

СВЧ-ЭНЕРГИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КИРПИЧА

Морозов С.М.¹, Корольков В.Г.² Email: Morozov1133@scientifictext.ru

¹Морозов Михаил Сергеевич – аспирант,
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва;
²Корольков Владимир Гаврилович – доцент,
кафедра естественнонаучных, технических дисциплин и информационных технологий,
Смоленский областной казачий институт промышленных технологий и бизнеса (филиал)
Московский государственный университет технологий и управления им. Кирилла Григорьевича Разумовского
(Первый Казачий университет), г. Вязьма

Аннотация: статья посвящена процессу обжига строительного кирпича с помощью СВЧ поля. Для выбора необходимых условий разработана лабораторная установка, состоящая из СВЧ генератора с выходной мощностью 0,65 КВт на частоте 2,45 ГГц. Для реализации СВЧ нагрева был выбран кирпичный слой толщиной $d=24$ мм, электродинамический анализ которого показал, что наиболее равномерное распределение поля по толщине достигается для $\epsilon = 3$. Кирпичный слой для экспериментов был выполнен из строительных кирпичей пластического формирования после длительной (более 10 дней) естественной сушки. Выполнены ориентировочные тепловые расчеты.

Ключевые слова: теплопроводность, нагрев, сушка, обжиг, расплав, камера, стенд, генератор, мощность, амплитуда, напряженность, структура, неравномерность, измеритель.

THE MICROWAVE ENERGY IN THE MANUFACTURE OF BRICKS

Morozov M.S.¹, Korolkov V.G.²

¹Morozov Michail Sergeevich - postgraduate student,
NATIONAL RESEARCH CENTER "KURCHATOV INSTITUTE", MOSCOW;
²Korolkov Vladimir Gavrilovich - associate Professor,
DEPARTMENT OF NATURAL SCIENCES, TECHNICAL SCIENCES AND INFORMATION TECHNOLOGIES,
COSSACK SMOLENSK REGIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND BUSINESS (BRANCH)
MOSCOW STATE UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT NAMED AFTER KIRILL GRIGORIEVICH
RAZUMOVSKY (FIRST COSSACK UNIVERSITY). VYAZMA

Abstract: the article is devoted to the firing process of brick construction with microwave fields. To select the necessary conditions developed laboratory setup consisting of a microwave generator with an output power of 0.65 KW at a frequency of 2.45 GHz. For the realization of microwave heating was chosen brick layer thickness of $d=24$ mm, electrodynamic analysis which showed that the most uniform field distribution along the thickness is attained for $\epsilon = 3$. Brick layer for the experiments was made of building bricks plastic formation after long-term (over 10 days), natural drying. Made approximate thermal calculations.

Keywords: conductivity, heating, drying, roasting, melt, camera, stand, generator, power, amplitude, intensity, structure, irregular meter.

УДК 662.62:537.868

Процесс обжига строительного кирпича можно условно разделить на три стадии: нагрев до температуры образования расплава, выдержка при этой температуре и охлаждение. Для каждой стадии необходимо так подобрать параметры технологических процессов, чтобы в кирпиче не возникали большие напряжения, приводящие к деформации и появлению трещин на поверхности и в объеме кирпича. Обожженный кирпич представляет собой керамическую массу, которая содержит около 15% расплавленной и остывшей части, придающей кирпичу, прочность, влагонепроницаемость, низкую теплопроводность и другие потребительские свойства [1].

Рассмотрим первую стадию - нагрев, который осуществляется в СВЧ поле. Мощность тепловых потерь P_t , выделяющаяся в элементарном объеме кирпича, помещенного в СВЧ поле, пропорциональна квадрату напряженности электрического поля $/E^2$, относительной диэлектрической проницаемости ϵ и тангенсу угла диэлектрических потерь $tg\delta$:

$$P_t \sim / E / ^2 \epsilon tg \delta$$

Напряженность электрического поля E зависит не только от структуры поля в пустой СВЧ камере, но и от степени заполнения рабочего объема кирпичами и их электродинамических характеристик $(\epsilon, tg\delta)$. Учитывая, что ϵ и $tg\delta$ также изменяются в процессе нагрева кирпичей под воздействием СВЧ энергии, становится ясной сложность решения задачи определения температурного поля. Такая задача до сих пор не решена. К настоящему времени процесс низкотемпературного нагрева достаточно

хорошо изучен экспериментально и осуществляется реализация таких процессов (например, СВЧ сушка) на практике.

