

УДК 681.7.024.2

DOI:10.17586/1023-5086-2018-85-10-61-63

## Влияние состояния оптических поверхностей перед склеиванием на прочность оптических сборок

© 2018 г. **Д. Ю. Кручинин, канд. техн. наук, Е. П. Фарафонтова, канд. техн. наук**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: klip3@mail.ru

Поступила в редакцию 25.05.2017

---

Рассмотрены проблемные вопросы, связанные с подготовкой поверхностей оптических деталей перед склеиванием и влиянием состояния этих поверхностей на прочность оптическихборок.

**Ключевые слова:** склеивание, клеевое соединение, прочность при равномерном отрыве, подготовка поверхности, гидромеханический способ.

**Коды OCIS:** 220.4610.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Основным способом соединения оптических деталей является склеивание [1]. Наиболее часто для склеивания применяются эпоксидные оптические клеи ОК-72ФТ5 и ОК-72ФТ15 [1, 2]. Клеи предназначены для склеивания оптических деталей приборов, изготовленных из неорганических стёкол всех типов, керамики, кристаллов и металлов, к которым предъявляются повышенные требования по прочности склеивания, влагостойкости, а также вибро- и ударопрочности, работающих в разнообразных климатических условиях.

Одной из наиболее важных характеристик клеевого соединения является прочность при равномерном отрыве [3, 4], которая во многом определяет эксплуатационные свойства изделия. Прочность соединений, изготовленных с помощью клеев ОК72ФТ, зависит от продолжительности выдержки после склеивания, от толщины слоя клея, от интервала времени между окончанием приготовления клея и нанесением его на склеиваемую поверхность, от шероховатости поверхности [5], от содержания диоксида кремния в стекле [6]. Также в этих работах упоминается важность адгезии клея и стекла.

Какими адгезионными свойствами должна обладать поверхность стекла перед склеиванием? Сложно дать однозначный ответ на этот вопрос. Чистая поверхность силикатного стекла, в том

числе и стекла К8, обладает гидрофильными свойствами. В [6] указывается, что прочность клеевого соединения тем выше, чем больше гидроксильных групп находится на поверхности стекла. Из этого следует, что для повышения прочности соединения поверхность стекла должна обладать гидрофильными свойствами. Также известно, что в фотолитографических технологиях, в том числе и в технологиях изготовления оптических шкал, для создания хорошего сцепления плёнок органических фоторезистов с поверхностью стеклянных подложек их обрабатывают гексаметилдисилазаном (ГМДС) с целью изменения состояния поверхности с гидрофильного на гидрофобное [7, 8]. Основным компонентом клеев ОК72ФТ является органическая смола ЭД-20. Следовательно, адгезия эпоксидных клеев и гидрофобных поверхностей может быть достаточно высокой.

Каким образом готовятся поверхности оптических деталей к склеиванию? В стандарте [9] рассмотрены технологии промывки. Эти технологии завершаются операцией обработки оптических деталей в растворах, содержащих поверхностно-активные вещества. Это означает, что после промывки поверхности деталей обладают гидрофобными свойствами. В стандартах [10, 11] рекомендуется склеивание производить в соответствии со стандартом [12]. В свою очередь, указанный стандарт рекомендует пользоваться другим стандартом [13].

Этим же стандартом рекомендуется пользоваться при подготовке к склеиванию в стандарте [14]. Чистка, предусмотренная в стандарте [13], не ставит целью создание какого-либо состояния поверхности стекла. Материалы, предлагаемые для чистки, как жидкости, так и протирочные материалы, не только не могут обеспечить создание гидрофильного состояния, но сами могут стать причиной появления гидрофобного состояния поверхности. По-видимому, задачей чистки является в данном случае удаление видимых загрязнений. В [1] также предлагается для чистки поверхности перед склеиванием использовать батистовые салфетки и смесь этилового спирта и петролейного эфира. При этом ничего не сообщается о состоянии очищенной поверхности. Для подготовки поверхностей перед склеиванием хорошо зарекомендовал себя гидромеханический способ [15, 16], при котором в процессе центрифугирования механическое воздействие совмещается с воздействием неорганической чистящей жидкости. Этот способ в условиях чистых помещений позволяет получать высокое качество очистки при сохранении высоких классов чистоты полированных поверхностей. Также указанный способ позволяет гарантированно получать поверхности, обладающие гидрофильными свойствами. Но в этих работах не рассматривалось влияние состояния поверхностей на прочность клеевого соединения.

