

Д. т. н. **В. Н. Соков** (✉), к. т. н. **С. Д. Сокова**

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

УДК 666.792.22:544.022.535]:666.76-127

ЯЧЕИСТЫЙ ВИБРОПНЕВМОУПЛОТНЕННЫЙ КОРУНД. Часть 3. Выбор прессующего усилия и порядка его приложения при виброуплотнении глиноземо-пенополистирольных масс*

При вибропневмоуплотнении масса претерпевает значительные изменения. Отмечаются три ее основных состояния: исходное, промежуточное и состояние разжижения. Формование проходит наиболее успешно, когда условия уплотнения согласовываются с новым физическим состоянием массы. Для быстрого и качественного уплотнения глиноземо-пенополистирольной массы рекомендован порядок взаимодействия между статической составляющей уплотняющего воздействия (пневмопрессования) и динамической составляющей (вибрации). Для снижения усадки при обжиге, расхода электроэнергии при помоле и себестоимости продукции использовали необожженный немолотый (товарный) технический глинозем. Переход от технологии литья к вибропневмоуплотнению позволит снизить себестоимость 1 м³ изделий на 40 %.

Ключевые слова: глиноземо-пенополистирольные массы, вибропневмоуплотнение, пневмопригруз, пенополистирол, перепрессовка сырца, сводообразование, пристенный эффект, «пробка» в сырце.

ВВЕДЕНИЕ

Успешное формование изделий из легких (250–300 кг/м³) и жестких глиноземо-пенополистирольных смесей возможно лишь при наличии пригруза, поэтому выбор его величины и режима уплотнения является важной задачей. Необходимо учитывать отличительную особенность глиноземо-пенополистирольных смесей: зерна пенополистирола, занимающие более 80 % объема смеси, являются легкодеформируемым материалом.

Для формования глиноземо-пенополистирольной массы применен наиболее рациональный способ пневмоуплотнения, позволяющий непрерывно варьировать давление на массу в широких пределах по заданному графику и не требующий тяжелого прессового оборудования. В процессе формования глиноземо-

пенополистирольная масса проходит несколько этапов уплотнения, претерпевая значительные изменения. Наиболее успешно формование протекает в том случае, когда условия уплотнения на каждом этапе формования согласовываются с новым физическим состоянием массы.

Изменение состояния массы в процессе уплотнения можно разделить на три основных этапа: исходное состояние, промежуточное и состояние разжижения. В исходном состоянии жесткая глиноземо-пенополистирольная масса подобна сыпучему телу, обладающему некоторым сцеплением. Такая масса засыпается в форму в объеме, в 1,4–2,5 раза превышающем объем уплотненного сырца (в зависимости от заданной средней плотности готового изделия); при этом зерна пенополистирола и глинозема занимают случайное положение. Непродолжительная вибрация исходной массы в течение 5–10 с приводит к быстрому сближению зерен пенополистирола между собой и уменьшению пустотности массы.

Первый этап формования должен производиться без пригруза, так как самое незначительное давление приводит к увеличению сил трения и затрудняет протекание процесса предварительной упаковки зерен пенополистирола. На втором этапе формования на

* Части 1 и 2 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 8 и 9 за 2021 г.



В. Н. Соков
E-mail: sersok_07@mail.ru

массу необходимо воздействовать одновременно вибрацией и пригрузом, составляющим 0,35–0,5 максимального прессующего усилия. Основное назначение пригруза заключается в скорейшем переходе массы из промежуточного состояния в состояние разжижения, а также в устранении разрыхления верхнего слоя массы. Под состоянием разжижения понимается такое состояние массы, при котором между зернами выгорающей добавки (в зонах их контакта) появляется некоторая смазка тиксотропно-разжиженной консистенции основного материала, и масса способна свободно изменять свою форму и дополнительно уплотняться за счет упорядочения зерен выгорающей добавки. Заключительный этап формования изделий необходимо проводить при максимальном прессующем усилии, способствующем быстрому разжижению глиноземистого теста и его уплотнению.

Такой порядок взаимодействия между статической составляющей уплотняющего воздействия (прессование) и динамической составляющей (вибрации) позволит наиболее быстро и качественно уплотнить глиноземо-пенополистирольную массу.

Для сравнения рассмотрим еще два возможных случая приложения прессующего усилия.

