

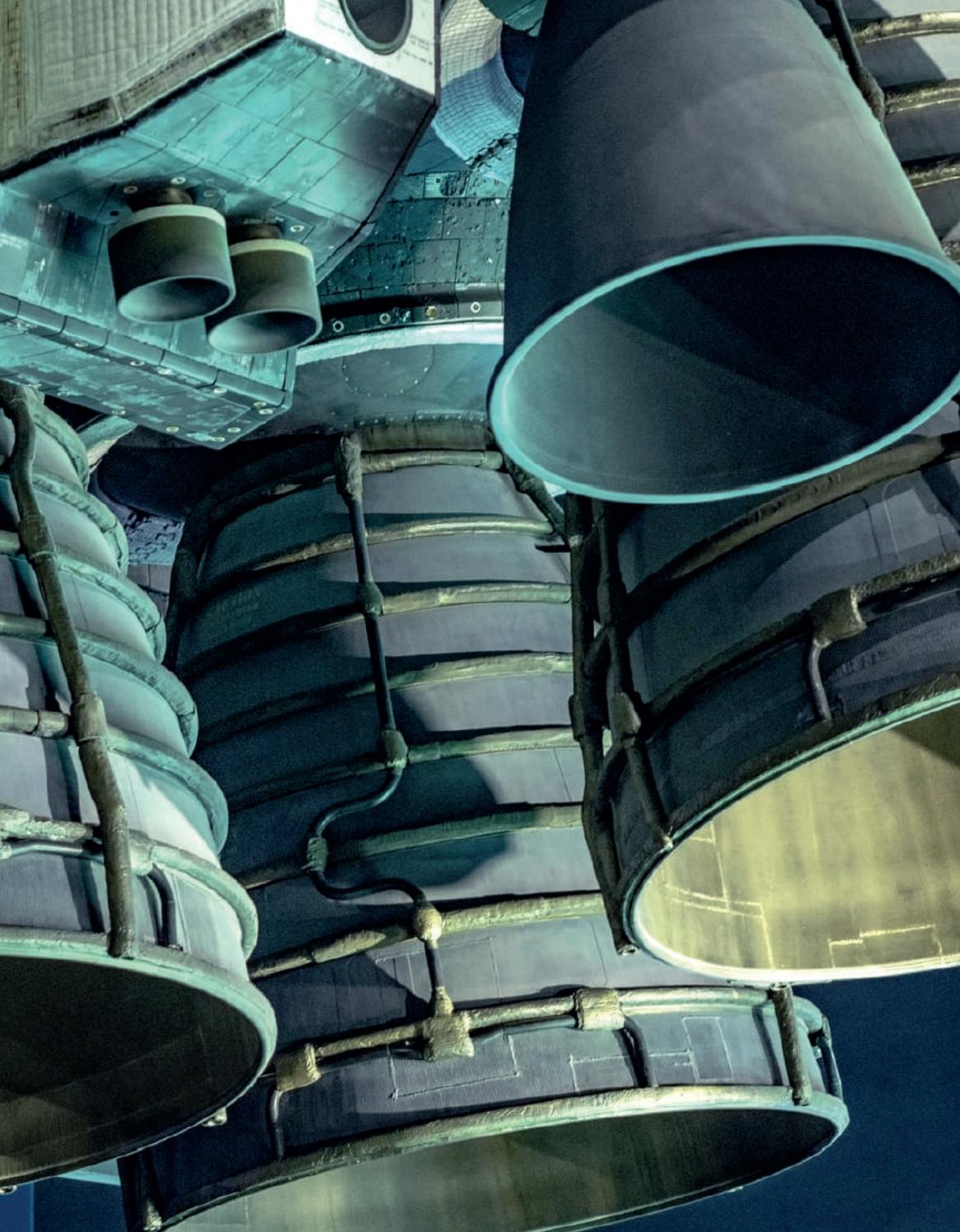


Научно-производственная
компания «СТЭП»

**СОВРЕМЕННЫЕ КЛЕИ,
КОМПАУНДЫ,
ПОЛИМЕРНЫЕ
КОМПОЗИТЫ**



Санкт-Петербург
2023



НПК «СТЭП» Заказ продукции: step@npkstep.ru / +7 (812) 966-52-57

Оглавление

О КОМПАНИИ	4
ГЕРМЕТИЗАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ	5
Компаунды с повышенной теплопроводностью	6
Компаунды с повышенной эластичностью	10
Компаунды для бескорпусной заливки	13
Компаунды горячего отверждения	17
Оптически прозрачные компаунды	20
Удаляемые компаунды	22
КОНСТРУКЦИОННОЕ СКЛЕИВАНИЕ	25
Проектирование клеесборных конструкций	27
Тепло- и термостойкие полимерные материалы	29
Современные эластичные клеи	34
Клей для монтажа SMD компонентов	37
Конструкционные клеи быстрого отверждения	42
РАБОТА ПО ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	47

О КОМПАНИИ

Научно-производственная компания «СТЭП» берет свою историю еще из 80-х годов прошлого века, а именно из лаборатории одного научно-исследовательского института (НИИ) Санкт-Петербурга. Адгезивы, разработанные в то время специалистами лаборатории, оказались востребованы в ракетно-космической, атомной, авиационной, судостроительной и других отраслях промышленности. Часть из этих материалов производится до сих пор с сохранением всех исходных характеристик. За последние годы поколение ведущих сотрудников сменилось, что позволило совместить классическую академическую школу и современные инновационные подходы в материало- и рецептуростроении. Нашиими клиентами являются сотни предприятий машино- и приборостроительной отрасли по всей России, при этом в последние годы мы занимаемся решением задач самых разных направлений – строительство, электротехника, атомная промышленность и энергетика.

Мы производим современные эпоксидаучуковые, полиуретановые и силиконовые клеи, компаунды, герметики собственной разработки. При этом особое внимание уделяем доступности сырьевых компонентов и снижению технологических издержек, благодаря чему удается обеспечивать низкие цены.

Сегодня НПК «СТЭП» – это научно-производственный комплекс площадью более 1400 м² с 25 квалифицированными специалистами, современным производственным и лабораторным оборудованием. Большой толчок для развития компании дали работы по замещению импортных материалов, пропавших из продажи ввиду событий последних лет.



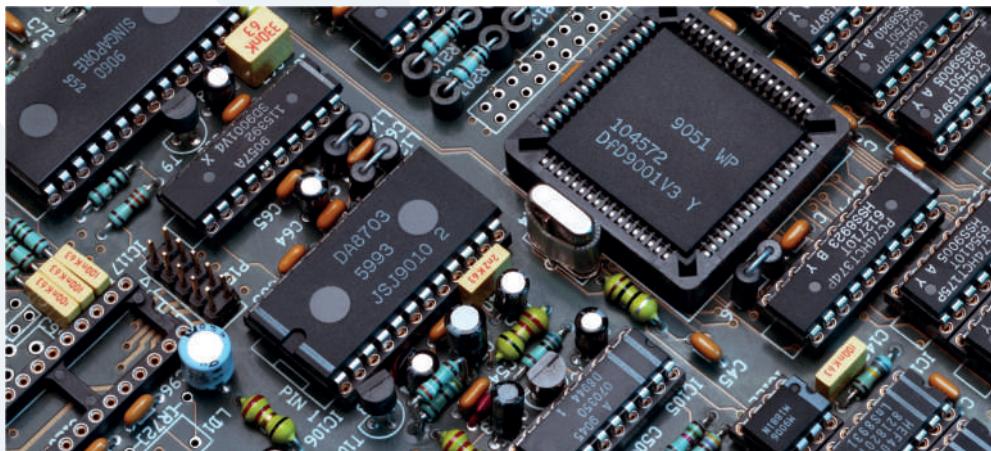
Герметизация радиоэлектронной аппаратуры

Выпуск современной радиоэлектронной аппаратуры гражданского и двойного назначения, обладающей прорывными тактико-техническими характеристиками и повышенной надежностью, требует использования передовых материалов, в том числе компаундов, kleев, герметиков.

К современным герметизирующем материалам предъявляются повышенные требования для обеспечения безотказной работы РЭА. Ужесточаются требования по долговечности, физико-механическим и электрофизическим показателям, морозостойкости, теплостойкости и другим характеристикам.

Коллектив НПК «СТЭП» долгое время работает над повышением конкурентоспособности продукции и достижением лидирующих позиций в отдельных сегментах полимерной промышленности. Выпускаемые компанией компаунды и герметики наилучшим образом соответствуют требованиям завтрашнего дня.

К настоящему времени отечественной промышленностью разработано и применяется значительное количество полимерных компаундов и герметиков для электротехнической и радиоэлектронной промышленности. Однако выбор подходящего материала, обеспечивающего заданные высокие технические характеристики, все еще представляет непростую задачу. Многолетний опыт работы коллектива «НПК «СТЭП» в области защиты и герметизации электротехнических изделий позволяет быстро осуществить подбор и отработать технологию применения полимерного материала с требуемым уровнем свойств. А в случае отсутствия в номенклатуре готовых решений создавать компаунды с уникальными свойствами для решения сложных и нестандартных задач.



Компаунды с повышенной теплопроводностью

Повышенные температуры в общем случае могут нарушать структуру материалов электрорадиоэлементов. Даже если повышение температуры не вызывает сразу ухудшение их параметров, то ее воздействие проявляется в результате продолжительной работы. Повышение температуры на 10 градусов вызывает снижение «срока жизни» элемента примерно на 50%. В связи с этим возникает потребность в отводе тепла через слой полимера от нагревающейся области к охлаждаемой зоне в изделии для обеспечения его бесперебойной работы. В таблице ниже приведены значения теплопроводности полимерных материалов, а также для сравнения некоторых металлов, применяемых в радиоэлектронных устройствах

Коэффициенты теплопроводности материалов

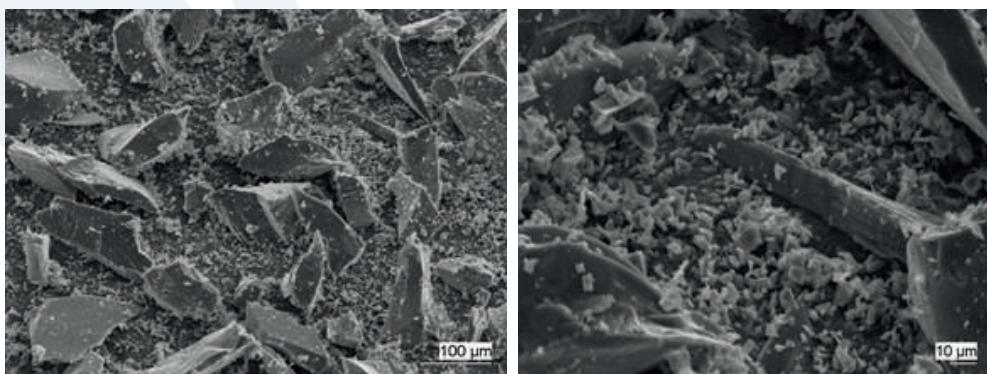
Название материала	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)
Органические смолы	0,15 - 0,22
Силиконовые эластомеры	0,17 - 0,26
Резина	0,15 - 0,22
Полибутилентерефталат	0,25
Медь	373 - 220
Алюминий	210 - 220
Сталь	41 - 68
Алюмооксидная керамика	25 - 35

Вышеуказанные данные показывают, что немодифицированные полимерные материалы, используемые для герметизации изделий РЭА, имеют значительно меньшую теплопроводность, чем проводниковые и конструкционные металлические материалы. Основным способом повышения теплопроводности полимеров является введение в их состав наполнителей, обладающих собственной высокой теплопроводностью. Наиболее значительный вклад в увеличение данного параметра способны внести микроразмерные наполнители с размером частиц от 0,5 до 50 мкм.

