

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ СВЧ ЭНЕРГИИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

С.Ю. Шахбазов¹, А.В.Мамонтов², И.В. Назаров², В.Н. Нефедов²,
Ю.С. Степанов²

¹ *Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий;*

² *Московский государственный институт электроники и математики*

E-mail: lmis@miem.ru

Mainstreams of microwave technologies' development and applications both in Russia and abroad are presented. Such directions as energetic efficiency of microwave technologies, ceramics and polymer heat treatment, treatment of wastage are examined. Future trends of different microwave technologies are shown especially in the part of even temperature field creation in materials as a pacing factor of quality goods production.

Использование электромагнитного поля сверхвысоких частот для целей термообработки диэлектрических материалов позволяет осуществить интенсивные, безотходные, энергосберегающие и экологически чистые технологии.

Проведенный анализ материалов научных публикаций отечественных и зарубежных изданий показывает, что наибольшее внимание в развитии исследований в области сверхвысокочастотного технологического нагрева уделяется поиску принципиально новых решений для применения микроволновых технологий с целью замещения существующих технологий термообработки, а также для применения СВЧ энергии в производстве новых видов материалов.

Наиболее представительным из международных съездов специалистов в области СВЧ технологий является Конгресс по Применению Радиочастоты и Микроволн, проводимый раз в два года. Интересно отметить, что помимо представителей стран, традиционно участвующих в научных съездах такого уровня (США, Великобритания, Германия, Франция, Россия, и т.д.) все более активное участие в них принимают представители науки из стран, до недавнего времени не известных своими научными исследованиями в области СВЧ технологий (Бразилия, Румыния, Турция, Мексика, Чехия, Польша). Представительность научного форума такого рода подтверждает все возрастающий интерес в мире к СВЧ технологиям и отражает наиболее интересные и перспективные направления развития исследований в данной области научной деятельности.

На Конгрессах по Применению Радиочастоты и Микроволн рассматривается большой спектр различных направлений развития и применения СВЧ технологий. К таким направлениям относятся в частности: энергетическая эффективность СВЧ технологий; термообработка керамики, полимеров, стекла и минералов; обработка отходов различных производств;

полупроводники и микроэлектронное производство; методы измерения диэлектрических свойств материалов; моделирование и взаимодействие материалов с энергией электромагнитного поля сверхвысоких частот и т.д.

Показано, что применение СВЧ технологий позволяет значительно улучшить качественные показатели при производстве и обработке многих видов материалов. В целом же оценку эффективности применения СВЧ технологий производят по следующим основным критериям:

1. Сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу;
2. Сравнение с энергетической эффективностью других технологий;
3. СВЧ технологии как часть концепции сокращения энергетических затрат в обрабатывающих технологиях;
4. Эффективность сочетания СВЧ технологий с другими видами обработки материалов;
5. Оценка затрат на оборудование для реализации СВЧ процессов;
6. Оценка использования производственных площадей;
7. Сокращение потребления топлива (угля, мазута) электростанциями при массовом применении СВЧ технологий.

Термообработка керамических материалов является на сегодняшний день одним из самых эффективных применений СВЧ технологий. Учитывая малую собственную теплопроводность керамических материалов и необходимость объемного равномерного нагрева керамических заготовок до высоких температур (вплоть до 2000°C), использование СВЧ энергии для этих целей в ряде случаев является наиболее эффективным способом получения изделий надлежащего качества. Кроме того, в этом случае достигается существенный экономический эффект по сравнению с традиционно применяемыми технологиями нагрева.

Анализ зарубежных работ, посвященных термообработке керамических материалов с помощью СВЧ энергии, позволяет выявить критерии оценки эффективности процессов микроволновой термообработки керамических материалов, спектр исследованных составов керамических смесей, применяемых для заготовок и варьируемые параметры режимов термообработки для получения наиболее выгодного варианта технологического процесса. Оценка эффективности процесса проводится по следующим параметрам: механическая прочность; время обработки; изменение микроструктуры материала; температурная стойкость материалов; коэффициент полезного действия технологического процесса; управляемость процесса. При этом особое внимание уделяется малому разбросу температурного поля в материале, что в конечном итоге определяет качественные характеристики получаемых изделий из керамики.

В качестве примера успешно реализованного процесса спекания керамической заготовки с помощью энергии микроволн можно привести подробно описанную в [1] технологию изготовления керамических обкладок для внутренней облицовки стальных труб большого диаметра, служащих для транспортировки высокоабразивных материалов: угля, песка, руды, гравия. Процесс спекания в СВЧ камере происходил при следующих условиях:

разброс температурного поля процесса спекания лежит в достаточно узком диапазоне (1560°C – 1580°C); частота электромагнитного поля 2450 МГц, а в качестве электродинамической системы используют модифицированную микроволновую печь. Готовые изделия, подвергшиеся объемному нагреву материала с малым разбросом температурного поля, характеризовались улучшенными показателями по сравнению с изделиями, обработанными традиционными способами: повышение износостойкости, твердости, механической прочности на излом.

Эффективность применения СВЧ технологий для термообработки полимерных материалов во многом обусловлена теми же причинами, что и для керамических материалов: низкая собственная теплопроводность материала и необходимость получения высокой равномерности нагрева по всему объему изделия. Однако спектр вариантов применения СВЧ энергии в данной области гораздо более широкий по сравнению с керамикой: высушивание гранул полимеров перед их дальнейшей термообработкой; ускорение полимеризации клеящих видов полимерных смол; размягчение материала до расплава с последующей отливкой в формы; вспенивание пластических масс; равномерный нагрев пластических масс перед прессованием и т.д.