1. На уложенную в форму массу вначале действует прессующее усилие, а затем включается вибрация. В этом случае получаются явно выраженная перепрессовка сырца и раскрытие трещин после обжига. Это объясняется следующим. Перемещение твердых компонентов смеси происходит до тех пор, пока внешние силы прессования не уравниваются возрастающими силами внутреннего трения, препятствующими этому перемещению. При этом частицы массы занимают как бы наиболее устойчивое положение внутри нее, причем размещение частиц в этом установившемся равновесии может быть далеко не плотным и

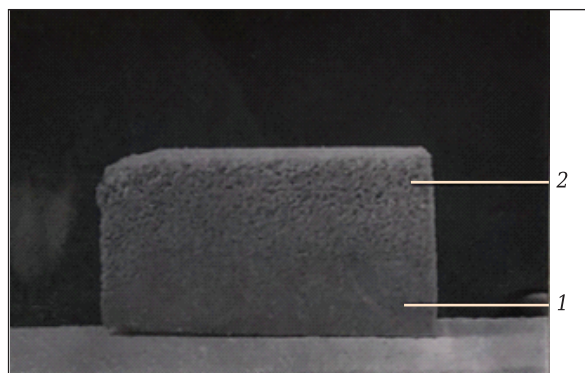


Рис. 1. Разноплотность отформованного сырца, полученная при одновременном воздействии на массу прессующего усилия и вибрации: 1 — «пробка»; 2 — зона недоуплотнения

компактным, а сам процесс уплотнения массы далеко не завершенным (явление сводообразования). При дальнейшем давлении на массу частичное уплотнение происходит только за счет деформации выгорающей добавки. Повышение давления, соответственно, увеличивает силы внутреннего трения в массе и трения о стенки формы. Все это обуславливает неравномерность уплотнения изделия по его высоте из-за значительного влияния пристенного эффекта. Если теперь на зажатую массу подействовать вибрацией, то свободного перемещения колеблющихся частиц смеси из-за гашения вибрации не происходит. В результате отдозированная масса под усилием прессования занимает рассчитанный объем, но не за счет плотной упаковки частиц массы, а в результате легко деформирующейся под нагрузкой выгорающей добавки (пенополистирола), которая после снятия нагрузки восстанавливает свой первоначальный объем и форму, нарушая сплошность структуры. Сплошность структуры ухудшает также зажатый между частицами воздух. При таком приложении прессующего усилия наряду с перепрессовкой сырца получаются изделия, разноплотные по высоте (рис. 1).

Очевидно, в результате прессования и последующего включения вибрации в нижней части сырца происходят миграция и уплотнение частиц глинозема («пробка»), а в верхней части недоуплотнение массы.

2. На уложенную в форму массу одновременно воздействуют прессующее усилие и вибрация. В этом случае условия для уплотнения массы более благоприятны, чем в предыдущем случае. Однако и здесь могут возникнуть условия для сводообразования. Все дело в том, с какой скоростью будет производиться нагружение массы. Если рост прессующего усилия будет достаточно медленным, а интенсивность вибрации значительной, то можно ожидать равномерного по всей высоте массы уплотнения. В случае мгновенного приложения полного прессующего усилия создадутся условия, подобные тем, которые были рассмотрены в предыдущем случае.

Предварительная вибрация без прессования приводит к полному разрушению случайно сложившейся при перемешивании структуры массы, а затем к созданию новой, более плотной и устойчивой структуры, обуславливающей получение наиболее монолитного строения стенок пор в готовом изделии. В процессе виброуплотнения массы происходит сближение зерен керамического порошка, обволакивающего выгорающую добавку, а также зерен пенополистирола. Одновременно вытесняются заклинившиеся пузырьки воздуха. Однако предварительное кратковременное вибрирование должно ограничиваться во времени, иначе произойдет некоторое

разрыхление массы (особенно в верхней части), а также просачивание в нее воздуха. Это явление объясняется тем, что, поскольку насыпная плотность выгорающей добавки меньше плотности керамического компонента, зерна пенополистирола всплывают.

Исследовали влияние прессующего усилия и продолжительности вибрирования на уплотняемость массы. Уменьшение продолжительности вибрирования приводило к недоуплотнению сырца (рис. 2).

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о предпочтительности применения предварительной кратковременной вибрации свободно уложенной массы. При этом достигается хорошая и равномерная уплотняемость глиноземо-пенополистирольной массы, обеспечивающая высокую прочность сырца и обожженных образцов.

Более низкую плотность образцов, полученную в первых двух случаях, можно объяснить присутствием большего количества пор, образованных защемленным воздухом и неправильной укладкой зерен пенополистирола (сводообразованием). Низкая прочность сырца и обожженных образцов, а также большая разница в плотности по высоте этих образцов не позволяют считать эти разновидности вибропрессования подходящими для формования изделий из глиноземо-пенополистирольных масс. Таким образом, установлено следующее:

1. При формовании изделий из жесткой и легкой глиноземо-пенополистирольной массы прессование должно применяться после кратковременной вибрации.

