

УФ-отверждаемый клей Элад УФ-50 с ультранизкой усадкой для монтажа оптических элементов

Е. Антипова¹, А. Спиридонова², Н. Короткова³, С. Гладких, к.х.н.⁴

УДК 621.38 | ВАК 2.2.2

Представлены результаты испытаний одноупаковочного малоусадочного высоконаполненного эпоксидного клея, разработанного в ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева», который применяется для монтажа оптических элементов. Клей отверждается под воздействием УФ-излучения за 30–60 с с объемной усадкой – 0,24%, линейной усадкой – менее 0,1%, обеспечивает прочность клеевого соединения «стекло – медь» не менее 1,5 МПа. Клей рекомендуется для точного позиционирования линз, призм и других оптических деталей.

В настоящее время способ крепления линз и других круглых оптических деталей приклеиванием используется все чаще, благодаря появлению новых УФ-отверждаемых клеевых материалов, обеспечивающих высокую скорость склеивания, надежное соединение деталей и ультранизкую усадку.

С применением таких клеев реализуется ряд преимуществ клеевого соединения, среди которых можно выделить следующие [1]:

- конструктивная простота узла крепления, а также снижение его массы и габаритов;
- возможность закрепления линз, крепление которых традиционными способами затруднено, например: приклеивание линз малого диаметра (< 6 мм), с крутыми радиусами кривизны и тонкими краями, при некруглой форме базовых поверхностей и др.;
- минимизация деформаций и напряжений в оптической детали из-за их перераспределения по всей площади склеивания после сборки и при внешних воздействиях на узел крепления (например, при изменении температуры) благодаря упругим свойствам клеящих материалов;

- возможность юстировки (корректировки) положения оптической детали до момента затвердевания клеящего вещества с обеспечением прецизионной сборки;
- герметизация соединения;
- относительная простота обеспечения автоматизации процесса;
- применение клея УФ-отверждения обеспечивает быструю фиксацию (в течение 20–60 с) оптических деталей на подложках в оптических системах, электронике, волоконной оптике и т.п., соответственно, повышение производительности процесса сборки за счет высокой скорости УФ-отверждения;
- экологичность УФ-клеев и отсутствие загрязнения линз за счет испарения компонентов клея.

Однако способ крепления оптических деталей приклеиванием **имеет недостаток**: усадка клеящего вещества после отвердевания может вызвать напряжения в линзе, а также деформацию, вплоть до разрушения линзы. Поэтому данные по усадке являются важнейшими показателями клеев, предназначенных для наклеивания оптических элементов.

Величины усадки некоторых клеев зарубежных производителей приведены в табл. 1, видно, что наименьшие значения усадки имеют эпоксидные клеи. Кроме низкой усадки, связующие на основе эпоксидных смол обеспечивают высокую адгезию к самым различным материалам, отсутствие выделения побочных летучих продуктов, отличные диэлектрические характеристики [2].

Отечественные УФ-отверждаемые акрилатные оптические клеи: Квант 401, Квант 501, Квант 502, Квант 501М, отличающиеся высокими оптическими,

¹ ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева» (г. Владимир), заместитель директора департамента функционализированных олигомеров.

² ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева», научный сотрудник.

³ ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева», директор департамента функционализированных олигомеров.

⁴ ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева», руководитель направления отдела разработок.

Таблица 1. Значения усадки клеев для микроэлектроники [3-7] известных мировых производителей

| Компания производитель | Марка клея | Химическая природа | Усадка, % |
|------------------------------------|---------------------------|---|-------------------------|
| DELO | DELO DUABOND OB787 | Модифицированная эпоксидная смола. Наполнение ≈ 50% (мас.) | 2,1 (об.) |
| | DELO DUABOND OB749 | Модифицированная эпоксидная смола. Наполнение ≈ 50% (мас.) | 2,2 (об.) |
| | DELO DUABOND AD761 | Модифицированная эпоксидная смола, ненаполненная | 3,0 (об.) |
| | DELO DUABOND OB665, OB678 | Модифицированная, тиксотропная эпоксидная смола | 4 (об.) |
| ЗМ | LC-3200 | Акрилатные соединения | 5,2 (об.) |
| EMIUV Electronic materials inc. | OPTOCAST 3400 | Наполненная эпоксидная смола. Размер частиц наполнителя 12-100 мкм | 0,7 (лин.) |
| | OPTOCAST 3410 | Эпоксидная смола, наполнитель – диоксид кремния | <0,07% (лин.) |
| Dymax | 429 | Уретанакрилатные соединения | 0,79 (лин.) |
| | Multi-Cure 6-621 | Уретанакрилатные соединения | 0,4-0,5 (лин.) |
| | OP-60 | Наполненный уретанакрилат | 0,8 (лин.) |
| Henkel | LOCTITE 3131 | Эпоксидно-акрилатный. Тиксотропный | 2,4 (об.) 1,3 (лин.) |
| | LOCTITE EA 3355 | Эпоксидная смола | 1,0 (лин.) |

физико-механическими и адгезионными характеристиками, имеют усадку 3,7–3,9% [8]. В связи с этим, задача разработки УФ-отверждаемого клея с линейной усадкой не более 0,1% для монтажа оптических элементов являлась актуальной. В НТЦ компании «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева» была проведена исследовательская работа по разработке такого клея.