Следует отметить следующие сложности, которые могут возникнуть при введении в полимерный материал высокотеплопроводных порошков:

- изменение физико-механических характеристик материала (уменьшение прочности и эластичности, появление хрупкости)
- падение диэлектрических характеристик материала (поверхностное и объемное сопротивление, электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь);
- изменение реологических свойств материала в неотверженном виде: увеличение вязкости, появление тиксотропности.

Данные проблемы могут быть частично либо полностью решены при грамотном подходе к созданию теплопроводного полимерного композита благодаря правильному выбору материала наполнителя, модификации поверхности его частиц, подбору фракций наполнителя, обработке композиции после введения наполнителей и другим мероприятиям.



Комбинированный тепловой наполнитель

Специалистами НПК «СТЭП» разработаны компаунды, обладающие повышенной теплопроводностью и низкой заливочной вязкостью. Данные компаунды заполняют при заливке даже малейшие зазоры, что обеспечивает надежную защиту от внешних воздействующих факторов при максимально возможном теплоотводе и, как следствие, длительную работоспособность изделия.

Пример 1

Двухкомпонентный заливочный кремнийорганический компаунд КТК-1 ТУ 2252-037-89021704-2013, предназначенный для корпусной заливки изделий радиоэлектронной техники и обладающий высокой теплопроводностью - 1,2 Вт/(м·К). Основные характеристики приведены в таблице ниже.

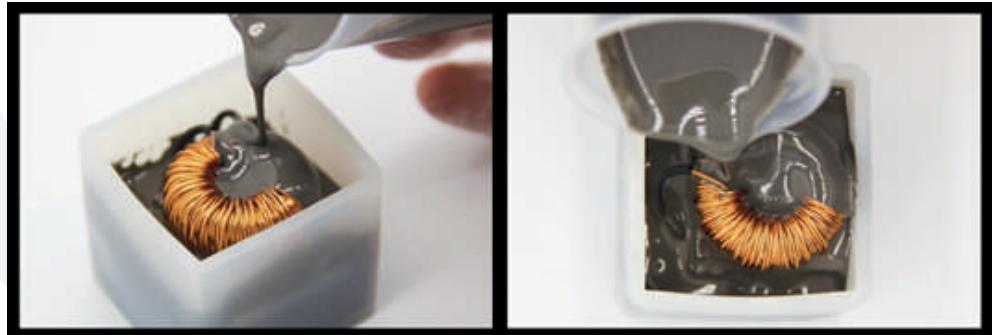
Основные характеристики компаунда КТК-1

Внешний вид	Темно-серая вязкая жидкость
Вязкость сразу после смешения (Ш4, 50 RPM, 20 °C), мПа·с	6130
Жизнеспособность при температуре 20-25 °C, мин	не менее 40
Время технологического отверждения при температуре 20-25 °C, ч	12
«Холодный» режим отверждения при температуре 15-35 °C, ч	24
Рабочая температура, °C	-60 ... + 250
Цена ¹	от 688 руб/кг

¹ Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.

Пример 2

Двухкомпонентный заливочный эпоксидный компаунд СТЭП-КТП7 ТУ 20.16.40-126-05770317-2021, обладающий повышенной теплопроводностью (не менее 1,1 Вт(м·К)) и отверждаемый при комнатной температуре. Применяется для корпусной заливки изделий радиоэлектронной техники для защиты компонентов от внешних воздействующих факторов (ударные и вибрационные нагрузки, влага, загрязнения, химически активные вещества и др.) и для обеспечения оптимального теплового режима работы изделия.



Демонстрация процесса заливки дросселя компаундом СТЭП-КТП7

Основные характеристики компаунда СТЭП-КТП7

Внешний вид	Темно-серая жидкость
Вязкость сразу после смешения (Ш4, 30 RPM, 22 °C), мПа·с	3500
Жизнеспособность при температуре 25 °C (навеска 50 г), мин	не менее 20
Время технологического отверждения при температуре 20-25 °C, ч	8
Рабочая температура, °C	-60 ... +150
Цена ¹	от 752 руб/кг

¹Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.

При необходимости возможна разработка дополнительных теплопроводных материалов в соответствии с техническим заданием Заказчика.

✓ Компаунды с повышенной эластичностью

Герметизирующие компаунды нередко выполняют одновременно и роль конструкционных материалов. В этом случае они должны обеспечивать надежную работу в условиях вибраций, ударных нагрузок и различных механических напряжений.

Применение полимерных материалов с повышенной эластичностью позволяет получать изделия, стойкие к ударному и вибрационному воздействию, циклическим температурным нагрузкам. При этом в случае подбора материалов даже для ответственных изделий отпадает необходимость в обеспечении у них близких значений коэффициента линейного температурного расширения.

Коллектив НПК «СТЭП» имеет большой опыт создания полимерных высокоэластичных материалов. Отличительной особенностью разрабатываемых составов является сочетание в них преимуществ, характерных для жестких и эластичных материалов благодаря синтезу полимеров на основе соединений различных классов.

Например, опытным путем была установлена область оптимального соотношения низкомолекулярного каучука и эпоксидной смолы, для придания эпоксиполимерам эластичных свойств. Стоит отметить, что совмещение эпоксидной смолы и низкомолекулярного каучука производится при повышенной температуре (порядка 400 К), что приводит в результате реакции этерификации к повышению работы, которую необходимо затратить для разрушения материала, почти в 10 раз.

Была разработана широкая линейка эпоксикаучуковых материалов, обладающих высокой прочностью, технологичностью, стойкостью к воздействию агрессивных сред, что характерно для эпоксидных смол, и повышенной эластичностью присущей каучукам (относительное удлинение при растяжении от 10 до 200 %).

Пример 1

Высокоэластичный эпоксидный компаунд СТЭП-ЗК7 ТУ 2257-016-50050552-2016. Предназначен для корпусной заливки микросхем, катушек, электрических разъемов и других изделий радиоэлектронной техники для защиты их от внешних действующих факторов. Компаунд имеет высочайшую стойкость к ударному воздействию и вибрациям.



Отверженная пластина компаунда СТЭП-ЗК7

Основные характеристики компаунда СТЭП-ЗК7

Внешний вид	Однородная жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета
Вязкость сразу после смешения (Ш4, 30 RPM, 22 °C), мПа·с	700-800
Жизнеспособность при температуре 25 °C (навеска 50 г), мин	не менее 40
Время технологического отверждения при температуре 20-25 °C, ч	24
Относительное удлинение при растяжении, %	85 - 90
Твердость по Шору А, ед.	60
Рабочая температура, °C	-60 ... +140
Цена¹	от 1128 руб/кг

¹ Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.

Пример 2

Заливочный двухкомпонентный эпоксидный компаунд СТЭП-К197

ТУ 20.16.40-169-05770317-2023, отверждаемый при комнатной температуре и обладающий повышенной эластичностью. Предназначен для герметизации микросхем, катушек, электрических разъемов и других изделий в электронной промышленности, приборо- и машиностроении для защиты от внешних воздействующих факторов. Может применяться для корпусной и бескорпусной заливки. Материал позволяет осуществлять герметизацию крупных изделий одностадийной заливки без риска разогрева (экзотермы) материала. Компаунд отличается повышенной морозостойкостью – при отрицательных температурах материал лишён хрупкости.

Основные свойства компаунда СТЭП-К197

Внешний вид	Однородная жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета
Вязкость сразу после смешения (Ш6, 100 RPM, 20 °C), мПа·с	8600
Жизнеспособность при температуре 20±2 °C (навеска 50 г), ч	3,5
Время технологического отверждения при температуре 20-25 °C, сутки	3
Относительное удлинение при растяжении, %	55
Твердость по Шору А	60
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ⁶ Гц, не более	0,068
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ⁶ Гц, не более	2,8
Плотность, г/см ³ , в пределах	1,09 - 1,18
Рабочая температура, °C	-40 ... +120
Цена ¹	от 2 616 руб/кг

¹ Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.

Компаунды для бескорпусной заливки

Эпоксидные компаунды востребованы в промышленном производстве для решения самого широкого круга задач. В том числе возможно их применение в качестве электроизоляционного материала, формирующего корпус изделия (от компонентов РЭА до высоковольтных приборов). В таком случае компаунд выполняет как конструкционную функцию, так и задачу защиты элементов устройства от действия негативных внешних факторов. Подобное совмещение функций приводит к появлению ряда специфический требований к компаундам для бескорпусной заливки:

- **Высокие декоративные характеристики.** Для компаундов, выполняющих роль корпуса изделия, особенно важен внешний вид после отверждения. Благодаря глубокому пониманию физико-химических процессов в структуре полимерного композита, коллективом НПК «СТЭП» были разработаны системы деаэрации и пеногашения, что позволяет получать гладкие и ровные заливки, лишенные воздушных включений без применения специального оборудования.



Компаунд с использованием системы пеногашения (справа) и без нее (слева)
через 20 минут после смешения и заливки

- **Высокая текучесть,** способность заполнять мелкие зазоры и углы заливочной формы. Любые дефекты на границе компаунда и формы приводят не только к проблемам герметичности, но и к уменьшению прочности и ухудшению вида изделия. Грамотный подбор сырья и введение специальных добавок, регулирующих реологические характеристики материала, позволили НПК «СТЭП» создать компаунды с оптимальной заливочной вязкостью для бескорпусной заливки.

- **Низкий экзотермический эффект** даже при изготовлении крупногабаритных изделий. Зачастую единовременная заливка типичного эпоксидного либо полиуретанового компаунда объемом более 1 кг приводит к его разогреву и «закипанию» из-за сложностей с отводом выделяющегося тепла. Как следствие – брак изделия и необходимость его утилизации. В линейке компаундов НПК «СТЭП» имеются композиции с пониженной активностью, которые подходят для единовременной заливки в объеме 10 литров и более.
- **Жесткость, повышенный модуль упругости.** Как правило, компаунды для бескорпусной заливки обладают высокой жесткостью, так как именно они отвечают за сохранение формы и габаритов изделия при эксплуатации под нагрузкой. Однако даже высокомодульный компаунд должен иметь стойкость к ударному воздействию, вибрациям. Все компаунды для бескорпусной заливки, производимые НПК «СТЭП», модифицированы незначительным количеством каучуковых добавок, благодаря чему они стойки механическому воздействию и термоударам.
- **Низкая цена.** При бескорпусной заливке вклад компаунда в структуру цены изделия может быть весьма значителен. За счет самостоятельного осуществления ключевых стадий производства компаундов, оптимизации технологических процессов и грамотной работе с поставщиками сырья НПК СТЭП удается держать цены на компаунды на низком уровне.