2. Оптимальным давлением на массу от пригруза следует считать 0,025 МПа.

Для повышения усадки изделий при обжиге, расхода электроэнергии при помоле и, как следствие, снижения себестоимости продукции исследовали возможность использования в качестве сырья необожженный немолотый (товарный) технический глинозем. Установлено, что метод вибропрессования позволил получить сырец из товарного глинозема с ровными и четкими гранями, однако при транспортировке и укладке на обжиг сырец разрушался из-за низкой прочности. Обжиг таких заготовок даже при высоких температурах не позволял получить удовлетворительное спекание. Для увеличения прочности сформованного сырца и обожженных изделий часть товарного глинозема заменили на молотый необожженный. Молотый глинозем вводили в количестве 10–80 % через каждые 10 %. Результаты этой серии опытов показали, что с увеличением в массе доли молотого глинозема средняя плотность, прочность и линейная усадка изделий увеличиваются. Содержание в шихте 30–40 % молотого глинозема является оптимальным.



Рис. 2. Сырец, полученный при недостаточной продолжительности виброуплотнения

На прочность легковесных материалов при прочих равных условиях наиболее существенно влияет форма пор. Пористость изделий, изготовленных с применением в качестве выгорающей добавки зерен пенополистирола, имеет ячеистую структуру. Следовательно, стенки пор материала приобретают сферическую форму, способствующую увеличению сопротивления материала сжимающим усилиям. Стенки пор изделий, полученных с применением традиционных выгорающих добавок (опилки, угля, кокса и др.), имея неправильную форму, способствуют концентрации напряжений в стенках пор и, следовательно, снижению прочности изделий. Еще одно из преимуществ новой выгорающей добавки — возможность регулировать в широких пределах гранулометрический состав ее зерен, благодаря чему размер



Рис. 3. Корундовые теплоизоляционные изделия, полученные методом выгорающих добавок, при разном способе формования: 1 — изделие ячеистое вибропневмоуплотненное (на пенополистироле) с четкими ребрами и гранями, не требующее обрезки и шлифования (700 кг/м^3); 2 — изделие литое (на опилках), требующее обрезки и шлифования (1300 кг/м^3)

пор в изделиях можно направленно изменять в широких пределах (от 0,1 до 5–10 мм). Это имеет большое значение для получения изделий с заданными размерами пор, их структурой и назначением (например, теплоизоляционные изделия или фильтры). Свойства полученных изделий (рис. 3): средняя плотность 700 кг/м³, предел прочности при сжатии 5,5 МПа, теплопроводность при температуре на горячей поверхности 600 °С 0,55 Вт/(м·°С).

Переход от технологии литья к вибропнеумоуплотнению позволяет снизить материалоемкость изделий (на 1 м³ изделий экономится

до 300 кг ценного огнеупорного сырья); снизить срок сушки сырца (без форм на поддонах); сократить парк металлических форм; исключить обрезку и шлифование изделий (отходы достигают 30 %); улучшить экологическую обстановку на предприятии. Реализация результатов исследований и рекомендаций, приведенных в настоящей работе, позволит снизить себестоимость 1 м³ изделий в целом на 40 %. ■

Получено 20.05.21

© В. Н. Соков, С. Д. Сокова, 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Тесна 2022 — 27-я международная выставка технологий и оборудования для керамической промышленности

27–30 сентября 2022 г.

г. Римини, Италия

Tecnargilla будет проходить в выставочном центре Римини в соответствии с традицией, которая существовала ранее. Принимая во внимание текущую международную ситуацию, единственный способ обеспечить высокий уровень ведущей мировой выставкой керамических технологий — это поддержание ее обычного двухгодичного формата. По этой причине было принято решение не изменять двухгодичную периодичность выставки, которая традиционно проводится в Римини в четные годы. Tecnargilla, организованная Итальянской выставочной группой в сотрудничестве с Asimac, меняет свое название на **Тесна**.



Секторы выставки:

- Сырье и массы, химические изделия и добавки
- Добыча сырья и подготовка, взвешивание и дозирование
- Прессование, формование и литье
- Сушка, обжиг и тепловые системы
- Сортировка, упаковка и паллетизация
- Качество и управление производственным процессом
- Обработка поверхности, инструменты для окончательной обработки и принадлежности
- Лабораторное и измерительное оборудование
- Приспособления для применения сжатого воздуха, электричества, электронной и нагревательной системы
- **Огнеупорные материалы, ролики, печная фурнитура и плиты**
- Инструменты, запасные части и принадлежности
- Разное: проектирование, консультационные услуги издательства, торговые ассоциации, разные организации и т. д.

<https://en.tecnaexpo.com/>