

## ТЕХНОЛОГИЯ УСКОРЕННОГО ФОРМОВАНИЯ МЕЛКОШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СУХОГО ФОРМОВАНИЯ И ВАКУУМИРОВАНИЯ

Якимович Г.Д.

Опыт применения технологии сухого формования позволил выделить её сильные и слабые стороны. Данная технология позволяет осуществлять формовку сверхжестких смесей, обладающих крайне малым водовязущим отношением, что делает возможным немедленную распалубку изделий. Это позволяет сократить время оборачиваемости форм, ускорить темпы работ и снизить себестоимость продукции.

Реализация данной технологии возможна при использовании перфорированных форм, на каждой грани которых с шагом 1 см размещаются отверстия диаметром 2 мм. Для предотвращения вымывания раствора из тела образца через отверстия формы её стенки изнутри покрыты слоем фильтрующего материала, который также предотвращает сцепление раствора со стенками формы и разрушение образца при распалубке.

После укладки и уплотнения смеси с пригрузом на форму устанавливается прижимная пластина и осуществляется насыщение образцов в вакуум-камере. Вакуум позволяет удалить из тела образца лишний воздух, тем самым ускорив пропитку.

Опыт изготовления образцов из мелкозернистого бетона на цементе выявил ряд дефектов при распалубке, таких, как сколы углов. Это привело к идее использования быстротвердеющих вяжущих. На первом этапе испытаний был применён гипс, обладающий достаточно короткими сроками схватывания и высокими темпами набора прочности. Применение метода сухого формования позволяет снизить водогипсовое отношение до величины нормальной густоты и тем самым добиться повышения распалубочной прочности без применения дорогостоящих добавок.

В ходе исследований были выявлены параметры рационального применения метода сухого формования блоков на гипсовом вяжущем. Было установлено, что насыщение чистого гипса возможно при толщине насыщаемого изделия не более 40 мм. Изделия толщиной более 40 мм должны изготавливаться из гипсо-песчаной смеси.

Уплотнение гипсо-песчаной смеси осуществлялось путём сочетания вибрирования с временной фиксации пригруза. При отпускании пригруза гипсо-песчаная смесь более эффективно перераспределяется в объёме формы, а дальнейшая её фиксация возвращала высвободившиеся частички обратно в объём образца. При этом оптимальная плотность образца достигается за 20 секунд, после чего процесс уплотнения замедляется.

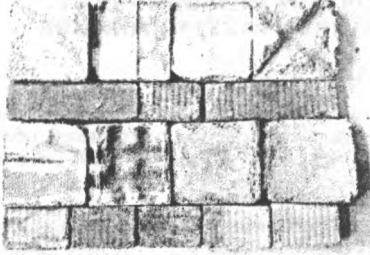
Время насыщения образцов из гипсо-песчаной смеси толщиной 70 мм составило 2 минуты 45 секунд, при этом водогипсовое соотношение составило 0,4, что соответствует нормальной густоте используемого гипса. Экспериментально было установлено, что при формовании гипсово-песчаных образцов из водозатворённой оптимальным является водогипсовое отношение 0,75 для аналогичного гипсопесчаного отношения.

Гипсово-песчаные образцы, полученные способом сухого формования, показали лишь незначительное увеличение прочности на сжатие в двухчасовом возрасте по сравнению с водозатворёнными образцами. При равной влажности увеличение прочности находится в рамках статистической погрешности. Полученные результаты позволяют сказать, что сухое формование не оказывает какого-либо положительного влияния на качества структуры гипсово-песчаной смеси.

Насыщение сухого уплотнённого гипса толщиной 40 мм занимает 5 минут, при этом достигаются более низкие величины водогипсового отношения, в границах 0,25-0,30. Уплотнение гипсовых образцов осуществлялось в течение 10 секунд. Образцы показали увеличение прочности на 16% по сравнению с водозатворённым гипсом. При 5 %-й влажности образцов превышение составило 36%. Прирост прочности при изгибе составил 20%.

Учитывая максимальную толщину насыщаемого слоя гипса была выбрана рациональная область применения метода сухого формования, а именно – производство тонкослойных декоративных изделий. Проведены эксперименты по вертикальному и горизонтальному разделению слоёв внутренними перегородками. Получившиеся таким образом плитки размером 100х100 мм имели равную толщину, определённый разделяющими вкладышами фактурный

оттиск, а также «выветренные» зоны, полученные увеличением содержания песка и последующим его удалением. Ряд фактур, демонстрирующих возможности данной методики формирования представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Гипсово-песчаные декоративные блоки**

Предложенный способ формирования позволяет получать только блоки правильной формы. Для увеличения номенклатуры выпускаемых изделий дальнейшие исследования были направлены на формирование изделий в имеющихся на рынке полиуретановых эластичных формах.

