

УДК 666.1.053

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКЛА

Шарагов В. А., Цуркан Д. Б., Кептя В. Ф., Олару И. Н.

Обсуждаются результаты лабораторных и производственных экспериментов по обработке стеклянной тары, рассеивателей из прозрачного бесцветного и молочного стекла, ампул из медицинского стекла и листового стекла импульсным магнитным полем. Приводятся режимы терромагнитной обработки промышленных стекол. Обсуждаются достоинства и недостатки метода обработки промышленных стеклоизделий импульсным магнитным полем.

Se discută rezultatele experimentelor de laborator și de producere privind tratamentul ambalajului din sticlă, difuzoarelor din sticla transparentă incoloră și lăptoasă, fiolelor din sticla medicinală și sticla în foi cu câmp magnetic în impuls. Sunt prezentate regimurile tratamentului termomagnetic al sticlei industriale. Se discută avantajele și neajunsurile metodei tratamentului articolelor industriale din sticla cu câmp magnetic în impuls.

The results of laboratory and industrial experiments with treatment of glass containers, scatters made from transparent colorless and milk glasses, ampoules made from medical glass and sheet glass by magnetic impulse field are discussed. Regimes of the thermomagnetic treatment of industrial glasses are given here. The merits and limitations of the method of industrial glass treatment by magnetic impulse field are discussed.

### Введение

Стеклоизделия массового производства (стеклянная тара, листовое стекло, торговая посуда, светотехнические изделия и др.) характеризуются низкой механической прочностью и плохой термической стойкостью, вследствие чего потери продукции при транспортировке и эксплуатации достигают 5...20 %. Существующие методы повышения термомеханических свойств стекла можно разделить на два принципиально различных направления [1]. Первое - создание в поверхностном слое стекла остаточных напряжений сжатия, что достигается обычно закалкой в разных средах. Во втором случае изменяется химический состав поверхностного слоя стекла. Для этого на изделия наносятся разного рода реагенты во время их формования или на стадии отжига.

Закалка стекла возможна при изменении технологии производства и требует больших капитальных затрат. Подвергаются закалке только изделия простой формы. Для модификации поверхности стекла необходимо надежное оборудование для нанесения реагентов на изделия, при этом загрязняется окружающая среда. В силу перечисленных обстоятельств методы повышения эксплуатационных свойств промышленных стеклоизделий массового производства находят ограниченное применение. Это побуждает к поиску новых методов упрочнения стекла.

Цель проведенных исследований заключалась в изучении возможности повышения механических свойств промышленных стекол путем воздействия на них импульсным магнитным полем.

### Экспериментальная часть

Эксперименты проводились в два этапа. Вначале в лабораторных условиях моделировались режимы терромагнитной обработки стекол разных составов. В дальнейшем воздействию импульсным магнитным полем подвергались промышленные стеклоизделия в процессе их производства.

В качестве объектов исследования применялись банки из обесцвеченного стекла, рассеиватели из прозрачного бесцветного и молочного стекла, листовое стекло и ампулы из медицинского стекла. Химические составы стекол приведены в табл. 1.

Табл. 1

Химические составы промышленных стекол

Вид стекла	Содержание оксидов (массовая доля, %)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Другие
Тарное	71,62	2,57	0,08	6,62	4,68	13,62	0,30	0,43	-
Прозрачное бесцветное	73,11	3,45	0,04	6,59	-	16,58	-	-	-
Молочное	68,97	6,51	0,03	4,07	-	18,18	-	-	2,36 F <sup>-</sup>
Листовое	72,65	1,55	0,11	7,60	3,71	13,62	0,35	0,31	-
Медицинское	72,81	4,52	0,05	6,05	0,82	8,15	1,64	-	6,11 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Для получения импульсного магнитного поля применялась установка, в которой источником энергии является батарея конденсаторов. Блок питания состоит из силового трансформатора, выпрямителя, сглаживающего фильтра и интегрального стабилизатора. В качестве накопителя энергии используется батарея импульсных конденсаторов, питающихся через токоограничивающую индуктивность. Емкостный накопитель энергии разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора, вторичная обмотка которого нагружается индуктором. Требуемая частота следования импульсов задается генератором управляющих импульсов. Рабочим органом магнитно-импульсной установки является сменный индуктор. Меняя форму и размеры индуктора можно создавать магнитное поле заданной напряженности и протяженности. Наиболее важные параметры термомагнитной обработки промышленных стеклоизделий (в лабораторных и производственных условиях): температура – 20...900 °С, длительность – 1...120 с, индукция – до 250 мТл.

Лабораторные эксперименты показали, что механическая прочность ампул после омагничивания возрастает на 10...20 %. Микротвердость разных по составу стекол в результате действия импульсного магнитного поля повышается на 5...10 %.

