



Библиотечка рабочего
по переработке
полимерных материалов



М.С.Тризно
Е.В.Москалев

Клеи и склеивание

6П7.56
Т67
УДК 668.395 + 678.026

Тризно М. С., Москалев Е. В.

Т67 Клеи и склеивание. — Л.: Химия, 1980. — 120 с., ил. — (Библиотечка рабочего по переработке полимерных материалов).

Рассмотрены различные типы клеев на основе полимерных композиций и технологические приемы склеивания ими разнообразных материалов. Даны рекомендации по выбору клеев и оптимальных режимов склеивания. Особое внимание уделено контролю качества и ремонту клеевых соединений, методам испытания, в том числе неразрушающему контролю. Рассмотрены вопросы техники безопасности при работе с клеями.

Предназначается в качестве пособия для профессионально-технического обучения и повышения квалификации рабочих и мастеров, занятых переработкой полимерных материалов.

120 стр., 26 рис., 9 табл.

6П7.56

Т 31410—070
050(01)—80 70.80.2803090200

© Издательство „Химия“, 1980

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
КЛАССИФИКАЦИЯ, ТИПЫ И НАЗНАЧЕНИЕ КЛЕЕВ	8
Клеи на основе терморезактивных смол	9
Клеи на основе термопластичных полимеров	20
Клеи на основе эластомеров	26
Факторы, определяющие прочность склеивания	28
ТЕХНОЛОГИЯ СКЛЕИВАНИЯ	43
Приготовление клея	43
Подготовка поверхности материалов к склеиванию	47
Нанесение клея	60
Формирование клеевого слоя	63
Контроль качества и ремонт клеевых соединений	69
МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	72
Разрушающие методы	72
Неразрушающие методы	78
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ	88
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	99
<i>Приложение 1.</i> Пример типового технологического процесса склеивания деталей клеем типа БФ	105
<i>Приложение 2.</i> Технологическая карта подготовки поверхности металлов к склеиванию	107
<i>Приложение 3.</i> Свойства веществ, используемых при склеивании	108
<i>Приложение 4.</i> Основные характеристики и области применения некоторых клеев	112
Рекомендуемая литература	120

Склеивание различных материалов синтетическими полимерными клеями значительно расширяет возможности применения пластмасс. Синтетические клеи — это своеобразные расплавы или растворы полимерных композиций, и поэтому склеивание по праву относится к технологии переработки пластмасс. С другой стороны, склеивание — это прогрессивный метод соединения различных деталей из металлов и неметаллических материалов, применяющийся во всех отраслях народного хозяйства и обеспечивающий прогресс этих отраслей (например, создание многослойных материалов, сотовых конструкций, труб, пространственных инженерных сооружений и др.). Основное преимущество склеивания заключается в том, что оно не ухудшает механических свойств соединяемых элементов, их внешнего вида. С высокой прочностью и надежностью можно склеивать и изделия большой площади, и большое число малых элементов.

Все возрастающий спрос на полимерные клеи объясняется рядом преимуществ клеевых соединений по сравнению с механическими, сварными, паяными и др. Применение клеев повышает надежность конструкций, снижает их массу, обеспечивает герметичность швов. Производство и потребление клеев из года в год увеличивается в связи с возникновением новых областей их применения. В дальнейшем предусматривается постоянное увеличение выпуска клеев и широкое применение их в машиностроении, строительстве, в быту и т. д. Будет создан большой ассортимент клеев с заданными свойствами, отвечающих требованиям современной техники.

Накопленный опыт доказывает возможность эксплуатации клеевых соединений в различных условиях. Например, в автомобильной промышленности клеи применяют вместо заклепок, для приклеивания фрикционных накладок к тормозным колодкам. Клеевое соединение выдерживает повышенные температуры (до 250°C), воздействие воды, бензина и масел, что позволяет увеличить срок эксплуатации фрикционных накладок на 50—60%. При сборке автомобилей для крепления резьбовых соединений широко применяют специальные анаэробные клеи. Стекла для автомобилей изготовляют путем склеивания двух силикатных стекол поливинилбутиральной клеевой пленкой. Таким образом получают так называемые триплексные стекла. В случае аварии такое стекло растрескивается, но не разлетается на осколки.

Развитие авиации и космической техники невозможно представить без применения синтетических клеев. Клееные сотовые и слоистые конструкции получили применение в самолетостроении и в ракетно-космических системах. К применяемым клеям предъявляют высокие требования, так как они должны обеспечить достаточную прочность при температурах от —185 до 260°C. Самолет состоит более чем наполовину из клееных конструкций; это позволяет уменьшить его массу за счет исключения большого числа крепежных элементов. Наилучшими для этой области техники оказались модифицированные эпоксидные и кремнийорганические клеи (см. с. 12 и 20).

Применение склеивания в машино- и приборостроении позволяет в ряде случаев повысить производительность труда, сэкономить дорогостоящие материалы и добиться повышения надежности изделий. При изготовлении инструментов из твердых сплавов или синтетических сверхтвердых материалов применение склеивания модифицированными эпоксидными и фенольными клеями вместо пайки и сварки на 30—40% снижает расход твердых сплавов и на 50—60% — расход быстрорежущих сталей. Кроме того, склеивание повышает стойкость инструмента в 1,5—4 раза и улучшает качество обработанной поверхности.

Для заделки дефектов металлического литья, ремонта различных машин и оборудования применяют эпоксидные клеевые композиции холодного и горячего отверждения. В производстве приборов для крепления узлов и деталей применяют клеи типа БФ или Циакрин. Токопроводящие клеи могут быть использованы вместо пайки и сварки для соединения элементов электрических цепей.

Некоторым областям техники требуются клеевые материалы, способные отверждаться в неблагоприятных погодных условиях, например в дождь, под водой. Они нужны для ремонта металлических, деревянных и пластмассовых изделий в полевых условиях или находящихся в плавании судов. Для этого выпускаются специальные эпоксидные клеи холодного отверждения. Применение этих клеев для ремонта конструкций корпусов судов, настилов палуб, надстроек и систем трубопроводов позволяет получить экономический эффект около 160 тыс. рублей в год.

Одним из крупнотоннажных потребителей клеев является строительство. Разнообразные клеевые композиции используют для создания клееных конструкций из дерева, металла, пластмасс, что позволяет ускорить процесс строительства. В настоящее время построено около сотни мостов через реки, элементы конструкций которых склеены с помощью синтетических клеев.

Итак, путем склеивания создается неразъемное соединение разнородных материалов или разных деталей из однородного материала. Прочность соединения определяется адгезией клея (адгезива) к склеиваемым материалам. Под адгезией понимают возникновение связи между приведенными в контакт склеиваемыми поверхностями. Если прижать друг к другу две пластинки из какого-нибудь материала, то из-за неровностей на поверхности соприкосновение тел будет наблюдаться лишь в отдельных точках, и адгезия между пластинами будет мала. Клей, заполняя неровности между склеиваемыми поверхностями, способствует образованию адгезионных связей. Прочность этих связей зависит не только от клеевой композиции, но и от структуры и состояния склеиваемых материалов.

Синтетический клей обычно состоит из связующего — основы клея, которое представляет раствор или расплав определенного полимера, наполнителя и ряда добавок. Иногда такая клеевая композиция поставляется в виде пленки или порошка.

Процесс формирования клеевого шва протекает при определенных для каждой марки клея технологических параметрах склеивания (температура, давление, время выдержки).

Типовой технологический процесс склеивания включает следующие операции: подготовку склеиваемых поверхностей; нанесение клея; формирование клеевого шва; контроль склеенных элементов.

Процесс необходимо проводить с соблюдением правил техники безопасности, отраженных в технической документации. Рабочий, осуществляющий процесс склеивания, получает технологическую карту с подробным указанием всех операций.

Необходимо отметить, что собственно склеиванию (в лабораторных или производственных условиях) должен предшествовать обоснованный выбор клея. Эту задачу выполняет инженер-технолог на основе требований, предъявляемых к прочности соединяемых деталей. Рабочий должен иметь представление об особенностях клеев, методике выбора клея и факторах, влияющих на прочность склеиваемого соединения.

КЛАССИФИКАЦИЯ, ТИПЫ И НАЗНАЧЕНИЕ КЛЕЕВ *

Клеи классифицируют по следующим основным признакам: клеевой основе, консистенций, температуре склеивания.

По клеевой основе клеи разделяют на органические и неорганические. Первые в свою очередь могут быть природные: животного (глутиповые, казеиновые, альбуминовые) или растительного (крахмал, натуральный каучук) происхождения; синтетические, полученные химическими методами — поликонденсацией, полимеризацией или реакциями в цепях полимеров. Если основа клеев неорганическая, например цемент, гипс, растворимое стекло, то такие клеи называются неорганическими. Смешанные клеи получают при одновременном использовании органических и неорганических связующих. Например, клей, содержащий мочевиноформальдегидный олигомер и растворимое стекло, является смешанным.

По консистенции клеи могут быть твердыми — в виде кусков, прутка, пленки, гранул или порошка; пастообразными; жидкими — в растворах или дисперсиях.

По отношению к температуре склеивания клеи делятся на терморезактивные и термопластичные. Терморезактивные клеи могут быть однокомпонентными. Они образуют клеевой шов при отверждении под действием повышенных температур. Двух- или многокомпонентные терморезактивные клеи отверждаются под действием катализатора или отвердителя при нормальной или повышенной температуре.

Как известно, терморезактивные смолы в результате химических реакций отверждаются, превра-

* Справочные данные по клеям, наиболее широко распространенным в промышленности, приведены в Приложении 4.

щаются в трехмерные сшитые твердые вещества. При нагревании они не плавятся, в растворителях не растворяются, а при перегревании разлагаются. К таким смолам относятся эпоксидные, полиэфирные, фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные, полиуретановые, кремнийорганические и др. Они обладают невысокой молекулярной массой (200—6000), и поэтому их называют олигомерами.

Термопластичные клеи могут быть в виде раствора. Они образуют клеевую пленку вследствие выделения из раствора воды или растворителей. Термопластичные клеи в виде дисперсий становятся твердыми вследствие всасывания воды в подложку. К термопластичным относят также клеи-расплавы, которые склеивают после охлаждения склеиваемых друг с другом деталей до температуры ниже температуры размягчения клея.

Клеи на основе термопластичных полимеров, как правило, имеют большую молекулярную массу (выше 10 000), при нагревании размягчаются, становятся вязкотекучими, а при охлаждении переходят в твердое состояние практически без изменения первоначальных свойств. К ним относятся, как известно, полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, полиамиды, полиметилметакрилат и др. Термопласты, используемые для клеевых составов, приводятся ниже.

По температуре склеивания клеи подразделяют на клеи холодного (от 0 до 25 °С), умеренного (от 25 до 100 °С) и горячего (от 100 до 250 °С) отверждения. При этом в каждую группу могут попасть как терморезактивные, так и клеи на основе термопластичных полимеров и эластомеров.

По отношению к воде или внешним воздействиям клеи разделяются на неустойчивые, временно устойчивые, устойчивые.

КЛЕИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СМОЛ

Клеи на основе фенолоформальдегидных смол (ФФС) — олигомеров с молекулярной массой 400—2000. ФФС являются основой целого ряда клеевых композиций, которые в отвержденном состоянии

обладают высокой прочностью, грибо-, влаго- и теплостойкостью. К недостаткам этих клеев надо отнести неустойчивость к разрушающему воздействию напряжений, возникающих при тепловом расширении материалов.

Фенолоформальдегидные клеи предназначены для склеивания в основном неметаллических материалов: древесины, фанеры, слоистых пластиков, пенопластов и других пористых материалов.

Модификация ФФС синтетическими каучуками, поливинилацетатами, полиамидами позволила создать высокопрочные конструкционные клеи; некоторые из них представлены ниже.

Клей ВИАМ-Ф9 (ТУ 6-05-1384—70) представляет собой спиртовой раствор фенолоформальдегидного олигомера, резорцина и контакта Петрова марки КПК-1 в качестве отвердителя. Клей предназначен для склеивания древесины и стеклотекстолита, а также в качестве основного компонента клея для склеивания органического стекла между собой и с капроновой лентой.

Клей готовят путем смешения компонентов при комнатной температуре; контакт Петрова вводится при тщательном перемешивании и охлаждении смеси. Разрушающее напряжение при сдвиге клеевого соединения древесины на этом клее составляет 14 МПа (140 кгс/см²).

Клей типа БФ — это спиртовой раствор ФФС, модифицированный поливинилбутиралем или поливинилбутиральфурфуралем. Клеи БФ предназначены для склеивания металлов, пластмасс, керамики, для изготовления фольгированных материалов и печатных плат. Они пригодны также для соединения органического стекла, дерева, фанеры, кожи, бумаги и др. Разрушающее напряжение при сдвиге клеевого соединения образцов из алюминиевого сплава при комнатной температуре не менее 10—15 МПа (100—150 кгс/см²), а при 200 °С — 2 МПа (20 кгс/см²).

