

# ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.38.029.6.01

А.Л. Адамович, Ю.Г. Грозберг, М.Е. Капралов

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

*Полоцкий государственный университет*

*Завод Измеритель*

*Новополоцк, Беларусь*

Микроволновая обработка самых разнообразных диэлектрических материалов находит в последнее время широкое применение в различных отраслях промышленности ввиду значительно меньшей энергоемкости и более высокой производительности по сравнению с традиционными технологическими процессами. Необходимость повышения продуктивности и качественных показателей, снижения энергозатрат процессов обработки и переработки материалов, экологическая чистота процессов побудила к проектированию и созданию как лабораторных, так и промышленных микроволновых комплексов (МВК) на основе электромагнитных СВЧ полей (от 300 МГц до 300 ГГц), способных воздействовать на физические и биологические характеристики различных материалов или сред. Практическая ценность этого воздействия проявляется также в особом свойстве волн не только проникать в объем материала, но и избирательно воздействовать на среды, имеющие различный состав. Спектр этих воздействий в промышленности, сельском хозяйстве, биологии и медицине достаточно широк: сушка, нагрев, вулканизация и девулканизация резин, полимеризация, улучшение физико-механических и химических свойств конструкционных материалов, пастеризация и консервация, обеззараживание биологических сред, стимуляция роста растений и др. Известен опыт использования микроволновых технологий (МВТ) как в зарубежных странах, так и в СНГ. Это сушка бумаги, картона, печатающих составов, клеев и обложек книг в полиграфической промышленности (снижение энергозатрат до 30%), кож, текстильных волокон и шерсти (до 50% снижены энергозатраты и повышена производительность в 25–200 раз с одновременным улучшением качества продукции), сушка дерева, фанеры в деревообрабатывающей промышленности (качество древесины повышается из-за появления внутренних связей под действием СВЧ излучения с одновременной противогрибковой обработкой и уничтожением микроорганизмов), сушка керамики и бетона.

Другие применения МВТ не так развиты, как вышеназванные, и находятся на различных стадиях развития. Это изготовление композитных материалов, очистка нефти от воды, ремонт асфальта, снятие корки льда, процессы отвердевания и полимеризации, изготовление эмульсий, разрушение камней, бетона и руды, стимуляция роста

семян, уничтожение сорняков, сушка зерна, дезинфекция кормов, пастеризация кормов и лекарственных форм [1, 2, 3].

Нами проводятся исследования по использованию СВЧ энергии для сушки нитей стекловолокна, с одновременной термообработкой, при производстве стеклоткани на Полоцком ПО "Стекловолокно" (получен положительный результат); для сушки кремния фторида натрия, как сырья при получении кремния; обработки полимерных и диэлектрических материалов, резин.

Для проведения опытов создана экспериментальная установка (рис. 1), оснащенная автоматизированной микропроцессорной системой управления технологическими режимами, на которой детально изучается поведение СВЧ поля в средах и материалах различной структуры и формы, направленное изменение свойств широкого спектра материалов, возможность моделирования процессов микроволнового воздействия и создания надежных методов защиты от СВЧ излучения. Установка представляет собой экранированную камеру 1 с присоединенным к ней модулем магнетрона. СВЧ энергия, вырабатываемая магнетроном 3, который охлаждается вентилятором 4, поступает через волновод 5 на циркулятор 6, а затем излучается в объем камеры шелевым коллиматором 2. Часть энергии, не поглощенная средой, отражается в нагрузку 7.

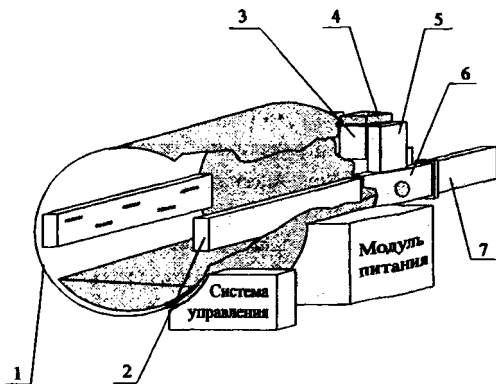


Рис. 1. Конструкция установки СВЧ обработки

Высокая проникающая способность волн СВЧ диапазона дает возможность обработки материалов различной формы в достаточно больших объемах. Опыт применения СВЧ энергии для сушки древесины показал необходимость обеспечения равномерности облучения материала. В случае облучения материала с высоким коэффициентом поглощения, падающая волна быстро затухает в поверхностных слоях и не проникает в глубину материала, что приводит к перегреву участков, прилегающих к вводу СВЧ энергии и неравномерности воздействия по объему. Это вызывает не толь-

