

УДК 666.792.22:544.022.535]:666.76-127

ЯЧЕИСТЫЙ ВИБРОПНЕВМОУПЛОТНЕННЫЙ КОРУНД. Часть 2. Особенности физико-механических процессов вибрационной обработки глиноземо-пенополистирольных масс*

Вибрирование глиноземо-пенополистирольной смеси зависит от скорости распространения в ней упругих волн. С уменьшением средней плотности смеси скорость и длина волны уменьшаются, а степень поглощения колебаний увеличивается. Для эффективного уплотнения таких смесей определены параметры вибрирования: амплитуда, частота колебаний и продолжительность обработки. Для соблюдения постоянства размеров корундовых легковесных изделий, исключая их обрезку и шлифование, необходимо контролировать насыпную массу смеси по разработанным тарировочным графикам. Режим обжига сырца должен осуществляться с учетом динамики процесса пиролиза выгорающей добавки, не допускающего деструкцию сырца под воздействием продуктов разложения или горения.

Ключевые слова: глиноземо-пенополистирольные массы, вибрационная обработка, упругие волны, режим вибрации, тарировочный график, недовспененный пенополистирол, степень вспенивания, пиролиз.

ВВЕДЕНИЕ

Глиноземо-пенополистирольная смесь представляет собой систему из выгорающей добавки (пенополистирола), связанную в одно целое глиноземистым тестом. Для приведения смеси в движение необходимо нарушить внутреннюю взаимосвязь системы путем приложения усилия сдвига. При сдвиге вначале преодолевается сопротивление структуры глиноземистого теста, что приводит к уменьшению его взвешивающей способности. Зерна выгорающей добавки смещаются и воспринимают на себя усилия сдвига при этом тем полнее, чем больше нарушается структура глиноземистого теста.

Благодаря присутствию структурных связей глиноземистое тесто отличается от обычных жидкостей высокой несущей (взвешивающей)

способностью, зависящей в основном от водотвердого соотношения. Чем прочнее структура глиноземистого теста, тем больше его взвешивающая способность и, следовательно, тем труднее происходит осаждение выгорающей добавки в глиноземо-пенополистирольной смеси. Чтобы зерно пенополистирола могло погружаться в покоящееся глиноземистое тесто, необходимо, чтобы его масса была больше сопротивления сдвигу. Применяемые фракции пенополистирола вообще не могут погружаться в покоящееся глиноземистое тесто. Следовательно, для получения плотного сырца в жесткой смеси необходимо уменьшить взвешивающую способность глиноземистого теста. Если подвергнуть смесь вибрации, то частицам системы будут сообщены ускорения, меняющиеся по величине и направлению. Эти ускорения будут суммироваться с ускорением силы тяжести.

Результаты проведенных опытов свидетельствуют, что опустившаяся вниз частица при вибрировании глиноземистого теста не всплывает обратно после прекращения вибрации. Это указывает на то, что результирующие ускорения, направленные вниз, выше, чем компоненты ускорения, направленные вверх, и, следовательно, можно принять во внимание только величину максимального ускорения, направленную вниз. Получается, что действие вибрации на

* Часть 1 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 8 за 2021 г.



В. Н. Соков
E-mail: sersok_07@mail.ru

уменьшение взвешивающей способности глиноземистого теста может быть приравнено к увеличению массы погружающегося тела за счет ускорения силы тяжести.

Пенополистирол, погруженный в глиноземистое тесто в процессе вибрации на некоторую глубину, остается в этом положении и после прекращения механического воздействия, так как в глиноземистом тесте вновь восстанавливаются структурные связи — частицы не погружаются и не всплывают. Для приведения пенополистирола к наиболее тесному взаиморасположению с глиноземистым тестом необходимо, чтобы вибрирование глиноземо-пенополистирольной смеси производилось с определенной продолжительностью и с пригрузом. Поскольку скорость распространения упругих волн зависит от упругих постоянных и плотности смеси, ясно, что с уменьшением плотности смеси скорость и длина волны уменьшаются, а степень поглощения колебаний увеличивается, т. е. возрастает коэффициент затухания колебаний. Для эффективного уплотнения глиноземо-пенополистирольных масс заданной консистенции необходим определенный режим вибрации (интенсивность, продолжительность). Если вибрация недостаточно интенсивна, то смесь не приобретает свойств жидкости и ее уплотнение будет недостаточным.

