



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

## Труды

XIV МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ  
МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ  
“КОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ ПОТОКИ ЭНЕРГИИ  
В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ  
ЭЛЕКТРОНИКЕ, ЭКОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ”

26–27 ноября 2013 г.

Москва  
2013 год

**Школа посвящается 100-летию со дня рождения  
Б. Понтекорво**

**Труды**

**XIV МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ  
МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ  
"КОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ ПОТОКИ ЭНЕРГИИ  
В КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ  
ЭЛЕКТРОНИКЕ, ЭКОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ"**

26–27 ноября 2013 г.

УДК 539.12.01(063)

ББК 22.383

Т78

## Труды

XIV Межвузовской научной школы  
молодых специалистов  
"Концентрированные потоки энергии  
в космической технике  
электронике, экологии и медицине"

Под редакцией  
Профессора Б.С. Ишханова и профессора Л.С. Новикова

e-mail: bsi@depni.sinp.msu.ru

В трудах школы рассмотрены физические основы концентрированных потоков энергии и их воздействия на материалы и изделия космической техники, методы обработки материалов концентрированным излучением, воздействие лазерного и микроволнового излучения на вещество, концентрированные потоки энергии в экологии и медицине, в электронике, проблемы физики нейтрино и ядерной спектроскопии.

# ВОЗДЕЙСТВИЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МАТЕРИАЛЫ

В.Н. Нефедов

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

E-mail: v.nefedov@hse.ru

Совершенствование традиционных технологических процессов термообработки композиционных материалов, связано с повышением коэффициента полезного действия, увеличением производительности, снижением энергетических затрат и повышением качества выпускаемой продукции.

Современные тенденции развития технологических процессов термообработки материалов направлены на использование в качестве источника тепла, - энергии микроволнового излучения.

Использование микроволнового излучения для производства композиционных материалов позволяет улучшить эксплуатационные характеристики обрабатываемых материалов за счет объемного и равномерного характера нагрева и поднять на более высокий уровень показатели технологических процессов, характеризующихся экологической чистотой, отсутствием тепловой инерции и высоким коэффициентом полезного действия.

Основные научные исследования в области создания высокоэффективных микроволновых технологических процессов термообработки композиционных материалов направлены на уменьшение отклонения температуры в объеме материала от номинального значения температуры, так как качество эксплуатационных характеристик получаемых изделий зависит в первую очередь от степени равномерности их нагрева.

К наиболее перспективным микроволновым технологическим процессам относятся: полимеризация пластических масс, производство керамических материалов, бетонов и пенобетонов, производство теплоизоляционных материалов и многие другие.

Применение микроволновых технологий для термообработки композиционных материалов позволяют сократить продолжительность технологического процесса; снизить удельный расход электроэнергии; уменьшить площади производственных помещений; сократить численность обслуживающего персонала; улучшить санитарно-гигиенические условия труда; уменьшить размеры и вес промышленных установок; повысить управляемость технологическим процессом и создать условия для автоматизации производства [1].

Научные исследования в области применения микроволновой энергии направлены на повышение энергетической эффективности процессов термообработки изделий из керамики, стекла, минералов и полимерных материалов, а также на производство новых материалов и утилизацию отходов различных производств.

Энергетическая эффективность применения микроволнового излучения для целей термообработки композиционных материалов определяется сокращением выбросов углекислого газа в окружающую среду, снижением энергетических затрат по сравнению с другими технологиями, стоимостью микроволнового оборудования и эффективностью использования производственных площадей.

Низкое значение теплопроводности керамических материалов и необходимость объемного и равномерного их нагрева до высоких температур (вплоть до 2000°C) предполагает использование для этих целей микроволновое излучение в качестве источника тепла и является наиболее эффективным способом получения изделий высокого качества.

При использовании микроволновых технологий термообработки изделий из керамики, достигается существенный экономический эффект по сравнению с традиционно применяемыми технологиями нагрева, повышается ее прочность, а кристаллическая структура керамики становится более мелкозернистой [2].

Эффективность применения микроволновых технологий для термообработки полимерных материалов обусловлена низкой теплопроводностью и необходимость получения равномерности нагрева по всему объему полимерного материала для реализации полноты протекания реакции полимеризации.

Оценка эффективности микроволнового технологического процесса термообработки полимерных материалов определяется малым временем нагрева и изменением микроструктуры полимерного материала, а также возможностью управления процессом нагрева полимерных материалов [3].

Степень влияния микроволнового процесса на характеристики получаемых композиционных и строительных материалов проводится по таким параметрам, как механическая прочность и температурная стойкость материалов, а также возможностью влияния на изменение микроструктуры композиционного материала с точки зрения получения заданных свойств.

