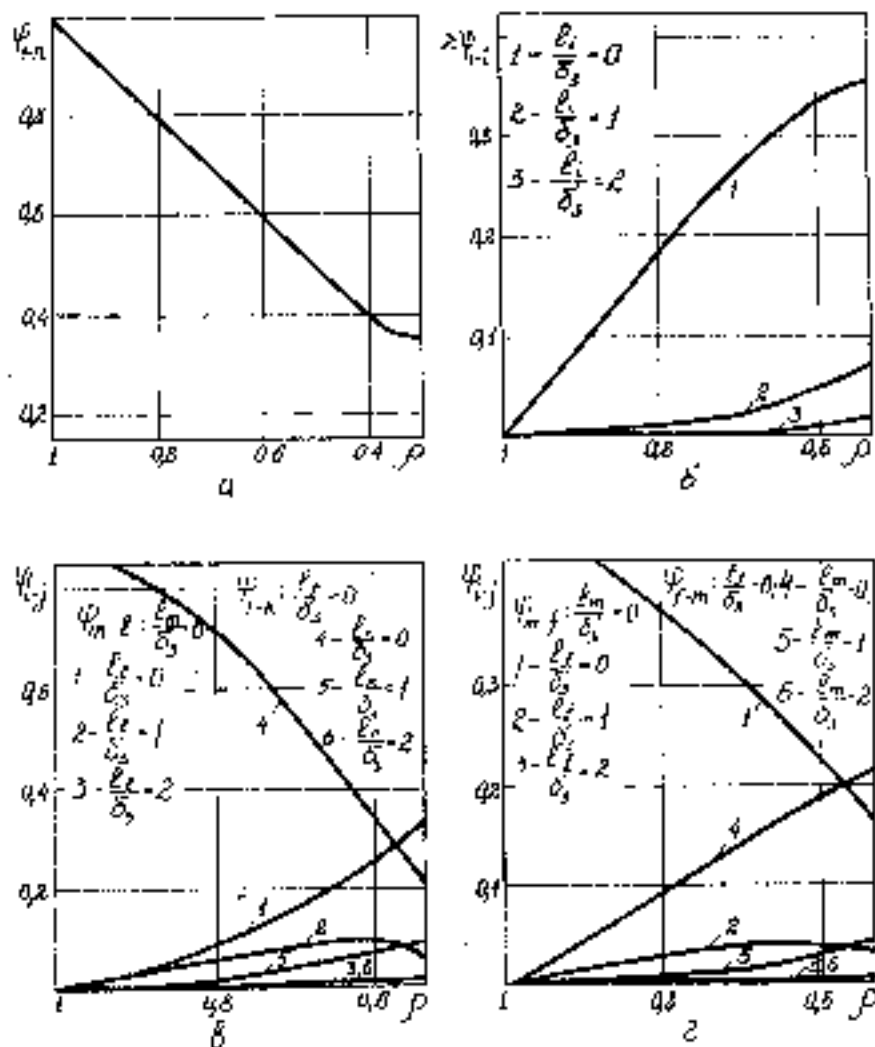


Рис. 2. Характер изменения угловых коэффициентов излучения от плотности садки при $\delta_1/\delta_2 = \delta_4/\delta_5 = 0,27$; $\delta_3/\delta_4 = \delta_6/\delta_7 = \delta_8/\delta_9 = \delta_{10}/\delta_{11} = 1$; $i=f, k, l, m$

изменения расстояния между стоящими на ребре кирпичами δ_2 (рис. 1).

Влияние плотности садки керамического кирпича на угловой коэффициент излучения между излучателем и фронтальной поверхностью элементарной ячейки показано на рис. 2, а. Как видно из рисунка, при плотности садки менее

0,35 угловой коэффициент излучения принимает постоянное значение, равное 0,35. Это связано с тем, что при увеличении расстояния между кирпичами δ_2 влияние фронтальной поверхности боковых, стоящих на ребре кирпичей, становится несущественным по отношению к фронтальной поверхности лежащих кирпичей. Однако следует

заметить, что если садка выполнена из керамических кирпичей стандартных размеров — $250 \times 120 \times 65$ мм, то плотность садки не может быть менее 0,485, что ограничено длиной кирпича.