Экспериментальная часть исследований заключалась в выборе параметров виброформования и исходной формовочной влажности массы. При определении оптимальных параметров виброуплотнения рассматривали следующие независимые переменные: амплитуду и частоту вибрирования, влажность формовочной массы. За параметр оптимизации принимали прочность сырца. Все остальные параметры: состав массы, режим перемешивания, удельная нагрузка на массу — оставались постоянными. Установлены параметры вибрирования глиноземо-пенополистирольных масс: амплитуда колебаний вибрационного механизма 0,85–1,0 мм, частота 3000 колебаний/мин, продолжительность вибрационной обработки 60–70 с.

Одной из задач предлагаемой технологии является ликвидация обрезки и шлифования изделий после их обжига. Для этого необходимо соблюдение размеров изделий по определенному классу точности. Окончательные размеры образцов выявляются в обжиге. Вместе с тем они могут быть лишь тогда выдержаны по заданному чертежу, если будут соблюдены режимы не только обжига, но и дообжиговой технологии. Именно составом массы, ее однородностью и методами формования полуфабриката определяется постоянство размеров готового изделия.

Для соблюдения постоянства размеров корундовых легковесных изделий необходимо не-

прерывно контролировать главные параметры производства: насыпную массу глиноземо-пенополистирольной смеси и среднюю плотность прессовки. После определения насыпной плотности глиноземо-пенополистирольной смеси устанавливали плотность сформованного сырца по следующему уравнению:

$$\gamma_c = \gamma_n \frac{H}{h}, \quad (1)$$

где γ_c и γ_n — соответственно плотность сырца и насыпная плотность смеси; H — высота засыпки смеси в форму; h — высота сформованного сырца.

Для установления пригодности уравнения (1) измеряли плотность сырца и проводили расчет по этому уравнению. Влажность масс оставалась постоянной и составляла 20 %. Изменение плотности сырца в зависимости от насыпной плотности смеси показано на рис. 1 прямыми линиями, которые математически выражаются формулой

$$\gamma_c = k \gamma_n, \quad (2)$$

где γ_c — средняя плотность сырца, кг/м³; γ_n — насыпная плотность смеси, кг/м³; $k = \text{tg}(\gamma_c)$; γ_c — угол наклона прямой, который можно определить из уравнения (1):

$$\text{tg}(\gamma_c) = \frac{H}{h}.$$

В практической работе может возникнуть необходимость изменения высоты сформованного сырца. В этом случае корректировку тарировочного графика можно проводить по выражениям (1) и (2). Между средней плотностью прессовок и их усадкой существует линейная зависимость, что можно использовать для предварительного отбора образцов, годных для обжига.

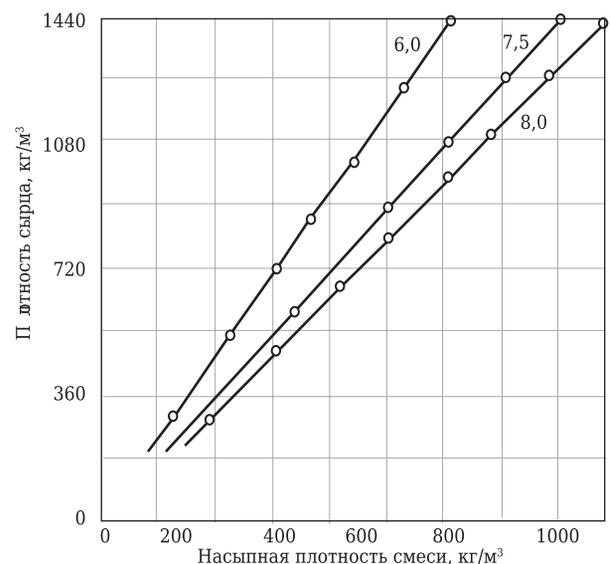


Рис. 1. Изменение плотности сырца в зависимости от плотности насыпной смеси; цифры на кривых — высота сырца, см

На такую возможность указывает следующий пример. После предварительной дозировки по объему из глиноземо-пенополистирольной смеси были сформованы образцы в виде кирпичей нормальных размеров и определены их геометрические размеры и средняя плотность. Затем образцы были обожжены при 1500 °С и снова измерены их размеры. Линейная усадка образцов в зависимости от средней плотности сырца показана на рис. 2. Видно, что с точки зрения допустимых отклонений по размерам годными можно считать сырые прессовки средней плотностью от 320 до 380 кг/м³ для изделий средней плотностью 600 кг/м³, от 420 до 450 кг/м³ для изделий средней плотностью 800 кг/м³ и от 500 до 515 кг/м³ для изделий средней плотностью 1000 кг/м³. Таким образом, обобщая результаты проведенных исследований, можно констатировать, что для контроля постоянства средней плотности сырца и обожженного изделия (для устранения отклонения по размерам изделий) достаточно использовать показатели насыпной плотности смеси и тарировочные графики.