Исследовалась возможность одно- и двустороннего насыщения уплотнённой смеси, а также ускоренное формирование с использованием двудводного гипса в качестве ускорителя твердения. Двустороннее насыщение реализовывалось на перфорированных силиконовых формах. Гипсовая смесь укладывалась в формы, после чего происходило её ручное уплотнение, сверху укладывался лист газетной бумаги, предотвращающий размытие материала и засорение отверстий формы. Далее формы зажимались между двумя перфорированными пластинами и помещались в вакуумную камеру для последующего насыщения. Наилучшая структура изделий достигнута при двустороннем насыщении, позволившем добиться равномерной степени пропитки и избежать характерного для одностороннего метода перенасыщения контактного слоя.

На данный момент все производители гипсовых изделий пользуются добавками-пластификаторами, которые позволяют дольше работать с гипсовой смесью и получать лицевую поверхность высокого качества. Добавление же ускорителей твердения не рекомендуется в связи с ускорением схватывания, что приводит к высокой выбраковке изделий в конце заливки. Однако сухое формирование позволяет нам произвести как качественную укладку смеси, так и применить добавки для ускорения твердения. Добавление 10% молотого двудводного гипса позволило добиться ускорения процесса набора прочности и совершать распалубку сразу после полутораминутного насыщения камней. Использование минеральной добавки молотого двудводного гипса, получаемого из отбракованных изделий, в сочетании с технологией сухого формирования, позволяет сократить затраты на утилизацию бракованных изделий, повысить экологичность производства, а также значительно уменьшить время оборачиваемости форм за счёт ранней распалубки. При использовании технологии сухого формирования данная добавка позволила производить распалубку изделий уже через 5 минут после начала насыщения, в противовес 30-40 минутам твердения изделий с добавкой-пластификатором.

Выявлен ряд серьезных недостатков данного метода. При двустороннем насыщении требуется, чтобы на лицевой поверхности формы находились отверстия для притока воды, через которые вода вымывает гипс и оставляет на лицевой поверхности изделия следы пропитки. Ликвидация данных следов возможна только при укладке разделительного слоя фильтровальной бумаги между формой и гипсом, что затрудняет получение сложных фактур. Одностороннее же насыщение не позволяет достичь равномерности пропитки. Кроме того, гипс весьма требователен к уплотнению. При пропитке смеси в недоуплотнённых участках происходило проседание смеси, образование пузыря, препятствующего дальнейшему насыщению нижележащей зоны. При значительном увеличении времени пропитки и одностороннем насыщении была получена жидкая консистенция смеси, лицевая поверхность не имела дефектных пузырей, а безопасная для изделия распалубка была произведена через 15 минут от начала насыщения, что всё равно значительно быстрее, чем у смесей с пластификатором.

Отрицательной стороной гипса является его непригодность для применения во влажных эксплуатационных средах, в том числе и для наружной отделки. В настоящий момент большинство изделий для фасадной облицовки производится на цементной основе. Однако цемент обладает достаточно долгими сроками схватывания, и даже самое низкое водоцементные соотношения, полученное при сухом формировании, не позволяет осуществлять распалубку цементно-песчаных камней из силиконовых форм.

Поиски решения сложившейся ситуации привели к возможности использования готовой быстротвердеющей смеси на цементной основе типа «гидропломба», являющейся смесью поргланцементного клинкера, химических добавок и мелкого песка. Отличительной особенностью данной смеси является быстрое схватывание (менее 1 минуты после контакта с водой) и высокие темпы набора прочности при сжатии (15 МПа в первые сутки).

Одностороннее насыщение изделий толщиной 1–1,5 см длилось 1 минуту. После раскручивания прижимных пластин блоки обладают достаточной прочностью для их извлечения из силиконовой формы и немедленной окраски. Обратная сторона такой скорости твердения – высокая стоимость смеси, составляющая 2р/кг, что в 13 раз превышает стоимость цемента и в 5 раз стоимость гипса Г-16.

Ускорение темпов набора прочности изделий на основе цемента возможно и без применения добавок. Например цемент, получаемый при помоле клинкера без добавления гипса, называется «быстрыак» и схватывается сразу при контакте с водой, что стало серьёзным препятствием для его широкого распространения в строительной сфере. Однако такие малые сроки схватывания в сочетании с быстрыми темпами набора прочности в начальный период времени являются оптимальными для технологии сухого формования.

В настоящий момент осуществляются эксперименты по поиску оптимального быстротвердеющего состава бетона на «быстрыак». Для получения быстротвердеющего цемента использовался кричевский клинкер. Помол осуществлялся в шаровых мельницах до достижения удельной поверхности 3000–3300 см<sup>2</sup>/г, что соответствует четырём часам. Рассматривается возможность интенсификации процесса при помощи совместного помола клинкера с песком, а также минеральными добавками.

