

Московский автомобильно-дорожный институт
МАДИ (ГТУ)

Н.И. Баурова

**ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ РЕМОНТА МАШИН**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Москва 2009



УДК 629.7.07

ББК 35.719

Приведены свойства и основные области применения полимерных материалов, предназначенных для ремонта узлов и агрегатов машин по клеевой технологии. Показаны преимущества и недостатки полимерных материалов. Последовательно рассмотрены основные технологические операции.

Методические указания предназначены для студентов Московского автомобильно-дорожного института МАДИ (ГТУ), обучающихся по направлениям: 190200 (653200) «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы», 190600 (653500) «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования», 150200 (651400) «Машиностроительные технологии и оборудование» и по специальностям: 190204 (150600) «Средства аэродромно-технического обеспечения полетов авиации», 190205 (170900) «Подъемно-транспортные, дорожные машины и оборудование», 190603 (230100) «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования» и 150205 (120600) «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Анаэробные полимерные материалы.....	6
1.1. Области применения анаэробных составов при ремонте машин.....	7
1.2. Основные преимущества анаэробных составов.....	11
1.3. Основные недостатки анаэробных составов....	13
1.4. Рекомендации по выбору анаэробных клеев...	14
1.5. Типовые ошибки при работе с анаэробными клеями.....	16
1.6. Требования техники безопасности при работе с анаэробными составами.....	18
Вопросы для самоконтроля.....	18
2. Кремнийорганические (силиконовые) полимерные материалы.....	19
2.1. Области применения кремнийорганических полимерных материалов при ремонте машин..	20
2.2. Основные преимущества кремнийорганических полимеров.....	21
2.3. Основные недостатки кремнийорганических полимеров.....	23
2.4. Рекомендации по выбору кремнийорганических полимеров.....	24
2.5. Типовые ошибки при работе с кремнийорганическими полимерами.....	27
2.6. Требования техники безопасности при работе с кремнийорганическими полимерами.....	29
Вопросы для самоконтроля.....	29
3. Эпоксидные полимерные материалы.....	29
3.1. Области применения эпоксидных полимерных материалов.....	30

3.2.	Основные преимущества эпоксидных полимерных материалов.....	33
3.3.	Основные недостатки эпоксидных полимерных материалов.....	34
3.4.	Рекомендации по выбору эпоксидных полимерных материалов.....	35
3.5.	Типовые ошибки при работе с эпоксидными полимерными материалами.....	41
3.6.	Требования техники безопасности при работе с эпоксидными полимерными материалами.....	43
	Вопросы для самоконтроля.....	45
	Литература.....	45

Введение

В результате взаимодействия элементов системы человек – машина – природная среда происходит воздействие на машины многочисленных факторов. Потери народного хозяйства, связанные с обеспечением работоспособности машин за период эксплуатации, в несколько раз превышают их первоначальную стоимость.

В сфере ремонта и изготовления запасных частей задействовано свыше 7 млн. человек, 1/3 станочного парка и тратится более 1/5 выплавляемого металла.

В условиях новых экономических отношений на многих ремонтных заводах возникли значительные трудности с приобретением новой техники и поэтому возраст и величины пробега находящихся в эксплуатации машин все более увеличиваются. Только в результате аварийных утечек ежегодно теряются сотни тысяч тонн топливосмазочных материалов. По данным фирмы Локтайт, потери рабочих жидкостей из-за несовершенства уплотнений в агрегатах машин достигают 30%. Одним из путей снижения этих потерь является повышение герметичности сопряжений и качества ремонта машин.

Среди многих методов восстановления изношенных деталей наибольшее применение в ремонтном производстве машин нашли сварка, металлизация, электромеханическая обработка, анодно-механическая обработка, электролитическое наращивание, электроискровая обработка, пайка, пластическое деформирование, слесарная обработка, механическая обработка и склеивание. Для повышения износостойкости неподвижных соединений в ремонтном производстве используют гальванопокрытия или же различные виды наплавки, такие, как газоплазменная, плазменная и электродуговая.

Износостойкость неподвижных соединений в значительной степени определяет ресурс таких деталей, как корпуса трансмиссий, шестерен, подшипников, валов, осей. Нарушение неподвижности соединения вследствие ослабления натяга приводит к взаимному смещению деталей, что в свою очередь вызывает вибрацию. Ремонт

изношенных неразъемных соединений при больших зазорах чаще всего просто невозможен или же обходится очень дорого.

Известно, что до 78% от общей нормативной трудоемкости на все операции разборки, которые составляют около 6% от общего объема ремонтно-восстановительных работ, составляет разборка резьбовых соединений. Схватывание происходит практически в большинстве резьбовых соединений, которые длительно эксплуатируются в условиях перепадов температур, воздействия влаги, пыли и других внешних факторов. При сборке резьбовых соединений используют смазку, однако, она в процессе эксплуатации машин частично выгорает и схватывается, что усложняет процесс разборки.

Корпусные детали составляют 20% по количеству и 45% по массе и стоимости от остальных групп деталей и определяют надежность работы агрегата и машины в целом. Восстановление металлических деталей корпусов, связанное с искажением их геометрических размеров, повреждением в элементах несущих каркасов кузовов и заменой разрушенных частей, осуществляется с помощью правок механическим воздействием, с применением нагрева, припоев и сварки. С помощью электродуговой или газовой сварки ремонтируют сквозные коррозионные отверстия, пробоины и трещины. При сварке тонколистовой стали возникают трудности, связанные с тем, что сталь легко прожигается и коробится. Кроме этого, данные способы восстановления энерго- и трудоемки, требуют наличия специального оборудования и определенной квалификации персонала.

Использование для ремонта машин полимерных материалов является одним из наиболее простых и дешевых методов ремонта, так как он не требует высокой квалификации ремонтников и использования специального оборудования.

1. АНАЭРОБНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Анаэробные материалы применяются в автомобиле- и тракторостроении на протяжении уже более 50 лет. Первоначально они

использовались только для стопорения и фиксации резьбовых соединений, затем были разработаны высокопрочные анаэробные клеи, которые стали применяться в качестве конструкционных материалов при сборке силовых агрегатов, и уже в конце 80-х годов XX века стали выпускаться высокопрочные термостойкие анаэробные клеи. Номенклатура анаэробных клеев постоянно расширяется, и сейчас они используются при изготовлении всех крупных агрегатов автомобилей и тракторов, в том числе двигателя, трансмиссии, подвески и рулевого управления.

Слово «анаэробный» заимствовано из биологии, где оно применялось к микроорганизмам, существующим, в том числе и в организме человека, без доступа кислорода. Анаэробный означает, что такой материал отверждается только при полном отсутствии кислорода. В действительности же для отверждения анаэробных клеев необходимо одновременное наличие двух равнозначных условий: первое – контакт с металлом, второе – отсутствие кислорода. Именно металлическая подложка является инициатором процесса отверждения, где уже на самой начальной его стадии резко увеличивается вязкость (т. е. начинается процесс гелеобразования), что способствует быстрому исчерпанию кислорода, ингибирующего полимеризацию.

1.1. Области применения анаэробных составов при ремонте машин

Большой ассортимент марок анаэробных материалов объясняется разными областями их применения. При ремонте автомобилей наибольшее применение анаэробные клеи получили для:

- стопорения и контровки резьбовых соединений (болтов, винтов, шпилек, резьбовых втулок и пр., которые в конструкциях автомобилей составляют в среднем 15...25% от общего числа соединений);

- сборки цилиндрических соединений типа «вал-втулка» вместо запрессовки (из общего числа соединений в изделиях машиностроения 10...19,3% приходится на соединения с натягом, из которых 80...95% соединяются по цилиндрическим поверхностям и 5...20 % по коническим);

- заделки микропор и микротрещин в сварных швах и деталях, изготовленных путем литья из цветных сплавов.

Наибольшее применение анаэробные составы нашли при стопорении резьбовых соединений.

Одним из основных недостатков резьбовых соединений является нестабильность величины предварительной затяжки, которая самопроизвольно изменяется в процессе эксплуатации машины. Существует множество способов сохранения напряжения предварительной затяжки, среди которых одним из наиболее эффективных и простых является использование анаэробных составов.

Анаэробный полимерный материал в резьбовом соединении выполняет одновременно несколько очень важных функций.

- Устраняет сложное напряженное состояние в крепежных деталях и создает условия, при которых они работают только на растяжение под действием предварительной затяжки. Известно, что около 65% отказов приходится на случай поломок болтов по первому или второму рабочему витку резьбы от опорного конца гайки. При циклическом нагружении усталостное разрушение болта в резьбовой части возникает из-за усталостных трещин, появление которых в свою очередь вызвано тем, что суммарные напряжения от общей (растягивающей) и местной (изгибающей) нагрузок достигают своего максимального значения. Таким образом, разрушение резьбового соединения обусловлено неравномерным распределением нагрузки между витками резьбы по длине свинчивания.