Благодаря этим факторам материалы НПК «СТЭП» для бескорпусной заливки – легко внедрить как в опытное, так и в крупносерийное производство ответственных изделий.

Примеры материалов для бескорпусной заливки

- СТЭП-ЗК1 ТУ 2257-016-50050552-2016. Эпоксикаучуковый трехкомпонентный компаунд, отверждаемый при комнатной температуре. Модифицирован тиоколовым каучуком. Предназначен для корпусной или бескорпусной заливки микросхем, катушек, электрических разъемов и других изделий радиоэлектронной техники для защиты их от внешних действующих факторов. При необходимости может поставляться без наполнителя.

Основные характеристики компаунда СТЭП-ЗК1

Внешний вид	Низковязкая масса темно-коричневого цвета без посторонних включений
Вязкость сразу после смешения (Ш4, 50 RPM, 20°C), мПа·с	3300
Жизнеспособность при температуре 20±2 °C (навеска 50 г), мин	90
Время технологического отверждения при температуре 20-25 °C, ч	24
Разрушающее напряжение при сдвиге на образцах Ст3-Ст3 при 20±2 °C, МПа	16,0 – 18,0
Твердость по Шору D, ед.	83
Рабочая температура, °C	-60 ... +150
Цена ¹	от 800 руб/кг

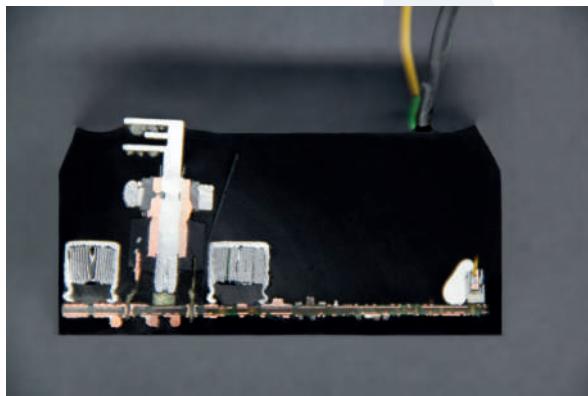
¹ Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.

- Линейка эпоксидных компаундов **СТЭП-К237, СТЭП-К267, СТЭП-К297**. Низковязкие эпоксидные заливочные двухкомпонентные компаунды, отверждаемые при комнатной температуре. Характеризуются крайне низкой ценой. Отличаются по вязкости. Предназначены для корпусной или бескорпусной заливки микросхем, катушек, электрических разъемов и других изделий радиоэлектронной техники для защиты их от внешних воздействующих факторов. Так же могут применяться для пропитки обмоток трансформаторов и дросселей.

Основные характеристики компаундов СТЭП-К237, СТЭП-К267, СТЭП-К297

Характеристики	СТЭП-К237	СТЭП-К267	СТЭП-К297
Соотношение компонентов	2:1	2:1	4:1
Вязкость сразу после смешения (Ш4, 50 RPM, 20°C), Па·с	1,4 - 1,7	1,9 - 2,1	4,1 - 4,3
Жизнеспособность при температуре 20±2 °C (навеска ~100 г), ч	2 - 3	2 - 3	2 - 3
Время гелеобразования при температуре 20±2 °C (навеска ~100 г), ч	5 - 7	5 - 7	5 - 7
Время технологического отверждения при температуре 20-25 °C, ч	48	48	48
Относительное удлинение при растяжении, %	6	4	0,6
Разрушающее напряжение при сдвиге на образцах Ст3-Ст3 при 20±2 °C, МПа	28	19	20
Твердость по Шору D, ед	80 - 85	80 - 85	80 - 85
Рабочая температура, °C	-60 ... +150	-60 ... +150	-60 ... +150
Цена ¹ , руб/кг	от 504	от 464	от 408

¹Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.



Разрез изделия, залитого компаундом СТЭП-К237



Компаунды «горячего» отверждения

Среди эпоксидных компаундов, применяемых в промышленности, можно выделить две группы: материалы «холодного» и «горячего» отверждения:

Материалы «горячего» отверждения

Процесс полимеризации компаунда «горячего» отверждения инициируется повышенной температурой, а при температуре цеха готовая смесь имеет время «жизни» более 8-12 часов. Отверждение при повышенной температуре позволяет получить композицию с низкой заливочной вязкостью и более высокими физико-техническими свойствами по сравнению с материалами «холодного» отверждения. Экзотермический эффект в компаундах «горячего отверждения» не выражен, что позволяет готовить рабочую смесь в больших количествах, не опасаясь самопроизвольного разогрева.

Эти особенности позволяют использовать материалы для следующих задач:

- **Герметизация изделий методом корпусной заливки.** Преимуществом этого подхода является возможность единовременной заливки большого количества изделий заранее приготовленным компаундом, а затем их обработка в термокамере при повышенной температуре.
- **Капельная пропитка обмотки трансформаторов, якорей машин постоянного тока;**
- **Создание тонкого защитного покрытия методом окунания изделия в рабочий состав;**
- **Изготовление препрегов – листов тканых или нетканых волокнистых материалов, пропитанных неотверждёнными полимерными связующими.** Традиционные волокнистые материалы – это углеволокно, стекловолокно, базальтовое волокно, кевлар.

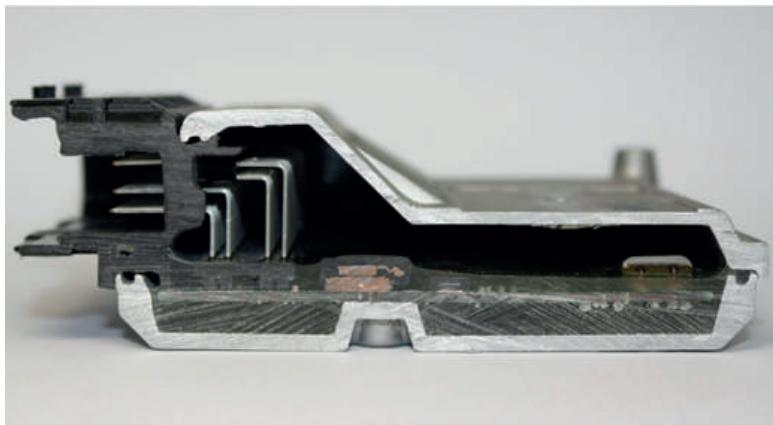
В условиях производства при работе с материалами «горячего отверждения» снижаются временные затраты, так как отсутствует необходимость готовить новые порции рабочего состава в течение рабочей смены. В то же время к очевидным недостаткам таких компаундов можно отнести необходимость закупки специального оборудования, в первую очередь, термошкафов, а также высокие затраты на электроэнергию. В случае изготовления крупногабаритных изделий эти траты могут быть значительными. В конечном итоге целесообразность применения компаундов «горячего» отверждения рассчитывается специально для конкретного производства.

НПК «СТЭП» ведет активную работу по созданию компаундов «горячего» отверждения. В настоящее время производятся как высокомодульные компаунды для «горячего» формования изделий из стекло- и углепластика, так и высокоэластичные составы, активно применяемые в электронной промышленности. Стоит отметить, что «горячее» отверждение позволяет получать составы с уникальным набором физико-механических характеристик.

Ниже можно ознакомиться со свойствами компаундов данной группы – ЗЛК-90 и ЗЛК 90/1.

Пример 1

- Эластичные компаунды ЗЛК-90 и ЗЛК90/1 ТУ 2252-033-89021704-2013. Применяются для корпусной заливки, сочетают высокую эластичность и отличную прочность. Низкая вязкость компаундов при температуре полимеризации позволит заполнять малейшие зазоры между элементами РЭА.



Изделие, залитое высокоэластичным компаундом горячего отверждения ЗЛК-90/1

Основные характеристики компаундов ЗЛК-90 и ЗЛК-90/1

Характеристики	ЗЛК-90	ЗЛК-90/1
Внешний вид	Однородная жидкость светло-розового цвета	
Жизнеспособность при температуре 20 ± 2 °С, ч	24	24
Время полного отверждения при температуре 90 °С, ч	6	6
Разрушающее напряжение при сдвиге на образцах Ст3-Ст3 при 20 ± 2 °С, МПа	8,0	6,0
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	60	80
Рабочая температура, °С	-60 ... +120	-60 ... +120

Пример 2

- СТЭП-ЗК20 ТУ 20.16.40-093-05770317-2019 – двухкомпонентный заливочный компаунд, обладающий высочайшей прочностью и отверждаемый при повышенной температуре (90 °С). Может применяться в качестве связующего вещества при изготовлении стекло- и углепластиков, для осуществления пропитки обмоток электрических машин. В частных случаях может применяться в качестве заливочного компаунда для защиты изделий радиоэлектронной техники от влаги и других внешних воздействующих факторов.

Основные характеристики компаунда СТЭП-ЗК20

Жизнеспособность при температуре 20±2 °С, ч, не менее	20
Время полного отверждения при температуре 90 °С, ч	16
Разрушающее напряжение при сдвиге на образцах Ст3-Ст3, МПа, не менее	55
Разрушающее напряжение при сжатии по ГОСТ 4651, МПа, не менее	70
Удельное объемное электрическое сопротивление Ом·см, не менее	$1,0 \times 10^{14}$
Плотность, г/см³	1,17
Рабочая температура, °С	-60 ... +150 (+180 кратковременно)
Цена ¹	от 848 руб/кг

¹ Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.



Оптически прозрачные компаунды

Прозрачные эпоксидные компаунды являются универсальными материалами, используемыми во многих отраслях для создания прозрачных и прочных поверхностей и элементов. Отливки из прозрачного эпоксидного материала лишены хрупкости и способны выдержать резкие перепады температур. Возможность переработки (создание заливок) материала при комнатной температуре позволяет получать элементы сложной геометрической формы без специального оборудования, в то время как обычное неорганическое стекло имеет температуру переработки порядка 1300-1500 °С, а органическое стекло перерабатывается при 160-190 °С.

В электротехнике и радиоэлектронике прозрачные эпоксидные компаунды используются для изоляции электронных компонентов, таких как платы, микросхемы, светодиоды с целью защиты изделий от воды, грязи, пыли, механических повреждений при сохранении прозрачности для визуальной оценки состояния компонентов и прохождения через материал светового потока.