В производственных условиях термомагнитной обработке подвергались банки вместимостью 0,65, 0,8 и 1,0 л. Термомагнитная обработка банок осуществлялась в индукторе, расположенном на конвейере. Форма индуктора разработана с учетом размеров банок. Длительность обработки стеклоизделий не превышала 1...2 с. Основные параметры импульсного магнитного поля: индукция – 60 мТл, напряженность – 50 кА/м, число импульсов на одно изделие – 5...10.

Термомагнитная обработка банок проводилась при стабильной работе секционного стеклоформующего автомата IS-6-2. Воздействие магнитного поля на стекло визуально не изменяло его состояние. Банки после отжига отбирались из одной и той же формы и испытывались на сопротивление усилию сжатия в направлении, перпендикулярном к стенкам корпуса, и на сопротивление внутреннему гидростатическому давлению. Для каждого режима обработки использовалось не менее 20 банок.

Влияние термомагнитной обработки на механическую прочность банок показана в табл. 2 (погрешность отдельного измерения составляла ± 0,005 кН).

Табл. 2

Механическая прочность банок, обработанных импульсным магнитным полем

Режим выработки банок	Сопротивление усилию сжатия F, кН					
	F <sub>ср</sub>	Δ F <sub>ср</sub> , %	F <sub>min</sub>	Δ F <sub>min</sub> , %	F <sub>max</sub>	Δ F <sub>max</sub> , %
Обычный	1,68	-	1,01	-	2,40	-
С магнитной обработкой	2,01	20	1,29	28	2,56	7

Данные табл. 2 показывают, что средняя механическая прочность банок после воздействия импульсного магнитного поля возрастает на 20 %, а минимальный уровень прочности повышается на 28 %, а это особенно важно, так как эксплуатационная надежность стеклоизделий определяется минимальным значением их прочности, а не средним. Следует также отметить, что часть банок по показателю прочности не соответствует требованиям ГОСТ 5717-91. Термомагнитная обработка значительно

повышает минимальную прочность банок, вследствие чего почти все стеклоизделия отвечают требованиям стандарта.

Повышение температуры стекла (установки располагались ближе к стеклоформирующей машине) и увеличение длительности обработки (изделия повторно пропускались сквозь магнитное поле) благоприятствует упрочнению банок.

Уровень упрочнения банок за счет термомагнитной обработки аналогичен эффекту повышения прочности стеклотары путем нанесения защитных покрытий [2], термохимической обработки кислотными газами [3], но уступает упрочнению стекла закалкой [4] и ионным обменом [1].

Термомагнитная обработка банок сопровождается повышением их микротвердости на 5...10 %, что позволяет снизить потертость поверхности изделий при их выработке и транспортировке. Термостойкость обработанных банок возростала на 5...8 %.

За счет повышения термомеханических свойств потери стеклоизделий на стадии выработки, транспортировки и эксплуатации снизятся в 2...4 раза, при этом можно уменьшить их массу на 5...10 % [2].

С помощью производственных экспериментов установлена принципиальная возможность повышения механических характеристик изделий, вырабатываемых вручную. На АО "Фламинго-96" воздействию импульсного магнитного поля подвергались, как свежееотформованные рассеиватели, так и пульки, которые после обработки раздувались в формах, а затем отжигались. Параметры магнитной обработки светотехнических изделий: температура – 450...900 °С, длительность – 1...4 с, индукция – 60...80 мТл, напряженность магнитного поля – 64 кА/м.

Термомагнитная обработка повышает микротвердость светотехнических стекол на 5...10 %, причем при более высокой температуре и большей длительности обработки выше эффект в повышении микротвердости стекол.

Основные достоинства магнитной обработки стекла – возможность упрочнения изделий сложной формы без изменения технологии их производства, сохранение естественного состояния поверхности стекла, не загрязняется окружающая среда.

Разработаны практические рекомендации по внедрению разработанной технологии термомагнитной обработки стеклоизделий разного назначения на стекольных заводах.

### Заключение

Термомагнитная обработка повышает механическую прочность промышленных стеклоизделий на 15...20 %, микротвердость – на 5...10 %, термостойкость – на 5...8 %. Упрочнение возможно при воздействии импульсного магнитного поля на стекло, температура которого не ниже 450 °С. С повышением температуры, величины индукции магнитного поля и длительности обработки механические характеристики стекла улучшаются.

### Список литературы

1. Бутаев А. М. Прочность стекла. Ионнообменное упрочнение. - Махачкала: Дагестанский государственный университет, 1997. - 253 с.
2. Гулоян Ю. А., Казаков В. Д., Смирнов В. Ф. Производство стеклянной тары. - М.: Легкая индустрия, 1979. - 256 с.
3. Шарагов В. А. Химическое взаимодействие поверхности стекла с газами. - Кишинев: Штиинца, 1988. - 130 с.
4. Богуславский И. А. Высокопрочные закаленные стекла. - М.: Стройиздат, 1969. - 208 с.

*Представлена 16.04.2004*