Работы [2, 3] посвящены изучению поведения полимеров в СВЧ полях, оценке применимости СВЧ технологий для обработки пластиков, поиску новых вариантов режимов нагрева полимерных материалов, получению материалов с новыми свойствами, недостижимыми при применении традиционных технологий. В качестве примера успешно внедренной в производственный процесс микроволновой термообработки полимеров можно привести промышленную установку производства компании NEMETH для формовки элементов внутренней отделки салонов и дверей грузовых и легковых автомобилей. Еще одним удачным примером внедрения СВЧ технологии можно считать установку NERNAISTOS немецкого производства [4] для термообработки углепластиковых композитных материалов. Установка обеспечивает высокую пространственную однородность нагрева, необходимую для предотвращения возникновения дуги и пробоев на концах углеволоконных нитей. Рабочая частота электромагнитного поля 2450 МГц.

Переработка отходов различных производств является на сегодняшний день одной из актуальнейших задач, стоящих перед многими странами мира. При этом целью переработки такого рода служит не только улучшение экологической обстановки, но и изыскание возможностей извлечения полезных компонентов из отходов, которые могут быть с пользой применены в дальнейшем.

В работе [5] описывается разработка проекта по извлечению угля из шлака (остающегося в шлаке из-за неполного сгорания), запасы которого в отвалах только в Великобритании составляют на сегодняшний день около 250 миллионов тонн. Возможность извлечения угля из шлака исследована для различных видов шлаков, полученных при сжигании угля, добытого в различных точках земного шара и отличающихся по своему

микроструктурному строению. Выработан универсальный метод обработки, применимый для шлаков углей различных типов и происхождения.

Другим примером использования СВЧ технологий при обработке отходов может служить экспериментальная установка итальянского производства для обработки стоков [6] путем термодеструкции в плазменной среде соединений хлора, диоксида и органики. Производительность установки: 250 кг стоков в час; СВЧ мощность установки 40 кВт каждый; рабочая частота источников СВЧ энергии 2450 МГц.

При оценке общей эффективности примененного метода очистки и обеззараживания по сравнению с традиционными методами (обработка в автоклаве, выдержка в ионизирующем излучении, обработка в растворах (формальдегида), обработка ультразвуком) отмечено высокое качество очистки, недоступное другим методам, отсутствие вредных продуктов обработки, высокая скорость технологического процесса и малые энергетические затраты.

Особый интерес представляет собой область применения СВЧ энергии для получения новых материалов. Так, интересный способ получения нового материала VINTORG представлен в работе [7]: интенсивно нагреваемая в СВЧ поле влажная древесина подвергается сильному внутреннему давлению водяных паров, которые пробивают себе путь наружу не только в осевом направлении пиломатериала, но и в радиальном. Образованные таким способом поры в структуре древесины способствуют пропитке дерева различными составами, придающими полученному таким образом материалу заранее заданные свойства.

Как в России, так и за рубежом, с каждым годом возрастают требования к технологическим процессам, которые связаны с уменьшением разброса температурного поля в материалах, так как отклонение температуры от номинального значения по объему материала непосредственно определяет их эксплуатационные характеристики (прочность, долговечность и т.д.). К таким технологическим процессам относятся: полимеризация пластических масс с различными наполнителями, нагрев пластических материалов перед прессованием, отжиг полупроводящих материалов и многие другие, в которых разброс температурного поля не велик и составляет не более (6-7)% от номинального значения температуры, а в некоторых случаях и меньше. В настоящее время существует потребность в новых технологиях термообработки, в частности, листовых диэлектрических материалов больших площадей с малым разбросом температурного поля (не более 6% от номинального значения температуры).

В этой связи, основные усилия разработчиков, как у нас в стране, так и за рубежом, направлены на решение наиболее актуальной проблемы, связанной с уменьшением разброса температурного поля в материалах [8, 9]. Решение этой проблемы позволит улучшить качество обрабатываемых материалов за счет объемного и равномерного характера нагрева и поднять на более высокий уровень показатели самих технологических процессов, характеризующихся экологической чистотой, отсутствием тепловой инерции в сочетании с высоким коэффициентом полезного действия сверхвысокочастотных устройств.

1. G. Swaminathan, A.B. Datta, L.N. Satapathy, "Microwave sintering of abrasion resistant alumina liner tiles", pg.5 of the Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Texas, (7 – 12 November 2004).
2. L. Estel, Ph. Lebaudy, A. Ledoux, C. Bonnet, M. Delmotte, "Microwave assisted blow molding of polyethylene-terephthalate (PET) bottles", pg.33 of the Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Texas, (7 – 12 November 2004).
3. M. Mehdizadeh, "Microwave/RF methods for detection and drying of residual water in polymers", pg.32 of the Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Texas, (7 – 12 November 2004).
4. R.D. Gunaratne, R.J. Day, "Microwave and conventional mechanical & thermal analysis of the reactions in epoxy vinyl ester resins", pg.39 of the Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Texas, (7 – 12 November 2004).
5. O. Allothman, R.J. Day, "A novel microwave-assisted injection moulding of polymers", pg.40 of the Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Texas, (7 – 12 November 2004).
6. A.E.S. Clarke, A. Nesbitt, R.J. Day, G.L.A. Sims, Zhipeng Wu, "Microwave techniques for the preparation of polymer foams", pg.45 of the Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Texas, (7 – 12 November 2004).
7. G. Torgovnikov, P. Vinden, "New microwave technology and equipment for wood modification", pg.77 of the Proceedings of the Fourth World Congress on Microwave and Radio Frequency Applications, Austin, Texas, (7 – 12 November 2004).
8. Мамонтов А.В. Разработка и исследование СВЧ устройств для термообработки диэлектрических материалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2005.
9. Потапова Т.А. Исследование и разработка СВЧ устройств для формирования равномерного температурного поля диэлектрических материалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2006.