Имеется ряд неочевидных проблем, с которыми можно столкнуться при использовании прозрачных компаундов:

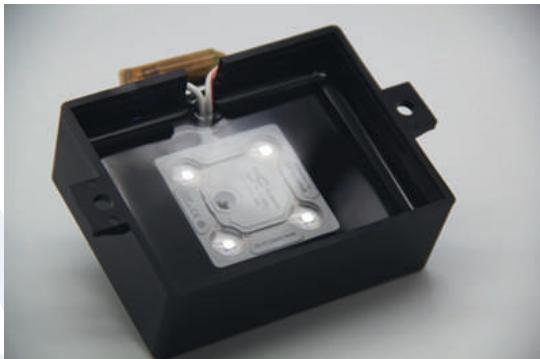
- **наличие пузырей малого размера**, которые, не влияя на эксплуатационные характеристики изделия, тем не менее ухудшают его вид. Проблема решается грамотным выбором компаунда, а также соблюдением правил работы с ним (аккуратное перемешивание, заливка толстой струей в нижнюю часть формы и др.).
- **пожелтение при единовременной заливке** большого объема вследствие разогрева компаунда. Для предотвращения данной проблемы следует учитывать рекомендации производителя по максимальной толщине заливки.
- **пожелтение при длительной эксплуатации** под действием УФ-излучения (в том числе отраженного света). Возможно для компаундов низкого качества, не содержащих специальных добавок, препятствующих данному явлению.



На фото показаны образцы компаунда СТЭП-ОП1 (слева) и компаунда другого производителя после выдержки в течение 2-х летних месяцев под открытым небом (июль и август 2023 года)

Пример

- СТЭП-ОП1 ТУ 20.16.40-129-05770317-2021 – оптически прозрачный двухкомпонентный эпоксидный компаунд холодного отверждения. Данный состав предназначен для заливки электронных, радио- и светотехнических изделий, а также для высококачественных декоративных отливок. Полнотью прозрачен. Имеет высокую прочность. Стоек к атмосферному воздействию, в том числе к УФ-лучам. Не требует нагрева или вакуумирования.



Блок светодиода, залитый компаундом СТЭП-ОП1

Благодаря постепенному набору прочности при комнатной температуре, компаунд сохраняет эластичность в течение нескольких часов после потери липкости. Это позволяет применять его для решения специфических задач, таких как изготавление прозрачных пленок, покрытий.

Основные характеристики компаунда СТЭП-ОП1

Жизнеспособность при температуре 20 ± 2 °C, не менее, мин	90
Вязкость сразу после смешения (Ш5, 100 RPM, 20°C), мPa·с	550 - 570
Время полного отверждения при температуре 20-25 °C, ч	48
Удельное объемное электрическое сопротивление не менее, Ом·см	$1,0 \times 10^{14}$
Твердость по Шору D, ед., не менее	55
Плотность, г/см ³	1,00 - 1,05
Интервал рабочих температур, °C	-60 ... +150
Цена ¹ , руб/кг	от 1400

¹ Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.

Удаляемые компаунды

В ряде случаев требуется сохранить ремонтопригодность герметизируемого изделия - оставить возможность демонтажа компаунда для доступа к электронным компонентам. Так же зачастую возникает задача временно защитить участок изделия от воздействия воды, химических растворов, к примеру, на участке травления. В обоих случаях целесообразно использовать удаляемые компаунды.

Применение классических эпоксидных составов в ситуации, когда требуется обеспечить ремонтопригодность изделия, может привести к ряду сложностей. Можно выделить три классических подхода к удалению отверженных эпоксидных составов:

1) Термомеханический метод.

Компаунд нагревают выше температуры стеклования на 30 - 40 °С и срезают техническим ножом либо другим удобным инструментом. При этом удаление происходит достаточно тяжело, мелкими кусками. Также велик риск повреждения элементов РЭА либо от механического воздействия, либо от повышенной температуры. Удаление остатков компаунда, примыкающих к элементам, контактам, печатной плате при этом практически невозможно, что осложняет последующий ремонт.

Типичная печатная плата после многочасового удаления эпоксидного компаунда термомеханическим методом выглядит следующим образом:



2) Химический метод.

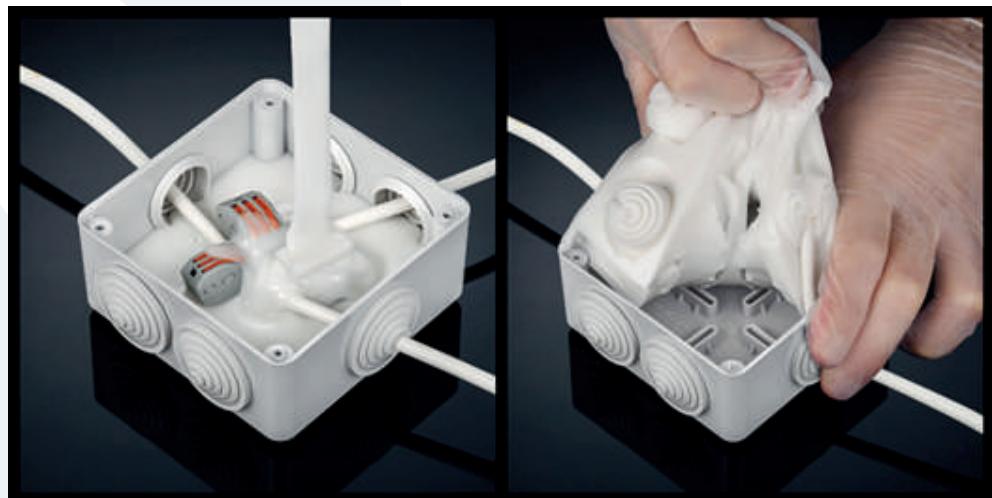
Использование специальных смывок, способных к химическому разложению отверженной эпоксидной смолы. Работа с подобными смывками требует повышенных мер предосторожности – они способны вызывать ожоги как при попадании на кожу, так и при вдыхании паров. Само удаление происходит медленно, послойно. Для удаления толстого слоя отверженного компаунда может потребоваться несколько дней. Следует учесть, что стеклотекстолит печатной платы также подвержен разложению под действием таких смывок, так как в качестве связующего в нем используются эпоксидные смолы.

3) Выдержка в растворителе.

Предполагет помещение отверженной смолы в растворитель, который не вызывает разложения смолы, но приводит к ее набуханию и снижению прочности. В отличие от классического «химического» метода в данном случае все равно требуется последующая интенсивная очистка с применением режущего инструмента.

В целом можно заключить, что высокая прочность и адгезия эпоксидных смол не позволяют комфортно очистить залитое электронное изделие. В некоторых случаях очистка без разрушения изделия принципиально невозможна.

Класс кремнийорганических (силиконовых) соединений имеет более низкую прочность и меньшую, по сравнению с эпоксидными материалами, адгезию к металлам, стеклотекстолиту и керамике, но при этом большую эластичность. Специалистами НПК «СТЭП» были разработаны удаляемые кремнийорганические составы, которые на сегодняшний день широко применяются для создания ремонтопригодных узлов в электротехнике и электрике.



Заливка распределительной коробки компаундом СТЭП-М3 и последующее его удаление.

Основные характеристики компаунда СТЭП-М3

Жизнеспособность при температуре 20±2 °C, не менее, мин	10
Время технологического отверждения при температуре 20-25 °C, мин	20-25
Время полного отверждения при температуре 20-25 °C, мин	60
Удельное объемное электрическое сопротивление не менее, Ом·см	$1,0 \times 10^{13}$
Твердость по Шору А, ед	0
Плотность, г/см³	1,00 - 1,05
Интервал рабочих температур, °C	-60 ... +120
Цена ¹	от 952/кг руб

¹ Цена при условии единовременного заказа от 100 кг, без учета НДС. Цена актуальна на 01.09.2023.



Компаунд СТЭП-М3 в фасовке для розничной продажи



Конструкционное склеивание

Клеевое соединение является альтернативой более традиционным методам механического соединения материалов, например, с использованием гвоздей, заклепок, винтов и др.

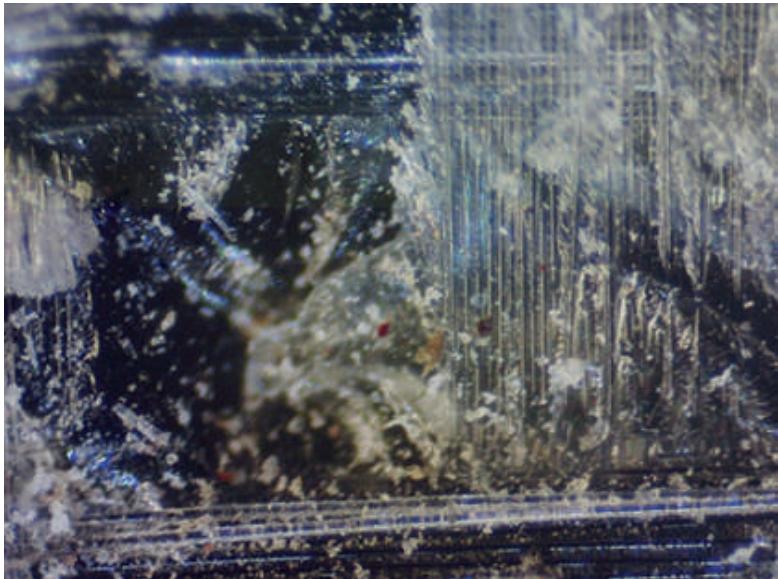
Благодаря ряду важнейших преимуществ перед другими методами создания неразъемных соединений, склеивание находит все возрастающее значение в машиностроении, особенно в авиационной, космической, судостроительной, автомобильной промышленности.

На Иллюстрации ниже показаны детали конструкции самолета Airbus A380, содержащие kleевые соединения.



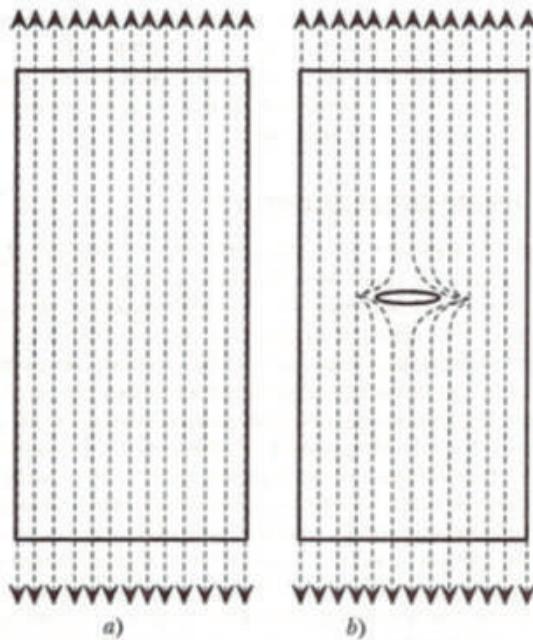
К основным преимуществам склеивания перед другими способами следует отнести:

- **Возможность соединения разнородных материалов.** Благодаря тому, что клеевой шов способен поглощать, перераспределять или более равномерно передавать напряжения от одного элемента конструкции к другому, возможно создание соединений самых разнообразных материалов, которые могут существенно отличаться по свойствам, модулю упругости, коэффициенту термического линейного расширения и толщине. Появляется возможность создания надежных соединений резин, стекол, керамики, металлов в различных сочетаниях, в том числе деталей сложной геометрической формы и малых толщин.