На конкретных примерах показано, что микроволновые технологические процессы по сравнению с традиционными технологическими процессами оказывают существенное влияние на характеристики получаемых изделий:

- при производстве керамических материалов их структура становится более мелкозернистой и более плотной, а прочность на излом возрастает в 1,2 - 1,3 раза;

- процесс полимеризации изделий из стеклопластика происходит мгновенно по всему объему, так как отклонение температуры в материале от номинального значения не превышает 8% при нагреве материала до температуры 180 °C, при этом прочность изделий из стеклопластиковой арматуры увеличивается в 1,5 раза за счет полноты реакции полимеризации;

- экспериментальные данные по технологическому процессу плавления базальта (масса и объем образца базальта, время нагрева до конечной температуры, мощность источника микроволновой энергии, частота колебаний электромагнитного поля 2450 МГц) позволили определить энергетические

затраты, приведённые к весу нагреваемого образца базальта, которые составили 0,8 кВт·ч/кг. Следует отметить, что лучшие зарубежные индукционные установки плавления базальта имеют средние энергетические затраты 2,2 кВт·ч/кг, а электродуговые печи 7,08 кВт·ч/кг [4];

- высокоэффективная сушка утеплителя в виде картона из базальтового волокна толщиной 24 мм с использованием микроволнового излучения показала, что энергетические затраты уменьшаются на 45% по сравнению с сушкой утеплителя по традиционной технологии [5];

- для ускорения процесса твердения пенобетонной смеси, её температура поднималась до  $(70+80)^\circ\text{C}$  при использовании в качестве источника тепла энергии микроволнового излучения, что позволило отказаться от использования дорогостоящих зарубежных добавок для ускорения твердения пенобетонов, которые приводят к ухудшению их прочностных характеристик из-за повышения кислотности;

- на основе экспериментальных исследований получены основные характеристики микроволнового технологического процесса получения дорожного покрытия на основе смеси золы и серы (отходов производств);

- использование энергии микроволнового излучения позволяет осуществить эффективное уничтожение насекомых без нанесения вреда обрабатываемому материалу. Экспериментальные исследования по обеззараживанию шерстяных одеял проведены при температуре  $50^\circ\text{C}$ , на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц в камере лучевого типа в течение 5 минут [6];

- экспериментальные исследования по микроволновой термообработке материалов различной влажности (древесины) показали, что максимальное отклонение значения температуры в материале от номинального значения температуры в материале не превышало 6%. Разработан метод, который позволяет формировать заданное распределение температуры в объеме материала. Показано, что структура материала, в частности, древесины, при использовании микроволновых технологий уплотняется, и прочностные характеристики материала повышаются [7].

Экспериментальные исследования термообработки композиционных материалов с использованием различных конструкций электродинамических систем на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц показали, что микроволновые технологии позволяют сократить энергетические затраты на (45-50)% и увеличить скорость технологических процессов в 7-8 раз по сравнению с современными традиционными технологическими процессами.

Показано, что микроволновые технологические процессы позволяют улучшать характеристики получаемых материалов (повышение плотности и прочности получаемых материалов и т.д.) [8].

Разработанные модели и методы расчета распределения температуры композиционных материалов показали, что максимальное отклонение температуры в материале от номинального значения температуры не превышало 8%. Расхождение рассчитанных и измеренных значений

температуры в композиционных материалах не превышало 6%, что удовлетворяет современным требованиям технологических процессов термообработки композиционных материалов.

Полученные экспериментальные результаты термообработки композиционных материалов с использованием в качестве источника тепла энергии микроволнового излучения соответствуют научным результатам мирового уровня [8].

Исследование осуществлено в рамках Программы “Научный фонд НИУ ВШЭ” в 2013-2014 гг., проект № 12-01-0136

1. А.В.Мамонтов, И.В.Назаров, В.Н.Нефедов, Т.А.Потапова. Микроволновые технологии, Москва, ГНУ “НИИ ПМТ”, 2008 г. - 308с.
2. 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).
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. А.В.Мамонтов, В.Н.Нефедов, А.Л.Тув, Д.А.Языков Исследование возможности плавления базальта с помощью СВЧ энергии // Измерительная техника, № 9, 2012, с. 49-51
5. А.В.Мамонтов, М.В.Нефедов, В.Н.Нефедов, И.М.Савченко. Термообработка листового теплоизоляционного материала с использованием микроволнового излучения // Метрология. – 2010. – № 11. – С. 38-42.
6. А.В.Мамонтов, В.Н.Нефедов. Уничтожение биологических вредителей в изделиях из шерстяных тканей методом СВЧ нагрева // Материалы международной научно-технической конференции “Инновационные информационные технологии”, Прага – 2012, изд-во МИЭМ, 2012, с. 488-491.
7. А.В.Мамонтов, И.В.Назаров, М.В.Нефедов, В.Н.Нефедов, И.М.Савченко. Микроволновый метод создания равномерного распределения температуры в объемных диэлектрических материалах // Метрология. – 2010. – № 12. – С. 36-42.
8. Отчет по НИР “Исследование высокоэффективных и экологических чистых микроволновых технологических процессов термообработки композиционных материалов строительной индустрии”, в рамках федеральной целевой программы: “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009-2013 годы, № гос.регистрации: 01201058088.