Фенолокаучуковые клеи (ВК-32-20, ВК-3, ВК-4, ВК-13) — это растворы ФФС и каучука в органических растворителях. Нитрильные каучуки придают жестким ФФС эластичность, что обеспечивает высокую прочность клеевого соединения при отдире

и сдвиге. Клеи ВК предназначены для склеивания металлов, стеклопластиков и ряда других материалов. Выпускаются в виде растворов или пленки (с подложкой из стеклоткани или полиамидного волокна, а также без подложки). Клеи ВК отверждают при температуре 165—200 °С в течение 1—2 ч под давлением 0,5—2 МПа (5—20 кгс/см²). При использовании клея из раствора наносят два слоя из расчета 150—200 г/м², жизнеспособность клеевой композиции около суток. Разрушающее напряжение при сдвиге клеевых соединений из алюминиевого сплава при комнатной температуре составляет 17—22 МПа (170—220 кгс/см²), а при 200 °С 4—7 МПа (40—70 кгс/см²).

Клеи на основе мочевино- и меламиноформальдегидных смол нашли применение для склеивания изделий из древесины и бумаги. Они бесцветны и отличаются от ФФС меньшей токсичностью.

Под действием отвердителей или при нагревании мочевиноформальдегидные смолы (МФС) образуют сшитые, нерастворимые полимеры. Для отверждения на холоду используют кислоты (соляную, щавелевую, контакт Петрова), а для отверждения при нагреве — аммониевые соли, например хлорид аммония. Последние обеспечивают клеевым композициям более длительный срок хранения. Отвердители, применяемые при горячем отверждении, добавляют в клеевую композицию незадолго до ее использования. Отвердители, используемые для отверждения на холоду, могут быть предварительно нанесены на одну из сторон склеиваемого изделия, а затем после соединения с другой стороной, на которой находится смола, они вызывают отверждение.

Отверждение МФС сопровождается усадкой, приводящей к возникновению внутренних напряжений. Для их снижения МФС модифицируют латексами каучуков, поливинилацетатными дисперсиями, пластификаторами, наполнителями. Помимо повышения прочности клеевых соединений на основе таких модифицированных смол, они обладают также более высокой водостойкостью. Клеи на основе МФС могут применяться в виде водных или спиртовых растворов, порошка, который активируется при растворении

в воде, бумажной ленты, пропитанной раствором смолы.

Клей столярный синтетический (ТУ 6-14-325—69) представляет собой МФС со щавелевой кислотой в качестве отвердителя. Клей предназначен для склеивания изделий, например, при изготовлении мебели, футляров телевизоров, музыкальных инструментов, а также других видов продукции из древесины, шпона, фанеры и декоративно-облицовочных пластиков. При склеивании клей дает светлый прозрачный шов, более водостойкий по сравнению с натуральным столярным клеем. Для приготовления клеевой композиции щавелевую кислоту растворяют в небольшом объеме горячей воды и перемешивают с жидкой МФС [100 ч. (масс.) смолы: 2 ч. (масс.) щавелевой кислоты] до получения однородной массы. Клей наносят на поверхность изделия, склеиваемые части которого зажимают в прессе с усилием 0,3—0,8 МПа (3—8 кгс/см²) и выдерживают 7—8 ч при комнатной температуре. Жизнеспособность клеевой композиции при 20—25 °С 20—30 мин. Без отвердителя клей можно использовать для склеивания бумаг.

Клей на основе эпоксидных смол (олигомеров с молекулярной массой 200—3500) по совокупности своих свойств отвечают почти всем требованиям, предъявляемым к связующим для клеев. Они нашли наиболее широкое применение в промышленности, так как отличаются хорошей адгезией к металлам, неметаллическим материалам; нейтральны по отношению к склеиваемым материалам; не выделяют летучих продуктов и имеют малую усадку в процессе отверждения; стойки к атмосферным воздействиям, химическим реагентам, действию влаги и другим; клеевой шов обладает хорошими физико-механическими и диэлектрическими характеристиками. Эпоксидные смолы могут быть использованы в виде растворов, замазок, прутков, порошков и пленок. Прочность таких клеевых соединений почти не зависит от толщины клеевого слоя.

В отечественных эпоксидных смолах на основе дифенилолпропана примерное содержание (в процентах) эпоксидных групп указывается в марке смолы и обозначено числом, стоящим после букв ЭД, на-

пример ЭД-20 или ЭД-8 (в первом случае содержание 19,9—22,0% эпоксидных групп, во втором 8,0—10,0% эпоксидных групп). Знание содержания эпоксидных групп необходимо для определения количества отвердителя, которое надо ввести в эпоксидную смолу.

В качестве отвердителей широко применяют ангидриды кислот (малеиновой, фталевой, тетрагидрофталевой, пиромеллитовой и др.) и амины. Промышленность выпускает большое число азотсодержащих отвердителей, пригодных для отверждения эпоксидных смол при комнатной (полиэтиленполиамин, АФ-2, Л-20 и др.) и повышенных — от 60 до 160 °С — температурах (дициандиамида, триэтанолламин и др.). Азотсодержащие отвердители обычно вводят в клеевую композицию незадолго до применения, так как при хранении может произойти отверждение (сшивка) смолы.

Требуемое количество азотсодержащего отвердителя x (в %) может быть рассчитано по формуле:

$$x = \frac{\mathcal{E} (M/n)}{43} K$$

где \mathcal{E} — содержание эпоксидных групп в смоле, %; M — молекулярная масса полиамина; n — число атомов водорода в первичных и вторичных аминных группах; 43 — молекулярная масса эпоксидной группы; $K = (1,2 \div 1,4)$ — коэффициент, определяемый экспериментально и зависящий от природы полиамина.

Например, для диэтилентриамин (ДЭТА) и смолы ЭД-16 содержание отвердителя составляет:

$$\frac{16 (103/5)}{43} \cdot 1,3 \approx 10\%$$

Обычно амины вводят в количестве 8—16 ч. (масс.) на 100 ч. (масс.) смолы — в зависимости от типа взятого амина и молекулярной массы эпоксидной смолы.

Расчет нужного количества ангидрида для отверждения эпоксидных смол x (в %) проводят по формуле:

$$x = \frac{\mathcal{E} M}{43} K'$$

где M — молекулярная масса ангидрида; $K' = (0,85—1,20)$ — коэффициент, зависящий от типа взятого отвердителя. Для фталевого ангидрида и смолы ЭД-20 содержание отвердителя составляет:

$$\frac{20 \cdot 148}{43} \cdot 1 \approx 70\%$$

Количество введенного отвердителя влияет на теплостойкость клеев и уточняется опытным путем. Отверждение клея проводят при температуре выше 100°C . Для ускорения процесса отверждения вводят добавки аминного типа (например, диметиланилин) в количестве до 1% от содержания ангидрида. Для приготовления клеев с ангидридами эпоксидную смолу предварительно нагревают до $80—100^\circ\text{C}$ и при этой температуре смешивают с ангидридом. Такие клеевые композиции могут храниться при комнатной температуре длительное время, при 130°C их отверждение протекает за 3 ч, при 260°C — за 20 мин.

В процессе отверждения клеевая композиция из стадии вязкотекучего состояния, когда она хорошо смачивает склеиваемые поверхности и клей проникает в поры, переходит в гелеобразное и затвердевает.

Клеевые соединения на эпоксидных клеях холодного отверждения менее прочны, чем соединения на клеях горячего отверждения. Для повышения эластичности клеевого шва в отвержденном состоянии в клеевую композицию вводят пластификаторы — дибутилфталат, трикрезилфосфат, модификаторы — жидкие каучуки СКН-26-1, СКН-18-1, тиоколы, олигоэфиракрилаты МГФ-9, ТГМ-3, низкомолекулярные полиамиды Л-20, ПО-300, поливинилацетали — поливинилбутираль и целый ряд других полимеров и олигомеров.

Помимо рассмотренных отвердителей эпоксидные олигомеры могут также отверждаться изоцианатами, феноло- или аминокформальдегидными смолами. Подробнее состав и свойства отечественных клеев приведены в Приложении 3.

Клеевая паста Полиметалл (ТУ 1-103—68) является смесью эпоксидной диановой смолы ЭД-20 (или ЭД-16), отвердителя ПЭПА, пластификатора —

дибутилфталата и наполнителя. В качестве наполнителя могут быть использованы: двуокись титана, молотый тальк, окись цинка, алюминиевая пудра, барит, белая сажа, аэросил, молотая пемза и маршалит. Паста предназначена для склеивания различных металлов, керамики, стекла, дерева. Может быть использована для нанесения эмалевого покрытия на металлы, для ремонта раковин в случае скола эмали и т. д. Пасту готовят из компонентов непосредственно перед употреблением, так как жизнеспособность ее при комнатной температуре около получаса. Отверждение может проводиться при комнатной температуре в течение 24 ч или повышенных температурах: при 60°C за 5 ч, при 120°C за 30 мин.

Нужно отметить, что при замене в этой пасте широко применяемого отвердителя ПЭПА на отвердитель АФ-2 повышается стойкость клеевого соединения в воде и во влажной атмосфере, не наблюдается коррозии металлической поверхности под клеевым швом. Такой клеевой композицией можно склеивать также и влажные металлические, железобетонные и другие поверхности.

Разрушающее напряжение при сдвиге для образцов из стали и алюминиевых сплавов составляет $5—10$ МПа ($50—100$ кгс/см²), а при равномерном отрыве $10—25$ МПа ($100—250$ кгс/см²).

Клей ЭН — эпоксидно-новолачный блоксополимер (ЭНБС) (ТУ 6-05-231-163—77) — это клеевая композиция на основе эпоксидного олигомера ЭД-16, модифицированного фенолоформальдегидным олигомером новолачного типа СФ-010. Процесс сополимеризации эпоксидной и новолачной смол при соотношении $60:40$ [ч. (масс.)] проводят в течение $0,5—1$ ч при 120°C . В качестве наполнителей, помимо указанных для клея Полиметалл, могут быть использованы порошки металлов, графит, нитрид бора, антипирены, феррит, асбест и некоторые другие.

Клей предназначен для склеивания металлов и неметаллических материалов, работающих при температурах от -196 до 100°C . Клей в виде твердого прутка или порошка имеет срок хранения более двух лет. Отверждение проводят при 180°C в течение $4—6$ ч. При введении в клей $0,1\%$ триэтанолamina

температура и время отверждения соответственно снижаются до 120°C в течение 1—2 ч. Клей может применяться и в растворе большинства органических растворителей (диоксана, ацетона, метилэтилкетона, бутилацетата, этилцеллозольва и др.). Разрушающее напряжение при сдвиге соединений, склеенных клеем ЭН, составляет [МПа (кгс/см²)]:

Сталь Ст.3	28 (280)	Латунь	12,5 (125)
Сталь Х13Н10	24 (240)	Медь	5,5 (55)
Алюминиевый сплав Д16	21 (210)		

Клей БЭН-50П (ТУ 6-05-041-625—80). Эластичная пленка из ЭНБС (см. клей ЭН), модифицированная поливинилбутиралем марки ПШ. В качестве пластификатора применяется олигоэфиракрилат ТГМ-3 (или дибутилсебацнат), могут использоваться перечисленные выше наполнители для придания специфических свойств (теплопроводности, негорючести, магнито- или электропроводности и др.). Пленку получают на червячных экструдерах, снабженных прямоточной плоскощелевой головкой, или выдавливанием через кольцевую головку с последующим раздуванием трубы. Готовую клеевую пленку наматывают на бобины, между ее слоями прокладывают полиэтиленовую пленку. Срок хранения пленочного клея при комнатной температуре не менее 1,5 лет. При склеивании из пленки вырезают кусочек требуемых размеров и формы, затем помещают его между холодными или нагретыми соединяемыми поверхностями и под давлением 0,1—0,5 МПа (1—5 кгс/см²) проводят склеивание при 180°C в течение 4—6 ч.

Клей предназначен для склеивания металлов и неметаллических материалов, работающих при температурах от —253 до 80°C. Разрушающее напряжение при сдвиге клеевых соединений, выполненных пленочным клеем БЭН для различных материалов составляет, МПа (кгс/см²):

Сталь Ст.3	38—40 (380—400)
Сталь Х13Н10	31 (310)
Алюминиевый сплав Д16	35 (350)
Латунь	17 (170)
Медь	16 (160)

Эта прочность практически не снижается после воздействия повышенной влажности, термоударов (выдерживает 15 циклов от —253 до +22°C), морского тумана, плесневых грибов, солнечной радиации, теплового старения (1000 ч при 150°C). При криогенных температурах разрушающее напряжение при сдвиге составляет при —196°C 16 МПа (160 кгс/см²), при —253°C 15 МПа (150 кгс/см²).

Применение пленочного клея увеличивает долговечность и надежность изделий, повышает производительность и улучшает условия труда, снижает взрыво- и пожароопасность производства за счет отсутствия растворителей.

Полиуретановые (ПУ) клеи принадлежат к двухкомпонентным клеевым композициям. Одним из компонентов является полиизоцианат, а другим — многоатомный спирт или гидроксилсодержащий полиэфир.

ПУ-клеи характеризуются высокой адгезией к большинству материалов, что обусловлено высокой полярностью NCO-групп. Кроме того, эта функциональная группа может вступать в химические реакции с реакционноспособными группами на поверхности склеиваемых тел, например гидроксильными. С этими клеями следует работать без воды и кислот, так как изоцианаты, вступая в реакцию с этими соединениями, образуют углекислый газ.

Клеевую ПУ-композицию рекомендуется применять сразу после смешения компонентов, поскольку прочностные свойства клеев ухудшаются за счет повышения вязкости композиции по мере хранения. Максимальная прочность — до 20 МПа (200 кгс/см²) — клеевых соединений дуралюмина для ПУ-клеев получается при толщине клеевого шва от 50 до 150 мкм.