Таким образом, можно сказать, что вопросам подготовки поверхностей оптических деталей перед склеиванием не уделяется должного внимания. Основной задачей подготовки оптических деталей является удаление видимых загрязнений. Состояние поверхностей после подготовки не контролируется, влияние его на прочность клеевого соединения не установлено. Задачей исследования является определить влияние состояния поверхностей оптических деталей перед склеиванием на прочность при равномерном отрыве клеевых соединений, созданных с помощью клеев ОК72ФТ5 и ОК72ФТ15.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Контроль прочности при равномерном отрыве клеевых соединений проводился в соответствии с [10, 11]. Каждое испытание проводилось на не менее, чем пяти образцах. Образцы были изготовлены из стекла К8. Для склеивания использовались оптические эпоксидные клеи ОК72ФТ5 и ОК72ФТ15 [3]. Испытания проводились на образцах, которые перед склеиванием имели гидрофильные поверхности, и на образцах, которые имели перед склеиванием гидрофобные поверхности. Все детали перед склеиванием прошли чистку гидромеханическим способом. Очищенные по-

верхности имели гидрофильные свойства. Для получения гидрофобных свойств поверхностей часть деталей прошла обработку в парах ГМДС. Для каждого клея использовалось два режима термообработки [2]:

1. Через сутки после склеивания с прогревом 7 ч при 65 °С.

2. Через сутки после склеивания с прогревом 2 ч при 100 °С.

Всего было проведено восемь испытаний на разрыв при равномерном отрыве. Для испытаний использовалась машина разрывного типа Shimadzu AG-X 50kN, погрешность измерения — не более 1%. Приспособления для крепления образцов обеспечивали их самоцентрирование. Испытания проводились при постепенном увеличении нагрузки до разрушения образца. Прочность клеевого соединения при равномерном отрыве  $G_{est}$ , мПа, для каждого образца вычислялась по формуле

$$G_{est} = \frac{P}{S},$$

где  $P$  — разрушающее напряжение при приложении растягивающего усилия,  $S$  — площадь склеивания. Результат испытания определялся путём усреднения полученных значений прочности нескольких образцов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний на прочность при равномерном отрыве представлены в таблице. Как видно из полученных данных, прочность клеевого соединения сильно зависит от состояния поверхностей перед склеиванием. Прочность клеевых соединений, обработанных при 100 °С и имевших гидрофильные поверхности, в три раза больше прочности клеевых соединений, обработанных при этой же температуре, но имевших гидрофобные поверхности, как для клея ОК72ФТ5, так и для клея ОК72ФТ15. Значения прочности, полученные для гидрофильных поверхностей, почти в два раза превышают значения прочности, указанные

### Результаты испытаний на прочность при равномерном отрыве

| Марка клея | Прочность при равномерном отрыве, мПа |      |                           |     |
|------------|---------------------------------------|------|---------------------------|-----|
|            | Гидрофильные поверхности              |      | Гидрофобные поверхности   |     |
|            | Температура обработки, °С             |      | Температура обработки, °С |     |
|            | 65                                    | 100  | 65                        | 100 |
| ОК72ФТ5    | 9,7                                   | 21,7 | 6,3                       | 7,1 |
| ОК72ФТ15   | 8,5                                   | 17,9 | 3,2                       | 6,0 |

для клея ОК72ФТ5 (11,6 мПа) и клея ОК72ФТ15 (9,9 мПа) в [2].

Прочность клеевых соединений, обработанных при 65 °С и имевших гидрофильные поверхности, хотя и в меньшей степени, но значительно превосходит прочность клеевых соединений, имевших гидрофобные поверхности и обработанных при этой же температуре. Для клея ОК72ФТ5 прочность выше в 1,5 раза, а для клея ОК72ФТ15 — в 2,5 раза. Значения прочности, полученные для гидрофильных поверхностей, соответствуют значениям прочности, указанным для клея ОК72ФТ5 (10,0 мПа) и клея ОК72ФТ15 (8,0 мПа) в [2].