- Стабилизирует силу затяжки. Потеря предварительной затяжки связана с влиянием трения. Если резьбовое соединение в процессе эксплуатации машины подвергается переменным нагрузкам или вибрации, то эффект стопорения, вызванный трением, понижа-

ется, что дает гайке возможность свободно скользить по резьбе, ослабляя силу сцепления. Известно, что чем больше сила предварительной затяжки, тем выше долговечность резьбового соединения. Снижение силы предварительной затяжки приводит к значительному увеличению дополнительного усилия в болте и ухудшению стабильности затяжки соединения. Чем больше внешняя нагрузка, тем больше падение силы затяжки.

- Предотвращает «сваривание» элементов резьбового соединения. Заедание, т.е. сложность отвинчивания гайки, происходит в результате местного «сваривания» (т.е. переноса частиц одного металла на другой) контактирующих поверхностей, которое в свою очередь вызывает задираание (т.е. повреждение поверхностей), и, как следствие, гайку не удастся отвернуть. Чаще всего повышенную склонность к заеданию имеют соединения коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов. Традиционно стойкость резьбовых деталей к заеданию повышают путем использования специальных смазочных материалов, которые обладают противозадирными свойствами, например, с помощью термостойкой смазки, предотвращающей «прикипание резьбы». Основное назначение смазок – уменьшать коэффициент трения (в среднем при использовании графитовых смазочных материалов коэффициент трения уменьшается на 20...40%) и препятствовать образованию металлического контакта и точечного сваривания между витками резьбы, т.е. устранять заедание. Использование при сборке резьбовых соединений анаэробных составов позволяет полностью исключить заедание и обеспечивает сохранность резьбового соединения.

Следующей (после резьб) крупной областью использования анаэробных материалов является их применение при сборке цилиндрических соединений взамен запрессовки.

Соединение цилиндрических деталей с натягом представляет собой сопряжение, в котором передача нагрузки от одной детали к другой осуществляется за счет силы трения, создаваемой давлением на сопрягаемых поверхностях. При таком способе одну деталь

(например, вал) с помощью прессы устанавливают в другую (например, подшипник). Этот способ является сравнительно простым и экономичным, хотя и требует использования специального оборудования и применяется при сравнительно небольших натягах.

Натяг чаще всего получают механическими способами (под действием осевой силы, создаваемой прессом) и реже тепловыми способами (с нагревом одной детали или охлаждением другой). В то же время механический способ является не достаточно надежным, так как фактический контакт между соединяемыми деталями при запрессовке не превышает 25...35% от общей площади поверхности, что приводит к возникновению контактной и фреттинг-коррозии, появлению микротрещин и, как результат, к повышенному износу и уменьшению ресурса.

При использовании запрессовки есть ограничения на применяемые материалы и конструкции. Для некоторых деталей, например тонкостенных венцов, использование запрессовки затруднено, а в ряде случаев и невозможно, так как из-за их больших упругих деформаций не удастся обеспечить требуемый натяг. Большие значения напряжений, возникающие при запрессовке, могут привести к усталостному разрушению и уменьшению ресурса, особенно при знакопеременных эксплуатационных нагрузках (предел выносливости валов с гарантированным натягом в 1,5...3 раза ниже, чем прочность гладких деталей). Соединения с большими натягами и неупрочненными посадочными поверхностями относятся к неразъемным соединениям, что снижает ремонтпригодность изделий.

Анаэробный материал в цилиндрическом соединении выполняет следующие важнейшие функции.

- Существенно (в 3-4 раза) увеличивает долговечность работы соединения. Это происходит потому, что в местах посадок имеет место резкое понижение сопротивления усталости валов. Предел их выносливости (при прессовой посадке без клея) повышают упрочнением элементов вала поверхностным наклепом, который, как правило, выполняют путем обкатки роликами.

- Практически полностью исключает коррозию, в том числе и контактную. Контактной коррозией называется усиление коррозии одних металлов при их контакте с другими. При контакте двух разнородных в электрохимическом отношении металлов один из них, обладающий более отрицательным потенциалом, начинает функционировать в качестве анода и усиленно корродировать, а другой становится катодом и может не корродировать вовсе. Скорость разрушения зависит от разности потенциалов, а также от свойств металлов. Это приводит к тому, что металл, обладающим меньшей коррозионной стойкостью, начнет разрушаться со скоростью, которая будет превышать скорость его коррозии в отсутствие контакта.

1.2. Основные преимущества анаэробных составов

- Все марки анаэробных клеев являются однокомпонентными (одноупаковочными) материалами, гарантированный срок хранения которых составляет по технической документации 12 месяцев (а в действительности более 10 лет), что делает их очень удобными и для применения. При хранении клеев более 1 года в условиях, отличающихся от требуемых, например, имело место замерзание при отрицательной температуре, перед их использованием необходимо встряхнуть флакон с клеем (эта простейшая операция позволяет перемешать клеевой материал, поскольку при очень длительном хранении частицы наполнителя могут выпадать в осадок). Расслоение клея происходит только в случае неправильного хранения клея при превышении сроков хранения более 1 года. В состав даже высоковязких анаэробных клеев, как правило, не входят твердые частицы, которые могут засорять клапаны гидравлических и пневматических систем (в качестве загустителей анаэробных составов используют жидкие составы, например, ацетобутираль целлюлозы и т.д.).

- На открытых поверхностях анаэробные клеи остаются жидкими неограниченное время и легко удаляются, в том числе и водно-моющими растворами. Это очень удобно, особенно для пользовате-

лей, не обладающих навыками работы с клеями. Дело в том, что клей может случайно попасть на поверхности, которые не должны склеиваться, а удалить после отверждения эпоксидный клей достаточно сложно, поскольку ни одним растворителем он не смывается и может быть снят только механически с помощью наждака или шкурки. Причем для его удаления потребуется определенное усилие и время. Анаэробные составы в этом выгодно отличаются от эпоксидных клеев, их излишки могут быть легко удалены после окончания ремонтных работ.

- Высокие герметизирующие свойства. В отвержденном состоянии анаэробные составы могут выдерживать давление жидкостей до 600 атм и газовых сред до 400 атм.

- Высокие адгезионные свойства. Именно благодаря большой прочности некоторые анаэробные составы используются для стопорения резьб, например, на клей устанавливаются сорванные шпильки или склеивают цилиндрические соединения, если из-за большого износа посадочных мест запрессовка не может быть выполнена.

- Стабильность свойств при длительном воздействии различных агрессивных сред. К агрессивным средам относятся не только топлива, масла, вода и ее пары, но и большинство кислот и щелочей, в том числе и концентрированных.

- Анаэробные материалы имеют исключительно высокую стойкость к ударным и вибрационным нагрузкам, что объясняется хорошим сочетанием у них деформационно-прочностных свойств (высокие до 10% значения относительного удлинения и большие значения прочности, предел прочности при аксиальном сдвиге превышает 300 кгс/см²).

- Отличительной особенностью анаэробных клеев по сравнению с любыми другими клеевыми материалами являются близкие значения моментов при страгивании и отвинчивании резьбовых соединений. Для большинства клеев, например для эпоксидных, момент страгивания много выше момента отвинчивания. Именно благодаря этому преимуществу анаэробные клеи и обеспечивают надежное

стопорение резьб при длительных ударных и вибрационных нагрузках и больших перепадах температур.

К преимуществам анаэробных материалов можно отнести и возможность регулировать с помощью различных активаторов скорость отверждения.

1.3. Основные недостатки анаэробных составов

- Основным недостатком анаэробных составов является невысокая теплостойкость. Верхним пределом рабочих температур, при которых не происходит существенного ухудшения свойств анаэробных составов, является + 150°C. В последние годы разработаны составы с повышенной теплостойкостью, которые работоспособны до +250°C, однако, они выдерживают воздействие таких температур в течение ограниченного времени (не более 100 ч).

- Для обеспечения высокой адгезионной прочности требуется специальная подготовка (очистка) поверхности перед нанесением анаэробных составов. Исключение составляет клей марки АН-8К, который можно наносить непосредственно на замасленную поверхность.

- Анаэробные составы отверждаются только при комнатной температуре, что ограничивает возможности их применения непосредственно в условиях полевого ремонта. При температуре ниже +15°C отверждение вместо стандартных 24 ч происходит в течение 3 суток, а при температуре ниже +4°C анаэробные составы не полимеризуются.