Поверхность пластины из стеклопластика, обработанная для последующего склеивания (под микроскопом)

- **Защита от коррозии.** Полученный в процессе склеивания слой адгезива монолитен и непрерывен, а потому может служить как устойчивое к воде, агрессивным газам и жидкостям уплотнение, способен предотвращать или существенно уменьшать электролитическую коррозию между разнородными материалами.
- **Снижение массы конструкции.** Более равномерное распределение напряжений в элементах конструкции позволяет использовать более легкие материалы. Данный эффект особенно выражен при использовании низкоплотных вспенивающихся материалов на больших площадях склеивания.
- **Снижение трудоемкости.** При склеивании нет необходимости выполнять трудоемкие технологические операции, без которых нельзя обойтись при выполнении обычных механических соединений, – сверление, сварка, нарезка резьбы и др. Удельная трудоемкость изготовления kleевых соединений в 1,6-2,2 раза ниже, чем традиционных (сварных, болтовых, заклепочных). Это позволяет получить в пересчете на 1 т. клея от 6 до 11 тыс. чел.-ч. прямой экономии.
- **Отсутствие концентраторов напряжений.** Благодаря тому, что в склеиваемых деталях нет необходимости сверлить отверстия, нарезать резьбу, прошивать пазы, в склеиваемых материалах сохраняется исходная прочность. Не происходит при склеивании и термического ослабления материала, возможного при соединении методами сварки или пайки.

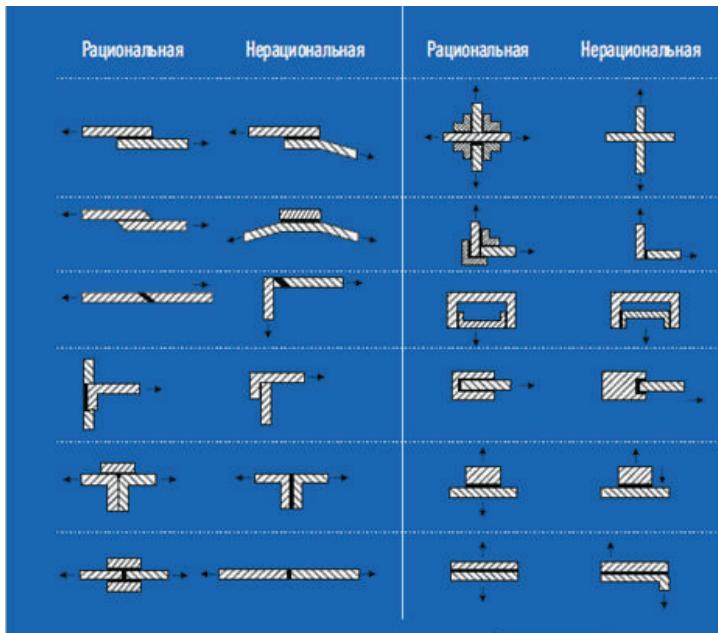


Схематичное изображение силовых линий в монолитном образце (а) и в образце с эллиптической полостью (б). Силовые линии проходят вдоль образца (а) и имеют другой характер распространения в образце (б). В результате этого появляются концентрации напряжений на краях эллиптической полости

Многообразие свойств. Клеевой шов может быть прозрачным и непрозрачным, электроизолирующим и электропроводящим, монолитным и пенистым, жестким и эластичным, с временем жизни от нескольких секунд до многих месяцев в отсутствии инициирующего воздействия (температуры, излучения).

✓ Проектирование клеесборных конструкций

Задача проектирования клеесборных конструкций не сводится только к выбору клеевого материала. Работоспособность клеевого соединения будет также определяться правильным выбором его конструкции и грамотным выполнением технологических операций по подготовке поверхности, приготовлению, нанесению и отверждению клея с возможностью осуществления контроля качества практически на каждом из этапов формирования соединения.



Конструкции kleевого соединения

Глубокое понимание физико-химических процессов, наблюдаемых при формировании kleевых соединений, позволяет специалистам НПК «СТЭП» быстро осуществить выбор клея и kleевого соединения, а также провести отработку технологии склеивания для обеспечения работоспособности, долговечности и надежности kleесборной конструкции.

Уровень технических решений в настоящее время непрерывно растет, меняются конструкции узлов, ужесточаются режимы работы изделий. В результате развивается и совершенствуется индустрия kleев. Вот уже более 30 лет коллектив НПК «СТЭП» активно ведет научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность, выпуская новые kleи, которые отвечают самым высоким требованиям промышленности.

Разработанные сотрудниками НПК «СТЭП» kleи успешно внедрены на многих ведущих предприятиях: АО «Корпорация «МИТ», ФГУП «НПЦАП», ФГУП «Крыловский государственный научный центр», НПО Автоматики им. Семихатова, АО «Авиадвигатель», АО «Силовые машины», АО «Электротяга», ПАО «Судостроительный завод «Северная верфь», АО «ЛОМО» и др.

Тепло- и термостойкие полимерные материалы

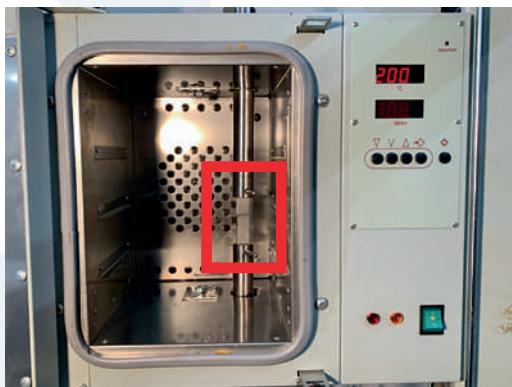
С интенсивным развитием техники возрастают требования к сохранности свойств полимерных материалов при нагреве. Повышение диапазона рабочих температур позволяет создавать более производительные машины, приборы, оборудование, способные работать с более высокими удельными нагрузками в авиации, ракетной технике, радиотехнике и других отраслях промышленности.

При оценке поведения полимерных материалов при нагреве различают теплостойкость и термостойкость. Термостойкость определяется как температура, выше которой снижаются показатели свойств, определяющие возможность эксплуатации данного материала. А термостойкость характеризует способность материала противостоять воздействию определенной температуры без протекания деструкции структуры материала.

1) Теплостойкие материалы

Наибольшей теплостойкостью среди представленных на отечественном рынке полимерных материалов обладают композиты на основе фенолоформальдегидных, гетероцепных, кремнийорганических смол. Температура их эксплуатации, как правило, не превышает 300 °C, при этом данные материалы обладают рядом недостатков, делающих их применение невозможным для решения ряда задач: хрупкость, низкая технологичность, большая усадка при отверждении.

Специалистами НПК «СТЭП» разработаны теплостойкие адгезивы на основе модифицированных эпоксидных смол. Получены клеи, обеспечивающие высокую прочность в процессе длительной эксплуатации при температуре 200-250 °C и при этом обладающие всеми преимуществами эпоксидных смол (высокая собственная прочность и адгезия к широкому кругу материалов, отсутствие усадки при отверждении, удобство применения).



Испытания клеевого образца при температуре 200 °C по ГОСТ 11262

Пример

Теплостойкий клей СТЭП-Т413 ТУ холодного отверждения на эпоксидной основе. Температурный диапазон эксплуатации термостойкого клея составляет от минус 60 до плюс 250 °С, кратковременно до плюс 300 °С. Данный клей устойчив к воздействиям резких перепадов температур, повышенной влажности, бензина, масел, грибов, глубокого вакуума. В контакте с металлами является коррозионно-пассивным.

Кроме того, данный состав характеризуется высокой собственной прочностью и адгезией к широкому кругу материалов:

- металлы (Ст3 и другие углеродистые стали, алюминий, титан, нержавеющие стали и пр.);
- керамические материалы (SiC, Al₂O₃ и другие соединения);
- полимерные материалы (в том числе композиционные материалы: стекло-, углепластики и др.);
- углерод-углеродные композиционные материалы;

Возможно склеивание перечисленных материалов в различных сочетаниях.

Основные характеристики теплостойкого клея СТЭП-Т413

Показатель	Значение	
Жизнеспособность после смешения компонентов при температуре 18-22 °С, мин	30 - 45	
Технологическое время отверждения при температуре 15-35°C, ч	24	
Разрушающее напряжение при сдвиге на образцах Ст3-Ст3 по ГОСТ 14759, МПа		
при температуре	20°C 100°C 150°C 200°C 230°C	8,5 14,0 8,0 5,0 3,0
Относительное удлинение при разрыве по ГОСТ 11262, %	0,8 - 1,2	
Интервал рабочих температур, °С	-60...+250 (+300 кратковременно)	

Для полного представления преимуществ данного клея в таблице ниже представлена сравнительная характеристика с другими отечественными kleевыми составами с высокой теплостойкостью.

Сравнительная характеристика kleев

Показатель	Марка клея		
	K-300-61	K-400	СТЭП-Т413
Относительное удлинение при разрыве по ГОСТ 11262, %	Менее 1	Менее 1	0,8 - 1,2
Разрушающее напряжение при сдвиге на образцах Ст3-Ст3 по ГОСТ 14759, МПа			
при температуре	20°C 100°C 200°C	16,5 2,4 3,0	18,3 3,0 2,5
			14,5 14,4 5,2

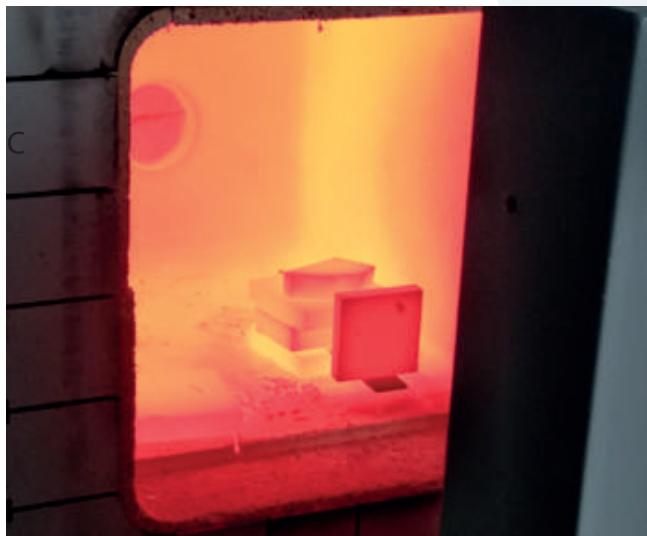
2) Сверх-термостойкий клей (более 1000 °C)

Другим направлением деятельности НПК «СТЭП» является разработка термостойких kleевых полимерных составов, способных работать при температурах 1000-2000 °C. Среди адгезионных материалов, серийно выпускаемых отечественной промышленностью, наибольшей термостойкостью обладают неорганические клеи. Однако ввиду низкой прочности и хрупкости они не могут применяться в ряде ответственных изделий ракетной, авиационной, космической техники.