Разрушение всех образцов, имевших до склеивания гидрофильные поверхности, происходит одинаковым образом независимо от марки клея. Разрыв происходит по слою клея. Только для одного образца, имевшего максимальную прочность (26,1 мПа), склеенного с помощью клея ОК72ФТ5 и обработанного при 100 °С, разрушение происходит по стеклу. Разрушение всех образцов, имевших до склеивания гидрофобные поверхности, также происходит одинаковым образом независимо от марки клея. Но в этом случае разрыв происходит по границе стекло–клей. На основании вышеизложенного можно сказать, что в случае склеивания гидрофильных поверхностей прочность на разрыв самого клея ниже прочности сцепления стекла и клея, а в случае склеивания гидрофобных поверх-

ностей прочность на разрыв клея выше прочности сцепления стекла и клея.

Можно утверждать, что состояние склеиваемых поверхностей является одним из наиболее важных факторов, определяющих прочность на разрыв клеевого соединения. Для получения высокой прочности на разрыв клеевых соединений, использующих клеи ОК72ФТ, склеиваемые поверхности должны иметь гидрофильные свойства. Операция подготовки поверхности перед склеиванием должна обеспечивать не только удаление всех загрязнений, но и создавать требуемое состояние поверхности. Гидромеханический способ подготовки поверхности, применяемый в условиях чистых помещений, обеспечивает удаление всех загрязнений и создание гидрофильного состояния поверхности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Операция подготовки поверхностей технологического процесса склеивания оптических деталей в значительной степени определяет эксплуатационные свойства оптических сборок и самих изделий. Эта операция должна быть проведена так, чтобы обеспечить удаление всех загрязнений, предотвратить появление новых загрязнений и создать требуемые адгезионные свойства склеиваемых поверхностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-оптика / Под ред. Окатова М.А. СПб.: Политехника, 2004. 686 с.
2. ТУ 2252-005-33122646-14. Клеи оптические эпоксидные марки ОК-72ФТ. Общие технические условия.
3. СТО-33122646-1.1-2014. Клеи оптические. Марки. Стандарт организации. Санкт-Петербург: ГОИ им. С.И. Вавилова, 2014. 38 с.
4. ОСТ 3-6894-97. Клеи оптические. Марки.
5. *Левин В.Е., Мартынова В.Б.* Бездеформационное склеивание кварца с инваром // Оптический журнал. 1995. № 10. С. 69–72.
6. *Потелов В.В.* Исследование возможностей повышения прочностных характеристик оптических склеенных сборок с высокой разностью коэффициентов линейного температурного расширения // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 6. С. 68–69.
7. *Кручинин Д.Ю.* Способ изготовления оптических шкал обратной фотолитографией // Патент России № 2370799. 2009.
8. *Моро У.* Микролитография. М.: Мир, 1990. 1239 с.
9. ОСТ3-6419-88. Детали оптические. Типовые технологические процессы промывки.
10. СТО-33122646-1.2-2014. Клеи оптические. Методы контроля и измерений. Стандарт организации. Санкт-Петербург: ГОИ им. С.И. Вавилова, 2014. 45 с.
11. ОСТ3-6187-95. Клеи оптические. Методы контроля и испытаний.
12. ОСТ3-5555-84. Клеи для оптических деталей. Типовые технологические процессы склеивания.
13. ОСТ3-6420-88. Детали оптические. Типовые технологические процессы чистки.
14. ОСТ3-2989-93. Клеи оптические. Требования к технологическим процессам изготовления клеев и склеивания оптических деталей.
15. *Кручинин Д.Ю., Яковлев О.Б.* Способ склеивания оптических деталей // Патент России № 2454379. 2012.
16. *Кручинин Д.Ю.* Склеивание оптических деталей, имеющих нулевые классы чистоты полированных поверхностей // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 4. С. 73–75.