- Анаэробные составы в меньшей степени, чем другие полимерные материалы, но также подвержены старению. Наиболее отрицательное влияние на длительную прочность оказывают тепловые удары (быстрые колебания температур в пределах 50°C), солнечная радиация, одновременное воздействие химических сред и ударных нагрузок.

1.4. Рекомендации по выбору анаэробных клеев

Для правильного выбора анаэробного материала необходимо учитывать вязкость клея и величину зазора, которую необходимо уплотнить с помощью клея. Следовать этой простой рекомендации в реальных условиях достаточно сложно, поскольку, с одной стороны, изготовители анаэробных материалов не всегда приводят эти значения на упаковке, а самостоятельно измерить вязкость (чаще всего динамическую) сложно даже в условиях хорошо оснащенной автомастерской. Кроме того, для этих измерений требуется «испортить» достаточно большое количество дорогого клея, поскольку после измерения вязкости обратно в емкость его сливать нельзя. С другой стороны, для большинства деталей достаточно сложно точно определить величину износа, например, как это сделать для резьбы в корпусной детали?

Именно поэтому для автолюбителей удобнее в качестве критерия использовать не вязкость и износ, а при выборе материала ориентироваться по его назначению, а также по его эксплуатационным характеристикам.

По своему назначению анаэробные клеи подразделяются на материалы, предназначенные для разборных и неразборных соединений.

Различают анаэробные клеи, предназначенные для стопорения разборных (болтов, винтов, втулок) и неразборных (шпилек) резьбовых соединений. Главное отличие этих материалов друг от друга заключается в прочности, поскольку клей, предназначенный для стопорения неразборных соединений, является столь прочным, что после его отверждения разборка резьбовых соединений может быть проведена только после нагрева соединения до +200...+250°C.

Иногда при покупке анаэробных клеев, предназначенных для разборных резьбовых соединений, квалифицированные менеджеры говорят, что эти материалы являются низкопрочными. В данном случае термин «низкопрочный» подразумевает, что отвинчивание

резьбы не будет сопровождаться ее срывом. В то же время даже самый низкопрочный анаэробный клей обеспечивает надежное длительное стопорение резьбы благодаря высокому коэффициенту трения. Между собой эти клеи отличаются вязкостью. Чем меньше вязкость, тем для более мелких резьб может быть использован клей.

По прочности анаэробные клеи подразделяют на низкопрочные, средние и высокопрочные материалы. Низкопрочные анаэробные клеи (прочность менее 100 кг/см^2) использовать при ремонте автомобильных узлов нежелательно. Среднепрочные материалы (прочность $150 \dots 200 \text{ кг/см}^2$) применяются для восстановления и фиксации разборных резьбовых соединений (после отверждения клея соединение может быть демонтировано с помощью ручного инструмента). А высокопрочные материалы (прочность 200 кг/см^2) предназначены только для сборки цилиндрических соединений типа «вал-втулка» и неразборных резьбовых соединений.

По химической стойкости анаэробные материалы подразделяются на клеи общего назначения, именно к этой группе относятся все клеи, используемые при ремонте машин, и на клеи повышенной химической стойкости, имеется в виду возможность применения этих материалов при длительном контакте с кислотами и щелочами (эта группа используется при изготовлении химического оборудования).

По термостойкости анаэробные клеи подразделяются на материалы с нормальной ($-60 \dots + 150^\circ\text{C}$) и повышенной ($-60 \dots + 300^\circ\text{C}$) стойкостью. В конструкции автомобиля нет узлов, где могли бы использоваться анаэробные материалы при температурах более 100°C и поэтому нет необходимости использовать более дорогие клеи.

В табл. 1 приведены основные требования, которым должны удовлетворять анаэробные клеи, применяемые при ремонте автомобиля.

Таблица 1

Требования, предъявляемые к анаэробным материалам, предназначенным для ремонта машин ТСК

Характеристика анаэробного материала	Зазор заполнения, мм	Вязкость, сР	Прочность на срез, кг/см ²	Диаметр восстанавливаемой резьбы, мм	Разборка соединения
Разъемный фиксатор резьбы	0,18	600	140	5...25	Ручным инструментом
Высокопрочный фиксатор резьбы	0,20	600	140...210	8...25	После нагрева до 230°C
Высокопрочный фиксатор цилиндрических узлов	0,32	400...800	140...210	16...72	После нагрева до 230°C

1.5. Типовые ошибки при работе с анаэробными клеями

Ошибка 1. Использование не по назначению

Чаще всего с помощью анаэробных клеев пытаются склеивать плоские детали. Это происходит из-за того, что, попробовав однажды анаэробный клей, например для стопорения резьбы, потребитель убеждается в его надежности, забывает о том, что этот материал предназначен только для резьб, а продолжает помнить только о том, что он очень хороший. Расход анаэробного клея очень мал, например, для стопорения 100 шт. резьбовых соединений М10 требуется анаэробного клея около 4,8 г. Таким образом, после проведения ремонтных работ этот материал часто остается (именно поэтому и следует покупать этот материал в малой фасовке), а раз есть в наличии клей, то иногда некоторые пользователи самостоятельно пытаются придумать ему новые области применения. Делать этого ни в коем случае нельзя. Анаэробные составы не могут использоваться при склеивании никаких деталей, кроме резьбовых и цилиндрических, поскольку для их отверждения требуется полное отсутствие кислорода. Исключение составляют анаэробные клеи, предназначенные для пропитки поверхностей.

Ошибка 2. Эксплуатация отремонтированного агрегата до полного отверждения клея

Для большинства клеев, например для эпоксидных, проверить степень отверждения клея достаточно просто, поскольку всегда остается некоторый излишек клея и по тому, как быстро происходит его затвердевание можно судить и о скорости процесса отверждения, и о качестве склеивания. Для анаэробных клеев такая проверка невозможна. В результате возникает желание слегка пошевелить детали, чтобы понять, началось уже отверждение клея или еще нет. Делать этого до конца полного отверждения (а это время для большинства анаэробных клеев составляет 24 ч) нельзя, поскольку даже самая незначительная деформация собранных деталей приведет к потере прочности клеевого соединения.

Ошибка 3. Использование металлических предметов для нанесения клея

Анаэробные клеи поставляются потребителям в специальных флаконах с узким наконечником, что делает удобным нанесение клея в небольших количествах. Однако некоторые автолюбители предпочитают наносить клей каким-нибудь подручным способом, например с помощью выправленной скрепки, а потом с ее помощью еще и пытаются закрыть тюбик с клеем. В этом случае ничего плохого именно при данном применении клея не произойдет, но в дальнейшем весь тюбик с клеем будет безнадежно испорчен, поскольку анаэробный клей чувствителен к металлу даже в микроскопических количествах (реакция отверждения начинается, если имеется в наличии металл в количествах 10^{-6} г) и клей испортится. Это произойдет достаточно быстро, и уже через сутки будет заметно, как увеличилась его вязкость, а через неделю «засохнет» весь тюбик.

Ошибка 4. Сливание излишек клея назад во флакон

Так же, как и в случае с предыдущим примером, это приведет к безнадежной порче клея. Если при работе удобнее отлить клей из тюбика, то для этих целей лучше всего использовать стеклянную тару, а наносить клей с помощью стеклянной или деревянной палочки

(зубочистки или заточенной спички). Остатки клея, перелитого в другую тару, ни в коем случае нельзя сливать обратно во флакон, их следует выкинуть.

1.6. Требования техники безопасности при работе с анаэробными составами

По степени опасности воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на 4 класса опасности:

- 1-й класс – чрезвычайно опасные вещества;
- 2-й класс – высокоопасные вещества;
- 3-й класс – умеренно опасные вещества;
- 4-й класс – малоопасные вещества.

Анаэробные составы малотоксичны. Они относятся к 4-му классу малоопасных соединений (ГОСТ 12.1.007-76). Анаэробные составы не вызывают острого ингаляционного отравления даже в условиях воздействия их в насыщенных концентрациях при 22...24°C, не обладают выраженным кумулятивным эффектом. При их воздействии отсутствует местное раздражение кожных покровов, однако, при повторном контакте возможно появление дерматита. Анаэробные составы отличаются характерным сладковатым запахом, и при длительной работе с ними возможны аллергические реакции.

Для предохранения кожных покровов работу с анаэробными составами следует проводить в защитных перчатках и халате из хлопчатобумажной ткани при включенной приточно-вытяжной вентиляции. При попадании анаэробного клея на кожу рук его следует удалить тампоном, смоченным в воде. При попадании клея в глаза – необходимо промыть их обильной струей воды.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие полимерные материалы называются анаэробными?

2. Назовите основные области использования анаэробных материалов.