Для разработки УФ-отверждаемых эпоксидных клеев с ультранизкой усадкой применяли четвертичные ониеиевые соли (иодониевые или сульфониевые) элементов VI группы, иницирующие катионную полимеризацию эпоксидов. Для дополнительного снижения усадки и обеспечения низкого коэффициента теплового расширения клея применяли высокое наполнение: стеклом и/или кварцем, которые имеют оптическую прозрачность и низкий коэффициент теплового расширения. Был использован относительно новый подход для достижения ультранизкой усадки – введение в клеевую композицию особых мономеров, «расширяющихся» при полимеризации в объеме [9].

Разработан УФ-отверждаемый высоконаполненный клей марки Элад УФ-50 на основе эпоксидиановой

и эпоксициклоолифатической смол, отверждающийся по катионному механизму, для крепления линз на основании из керамики, меди, меди с покрытием и выравнивания оптических устройств при сборке оптоэлектроники. Этот клей, как и другие отечественные УФ-отверждаемые адгезивы, применяемые для склеивания оптического волокна, светофильтров и поляроидов, оптических деталей из кристаллов, поляризационных призм и т.д., используются и при соединении разнородных материалов, один из которых пропускает УФ-излучение [8].

Характеристики клея Элад УФ-50 представлены в табл. 2. Не являясь полным аналогом американского клея Optocast 3410, клей Элад УФ-50 успешно заменил его в области УФ-приклеивания линз к подложкам. Optocast 3410 имеет более широкое применение, так как имеет двойной механизм отверждения – УФ/термо, то есть может применяться и для приклеивания непрозрачных линз.

При исследовании клея Элад УФ-50 применяли следующие методы.

1. Измерение динамической вязкости клея проводили на ротационном вискозиметре НААКЕ

Таблица 2. Характеристики УФ-отверждаемого клея Элад УФ-50

| Компания производитель | Марка клея |
|--|---|
| Наименование показателя | Значение |
| Внешний вид | Непрозрачная высоковязкая паста от белого до серого цвета |
| Вязкость динамическая при 25 °С, мПа·с, в пределах | 20 000–50 000 |
| Плотность при 20 °С, г/см ³ , в пределах | 1,50–1,70 |
| Усадка (линейная), %, не более | 0,1 |
| Твердость по Шору Д, усл. ед., не менее | 85 |
| Прочность клеевого соединения «стекло – медь», МПа, не менее* | 1,5 |
| Прочность клеевого соединения «стекло – нержавеющая сталь», МПа, не менее* | 1,7 |
| Интервал рабочих температур, °С | - 40÷75 °С** |

* Прочности получены для клеевого слоя толщиной 50–70 мкм после отверждения светодиодом с длиной волны 365±10 нм, доза излучения 2700 мДж/см².

** При воздействии температур –40 и 75 °С в течение 2 ч прочность клеевых соединений не уменьшалась.

Viscotester VT 7L plus при температуре 25 °С (ротор TL6; скорость вращения ротора 2,5–30 об/мин) по инструкции к прибору.

- Плотность клея определяли по ГОСТ 15139-69. Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы).
- Твердость по Шору Д определяли по ГОСТ 24621-2015.
- Определение усадки УФ-отвержденных образцов Элада УФ-50 проводили пикнометрическим методом. Изменение объема клея при отверждении выражали через изменение его плотности. Измерения плотности клея до и после отверждения пикнометрическим методом обеспечивали точность до 0,05%.
- Определение адгезионной прочности клея проводили на образцах клеевых соединений «стекло – медь»,

которые готовили склеиванием стеклянной пластинки размером 50×50×2,6 мм и металлического грибка из меди с диаметром основания 7 мм соответственно. Перед склеиванием поверхность грибка из меди очищали от оксидной пленки растворением в концентрированной ортофосфорной кислоте. Склеиваемые поверхности обезжиривали, высушивали. Металлический грибок фиксировали в специальной оснастке и наносили на его поверхность каплю клея массой 0,002–0,004 г. Затем с помощью центровочного устройства и зажимов прижимали к «грибку» стеклянную пластинку таким образом, чтобы клей равномерно распределился по склеиваемым поверхностям, излишки клея удаляли. Клеевой слой толщиной 50–70 мкм отверждали с помощью установки с двумя УФ-светодиодами в течение 1 мин. После кондиционирования склеенных образцов при температуре (22±2) °С и влажности (50±5)% в течение одних суток образцы клеевых соединений испытывали на прочность при равномерном отрыве при скорости движения зажима 10 мм/мин.

