

ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2012 Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, А.Р. Насыбуллин, Р.Р. Самигуллин,
А.С. Шакиров

Казанский национальный исследовательский университет им. А.Н. Туполева – КАИ

Поступила в редакцию 07.03.2012

В работе приводятся сравнение технологии формования изделий из терморезистивных полимеров, стекла. Приводятся результаты формования изделия заданной формы в СВЧ-поле.

Ключевые слова: СВЧ-нагрев, формование, полимер, терморезистив, стекло

К настоящему времени существует большое число работ, посвященных СВЧ обработке различных материалов [1-3]. В указанных работах рассматриваются материалы, способные эффективно поглощать электромагнитное поле. Вместе с тем ряд материалов, активно используемых в жизнедеятельности человека, в диапазоне длин волн $\lambda=1,0-0,01$ м являются диэлектриками, которые слабо поглощают электромагнитные волны. При необходимости осуществления СВЧ-нагрева данных материалов может быть применен комплексный нагрев, сочетающий традиционный конвективный нагрев и СВЧ-нагрев. Данный способ известен и применяется в различных приложениях СВЧ-обработки, например в [4]. Значительная часть готовых изделий из терморезистивных материалов являются неполярными веществами, плохо поглощающие электромагнитные волны. Безусловно, любое СВЧ-воздействие обеспечивает комплексное воздействие – собственно нагрев, а также модификацию структуры обрабатываемых материалов, причем в силу слабого поглощения неполярными веществами электромагнитного поля тепловые эффекты не учитываются [5].

Морозов Геннадий Александрович, доктор технических наук, профессор, директор научно-исследовательского центра прикладной электродинамики. E-mail: microoil@mail.ru

Морозов Олег Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой телевидения и мультимедийных систем

Насыбуллин Айдар Ревкатович, ассистент кафедры телевидения и мультимедийных систем

Самигуллин Рустем Разяпович, кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и мультимедийных систем. E-mail: nicpre@list.ru

Шакиров Альберт Султанович, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем. E-mail: shakirov_albert@mail.ru

Абсолютное число технологических процессов подразумевает осуществление операции нагрева. Таковыми являются процессы формования и переработки различных отходов, которые могут выступать в качестве исходного сырья для изготовления новых изделий. В настоящей работе рассматриваются процессы и методы формования листовых диэлектрических материалов при использовании СВЧ-обработки.

Процессы формования. Применительно к терморезистивным полимерным материалам (стеклопластики, углепластики и др.) на качество конечной продукции наибольшее влияние оказывает два основных этапа: плавление и твердение. На этапе плавления происходит расплавление полимерного связующего и последующее образование полимерной матрицы. На этапе твердения происходит закрепление изделия в требуемой форме. Наиболее сложным является этап твердения. На данном этапе вслед за плавным снижением температуры происходит температурное сжатие размеров изделия. В данном процессе происходит сжатие не только самого изделия, но и формы, в которой происходит формовка. В зависимости от температурных коэффициентов линейного расширения материалов заготовки и формы возможно возникновение внутренних напряжений в изделии, что снижает его качество. При значительном различии коэффициентов линейного расширения возможно полное разрушение либо формы для формования изделия, либо заготовки изделия. Приведенные варианты являются неприемлемыми, поскольку увеличивают как себестоимость, так и время изготовления готовой продукции.

Данные процессы во многом схожи с процессом изготовления автомобильных стекол, в первую очередь закаленного стекла (сталинит) [7]. Способ изготовления такого

стекла заключается в методе специальной термообработки, при которой стекло вначале равномерно нагревают (этап формообразования), а потом равномерно и быстро охлаждают воздушным потоком (этап фиксации формы). Нагревание происходит приблизительно до 650°C, затем охлаждается воздушными струями так, чтобы поверхности охлаждались быстрее, а внутренняя сердцевина – более медленно. При этом создаются высокие поверхностные напряжения, придающие стеклу повышенную механическую прочность и термостойкость. Перепад температур в процессе закалки приводит к появлению зон концентрации механических напряжений в автостекле. Результатом появления зон концентрации механических напряжений приводит к снижению механической прочности. В результате несильный удар по этим областям способен привести к полному разрушению сталинита.

Важно заметить, что появление зон концентрации механических напряжений могут быть вызваны не только перепадом температур, но также и механическим воздействием формующей оснастки на заготовку изделия в процессе твердения. Это приводит к необходимости исследования и разработки технологии, которая позволит снизить влияние формы для изготовления на готовую продукцию. Перспективной технологией, позволяющей получать новые результаты, является технология СВЧ-обработки. Далее приводятся результаты экспериментального исследования процессов формования тестовых образцов стекла при комплексном СВЧ нагреве.

Методы проведения экспериментов.