3. Какие максимальные рабочие давления и температуры могут выдерживать узлы, отремонтированные с использованием анаэробных составов?

4. Почему нельзя использовать анаэробные материалы для заделки трещин и пробоин в корпусных деталях?

5. В чем различие между свойствами анаэробных материалов, применяемых для герметизации и для стопорения резьб?

2. КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ (СИЛИКОНОВЫЕ) ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кремнийорганические (силиконовые) полимерные материалы больше известны под торговым названием «жидкие прокладки». Они представляют собой термореактивные материалы, которые под воздействием влаги, вулканизирующих агентов или инициаторов отверждения без усадки переходят из пластического состояния в резиноподобное. В отличие от формованных прокладочных материалов (резины, картона, паронита и пр.), которые деформируются при затяжке болтов, «жидкая прокладка» после закрытия стыка не деформируется и полностью заполняет зазоры.

Находясь в свободном состоянии, «жидкая прокладка» удерживается в зазоре за счет адгезии к металлу и анкерному эффекту, возникающему при заполнении микронеровностей на рабочих поверхностях. После отверждения «жидкие прокладки» образуют жесткий стык, который не деформируется во время эксплуатации и не требует дополнительной затяжки. Отверждение однокомпонентных герметиков на основе силоксановых каучуков происходит в результате реакции вулканизирующего агента с влагой воздуха, при этом, например, может выделяться уксусная кислота, которая является катализатором вулканизации и в дальнейшем улетучивается.

2.1. Области применения кремнийорганических полимерных материалов при ремонте машин

Для уплотнения плоских стыков в узлах двигателей, компрессоров, редукторов, насосов и пр. применяют различного рода герметики, отверждающиеся после сборки соединений. Наиболее технологичные и эффективные из них, так называемые «жидкие прокладки», изготавливаются на основе паст из силиконовых, фторсиликоновых и полиуретановых каучуков.

Разгерметизация фланцевых соединений вызывается не разрушением деталей, а их перемещениями, значение которых превышает допустимые. Эти перемещения могут иметь место вследствие значительных температурных градиентов, из-за различия температурных коэффициентов линейного расширения (сжатия) материалов прокладки и фланца, из-за больших остаточных деформаций материала прокладки и пр. Основное назначение прокладок – обеспечение герметичности фланцевых соединений.

В зависимости от конструкционных требований прокладки выполняются из одного материала различного профиля или представляют собой сложную конструкцию, в которой прокладка собирается из различных материалов. Прокладки изготавливают из очень большой номенклатуры материалов, которые подразделяют на шесть групп в зависимости от модуля упругости, твердости, температурного коэффициента линейного расширения, пористости и однородности структуры. Различают прокладки: резиновые, полимерные, неметаллические однородные (кожа, пробка), композиционные, металлические, комбинированные (из разных материалов). Герметики не могут быть использованы для замены металлических прокладок, во всех других случаях такая замена в принципе допустима.

Достаточно часто при работе с «жидкими прокладками» задаются вопросом – в чем принципиальная разница между герметиком

и формирователем прокладок? Принципиальной разницы нет. Формирователь тоже герметик, но благодаря современным разработкам он в несколько раз превосходит по эластичности, твердости, герметичности, уплотняющим и другим свойствам обычные герметики. Герметик целесообразнее применять в основном вместе со штатной прокладкой (можно поврежденной), тогда как формирователь прокладок можно использовать без дополнительных уплотнителей из резины, паронита и картона. Некоторые компании на своих герметиках специально указывают, что этот материал является герметиком-формирователем прокладок. Это значит, что данный герметик обладает большей жесткостью в отвержденном состоянии и очень хорошими тиксотропными свойствами (т. е. при нанесении не будет растекаться и терять форму).

«Жидкие прокладки» на основе силоксановых и фторсилоксановых каучуков обладают очень близкими между собой деформационно-прочностными характеристиками (являются водостойкими, эластичными, прочными), практически одинаково высокой теплоустойкостью и больше различаются по технологическим свойствам, в частности, по вязкости. Это позволяет в одном случае (для вязкого герметика) получать прокладку большой высоты (до 10 мм, можно даже и более), а в другом случае (для низковязкого герметика) использовать его как заливочный компаунд, чтобы обеспечить изоляцию разъемов или загерметизировать элементы оптики.

2.2. Основные преимущества кремнийорганических полимеров

Преимущества кремнийорганических полимеров на основе силоксановых и фторсилоксановых каучуков следующие.

- Хорошее сочетание деформационно-прочностных свойств: высокой эластичности (величина относительного удлинения при разрыве составляет 120...280%) и хорошей прочности (величина разрушающего напряжения при растяжении более 40 кг/см²). Высокая эластичность необходима для гашения деформации в процессе

эксплуатации узла, а высокая прочность требуется для обеспечения герметичности при больших давлениях.

- Очень низкие значения остаточной деформации. Иногда это свойство обозначают через показатель степени восстановления, которая для данных материалов составляет 90...100% (для сравнения у полисульфидных герметиков степень эластического восстановления составляет 65...75%, у полиуретановых – 85...95%).

- Высокая теплостойкость (интервал рабочих температур -75...+300°C). Для обеспечения герметичности трубопроводов даже при перекачке горячей воды к уплотняющим прокладкам предъявляются требования повышенной теплостойкости, что необходимо для обеспечения длительной эксплуатационной надежности герметизируемого узла.

- Стабильность свойств при длительной эксплуатации в условиях резкого перепада температур и повышенной вибрации.

- Высокие диэлектрические свойства, что позволяет использовать данные материалы при ремонте радиоэлектронной аппаратуры.

Долговечность силиконовых герметиков при воздействии различных факторов окружающей среды составляет более 20 лет.

К преимуществам герметиков в качестве уплотняющих материалов при герметизации плоского стыка, кроме уже перечисленных, также относятся:

- высокое качество уплотнения;
- меньшая масса;
- снижение требований к качеству изготовления фланцев;
- снижение себестоимости;
- безотходность;
- герметики не вызывают коррозии металлов;
- хороший внешний вид;
- хорошие шумо- и вибропоглощающие свойства;
- высокая ремонтпригодность узла.

Однако к самым большим преимуществам жидких прокладок следует отнести высокое качество герметичности даже при небольших значениях контактных давлений.

Использование для обеспечения герметичности различных узлов автотракторной техники «жидких прокладок» на основе силиконовых и фторсиликоновых адгезивов позволило:

- повысить качество уплотнения;
- повысить ремонтпригодность машин за счет сокращения номенклатуры формованных прокладок;
- для узлов, не испытывающих избыточного давления, возможно уменьшить количество крепежа и тем самым упростить конструкцию.

Кроме уплотнений неподвижных плоских стыков фланцевых соединений, «жидкие прокладки» на основе силиконовых и фторсиликоновых каучуков используются для обеспечения герметичности деталей кузовов (стекол, дверей, багажников) и для герметизации автомобильных фар.

2.3. Основные недостатки кремнийорганических полимеров

- Основным недостатком однокомпонентных кремнийорганических полимеров является длительность процесса их полимеризации, которая существенно зависит от влажности воздуха.

- Важным недостатком двухкомпонентных кремнийорганических полимеров является существенное нарастание вязкости (после приготовления жизнеспособность материалов сохраняется в интервале от 1,5 до 10 ч). В процессе нанесения вязкость изменяется в несколько раз, что делает практически невозможным использование для их нанесения какого-либо оборудования.

- На кремнийорганические полимеры, в отличие от большинства других клеевых и герметизирующих материалов, нельзя нанести какие-либо лакокрасочные покрытия, т.е. они не подлежат окраске.

- Когезионная прочность кремнийорганических полимеров существенно меньше, чем у резин, а адгезионная прочность (в 3...5 раз и более) ниже, чем у эпоксидных клеев.

- Кремнийорганические полимеры отверждаются только при комнатной температуре и влажности не ниже 70%.

2.4. Рекомендации по выбору кремнийорганических полимеров

По своим физическим свойствам кремнийорганические полимеры чаще всего подразделяют по цвету. Прозрачные герметики используют для ремонта фар, подфарников, стоп-сигналов, пластиковых элементов интерьера и экстерьера. Черные герметики применяют при ремонте резиновых уплотнителей дверей и окон, а также для установки поддона картера двигателя, клапанной крышки впускного коллектора и др. Цветные герметики (красные, синие и др.) могут использоваться практически по любому назначению, если для потребителя цвет не является определяющим при выборе материала. В то же время цветной герметик виден практически на любой поверхности, в том числе и в зазоре между фланцами или же на поверхности старой, поврежденной прокладки и, если требуется периодически проверять, не произошло ли новое повреждение, удобнее использовать цветные герметики.