В связи с этим представляют интерес полимерные kleевые композиции, способные претерпевать переход в керамическую fazу непосредственно в процессе эксплуатации при повышенных температурах. Интерес к таким материалам возрос после произошедшей в 2003 году аварии шаттла «Колумбия», случившейся при его возвращении на Землю. Как известно, комиссия по расследованию данной аварии пришла к выводу, что ее причиной стало разрушение наружного теплозащитного слоя на левой плоскости крыла членока, вызванное падением на него куска теплоизоляции кислородного бака. Даже если бы этому повреждению, произошедшему при старте шаттла, было уделено должное внимание, исправить его непосредственно на орбите было бы невозможно из-за отсутствия у НАСА на тот момент соответствующих технологий и материалов.

После произошедшей катастрофы по заказу НАСА компанией COI CERAMICS (США) был разработан материал NOAX-3124, предназначенный для ремонта огнеупорных углерод-углеродных блоков космических аппаратов непосредственно на орбите. Данный материал основан на аллилгидридполикарбосилане, наполненном порошками SiC, ZrB₂, Y₂O₃. Переход композиции в керамическое состояние происходит при температурах выше 850 °C и может происходить в окислительной среде, например при входе космического корабля в плотные слои атмосферы. Эта же композиция может быть использована для склеивания термостойких материалов.

В России адгезив подобного типа был разработан специалистами НПК «СТЭП». Термостойкий клей СТЭП-ТК2 основан на эпоксидном связующем, что само по себе нетипично, поскольку большинство эпоксидных составов не отличаются высокой термостойкостью. Отверждение клея происходит по классическому «холодному» режиму. При стандартных условиях клей обладает умеренной эластичностью и высокими физико-механическими характеристиками, характерными для эпоксидных kleев. При нагревании до 500-600 °C клей претерпевает структурный переход с образованием вторичной неорганической структуры, обладающей высокой термостойкостью, благодаря чему kleевое соединение сохраняет высокую прочность даже при температурах выше 1000 °C. Установлено, что клей сохраняет работоспособность как минимум до 1000 °C в среде воздуха и минимум до 2000 °C в инертной среде.



Демонстрация термостойкости kleевого соединения сверхвысокотемпературного клея СТЭП-ТК2 при нагреве в муфельной печи до 1000 °C.

Основные характеристики клея СТЭП-ТК2

Показатель	Значение
Жизнеспособность при температуре 18-22 °C, минут, не менее	90
Время полного отверждения при температуре 15-35 °C, суток	7
Время полного отверждения при температуре 50-55 °C, ч	16
Прочность клеевого соединения при сдвиге, МПа, не менее	
при температуре	
20°C	13,5
100°C	2,8
150°C	2,4
200°C	2,1
250°C	1,8
Прочность клеевого соединение при сдвиге при 20°C после обжига при 1000 °C, МПа	6,9
Прочность клеевого соединение при сдвиге (на образцах керамоматричного композиционного материала «КМК-МС»), МПа	
при температуре	
20°C	8,8
2000°C	2,8

Материалы, подобные NOAX-3124 и СТЭП-ТК2, наиболее востребованы в авиационной, космической, ракетной технике для соединения теплонагруженных элементов конструкции, но могут быть применены и в других отраслях промышленности, например на сталелитейных производствах.



Современные эластичные клеи

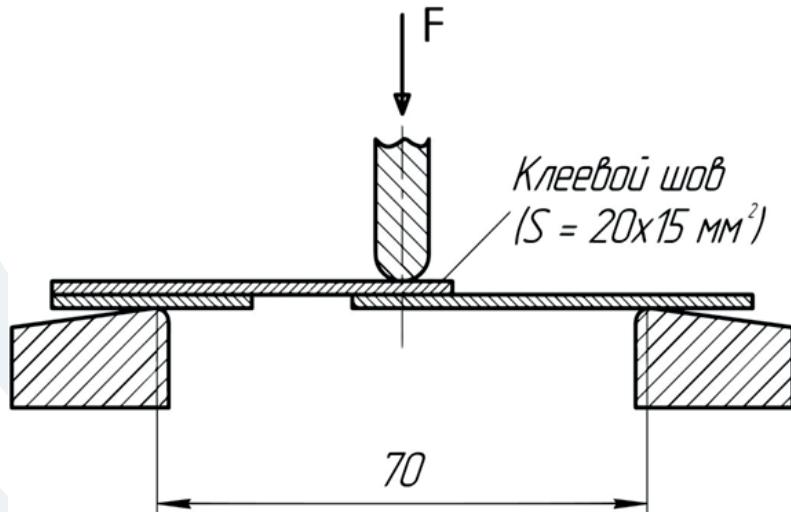
Подбор клеевых композиций при проектировании нового изделия является сложной задачей, от правильности решения которой зависит долговечность будущей конструкции. Подход, основанный на сравнении стандартных прочностных показателей, заявляемых производителями (прочность при сдвиге либо при отрыве клеевых образцов), может привести к неудачному выбору. Дело в том, что условия стандартных испытаний (например, по ГОСТ 14760 или по ГОСТ 14759) весьма далеки от реальных условий, в которых происходит эксплуатация изделия.

При испытаниях по указанным стандартам нагрузка, действующая на клеевой шов, является приблизительно одинаковой по величине и направлению в любой точке клеевого шва. В то же время в реальных конструкциях в процессе эксплуатации возникают более сложные векторы нагрузки. В результате клеевое соединение может быть разрушено при усилиях, которые значительно уступают расчетным значениям, основанным на документации производителя клея. Следует отметить, что наличие неравномерных нагрузок на клеевой шов не означает, что были допущены ошибки при проектировании изделия. Напротив, это практически неизбежно при эксплуатации конструкций сложной формы, получаемых в результате склеивания.

Если добавить к этому возможность вибрационного, ударного воздействия на изделие, неизбежные температурные перепады, то становится понятно, что качественный конструкционный клей должен обладать куда более сложным набором свойств, чем просто высокой прочностью при плавной равномерной нагрузке, на «разрывной» машине.

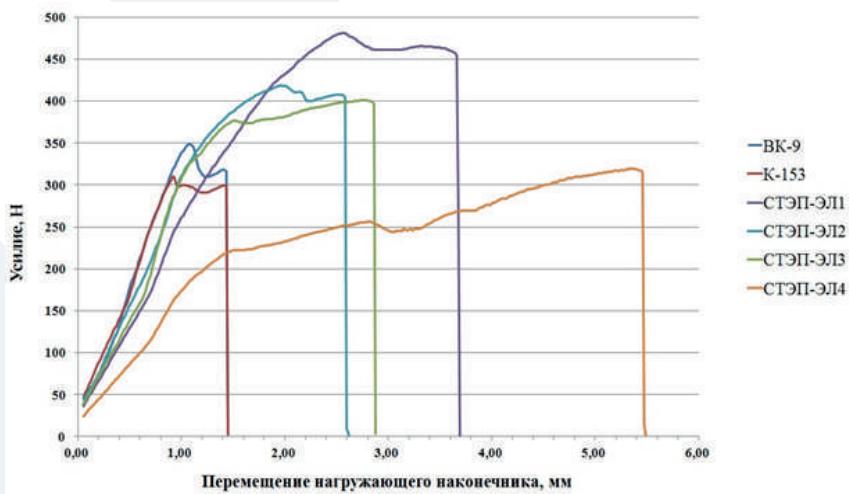
Гордостью нашей компании является линейка эластичных конструкционных клеев СТЭП-ЭЛ, специально созданных для применения в узлах, подверженных влиянию динамического воздействия (вибрации, удары), а также неравномерных нагрузок, при которых к определенным участкам клеевого шва приложено существенно большее усилие, чем к другим. Клеи данной линейки характеризуются относительным удлинением при растяжении от 10 до 170 % (растет в ряду СТЭП-ЭЛ1, СТЭП-ЭЛ2, СТЭП-ЭЛ3, СТЭП-ЭЛ4).

Для оценки стойкости клеевых соединений к неравномерному нагружению специалистами НПК «СТЭП» был разработан ряд нестандартных методик, например вариация метода трехточечного изгиба, где в качестве испытуемого образца используются склеенных «внахлестку» пластинки:



Прочность клея при данном испытании характеризуется условной прочностью при изгибе (отношением разрушающей нагрузки к площади склеивания), а также глубиной прогиба пластинок в области склеивания перед разрушением.

Подобный метод позволяет наглядно продемонстрировать отличие между распространенными жесткими kleями (например, советскими составами ВК-9 и К-153) и эластичными kleями линейки СТЭП-ЭЛ. На рисунке ниже приведены кривые нагружения данных kleев – зависимость нагрузки от глубины прогиба пластинок.



Подобные кривые позволяют получить большой массив практически важной информации. В первую очередь видно, что эластичные клеи СТЭП-ЭЛ могут обеспечивать большую прочность склеивания при неравномерном нагружении.

Что касается клея СТЭП-ЭЛ4, то его прочность при данном испытании оказывается на уровне испытанных жестких эпоксидных клеев. Однако его применение дает большое преимущество в условиях, когда прогиб kleевого соединения на определенную глубину неизбежен в результате внешнего воздействия, и задача клея состоит в том, чтобы выдержать такую деформацию изделия без разрушения. Классический пример подобного воздействия – снятие деталей автомобиля в результате аварии. Клей не способен предотвратить деформацию, но может сохранить целостность детали. Характеристики клеев линейки СТЭП-ЭЛ в сравнении с К-153 и ВК-9 представлены в таблице ниже.

