

УДК 666.151

И.М. Терещенко, доцент; В.И. Авчинка, начальник ПТО УП “Агат-систем”

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА, УСТОЙЧИВЫХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

The design principles of constructions resistable to shooting-iron on the basis of industrial sheet glass have been observed. Realization of these principles allow to improve the glass' protective properties.

The technological parameters of strengthening process of starting industrial glasses by the method of low temperature ion exchange in the salt melts have been developed.

Obtained standard patterns of coverings provide resistance to shooting- iron of B3 class were tested in the Special Protection Means Centre.

Изделия из стекла, устойчивые к воздействию стрелкового оружия – новый вид продукции для стекольной промышленности Республики Беларусь, потребность в котором, однако, ощущается все острее. В настоящей статье приводятся результаты исследований в этой области, проводимых на кафедре технологии стекла и керамики и позволивших получить устойчивые к удару конструкции из стекла, превосходящие по своим защитным и весовым характеристикам лучшие зарубежные образцы, полученные известными способами на основе стекол с уровнем прочности на изгиб до 400 МПа.

Современные пулеустойчивые стекла являются многослойными конструкциями из пластин стекла, склеенных между собой прозрачными пленками типа “Saflex” после термической обработки в автоклаве либо жидкими композициями, полимеризующимися при повышенной температуре или при воздействии ультрафиолетового облучения. Основная проблема, которую необходимо решать при разработке пулеустойчивых конструкций, – это снижение толщины, а значит, и массы изделий при сохранении ими защитных свойств. Целью проводимой работы по согласованию с заказчиком (УП “Агат-систем”) являлась разработка конструкций (пакетов), обладающих пулеустойчивостью по классу В3 при толщине пакета не более 30 мм. Такие изделия обеспечивают защиту от обстрела из АКМ одиночными выстрелами с расстояния 5–10 м.

Начальным этапом исследований являлась отработка принципов проектирования пулезащитных конструкций и первый из них – выбор типа исходного стекла. Здесь существует два основных варианта:

- а) синтез специальных высококомодульных стекол, что связано с применением сложной технологии и соответствующего оборудования;
- б) использование известных промышленных составов, например листового стекла высшего качества (марка не ниже М1).

В настоящей работе использовалось листовое стекло Борского стеклозавода (Россия).

Следующим этапом явилось решение проблемы повышения механической прочности исходного стекла, ибо только на основе упрочненных стекол возможно получение пулезащитных конструкций с толщиной пакета менее 45 мм. Здесь предстояло выбирать один из трех известных активных методов упрочнения стекла:

- а) химический (травление), суть которого заключается в нейтрализации дефектов поверхности стекла. При этом обеспечивается 8–10-кратное возрастание механической прочности стекла, однако использование H_2SO_4 и HF приводит к тяжелым условиям

труда и эксплуатации оборудования, необходимости решения сложных экологических проблем, что ограничивает применение данного метода [1];

б) термический (закалка), сущность которого, как и метода ионного обмена, связана с созданием благоприятного распределения напряжений в изделии. Недостатки метода – низкая эффективность при упрочнении тонких номиналов стекла, изменение его поляризационно-оптических характеристик и повышенная склонность изделий к деформации [2].

В связи с вышесказанным использовался метод упрочнения исходных стекол ионным обменом (низкотемпературным) в расплавах солей, к достоинствам которого относятся:

- неизменность оптических характеристик стекол в ходе ионного обмена;
- исключение возможности саморазрушения изделий от внутренних напряжений, особенно при повреждении края;
- возможность упрочнения очень тонких (толщина менее 3 мм) и утолщенных (более 7 мм) номиналов стекла.

Суть метода состоит в обмене ионов Na^+ поверхностного слоя стекла при повышенной температуре на более крупные ионы K^+ , также играющие роль модификаторов структуры стекла. При этом поверхностный слой уплотняется на глубину 20–80 мкм. При охлаждении он изменяет свои размеры в меньшей степени, чем внутренние слои. В результате этого в поверхностном слое возникают напряжения сжатия, что может обеспечивать возрастание механической прочности образцов в 4–5 раз, а термической устойчивости в 1,5–2 раза в сравнении с исходным материалом [3].