По теплостойкости жидкие прокладки различаются на материалы с хорошей (до +235°C), высокой (до +345°C) и очень высокой (+375°C) теплостойкостью. Не следует относиться к такому, казалось бы, не очень большому отличию в теплостойкости, с иронией. Дело в том, что это интервал температур, в котором отремонтированный узел может работать на протяжении десятков тысяч часов, причем одновременно с температурой герметик будет выдерживать

ударные нагрузки, вибрацию и другие эксплуатационные факторы, возникающие при эксплуатации машин, особенно во внештатных ситуациях.

По своему основному назначению герметики предназначены для обеспечения герметичности фланцевых соединений. Они также используются для герметизации элементов трубопроводов, при установке всевозможных крышек, в том числе, крышки впускного коллектора, крышки газораспределительного механизма, крышки дифференциала и др.

Как было отмечено выше, силиконовые герметики с различными физическими свойствами различаются по цвету. Поэтому потребителю при выборе герметика удобнее ориентироваться именно на цветовые характеристики.

Прозрачные материалы отличаются относительно невысокой вязкостью, что позволяет наносить их в небольших толщинах, использовать при установке, ремонте и герметизации фар и других элементов оптики.

Герметики, в состав которых в качестве наполнителя входит высокодисперсный медный порошок, относятся к высокотеплостойким материалам. Они, как правило, применяются при ремонте турбокомпрессоров, впускных коллекторов и других агрегатов трансмиссии.

Черные герметики являются одними из наиболее универсальных и могут использоваться для восстановления герметичности практически любых узлов (если потребителя устроит их черный цвет), в том числе и автомобилей, находящихся на гарантии. Именно эти материалы рекомендованы для гарантийного ремонта большинства марок европейских и американских машин. Их даже можно использовать не по своему прямому назначению, например, для крепления неподвижных стекол, взамен резиновых прокладок.

Цветные герметики, благодаря своим уникальным свойствам, могут быть использованы не только как герметики (т.е. для герметизации), но и как клеи (т.е. для крепления одной детали к другой).

Именно герметики на основе силиконовых каучуков используются для приклеивания теплостойких теплоизоляционных и теплозащитных материалов к металлам и конструкционным пластикам. Кроме этого данные материалы могут использоваться для склеивания теплостойких силиконовых резин и крепления их к металлам. Также они применяются в качестве герметизирующих и клеящих материалов общего назначения для уплотнения, придания водонепроницаемости и изоляции электрического и механического оборудования (бытового и промышленного). Используются для герметизации паяных и сварных соединений; для склеивания металлов, стекла, керамики, древесины, пластиков в случаях, где необходимо обеспечить гибкость и теплостойкость клеевых швов; для устранения повреждений поверхности кремнийорганических резин при ремонте трактов горячего воздуха. Применяются в качестве заливочных компаундов электротехнического и электронного оборудования, для изоляции электропроводов и кабелей, а также для покрытий текстильных материалов из натуральных или синтетических волокон с целью получения теплостойких материалов, поверхность которых обладает антиадгезионными свойствами.

Для нанесения герметика могут быть использованы метод трафаретной печати, инжекторный метод и валик, который в свою очередь подразделяется на «мокрый» и «сухой».

Метод трафаретной печати. При реализации этого метода изготавливают трафарет, точно повторяющий требуемые габариты наносимого уплотнения. Трафарет прижимается к фланцу, и шпателем наносят герметик через вырезанный в нем профиль. Данный метод применяется при нанесении герметика на плоские поверхности. При необходимости изменить траекторию надо изготовить другой трафарет. Метод трафаретной печати отличается высокой скоростью нанесения герметика по всей рабочей поверхности, высокой точностью и эффективностью нанесения на фланцы сложной геометрии.

Инжекторный метод. При таком способе нанесения материал

впрыскивают в замкнутое пространство, которое подлежит герметизации. При герметизации фланцевых соединений данный метод применяется очень ограниченно. Наибольшее применение он нашел для защиты от коррозии скрытых полостей машин.

При «мокроем» способе герметик наносится на одну из сопрягаемых поверхностей и они сразу же совмещаются. Если после отверждения герметика происходит его выдавливание из межфланцевого зазора, то это связано с его недостаточной твердостью и адгезионной прочностью.

«Сухой» способ предполагает нанесение герметика на одну из сопрягаемых поверхностей, однако, сопряжение с ответной деталью осуществляется только после его полного отверждения. При таком способе получается разборное соединение, поскольку герметик приклеивается только к одной поверхности, а вторая может многократно демонтироваться без повреждения материала.

Как правило, силиконовые герметики выпускаются в фасовке 40...50 г, 80...90 г и 200...250 г. Чем больше разновидностей фасовки, тем удобнее, поскольку герметики, в отличие от других клеев, отверждаются при взаимодействии с влагой воздуха, а это значит, что если вы открыли тюбик, выдавили нужное вам количество клея и забыли его закрыть (или недостаточно прочно закрыли), а в помещении повышенная влажность, то может начаться процесс отверждения оставшегося материала и через какое-то время произойдет его вулканизация прямо в тюбике.

2.5. Типовые ошибки при работе с кремнийорганическими полимерами

Ошибка 1. Чрезмерное нанесение герметика на восстанавливаемую поверхность

Избыточная толщина шва существенно ухудшает качество герметизации, что особенно актуально для силиконовых формователей прокладок, поскольку это приводит к тому, что герметик не

набирает заданную прочность. Кроме того, выдавленные из стыка излишки герметика могут перекрыть функциональные каналы. А это уже грозит дорогостоящим ремонтом! В большинстве случаев без специального оборудования добиться оптимальной толщины клеевого шва практически невозможно. Чтобы избежать этой ошибки, необходимо выбирать упаковки, которые имеют специальные наконечники, позволяющие без особых усилий наносить необходимое количество герметика: ни больше, ни меньше. Благодаря конической форме наконечники не только четко дозируют герметик, но и создают оптимальную ширину герметизирующей прослойки. Достаточно лишь, надавливая на тубик, перемещать наконечник по поверхности.

Ошибка 2. Неправильно выбран материал

Например, требуется отремонтировать двигатель, оборудованный кислородным датчиком. Кислородный датчик большинства машин – он же лямбда-зонд или EGO (exhaust gas oxygen) или просто oxygen sensor – представляет собой гальванический элемент, генерирующий электрическое напряжение под воздействием кислорода на поверхности его электродов. При выборе герметиков для ремонта двигателя автомобиля, оборудованного кислородным датчиком, следует прежде всего обращать внимание на наличие у герметика запаха. Силиконовые герметики делятся на две группы – кислотные и нейтральные. Первые при полимеризации выделяют уксусную кислоту (ее выдает характерный запах), вторые – спирт или кетоксим (запах почти нет). При ремонте систем, связанных по объему с цилиндрами (топливная и масляная система), производители машин рекомендуют использовать только герметики без запаха (нейтральные).

2.6. Требования техники безопасности при работе с кремнийорганическими полимерами

Каучуки, используемые для производства кремнийорганических полимеров (герметиков), не оказывают вредного воздействия на организм человека. Возможно появление слабого раздражения кожи при непосредственном длительном контакте с клеем. Поэтому при работе с кремнийорганическими полимерами следует обязательно надевать защитные перчатки. При попадании полимеров на основе каучуков на поверхность кожи рекомендуется удалить их теплой водой и моющим раствором. Оптимальный раствор для удаления каучука должен содержать 6% пасты триалон, 1% карбоната натрия и воду, также может использоваться любой моющий раствор на водной основе.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается механизм отверждения однокомпонентных кремнийорганических полимеров?
2. В чем преимущества и недостатки кремнийорганических полимеров по сравнению с резиновой прокладкой?
3. На что следует обращать внимание при выборе герметика для ремонтных работ?
4. Могут ли кремнийорганические полимеры использоваться для заделки трещин и пробоин?
5. При каких температурах могут работать узлы и агрегаты, отремонтированные с использованием кремнийорганических полимеров?

3. ЭПОКСИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Обилие марок эпоксидных полимерных материалов (кроме клеев есть еще компаунды, шпатлевки и мастики) может ввести в

заблуждение любого потребителя. В то же время многообразие эпоксидных клеев во многом оправданно, поскольку именно эти материалы обладают целым комплексом уникальных свойств, которые и делают их во многом универсальными, поскольку позволяют склеивать, шпаклевать и герметизировать практически любые материалы, за исключением резин, тканей и бумаги.