Опыты по формованию образцов-балочек показали, что предельная толщина одностороннего насыщения цемента «быстрыак» составляет не более 20 мм. При этом насыщенный слой обладает высокой водонепроницаемостью, и по истечении 14 суток хранения балочек в воде внутреннее ядро образца осталось ненасыщенным. В торцах балочек насыщенная зона составляла от 3 до 4 см, что не оставляет возможности для определения прочностных характеристик на образцах балочек.

Для определения прочностных характеристик были изготовлены образцы-кубы с ребром 20 мм. Уплотнение сухой смеси осуществлялось вручную, подвод воды двусторонний. Водоцементное соотношение составило 0,26, немедленно осуществлялась распушка и помещение образцов в воду, и они хранились при температуре 20±2°C. Образцы испытывались в возрасте 5 часов, 1, 3, 7, 14 и 28 суток водного твердения. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Прочность образцов при сжатии

Возраст образцов, сут.	Прочность образцов при сжатии, МПа
0,21 (5 часов)	2,15
1	17,2
3	49,7
7	69,4
14	95,9
28	109,2

В возрасте 3 суток водного твердения образцы обладают достаточной прочностью для покраски и отпуска покупателям. Полученная прочность значительно превышает активность кричевского цемента, получаемого при помоле клинкера и гипса, составляющую по разным данным от 60 до 70 МПа в возрасте 28 суток. Это создаёт предпосылки для серьёзного повышения прочности бетонных и железобетонных конструкций при использовании в качестве вяжущего быстротвердеющего цемента. Помимо этого, быстротвердеющий цемент показал незначительное увеличение прочности.

Было произведено формование декоративных плиток в силиконовых формах. Уплотнение смеси на данный момент осуществляется вручную. Насыщение изделий толщиной 10–15 мм длится 55 секунд, распушка осуществляется непосредственно после извлечения формы из вакуумного ящика. Сразу после распушки образцы помещаются в воду или в пигментирующий состав на водной основе.

Серия формовок цементных камней помогла выделить особенности насыщения и установить гарантированную толщину насыщаемых изделий, составившую 15 мм. Это ограничивает номенклатуру выпускаемых изделий. Введение в тело изделия заполнителя позволит увеличить глубину насыщения материала и тем самым расширить номенклатуру выпускаемых изделий. Полученные образцы представлены на рисунке 2.

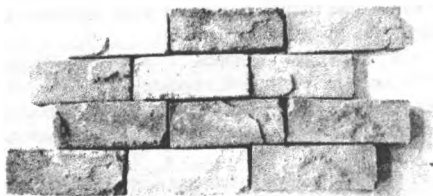


Рисунок 2 – Декоративные блоки из быстротвердеющего цемента

Основной проблемой сухих смесей является их расслаивание при уплотнении, в результате которого образуются дефекты внешнего вида в виде запесоченных выкрашивающихся участков, снижающих качество фактуры. Для ликвидации данного эффекта было предложено увеличение содержания вяжущего в составе смеси. Для улучшения экономических характеристик было предложено замещение части вяжущего молотым песком, а также песком фракции менее 0,32 мм, в дальнейшем обозначается как  $P_{0,32}$ . В связи с тем, что крупные фракции песка также способствуют выкрашиванию смеси, помимо строительного песка с модулем крупности 2,6 (в таблице обозначается как П) применялся песок с максимальной крупностью зёрен 2,5 мм (в таблице обозначается как  $P_{2,5}$ ) и 1,25 мм (в таблице обозначается как  $P_{1,25}$ ).

Оценка качества смеси проводилась при помощи прозрачных цилиндров из пластика. Сухая смесь уплотнялась, после чего осуществлялось её насыщение водой. Высота водяного столба составляла 50 мм и поддерживалась на постоянном уровне. В качестве показателей качества смеси показателям были выбраны время насыщения при атмосферном давлении первых двух сантиметров смеси, время полного насыщения, а также качество отформованного столбика смеси после распулбки. Полученные данные для разных составов отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние зернового состава смеси на качество образцов