Традиционно ионное упрочнение осуществляется в расплаве KNO_3 (температура плавления – 338°C). Однако в настоящее время имеется информация [4] о влиянии примесных ионов, которое может быть как положительным (в плане повышения скорости диффузии ионов из стекла в расплав и обратно), так и отрицательным – тормозящим. Предпринятое изучение влияния примесей позволило выявить позитивную роль ионов Sb^{+5} и P^{+5} на толщину сжатого слоя в образце и разработать состав солевой ванны, обеспечивающий повышение в 1,4 раза механической прочности образцов стекол при их термической обработке в ней (в сравнении с ванной из чистого KNO_3 при прочих равных условиях).

Установлено, что важное влияние на ход ионного обмена оказывает температура солевой ванны. Чем выше температура термической обработки стекла, тем больше скорость диффузии ионов, и, на первый взгляд, ограничения связаны лишь с возможностью деформации изделий (листов) в области температур, близких к началу размягчения стекла. Однако, как выяснилось в ходе экспериментов, необходимо считаться с еще одним процессом: температурной релаксацией структуры стекла под действием возникающих в нем напряжений, что приводит к снижению величины полезных напряжений сжатия в поверхностном слое, а значит – степени упрочнения образцов. В результате температурная кривая зависимости прочности образцов на изгиб имеет характер, отображенный на рис. 1, что позволяет легко определить область оптимальных температур в ходе ионного обмена.

Влияние продолжительности обработки опытных стекол в расплаве солей иллюстрируется рис. 2, из которого следует, что прочность образцов резко возрастает в ходе первых 2-х часов выдержки, а затем монотонно и незначительно увеличивается.

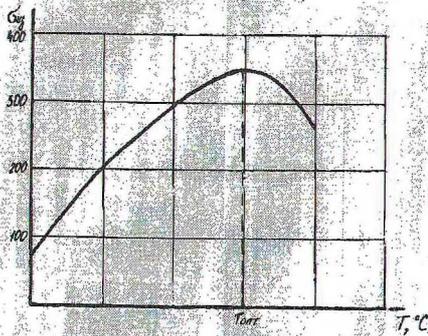


Рис. 1. Характер зависимости прочности на изгиб образцов листового стекла от температуры ванны расплава

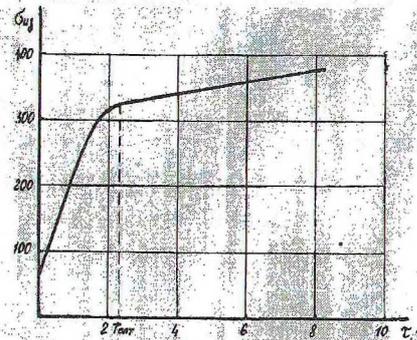


Рис. 2. Зависимость прочности на изгиб образцов стекла от продолжительности обработки в расплаве солей при 700°C

В связи с этим оптимальная продолжительность обработки во многом определяется экономическими факторами.

Достигнутый при принятых параметрах технологического режима уровень прочности стекол позволил перейти к полупромышленным испытаниям. Поскольку для испытаний пулеустойчивых стекол на прострел необходимы стандартные образцы размером 500 × 500 мм, то была изготовлена ванна вместимостью 40 л и специальная оснастка, исключая деформацию упрочняемого стекла. Термическая обработка осуществлялась в промышленной электрической печи, причем упрочнению подвергались листовые стекла толщиной от 2 до 10 мм. Листы стекла собирались в пакеты в соответствии с определенной формулой, чередуясь с пленкой "Saffex"; далее пакеты склеивались в ходе термической обработки в воздушном автоклаве и затем проходили испытания в центре средств специальной защиты.

