

В.А. Иванов¹, Д.С. Сидоренко², К.В. Рогожин¹, Г.С. Ишутов¹

¹Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» (СПбГЭТУ)

²ООО «Синергис»

Исследование процесса и разработка установки для микроволнового вспенивания гидрослюд

Представлены результаты исследований взаимодействия микроволнового излучения с минералами группы гидрослюд. Рассмотрены конструкция и параметры опытной установки, реализующей технологию микроволнового вспенивания вермикулита. Проанализированы основные энергетические и экологические преимущества такой технологии, заключающиеся в снижении энергозатрат, в уменьшении температуры вспенивания и в отсутствии пылевых выбросов.

Ключевые слова: взаимодействие микроволновой энергии с гидрослюдами, вермикулит, микроволновое вспенивание вермикулита, микроволновая установка, энергоэффективная обработка

Вермикулит – это железо-магниево-алюминевый силикат, образующийся из слюд биотита и флогопита. Он относится к группе гидрослюд, имеет слоистую структуру и обладает характерным свойством увеличиваться при нагревании в 10-30 раз в направлении, перпендикулярном плоскости спайности. Этот процесс называется вспениванием вермикулита. Также широко распространён термин «вспучивание». Месторождения этого минерала имеются во многих регионах мира: Россия, Казахстан, ЮАР, Китай, Мозамбик, США, Бразилия и прочие. Широкое применение имеет именно вспененный вермикулит. Благодаря тому, что данный материал химически инертен, имеет высокую температуру плавления 1300°C, обладает высокой пористостью и сорбционной способностью, богат микроэлементами и обладает высокой способностью к катионному обмену, он используется в качестве тепло и огне изолятора в строительстве, пищевых добавок в животноводстве, почвенных субстратов в сельском хозяйстве и гидропонике, в качестве сорбента при очистке сточных вод и нефтяных загрязнений и в других отраслях промышленности.

Традиционные технологии вспенивания вермикулита основаны на быстром его нагреве в потоке раскаленных газов. Данный процесс в литературе носит название «обжиг вермикулита». Вода, находящаяся в межслоевом пространстве, закипает, образовавшийся пар раздвигает кристаллические пластинки. Этот процесс проходит успешно при высоком тепловом напоре с температурой теплоносителя 600 – 1100 °С. В качестве теплоносителя используют продукты сгорания природного газа, солярки или атмосферный воздух, нагретый электрическими нагревателями. Данный способ обуславливает высокие энергозатраты на проведение процесса вспенивания вермикулита, большие пылевые выбросы и выбросы горячих отработанных газов. Недостатком такой технологии является также высокая температура обработки, в результате которой часть микроэлементов испаряется при обжиге, а полученный вспененный вермикулит обладает повышенной хрупкостью и легко повреждается при транспортировке.

Авторами был исследован процесс микроволнового вспенивания вермикулита. Замена традиционного обжига вермикулита на вспенивание за счет микроволнового нагрева перспективна, в первую очередь, из-за снижения энергозатрат, отказа от сжигания углеводов и возможностью изготовления мобильного оборудования для вспенивания.

Проведенные исследования выявили явную анизотропию процесса взаимодействия микроволнового излучения с вермикулитом. Эффективное вспенивание минерала происходит только при ориентации вектора электрического поля вдоль плоскости спайности кристаллов. Опытным путем установлено - нагрев вермикулита микроволновым полем происходит преимущественно за счет ионной проводимости межслоевой влаги, а не за счет диэлектрической релаксации молекул воды. Выявлено, что вермикулиты различных месторождений имеют различную способность к вспениванию в микроволновом поле. Это обусловлено разным химическим составом минерала и количеством связанной воды в межслоевом пространстве. Оптимальная для микроволнового вспенивания влажность вермикулитового концентрата колеблется в пределах 3,5 – 6%. При более низких значениях влажности коэффициент вспенивания уменьшается. При более высоких влажностях увеличиваются энергозатраты на испарение избыточной влаги.

Отличительной особенностью микроволнового вспенивания вермикулита является низкая температура обработки. Температура вермикулита при микроволновой обработке не превышает 250 – 300°C. Это происходит за счет того, что необходимое тепло для быстрого нагрева и испарения воды вырабатывается непосредственно в самом кристалле, и именно в местах дислокации воды в межслоевом пространстве. На этот процесс не оказывает влияние теплопроводность концентрата и частично вспененного вермикулита. Важно отметить, что после испарения воды и вспенивания вермикулита, потери на проводимость в нем резко падают, и он практически перестает поглощать микроволновую энергию.

Исследования показали, что энергозатраты на вспенивание вермикулита с использованием микроволнового излучения снижаются в 10 раз по сравнению с обжигом в топочных газах, и в 3-5 раз по сравнению с обжигом в атмосферном воздухе, нагретом электрическими нагревателями.

