

УДК 666.1.039.2

Студ. С. С. Леонович

Науч. рук. ст. препод., к.т.н. А. П. Кравчук
(кафедра технологии стекла и керамики, БГТУ)

УПРОЧНЕНИЕ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ

Для защиты людей и имущества от повреждения и нападения широкое применение находят многослойные конструкции на основе листового стекла. Они способны выдерживать преднамеренные атаки различного рода.

В настоящее время предприятия республики производят стеклоизделия, предназначенные для безопасности средств наземного транспорта (триплекс), ударостойкие многослойные стекла, пуленепробиваемые стекла.

Недостатком многослойных конструкций является их большая масса, что усложняет процесс их эксплуатации. Эта проблема может быть решена путем упрочнения исходного листового стекла, используемого для получения многослойных конструкций. Применение упрочненного листового стекла позволяет уменьшить его толщину, а значит и вес при сохранении защитных свойств конструкции.

С целью повышения прочности листовых стекол используются следующие методы: химическая полировка, нанесение защитных пленок, создание сжимающих напряжений в поверхностном слое стекла в результате воздушной, жидкостной или химической закалки (ионного обмена).

Использование методов химического травления и нанесения пленок не столь эффективно, поскольку, несмотря на значительный начальный прирост прочности стекол, в последующем наблюдается существенное ее снижение при повреждении их поверхности в результате механического или химического воздействия.

Широкое распространение получила воздушная закалка. Ее достоинствами являются сравнительная простота и низкая стоимость, однако она малоэффективна при упрочнении тонких стёкол (3 мм и менее) и вызывает изменения оптических характеристик стекла (появление «закалочных пятен»), а также деформацию изделий в ходе термообработки.

Метод низкотемпературного ионного упрочнения позволяет обеспечить более высокое приращение прочности листовых стекол с толщиной менее 3 мм в сравнении с закалкой, отсутствие саморазрушения при хранении, царапании, резании и сверлении. Немаловажным

является исключение вязкой деформации стеклоизделий при химической закалке, поскольку сжимающие напряжения создаются при температурах ниже T_g .

Целью данной работы является повышение эффективности химической закалки листовых стекол и обеспечение их высокой механической прочности.

На эффективность процесса химической закалки значительное влияние оказывают следующие факторы: химический состав обрабатываемого стекла и расплава, температурно-временной режим.

В этой связи на первом этапе исследований изучалось влияние химического состава листового стекла. Выбор составов листовых стекол осуществлялся согласно следующим требованиям: удовлетворительные варочные и выработочные характеристиками, приемлемая стоимость; обеспечение необходимых оптических, физико-химических, термических и других свойств; наличие в достаточном количестве подвижных противоионов A^+ , способных обмениваться на ионы большего радиуса B^+ из внешнего ионного источника.

Этим требованиям отвечают стекла, составы которых находятся в области системы $Na_2O-K_2O-MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$, ограниченной содержанием, мас. %: SiO_2 72,8, MgO 2,7, Al_2O_3 1,2. Существенное влияние на процессы диффузии при химической закалке оказывают оксиды Na_2O , K_2O и CaO , содержание которых в составах стекол варьировались в следующих пределах соответственно, мас. %: Na_2O 13,6–18,6, K_2O 0–5,0, CaO 4,7–9,7.

Синтез опытных стекол осуществлялся в фарфоровых тиглях в газовой стекловаренной печи при температуре $1500^\circ C$ с выдержкой 1 ч. Визуальная оценка полученных образцов показала, что максимальным количеством газовых включений характеризуются стекла, содержащие 5 мас. % оксида K_2O . Это обусловлено тем, что при замене Na_2O и CaO на K_2O увеличивается высокотемпературная вязкость стекла и затрудняется осветление стекол.

Согласно результатам изучения кристаллизационной способности опытных стекол методом градиентной кристаллизации выявлено, что введение CaO и K_2O взамен Na_2O приводит к усилению кристаллизационной способности стекол. Наиболее устойчивым к кристаллизации является состав с содержанием Na_2O 18,6 мас. %.

По своим свойствам опытные стекла приближаются к листовым стеклам традиционных составов. Присутствие повышенного количества оксидов щелочных металлов в составах стекол обуславливает их закономерное снижение значений микротвердости ($H=4940-5460$ МПа), увеличение ТКЛР ($\alpha=91,1-102,4 \cdot 10^{-7} K^{-1}$). Потери массы при ки-

печении в воде стекол возрастают при замене в их составе СаО на Na_2O , K_2O , однако соответствовали 3 гидrolитическому классу.

Для упрочнения образцы опытных стекол подвергали низкотемпературной ионообменной обработке в расплаве KNO_3 при температуре 450°C с выдержкой 2 ч, после чего определяли их микротвердость и ударную вязкость.

Установлено, что микротвердость опытных стекол в результате обработки в расплаве KNO_3 увеличилась на 300–500 МПа и ударная вязкость в 2,5–3,5 раза в сравнении с исходными стеклами. При обработке стекол в расплаве KNO_3 происходит ионный обмен в поверхностном слое стекла $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{K}^+$, в результате в узком поверхностном слое стекла возникают напряжения сжатия, что обуславливает рост микротвердости и ударной вязкости стекол. Этому процессу способствует замена в составах стекол СаО и K_2O на Na_2O , что при ионообменной обработке позволяет достичь высокой концентрации ионов K^+ в поверхностном слое стекла и увеличить толщину сжатого слоя.

На втором этапе исследований для интенсификации процесса химической закалки листового стекла изменяли состав ванны расплава – взамен KNO_3 вводили K_2CO_3 в количестве 1–3 мас. %. Образцы прямоугольного сечения промышленного листового стекла состава ОАО «Гомельстекло» погружали в расплав нитрата калия KNO_3 или смесь KNO_3 и K_2CO_3 . Температура химической закалки составляла 450°C с выдержкой 3 ч.

В результате исследования механических свойств установлено, что значение ударной вязкости повышается от $1,82 \text{ кДж/м}^2$ для исходного стекла до $6,1 \text{ кДж/м}^2$ для стекол, обработанных в расплаве KNO_3 . Еще больший эффект достигается при замене в составе расплава KNO_3 на K_2CO_3 в количестве от 1 до 3 мас. %, что обеспечивает рост значений ударной вязкости стекол от $6,1$ до $9,6 \text{ кДж/м}^2$. Наличие в ванне расплава карбонат-ионов, по-видимому, повышает концентрацию активных ионов калия в расплаве из-за изменения степени диссоциации солей.

Таким образом, согласно результатам проведенных исследований эффективность химической закалки может быть увеличена в 1,5–2,0 раза путем изменения составов листовых стекол и расплава. Для существенного повышения ударной вязкости и микротвердости целесообразно минимизировать в составе обрабатываемых стекол содержание оксидов K_2O и СаО, препятствующих ионному обмену, и повысить количество Na_2O до 18,6 мас.%, а упрочнение стекол проводить в расплаве, содержащем как KNO_3 , так и K_2CO_3 в количестве 97 и 3 мас. % соответственно.