Известно, что недовспененный пенополистирол при повторном вспенивании развивает усилия 0,2–0,4 МПа, поэтому в сформованном сырце в процессе сушки такой пенополистирол будет вызывать внутренние напряжения, способные ослабить или даже разрушить сплошность структуры сырца. В этой связи изучено влияние степени вспенивания пенополистирола на прочность и трещиностойкость легковесных изделий. Судя по результатам предыдущих исследований, при получении корундовых легковесных изделий из глиноземо-пенополистирольных масс на качество сырца и готовых изделий влияет повторное вспенивание пенополистирола, происходящее в процессе сушки сырца. Для устранения этого явления необходимо обрабатывать пенополистирол теплоносителем до полного вспенивания. Длительность полного вспенивания для каждой партии полистирола рекомендуется определять по изменению коэф-

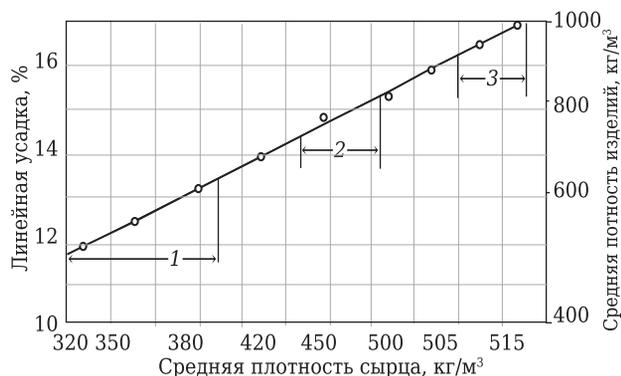


Рис. 2. Изменение линейной усадки и средней плотности обожженных изделий в зависимости от плотности сырца; 1–3 — допустимые разбросы значений плотности сырца в соответствии с допусками по размерам

фициента вспенивания или средней насыпной плотности гранул пенополистирола. Длительность обработки бисерного полистирола фракции 0,5 мм (в основном применяемого в исследованиях) составляет 60 мин в водяной бане и 5 мин паром.

Применительно к составу полуфабриката (сырца) обжиг может быть разделен на две стадии. В первой стадии процесса (термообработка) происходит пиролиз органических компонентов, во второй стадии — собственно обжиг изделия, завершающийся высокотемпературным спеканием огнеупорного порошка. Продолжительность первой стадии при высоком содержании пенополистирола в шихте в значительной степени определяет общую длительность цикла термообработки, поэтому изучение механизма выгорания пенополистирола в сырце и влияния разных факторов на скорость этого процесса имеет большое значение для разработки рационального режима обжига изделий. При термообработке обеспечивается равномерное и полное без остатка удаление органических комплексов сырца (пенополистирола и с. с. б.), причем их удаление проходит задолго до того, как начинается собственно обжиг минерального сырья.

Сложный в химическом отношении процесс разложения органического комплекса в обжигаемом полуфабрикате представляет интерес и в другом отношении, а именно: в каких температурных интервалах происходит наиболее интенсивное разложение органического вещества и какова количественная зависимость удаления продуктов разложения от скорости разогрева изделий в обжиге? Зольность пенополистирола практически равна нулю. При 400 °С и выше он разлагается с образованием паров мономера (стирола), который, взаимодействуя с кислородом воздуха или дымовых газов, образует углекислый газ и воду. Скорость горения полистирола весьма высока и составляет в среднем 40 кг/(м²·ч). Учитывая, что средняя плотность зерен пенополистирола невысока (всего 30–60 кг/м³), а их удельная поверхность составляет 60–80 см²/г, можно ожидать, что выжигание органических комплексов из изделий не вызовет особых трудностей.

Пиролитическое разложение органических веществ в полуфабрикате протекает в крайне затруднительных условиях. Равномерно распределенное по всему объему массы органическое вещество в полуфабрикате образует своеобразный скелет. В процессе обжига горячими газами омывается только поверхность изделия, а внутренние структурные элементы, отделенные от поверхности слоем разной толщины, подвергаются только термическому воздействию. Иначе говоря, происходит процесс сухой перегонки разложения органических соединений сложного состава на более простые вещества с высово-

бождением элементарного углерода, равномерно распределяющегося в виде мельчайших частиц кокса по всей массе изделия.

Не поддающаяся непосредственному замеру упругость газов, развиваемая в полуфабрикате при разложении органических веществ, при обжиге играет решающую роль на этой стадии процесса. Как известно, для одного и того же вещества упругость газа зависит от температуры, поэтому нарушение заданной кривой разогрева изделий при обжиге, малозначашее для других интервалов температур, может оказаться опасным на этой стадии обжига.

