



Рисунок 2 – Зависимость величины коэффициента трения от состава многокомпонентного вакуумно-дугового покрытия

УДК 621.793

Терещук О.И., Комаровская В.М.,
Латушкина С.Д., Гладкий В.Ю.

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ
МИНИМИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ
ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА**

БНТУ, Минск

Изделия из стекла заняли прочное место во многих сферах деятельности человека: волоконнооптические линии связи, кабели которого изготовлены из высокопрозрачного и высокопрочного кварцевого стекла; дисплеи смартфоном, планшетов, телевизоров, при изготовлении которых требуются высокие показатели микротвердости; диски для записи и хранения информации и др.

Расширяющееся практическое использование упрочненных стекол определяет необходимость непрерывного совершенствования

способов упрочнения стекла. Основными методами упрочнения стекла являются:

1. Создание сжимающих напряжений в поверхностных слоях стекла: закалка стекла; ионный обмен; нанесение глазурей (ламинирование); поверхностная кристаллизация.

2. Методы поверхностного упрочнения стекла: удаление дефектного поверхностного слоя травлением стекла; огненная полировка стекла; нанесение химически связанных с поверхностью стекла неорганических оксидных или полимерных (силиконовых) покрытий [1].

Создание сжимающих напряжений в поверхностных слоях стекла. Закалка является наиболее распространенным методом упрочнения стекла и состоит в создании постоянных внутренних напряжений путем охлаждения материала от температур, превышающих температуру стеклования, при которых стекло обладает пластичными свойствами.

Важным достоинством закаленного стекла является то, что оно безопасно по отношению к человеку в момент своего разрушения (образуется множество мелких безопасных осколков).

Существенным недостатком закалки является низкая эффективность упрочнения для тонкостенных изделий. Другой значительный недостаток этого метода заключается в том, что при закалке во внутренних слоях стеклянных изделий формируются значительные растягивающие напряжения. В некоторых случаях они могут приводить к самопроизвольному разрушению изделия.

Ионный обмен. В основе наиболее распространенного ионообменного метода упрочнения стекла лежит процесс обмена щелочными ионами между стеклянной поверхностью и расплавом при температурах ниже интервала стеклования. При этом происходит ионообменное замещение щелочных ионов маленького радиуса, исходно присутствовавших в стекле (например, ионов натрия), на ионы большего радиуса из солевого расплава (например, ионы калия).

Поверхностные слои стекла стремятся расшириться, однако этому препятствуют внутренние слои материала.

В результате в поверхностных слоях стекла формируются сжимающие, а во внутренних слоях – растягивающие напряжения.

Обычно ионообменная обработка позволяет создавать в поверхностном слое сжимающие напряжения, величина которых составляет 45–690 МПа. В специальных стеклах абсолютные величины сжимающих напряжений, создающихся при ионном обмене, могут достигать огромных величин (до 1 ГПа). Поэтому упрочняющий эффект, достигаемый ионообменным способом, может быть очень высок.

К числу недостатков метода ионообменного упрочнения стекла относится то, что эффективность его использования сильно зависит от диффузионной подвижности обменивающихся ионов, которая определяется химическим составом стеклообразного материала, температурой и типом обменивающихся ионов. Поэтому эффективность ионообменного метода упрочнения для многих типов стекол невелика [3].

Метод ламинирования основан на нанесении на поверхность упрочняемого стекла слоя стеклообразной глазури, характеризующейся меньшим, по сравнению с упрочняемым стеклом, коэффициентом термического расширения. После нанесения глазурного слоя, при охлаждении стеклоизделия из-за разницы в коэффициентах термического расширения происходит образование напряжений сжатия в глазурном слое и напряжений растяжения в объеме стеклоизделия.

К числу достоинств этого метода относятся его простота и отсутствие специфических требований по химическому составу упрочняемого стекла (например, заметного содержания щелочных окислов к составу стекла, как это необходимо при ионообменном упрочнении). Этот метод не требует привлечения больших инвестиций и может быть использован в массовом производстве стеклоизделий.

Недостатками метода глазурования является его неполная универсальность – глазурь, разработанная и успешно используемая для упрочнения стеклоизделий определенного химического состава, не может быть автоматически использована для упрочнения стекол других составов. Другим существенным недостатком этого метода упрочнения является существенное изменение рельефа поверхности стеклоизделия и изменение его оптических свойств [1].

Упрочнение стекла поверхностной кристаллизацией. При таком упрочнении в процессе кристаллизации при повышенных

температурах (близких к температурному интервалу размягчения стекла) выделяются кристаллы, которые имеют меньший коэффициент термического расширения, чем исходные стекла. Процесс кристаллизации аморфного материала может начинаться с поверхности и, при надлежащем контроле, может быть ограничен тонким приповерхностным слоем. В результате охлаждения в поверхностном слое стеклянного изделия формируются значительные по величине сжимающие напряжения, приводящие к увеличению прочности стеклянного изделия.

