

УДК 621.7

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ СТЕКЛА

Ширтанов М.С., студент 2 курса инженерного факультета  
 Научный руководитель - к.т.н., доцент Яковлев С.А.  
 ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

**Ключевые слова:** стекло, термически упрочненное стекло, химически упрочненное стекло.

В данной работе проведен анализ структуры стекла, технологии упрочнения стекла различными способами.

Стеклопесочной структуре очень хрупкое и очень легко, неконтролируемо разрушается на множество острых осколков, которые являются травмоопасными, поэтому обычно стекло редко применяется в нашем жилище и все чаще создаем технологии, которые направлены на упрочнение стекла [1]. Упрочненное стекло применяется в автомобилестроении, при производстве самолетов, кораблей и прочей техники, при строительстве зданий [2]. Основные способы упрочнения силикатного стекла представлены на рисунке.



**Рис. – Основные способы упрочнения силикатного стекла**

Закалка, используемая для упрочнения сплавов из черных и цветных металлов [2...8], и для стекла является наиболее распространенным методом упрочнения и состоит в создании постоянных внутренних напряжений путем охлаждения материала от температур,

превышающих температуру стеклования, при которых стекло обладает пластичными свойствами. При быстром охлаждении размягченного стекла сначала затвердевают наружные слои, в то время как во внутренних слоях сохраняется высокая температура. С увеличением интенсивности охлаждения, образующиеся в нем сжимающие напряжения возрастают. Эффективность применения закалки зависит от химического состава стекла, толщины и геометрии изделия и температурно-временных условий охлаждения стеклянных изделий. После закалки стекла, его прочность на удар возрастает в 10 раз, а прочность на изгиб, более чем в 5 раз, чем у обычного стекла, до термоупрочнения.

Химическое упрочнение стекла (ионообменный метод упрочнения) основан на технологии ионного обмена, который заключается в вытеснении ионов щелочных металлов из поверхностного слоя нагретого пластичного стекла ионами других щелочных металлов. Для этого стекло погружают в расплав соли диффундирующего щелочного металла при температуре ниже высшей температуры отжига с тем, чтобы возникающие напряжения не релаксировали, но сохранялись в стекле. Ионный обмен может быть низкотемпературным, высокотемпературным и комбинированным (двойным).

При низкотемпературном ионном обмене (температура расплава 420 °С) щелочные ионы в поверхностном слое стекла замещаются щелочными ионами с большим ионным радиусом. Это приводит к возрастанию механической прочности стекла в 6 - 8 раз, а термостойкости в 1,5—2 раза.

При высокотемпературном ионном обмене (температура расплава 620 °С) щелочные ионы в поверхностном слое стекла в противоположность низкотемпературному процессу замещаются щелочными ионами с меньшим ионным радиусом. В связи с тем, что толщина сжатого слоя при высокотемпературном ионном обмене больше, чем при низкотемпературном, упрочнение в этом случае может быть 10 -12-кратным.

Комбинированный метод упрочнения стекла довольно широко известен производителям. Существует несколько его видов, основным методом и получившим практическую реализацию можно отнести термofизический способ – травление с последующей закалкой. Дополнительное травление закаленного стекла приводит, к резкому повышению

его прочности. Второй метод, это ионный обмен с последующим травлением и последний, закалка с последующим ионным обменом.

Химически упрочненное стекло в сравнении с термическим имеет улучшенную ударопрочность, гибкость и прочность, стойкость к царапинам и устойчивость к изменениям температуры.

Существует два принципиально различных пути повышения конструкционной прочности стекла. Первый из них предусматривает усовершенствование конструирования элементов остекления, второй - использование для изготовления ИКО высокопрочных стекол.

Опыт эксплуатации конструкций из стекла показывает, что наиболее неблагоприятной с точки зрения напряженно-деформированного состояния является зона сопряжения разнородных элементов. Совместное деформирование стекла и заделки приводит к возникновению высоких напряжений разных. Повышения работоспособности узла соединения, а тем самым и конструкции в целом, можно достичь: вынесением края стекла за зону возникновения опасных напряжений; использованием составных элементов заделки равной жесткости; созданием заделки, элементы которой деформируются под нагрузкой независимо друг от друга; повышением точности формования опорных поверхностей; использованием деформируемых прокладок.

#### **Библиографический список:**

1. Морозов, А.В. *Материаловедение: лабораторный практикум* / А.В. Морозов, С.А. Яковлев. - Ульяновск: УлГАУ, 2019. -152 с.
2. Морозов, А.В. *Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов* / А.В. Морозов, С.А. Яковлев, Н.И. Шамуков, – Ульяновск: УлГАУ, 2021.- 186 с.
3. Яковлев, С.А. *Результаты исследований износостойкости деталей после антифрикционной электромеханической обработки* / С.А. Яковлев // *Вестник УГСХА.* – Ульяновск : УГСХА, 2011. – № 3. – С. 116–120.
4. Яковлев, С.А. *Влияние электрофизических параметров электромеханической обработки на ее технологические особенности* / С.А. Яковлев, Н.П. Каняев // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* - 2012. – № 3. – С. 130–134.
5. Яковлев, С.А. *Влияние режимов электромеханической обработки на структуру и свойства поверхности стальных деталей* / С.А.

Яковлев, Н.П. Каняев // Ремонт, восстановление, модернизация.– 2013. – № 8. – С. 44–49.

6. Яковлев, С.А. Обоснование параметров электромеханической обработки деталей машин на металлорежущих станках / С.А. Яковлев // СТИН. – 2014. – № 2. – С. 37–42.

7. Yakovlev, S.A. Electromechanical hardening of VT22 titanium alloy in screw-cutting lathes / S.A. Yakovlev, M.M. Zamal'dinov, Y.V. Nuretdinova, A.L. Mishanin, V.N. Igonin, M.V. Sotnikov, V.V. Khabarova // Russian Engineering Research. 2018. Т. 38. № 6. Page. 488-490.

8. Яковлев, С.А. Влияние электромеханической обработки на структуру и твердость титанового сплава ВТ22 / С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, Л.Г Татаров // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2017. -Т. 13. № 10(154). - С. 464-467.

## ANALYSIS OF GLASS HARDENING TECHNOLOGY

**M. S. Shirtanov**

**Keywords:** *glass, thermally hardened glass, chemically hardened glass.*

*The paper analyzes the structure of glass, the technology of glass hardening in various ways is carried out.*