ПУ-клеи устойчивы к действию воды и растворителей, имеют хорошую эластичность и термостойкость. Однако из-за токсичности изоцианатов и их способности взаимодействовать с влагой воздуха требуется специальная технология склеивания и тщательный контроль содержания исходных компонентов.

Клей ПУ-2 представляет собой смесь полиэфирного олигомера — продукта 24К (ГОСТ 22234—76) и толуилендиизоцианата — продукта 102-Т (ТУ 6-03-331—72) в ацетоне и цемента в качестве

наполнителя. Жизнеспособность клея при 20°C не менее 2 ч. Клей ПУ-2 предназначен для склеивания различных металлов, неметаллических материалов: пластмасс, тканей, пленок, поролона и др. Разрушающее напряжение при сдвиге клеевых соединений алюминиевых сплавов после отверждения при комнатной температуре в течение 3 сут под давлением 0,3 МПа (3 кгс/см²) составляет 12 МПа (120 кгс/см²). Продолжительность отверждения клеевого шва при 100°C — 4 ч под тем же давлением.

Клеи Вилад являются клеевой композицией на основе сложного гидроксилсодержащего полиэфира и диизоцианата. Клей марки Вилад-1к используют для приклеивания в электростатическом поле ворса к подложке при изготовлении ковровых изделий, а также для склеивания древесины, тканей, кожи, керамики и др. Отверждение клея Вилад-1к при 80—120°C протекает за 6—8 мин.

Клей марки Вилад-3к предназначен для приклеивания полиэфирного ворса к резиновой подложке, а также для реставрации резиновой обуви. Время отверждения при 160—250°C 3—5 мин.

Клей марки Вилад-6к применяется для приклеивания пластифицированной поливинилхлоридной пленки к стальной полосе (получение металлопласта) с целью придания металлу коррозионной стойкости и декоративной отделки.

Клей марки Вилад-7к предназначен для дублирования полимерных пленочных материалов и бумаги с помощью лакировальных машин со скоростью склеивания до 100 м/мин.

Клей марки Вилад-11к используется для склеивания конструкционных материалов. Отверждение клея проводят как при нормальной, так и повышенной температуре. Клеевой шов обладает хорошей вибро-, водо-, масло- и бензостойкостью, стойкостью к быстрому перепаду температур (от —190 до 150°C). Разрушающее напряжение при сдвиге склеенных образцов из стали составляет 30 МПа (300 кгс/см²) при 20°C и около 10 МПа (100 кгс/см²) при 80°C. Клей может наноситься на вертикальные поверхности.

Клеи на основе полиэфиров, акрилатов и кремнийорганических смол. Полиэфирные клеи готовят,

в основном, из ненасыщенных полиэфирных смол в сочетании с некоторыми мономерами — стиролом, метилметакрилатом, винилацетатом, олигоэфиракрилатами и др. В качестве отвердителя обычно используют перекись бензоила или 50%-ную пасту перекиси бензоила в дибутилфталате в количестве от 1 до 5 ч. (масс.).

Отверждение полиэфирных клеев можно проводить как при низких (от —10°C), так и умеренных (80°C) температурах. Время отверждения составляет от нескольких минут до суток. Разрушающее напряжение при сдвиге для клея на основе полиэфирной смолы ПН-1 (МРТУ 6-05-1082—67) для стали составляет 5,6 МПа (56 кгс/см²), а при равномерном отрыве — 11,7 МПа (117 кгс/см²). При отверждении этой смолы возникает большая усадка и, как следствие, значительные внутренние напряжения, которые могут быть частично уменьшены введением наполнителей. Так, при наполнении композиции полуводным гипсом в количестве 100—150 ч. (масс.) разрушающее напряжение возрастает до 27,6 МПа (276 кгс/см²) при сдвиге и до 21 МПа (210 кгс/см²) при равномерном отрыве.

Полиэфирные клеи могут отверждаться не только на воздухе и в присутствии влаги, но даже и под водой.

На основе полиэфирных и акрилатных полимеров с добавками полиуретановых олигомеров разработаны клеи типа ВАК и Спрут, которые могут склеивать необезжиренные, покрытые нефтью и нефтепродуктами поверхности. Разрушающее напряжение при равномерном отрыве при склеивании чистых сухих образцов из стали Ст. 3 клеем Спрут-9М составляет 31,2 МПа (312 кгс/см²), тех же образцов в воле — 18 МПа (180 кгс/см²) и в нефти — 16 МПа (160 кгс/см²). Конструкционный клей ВАК отверждается на воздухе и под водой. Клей готовят путем смешения раствора полибутилметакрилата (ТУ 6-01-252—68) в метилметакрилате (ТУ 8П-156—68) с продуктом АТЖ (ТУ 6-0404—73). Жизнеспособность клея регулируют путем введения необходимого количества перекиси бензоила и диметиланилина. Разрушающее напряжение при сдвиге для стали при

склеивании под водой и контактом давлением до 0,5 МПа (5 кгс/см²) через 10 сут составляет 16 МПа (160 кгс/см²). Разрушающее напряжение для металлических образцов при равномерном отрыве после 5 сут отверждения в воде составляет 20 МПа (200 кгс/см²). Эти клеевые композиции нашли применение для ремонта судов, металлических контейнеров, баков с нефтепродуктами, газопроводов и других конструкций в полевых условиях, т. е. когда нельзя создать необходимых условий для склеивания другими клеями.

Кремнийорганические клеи сохраняют прочностные свойства при высоких температурах (от 300 до 1000 °С). Это возможно потому, что кремнийорганические полимеры содержат в цепи чередующиеся атомы кремния и кислорода, связи между которыми обладают высокой термостойкостью. Эти клеи предназначены для склеивания различных сталей и сплавов титана, для приклеивания к этим металлам неметаллических термостойких материалов, работающих в условиях длительного воздействия высоких температур. Например, эпоксидно-кремнийорганический клей Т-111 отличается хорошей адгезией к различным материалам в интервале температур от —60 до 300 °С. Так, для образцов из алюминиевого сплава, склеенного этим клеем, разрушающее напряжение при сдвиге при 20 °С составляет 20 МПа (200 кгс/см²), а при 200 °С — 6 МПа (60 кгс/см²). Для фенолокремнийорганического клея марки ВС-10Т для соединений из нержавеющей стали прочность при 20 °С составляет 20 МПа (200 кгс/см²) и при 200 °С — 9 МПа (90 кгс/см²).

КЛЕИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

При склеивании термопластичными клеями, в отличие от склеивания терморезактивными клеями, как правило, не происходит химического взаимодействия между компонентами клея. Клеевой слой образуется при испарении органического растворителя или воды, полимеризации мономеров или охлаж-

дении нагретой полимерной композиции. Эти клеи удобно применять для автоматизированного или механизированного процессов склеивания. Почти все термопластичные клеи имеют невысокие прочностные показатели, отличаются малой термостойкостью, а это ограничивает область их применения. Среди более термостойких полимеров надо отметить полибензимидазолы, полиимиды и некоторые ароматические гетероциклические полимеры. Прочность клеевого соединения металлов клеями на основе этих полимеров при сдвиге в интервале температур от 200 до 500 °С составляет от 3,0 до 8,0 МПа (30—80 кгс/см²).

Термопластичные клеи-растворы. Среди термопластичных клеев наиболее широкое распространение получили полимеры на основе поливинилацетата (ПВА).

ПВА хорошо растворяется в спиртах, ацетоне, этилацетате, толуоле — эти растворы используются в виде клея. При полимеризации винилацетата в эмульсии образуется поливинилацетатная дисперсия, которую применяют для изготовления клеевых композиций. Для этого в нее вводят от 5 до 35% пластификатора, например дибутилфталата. Клеи на основе поливинилацетата используют для склеивания кожи, бумаги, тканей, дерева и стекла. При омылении поливинилацетата получают полимер — поливиниловый спирт, который растворяется в воде. Применение этого клея взамен растворов крахмала и желатина высвобождает большое количество пищевого сырья. Его также применяют в переплетном деле для склеивания бумаги и целлофана.

Среди производных акриловой кислоты широкое применение в технике и медицине нашли цианакрилатные клеи, к ним относятся, например, клеи Циакрин. Они представляют собой жидкость, отверждающуюся при комнатной температуре.

При нанесении клея на поверхность металлов, стекла, дерева, пластмасс и других материалов склеивание протекает на воздухе в течение 20—200 с без применения каких-либо катализаторов. Клей Циакрин выпускается нескольких марок, различающихся составом, свойствами и областями применения. Они

могут успешно эксплуатироваться в интервале температур от -60 до 100°C . После выдержки клеевых соединений в ряде сред (вода, бензин, масло) они сохраняют первоначальную прочность [разрушающее напряжение при сдвиге для дуралюмина, склеенного Циакрином, от $12,4$ до $15,3$ МПа ($124-153$ кгс/см 2)].

Клеи-расплавы. В последние годы в различных отраслях народного хозяйства широко применяются клеи-расплавы. Это вызвано их преимуществами перед клеями, содержащими растворитель.

Клейкость этих композиций проявляется только в расплавленном состоянии. При охлаждении они затвердевают, образуя твердую массу. Эту массу можно подвергать многократному нагреванию до температуры плавления.

Определяющими для выбора термопластичного клея-расплава являются температуры эксплуатации клеевого соединения, а также размягчения и плавления клея. Температура плавления определяет скорость схватывания клеевого слоя со склеиваемыми поверхностями.

Температура, при которой наносится клей, обычно несколько выше температуры его плавления и зависит от требуемой вязкости расплава. Для каждого клея имеется определенная температура, выше которой вязкость не уменьшается. Если вязкость клея велика, то из-за ухудшенного смачивания таким клеем склеиваемых поверхностей снижаются его клеевые свойства. Повышение температуры выше допустимой вызывает деструкцию клея и, естественно, снижение прочности склеивания.

При длительном нагревании термопластичных клеев на воздухе также возможна их деструкция. Поэтому при склеивании необходимо точно регулировать температуру нагревания, нагревать клей небольшими порциями, а также вводить в клеевые композиции добавки, препятствующие деструкции, что и отмечалось выше. На прочность клеевого соединения, выполненного клеем-расплавом, влияют создаваемое давление и продолжительность перехода клея из жидкого в твердое агрегатное состояние. Давление [$0,1-1$ МПа ($1-10$ кгс/см 2)] необходимо поддержи-

вать до тех пор, пока температура склеивания не будет ниже температуры размягчения полимера. Для каждой пары склеиваемых материалов необходимо определить оптимальное время склеивания. Оно зависит от количества наносимого клея, площади клеевого шва, состояния и температуры поверхностей склеиваемых материалов, а также от температуры окружающей среды.

Обычно клеи-расплавы состоят из нескольких компонентов: основного полимера, вещества, регулирующего вязкость расплава, пластификатора и добавок, снижающих деструкцию полимера при длительном нагревании.

В качестве полимерной основы клея применяют термопласты, устойчивые к длительному нагреванию и обладающие хорошей адгезией к склеиваемым материалам. Это могут быть полиамиды, сополимеры этилена с винилацетатом и другие, имеющие относительно узкий интервал температур плавления. В качестве веществ, регулирующих вязкость расплава, служат низкоплавкие смолы, которые должны хорошо совмещаться с основным полимером, увеличивать его текучесть и смачиваемость склеиваемых поверхностей, а следовательно, повышать прочность склеивания. Для этих целей широко используют канифоль и ее производные, терпеновые и углеводородные смолы, воска и парафины.

Введение наполнителей (гипса, каолина, кварцевой муки и др.) позволяет регулировать вязкость клеевой композиции, улучшать физико-механические свойства клеев и их водостойкость. При этом снижается стоимость клея.

В качестве пластификаторов применяют фталаты, касторовое масло и другие низкомолекулярные соединения, которые снижают температуру размягчения клея. Однако в процессе эксплуатации они имеют склонность выделяться из полимера, что приводит к уменьшению прочности клеевого шва. Для предохранения компонентов клея-расплава от разложения и окисления на воздухе при многократном нагревании в него вводят стабилизаторы и антиоксиданты. Их подбирают в зависимости от состава клея и температуры его нанесения.

Клеи-расплавы применяют в тех случаях, когда требуется быстро получить надежное клеевое соединение различных материалов, эксплуатируемых при температурах от -50 до 150°C .

Наибольшее значение имеют клеи-расплавы на основе полиамидов. Их свойства можно изменять в широких пределах изменением соотношения исходных компонентов при синтезе, совмещением двух разных полиамидов, а также путем введения пластификаторов и наполнителей. Молекулярная масса полиамидов, применяемых для клеев-расплавов, находится в пределах от 2000 до 10 000, а их температуры размягчения изменяются от 100 до 275°C .

Полиамидный клей-расплав марки В-26 представляет собой стеклообразный материал, обладающий высокой адгезией к различным материалам. Так, при склеивании пластин из алюминиевого сплава разрушающее напряжение при сдвиге достигает 5 МПа (50 кгс/см²), а при склеивании кожи и трехслойной кирзы прочность при расслаивании составляет $800-950$ Н/2,5 см ($80-95$ кгс/2,5 см). Этот клей получают путем модификации полиамида марки П-548 (ТУ 6-05-1032-73) канифолью в присутствии адипиновой кислоты. Температура размягчения клея находится в пределах $90-105^{\circ}\text{C}$, а показатель текучести расплава при 150°C составляет $25-30$ г/10 мин.