- Исследование стабильности клея проводили после хранения при температурах (23±5) °С и –(18±2) °С. После выдержки клея в течение заданного временного промежутка при заданной температуре оценивали визуальную однородность клея, а также характеристики прочности клеевого слоя.

ООО
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные компоненты
для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Разборные металлические EMI SMD экраны
- Кварцевые генераторы 0532 на частоты до 125 МГц

Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32; e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
**РОБОТОТЕХНИКА
И ИСКУССТВЕННЫЙ
ИНТЕЛЛЕКТ**

ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ –
ЗАЩИТНИКАМ ОТЕЧЕСТВА!

12-13 МАРТА 2024
МОСКВА, КОНГРЕСС-ЦЕНТР
ПРЕЗИДЕНТ-ОТЕЛЯ

ОРГАНИЗАТОР



RAIEXPO.RU

Разработанный клей Элад УФ-50 отверждается с высокой скоростью при использовании доступных источников УФ-излучения (светодиодов со спектральным диапазоном (365 ± 10) нм при дозе излучения 2700 мДж/см^2) в течение 30–60 с на глубину до 100 мкм. При этом обеспечивается высокая прочность склеивания различных субстратов: прочность склеивания «стекло – медь» не менее 1,5 МПа; прочность склеивания соединения «стекло – нержавеющая сталь» – не менее 1,7 МПа. Элад УФ-50 при отверждении имеет ультранизкую усадку: объемная усадка составляет 0,24%, линейная – менее 0,1%. Столь низкие значения усадки были косвенно подтверждены при сборке лазерных модулей по отсутствию смещения линзы в горизонтальном направлении (которое приводило бы к уширению лазерного пучка).

Элад УФ-50, упакованный в шприцах, стабилен при хранении в течение трех месяцев при температуре $-(18 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ и при дополнительном хранении при комнатной температуре до четырех суток. В течение данного срока хранения не происходит изменений таких технологических характеристик, как внешний вид, толщина клеевой пленки, усилие выдавливания из шприца, а также прочностных показателей клеевых соединений «стекло – нержавеющая сталь» и «стекло – медь».

В дальнейшем планируется разработка эпоксидных клеящих материалов, имеющих способность к предварительной активации УФ-излучением с последующим доотверждением, чтобы их можно было использовать для склеивания непрозрачных материалов, в том числе кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Латыев С.М.** Конструирование точных (оптических) приборов <https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/konstruirovaniye-tochn-priborov/>. 16 сентября 2022 г
2. **Петрова А.П., Малышева Г.В.** Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное пособие. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.
3. Раздел продукция сайта компании DELO [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.delo.de/produkte/>
4. 3M Electronic Assembly Liquid Adhesives for Electronics [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/All-3M-Products/Electronics/Electronics-Materials/Electronic-Assembly-Liquid-Adhesives/
5. Раздел продукция сайта компании Electronic Materials, Inc. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.emiuv.com/products>
6. Industrial Adhesive bonders [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dymax.com/adhesives/bonders>
7. Adhesives for Electronics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.henkel-adhesives.com/adhesives-for-electronics-40361.html>
8. **Синеокова О.А., Сивохина О.С., Бондаренко Н.А.** УФ-отверждаемые полимерные материалы со специальными свойствами. 145 Тезисы докл. IV международной научно-технической конференции «Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии», 26–28 сентября 2023 г. Дзержинск, Нижний Новгород, 2023. С. 145–149.
9. **Ricardo Acosta Ortiz,* Amy Grace Savage Gomez, Aída E. García Valdez, Rafael Aguirre Flores, and Marco Sangermano.** Development of low-shrinkage polymers by using expanding monomers: Macromolecular Symposia 2017, 374, 1600092.

ЭЛЕКТРОНИКА | НАНОИНДУСТРИЯ | ФОТОНИКА | ПЕРВАЯ МИЛИА | АНАЛИТИКА | СТАНКОИНСТРУМЕНТ

ИНФОПРОСТРАНСТВО
ФЕССИОНАЛОВ

Мы на  **YouTube**

 **ТЕХНОСФЕРА**

Подписывайтесь

