УДК 624.075.22 + 666.1

Е.А. Гридасова, О.Н. Любимова
ДВФУ

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СОЗДАНИЯ СТЕКЛОМЕТАЛЛОКОМПОЗИТНОГО СТЕРЖНЯ

В данной работе приводятся основные предположения о факторах упрочнения стекла при создании композиционного материала методом диффузионной сварки с металлом, основные результаты исследования диффузионной зоны и результаты проведенных испытаний композиционного материала.

Ключевые слова: композиционный материал, стеклометаллокомпозит, стержень.

Современное развитие строительной промышленности предъявляет высокие требования к строительным материалам, которые должны объединять высокие технико-эксплуатационные свойства, технологичность изготовления и низкую себестоимость производства. В ряде конструкций оптимальные эксплуатационные свойства можно получить лишь при условии применения составных или комбинированных узлов из разнородных материалов, например, слоистых композитов. Из таких материалов изготавливается не вся конструкция, а лишь те участки, которые испытывают воздействие силовых нагрузок, температур или агрессивных сред. Неограниченные сырьевые ресурсы, высокая теоретическая прочность и химическая инертность стекла определяют актуальность использования стекла при создании композиционных материалов для конструкций ответственного назначения.

При различных видах деформации стекло ведет себя по-разному, обладая сравнительно высокой прочностью при сжатии и низкой при ударе. Прочность стекол при сжатии значительно выше, чем при растяжении и лежит в интервале 500…1250 МПа, т.е. при работе на сжатие стекло может конкурировать с металлом, в то же время предел прочности стекла при растяжении значительно меньше — примерно 30…50 МПа. Связано это с тем, что прочность стекла в значительной степени зависит от состояния его поверхности. Наиболее известными методами упрочнения стекла являются: метод создания сжимающих напряжений в поверхностных слоях стекла (закалка стекла, ионный обмен, нанесение глазурей и поверхностная кристаллизация) и метод поверхностного упрочнения (механическая полировка, удаление дефектного поверхностного слоя травлением стекла, огненная полировка и нанесение защитных покрытий) [1].

На базе Дальневосточного федерального университета проводятся исследования способов повышения прочности стекла, которые объединяли бы оба метода, т.е. были бы созданы сжимающие напряжения, препятствующие растрескиванию поверхностного слоя, и упрочнена поверхность, что повысит стойкость к механическому воздействию и изолирует от воздействия окружающей среды [2—5]. Одним из результатов проводимых исследований является создание стержня, полученного методом диффузионной сварки стекла марки С49-1 (3С5Na) со сталью Ст3сп. Способ диффузионной сварки на современной стадии развития позволяет решить ряд сложных технических проблем, а именно не требует дорогостоящих припоев, специальной сварочной проволоки, электродов, отсутствуют дополнительные потери металла, вес конструкции не увеличивается, снижаются эксплуатационные расходы, что позволяет создать новые образцы изделий различного назначения.

На данный момент не существует общепризнанной теории формирования неразъемных соединений из стекла и металлов методом диффузионной сварки. Можно

© Гридасова Е.А., Любимова О.Н., 2012

выделить некоторые из известных теорий: дендритную, электрохимическую, теорию оксидного соединения и наиболее распространенную — теорию топохимических реакций. Ни одна из них полностью не объясняет все процессы, протекающие при диффузионной сварке стекла с разными металлами. Поэтому были сделаны следующие предположения о характере диффузионных процессов при сварке стекла со сталью и о факторах, позволяющих упрочнить стекло в процессе диффузионной сварки:

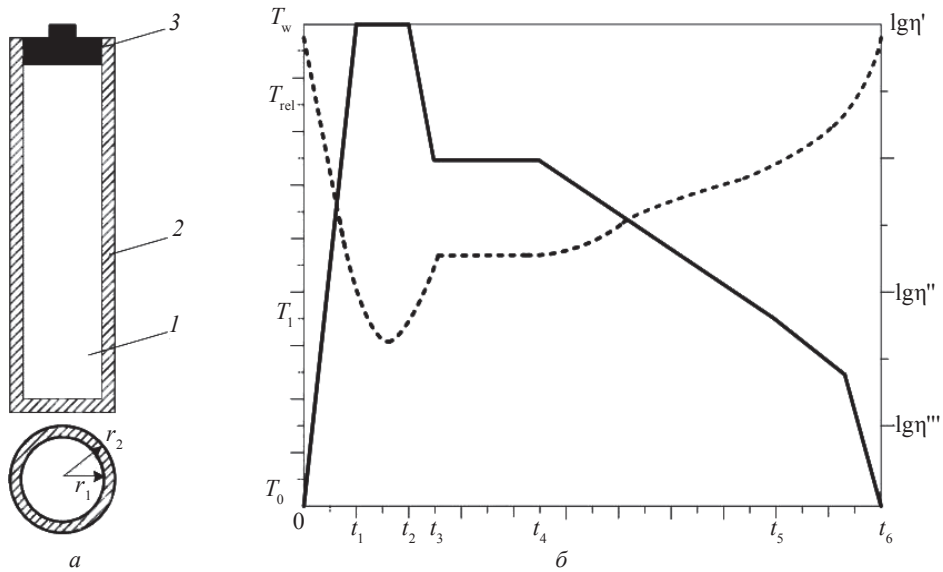
диффузионный слой формируется за счет растворения оксидной пленки стали в стекле в процессе сварки;