ко перегрев, но и появление внутренних напряжений, деформаций и трещин, что не всегда приемлемо и допустимо для различных материалов. Поэтому необходимо равномерно распределять вводимую СВЧ энергию по объему, что можно сделать при помощи антенных устройств - коллиматоров. Кроме того, при введении энергии в камеру от одного магнетрона при стабильной частоте, будут иметь место интерференционные минимумы и максимумы. Их относительная величина, при применении коллиматоров, будет уменьшена. Наряду с этим имеет смысл применять несколько магнетронов СВЧ. В этом случае, меняя фазу (частоту) вводимых в камеру полей, можно смещать интерференционные минимумы и максимумы, повышая равномерность поглощения СВЧ энергии в объеме материала. Коллиматоры (рис. 2), примененные в описанной выше установке, представляют собой волноводно-щелевые решетки с продольными щелями, смещенными относительно оси симметрии волновода с волной типа Н10. Длина коллиматора определяется длиной камеры, что в свою очередь определяет количество щелей при известной рабочей частоте  $f$ , Гц [4].

Входная проводимость волновода  $Y$ , см, с продольными щелями определяется выражением

$$Y = M \cdot G_{щ},$$

где  $G_{щ}$  – эквивалентная проводимость одной щели, см.

Условие согласования коллиматора

$$M \cdot G'_{щ} = 1$$

С другой стороны, проводимость одной щели равна

$$G_{щ} = G'_{щ} \cdot W_{H10}^{-1},$$

где  $G'_{щ}$  – нормированная проводимость щели;  $W_{H10}$  – волновое сопротивление волновода для волны Н10, Ом;

$$W_{H10} = \frac{W_0}{\sqrt{1 - (\lambda/2 \cdot a)^2}} = \frac{120 \cdot \pi}{\sqrt{1 - (\lambda/2 \cdot a)^2}},$$

где  $\lambda$  – длина волны, м;

$$G'_{щ} = 2.09 \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{\Lambda}{\lambda} \cdot \cos^2 \frac{\pi \cdot x_l}{a} \cdot \cos^2 \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\lambda}{\Lambda},$$

где  $\Lambda$  – длина волны в волноводе, м.

Выражая  $x_l$  и учитывая соотношения

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{кр})^2}}, \lambda_{кр} = 2 \cdot a, \lambda = \frac{2 \cdot \pi}{k}, k = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{v_0}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}, \quad \epsilon_0 = \frac{1}{36 \cdot \pi} \cdot 10^{-9} \text{ Ф/м}, \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}.$$

$$d = \frac{\Lambda}{2}, \quad L = \frac{\Lambda}{2}, \quad L = \frac{\lambda}{2}.$$

можно вычислить размеры элементов коллиматора.

Применяемый в установке коллиматор (при рабочей частоте  $f$ , равной 2500 МГц и размерах волновода 45 на 90 мм) имеет длину волны в волноводе  $\Lambda$ , равную 160,99 мм, при 11 щелях с переменнo-фазовой запиткой. Размер  $x_1$  равен 35,45 мм при длине волны в свободном пространстве  $\lambda$ , равной 120 мм. При выбранной ширине щели  $t$ , равной 5 мм, с учетом коэффициента укорочения (и последующей экспериментальной отработкой), длина щели  $L$  равна 55,5 мм.

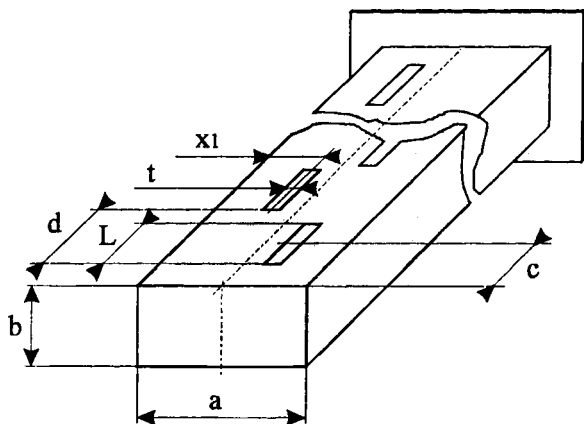


Рис. 2. Геометрические размеры СВЧ коллиматора

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов Г.А. Микроволновые технологии в промышленности и сельском хозяйстве: современные достижения и новые подходы. – Антенны. – 1998. – №1(40). – С.88–96.
2. Jangué's, Thuery, Microwave Industrial, Scientific and Medical Applications Edited by Edward M. Grant. Kings College. Larstin Arteda House, London, Boston, 1992.
3. Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Гарин А.Д. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987.
4. Никольский В.В. Антенны. – М.: Связь, 1996. – 368 с.