Если представить себе абсолютно равномерное распределение напряженности электрического поля по всему объему кирпича, изготовленного из однородной керамической массы, и одинаковые термодинамические условия для внутренних и поверхностных элементарных объемов, то в этом случае все элементарные объемы достигнут температуры расплава (1050°C) в одно и то же время. На практике же всегда будет ситуация, когда в процессе нагрева температуры расплава достигнут лишь некоторые локальные объемы. При измерении фазы (состояния) веществ можно ожидать резкого изменения их электродинамических характеристик ($\varepsilon, tg\delta$). Поэтому для осуществления процесса СВЧ обжига кирпичей важно выяснить изменение характера нагрева в СВЧ поле при температурах возникновения расплава.

Представляет интерес исследование характера нагрева кирпичей в СВЧ поле при температурах возникновения расплава и влияния на этот процесс неравномерностью распределения СВЧ поля. Проще всего эта цель достигается с помощью экспериментальных методов.

Для этого необходима лабораторная установка, в рабочем объеме которой располагают кирпичи, создают СВЧ поле с оцениваемой равномерностью, и осуществляют нагрев до температур порядка 1000°C.

Лабораторная установка, структурная схема которой представлена на рисунке 1, состоит из СВЧ генератора (Г) с выходной мощностью 0,65 кВт на частоте 2,45 ГГц, СВЧ камеры с патрубками для визуального наблюдения рабочего объема и ввода термопары, измерителя прошедшей СВЧ мощности (ИМ) МЗ-46.

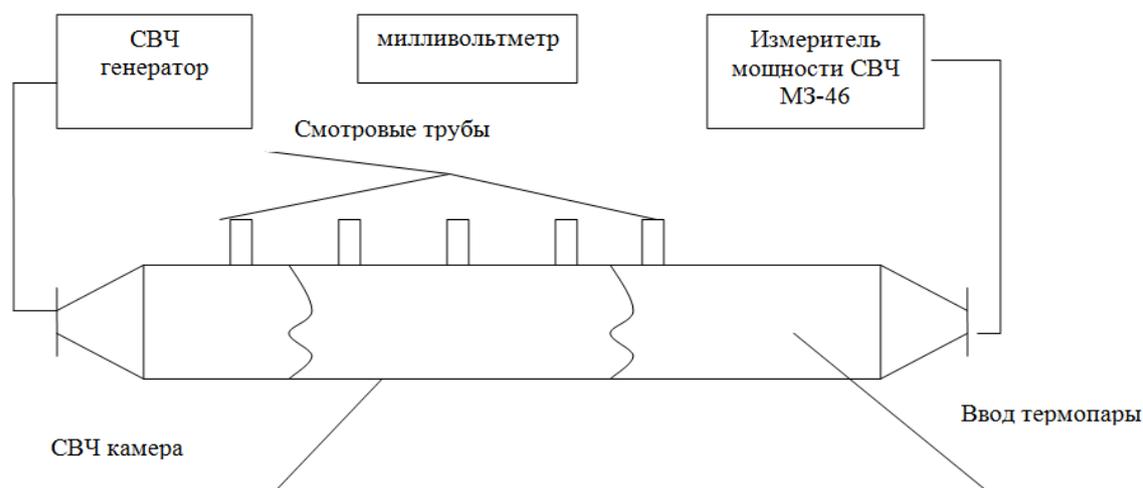


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Внутри СВЧ камеры сечением 200x170 мм и длиной 1000 см могут помещаться объекты нагрева, образуя рабочие объемы, в которых реализуются намеченные процессы. Отметим некоторые электродинамические особенности распределения полей в СВЧ камере лабораторной установки. Электромагнитная волна, распространяясь от генератора и встречая заполненный рабочий объем, частично отражается, частично поглощается и частично проходит в измеритель, мощности.

Амплитуда отраженной волны не должна быть слишком большой, так как это может привести к выходу из строя магнетрона генератора. Практически это приводит к тому, что нельзя заполнять рабочий объем образцами, состав перекрывающими поперечное сечение СВЧ камеры. Для контроля отраженной мощности, после того как будет заполнен рабочий объем и включен источник СВЧ энергии, необходим специальный стенд. В качестве такого стенда использовался автоматический измеритель КСВН и ослабитель Р2-56.

Поглощение энергии электромагнитной волны в рабочем объеме связано с превращением СВЧ энергии в тепловую. Распределение мощности потерь (тепловой мощности для бегущих волн в отсутствие отражений) всегда носит экспоненциальный характер с показателем, зависящим от структуры заполнения и электродинамических характеристик образцов, а при наличии отражения, связанных, например, с продольной конечностью рабочего объема, определяется двумя волнами со спадающими амплитудами, распространяющимися в противоположных направлениях, и оценка продольной неравномерности СВЧ поля в этом случае затруднена.