диффузионный слой изначально будет стеклом, насыщенным катионами Fe, при определенных концентрациях Fe в этом слое могут образовываться кристаллические фазы;

диффузионный слой имеет коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР), промежуточный между КЛТР исходных материалов, что позволяет минимизировать эффект несогласованности. Это предположение сделано на основании того, что с уменьшением содержания окисла кремния КЛТР стекол повышается;

за счет разницы коэффициентов температурного расширения и геометрии в процессе сварки сталь обжимает стекло, и в стекле формируются напряжения сжатия.

Из стекла марки С49-1 (3С5Na) и стали Ст3сп были изготовлены образцы, геометрия которых схематически изображена на рис. 1, *а*, по режиму, представленному на рис. 1, *б*. Технологический режим разбивается на шесть этапов [6]: нагрев, выдержка при температуре сварки T_w, охлаждение до температуры отжига T_{rel}, отжиг, ответственное охлаждение до температуры T_1, быстрое охлаждение до температуры среды T_0.

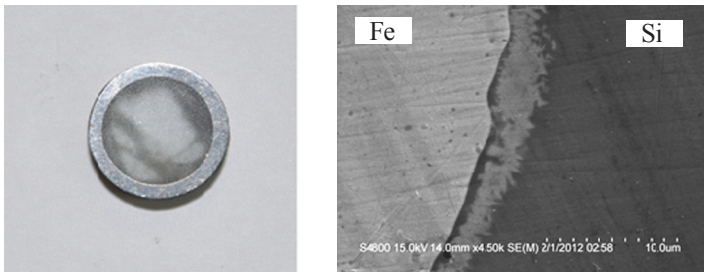


а *б*

Рис. 1. Схематическое изображение сборки (*а*): *1* — стеклянный стержень; *2* — внешний металлический стакан; *3* — подвижная крышка, выполнена из материала внешней оболочки с возможностью для поступательного движения вдоль продольной оси стакана 2; температурный режим сварки (*б*): *T* — температура; lg η — логарифм динамической вязкости стекла

На рис. 2, *а* показан элемент, вырезанный из образца. После механической резки образцов внутри стекло было без видимых дефектов, отдельные трещины явились результатом самой механической резки. После полировки и анализа приграничной зоны образцов также не было обнаружено видимых трещин и пустот в зоне соединения с металлом и внутри самого стекла. Анализ микрошлифов соединения показал

наличие полного контакта без трещин и непроваров по зоне соединения. В сварной зоне при микроскопическом исследовании среза (рис. 2, *б*) выявлена переходная зона (светлая полоса в стекле), которая свидетельствует о развитии взаимодействия на границе контакта. Результаты спектрального анализа говорят о глубине проникновения катионов Fe в стекло на глубину до 30 мкм. Исходя из проведенного химического анализа диффузионной зоны, можно предположить, что в светлой зоне в стекле (2…3 мкм) происходит образование кристаллической структуры — фаялита (Fe_2SiO_4). Одним из результатов проводимого исследования является получение сварного соединения рассматриваемых материалов и обнаружение переходной зоны кристаллической структуры. Дальнейшие исследования переходной зоны являются самостоятельной актуальной проблемой.