Для формования изделия тестовые образцы нагревали до различных температур. В ходе проведения исследований были реализованы следующие методы формования:

- формование в закрытых штампах – нагретую заготовку укладывают в матрицу, после чего под давлением пуансона заготовке придается требуемая форма;

- пневмо- и вакуум-формование в матрицу – вакуум создается в объеме, образованном заготовкой изделия и полостью матрицы. При пневмоформовании избыточное давление создается между заготовкой и прижимным кольцом формовочной оснастки;

- прессование – наиболее простой способ выработки изделий из стекла или полимеров. При прессовании порцию стекла загружают в корпус пресс-формы. Затем на форму опускают ограничительное кольцо. После этого пуансон начинает прессование, выжимая вязкую стекломассу вверх, в пространство между рабочими поверхностями корпуса, пуансона и ограничительного кольца.

При реализации традиционных способов нагрева в процессе формования стекла используют различные способы конвективного подвода тепла. В приводимых экспериментах реализован комплексный нагрев, а именно сочетание конвективного нагрева с СВЧ-нагревом. Высокоинтенсивное электромагнитное поле нагревает как саму форму, в которой находится заготовка изделия, так и формуемую заготовку изделия. Данная заготовка также нагревается от формы, которая выполнена из высокотемпературной радиокерамики, способной эффективно поглощать электромагнитное поле, тем самым нагревая заготовку изделия.

Критерием качества для рассматриваемых в данной работе материалов является принятие требуемой формы, а также наличие зон концентрации механических напряжений. Для контроля последних в соответствии с ГОСТ 3519-91 применяют полярископы и поляриметры – предназначенные для определения двойного лучепреломления в плоских заготовках и изделиях из прозрачных и слабоокрашенных материалов. Поляриметр позволяет получать численную оценку для механических напряжений путем измерения степени поляризации прозрачных и оптических сред. Полярископ в отличие от поляриметра устроен значительно проще, вследствие чего не позволяет измерить степень поляризации, однако позволяет увидеть различия в степени поляризации различных участков материалов из оптически прозрачных сред [6]. Простейший поляриметр состоит из двух скрещенных поляризаторов, способных пропускать свет одной поляризации. Отформованное изделие, содержащее большое число зон концентрации механических напряжений, помещенное между двумя поляризаторами, в проходящем свете будет иметь яркую окраску.

Для количественной оценки качества применен метод гистограммы распределения яркости, широко используемый в технике цифровой фотографии [8]. Суть его заключается в следующем – каждому пикселю на цифровой фотографии соответствует определенное значение яркости. По этим данным строится гистограмма распределения яркости, где по горизонтальной оси представлена яркость, а по вертикали – относительное число пикселей с данным значением яркости. При этом чем больше участков с различным значением яркости, тем шире гистограмма. Математически данный факт выражается через стандартное отклонение – чем более однородный цвет, тем меньше стандартное отклонение на гистограмме распределения яркости.

Результаты экспериментов. В процессе проведения экспериментов были реализованы 8 различных вариантов формования стекол. Изделие считалось сформованным при достижении поверхности изделия кривизны соответствующей сфере радиусом 300 мм. Размеры тестовых образцов были выбраны равными 60*60 мм. Температурные режимы отличались температурой формования и временем выдержки при заданной температуре (рис. 1).

Параметры рассмотренных вариантов представлены в таблице 1. Каждый обработанный образец помещался в полярископ, фотографировался, полученная фотография подвергалась анализу по гистограмме распределения яркости. Результаты представлены в таблице 2. Примеры обработанных тестовых образцов показаны на рис. 2-3. Соответствующие гистограммы распределения яркости показаны на рис. 4-5.

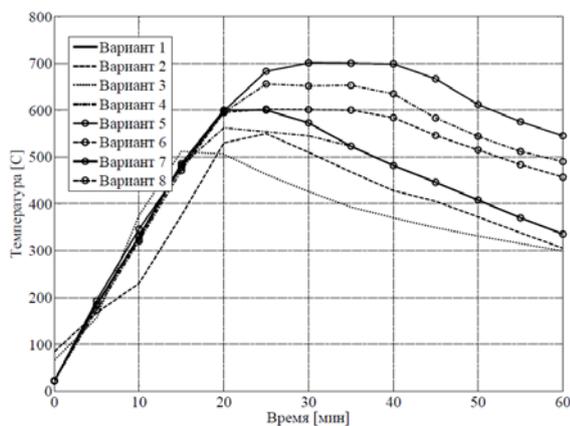


Рис. 1. Температурные режимы, реализованные в процессе экспериментов

Таблица 1. Параметры вариантов обработки заготовки изделия

№ варианта	Толщина образца, мм	Температура, °C	Время выдержки при заданной темп., мин.	Метод формовки
1	2	600	5	прессование
2	2	550	5	формование в матрицу
3	2	500	5	формование в матрицу
4	2	500	10	прессование
5	4	600	10	формование в матрицу
6	6	600	15	формование в матрицу
7	2	700	15	в закрытых штампах
8	2	650	15	в закрытых штампах

Таблица 2. Параметры гистограмм распределения яркости при разных режимах

Режим	Стандартное отклонение	Принятие формы
1	27,1	да
2	26,2	да
3	25	нет
4	36,7	да
5	25,4	да
6	60,2	да
7	52,8	да
8	57,6	да

Результаты, приведенные в таблице 2, показывают, что по критерию минимума стандартного отклонения гистограммы распределения яркости наименьшим количеством зон концентрации механических напряжений обеспечивают режимы 3, 5, 2, 1. При этом образец, обработанный в соответствии с режимом 3, не принял требуемую форму.