Клеи-расплавы на основе линейных полиэфиров являются продуктами взаимодействия диолов с карбоновыми кислотами, например терефталевой, изофталевой кислот с этилен- или бутиленгликолями. Они плавятся при температуре выше 200°C , поэтому их можно применять в соединениях, работающих до 180°C . Эти клеи обладают хорошей адгезией, водостойкостью, стойкостью к растворителям и высокими диэлектрическими свойствами. Имеются полиэфирные клеи, которые наносят при температуре не ниже 100°C .

Клей-расплав на основе сополимеров этилена с винилацетатом обладает хорошей адгезией к бумаге, коже, тканям и резине. Это обусловлено присутствием в макромолекуле полярных винилацетатных групп. Эти клеи отличаются высокой эластичностью, поэтому не требуют добавления пластифика-

торов. Для повышения адгезии в состав клея вводят производные канифоли и воск. Эти клеи-расплавы имеют хорошие водо- и маслостойкость, но под действием кислот и щелочей происходит омыление поливинилацетата и клеевое соединение разрушается.

Клеи-расплавы широко применяют в переплетном деле, в обувной промышленности, в производстве мебели, автомобилей и приборов, для склеивания бумаги и деталей из древесины, пластмасс и металлов. В обувной промышленности их используют для приклеивания подошв, загибки деталей верха обуви, обтяжки и затяжки заготовок, временного крепления каблучков, вклеивания задников и ряда других операций. Применение клеев-расплавов в обувной промышленности позволило внедрить полуавтоматические установки для сборки обуви.

К достоинствам клеев-расплавов надо отнести то, что они не содержат летучих, токсичных и огнеопасных растворителей; при их использовании увеличивается скорость процессов склеивания, так как не требуется нанесения клея на обе склеиваемые поверхности и исключается необходимость сушки клеевого слоя. Этими клеями можно склеивать трудносклеиваемые материалы, долго хранить, так как практически они не изменяют своих свойств в течение длительного времени.

Анаэробные клеи. Некоторые акриловые производные обладают способностью быстро полимеризоваться при комнатной температуре без доступа воздуха, а в его присутствии их можно хранить не менее года. Это свойство позволило разработать на их основе клеевые композиции, которые нашли применение для стопорения резьбовых соединений, фиксирования положения болтов, шпилек и штифтов, для замены пайки и сварки при ремонте трубопроводов и для заполнения литейных раковин.

Основой анаэробной клеевой композиции являются олигоэфиракрилаты. Кроме того, в композицию вводят минеральные наполнители (аэросил, двуокись титана и др.), загустители — полимеры акрилатов и стирола, пластификаторы, инициаторы и ингибиторы радикальной полимеризации. В качестве катализаторов

применяют перекиси и гидроперекиси, для ускорения разложения которых используют азотсодержащие соединения или соли металлов переменной валентности.

Приготовленные клеевые композиции могут отверждаться при комнатной температуре без доступа воздуха от нескольких минут до нескольких часов, в зависимости от содержания инициатора и типа склеиваемых материалов.

Выпускается ряд марок анаэробного клея Ана-терм, которые различаются вязкостью: от 0,125 до 25 Па·с (125—25 000 сП). Эти клеи затекают практически в любые мелкие зазоры и неровности, поэтому их применение позволяет использовать в ряде производств детали и узлы изделий с меньшей точностью изготовления, а соответственно, и с низкой стоимостью. В отвержденном состоянии они обеспечивают герметичность клеевых соединений при воздействии агрессивных сред, перепадах температур от -193 до 150°C , вибрации и ударах. Клей грибостоек и не выделяет вредных веществ при контакте с пищевыми продуктами.

Достоинство клея Ана-терм также в том, что он не вызывает коррозии металлов и заедания резьбовых соединений.

В случае стопорения деталей не происходит резкого падения прочности при сдвиге (так как происходит «затираание» резьбы оторванными частицами отвержденного клея), что обеспечивает надежность соединения.

Разрушающее напряжение при сдвиге при склеивании клеями Ана-терм составляет от 10 до 20 МПа (100 — 200 кгс/см²) в зависимости от природы склеиваемых материалов.

Процесс нанесения клея на склеиваемые поверхности может быть легко автоматизирован.

КЛЕИ НА ОСНОВЕ ЭЛАСТОМЕРОВ

Для склеивания резины со сталью, деревом, стеклом или при склеивании резин между собой применяют клеевые композиции на основе эласто-

меров. Готовят их путем растворения каучуков в органических растворителях с добавками смол и наполнителей. Различают два типа клеев на основе эластомеров — вулканизирующиеся и невулканизирующиеся. Прочность склеивания последними невелика. Высокопрочное клеевое соединение получают вулканизацией клея при комнатной (20 — 30°C) или повышенной (140 — 150°C) температуре. Для этого в клей вводят вулканизирующие вещества, активаторы и ускорители.

Наиболее широкое распространение в технике получил клей марки 88 (ТУ 38-105540—73), который представляет собой раствор наиритового каучука и бутилфенолоформальдегидной смолы марки 101К в смеси этилацетата и бензина в соотношении 2:1. После выдержки при склеивании этим клеем в течение 24 ч разрушающее напряжение при равномерном отрыве для клеевых соединений резины с металлами составляет от 1 до 2 МПа (10 — 20 кгс/см²), а прочность при расслаивании — от 20 до 50 Н/см (2 — 5 кгс/см).

Клеевые (липкие) ленты. Большой технико-экономический эффект дает использование клеевых лент, представляющих собой пленочную подложку с нанесенным на нее липким клеевым слоем. В качестве подложки применяются ткани, бумага, металлическая фольга, полимерные пленки. Для получения липкого клеевого слоя используют эластомеры, натуральные и синтетические смолы, пластификаторы, наполнители, стабилизаторы. Клеем может быть покрыта одна или обе стороны подложки, в последнем случае получается двусторонняя липкая лента. Липкие ленты удобны в технологическом отношении при склеивании различных поверхностей в конструкциях несилового назначения. Они применяются для маркировки, герметизации, упаковки, защиты поверхностей, не подлежащих окрашиванию, временного крепления деталей, электроизоляции проводов, защиты металлических изделий от коррозии и механических повреждений.

Например, прочность при отслаивании липкой ленты (ТУ 6-05-1274—73) из поливинилхлоридной

пленки с клеем КЛЛ-4 (МРТУ 6-05-1255—69) составляет [в Н/см (кгс/см)]:

От нержавеющей стали	5,7 (0,57)
» алюминиевого сплава	5,5 (0,55)
» фторопласта	2,6 (0,26)
» оргстекла	6,5 (0,65)
» винипласта	4,7 (0,47)
» силикатного стекла	4,2 (0,42)

Свойства этой липкой ленты сохраняются без изменений при нагревании до 120°C. Отечественной промышленностью выпускается широкий ассортимент липких лент различного назначения.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ СКЛЕИВАНИЯ

Для получения надежного клеевого соединения необходимо знать адгезионные свойства клеев и зависимость этих свойств от физических и физико-химических характеристик исходного полимера, условий эксплуатации клеевых соединений, структуры и состояния поверхности склеиваемых материалов. Ниже рассматриваются основные факторы, определяющие прочность склеивания.

Молекулярная масса. С увеличением молекулярной массы полимеров, как известно, повышаются их физико-механические свойства — прочность при изгибе и растяжении, ударная вязкость. Прочность же склеивания с изменением молекулярной массы полимера изменяется иначе. Адгезионная прочность снижается с увеличением молекулярной массы полимерного клея, так как уменьшается число концевых реакционноспособных функциональных групп, которые могут вступить в реакции со склеиваемой поверхностью. Кроме того, подвижность молекул с увеличением их длины снижается, задерживается их миграция к месту контакта. Короткоцепные молекулы лучше контактируют со склеиваемой поверхностью, диффундируют в ее поры, и ориентирование диполя осуществляется быстрее.

Однако пластичность отвержденного клеевого слоя лучше у длинноцепных молекул. Поэтому для получения оптимальной прочности склеивания требуется

сочетание высоко- и низкомолекулярных фракций полимера в адгезиве. Молекулярная масса боковой цепи в полимере также оказывает влияние на прочность склеивания. Так, в ряду поливинилацеталей с возрастанием молекулярной массы ацетальдегида увеличивается прочность склеивания, так как уменьшается число водородных связей между цепями макромолекул и повышается их гибкость.

Наполнители. Введение наполнителей в клеевую композицию оказывает существенное влияние на свойства клея и его прочностные характеристики. Изменяя количество наполнителя, можно регулировать вязкость клея, его пропитывающие свойства, создавать определенную толщину клеевого шва, уменьшать внутренние напряжения, выравнивать физические свойства клея и склеиваемого вещества. Наполнители могут быть активными и неактивными — в зависимости от того, вступают ли они во взаимодействие с компонентами клея, повышают (понижают) адгезию или не влияют на нее. Например, окислы металлов могут служить сшивающими агентами.

Введение наполнителей придает клеям специфические свойства: например, порошки металлов и графит повышают тепло- и электропроводность, асбест — теплостойкость, слюда — электросопротивление и диэлектрические свойства, антипирены — негорючесть, нитрид бора — теплопроводность, стойкость к действию низких температур и т. д. Кроме того, использование наполнителей позволяет экономить клеящие материалы.

Структура и состояние поверхности. Адгезия зависит как от свойств самих клеев, так и от структуры и состояния поверхности склеиваемых материалов.

Установлено, что при склеивании металлов в большинстве случаев наблюдается снижение прочности клеевых соединений в следующем порядке: сталь, алюминиевые сплавы, латунь, медь.

На адгезионную прочность, например, эпоксидного и акрилатного клеев заметно влияют легирующие добавки к стали.

В случае склеивания полимерных материалов следует учитывать полярность, которая определяется их строением. Как известно из курса физики, в случае

симметричного построения молекул дипольный момент равен нулю, и такие молекулы называются неполярными, например макромолекула полиэтилена $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$.

В полярных полимерах электронная плотность распределена несимметрично, т. е. положительные и отрицательные заряды смещены относительно друг друга. Например, в макромолекулах поливинилхлорида $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$ или поливинилового спирта $[-\text{CH}_2-\text{CHOH}-]_n$ имеются боковые заместители (Cl или OH), которые придают полярность всей полимерной цепи.

К полярным полимерам также относятся: эпоксидные, фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные, полиэфирные смолы (олигомеры), полиамиды, поливинилацетаты, полиуретаны и материалы на их основе, например аминопласты, фенопласты, пенопласты, гетинакс, стеклопластики и т. п. Все они хорошо склеиваются между собой и с другими материалами многими известными клеями.

При склеивании неполярных полимеров (полиэтилена, полипропилена, фторопласта) возникают трудности, так как без специальной подготовки поверхности этих материалов адгезия клеевых веществ к ним очень низкая. Поверхности этих материалов перед склеиванием подвергают обработке механическими (зашкуривание), физическими (обработка в электростатическом поле, газоплазменная обработка) или химическими методами (обработка хромовой смесью, раствором металлического натрия в жидком аммиаке и др.). Физическая и химическая обработка приводит к увеличению полярности поверхности за счет образования двойных связей, гидроксильных и карбоксильных групп, и вследствие этого повышается адгезия клеев к неполярным материалам.

Помимо указанных материалов широко применяют клеи для соединения деталей из керамики, стекла, ферритов, древесины, бумаги, кожи, ткани и др. Перечисленные вещества имеют достаточно полярную поверхность, и специальной обработки (кроме очистки для повышения адгезии) в большинстве случаев не требуется.

Таким образом, при склеивании надо учитывать, что полярные материалы склеиваются полярными клеями, а неполярные — неполярными. При склеивании двух разнородных материалов клей должен иметь сродство к обеим склеиваемым поверхностям и содержать различные по полярности и реакционной способности функциональные группы.

Прочность склеивания повышается пропорционально содержанию полярных групп в клее. Поэтому для каждой системы клей — склеиваемый материал необходимо подбирать клеевую композицию с оптимальным содержанием функциональных групп. По возможности надо стремиться создавать химические связи между молекулами клея и склеиваемого материала, так как они наиболее стабильны.

Температура эксплуатации. Изучение изменения прочности клеевых соединений при различных температурах показало, что с повышением температуры выше 100°C наблюдается падение прочности большинства терморезистивных клеев, термопластичные же разрушаются при более низкой температуре (от 40 до 80°C). Это обусловлено снижением прочностных характеристик полимера, из которого образован клеевой шов, а при длительном нагреве — старением полимера.

Наиболее стойки к действию повышенных температур неорганические (элементорганические) полимеры. Но они обладают, как правило, невысокой адгезией. Поведение клеевых соединений при низких температурах представляет интерес для криогенной техники. Полиуретановые и модифицированные эпоксидные клеи могут успешно эксплуатироваться при температурах жидкого азота (-196°C) и жидкого водорода (-253°C). На основе эпоксидно-фенольных соединений разработаны клеи, выдерживающие многократные резкие перепады температур. При термоциклировании в клеевом шве возникают большие остаточные напряжения из-за разности коэффициентов линейного расширения (КЛР) полимера и подложки, «вымораживания» или «вскипания» низкомолекулярных фракций, а также фазовых переходов в полимерах и изменения их надмолекулярных структур.