## Содержание

Бруно Понтекорво	3
В.Н. Нефедов. Воздействие концентрированных потоков микроволнового излучения на материалы	13
В.В. Андреев, Г.Г. Бондаренко, В.М. Масловский, А.А. Столяров, И.В. Соловьев. Использование МДП-транзистора с инжекционно-модифицированными диэлектрическими слоями для измерения поглощенной дозы гамма-излучения	17
В.В. Андреев, Г.Г. Бондаренко, В.М. Масловский, А.А. Столяров, И.В. Соловьев. МДП-сенсоры ионизирующих излучений с повышенной чувствительностью	23
В.И. Канавец, Ю.Д. Мозговой, С.А. Хриткин. Резонансное обменное взаимодействие электронных и позитронных сгустков с компенсацией кулоновского поля	27
М.Ю. Жарков, А.В. Верткив, И.Е. Люблинский. Охлаждаемая мишень для сбора лития в вакуумной камере токомака Т11-М	32
Л.С. Паршина, О.А. Новодворский, О.Д. Храмова, И.А. Петухов, Д.А. Зуев, А.А. Лотин, Ф.В. Лебедев. Импульсное лазерное напыление прозрачных проводящих пленок $\text{SnO}_2:\text{Sb}$	36
А.В. Шорохова, О.А. Новодворский, Д.А. Зуев, А.А. Лотин, Л.С. Паршина, О.Д. Храмова, Б.А. Аронзон, С.Ф. Маренкин. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок $\text{GaSb}-\text{MnSb}$ для задач спинtronики.	40
Д.А. Зуев, О.А. Новодворский, А.А. Лотин, А.В. Шорохова, О.Д. Храмова, Е.А. Черебыло, Ф.В. Лебедев, И.А. Петухов, М.Н. Румянцева, Ф.Н. Путилин, А.М. Гаськов. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ , $\text{ZnO}:\text{Al}$ и $\text{CdS}$ для солнечных элементов	43
А.А. Лотин, О.А. Новодворский, Д.А. Зуев, О.Д. Храмова, А.В. Шорохова, Е.А. Черебыло, Ф.В. Лебедев. Оптические свойства наночастиц Au и Ag, синтезированных методом импульсного лазерного осаждения	47
В.К. Игнатьев, В.А. Михалевский, О.А. Новодворский. Цифровой измеритель стойкости эритроцитов	51
Б.С. Ишханов, А.А. Кузнецов, Хан Дон Ен. Фоторасщепление изотопов молибдена	53
Н.Г. Гончарова, С.И. Сергеева. Влияние оболочечных эффектов на коллективные свойства четно-четных атомных ядер	59
Е.И. Кузьмина. Сечение фотоионизации некоторых атомных подоболочек в квадрупольном приближении	63
Д.С. Бецис. Акустические детекторы нейтрино	69
А.В. Журухина. Изготовление конического микрокапилляра для создания микропучка	73
Л.Ю. Овчинникова. Моделирование электронной пушки для ускорителя электронов с магнитным зеркалом	77
А.С. Маликова, В.С. Черныш, А.А. Шемухин, Ю.В. Балакшин, А.В. Назаров, Д.В. Петров, В.А. Медведев. Имплантация ионов железа в направлении канализации и в направлении не содержащем открытые каналы и исследование их с помощью методики резерфордовского обратного рассеяния	82
Н.П. Чирская, Л.С. Новиков. Анализ эффективности регистрации космического излучения полупроводниковыми детекторами	87
Е.Н. Воронина, Л.С. Новиков. Моделирование воздействия сверхтепловых атомов кислорода на углеродные нанотрубки и графен	93
П.А. Чесноков. Дисперсионные правила сумм в квантовой механике	100
А.Г. Савельев, К.В. Хайдуков, С.И. Молчанова, Е.В. Хайдуков, В.А. Семчишен, А.В. Нечаев, В.И. Соколов. Запись брэгговских решеток в нанокомпозитных полимерных материалах	105

Труды

XIII Межвузовской научной школы  
молодых специалистов  
"Концентрированные потоки энергии  
в космической технике  
электронике, экологии и медицине"

Под редакцией  
Профессора Б.С. Ишханова и профессора Л.С. Новикова

Ответственный за подготовку сборника к печати  
доцент Э.И. Кэбин

Работа поступила в ОНТИ 20.10.2013 г.

Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии МГУ  
119991, ГСП-1, г. Москва,  
Ленинские Горы, д.1, стр.15  
Заказ № 1262.