Основываясь на результатах проведенного исследования, была спроектирована, изготовлена и запущена в эксплуатацию установка «ВерМик» для микроволнового вспенивания вермикулита. Установка представляет собой широкий ленточный транспортер, выполненный из композитного материала, прозрачного для микроволн. На рис.1 представлен общий вид установки в формате 3D модели программы Solid Works и фото пилотного образца.

С помощью вибростола концентрат ровным слоем поступает на транспортерную ленту. При этом пластинки минерала естественным образом ориентируются компланарно плоскости ленты. Двигаясь по транспортеру, концентрат попадает в микроволновый реактор, который представляет собой многомодовый резонатор, возбуждаемый распределенной щелевой системой, выполненной на 8-ми прямоугольных волноводах. Рабочая частота 2,45 ГГц, общая микроволновая мощность 16-ти магнетронов составляет 12,8кВт. В реакторе расположен специальный трансформатор типов волн, который обеспечивает горизонтальную поляризацию вектора напряженности электрического поля.

Такая конструкция учитывает анизотропию свойств концентрата и обеспечивает эффективное вспенивание с малыми энергозатратами.

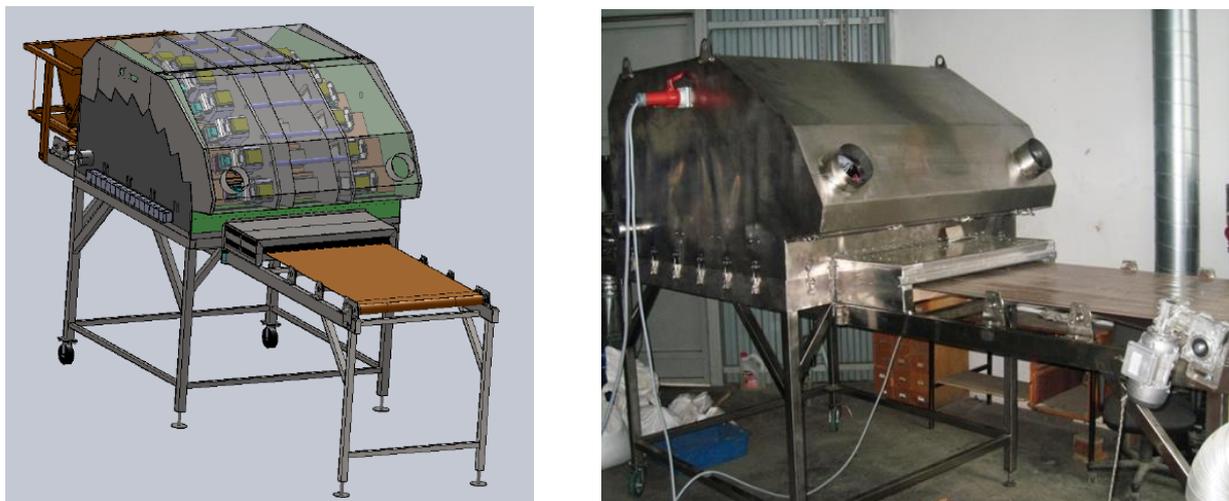


Рис.1. 3D модель и фотография установки «ВерМик»

Гидрослюды различных месторождений и фракций требуют разную напряженность поля для вспенивания. В существующей установке настройка под конкретный вид продукта осуществляется подбором толщины слоя вермикулита, и скоростью его движения.

Для обеспечения удобства обработки вермикулита различных месторождений и фракций и повышения коммерческой привлекательности, работа установки была автоматизирована. Скорости виброподачи сырья и движения транспортера регулируются в широких пределах за счет использования инверторных частотных преобразователей управляющих асинхронными приводами. На «ленивый» вал транспортера установлен инкрементальный энкодер, что позволяет отслеживать движение продукта с точностью до 1 мм и детектировать нештатные ситуации, связанные с обрывом и проскальзыванием ленты транспортера. Управление установкой осуществляется с помощью промышленного логического контроллера и человеко-машинного интерфейса – сенсорной графической панели. Под каждый вид вермикулита в памяти установки создается рецепт обработки, содержащий все необходимые параметры. Это позволяет полностью автоматизировать процесс обработки и свести вмешательство оператора к минимуму. Все технологические параметры обработки постоянно записываются во встроенную энергонезависимую память и могут быть легко использованы для анализа и настройки технологического процесса. Также в установку встроена система анализа качества электропитания и подсчета потребленной электроэнергии.

Установка «ВерМик» прошла испытания в промышленных условиях. Эксплуатационные характеристики и параметры пилотного образца:

- | | |
|---|------|
| • Производительность установки, кг/ч | 84 |
| • Коэффициент вспучивания в зависимости от типа сырья | 6-10 |
| • Потребляемая мощность установки, не более, кВт | 25 |
| • Рабочая частота, МГц | 2450 |

- Основные размеры, м 4.3x1.6x2.1
- Масса установки, кг 600