3.1. Области применения эпоксидных полимерных материалов

Область применения эпоксидных клеев при обслуживании и ремонте автомобиля достаточно широка. Эпоксидные клеи используются:

- в качестве антикоррозионных покрытий для металлических и железобетонных резервуаров, трубопроводов и оборудования, контактирующего с агрессивными средами, в том числе с концентрированными растворами кислот и щелочей;
- для устранения трещин и пробоин (в том числе и аварийных повреждений), ликвидации протечек в корпусных деталях, заделки кавитационных, коррозионных и эрозионных раковин и свищей;
- для крепления пробок, втулок, шпилек, заклепок, концентрических соединений и валов; каркасных (рамных) конструкций, при создании соединений типа «вал-ротор» (детали электродвигателей, коробок, подшипники);
- для восстановления геометрической формы (восстановление посадочных мест на валах, шпоночных пазов, участков резьбы и др.).

Наибольшее распространение при ремонте машин получили двухкомпонентные эпоксидные клеи. В действительности двухкомпонентные эпоксидные материалы правильнее было бы называть не двухкомпонентными, а двухупаковочными, поскольку они только потребителям поставляются в виде двух отдельных компонентов,

упрощенно называемых «смола» и «отвердитель». На самом деле, каждый из компонентов является сложным составом.

В состав клеев, наряду с эпоксидной смолой (именно из-за наличия смолы клей и называют эпоксидным) и отвердителем, входят такие компоненты, как пластификатор, тиксотропные добавки, стабилизатор, поверхностно-активные вещества и другие компоненты. Пластификатор является одним из важнейших составляющих хорошего клея, поскольку позволяет придавать отвержденному клеевому шву некоторую эластичность, необходимую для обеспечения клеевому соединению вибро- и ударопрочность. Кроме пластификатора в состав клея входят тиксотропные добавки (они обеспечивают возможность его нанесения на вертикальные поверхности) и стабилизаторы (эти вещества повышают жизнеспособность клея и его стойкость к воздействию тепла, света и радиации). Есть немало клеевых композиций, в состав которых введены поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые позволяют не только регулировать текучесть и смачивающую способность клея, но и увеличивают его адгезионную прочность.

Существенно изменяют технологические и прочностные свойства эпоксидных клеевых композиций наполнители, которые вводят в клей для уменьшения усадки, снижения коэффициента линейно-термического расширения, увеличения тепло- и электропроводности и улучшения других физико-механических свойств. Наполнитель может оказывать влияние на процесс отверждения эпоксидной смолы, вступая в химические реакции с отвердителями. Наполнители используют для увеличения адгезионной прочности при соединении различных материалов и сплавов (сталь, бронза, пластик и др.), а также для снижения стоимости клеев и придания им нужного цвета.

По своей природе наполнители подразделяются на органические и неорганические, а по форме частиц – на порошкообразные или волокнистые. К органическим наполнителям относятся целлюлоза, древесная мука, угольная ткань и др., к неорганическим – мо-

лотая слюда, кварцевая мука, графит, асбест и др. В качестве наполнителей используют и газонаполненные микросферы, существенно снижающие массу клея и позволяющие получать очень тонкие (до нескольких микрон) клеевые швы. Во многом благодаря наполнителям эпоксидные клеи после отверждения могут подвергаться любым видам механической обработки: точению, сверлению, фрезерованию и др.

Именно благодаря такому сложному химическому составу эпоксидные клеи в отвержденном состоянии обладают повышенной стойкостью к механическому, коррозионному, эрозионному и кавитационному износу при длительном воздействии агрессивных сред, к которым относятся различные виды топлив, масла, вода и ее пары.

Степень очистки каждого из компонентов клея и технология смешивания во многом определяют его свойства и оказывают существенное влияние на цену, которая может быть искусственно снижена, если не проводить входной контроль качества каждого из компонентов.

Какие из компонентов вводят в смолу, а какие в отвердитель зависит от конкретной рецептуры и технологических возможностей производителя. Основным критерием выбора является максимально длительный срок жизнеспособности каждого из компонентов в отдельности. Большинство производителей гарантируют жизнеспособность эпоксидного клея в течение одного года. Но срок годности эпоксидных полимерных материалов (как впрочем, и любых других) во многом зависит от условий хранения. Ненадлежащие условия хранения (на солнце, при температуре выше $+25^{\circ}\text{C}$ или ниже -7°C , в условиях повышенной влажности) значительно снижают срок хранения материала и его заявленные свойства.

3.2. Основные преимущества эпоксидных полимерных материалов

- Хорошая смачивающая способность по отношению к большому числу материалов. Это способность клея самопроизвольно растекаться по поверхности не только различных металлов и сплавов, но и по поверхности большинства пластмасс, в том числе и по поверхности, на которой имеются следы масла или коррозионных повреждений. Не являются исключением и такие трудносклеиваемые материалы, как полиэтилен и фторопласт, только для обеспечения прочного соединения необходимо провести предварительную подготовку поверхности.

- Высокая адгезионная прочность. Под термином «адгезионная» понимается прочность по границе раздела соединяемых материалов, т.е. прочность в самом слабом месте. Для различных эпоксидных клеев значения адгезионной прочности изменяются в диапазоне от 100 до 600 кг/см². Адгезионную прочность не следует путать с прочностью самого клея, которую в специальной литературе называют когезионной прочностью и которая для металлополимерных эпоксидных составов может достигать значений 3000 кг/см² и выше. Дело в том, что рвется только там, где тонко и поэтому какой бы большой не была бы когезионная прочность самого клея, прочность соединения будет зависеть только от связей по границе раздела, т.е. от значений адгезионной прочности. Именно адгезионную прочность производители, как правило, указывают в аннотации к материалу.

- Низкая ползучесть, особенно по сравнению с термопластичными клеями. Малые величины ползучести обеспечивают жесткость и длительную прочность клеевому соединению при воздействии нагрузок.

- Разнообразие эпоксидных смол и отверждающих агентов позволяет получить после отверждения материалы с широким сочетанием свойств. Именно благодаря этому преимуществу созданы

эпоксидные клеи, способные отверждаться при отрицательных температурах, на влажных поверхностях и работоспособные в широком интервале температур от -269 до $+350^{\circ}\text{C}$.

- Стабильность свойств при длительном воздействии различных агрессивных сред. К агрессивным средам относятся не только различные виды топлив и масел, но и вода, ее пары, ультрафиолетовое излучение и другие факторы.

Кроме перечисленных преимуществ, свойственных практически всем эпоксидным составам, существуют композиции, обладающие специальными свойствами, к которым относятся электропроводность, теплопроводность, магнитные свойства и многие др.

Основным преимуществом двухкомпонентных эпоксидных клеев является небольшая вязкость, что позволяет их использовать не только как клей и получать тонкие и прозрачные клеевые швы, но и как связующий элемент для пропитки стеклоткани при изготовлении всевозможных заплаток из полимерного композиционного материала.

3.3. Основные недостатки эпоксидных полимерных материалов

- Основной недостаток эпоксидных составов – их высокая хрупкость. Для некоторого уменьшения хрупкости в состав клеев вводят пластификаторы и жидкие каучуки (чаще всего полиуретановые). В последние годы для повышения ударной вязкости в эпоксидные составы вводят полисульфоны, которые относятся к классу термопластичных материалов. Технология получения таких полимерных смесей достаточно сложна, однако, именно при такой модификации получают ударо- и трещиностойкие эпоксидные клеевые материалы, которые по своим деформационным свойствам приближаются к термопластичным полиуретанам.

- Эпоксидные клеи подвержены старению. Наиболее отрицательное влияние на длительную прочность оказывают колебания

температуры, солнечная радиация, одновременное воздействие воды, химических сред и ударных нагрузок.

- При использовании двухкомпонентных составов, как правило, готовят клей с некоторым запасом, что приводит к его излишнему перерасходу.

- Для удобства работы с эпоксидными клеями требуется одноразовая оснастка (емкости для перемешивания клея, шпатели для его нанесения и др.), которой, как правило, ремонтные подразделения не оснащены. Применение любой другой химической посуды осложняется тем, что после отверждения клея его практически невозможно удалить и поэтому необходимо непосредственно сразу же после использования клея очистить емкости и оснастку. Если клей полностью отвердился, то единственным способом удаления засохшего клея является его отжиг при температуре $+250...300^{\circ}\text{C}$ в течение нескольких часов.

- Большинство эпоксидных клеев отверждаются при комнатной или повышенной температуре, что ограничивает возможности их применения непосредственно в условиях полевого ремонта. При температуре ниже $+10^{\circ}\text{C}$ скорость отверждения уменьшается в несколько раз, а при нулевой температуре отверждения эпоксидных клеев не происходит.

- Большинство эпоксидных клеев нельзя наносить на мокрую поверхность.