Для выяснения условий разложения и удаления органического компонента исследовали изменение массы полуфабриката в зависимости от температуры и скорости его разогрева на первой стадии обжига. Улетучивание остатков пенополистирола и с. с. б. из сырца заканчивается при 420 °С. В интервале 250–320 °С кривая потерь при прокаливании имеет максимум, который соответствует определенным фракциям пенополистирола. С изменением скорости разогрева сырца при термообработке кривая смещается в область максимального улетучивания органических веществ, но ее характер при этом не изменяется. Отсюда следует, что скорость разогрева сырца должна быть замедлена на тех участках кривой, на которых разложение и улетучивание органического вещества протекает наиболее интенсивно.

Для оптимального режима термообработки скорость разогрева сырца подбирается таким образом, чтобы процессы образования газобразных продуктов разложения органических соединений и диффузии газов через обжигаемые изделия проходили в спокойном режиме. Минимальная общая продолжительность термообработки сырца может быть достигнута,

если нагревать его с максимально допустимой скоростью до температуры, соответствующей наибольшей скорости выгорания добавки, а затем сделать выдержку при этой температуре до полного удаления летучих.

Для определения степени влияния количества пенополистирола в сырце на режим термообработки и выход годных образцов были проведены следующие исследования. Образцы с содержанием пенополистирола 80 и 50 об. %, что соответствовало средней плотности высушенного сырца 650 и 1200 кг/м³, термообработывали при 420 °С. Скорость разогрева образцов составляла от 10 до 110 °С/ч. Установлено, что при средней плотности сырца 1200 кг/м³ может быть рекомендован жесткий режим разогрева на первой стадии обжига, а с уменьшением средней плотности сырца скорость подъема температуры в печи следует снижать.

Таким образом, изучение условий разложения органических веществ при обжиге изделий позволяет сделать следующие выводы:

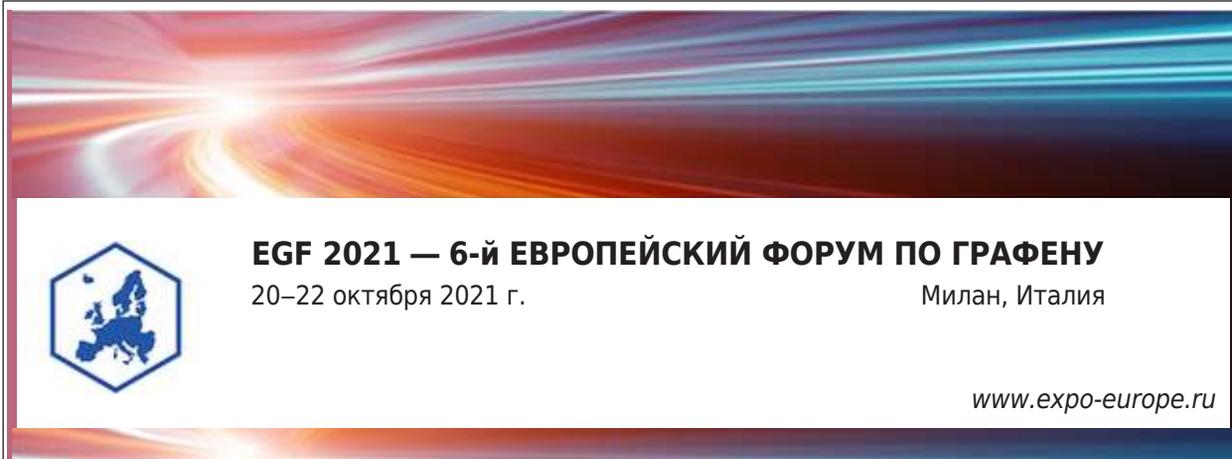
1. При разогреве сырца в обжиге разложение и удаление органического компонента происходит неравномерно, т. е. в отдельных температурных интервалах образование газобразных продуктов пиролиза происходит более интенсивно.

2. Полное удаление органического компонента происходит при 420 °С, т. е. задолго до полного спекания минерального компонента.

3. Режимы обжига сырца должны быть рекомендованы с учетом динамики процесса пиролиза органического компонента, чтобы не допустить деструкции сырца под воздействием бурно выделяющейся газовой фазы (продуктов разложения или горения). ■

Получено 20.05.21
© В. Н. Соков, 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



EGF 2021 — 6-й ЕВРОПЕЙСКИЙ ФОРУМ ПО ГРАФЕНУ
20–22 октября 2021 г. Милан, Италия

www.expo-europe.ru