Характер изменения угловых коэффициентов излучения между различными теплообменивающимися поверхностями показан на рис. 2, б, в, г. Из этих рисунков видно, что теплоперенос излучением между телами резко падает с увеличением длины канала ячейки. Тепловые расчеты, проведенные с использованием найденных коэффициентов излучения, показали, что оптимальная толщина садки не должна превышать трех длин кирпичей. В противном случае резко возрастает время прогрева садки, что приводит к неоправданному увеличению времени нахождения обжиговых вагонеток в печи.

Более точно толщина садки и ее оптимальная конструкция могут быть рассчитаны исходя из производительности и мощности печи и характеристик исходного сырья. Сама конструкция садки должна иметь горизонтальные перпендикулярные или под небольшим углом к плоскости нагревателя каналы для передачи лучистой энергии от нагревателя к центру садки, а также вертикальные каналы для организации конвективного теплопереноса в зоне обжига и выравнивания температурного поля по сечению печи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дискенко В. Г., Волков В. В., Гончаров А. Л. Математическое моделирование теплообмена в печах и агрегатах. — Киев: Наук. думка, 1984.
2. Ключников А. Д., Кузьмин В. Н., Попов С. К. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Теплообмен излучением. Справочник / А. Г. Блох, Ю. А. Журавлев, Л. Н. Рыжков. — М.: Энергоатомиздат, 1991.

Fomenko O. S. Production and use of cellular concrete products under marketing conditions
Ukhova T. A. The methods of increasing the efficiency of cellular concrete production
Fedin A. A. Scientific and technical grounds for improving the production technology of silicate cellular concrete
Volzheny A. V., Chistov Ju. D. Manufacture of non-autoclave gas concrete products
Amkhanitski G. Ya. Production technology and equipment for manufacture of non-autoclave cellular concrete products
Kilksan A. E., Eskusson K. K., Eskusson I. Ju., Ostrat L. I. Optimization of gas silicate production technology
Eskusson K. K. Utilization of ashes and slags for production of cellular concretes abroad
Gryzlov V. S., Tujeva T. V. Utilization of by-product resources for building material production
Dzhigitis D. D., Chjувашов Ju. N., Makhova M. F., Kozlovsky P. P., Ruzkoj A. I. Stapel fibres made of andesite porphyrite and used for heat insulating purposes
Semyonov A. A. Utilization of waste products
Teptova L. A. Use of the radiation of optical quantum generators for shaped cutting of bituminous roll materials
Karavush S. A. The effect of compact placement of ceramic brick in tunnel-type electric furnaces on angular radiation coefficients
Schmitjko E. I., Cherkasov S. V. Controlling the density of moulded materials by the rational use of the potential capabilities of surface and capillary forces

Fomenko O. S. Herstellung und Anwendung von Zellbetonerzeugnissen unter den Marktbedingungen
Ukhova T. A. Methode der Erhöhung der Wirksamkeit von Zellbetonnerstellung
Fedin A. A. Wissenschaftlich-technische Voraussetzungen der Verbesserung der Technologie von silikatischem Zellbeton
Wolzheny A. V., Tschistow Ju. D. Herstellung von Erzeugnissen aus nicht autoklav behandeltem Gasbeton
Kilksan A. E., Eskusson K. K., Eskusson I. Ju., Ostrat L. I. Optimierung von Gassilikaterzeugung
Eskusson K. K. Anwendung von Aschen und Schlacken für Zellbetonherstellung im Ausland
Gryzlov W. S., Tuewa T. W. Ausnutzung von Nebenressourcen für die Erzeugung von Baustoffen
Dzhigitis D. D., Tschuwashow Ju. N., Machowa M. F., Kaslawskij P. P., Ruzkoj A. I. Stapelfaser für Wärmedämmung aus andesithaltigem Porphyrit
Semjonow A. A. Ausnutzung von Abfällen
Teptowa L. A. Ausnutzung der Strahlung von optischen Wärmeerzeugern bei der Schneidung von Bitumendichtungsbahnen
Karavusch S. A. Die Wirkung der Einsetzendichte von keramischem Ziegel beim Brennen in elektrischen Tunnelöfen auf Winkelverhältnissen der Strahlung
Schmitjko E. I., Tscherkassow S. W. Regulierung der Dichte von gepressten Materialien durch rationale Ausnutzung von Oberflächen- und Kapillarkräften