Характеристики клеев линейки СТЭП-ЭЛ в сравнении с К-153 и ВК-9

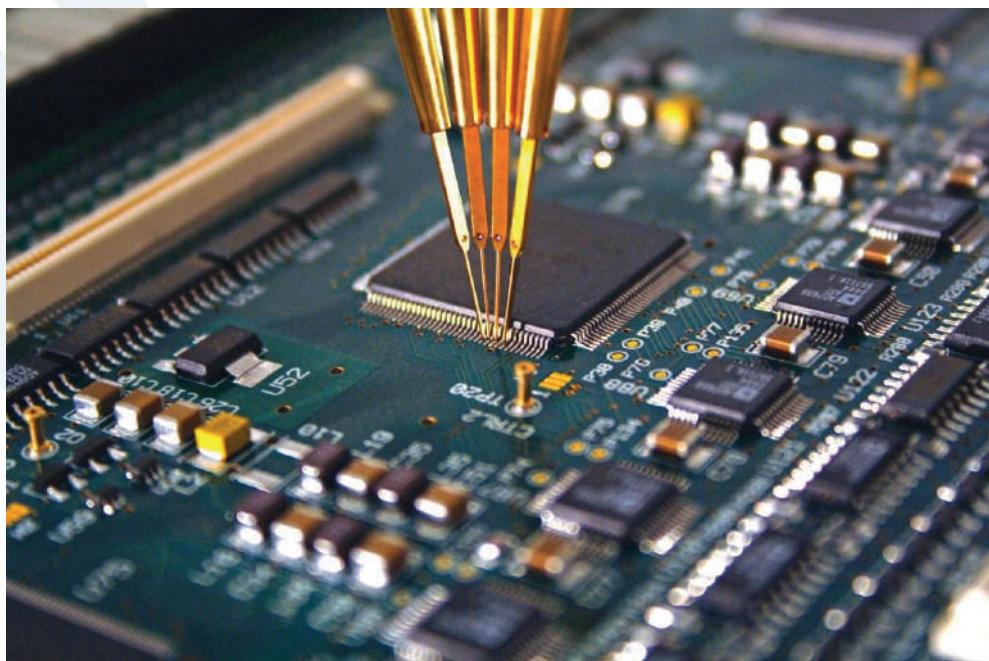
Показатель	Результаты испытаний для различных kleевых систем					
	ВК-9	К-153	СТЭП-ЭЛ1	СТЭП-ЭЛ2	СТЭП-ЭЛ3	СТЭП-ЭЛ4
Относительное удлинение при растяжении, % (ГОСТ 11262)	1,1	1,4	11,5	24,3	36,7	169,8
Прочность при равномерном отрыве Мпа (ГОСТ 14760)	12,2	18,3	19,2	13,9	10,7	5,1
Прочность при сдвиге, Мпа (ГОСТ 14759)	15,3	18,4	24,3	18,4	14,2	7,9
Условная прочность при изгибе kleевого образца, Мпа (методика НПК СТЭП)	1,16	1,03	1,60	1,39	1,33	1,06

С более развернутой информацией об испытаниях клеев при неравномерной нагрузке вы можете ознакомиться, воспользовавшись данной ссылкой:



✓ Клей для монтажа SMD компонентов

SMT-монтаж (Surface Mount Technology) – это технология монтажа электронных компонентов (SMD - Surface Mount Device) на поверхности печатных плат. В отличие от традиционной технологии, при которой компоненты монтируются сквозь отверстия (THT-монтаж), проводятся на другую сторону платы и затем паянием закрепляются на плате, SMT-монтаж позволяет компонентам монтироваться непосредственно на поверхность печатной платы.



SMT-монтаж предоставляет ряд преимуществ, включая более высокую плотность компонентов, более высокую надежность соединений, более низкие затраты на производство и улучшенные электрические характеристики. Это позволяет сделать устройства более компактными, легкими и производительными.

Использование kleев при SMT-монтаже

Зачастую SMT-монтаж сопровождается дополнительным приклеиванием компонентов к поверхности печатной платы. Такая необходимость возникает в следующих случаях:

1) Двусторонний монтаж. Сначала SMD компоненты устанавливаются на одну сторону платы, затем наносится паяльная паста, плата направляется в припойную печь, где происходит припаивание по припойным температурным профилям. Затем процесс повторяется на второй стороне. При этом, тяжелые компоненты с первой стороны в это время могут отвалиться из-за размягчения припоя. Поэтому, как правило, тяжелые компоненты располагают на второй стороне.

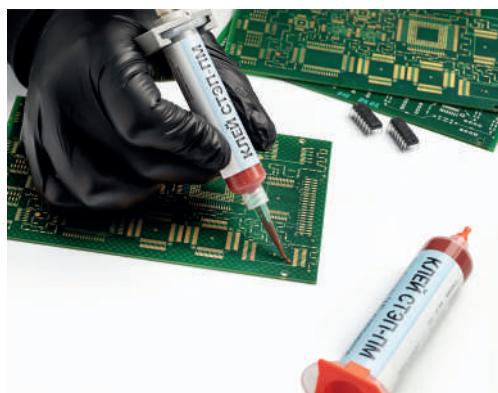
Если тяжелые компоненты оказываются с двух сторон, требуется применение клея. Он должен не размягчаться и не течь при температуре пайки. Это наиболее распространенный случай, когда используют клей для поверхностного монтажа.

2) Дополнительная фиксация компонентов, которые слабо держатся на печатной плате. Это могут быть компоненты, выполненные в корпусе типа QFN, LGA, BGA, CSP, а также различные сенсоры, акселерометры, гироскопы и т.д.

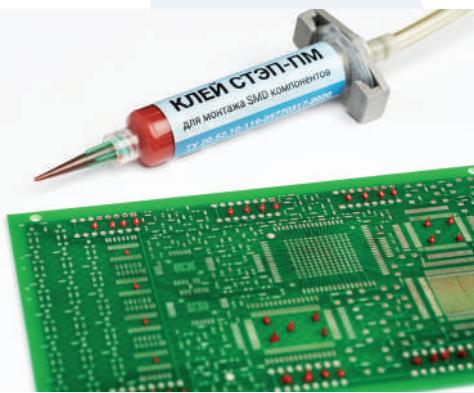
Нанесение клеев

Клей наносят двумя способами – точечно, либо по трафарету.

1) Точечный способ - Spot Dispensing либо аналогично в линейном режиме - Line Dispensing: на тюбик с kleem надевают специальный носик с отрегулированным диаметром отверстия, чтобы получать при нанесении капли нужного размера. Клей наносится равными порциями – для этого капли выдавливают, подавая на тюбик равное давление в течение равного времени в любой точке нанесения.



Процесс нанесения SMT клея СТЭП-ПМ на печатную плату

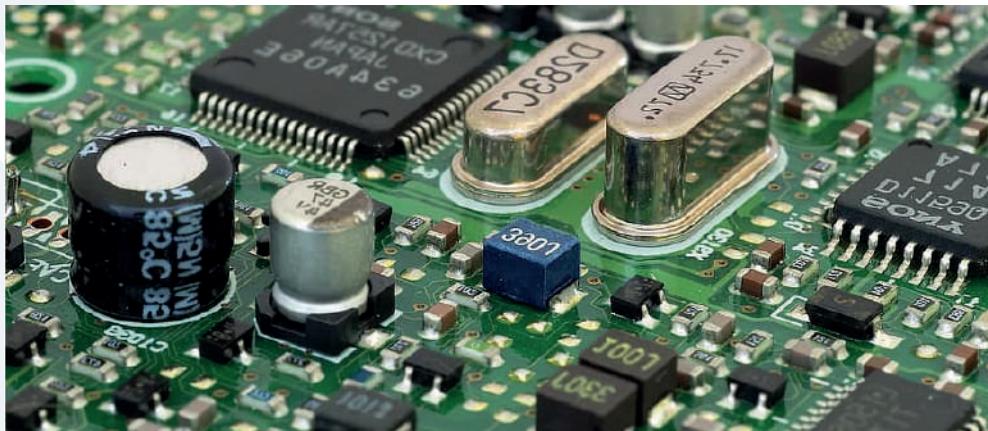


Картридж клея СТЭП-ПМ, подключенный к системе пневматического дозирования

2) Трафаретный способ: на плате специальным образом располагают трафарет, на котором в точках нанесения клея расположены сквозные отверстия – апертуры. Клей наносится на трафарет специальными прорезиненными шпателями. Геометрия трафарета зависит от вязкости и тиксотропности клея – например, если трафарет слишком толстый, вязкий клей может остаться в апертурах, и сняться вместе с трафаретом.

Оба способа можно разделить ещё на два подвида – ручной и автоматизированный. СТЭП-ПМ подходит для любого способа применения и поставляется как в готовых для автоматизированного и ручного нанесения тюбиках, так и в иной таре.

Когда монтаж окончен, готовую плату помещают в ультразвуковую ванну с отмышечной жидкостью.



Зачем мы разработали аналог импортных kleев для поверхностного монтажа

SMT клей производятся, в основном, в Европе и США, стоят дорого, и их становится всё сложнее поставлять в Россию.

Главное требование к SMT kleям: они должны быть одноупаковочными (клей обычно состоят из множества целевых компонентов, но должны поставляться в одной стандартизированной упаковке, готовой для применения в монтаже SMD компонентов), иначе их использование нетехнологично. Хотя отечественные многокомпонентные клеи до сих пор используются в промышленности, их применение обусловлено нерыночными стимулами, и они уступают по удобству импортным однокомпонентным аналогам.

Мы поставили перед собой задачу разработать полный аналог импортных kleев, который должен:

- a) Поставляться в готовых к применению картриджах (быть одноупаковочным);
- b) Отверждаться в процессе пайки в соответствии с термопрофилем для пайки (крайне важно, так как если режим отверждения клея не будет адаптирован под термопрофиль паяльной пасты, в процессе полимеризации будут возникать пузыри, трещины, отслоения и прочие дефекты).

В технологии поверхностного монтажа применяются три термопрофиля пайки – низко-, средне- и высокотемпературная пайка. Клей должен отверждаться по всем трем без дефектов;



Пример высокотемпературного профиля пайки



Пример низкотемпературного профиля пайки

- в) Должен хорошо храниться при комнатной температуре;
- г) Должен обладать подходящими реологическими характеристиками – оптимальной вязкостью и индексом тиксотропности. Вязкость должна позволять наносить клей под давлением, при этом клей не должен стекать с наносимой поверхности. *Индекс тиксотропности должен попадать в диапазон от 4 до 6.

*Индекс тиксотропности – это соотношение вязкости клея по Брук菲尔ду при скорости вращения шпинделя вискозиметра 10 об/мин к вязкости клея при скорости вращения 100 об/мин. Чем больше тиксотропность клея, тем выше индекс. У тиксотропного клея капли не растекаются и сохраняют форму. Также тиксотропный клей лучше держит компоненты при нагревании.

д) Должен обладать высокой прочностью и адгезией к компонентам печатных плат. Прочность и адгезия зависят от применяемого термопрофиля – при средне- и высокотемпературном профиле адгезия СТЭП-ПМ к стеклотекстолиту может быть выше, чем собственная прочность стеклотекстолита.

е) Клей должен быть красного цвета – он хорошо различим на фоне зеленого стеклотекстолита. Словосочетание «red glue» («красный клей») в западной литературе является нарицательным для данного типа kleев. При разработке клея мы столкнулись с проблемой пожелтения кляя в процессе отверждения и хранения. Для ее успешного решения потребовалось опробовать более десятка различных пигментов.

- СТЭП-ПМ ТУ 20.52.10-119-05770317-2020 - Одноупаковочный клей для автоматизированного или ручного поверхностного монтажа электронных компонентов.