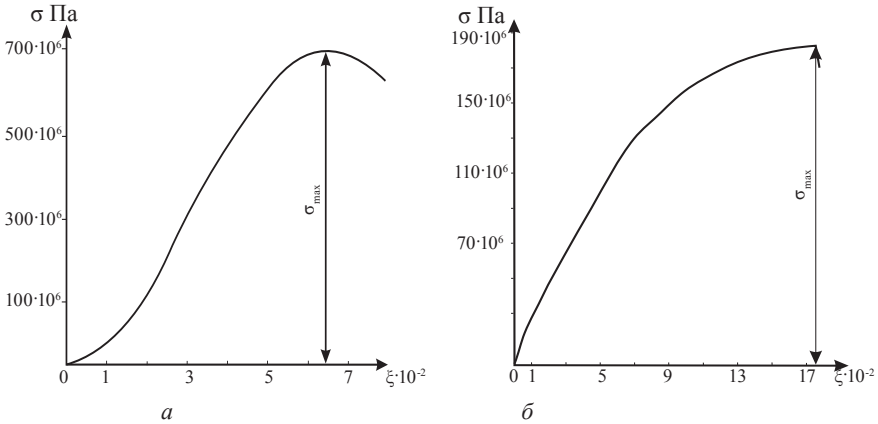


а *б*

Рис. 2. Фотографии поперечного сечения образца (*а*), зоны сварного соединения стекла и металла (*б*)

Одной из основных задач настоящей работы являлось экспериментальное определение реальных прочностных характеристик изготовленного стержня. Механические свойства определялись по результатам статических механических испытаний (испытание на растяжение и сжатие) стандартных образцов материалов. Для проведения механических испытаний в соответствии с руководствами по механическим испытаниям были изготовлены образцы трех видов из следующих материалов: углеродистой стали марки Ст3сп, стеклометаллокомпозитного материала и химико-лабораторного стекла марки С49-1 (3С-5Na).

Диаграммы растяжения (рис. 3, *а*) и сжатия (рис. 3, *б*) стеклометаллокомпозитного стержня схожи с диаграммами таких материалов, как чугун, керамика, неорганическое стекло, и его разрушение происходит практически при отсутствии пластических деформаций, что обусловливается хрупкостью образца.



а *б*

Рис. 3. Диаграммы растяжения (*а*) и сжатия (*б*)

В таблице представлены результаты проведенных испытаний, статические испытания проводились с варьированием:

1) состояния соединяемых материалов (столбец «образец») — С49-1-С3сп, С49-1, стержень, стеклянный песок;

2) наличия открытых торцов (столбец «способ изготовления»).

Основные результаты испытаний

№	Образец	Способ изготовления	Вид нагружения	$\sigma_в$, МПа
1	С49-1-Ст3сп	Сварка торцы закрыты	Растяжение	155 164 190
2	С49-1-Ст3сп	Обжатие	Растяжение	121
3	С49-1-Ст3сп	Сварка торцы закрыты	Сжатие	607 644 663 667 679
4	С49-1-Ст3сп	Обжатие торцы закрыты	Сжатие	234 241 321 180
5	С49-1-Ст3сп	Обжатие торцы открыты	Сжатие	227
6	С49-1 (стержень)	—	Сжатие	55
7	С49-1 (стеклянный песок)	Торцы закрыты	Сжатие	93

Анализ прочностных характеристик полученного стержня позволяет сделать следующие выводы: стеклометаллокомпозитный стержень обладает высокой прочностью на сжатие, при этом его вес почти на 50 % меньше веса аналогичного металлического стержня, поэтому, учитывая простоту технологии изготовления, возможно применение полученного композиционного материала в отдельных узлах конструктивных элементов. Кроме того, можно предположить, что продолжение исследований, тщательная и упорная технологическая отработка выше рассмотренного приема упрочнения стекла металлом позволит повысить прочностные характеристики предлагаемого материала.

Библиографический список

1. *Никоноров Н.В., Евстропьев С.К.* Оптическое материаловедение: основы прочности оптического стекла. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. 102 с.

2. *Пикуль В.В.* Способ изготовления цилиндрической оболочки прочного корпуса подводного аппарата. Патент РФ № 2337036. Бюлл. изобр. 2008. № 30.

3. *Пикуль В.В.* Способ изготовления стеклометаллокомпозита. Патент РФ № 2304117. Опубл. 10.08.2007. Бюлл. изобр. № 22.

4. Способ изготовления стеклометаллокомпозита / Е.А. Гридасова, О.Н. Любимова, К.Н. Пестов, Г.Л. Каяк. Патент № 2428388 РФ, МПК С03С 27/02. №2009149790/03; Заяв. 31.12.2009; Опубл. 10.09.2011, Бюлл. № 25. 6 с.

5. Способ изготовления стеклометаллокомпозита / Е.А. Гридасова, О.Н. Любимова, К.Н. Пестов, Г.Л. Каяк. Патент № 2428389 РФ, МПК С03С 27/02. №2009149794; Заяв. 31.12.2009; Опубл. 10.09.2011, Бюлл. № 25. 6 с.

6. *Любимова О.Н., Гридасова Е.А.* Метод упрочнения стекла при диффузионной сварке его с металлом // Сварка и диагностика материалов. 2010. № 6. С. 31—45.