Стойкость к действию природных условий. Приборами и механизмами, имеющими клеевые соединения, пользуются в различных климатических условиях. Клеевой шов подвергается воздействию: повышенной или пониженной влажности, морского тумана, плесневых грибков, солнечной радиации, воды и агрессивных сред. Высокую атмосферостойкость имеют фенолокаучуковые клеевые композиции, прочность которых, как показывает опыт, снижается за 10 лет эксплуатации на 10—15%. Для эпоксидных клеев наблюдается значительное падение прочности при сдвиге (до 50%) уже через 1—2 года. Для клеев, эксплуатирующихся в условиях повышенной влажности и в воде, необходимо применять гидрофобные наполнители и в качестве связующих выбирать полимеры с небольшим числом гидроксильных и карбоксильных (полярных) функциональных групп.

Стойкость клеевых соединений к действию различных агрессивных сред определяется химической стойкостью полимеров и наполнителей, входящих в состав клея. Большая часть терморезистивных клеев стойка к действию масел, растворов солей, кислот и щелочей, органических растворителей. Термопластичные клеи обычно нестойки к органическим растворителям. Прочность клеевых соединений, как правило, мало зависит от воздействия солнечных лучей, так как клеевая пленка защищена металлом или другим склеиваемым телом.

В тропических или субтропических условиях при достаточно большой влажности и температуре окружающей среды на поверхности клеевого соединения бурно развиваются плесневые грибки. Питаясь компонентами клеевой композиции, они выделяют продукты обмена веществ (кислоты, амины), которые разрушают клеевое соединение. Поэтому рекомендуется вводить в рецептуру клея полимеры, содержащие фенол, например фенолоформальдегидные олигомеры, или специальные вещества, ядовитые для микроорганизмов — фунгициды.

Под действием ультрафиолетовых лучей происходит потеря массы полимера, входящего в состав клея. Ионизирующее излучение сначала повышает прочность клеевого шва, что обусловлено дополнительным

структурированием полимера, а при дальнейшем облучении происходит разложение полимера с выделением низкомолекулярных продуктов и снижение прочности склеивания. Наибольшей стойкостью к радиационному воздействию обладают фенолоформальдегидные и фурановые клеи, содержащие неорганические наполнители (графит) повышающие стойкость полимеров к действию излучения.

Нагрузка. Надежность и долговечность клеевого соединения зависит от изменения его прочностных свойств при статических или динамических нагрузках. В ряде случаев испытания на долговечность клеевых соединений проводят в конкретных условиях эксплуатации склеенного изделия. На поведение клеев при эксплуатации существенное влияние оказывают остаточные напряжения и релаксационные процессы в клеевом соединении, которые необходимо учитывать при прогнозировании поведения клеевого шва.

Характер разрушения склеенных соединений зависит от продолжительности и скорости приложения нагрузки. При быстром приложении нагрузки к соединениям на эластичных клеях разрушение происходит на границе клей — склеиваемый материал. При медленном росте нагрузки или ее постоянстве подобные клеи склонны к ползучести, которая обусловлена повышенной деформируемостью эластомеров. Разрушение в этом случае будет проходить по клеевой пленке. При испытании клеевых соединений на прочных и жестких клеях под действием длительных статических нагрузок разрушение происходит преимущественно по границе раздела клей — склеиваемое вещество, где концентрируются наибольшие остаточные напряжения, а способность к ползучести у жестких полимеров невелика.

Тип клеевого соединения. Прочность склеенных деталей во многом зависит от типа клеевого соединения. Конструкции клеевых соединений бывают как сплошными, так и сотовыми. В табл. 1 приведены примеры выполнения некоторых типов соединений, которые используются для изготовления разнообразных клеевых конструкций.

Соединение внахлестку наиболее распространено, в условиях эксплуатации оно хорошо работает

Таблица 1. Типы клеевых соединений

№ по пор.	Пример конструктивного выполнения	Вид соединения
	Внахлестку	
1		Простое
2		Двускосное
3		Врезное
4		Усиленное двустороннее
	С накладками	
5		Простое
6		Двустороннее простое
7		Высокопрочное
	Стыковые	
8		Простое
9		Шпунтовое
10		Соединение «на ус»

Продолжение

№ по пор.	Пример конструктивного выполнения	Вид соединения
	Угловые	
11		Два уголка
12		Две пластины с усиливающим уголком и оконтуривающей изогнутой пластиной
	Тавровые	
13		Пластина с тавром
	Втулка — отверстие	
14		Цилиндрическое
15		По конусу
	Сотовые	
16		Трехслойная панель

при сжатии и сдвиге. В двускосной конструкции (2) скосы уменьшают прогиб и неравномерный отрыв у краев детали. Для снижения напряжений в клеевых соединениях у кромки следует оставлять клеевой валик.

Соединения с односторонней накладкой (5) применяются в таких конструкциях, где одна сторона должна быть ровной. Для увеличения прочности применяют две накладки (6), а края скашивают (7).

Соединениям внахлестку и с накладками присущи неравномерность распределения напряжений по длине стыка и возникновение отрывающих напряжений у концов накладок.

Соединение встык следует применять только при больших площадях клеевого соединения. Для увеличения прочности применять скошенные поверхности (10) или сочетать с соединениями внахлестку (3, 9).

Угловые соединения рекомендуется применять с накладками, которые обеспечивают надежность работы соединения (12).

В тавровых соединениях для увеличения прочности следует увеличивать площадь склеивания и делать скосы у кромок клеевого шва.

В соединениях вида «втулка — отверстие» надежность зависит от качества подгонки поверхностей и геометрических размеров клеевого узла. Зазор между втулкой и отверстием должен быть от 0,05 до 0,15 мм, а шероховатость поверхности — соответствовать 2—3 классу по ГОСТ 2789—73. Лучшие результаты получаются при соединении цилиндрических элементов по конусу (15), так как в этом случае можно создать необходимое для отверждения клея давление.

Сотовые конструкции обычно представляют собой листы, между которыми приклеен легкий наполнитель. Они имеют ряд преимуществ по сравнению со сплошными панелями, например меньшую массу, пониженные тепло- и звукопроводность и большую прочность при действии изгибающих нагрузок.

Таким образом, выбор клеевой композиции зависит от склеиваемых материалов (пластмасса, металл, стекло, керамика и т. д.), их структуры и строения, растворимости, коэффициента линейного расширения, стойкости к действию температур, состояния поверхности и т. п.

Важнейшими являются условия эксплуатации клеевого соединения (температура, влажность, нагрузки и др.), а также технологические особенности нанесения клея. Для непрерывных процессов удобнее использовать термопластичные клеи (растворы или клеи-расплавы) и только в исключительных случаях — терморреактивные клеевые композиции, напри-

мер при склеивании больших площадей в этажных прессах.

Условия формирования клеевого соединения определяют его прочность и долговечность. В терморреактивных клеях причиной отверждения являются химические реакции, протекающие под действием катализаторов или отвердителей. На этот процесс сильно влияет температура окружающей среды. Образование клеевого шва в случае применения растворов или дисперсий термопластичных полимеров происходит за счет испарения растворителя с открытой поверхности или всасывания растворителя в поры подложки.

Теории адгезии. Для пояснения причин склеивания твердых тел синтетическими клеями надо рассмотреть, какие процессы протекают на границе раздела склеиваемого материала и клея. В каждом конкретном случае на протекание процесса склеивания влияет множество различных факторов.

В настоящее время еще нет единой теории, объясняющей процесс склеивания. Адгезия обуславливается разными механизмами, зависящими как от состава клея и структуры склеиваемого



Рис. 1. Характерные варианты неровностей поверхности:

а — открытая коническая;
б — закрытая коническая;
в — тарелкообразная; г — заклинивание материала в неровностях склеиваемого материала; 1 — склеиваемый материал; 2 — клеевой слой; 3 — воздушные включения.

мого материала, так и от условий образования адгезионной связи; многие случаи адгезии могут быть объяснены действием двух или нескольких факторов.

Склеенная конструкция представляет собой два твердых тела, соединенных клеевым швом. При рассмотрении области контакта адгезива и материала (рис. 1) видно, как клей соприкасается с различными типами неровностей поверхности склеиваемого тела.

В случае открытой конической (а) и тарелкообразной (в) неровностей смачивание поверхности клеем лучше, чем в закрытой конической неровности (б), где клей плохо проникает

в глубокие наполненные воздухом микронеровности. Чтобы определить адгезионную прочность, необходимо преодолеть сопротивление разъединению склеиваемых поверхностей. Работа адгезии определяется различными видами взаимодействия клея с поверхностью склеиваемого материала.

Теории, объясняющие адгезионные свойства клеев, представлены ниже.

Для пористых материалов, например пенопластов с открытой структурой, тканей, бумаги, бетона и др., характерна адгезия, заключающаяся в проникновении адгезива в поры, каналы, щели и другие неровности поверхности и затвердевании его.

Удовлетворительное объяснение происходящих при этом явлений дает механическая теория адгезии. На рис. 1, а показано проникновение клея в поры и заклинивание его в материале. Возможно также внедрение в клеевую пленку ворсинок, находящихся на поверхности, и прочное их закрепление после отверждения клея. Адгезив, проникая в поры, прочно держится на внутренних стенках этих пор не только за счет приклеивания к поверхности, но и склеивания волокон тканей, бумаги, кожи между собой. Однако только механический эффект заклинивания клея не мог бы обеспечить высокой прочности клеевого соединения. Действительно, между адгезивом и склеиваемым материалом наблюдаются явления, обусловленные физическими или химическими силами взаимодействия. Это создало предпосылки для разработки молекулярной теории адгезии.

Предположим, что необходимо склеить неорганические вещества (металлы, керамику) или полярные органические вещества (пластмассу, бумагу, древесину) полярными синтетическими клеями (эпоксидными, полиуретановыми). При нанесении клея на такие материалы происходит адсорбция молекул адгезива вследствие сил притяжения поверхностных частиц (атомов или молекул). Это вызвано тем, что частицы вещества внутри тела расположены в некотором определенном порядке и окружены равномерно со всех сторон другими частицами так, что их силовые поля взаимно компенсированы. У частицы, находящейся на поверхности тела, силовое поле с внешней стороны не компенсировано, и за счет этого к его поверхности могут притягиваться молекулы из окружающей среды (в данном случае — из клея) и возникают межмолекулярные силы электрического происхождения.

У полярных веществ заряды их молекул расположены несимметрично, т. е. центры положительного и отрицательного зарядов не совпадают, а такие молекулы ориентируются относительно друг друга так, чтобы энергия их взаимодействия была минимальной. При этом происходит деформация каждой из них под действием ближе расположенного полюса соседней молекулы (на рис. 2, а условно показано уменьшение толщины диполя). Так как возникающие между ними силы связаны с ориентацией, их называют ориентационными.

В случае склеивания полярных материалов неполярными клеями или неполярных материалов полярными клеями первоначально в неполярной молекуле под действием индукционных сил возникает так называемый индуцированный диполь (рис. 2, б),

который затем взаимодействует с диполем полярной молекулы. Индукционные силы играют большую роль при склеивании металлов, которые не полярны, но легко поляризуются под действием полярного клея.

В случае склеивания двух неполярных молекул, например полиэтилена неполярным клеем, казалось бы, не должно возникнуть никаких сил притяжения. Однако в каждом атоме, из которых состоят эти вещества, происходит непрерывное вращение электронов и колебательное движение ядер. Это может привести к смещению некоторых электронных орбиталей относительно ядра и возникновению диполя. Такой диполь неизбежно будет влиять своими зарядами на ориентацию подобного временного

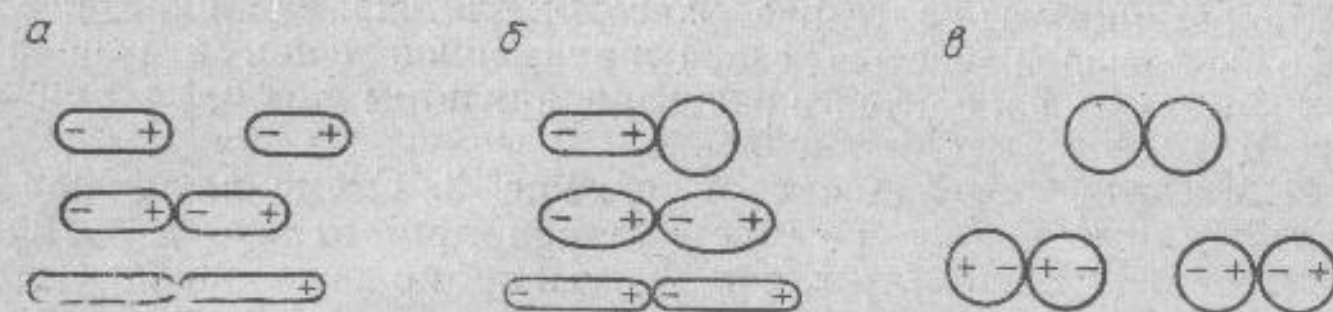


Рис. 2. Схемы взаимодействия молекул адгезива с молекулами склеиваемого тела в случае двух полярных молекул (а), полярной и неполярной молекул (б) и двух неполярных молекул (в).

диполя, возникающего в соседнем атоме или молекуле. Проявляющееся при этом межмолекулярное взаимодействие обусловлено наличием дисперсионных сил (рис. 2, в).