Рис. 2. Фотография образца заготовки из стекла для 5 варианта обработки

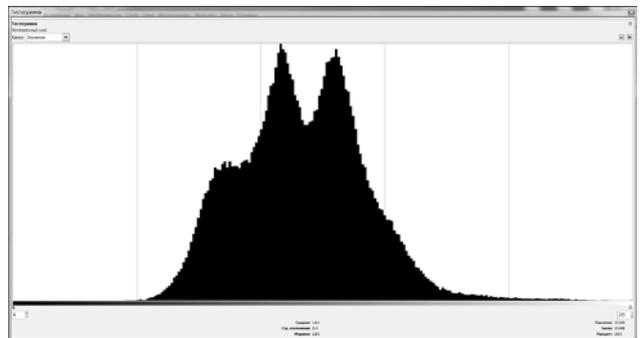


Рис. 3. Гистограмма распределения яркости фотографии образца заготовки из стекла для 5 варианта обработки



Рис. 4. Фотография образца заготовки из стекла для 6 варианта обработки

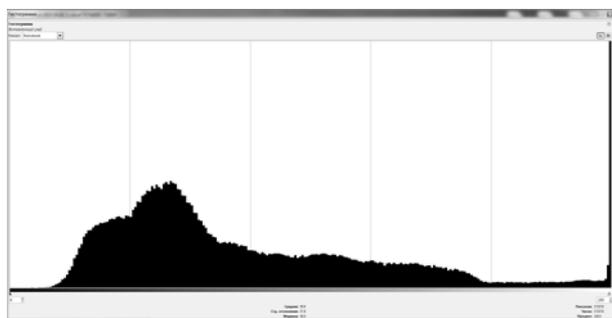


Рис. 5. Гистограмма распределения яркости фотографии образца заготовки из стекла для 6 варианта обработки

Выводы: реализация технологии формирования изделий из стекла или терморезактивных материалов с использованием СВЧ-обработки происходит при тех же температурах что и технологии, использующие традиционные способы

нагрева. Отличие состоит в методе формирования. При реализации традиционной технологии наилучшее качество обеспечивает метод формирования в закрытых штампах. Использование технологии формирования при реализации СВЧ-обработки требует применения другого способа формирования, а именно метод формирования в матрицу.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта №16.513.11.3114.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Морозов, Г.А. Низкоинтенсивные СВЧ-технологии (проблемы и реализации) / Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, Ю.Е. Сидельников и др. – М.: Радиотехника, 2003. 112 с.
2. Диденко, А.Н. СВЧ-энергетика: Теория и практика / Отв. ред. Я.Б. Данилевич. – М.: Наука, 2003. 446 с.
3. Архангельский, Ю.С. Установки диэлектрического нагрева СВЧ установки / Ю.С. Архангельский. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2008. 343 с.
4. Yi, Fang. Microwave sintering of hydroxyapatite ceramics / Yi Fang, Dinesh K. Agrawal, Delia M. Roy, Rustum Roy // J. Mater. Res. 1994. V. 9, N. 1, Jan. P. 180-187.
5. Калганова, С.Г. Влияние СВЧ воздействия электромагнитного поля на кинетику отверждения эпоксидной смолы / С.Г. Калганова. – Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. Т. 1. № 1. С. 90-95.
6. ГОСТ 3519-91 Материалы оптические. Методы определения двулучепреломления
7. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Сталинит>
8. Хряцев, Д.А. Об одном методе анализа цифрового изображения с применением гистограмм / Д.А.Хряцев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 1. С. 109-113.

FORMATION THE PRODUCTS FROM RADIO TRANSPARENT MATERIALS WITH MICROWAVE RADIATION USE

© 2012 G.A. Morozov, O.G. Morozov, A.R. Nasybullin, R.R. Samigullin, A.S. Shakirov
Kazan National Research University named after A.N. Tupolev – KAI

In work are resulted the comparison of technology of formation the products from thermosetting polymers, glasses. Results of formation the product of the set form in microwave field are resulted.

Key words: *microwave heating, formation, polymer, thermoset, glass*

Gennadiy Morozov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Scientific Research Center of Applied Electrodynamics. E-mail: microoil@mail.ru

Oleg Morozov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Television and Multimedia Systems Department

Aidar Nasybullin, Assistant at the Television and Multimedia Systems Department

Rustem Samigullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Television and Multimedia Systems Department. E-mail: nicpre@list.ru

Albert Shakirov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Radioelectronic and Telecommunication Systems Department