Поступила в редакцию в июне 2012 г.

Об авторах: **Гридасова Екатерина Александровна** — ассистент кафедры механики и математического моделирования, **Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ)**, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова д. 8, (423) 226-41-34, olvin@list.ru;

Любимова Ольга Николаевна — доцент кафедры механики и математического моделирования, **Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ)**, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8, berms@mail.ru.

Для цитирования: *Гридасова Е.А., Любимова О.Н.* Практические результаты создания стеклометаллокомпозитного стержня // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 136—140.

E.A. Gridasova, O.N. Lyubimova

GENERATION OF A COMPOSITE GLASS-METAL ROD: PRACTICAL RESULTS

Glass has a high compressive strength and low impact strength. The strength of glass in compression is a lot higher than the strength of glass in tension, and it varies within the range of 500—1,250 MPa. Whenever the glass is in compression, it can compete with the properties of metal in terms of its strength. The tensile strength of glass under tension is 30—50 MPa. The reason for that is the fact that the strength of glass is strongly dependent on the state of its surface.

Methods of increasing the strength of glass have been the subject of research projects implemented at Far Eastern Federal University. The objective is to apply compressive stresses that would prevent any defects in the surface layer and harden the surface to improve the glass resistance to mechanical stresses and isolate it from the environment.

Creation of a composite rod made of glass grade C49-1 (3C5Na) and steel E235C (ISO standard) manufactured through the employment of diffusion bonding represents a practical result of the research. Its analysis has proven the presence of full contact, absence of cracks and poor penetration alongside the welding zone. Microscopy methods of analysis have demonstrated the presence of the transition zone in the points of interface of materials. The results of the spectral analysis prove the penetration of Fe-cations into the glass down to the depth of 30 microns. The chemical analysis of the zone of diffusion proves that the crystalline structure, or fayalite (Fe_2SiO_4), is formed in the glass. The rod strength analysis has demonstrated its high compressive strength (700 MPa), while its weight is equal to 50 % of the weight of a metal rod of the same size.

Key words: composite, glass-metal composite, rod.

References

1. Nikonorov N.V., Evstrop'ev S.K. *Opticheskoe materialovedenie: osnovy prochnosti opticheskogo stekla* [Optical Material Engineering: Fundamentals of Optical Glass Strength]. St.Petersburg. SPbGU ITMO Publ., 2009, 102 p.

2. Pikul' V.V *Sposob izgotovleniya tsilindricheskoy obolochki prochnogo korpusa podvodnogo apparata* [Method of Manufacturing of the Cylinder-shaped Shell of a High-Strength Hull of a Submersible Craft]. RF Patent № 2337036. Publ. 27.10.2008. Bulletin 30.

3. Pikul' V.V. *Sposob izgotovleniya steklometallokompozita* [Method of Manufacturing of Composite Glass and Metal Material]. RF Patent № 2304117. Publ. 08.10.2007. Bulletin 22.

4. Gridasova E.A., Lyubimova O.N., Pestov K.N., Kayak G.L. *Sposob izgotovleniya steklometallokompozita* [Method of Manufacturing of a Composite Glass and Metal Material]. RF Patent № 2428388. Publ.10.09.2011. Bull. № 25.

5. Gridasova E.A., Lyubimova O.N., Pestov K.N., Kayak G.L. *Sposob izgotovleniya steklometallokompozita* [Method of Manufacturing of a Composite Glass and Metal Material]. RF Patent № 2428389. Publ.10.09.2011. Bull. № 25.

6. Lyubimova O. N., Gridasova E.A. *Metod uprochneniya stekla pri diffuzionnoy svarke ego s metallom* [Method of Glass Strengthening by Diffusion Welding to the Metal]. *Svarka i diagnostika materialov* [Welding and Diagnostics of Materials]. Moscow, no. 6, 2010, pp. 31—45.

About the authors: **Gridasova Ekaterina Alexandrovna** — Assistant Lecturer, Department of Mechanics and Mathematical Modeling, **Far Eastern Federal University (FEFU)**, 8 Sukhanova St., Vladivostok, 690950, Russian Federation; olvin@list.ru;

Lyubimova Olga Nikolaevna — Associated Professor, Department of Mechanics and Mathematical Modeling, **Far Eastern Federal University (FEFU)**, 8 Sukhanova St., Vladivostok, 690950, Russian Federation; berms@mail.ru.

For citation: Gridasova E.A., Lyubimova O.N. Prakticheskie rezul'taty sozdaniya steklometallokompozitnogo sterzhnya [Generation of a Composite Glass-metal Rod: Practical Results]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 7, pp. 136—140.