Особое положение среди полярных сил занимают силы адгезии, вызванные образованием водородных связей. Они возникают при сближении функциональных групп с водородным атомом (например, карбоксильных и гидроксильных групп) с отрицательно заряженными атомами — кислородом или хлором. На поверхности большей части металлов под действием кислорода и влаги воздуха образуются окисные пленки, содержащие гидроксильные группы, которые в свою очередь образуют водородные связи вследствие притяжения поляризованного атома водорода электронной оболочкой молекул с полярными функциональными группами, входящими в состав клеев:



По своей природе водородная связь является в основном электростатической.

При синтезе полимеров для клеев или при образовании высокомолекулярных соединений в процессе склеивания из мономеров или олигомеров получают макромолекулы различной длины: от сотен мономерных звеньев до нескольких десятков тысяч. Причем соотношение между высоко- и низкомолекулярными полимерами определяется условиями образования клеевого

шва, температурой, соотношением исходных мономеров и олигомеров, типом катализатора и др. Высокомолекулярные фракции полимеров обеспечивают прочность клеевого шва, а низкомолекулярные — придают ему эластичность и снижают остаточные напряжения.

При нанесении клея из раствора или расплава макромолекулы клея под действием броуновского движения приближаются своими полярными группами к противоположно заряженным группам на поверхности склеиваемого материала. Граничный слой между полимерными молекулами адгезива и поверхностью склеиваемого материала формируется в результате их адсорбционного взаимодействия.

Макромолекулы адгезива адсорбируются на поверхности только небольшой частью своей полимерной цепи, а основная часть молекулы находится в растворе, при этом ее форма зависит

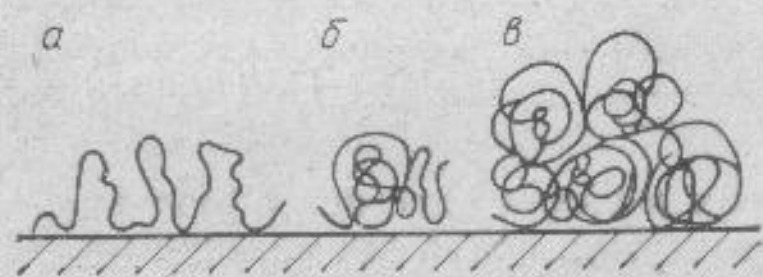


Рис. 3. Схема адсорбции на поверхности материала макромолекул полимерного клея при изменении его концентрации:
а — петли; б — клубки; в — агрегаты клубков.

от концентрации клея. В разбавленном растворе молекула развернута и адсорбируется в виде «петель» (рис. 3, а). По мере высыхания растворителя и увеличения концентрации клея из макромолекул образуются клубки, которые контактируют в некоторых местах с поверхностью (рис. 3, б). Затем между адсорбированными клубками происходит межмолекулярное взаимодействие, приводящее к образованию агрегата клубков, где только часть макромолекул непосредственно взаимодействует с поверхностью склеиваемого тела (рис. 3, в).

Повышение давления, температуры, применение растворителей облегчают образование контакта между молекулами клея и склеиваемого материала.

На стадии формирования клеевого соединения возникают разнообразные дефекты — очаги будущего разрушения. Это различные загрязнения, оставшиеся на поверхности, воздушные включения, низкомолекулярные продукты, выделившиеся в процессе склеивания и скопившиеся на границе раздела (остаток растворителя, вода, хлористый водород и др.). Улетучивание растворителя из клеевого слоя сопровождается образованием пор. Кроме того, в клеевом шве возникают трещины, образующиеся при усадке полимерного клея. Все это приводит к снижению прочности клеевого соединения.

В случае склеивания двух полимерных материалов, например пластин из органического стекла клеем ПММ, существенную роль играют диффузионные процессы на границе раздела, объясненные диффузионной теорией адгезии. Адгезия происходит за счет диффузии частей макромолекул полимера (благодаря их гибкости) через границу первоначального контакта. Поскольку клей обычно содержит растворитель, то его макромолекулы

более подвижны, чем молекулы склеиваемого материала, и адгезия обеспечивается за счет диффузии молекул клея в склеиваемый материал. Если последний может набухать в растворителе клея, то происходит также диффузия молекул склеиваемого полимера в клей. Эти процессы происходят не на границе раздела, а в объеме и рассматриваются как явление взаиморастворимости полимеров, связанное с исчезновением границы между склеиваемыми телами, с образованием постепенного перехода от одного полимера к другому. Прочность такого клеевого соединения обусловлена молекулярными силами, которые действуют между переплетенными макромолекулами. Взаиморастворимость полимеров определяется соотношением их полярности (т. е. полярные вещества хорошо склеиваются с полярными, а неполярные — с неполярными).

При склеивании сильно различающихся по полярности полимеров происходит незначительное растворение неполярного полимера в полярном с образованием неоднородной микроструктуры, так как полярный полимер содержит цепи с полярными и неполярными участками. На межфазной поверхности контакта двух мало или почти полностью несовместимых полимеров происходит диффузия только отдельных участков макромолекул. Взаимная диффузия на глубину от 0,5 до 1 мкм, соответствующая длине нескольких звеньев макромолекул, увеличивает площадь молекулярного контакта в 3—5 раз.

Прочность склеивания при диффузионном взаимодействии зависит от времени контакта: вначале она увеличивается быстро, затем медленнее, что соответствует достижению равновесия в системе. При повышении температуры увеличивается скорость диффузии клея в склеиваемый материал и ускоряется рост прочности. Диффузионная теория адгезии применима только для объяснения склеивания совместимых полимеров.

Электрическая теория адгезии. При склеивании полимеров с металлами происходит ориентированная адсорбция полярных групп полимера на поверхности металла; при этом возможен переход электронов через границу раздела и образование двойного электрического слоя. Связи между атомами металлов и полярными группами полимеров всегда частично поляризованы, т. е. в области между ними электронная плотность распределяется несимметрично. Поэтому в соединениях такого типа при их разрушении часто наблюдаются электрические разряды, а поверхности разрушения оказываются заряженными противоположными по знаку зарядами. Усилие при разрушении адгезионного соединения затрачивается на разделение обкладок созданного при склеивании молекулярного конденсатора. Увеличение сопротивления разрушению происходит до тех пор, пока не наступает электрический разряд, ограничивающий дальнейшее возрастание плотности электрических зарядов на поверхностях.

Адгезия, обусловленная химическим взаимодействием. Прочные клеевые соединения могут быть получены, если между адгезивом и склеиваемой поверхностью образуются химические связи — ионные, ковалентные (или координационные). Их прочность в 10 раз выше, чем прочность водородных связей, и в 25 раз больше, чем в случае удерживания

молекул клея на поверхности склеиваемого тела за счет адсорбционных сил.

При склеивании металлов химические связи возникают между гидратированной окисной пленкой, находящейся на поверхности, и функциональными группами полимерных клеев. Ионная связь наблюдается также при склеивании металлов клеями на основе эластомеров (образование сульфидов) или фенолоформальдегидными клеями (образование фенолятов металлов). Эта связь возникает тогда, когда реагирующие атомы в процессе образования клеевого соединения присоединяют или отдают электроны.

При склеивании изделий из эпоксидных, полиэфирных, фенолоформальдегидных и ряда других полимерных материалов могут протекать химические реакции между функциональными группами этих материалов и используемых для их склеивания синтетических клеев, при этом образуются ковалентные связи. Примером может служить взаимодействие изоцианатных групп ($-NCO$) полиуретанового клея ПУ-2 при склеивании пластмасс, содержащих функциональные группы с подвижным атомом водорода (полиамиды, полиэфиры, аминопласты и т. д.).

Как правило, в реальном клеевом соединении одновременно протекают почти все описанные выше явления, но, зная свойства склеиваемых материалов и применяемого полимерного клея, можно судить, какой вид адгезии проявляется в большей степени.

ТЕХНОЛОГИЯ СКЛЕИВАНИЯ

Технологический процесс получения клеевого соединения включает следующие стадии: приготовление клея; подготовку поверхности материалов к склеиванию; нанесение клея; формирование клеевого слоя; контроль качества клеевых соединений.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ КЛЕЯ

Прежде чем приступить к процессу склеивания, необходимо подготовить клеевую композицию. Если клей представляет собой жидкость (мономер, раствор полимера или олигомера, дисперсию полимера), то следует убедиться в его однородности и отсутствии осадка. Внешний вид жидкого клея определяют в стеклянном сосуде (пробирке, стакане), наблюдая его в проходящем свете. При этом отмечают прозрачность и наличие посторонних включений.

Во время хранения может измениться содержание функциональных групп полимеров, входящих в состав клея. Поэтому перед употреблением необходимо проверить химический состав клея. Контролю подвергают технологические свойства клеев: жизнеспособность, концентрацию, вязкость или текучесть.

Под жизнеспособностью понимают время, за которое свойства приготовленного клея изменяются настолько, что он не может быть использован в дальнейшей работе. Жизнеспособность ряда клеев при 20°C приведена в Приложении 4.

Концентрацию клея определяют путем испарения растворителей, входящих в клеевую композицию. Для

этого навеску клея 1—2 г (*c*) помещают в предварительно взвешенный сосуд. Взвешиванием определяют массу до (*a*) и после (*b*) высушивания в термостате до постоянной массы. Содержание сухого остатка *x* (в %) вычисляют по формуле:

$$x = \frac{b - c}{a - c} \cdot 100$$

Если вязкость клеевого лака велика, то его разбавляют до требуемой соответствующим растворителем. Условную вязкость жидких клеев определяют по времени истечения (в секундах) определенного объема раствора клеевой композиции через калиброванное сопло вискозиметра. Определение проводят на вискозиметрах марки ВЗ-1 или ВЗ-4.

Абсолютную вязкость определяют при помощи капиллярного вискозиметра. Он представляет собой изо-

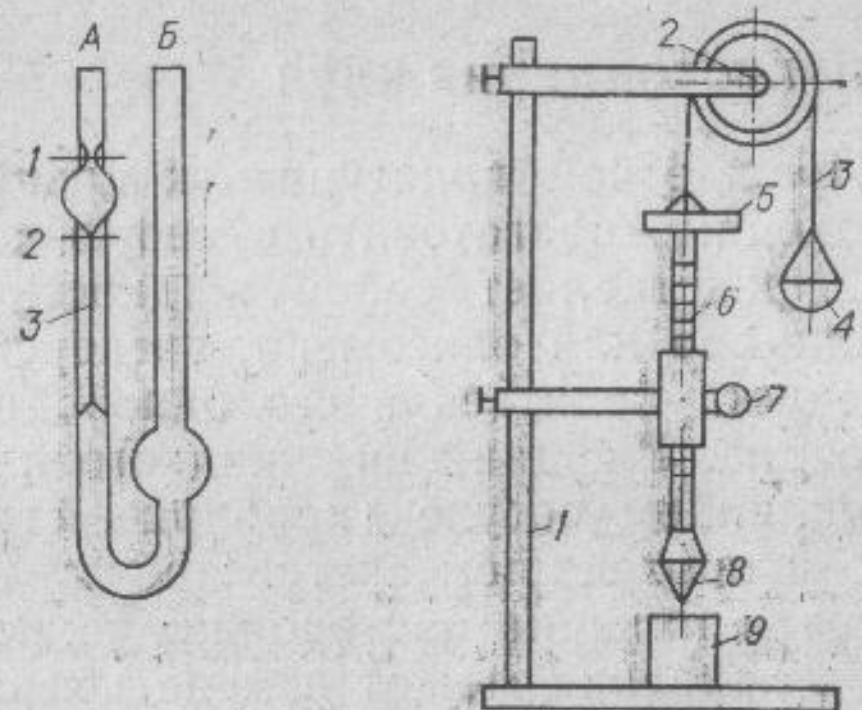


Рис. 4. Вискозиметр Оствальда:
1, 2 — метки; 3 — капилляр.

Рис. 5. Схема конуса погружения НИИЛК:

1 — штатив; 2 — блок; 3 — шнур; 4 — чашка; 5 — площадка для груза; 6 — стержень со шкалой; 7 — стопорный винт; 8 — конус; 9 — сосуд с клеем.

гнутую стеклянную трубку с двумя метками и капилляром (рис. 4). В колено *Б* наливают клей, и вискозиметр помещают в термостат. Резиновой грушей пересасывают клей в колено *А* выше метки *1*. Грушу вынимают и измеряют время истечения клея между

метками *1* и *2*. Вязкость рассчитывают по формуле:

$$\eta = k\tau\rho$$

где η — вязкость, Па·с; τ — время, с; k — постоянная вискозиметра; ρ — плотность раствора, кг/м³.

Определение вязкости густых клеев удобно проводить на шариковом вискозиметре. Он представляет собой стеклянную трубку длиной 35 см и диаметром 20 мм. На расстоянии 5 см от краев нанесены метки. Время прохождения стального шарика диаметром 7,9 мм между метками (25 см) наполненной испытуемым материалом трубки является условной вязкостью этого материала. Абсолютная вязкость определяется по формуле:

$$\eta = k\tau(\rho_{ш} - \rho_p)$$

где $\rho_{ш}$ и ρ_p — плотности шарика и раствора.

Условную вязкость густых клеев определяют также на конусе погружения НИИЛК (рис. 5). Прибор представляет собой штатив, на котором укреплен блок со шнуром. На одном конце шнура подвешен стержень с конусом, а на другом укреплена чашка с противовесом. Стержень, на котором нанесены деления, может перемещаться в направляющей втулке. Насыпая дробь в чашку *4*, уравнивают конус *8*, который острием касается поверхности клея. На площадку *5* помещают груз и одновременно включают секундомер. Через *5* с конус останавливают стопорным винтом *7*. Условная вязкость клея определяется по шкале, нанесенной на стержень *6*.