Fomenko O. S. Fabrication et utilisation des produits en béton cellulaire dans les conditions économiques du marché
Oukhova T. A. Moyens d'élever l'efficacité de production des bétons cellulaires
Fedine A. A. Possibilités scientifiques et techniques d'améliorer les procédés technologiques de production du béton cellulaire de silicate
Voljenski A. V., Tchistov Y. D. Fabrication des produits en béton à gaz non autoclavé
Amkhanitski G. Y. Technologies et matériels pour la fabrication des produits en béton cellulaire non autoclavé
Kilksan A. E., Eskousson K. K., Eskousson I. Y., Ostrat L. I. Technologie optimisée de la pierre silico-calcaire au gaz
Eskousson K. K. Utilisation des cendres et des laitiers pour la production des bétons cellulaires à l'étranger
Gryzlov V. S., Toueva T. V. Ressources réutilisables dans la production des matériaux de construction
Djigitris D. D., Tchouvachev Y. N., Makhova M. F., Kozlovski P. P., Pouskoi A. I. Fibraune d'isolation thermique en porphyrite d'andésite
Semionov A. A. Utilisation des déchets
Teptova L. A. Utilisation du rayonnement des générateurs optiques quantiques lors du coupage des matériaux en rouleaux bitumineux
Karavouch S. A. Densité de la fournée et coefficients angulaires de rayonnement lors de la cuisson des briques céramiques dans les fours-tunnels électriques
Chmitko E. I., Tcherkassov S. V. Utilisation rationnelle du potentiel des forces de surface et capillaires pour régler la densité des matériaux pressés

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных данных, точность сведений по цитируемой литературе. Авторы гарантируют отсутствие в статьях данных, не подлежащих открытой публикации.

Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора.

Редакция не несет ответственность за содержание реклам и объявлений.

Учредитель журнала: ТОО рекламно-издательская фирма «Стройматериалы»

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации Российской Федерации за № 0110384

Главный редактор М. Г. РУБЛЕВСКАЯ

Редакционный совет:

Ю. З. БАЛАКШИН, А. И. БАРЫШНИКОВ, И. В. БРЮШКОВ, Х. С. ВОРОБЬЕВ, Ю. С. ГРИЗАК, Ю. В. ГУДКОВ, П. П. ЗОЛотов, В. А. ИЛЬИН, С. И. ПОЛТАВЦЕВ (председатель), С. Д. РУЖАНСКИЙ, В. А. ТЕРЕХОВ (зам. председателя), Е. В. ФИЛИППОВ

Адреса: главный редактор, отдел рекламы: 103051, г. Москва, Б. Сухаревский пер., д. 19, телефон 207-40-34
 редакция: 103055, г. Москва, Тихвинский пер., д. 11, телефон: 258-75-51

Оформление обложки художника В. А. Андросова
 Технический редактор Е. Л. Сангурова
 Корректор Е. Б. Тотмина

Сдано в набор 28.06.93
 Подписано в печать 24.08.93
 Формат 60x88 1/3
 Бумага книжно-журнальная.
 Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,92
 Усл. кр.-отт. 4,92. Уч.-изд. л. 5,03
 Тираж 4419. Заказ 759
 Цена 200 р.

Набрано на основе Трудового Красного Знамени Чековском полиграфическом комбинате Министерства печати и информации Российской Федерации 142300, г. Ченов Московской обл.
 Отпечатано в Подольском филиале 142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25