Основные характеристики клея

Время технологического отверждения при температуре 120 °C, минут	8 - 10
Режимы отверждения в процессе пайки	Стандартные низко-, средне- и высокотемпературные профили для паяльных паст
Удельное объемное электрическое сопротивление не менее, Ом·см	$1,0 \cdot 10^{14}$
Диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц (ГОСТ 22372)	2,1
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц (ГОСТ 22372)	0,036
Интервал рабочих температур, °C	-60 ... +180 (до 250 кратковременно в процессе пайки)
Цена картриджа клея 10 мл ¹	1100 руб/шт
Цена картриджа клея 30 мл ¹	1595 руб/шт

¹ Цена без учета НДС, актуальна на 01.09.2023

✓ Конструкционные клеи быстрого отверждения

Конструкционные клеи быстрого отверждения широко используются в автомобильной промышленности, аэрокосмической отрасли, электронике, машиностроении и других областях, где требуется быстрое, но надежное соединение различных материалов. Применение составов данного типа позволяют увеличить эффективность производства за счет сокращения времени технологического цикла.



Стоит отметить, что для ответственных серийных изделий в промышленности не используют бытовые адгезивы быстрого отверждения, такие как «Момент», «Секунда» и прочие цианоакрилатные клеи. Конструкционные клеи имеют следующие преимущества:

- Низкая усадка. При отвержении материала kleевой шов должен сохранять свою конфигурацию. В противном случае элементы конструкции могут деформироваться.
- Высокая теплостойкость. Некоторые элементы конструкции достаточно сильно нагреваться. Например, двигатели внутреннего сгорания или мощные магниты могут передавать тепло на корпус аппарата, на который приклеиваются детали обшивки.

- Химическая стойкость к маслам, нефтепродуктам. Клеевой шов должен выдерживать попадание рабочих жидкостей на его поверхность. В противном случае целостность соединения может быть нарушена.
- Более высокие прочностные показатели.

Как правило, промышленные конструкционные клеи быстрого отверждения основаны на эпоксидной или полиуретановой основе. Эти материалы обладают отличными физико-химическими свойствами, такими как высокая прочность, химическая стойкость и долговечность.

Специалистами НПК «СТЭП» разработан полиуретановый конструкционный клей быстрого отверждения – СТЭП-ПК5 ТУ 20.16.56-166-05770317-2023. Преимущество этого клеевого состава заключается в его способности сопротивляться растеканию при нанесении на горизонтальные плоскости и стеканию при нанесении на вертикальные плоскости. При этом тиксотропность образуется только при смешении клея, исходные компоненты не содержат классические загущающие добавки. Клей СТЭП-ПК5 подходит для склеивания широкого перечня материалов: сталь, алюминий, стекло, керамика, дерево, бетон. После нанесения состав сохраняет форму и может быть использован в том числе для герметизации швов и отверстий.

Основные характеристики клея

Внешний вид	Тиксотропная жидкость черного цвета¹
Соотношение компонентов	1:1
Время технологического отверждения, мин	20 - 25
Прочность на сдвиг (Ст3- Ст3), МПа, не менее	10
Твердость по Шору D	85
Интервал рабочих температур, °C	-40 ... +85

¹ Цвет может быть изменен по требованию заказчика

Состав поставляется в двухкомпонентных картриджах, которые могут заправляться в ручную или в автоматическую систему нанесения (дозирования). На фото изображен вариант фасовки полиуретанового клея СТЭП-ПК5 в картриidge для ручного нанесения.



В данный момент также идет разработка быстроотверждающегося эпоксидного состава. Характеристики, к которым стремятся наши разработчики указаны ниже.

Основные характеристики клея

Внешний вид

Соотношение компонентов	1:1
Время технологического отверждения, мин	3 - 7
Прочность на сдвиг (Ст3- Ст3), МПа, не менее	8,0
Твердость по Шору D	70
Интервал рабочих температур, °C	-50 ... +100

У вас есть отличная возможность принять участие в процессе разработки этого состава. Предлагаем Вам получить бесплатные образцы состава и принять участие в тестировании прототипа. Тогда мы сможем учесть пожелания на стадии разработки материала и составления документации. По вопросам тестирования можно связаться с нами по контактам, указанным на последней странице брошюры.



Работа по импортозамещению материалов

Одно из направлений, в котором НПК СТЭП активно ведет свою деятельность,— импортозамещение дорогих и дефицитных материалов западных брендов. Приведенные ниже материалы не являются в точности химическими аналогами, однако позволяют решать схожие технические задачи по намного более доступной цене.

Рассмотрим несколько кейсов, которые удалось реализовать.

- Электротехнический эпоксидный компаунд СТЭП-2131 как российский аналог американского полиуретанового компаунда Scotchcast 2131 от компании «3М». Данные материалы широко применяются для заливки муфт при сращивании силовых кабелей, герметизации электротехнических соединений от воды. Ниже представлено сравнение материалов.

Технические характеристики	Scotchcast 2131	СТЭП-2131
Химическая природа	Полиуретан	Эпоксиуретан
Количество компонентов	2	2
Соотношение по массе	1 : 2,1	5 : 1
Режим отверждения, при температуре 20–25°C, ч	16-24	24
Жизнеспособность при 23°C, мин	17	15 - 30
Относительное удлинение, %	339	55
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см, не более	$1 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{13}$
Твердость по Шору А, ед.	82	83
Максимальная рабочая температура, °C	+90 (+130 кратковременно)	140

Компаунд СТЭП-2131 имеет более низкий показатель относительного удлинения, однако материал способен выдерживать при нагреве более высокие температуры в течение долгого времени. Еще одно неочевидное отличие материалов заключается в стабильности свойств. Полиуретаны при попадании в состав влаги теряют свои потребительские свойства – из-за избытка влаги при отверждении материала может образовываться пена. Эпоксидная природа состава СТЭП-2131 делает материал неприхотливым к повышенной влаге воздуха. Это преимущество позволяет получить гладкую и ровную поверхность материала при любой влажности воздуха даже при многократном открывании тары и в случае хранения материала в таре с неплотной закрытой крышкой.



Пример фасовки компаунда СТЭП-2131

- **Разработка прямого аналога клеев Хемосил (Chemosil)**

В результате ухода с российского рынка целого сегмента клеев Chemosil для приклеивания невулканизированной резины к металлу от крупного производителя LORD Corporation появилась острая потребность в подобных составах. Отечественные составы для данной задачи оказались менее технологичными и не обеспечивали требуемый уровень адгезии резины и металла.

В результате упорного труда, сотрудничества с рядом предприятий и многочисленных испытаний специалистам НПК СТЭП удалось получить материал, который может составить конкуренцию адгезивам Хемосил 211 и Хемосил 225. Для удобства клеевая система получила схожие названия – праймер СТЭП-211 и клей СТЭП-225. Клей успешно прошли целый комплекс испытаний на ряде предприятий. В данный момент клей производится в промышленных масштабах и уже покоряет отечественный рынок благодаря своей доступной цене и превосходным свойствам. НПК СТЭП активно работает со своими партнерами по направлению импортозамещения, разрабатывая составы по техническому заданию заказчика. Мы проявляем индивидуальный подход к каждому кейсу и стараемся сделать все, что в наших силах, чтобы клиент остался доволен.

Заключение

Специалисты НПК «СТЭП» за долгие годы своей деятельности разработали широкую линейку составов, которые обладают высокой прочностью и адгезией к различным материалам, повышенной эластичностью, тепло- и термостойкостью, теплопроводностью, токопроводностью. Созданы не имеющие российских аналогов клеи для SMT-монтажа, для склеивания резин, компаунды для временной герметизации (удаляемые). Постоянно ведется работа по созданию новых материалов и по совершенствованию прошлых разработок.

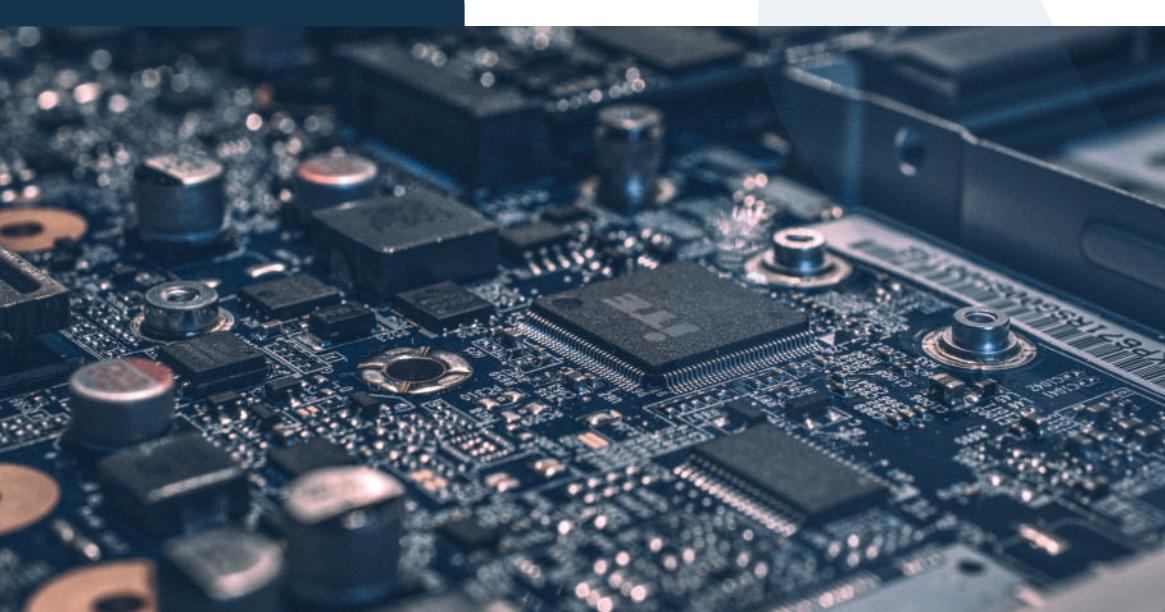
Нашиими партнерами являются более 500 отечественных и зарубежных компаний, работающих в оборонно-промышленном комплексе, в электротехнической, электронной, судостроительной, авиационной, оптико-механической и других отраслях промышленности.

Принимая во внимание многолетний опыт работы коллектива в области полимеров, НПК «СТЭП» может осуществить подбор и отработать технологию применения адгезива с требуемым уровнем свойств, при необходимости создать отечественный аналог импортного клея либо разработать принципиально новый полимерный материал, не имеющий аналогов. А благодаря наличию собственно-го производственного участка имеется возможность организации серийного производства разработанных материалов в любом требуемом объеме и по доступной цене.



Научно-производственная
компания «СТЭП»

npkstep.ru



Отдел продаж / главный офис

Тел. (812) 966-52-57
E-mail: step@npkstep.ru

Техническая консультация

Тел. +7(921)551-87-22
E-mail: support@npkstep.ru