Наиболее универсальным является ротационный вискозиметр, который представляет собой электродвигатель с набором насадок. Сопротивление клея вращению насадки регистрируется измерительным прибором, отградуированным в единицах вязкости.

У клеев-расплавов достаточно проверить температуру размягчения и определить показатель текучести расплава.

Для определения показателя текучести расплава навеску клея 4—5 г помещают в рабочий канал прибора ИИРТ с установленной температурой. После выдержки 10—15 мин выдавливают клей через капилляр под действием груза. Через каждые 10 с отрезают вытекающий клей и взвешивают.

Показатель текучести расплава I (г/10 мин) определяют по формуле:

$$I = 600G/\tau$$

где G — массовый расход материала, г; τ — время истечения, с.

Большая часть терморезактивных клеев — это многокомпонентные системы. Они состоят из полимера или олигомера, отвердителя (катализатора), модификаторов и наполнителей.

Хранят компоненты клея отдельно, так как при их смешении протекают химические процессы, приводящие к отверждению клеевой основы.

Смешение проводят в ручных или механических смесителях, в зависимости от количества потребляемого клея. Небольшие порции перемешивают вручную с помощью шпателя. При приготовлении клеевой композиции необходимо точно соблюдать рецептуру, так как, например, избыток или недостаток отвердителя, катализатора или инициатора могут значительно ухудшить свойства клея или привести к его преждевременному отверждению или недоотверждению.

Смесители для получения больших количеств клеевых композиций представляют собой емкости с лопастной или пропеллерной мешалкой. Конструкция их зависит от вязкости клеевой композиции и вида применяемых наполнителей. Обычно смесители снабжены рубашкой для нагрева или охлаждения смеси.

Для непрерывного приготовления терморезактивной клеевой композиции используют червячные смесители, отвердители и ускорители в клеевую композицию вводятся специальным дозатором в конце цилиндра. Тем самым обеспечивается большее время до начала гелеобразования композиции (срок годности клея).

Срок хранения приготовленной терморезактивной композиции обычно составляет от нескольких десятков минут до 2—4 ч. После этого наблюдается быстрое увеличение вязкости и потеря текучести клеевой композиции, которая становится непригодной для склеивания. Если используется клей горячего отверждения, то срок хранения его при комнатных условиях может составлять несколько месяцев. При склеи-

вании прозрачных деталей из клеевых композиций необходимо удалить газы путем вакуумирования.

Как уже отмечалось, наиболее перспективны пленочные клеи. Для склеивания ими достаточно вырезать или вырезать ножницами кусок пленки необходимой формы, удалить предохраняющую пленку и наложить на подготовленные к склеиванию изделия.

Качество применяемых клеев обязательно контролируется соответствующими испытаниями. Клеи должны быть снабжены документацией с указанием названия продукта, массы, номера партии, времени изготовления, завода-изготовителя. Клеи и их компоненты должны храниться в закрытой таре при температуре не выше 20—25°C в пределах сроков, указанных в технических условиях. По истечении сроков хранения допускается переиспытание клеев на соответствие требованиям ТУ.

Приготовление клеевых композиций должно проводиться в специально оборудованных помещениях, оснащенных приточно-вытяжной вентиляцией, устройствами для разогрева смолы, весами, клеешалками, контрольно-измерительными приборами и соответствующей посудой для клеев.

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ К СКЛЕИВАНИЮ

Прочностные свойства клеевых соединений определяются не только высокой адгезией клея, но и состоянием поверхности склеиваемых материалов. На поверхности могут быть дефекты: трещины, микрокапилляры, загрязнения, — наличие которых приводит к неоднородной активности по отношению к клею и играет важную роль при взаимодействии склеиваемой поверхности с клеевой пленкой. Поэтому перед склеиванием необходима подготовка соединяемых элементов — обработка, приводящая к улучшению контакта между склеиваемыми поверхностями и клеевой композицией.

При детальном рассмотрении микроповерхности склеиваемых тел (рис. 6) видно, что над ней могут находиться адсорбированные слои газов, воды и молекул органических веществ. В случае металлической

подложки на ней имеется еще слой окислов и гидроксидов (солей).

Наличие такой пленки загрязнений на поверхности материала не позволяет клею взаимодействовать с активными центрами склеиваемого тела, препятствует хорошему смачиванию, которое определяет будущую прочность клеевого соединения.

Рассмотрим способы подготовки поверхности, которые могут быть подразделены на механические, хи-

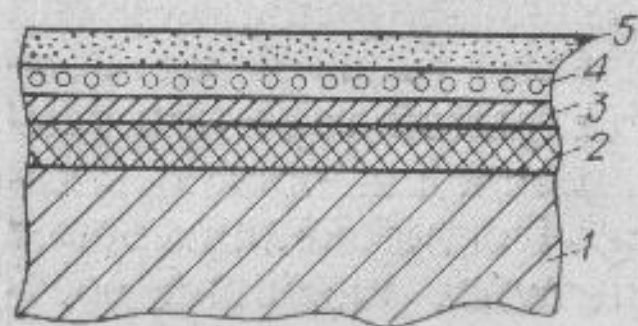


Рис. 6. Условное последовательное расположение адсорбированных слоев:

1—поверхность металла; 2—окислы, гидроксиды, соли; 3—газы; 4—вода; 5—органические вещества.

мические, физические, а также способы, сочетающие все вышеуказанные.

Механический способ подготовки поверхности является наиболее простым и распространенным. Он включает: шлифование, зачистку наждачной бумагой или стальной щеткой, пескоструйную или дробеструйную обработку. Механическая обработка требует обычно последующего удаления частиц абразива или песка, а также обезжиривания поверхности. При механическом воздействии на материал происходит образование более развитой его поверхности за счет шероховатости, но при этом нарушается структура поверхностных слоев и образуются активные центры. Когда шероховатость достигает некоторого предела, рост прочности прекращается.

Зачистка наждачной бумагой деталей из металлов и пластмасс может быть применена в случае подготовки для склеивания небольших участков. Для крупногабаритных деталей или большого числа мелких используют абразивное шлифование или применяют проволочные щетки в виде дисков, насаженных на вращающийся вал. Дисковые щетки равномерно прижимаются к обрабатываемой поверхности и позволяют проводить очистку на участках, доступ к которым затруднен.

Пескоструйная обработка заключается в том, что склеиваемый материал подвергают обдуву воздухом с сухим кварцевым песком под давлением до 5 МПа. Воздух должен быть очищен от следов масла. Иногда вместо песка используют металлические опилки, дробь или взвесь песка в воде (гидропескоструйная обработка). Такая обработка позволяет повысить прочность клеевых соединений, но для ее проведения требуются специальные помещения и оснастка. Кроме того, мелкие частицы песка могут остаться на поверхности материала, и их нужно удалять продувкой воздухом или смыванием.

Химический способ обработки поверхности дает хорошие результаты и наиболее целесообразен для подготовки больших площадей или мелких деталей перед склеиванием. Применение этого метода требует наличия на предприятии травильного отделения. При химическом воздействии на поверхности обрабатываемого материала может протекать травление металла, образование окислов или функциональных групп. Рассмотрим на ряде примеров этот способ обработки.

При травлении металлов кислотами происходит удаление окислов и вытравливание «слабых» (т. е. тех, где нарушена структура) участков на поверхности. Например, стальные детали предварительно обезжиривают и погружают на 2—10 мин в 20—30% раствор соляной кислоты (или в смесь щавелевой и соляной кислоты), затем их тщательно промывают водой и сушат. При необходимости проводят дополнительное обезжиривание органическими растворителями. Ускорить процесс травления можно нагреванием ванны до 50—80 °С.

Другими способами химической подготовки поверхности сталей являются цинкование, кадмирование или фосфатирование, которые состоят в нанесении на поверхность металла пленки нерастворимых солей ортофосфорной кислоты или пленок соответствующих металлов.

Алюминиевые сплавы обычно после предварительного обезжиривания травят серной кислотой в присутствии хромовой кислоты или ее солей. Например, деталь погружают на 10—13 мин в нагретый до

60—70 °С водный раствор, содержащий 37,6 г/л хромовой кислоты и 180 г/л серной кислоты. После травления деталь промывают и высушивают. Удалить анодную пленку анодированных алюминиевых сплавов можно в водном растворе 160 г/л хромовой кислоты и 320 г/л 85%-ной фосфорной кислоты. Процесс протекает за 3—5 мин при 90—100 °С.

Детали из меди и медных сплавов (латунь, бронза) после предварительного обезжиривания органическим растворителем или его парами погружают на 1—3 мин в 25% водный раствор персульфата аммония при комнатной температуре и промывают водой. По другому способу детали следует погрузить на 1—3 мин в водный раствор 75 г/л хлорного железа и 150 г/л концентрированной азотной кислоты. В обоих случаях после промывки и сушки необходимо сразу же произвести склеивание или загрунтовать поверхность.

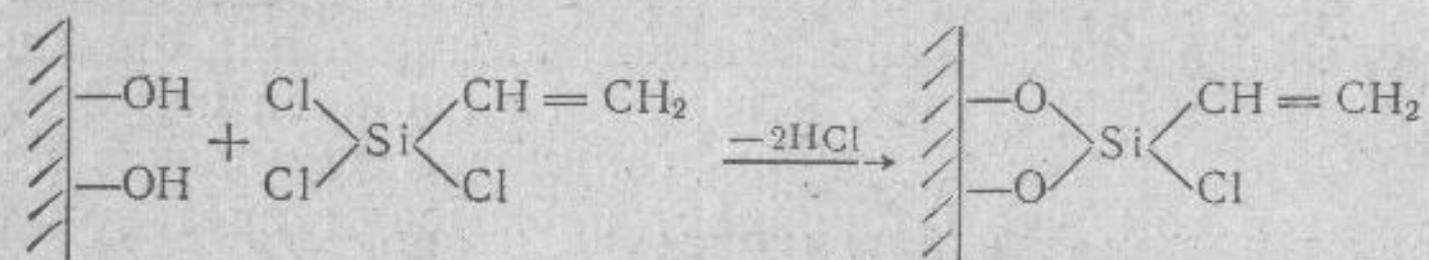
Щелочные растворы, содержащие окислитель или восстановитель, могут также использоваться для удаления окислов и органических веществ, при этом поверхность металла пассивируется, а органические загрязнения омыляются или окисляются и удаляются в процессе промывки.

При нагревании на воздухе поверхность металлов очищается от некоторых загрязнений в результате их улетучивания (десорбции), окисления или разложения. При нагревании в вакууме удаляются только адсорбированные газы, влага и молекулы органических веществ. Но металлы можно нагревать и в среде водорода, при этом поверхность очищается от окислов и солей за счет восстановления.

Нагревая металл на воздухе или в кислороде, можно получить окисную пленку, имеющую хорошую прочность сцепления с поверхностью металла и обладающую лучшей адгезией к клею, чем сам металл. Это объясняется тем, что связь металла с кислородом носит ионный характер и пленка обладает более высокой полярностью. Наличие окисла может повысить прочность клеевого шва за счет увеличения микроповерхности.

Подготовка к склеиванию поверхности стекла химическим методом заключается в обработке ее аппре-

тами. Аппреты — это вещества, имеющие функциональные группы двух типов, одни из которых могут взаимодействовать с клеем, другие — со склеиваемой поверхностью. Такими веществами могут быть органические производные кремния и хлора, например винилтрихлорсилан. Он вступает в химическое взаимодействие с гидроксильными группами, находящимися на поверхности стекла, по следующей схеме:



Под действием влаги воздуха и нагрева происходит гидролиз и дальнейшее взаимодействие гидроксильных групп.

Присутствие на поверхности склеиваемых материалов ненасыщенных (двойных) связей, гидроксильных и других полярных групп обеспечивает хорошее взаимодействие с клеем.

Адгезионную способность неполярных полимеров (полиолефинов, фторопластов и др.) повышают с помощью химической модификации их поверхности. Для этого их подвергают действию активных химических веществ и окислителей, прививке реакционноспособных групп, обработке пламенем или электрическим разрядом.

Для химической обработки полиолефинов (полиэтилен, полипропилен) применяют газообразный хлор, хлористый сульфурил (SO₂Cl₂), озон, перекись водорода, смесь азотной и соляной (3:1) кислот, хромовую смесь. Для приготовления хромовой смеси берут 50 г бихромата калия, 880 г концентрированной серной кислоты и 70 г воды. Обработку в такой смеси проводят в течение 1—10 мин при 70—100 °С, после чего изделие тщательно промывают водой. Обработка полиолефинов окислителями повышает смачиваемость их поверхности клеями за счет появления на ней гидроксильных, карбонильных и других полярных групп.

Такие же способы обработки, что и для полиолефинов, могут быть рекомендованы для полиэтилен-

терефталата (лавсана) и полистирола. Кроме того, на поверхность лавсана можно нанести специальные аппреты — эфиры ортотитановой кислоты, полиизоцианаты и др.

Наибольшую сложность представляет склеивание изделий из фторопластов, так как адгезия клеев к ним очень мала. Чаще всего используется обработка поверхности фторопластов щелочными и щелочноземельными металлами в жидком аммиаке или органических растворителях, а также в расплавах солей.

