

УДК 666.1.039.2

ИОНООБМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ

М. В. ЯКОВЛЕВА, М. З. ЗИЯТДИНОВА

Научный руководитель В. Н. СИГАЕВ, д-р хим. наук, проф.

Российский химико-технологический университет

имени Д. И. Менделеева

Москва, Россия

Листовое натрий-кальций-силикатное стекло широко используется в быту благодаря прозрачности и низкой стоимости, однако его применение в различных изделиях ограничено в том числе низкой технической прочностью. Основная причина – наличие возникающих при резке и обработке поверхностных микротрещин и царапин, которые служат концентраторами напряжений. Ионнообменное упрочнение, основанное на замещении поверхностных ионов Na^+ на более крупные ионы K^+ в расплаве KNO_3 , позволяет создавать в поверхностном слое сжимающие напряжения, компенсирующие растягивающие напряжения от внешних воздействий. Эффективность упрочнения зависит от температурно-временных режимов и качества подготовки поверхности. Известны режимы и методы упрочнения листового стекла, применяемого в быту. Однако развитие техники позволяет расширить традиционное применение натрий-кальций-силикатного стекла в том числе на область фотоники. При этом точное влияние ионнообменного упрочнения на возможность и эффективность локального изменения структуры исследовано недостаточно широко, с учетом некоторого отличия в составе листовых стекол с разных производств [1]. В связи с этим представляет интерес разработка режимов ионного обмена, обеспечивающих значительное увеличение прочностных характеристик листовых стекол при сохранении прозрачности. В настоящем исследовании проведена оценка возможности упрочнения листового стекла ионнообменным методом без существенного ухудшения характеристик, влияющих на возможность локального изменения объема стекла.

В данной работе использовали промышленное флоат-стекло толщиной 2,8 мм, нарезанное на образцы $\sim 60 \times 10 \times 2,8$ мм. Для выбора оптимальной подготовки сформировали три серии: без обработки торцов, с искусственными царапинами и с двусторонней шлифовкой на станках (грубая обработка, затем на Hitech AP для формирования фасок). Ионный обмен проводили в расплаве KNO_3 при 400 °C и 450 °C с выдержкой 1, 2, 4, 8, 16 и 24 ч (для 400 °C – без 8 ч). Предел прочности при трёхточечном изгибе измеряли на машине Shimadzu AGS-X (расстояние между опорами 40 мм, скорость 1 мм/мин). Микротвердость оценивали на приборе ПМТ-3 при нагрузках 15 г (исходное стекло) и 150 г (после упрочнения). Оптическое пропускание регистрировали на спектрофотометре СФ-56 в диапазоне 200...1100 нм. Статистическую обработку проводили с расчетом доверительных интервалов для серий из 10 образцов.

Полученные данные (рис. 1) демонстрируют, что ионный обмен при 400 °С приводит к монотонному росту предела прочности при изгибе с увеличением времени: от $0,1125 \pm 0,0118$ ГПа (1 ч) до $0,2174 \pm 0,0192$ ГПа (24 ч).

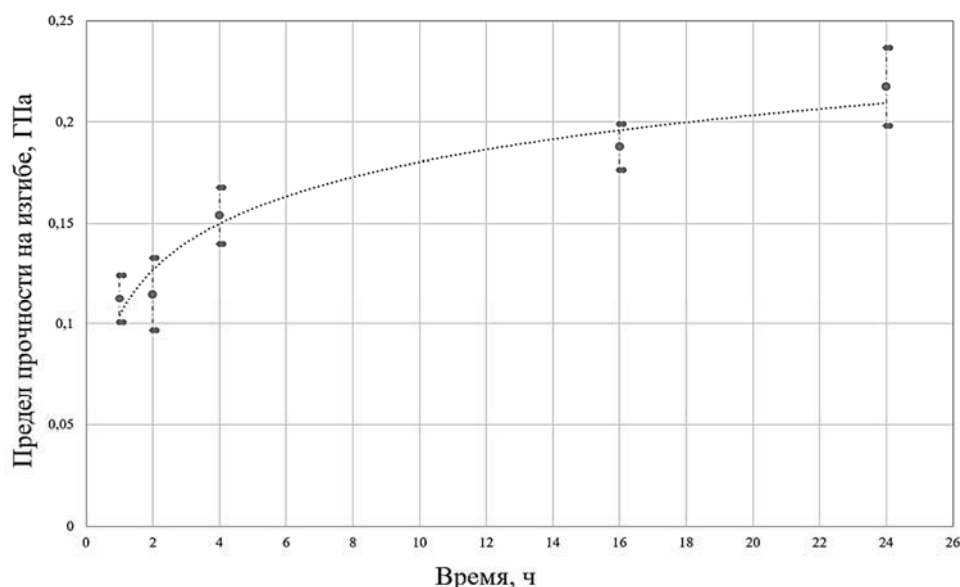


Рис. 1. Зависимость предела прочности при изгибе от времени ионного обмена при 400 °С

При 450 °С максимум достигается при 16 ч ($0,2379 \pm 0,0273$ ГПа), а при 24 ч наблюдается снижение до $0,2307 \pm 0,0405$ ГПа, что объясняется конкуренцией ускоренной диффузии и структурной релаксации, частично снимающей сжимающие напряжения. Микротвердость после упрочнения возрастает, качественно коррелируя с ростом предела прочности, что подтверждает уплотнение поверхностного слоя за счет внедрения ионов калия.

Спектрофотометрический анализ показал, что ионный обмен практически не изменяет оптическое пропускание при длине волны 515 нм: для исходного стекла светопропускание равно $90,60 \pm 0,15$ %; после обработки при 450 °С значения лежат в интервале 90,10 %...90,47 %, причем изменения находятся в пределах погрешности измерений ($\leq 0,3$ %).

Таким образом, ионообменное упрочнение позволяет существенно повысить прочность без ухудшения оптических характеристик. Это позволяет продолжить исследование возможности локального модифицирования листовых стекол для получения дешевых и функциональных изделий для фотоники. В качестве оптимального режима ионного обмена принят режим при 450 °С в течение 8 ч.

Работа выполняется в рамках ГЗ 2026–2028 по теме «Микро- и наномодифицирование структуры оксидных стекол для новых приложений в информационных технологиях, фотонике, микроэлектронике».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Yamane, M.** Glasses for photonics / M. Yamane, Y. Asahara // Cambridge University Press. – 2000.