При отработке оптимальной формулы пакета на начальной стадии исходили из посылки, что ударная прочность ламинированного изделия во многом определяется прочностью и эластичностью тыльной пластины, в которой при динамическом воздействии (выстрел по лицевой поверхности) возникают большие растягивающие напряжения. В целом это положение подтвердилось в ходе испытаний, однако решить поставленную задачу – получение пулеустойчивой по классу ВЗ конструкции пакета толщиной около 30 мм – удалось лишь после установления следующих положений:

а) ударная прочность слоистых конструкций в большой мере зависит от соотношения толщины тыльной пластины и внутренней части пакета;

б) обязательной стадией технологического процесса является углубленная сушка ($t = 150^{\circ}\text{C}$) упрочненных стекол после их мойки перед склеиванием во избежание расклинивающего действия влаги, проникшей в микротрещины и последующего ослабления стекла. По полученным данным, прочность на изгиб высушенных образцов стекла в 1,3–1,6 раза (в зависимости от толщины) превышала типовую для образцов, не прошедших сушки. В ходе проведенных испытаний на прострел получены 3 типа конструкции стеклопакета (из 16 исследованных), соответствующих требованиям класса ВЗ к воздействию стрелкового оружия.

Основные выводы и результаты работы резюмируются в следующем:

1. Разработаны технологические параметры процесса упрочнения листового стекла методом ионного обмена, что позволило в 3,5–4,5 раза повысить его прочность на изгиб в зависимости от толщины.

2. Составлен и разработан технологический регламент по производству пулеустойчивых слоистых конструкций, в соответствии с которым получены стандартные образцы для испытаний;

3. Разработаны оптимальные конструкции пакета, обеспечивающие его защитные свойства по классу В3 при толщине пакета 30 мм.

4. Ведется проектная проработка промышленной установки для упрочнения листовых стекол площадью до 2 м².

ЛИТЕРАТУРА

1. Вацек М., Куиф В. Химическая обработка стекла. – М., Наука, 1974. – 101с.
2. Шабалов А.Г., Гороховский В.А., Чуриков В.Д. и др. Горизонтальная закалка листового стекла на твердых опорах // Стекло и керамика. – 1970. – № 10. – С. 23–25.
3. Богусловский И.А., Романкин А.М. Технология ионного обмена упрочнения стеклоизделий в расплавах. – Стекло и керамика. – 1983. – № 2. – С. 6–7.
4. Орлов Д.Л., Барсов Б.В., Соболев Е.В. и др. Упрочнение стекла и изделий из него методом ионного обмена // Стекло и керамика. – 1978. – № 3. – С. 2–3.

УДК 666.32:666.13/16/64

И.А. Левицкий, профессор; Ю.Г. Павлюкевич, ассистент;
Ю.С. Радченко, ассистент

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ОСНОВНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В КЕРАМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

The studies of raw materials of the Republic of Belarus has been conducted and the ceramic bodies has been synthesised on its base. The features of structure and properties of mineral raw material of the Republic of Belarus and products of their heat treatment have been revealed as a result of the executed work. The features of ceramic body formation have been established at firing of ceramic masses depending on a kind of used mineral raw material and general laws of mineralize action of iron-containing raw materials. The influence of technology factors on phase structure, parameters sintering ability and physical and mechanical properties of the ceramic body has been reseached. As a result of generalization of experimental data the scientific – technological laws of synthesis of facing ceramic materials have been revealed on the basis of nonconventional raw material and the recommendations for designing structures for manufacture of products of various purpose have been developed.

В течение последних десятилетий в керамической промышленности все шире используются энерго- и ресурсосберегающие технологии. Однако ресурсы экономии еще далеко не исчерпаны и перед разработчиками и изготовителями керамических изделий и материалов стоят задачи дальнейшего совершенствования производства с целью получения качественной, более дешевой конкурентоспособной продукции при минимальных материальных затратах.

Существующий опыт предприятий стран Западной Европы показывает, что существенно повысить эффективность производства, уменьшить себестоимость продукции, создать благоприятные условия для успешной конкуренции продукции на внутреннем и зарубежном рынках можно при разработке принципиально новых составов керамических масс на основе местного минерального сырья, внедрении новых технологий с