Этот метод упрочнения применим только для ограниченного диапазона составов стекол. В зависимости от химического состава стекла и условий термической обработки поверхностный слой упрочненного материала может быть как прозрачным, так и опалово-мутным.

Методы поверхностного упрочнения стекла.

Механическая полировка. Механически полированное стекло, полученное путем шлифования и полирования, имеет прочность 50–150 МПа. Верхний уровень определяют визуально невидимые дефекты, находящиеся под полированной поверхностью.

При правильной организации процесса шлифовки-полировки прочность повышается до 200–400 МПа. Для этого технологические параметры шлифовки должны быть такими, чтобы нижняя граница дефектного слоя, создающаяся данной фракцией абразива, не превышала дефектного слоя предыдущей фракции.

Прочность механически полированного стекла определяется также его составом и упругими свойствами; с повышением твердости (жесткости) стекла наблюдается тенденция к ее снижению, что является недостатком данного метода упрочнения [1].

Удаление поверхностного слоя травлением стекла. Данный метод состоит в удалении дефектного поверхностного слоя путем его растворения в специальных растворах, например, водных растворах фтористоводородной кислоты.

Процесс травления позволяет значительно увеличить прочность стеклянных изделий. Этот способ упрочнения стекла характеризуется технологической простотой и дешевизной. Упрочняемое изделие погружают в ванну с раствором фтористоводородной кислоты,

выдерживают там, в течение определенного времени, после чего изделие извлекают, промывают водой и сушат.

Толщина стравленного слоя, приводящая к наибольшему повышению прочности, зависит от дефектности поверхности и может изменяться от 5 до 500 мкм. При этом процесс «удаления» поверхностных дефектов сопровождается процессом «вывода» на поверхность внутренних дефектов.

Среди недостатков метода выделяют его токсичность для окружающей среды и человека, повышенной чувствительности полученной поверхности к механическим воздействиям, а также ухудшением оптических свойств [1].

Огненная полировка поверхности стекла. Метод огненной полировки состоит в быстром нагреве поверхности стекла вплоть до его размягчения под воздействием локального внешнего источника тепла, например пламени газовой горелки. Под действием сил поверхностного натяжения происходит «сглаживание» поверхностных дефектов, заплывание микротрещин. Нагрев стимулирует восстановление разорванных химических связей в поверхностных микродефектах и трещинах, приводя к увеличению прочности материала.

Среди недостатков стоит отметить опасность деформации изделия при использовании данного метода, а также трудность его использования при упрочнении прецизионных деталей из стекла.

Упрочняющие оксидные покрытия формируются путем осаждения на горячую поверхность стекла из паров или аэрозолей соединений таких металлов, как Sn, Ti, Al и других.

Достоинством данного метода является возможность встраивать оборудование для осуществления данного метода непосредственно в производственную линию массового выпуска стеклянных изделий, а также низкая стоимость получаемых покрытий.

Серьезным недостатком метода является малая толщина упрочняющих покрытий. Соответственно, использование упрочняющих оксидных покрытий позволяет увеличить существенно устойчивость поверхности стекла к абразивному воздействию, однако упрочняющий эффект этих покрытий на стойкость стекла к иным видам механических воздействий, например, к удару, невелик [1].

В заключении можно сделать вывод об успешном развитии и использовании методов поверхностного упрочнения стекол, каждый из которых обладает своими весомыми как достоинствами, так и недостатками. Следовательно, дальнейшее улучшение и разработка новых методов упрочнения является перспективной и необходимой задачей для данной сферы промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никоноров, Н.В. Оптическое материаловедение: основы прочности оптического стекла / Н.В. Никоноров, С.К. Евстропьев. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009 г. – 102 с.
2. Химическая технология стекла и ситаллов / под. ред. Н.М. Павлушкина. – М.: Стройиздат, 1983 г. – 432 с.
3. Бутаев, А.М., Прочность стекла. Ионнообменное упрочнение / А.М. Бутаев. – Махачкала: ДГУ, 1997 г. – 133 с.

УДК 621.78.001, 621.794.6

Шматов А.А., Колбасенко О.М.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ В ГИДРОЗОЛЕ РЕЧНОГО ПЕСКА

БНТУ, Минск

Целью данной работы явилось компьютерное моделирование методом многомерного синтеза технологии термогидрохимической обработки (ТГХО) стали У8 в гидрозоле речного песка для нанесения твердосмазочного покрытия повышенной износостойкости.

Для достижения данной цели сталь У8 подвергали гидрохимической обработке в кипящей вододисперсной среде на основе речного песка и ПАВ в течение 40–70 минут с последующим отпуском при температуре 180–230 °С. В результате обработки на поверхности стали У8 формируются твердосмазочные покрытия на базе речного песка с наилучшими антифрикционными свойствами.