3.4. Рекомендации по выбору эпоксидных полимерных материалов

Для удобства потребителя эпоксидные клеи подразделяют по технологическим и эксплуатационным требованиям.

По технологическим требованиям все клеевые материалы подразделяют по срокам жизнеспособности (времени схватывания) готового состава (т. е. по времени после перемешивания, пока они еще пригодны к нанесению и процесс их отверждения еще не на-

чался). Время перемешивания зависит от массы клея и составляет для небольших навесок (массой не более 10 г, что достаточно, чтобы произвести склеивание деталей площадью более 100 см²) 30...60 с. С увеличением массы клея время перемешивания также увеличивается. Качество перемешивания легко оценить на глаз, поскольку каждый из компонентов клея имеет разный цвет и перемешивание проводят до получения однородной по цвету массы.

Время жизнеспособности (схватывания) в отличие от качества перемешивания на глаз оценить невозможно, поскольку для клеев вязкость состава не изменяется непосредственно сразу же после начала процесса отверждения. Для эпоксидных клеев, в частности, вязкость начинает изменяться только после того, как в химическую реакцию вступят более 15% эпоксидных групп (именно эти группы образуют химические связи между смолой и отвердителем и благодаря этому клей из жидкого состояния переходит в твердое). В то же время, если химическая реакция уже началась, а потребитель продолжает использовать клей (например, наносит клей или фиксирует клеевое соединение в нужном ему положении), то любая, даже самая незначительная деформация клеевого шва приводит к необратимому разрушению уже образованных химических связей (повторно эти активные химические группы в реакцию уже не вступят).

При выборе клея необходимо, чтобы его жизнеспособность была достаточной, чтобы потребитель, не торопясь, мог бы его приготовить, затем нанести клей тонким слоем на соединяемые поверхности и зафиксировать детали в требуемом положении. Если потребитель уже имеет хотя бы небольшой опыт в использовании клеев при ремонте автомобиля и заранее выполнил все операции по очистке склеиваемых поверхностей, то удобнее работать с клеями с небольшой жизнеспособностью (1...30 мин), поскольку в этом случае фиксацию взаимного положения деталей можно провести вручную.

Излишне большой срок жизнеспособности клея не удобен для потребителя, поскольку в этом случае необходимо использование специальной оснастки, которая обеспечила бы фиксацию деталей на длительный срок, не нарушая их взаимного положения. Для небольших деталей в качестве такой оснастки может быть использована обычная липкая лента, для крупногабаритных – струбцины.

Одним из преимуществ эпоксидных клеев по сравнению с клеями на основе каучуков является отсутствие в их составе растворителей, и поэтому при использовании любых клеев на основе эпоксидных смол не требуется после нанесения клея выдерживать некоторое время, иногда довольно продолжительное, для испарения растворителя.

По технологичности эпоксидные составы подразделяются на клеи с жизнеспособностью:

- 1...2 мин, предназначены для соединения мелких деталей;
- 5...10 мин, предназначены для соединения небольших деталей;
- 15...30 мин, эффективны при склеивании крупных деталей;
- 1 час. Такая большая жизнеспособность требуется не так для клеев, как для шпатлевок, поскольку потребителю необходимо время не только для того, чтобы нанести шпатлевку, но и для ее выравнивания, что особенно актуально, если это наружная поверхность кузовной детали, предназначенной под покраску.

Кроме жизнеспособности, на упаковке каждого клея должно быть указано время его полного отверждения, так как именно на этот период времени не допускается производить со склеенными деталями никаких действий. В течение этого периода времени детали должны находиться в зафиксированном одна относительно другой положении в неподвижном состоянии.

Как правило, время полного отверждения (иногда говорят затвердевания, что также правильно) определяется при комнатной температуре, т.е. оно справедливо только для интервала температур +18...+25°C. С увеличением температуры время отверждения

уменьшается очень незначительно, тогда как с ее понижением изменяется очень существенно, а при нулевой температуре процесс отверждения может быть (для некоторых клеев) полностью прекращен. Именно поэтому все работы с клеевыми материалами предпочтительно проводить в отапливаемом помещении или на открытом воздухе в теплое время года.

Точность дозировки компонентов эпоксидных клеев обеспечивается специальной упаковкой и формой выпуска. Наиболее удобными для «гаражных» условий являются составы, выпускаемые в упаковке «сдвоенный шприц» и пластилинообразные шпатлевки.

- **Упаковка «сдвоенный шприц»** позволяет точно дозировать компоненты: при надавливании на поршень смола и отвердитель выдавливаются в равных пропорциях. Потребителю останется только перемешать компоненты и нанести на восстанавливаемую поверхность, т. е. без наличия профессиональных навыков добиться профессионального результата;

- **Пластилинообразные составы**, в которых один компонент (отвердитель) в заданной пропорции находится внутри другого компонента (смола, наполнитель и пластификатор). Потребителю требуется только отрезать нужное количество клея и тщательно вручную его перемешать. Качественные пластилинообразные составы (шпатлевки) являются незаменимым средством для ремонта машин «в полевых условиях», когда под рукой нет никаких инструментов, невозможно тщательно подготовить поверхность под склеивание или отсутствуют элементы конструкции. Ноу-хау фирм – изготовителей таких материалов является изоляционная прослойка между отвердителем и смолой, которая предотвращает преждевременную химическую реакцию между ними. Вариантов таких прослоек может быть достаточно много, и их выбор зависит от технологических возможностей фирм-изготовителей клеев. Именно от качества этой прослойки, т.е. от того, насколько хорошо отвердитель будет изолирован от смолы, зависит жизнеспособность клея и его эксплуатационные свойства. Жесткая конкуренция между производителями

вынуждает снижать себестоимость, экономя на этой прослойке, и именно поэтому качество многих пластилинообразных клеев не удовлетворительно.

По теплостойкости все клеи подразделяются на материалы:

- с низкой теплостойкостью, интервал рабочих температур которых составляет $-50...+ 100^{\circ}\text{C}$, они предназначены для склеивания деталей, эксплуатация которых происходит только при комнатных температурах или в естественных климатических условиях (без резкой смены температур). Такие клеи не могут использоваться для ремонта машин и применяются в основном в быту;

- со средней теплостойкостью, интервал рабочих температур составляет $-50...+ 150^{\circ}\text{C}$, предназначены для склеивания деталей, которые могут подвергаться перепадам температур: трещины и пробоины кузовных деталей. Данной теплопроводностью обладают в основном жидкие двухкомпонентные эпоксидные составы;

- с высокой теплостойкостью, для эпоксидных составов такой интервал температур составляет $-50...+ 300^{\circ}\text{C}$, предназначены для крепления деталей, эксплуатация которых происходит при повышенных температурах (в том числе при резких перепадах температур);

- с повышенной морозостойкостью, для этих составов увеличивается нижняя граница температурного интервала с -50 до -80°C . Такие материалы крайне редко применяются для ремонта автомобилей (исключение составляет техника, эксплуатируемая в низкотемпературной климатической зоне).

Интервал температур, в которых будет эксплуатироваться склеенное изделие, во многом определяет такие показатели его надежности, как долговечность (клеевое соединение должно сохранять свою работоспособность до снятия машины с эксплуатации) и сохраняемость (клей должен сохранять свои исходные свойства, а клеевое соединение должно обеспечивать работоспособное и исправное состояние машины).

При выборе клея по его теплостойкости необходимо учитывать, что клеевое соединение должно сохранить свои исходные прочностные свойства в течение всего срока эксплуатации отремонтированного изделия. Для кузовных деталей, как правило, время их эксплуатации рассчитывается из условия 10 лет.

Достаточно часто потребители занижают требования по теплостойкости, по ошибке полагая, что для склеивания деталей, например, интерьера, высокая теплостойкость не требуется. Действительно, в салоне автомобиля температура не может быть очень высокой, но в то же время в летнее время суток, если на улице +25°C, то автомобили темного цвета достаточно быстро прогреваются до +50°C и выше. Если теплостойкость клеевого материала ограничивается верхним интервалом +80°C, то в этих условиях соединение начинает эксплуатироваться на пределе своих возможностей и, следовательно, даже при небольшом превышении нагрузок сверх нормы соединение разрушится. Например, клей с невысокой теплостойкостью использовался для крепления кронштейна зеркала заднего вида. Если в летнее время машина в течение дня сильно прогрелась, а вечером ваш попутчик, когда садился в автомобиль, случайно задел зеркало, то клей такой нагрузки может не выдержать и развалиться (для крепления таких кронштейнов необходимо использовать не эпоксидные, а акрилатные клеи).