Отражение от границ заполненного рабочего объема можно устранить согласующими клиньями, выполняемые из материала образцов. Но они поглотят часть СВЧ энергии и при относительно малой

выходной мощности СВЧ генератора лабораторной установки, высокотемпературный нагрев может не реализоваться.

Для оценки поперечной неравномерности СВЧ поля рассмотрим наиболее простую модель в виде плоского диэлектрического слоя, (рисунок 1). Применение структуры диэлектрического слоя для исследования влияния неравномерности СВЧ поля на процесс обжига кирпичей связано с тем, что при постоянном распределении модуля напряженности электрического поля (E) всегда носит косинусоидальный характер, а по толщине может быть почти равномерным (для εd , зависящем d), спадающим от центра к краям слоя для ($\varepsilon > \varepsilon d$) или иметь значения на краях слоя большие, чем в центре (для $\varepsilon < \varepsilon d$) [2, 3].

Реальное распределение (E) при осуществлении высокотемпературного нагрева может отличаться от указанного, так как зависит от температуры, но эти измерения (особенно после удаления кристаллической влаги) значительно меньше изменения $tg\delta$ и, следовательно, оценка неравномерности СВЧ поля по поперечной координате X может быть проведена удовлетворительно. Для реализации СВЧ нагрева был выбран кирпичный слой толщиной $d=24$ мм, электродинамический анализ которого показал, что наиболее равномерное распределение поля по толщине достигается для $\varepsilon =3$. Если оценивать неравномерность СВЧ поля как квадрат отношения модулей максимальной и минимальной напряженностей электрического поля то для участка кирпичного слоя шириной $l=100$ мм, расположенного в центре волновода неравномерность составит величину равную 2, а для участка шириной 54 мм - составит 1,2. Поле с неравномерностью 1,2 можно считать практически однородным.

Учитывая относительно малую СВЧ мощность генератора и небольшое время непрерывной работы (порядка 30 мин), при проведении экспериментов по влиянию неравномерности СВЧ поля на процесс нагрева кирпичного слоя, целесообразно участок исследования отделить от диэлектрического слоя тонкими теплоизоляционными прокладками, слабо искажающими структуру полей в рабочем объеме.

Наиболее подходящим материалом для этой цели может служить МФП-1100, теплопроводность которого $\alpha=0,04$ Вт/м/градус при рабочей температуре 1200°C и $\varepsilon 1,15$. Пластина МФП-1100 толщиной 10 мм обладает значительными теплоизоляционными свойствами и незначительно искажает структуру полей в рабочем объеме [4].

Кирпичный слой для экспериментов был выполнен из строительных кирпичей пластического формирования после длительной (более 10 дней) естественной сушки. Исследуемый участок кирпичного слоя закрывался специальной крышкой из МФП-1100 толщиной 10 мм, имеющей продольную и поперечную центральные узкие щели для осуществления визуального наблюдения теплового поля на поверхности исследуемого участка кирпичного слоя при температурах свечения кирпичей (свыше 600°C) [5]. Кирпичный слой был теплоизолирован МФП-1100 и каолиновой ватой, помещался в СВЧ камеру так, что с помощью термопары можно было контролировать температуру центра исследуемого участка, а с помощью стеклянной трубки осуществлять осмотр его поверхности через узкие щели в специальной крышке.

Выполненные ориентировочные тепловые расчеты показали, что при поглощении выбранным кирпичным слоем длиной 110 мм более половины проходящей СВЧ мощности генератора возможен нагрев центрального исследуемого участка, теплоизолированного дополнительными перегородками, шириной до 100 мм до температуры 1000°C за время порядка 1 час. Измерениями с помощью P2-56 было показано, что при комнатной температуре выбранное заполнение рабочего времени обеспечивает поглощение более половины мощности СВЧ генератора.

Список литературы / References

1. Акишинский А.Д., Журавлев А.Н., Морозов С.М., Семенова Т.И. Устройство для непрерывной СВЧ-обработки сыпучих материалов. Патент на полезную модель RUS 87072 30.06.2009.
2. Морозов М.С., Морозов С.М., Реут В.А. Микроволновая установка сушки зерна. // Молодой ученый. № 30 (134), 2016.
3. Морозов М.С., Морозов С.М., Реут В.А. Автоматизированная система контроля влажности зерна. // Вестник науки и образования, 2017. № 3 (27). Том 1.
4. Реут В.А., Морозов С.М. Твердофазное избирательное окисление никелевых жаропрочных сплавов. // Наука и образование сегодня. № 1 (12), 2017.
5. Реут В.А., Грызов Е.В., Корольков В.Г. Имитационная модель системы управления температурой в туннельных печах при производстве корундовых изделий. //Естественные и математические науки в современном мире. № 16. С. 60-66. 2014.