№	Вид состава	Массовое соотношение долей	Время насыщения при атмосферном давлении, мин.		Качество образца
			Слой 2 см	Слой 5 см	
1	2	3	4	5	6
1	Ц	1	2,0	-	Глянцевая поверхность
2	Ц:М	1:1	2,0	20	Глянцевая поверхность
3	Ц:М:П	1:1:1	1,5	10	Гладкая поверхность, следы крупных камней
4	Ц:М:П	1:1:2	1,0	5	Гладкая поверхность, следы крупных камней
5	Ц:П	1:3	0,2	2	Пористая поверхность, выкрашивание крупных камней
6	Ц:М: $P_{1,25}$	1:1:1	2,0	18	Гладкая поверхность
7	Ц:М: $P_{1,25}$	1:1:2	2,0	16	Гладкая поверхность
8	Ц:М: $P_{2,5}$	1:1:1	1,9	19	Гладкая поверхность
9	Ц:М: $P_{2,5}$	1:1:2	1,9	17	Гладкая поверхность
10	Ц: $P_{0,32}$ : $P_{1,25}$	1:1:1	2,0	18	Гладкая поверхность
11	Ц: $P_{0,32}$ : $P_{1,25}$	1:1:2	1,9	16	Гладкая поверхность
12	Ц: $P_{0,32}$ : $P_{2,5}$	1:1:1	1,9	18	Гладкая поверхность, следы крупных камней
13	Ц: $P_{0,32}$ : $P_{2,5}$	1:1:2	1,8	16	Гладкая поверхность, следы крупных камней
14	Ц: $P_{0,32}$ :П	1:1:1	1,2	8	Гладкая поверхность, следы крупных камней
15	Ц: $P_{0,32}$ :П	1:1:2	0,7	3	Шероховатая поверхность, выкрашивание крупных камней

Формовка декоративных камней из составов 1 и 2 показала, что повышенные темпы схватывания смеси могут негативно влиять на качество получаемой продукции. Насыщение первых 5 миллиметров смеси длится 15 секунд, после чего скорость насыщения стремительно замедляется. Пока происходит насыщение оставшейся части образца, протекающие в насыщенной зоне процессы гидратации цемента приводят к возникновению усадочных деформаций. В результате чего затрудняется связь между различными зонами цементного камня. Особенно данный эффект был замечен на составе 2, где большое количество молотого песка ещё более ослабляет внутренние связи. Для уменьшения усадки смеси и улучшения связи между насыщаемыми слоями в состав необходимо вносить более крупный песок.

Анализ полученных данных позволил установить, что экономичные составы под номерами 7 и 11 позволяют получать гладкую поверхность, повторяющую заданную формой фактуру. Также полученная поверхность не имеет внешних следов крупных камней, тем самым позволяет равномерное прокрашивание изделий, что является оптимальным для создания декоративных камней. Составы под номерами 4 и 13 также позволяют снизить расход вяжущего, но непригодны для изготовления декоративных элементов. Однако, хорошая проницаемость таких смесей позволяет рассматривать их как перспективных для изготовления иных типов изделий.

Декоративные блоки, изготовленные методом сухого формования, имели расплубочную прочность через 5 минут после начала насыщения смеси. Теоретические расчёты показывают, что ускорение процесса уплотнения смеси при помощи метода вдавливания штампа позволит сократить время между двумя формовками до десяти минут, что эквивалентно шести формовкам в час или 48-ми формовкам за рабочую смену, что в 48 раз сокращает капитальные затраты на приобретение форм, максимальный оборот которых составляет на данный момент одну заливку в сутки. Использование добавок-ускорителей набора прочности в сочетании с микроармированием позволяет ещё сильнее сократить период формовки и осуществлять немедленную расплубку. Также в данный момент рассматривается возможность автоматизации процесса формовки, что позволит снизить трудоёмкость и влияние человеческого фактора на качество изделий. Также исключение из состава цемента гипса как замедлителя твердения положительно сказывается на стоимости вяжущего.

Чтобы судить о возможности применения технологии сухого формования для создания облицовочных плит для наружной отделки зданий, на данный момент ведутся испытания плитки составов 1, 4 и 11 на морозостойкость.

## **ВЫВОДЫ**

1. В ходе проведённых исследований была найдена одна из областей рационального применения метода сухого формования. 2. Создание тонкослойных декоративных камней методом одностороннего насыщения позволяет ускорить темпы работ, добиться большей производительности и выхода материала из одной формы. 3. Отсутствие добавки замедлителя твердения в цементе значительно повышает как темпы набора прочности, так и саму прочность цемента. 4. Помимо совершенствования вышеизложенного метода, ведётся поиск других быстротвердеющих строительных материалов, формирование изделий из которых может быть упрощено и ускорено методом сухого формования. 5. Выделено направление организации безотходного производства гипсовых изделий методом сухого формования.

## **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Батяновский, Э.И. Особо плотный бетон сухого формования. – Минск: НПООО «Стринко», 2002. – 224 с.

2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): справочник / Ассоциация строительных вузов; под ред. А.В. Ферронской; сост. В.Ф. Коровяков [и др.]. – Москва: Изд-во АСВ, 2004.

3. Минеральные вяжущие вещества: учеб. / А.В. Волженский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1986. – 464 с. : ил.; 21 см. – Библиогр.: с. 459-460 (45 назв.). – Предм. указ.: с. 461-462.