По прочности эпоксидные клеи подразделяются на материалы:

- со средней прочностью, у которых значение адгезионной прочности составляет 100...200 кг/см². Такие клеи используются для ремонта пластмассовых деталей, облицовки и деталей интерьера автомобиля. Эпоксидные клеи с более низкой прочностью (менее 100 кг/см²) нецелесообразно использовать при ремонте деталей машин, так как все детали машин при эксплуатации испытывают вибрационные нагрузки, которые не выдерживают клеи с меньшей прочностью;

- с высокой прочностью – значение адгезионной прочности составляет 200...300 кг/см². Такие материалы используются для заделки трещин, пробоин (в том числе сквозных), ликвидации течи жидкостей и газов;

- с повышенной прочностью, у которых значение адгезионной прочности составляет 200...300 кг/см². Основная область применения таких материалов – нагруженные узлы, подверженные интенсивным ударным и вибрационным нагрузкам.

Выбор клея необходимо проводить именно в такой последовательности, как описано выше, т.е. первоначально по технологическим свойствам, далее по теплостойкости и только затем из оставшихся материалов подбирать клей с необходимой прочностью.

Таким образом, при выборе эпоксидных материалов для ремонта автомобилей необходимо обращать внимание на упаковку материала, жизнеспособность (время схватывания, время отвердевания и время полной полимеризации), срок годности и условия хранения, диапазон рекомендуемых рабочих температур и прочностные характеристики клея.

3.5. Типовые ошибки при работе с эпоксидными полимерными материалами

Ошибка 1. Недостаточная подготовка поверхности

При использовании большинства эпоксидных клеев прочность восстановленного узла во многом зависит от качества подготовки поверхности. Присутствие грязи, легко отслаивающихся элементов краски, ржавчины, окислов, масла и влаги препятствует контакту клея с восстанавливаемой поверхностью. Поэтому перед нанесением большинства клеев сопрягаемые поверхности следует тщательно очистить и обезжирить. Если нет возможности подготовить поверхность, следует использовать материалы, которые обладают хорошей адгезией к влажным и замасленным поверхностям. Некоторые эпоксидные клеи содержат специальный полимер, который

обладает высокими проникающими способностями и легко преодолевает антиадгезионный барьер грязи. Молекулы полимера обволакивают антиадгезионные частицы и препятствуют их контакту с адгезионно активными компонентами клея. Использование данного состава не требует тщательной подготовки поверхности.

Ошибка 2. Выбранный материал не соответствует условиям эксплуатации

При выборе ремонтного материала необходимо учитывать ряд параметров: диапазон рабочих температур, стойкость к воде, маслу, топливу, техническим жидкостям, наличие силовых, ударных и вибрационных нагрузок. С этой точки зрения машина сочетает в себе все факторы, негативно воздействующие на прочностные характеристики клея. Поэтому не все материалы бытового назначения могут использоваться при ремонте машин. Если материал не обладает набором определенных свойств (даже при высоких прочностных характеристиках), он не способен обеспечить качественный ремонт.

Ошибка 3. Нарушение пропорций при приготовлении клея

На прочность клеевого шва, помимо заявленных свойств материала и качества подготовки поверхности, оказывают влияние пропорции приготовления клея (избыток или недостаток отвердителя). Даже при незначительной передозировке отвердителя (несколько миллиграмм) клеевой шов приобретает хрупкость. А при его недостатке клеевой шов, наоборот, становится слишком эластичным. Помимо прочности клеевого шва неправильная дозировка компонентов снижает диапазон рабочих температур восстановленного соединения и устойчивость к воздействию агрессивных сред. Чтобы добиться стабильной прочности клеевого шва, необходимо точно дозировать компоненты.

3.6. Требования техники безопасности при работе с эпоксидными полимерными материалами

Эпоксидные смолы содержат в своем составе **эпихлоргидрин** и **толуол**, которые при температуре 60°C и выше выделяются в рабочую зону и отрицательно влияют на здоровье людей, действуя на нервную систему и печень. Эпоксидные смолы могут вызывать заболевания кожи (дерматит, экзему) как при непосредственном контакте с ними, так и при действии низких концентраций паров указанных продуктов.

Отвердители эпоксидных смол также являются токсичными веществами. Степень опасности и негативного воздействия на организм человека различная для разных типов отвердителей. Самый распространенный отвердитель **полиэтиленполиамин** в больших дозах приводит к нарушению дыхания, угнетению центральной нервной системы. При длительном действии на кожу он способен вызвать поражения типа язвенного дерматита. Попадание полиэтиленполиамина в глаза вызывает продолжительный конъюнктивит. **Гексаметилендиамин** относится к высокотоксичным продуктам: при концентрации паров 0,1...0,01 мг/л он вызывает изменение в составе крови и снижение кровяного давления. Особенно опасен данный растворитель при попадании в глаза. **М-Фенилениамин** оказывает вредное воздействие на слизистые оболочки, кожные покровы и органы дыхания. При остром отравлении возникают вялость, резкая одышка и возможны обмороки.

При работе с эпоксидными полимерными материалами следует обязательно надевать защитные очки, резиновые перчатки и респираторы. Все работы, связанные с приготовлением, нанесением и отверждением эпоксидных клеев, должны проводиться в помещениях с хорошей приточно-вытяжной вентиляцией, скорость движения воздуха в открытых створках вытяжных шкафов должна быть не менее 0,7 м/с, объем подаваемого воздуха должен составлять 90% от объема удаляемого воздуха (согласно требованиям СИ 245-

71). Стол, на котором проводят работу, необходимо покрывать плотной бумагой или пленкой, которую после окончания работ следует выбрасывать в специальные металлические емкости с крышками.

Кроме того, работа с эпоксидными клеями связана с использованием растворителей (ацетона, бензина, метилэтилкетона и др.), используемых для подготовки поверхности под склеивание. Большинство растворителей являются легковоспламеняемыми составами. Категорически запрещается использовать легковоспламеняющиеся вещества при наличии в помещении открытого огня. Рабочее помещение должно быть оснащено специальными устройствами для тушения пожара и аптечкой, в которой содержатся средства для оказания первой помощи при ожогах. При воспламенении клея для тушения следует применять тяжелые (например, асбестовые) ткани, песок и сухой углекислотный огнетушитель. Воду применять запрещается.

При подготовке поверхности под склеивание (травление, анодирование) с применением кислот и щелочей следует обязательно пользоваться защитными перчатками, очками и респиратором. При приготовлении водных растворов кислот кислоту нужно постепенно добавлять к воде, чтобы предотвратить сильный разогрев смеси и возможный взрыв.

При зашкурировании поверхности полимерных материалов под склеивание предельно допустимая концентрация (ПДК) пыли полиэтилена, полипропилена и фторопласта не должна превышать 10 мг/м³, поливинилхлорида, аминопласта и фенопласта – 6 мг/м³, стеклопластика – 4 мг/м³. Это вызвано тем, что при длительном воздействии на органы дыхания различных полимерных материалов наблюдается поражение бронхов, легких, печени, почек и изменения нервной системы. Уборка запыленных участков и оборудования должна проводиться с помощью промышленных пылесосов или влажным способом не реже одного раза в смену.

Вопросы для самоконтроля

1. Расположите в порядке возрастания анаэробные, кремнийорганические и эпоксидные полимерные материалы в зависимости от их прочностных и деформационных свойств.
2. Что такое «время жизнеспособности» и «время отверждения» клея?
3. В чем отличие между прочностью и адгезионной прочностью?
4. Каков диапазон рабочих температур для агрегатов, узлы которых отремонтированы с использованием эпоксидных полимеров?
5. Какие существуют способы повышения точности дозировки при работе с двухкомпонентными эпоксидными составами?
6. Перечислите основные технологические операции при использовании полимерных материалов.

Литература

1. Зорин, В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов / В.А. Зорин. - М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. - 536 с.
2. Башкирцев, В.И. Ремонт автомобилей полимерными материалами / В.И. Башкирцев. - М.: За рулем, – 1999. - 32 с.
3. Применение адгезивов для получения неподвижных цилиндрических соединений / В.А. Верещагин, В.И. Жорник, Н.С. Кечев и др. – Минск: Институт надежности машин НАН Белоруссии, 2000. - 34 с.
4. Мотовилин, Г.В. Словарь-справочник по склеиванию / Г.В. Мотовилин. – СПб.: ВАТТ, 1996. - 218 с.

Редактор Н.П. Лапина
Технический редактор Н.П. Лапина

Тем. план 2009 г., п. 11

Подписано в печать		Формат 60x84/16
Печать офсетная	Усл. печ. л. 3,0	Уч. –изд. л. 2,3
Тираж 300 экз.	Заказ	Цена 19 руб.

Ротап rint МАДИ (ГТУ). 125319, Москва, Ленинградский просп. 64