Обработка в натрийнафталиновом комплексе состоит в том, что фторопласт промывают ацетоном и погружают при 20°C на 10—600 с в раствор 46 г металлического натрия и 128 г нафталина в 1 л тетрагидрофурана. Затем изделие промывают в органическом растворителе, например ацетоне, и в воде. Деталь после обработки темнеет, так как на ее поверхности образуются двойные связи и полярные группы ($-\text{OH}$, $=\text{CO}$, $=\text{NH}$).

Хорошие результаты получаются при обработке поверхности фторопластов перед склеиванием в расплаве ацетата калия при 325°C в течение 5—10 мин. При этом также на поверхности появляются двойные связи и карбоксильные группы.

Для улучшения адгезии клея к поверхности резин на основе ненасыщенных каучуков (СКИ-3, СКД, СКБ, СКС-30, СКН-40, СКН-18, натуральный) и каучуков, содержащих большое количество пластификаторов, применяют ионную обработку. Для этого обрабатываемые поверхности резин погружают на 20—120 с в ванну, содержащую 7% водный раствор солей бромида и бромата калия (в соотношении 4:1) и 7% раствор серной кислоты. Соотношение растворов солей и кислоты 10:4. Тара для приготовления и хранения компонентов, а также ванна изготавливаются из нержавеющей стали или винилпласта. Жизнеспособность раствора 4 ч. На 1 м² обрабатываемой поверхности готовится не менее 2 л раствора. После травления в ванне необходимо обработанную поверхность резины нейтрализовать в растворе щелочи и сульфита натрия, а затем промыть водой и высушить.

Газоплазменная обработка перед склеиванием полимеров, особенно неполярных (полиолефинов), при-

водит к изменению структуры поверхностного слоя, термоокислению с образованием полярных групп (карбонильных, гидроксильных, карбоксильных) и непредельных (двойных) связей. Этот метод применяют ограниченно, так как он пожароопасен и результат обработки зависит от целого ряда факторов (температуры, расстояния до горелки и др.).

Таким образом, химическая модификация поверхности склеиваемых материалов — один из эффективных способов повышения прочности клеевых соединений. Уже рассматривалось применение аппретов для обработки стекла, возможно также применение продуктов, содержащих реакционноспособные метакриловые, винильные, аминогруппы и легко гидролизуемые ацетоксигруппы для модификации поверхности других материалов, в частности полимеров. Их наносят на склеиваемые поверхности в виде разбавленных растворов. После удаления растворителя наносят клеевой слой и склеивают. Наличие полярных групп обеспечивает надежную связь металл — подслой — клей в условиях повышенной влажности и температуры. Изменение химической структуры поверхностного слоя полимеров может быть достигнуто путем прививки к ним полярных мономеров, например эфиров метакриловой кислоты. Такую прививку можно осуществить при ультрафиолетовом, рентгеновском или радиационном облучении.

Физические способы подготовки поверхности нашли широкое применение благодаря их доступности и удобству в работе. Этими способами можно удалять со склеиваемых материалов все виды загрязнений (волокна, пыль, смазки, органические и неорганические пленки, адсорбированные газы), которые ухудшают качество клеевого шва.

Обычно для обезжиривания материалов перед склеиванием их обрабатывают органическими растворителями: углеводородами (бензин), хлорированными углеводородами (трихлорэтилен), кетонами (ацетон), спиртами (этанол) и др. При этом часть загрязнений растворяется в растворителе и удаляется с протирающим материалом, а часть перемещается по обрабатываемой поверхности. Кроме того, растворитель адсорбируется на поверхности, ухудшая адгезию,

а в случае обработки пластмасс может происходить набухание полимера. Поэтому необходимо удалять растворитель с поверхности, что и достигается сушкой. При склеивании пластмасс в большинстве случаев обработка растворителем улучшает качество клеевого шва, но он не должен вызывать миграции пластификатора из склеиваемой пластмассы и образования поверхностных напряжений и микротрещин.

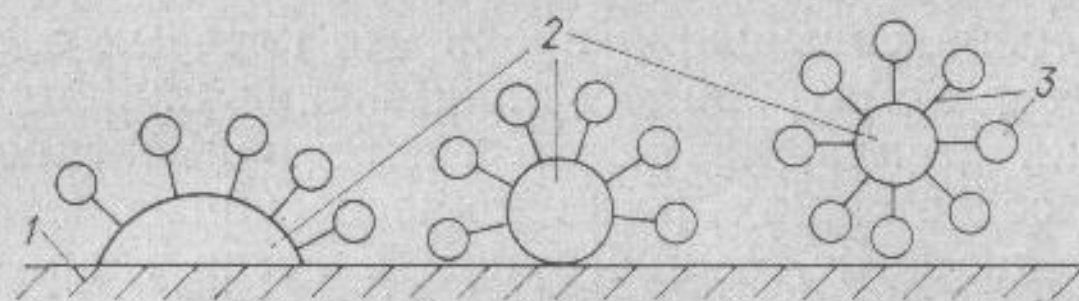


Рис. 7. Схема удаления частиц, загрязняющих поверхность материала, с помощью ПАВ:
1 — материал; 2 — частица загрязнения; 3 — молекула ПАВ (кружком условно показана полярная, гидрофильная, часть молекулы, линией — неполярная, гидрофобная, часть).

Обезжиривание растворителем может проводиться как в объеме самой жидкости, так и в ее парах. Для обработки в парах детали подвешивают в камере, в которой испаряют растворитель, обычно трихлорэтилен. Пары конденсируются на деталях, растворяют загрязнения и стекают вместе с ними на дно камеры.

К недостаткам применения растворителей следует отнести их дороговизну, токсичность, пожароопасность и неполноту удаления загрязнений.

Наиболее перспективной является обработка поверхности материалов перед склеиванием с помощью водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) и солей щелочных металлов. Под действием ПАВ происходит отрыв частиц загрязнений от поверхности и их удаление при смывании (рис. 7). Жировые загрязнения при этом удаляются посредством эмульгирования и омыления. Образующиеся продукты лучше растворимы в воде и особенно в присутствии ПАВ.

Хорошие результаты по удалению минерального масла дают водный раствор 80 г/л моющего технического средства ТМС-31 (ТУ 38-40740—74) и раствор состава: фосфорнокислый натрий — 15 г/л, кремне-

кислый натрий — 35 г/л, препарат ОП-7 — 3 г/л. Обезжиривание проводят при температуре водного раствора 70—80°C в течение 2—3 мин, затем детали промывают в горячей воде и сушат.

Наибольшее распространение получили водные растворы синтетических моющих средств на основе препаратов МЛ, МС и лабомида. Они обладают высокой обезжиривающей и смачивающей способностью, оказывают защитное действие, являясь ингибиторами коррозии. Кроме того, они универсальны, т. е. пригодны для очистки деталей из любых материалов, безопасны в работе и позволяют повысить уровень механизации и автоматизации очистных работ. С помощью ПАВ и щелочных солей можно смывать со склеиваемого тела как нерастворимые (твердые или жировые), так и растворимые в воде загрязнения. Эти моющие вещества нетоксичны и широко выпускаются промышленностью.

Ускорить процесс обезжиривания поверхности можно применением ультразвуковой обработки. Ультразвуковое поле вызывает в объеме обезжиривающей жидкости гидродинамические потоки, сопровождающиеся появлением кавитационных пузырьков и электрических зарядов. Это движение сбивает загрязнения с поверхности и переводит их во взвешенное состояние. Продолжительность обезжиривания при использовании ультразвука в органических растворителях снижается в 40 раз, а в растворах ПАВ — в 100 раз по сравнению с обычной обработкой. Кроме того, этим способом легко очищать детали сложной формы, большое число мелких деталей с тонким жировым покровом или изделия с крупными частицами загрязнений. В каждом случае необходимо подбирать режим обработки изделий: для мелких — ультразвук высокой частоты (100—300 кГц), для крупных — низкой частоты (15—30 кГц). При ультразвуковой обработке поверхность активизируется и повышается ее шероховатость.

В последнее время для активации поверхности склеиваемых полимеров используют обработку их в электрическом поле. Этот способ применяют для пленок из полиолефинов, фторопласта, полиимидов, лавсана и т. д. Пленку пропускают в зазор между двумя

электродами, на которые подают высокое напряжение (рис. 8).

Повышение адгезии полимеров обусловлено ионным травлением поверхности и удалением загрязнений струей газа. Эффективность обработки пленок коронным разрядом зависит от атмосферы, в которой она происходит, и срока хранения после обработки. На поверхности пленок, обработанных на воздухе, происходит деструкция макромолекул полимеров с образованием свободных перекисных радикалов, спо-

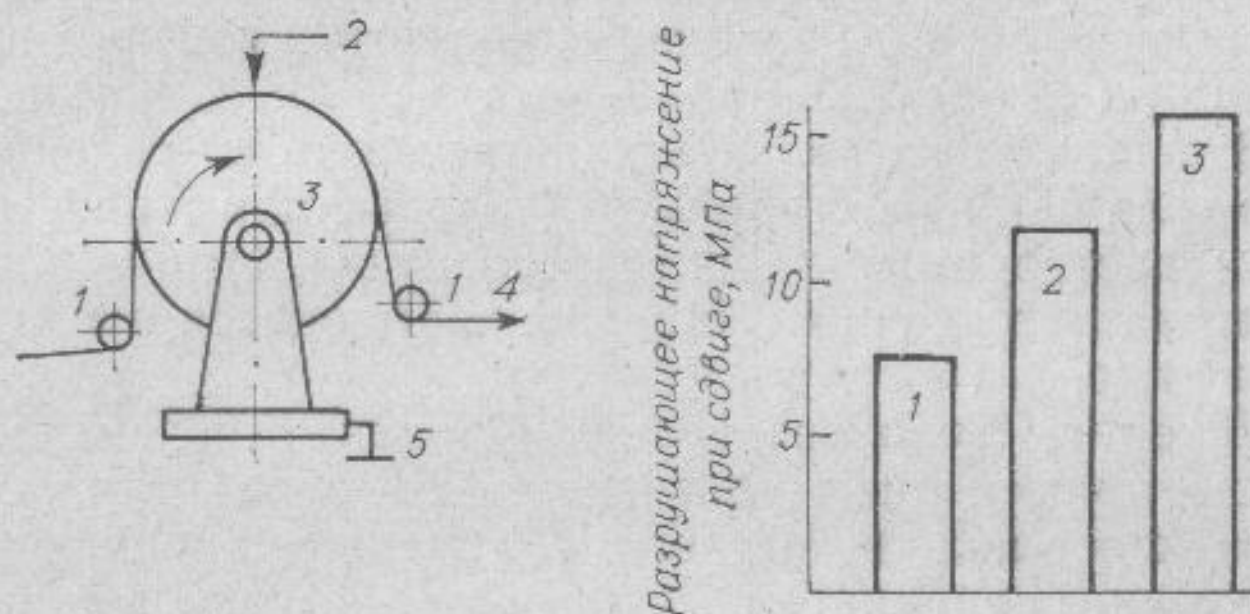


Рис. 8. Схема устройства для активации полимерных пленок перед склеиванием:

1—натяжные валки; 2—анод; 3—барабан; 4—пленка; 5—катод.

Рис. 9. Диаграмма изменения прочности при сдвиге образцов из алюминиевого сплава, склеенных эпоксиполиамидным клеем, в зависимости от способа подготовки поверхности:

1—обезжиривание в парах растворителя; 2—пескоструйная обработка; 3—травление.

собных к образованию химических связей с клеем. Однако радикалы неустойчивы, и пленки теряют свои клеящие свойства через некоторое время. Так, активность лавсановой пленки снижается более чем на 50% в течение 7 сут после обработки.

При обработке полимерных пленок тлеющим и коронным разрядом в среде инертных газов с их поверхности удаляются низкомолекулярные вещества, например водород. В результате этого образуются ненасыщенные (двойные) связи и поперечные сшивки между макромолекулами полимерной пленки, которые улучшают их адгезионную способность.

Достоинством этого способа является то, что он не требует сложного оборудования и позволяет значительно повышать адгезию неполярных полимеров.

Влияние способа обработки алюминиевого сплава на прочность склеивания эпоксидным клеем видно из приведенных ниже данных:

	Разрушающее напряжение при сдвиге, МПа (кгс/см ²)
Химическое оксидирование в растворе серной кислоты и хромпика	10,4 (104)
Оксидирование и шерохование проволочной щеткой	11,5 (115)
Оксидирование и зашкуривание наждачной бумагой	9,7 (97)
Травление в растворе ортофосфорной кислоты и хромпика	10,2 (102)
Травление и зашкуривание наждачной бумагой	10,3 (103)
Травление и шерохование проволочной щеткой	11,5 (115)
Обезжиривание ацетоном и шерохование проволочной щеткой	10,7 (107)
Обезжиривание ацетоном	2,8 (28)

На рис. 9 также показано, как способ обработки склеиваемой поверхности влияет на прочность соединения одной и той же пары клеев — склеиваемое вещество.

Установлено, что химический способ подготовки алюминиевых образцов обеспечивает более высокую прочность и долговечность клеевых соединений. Только пескоструйная обработка обычно дает соединения с низкой стойкостью к комбинированному действию повышенных температур и влажности. Если защитить подготовленную поверхность склеиваемых деталей от загрязнения, например обернуть плотной бумагой, то склеивание можно проводить и через месяц после обработки. Прочность при склеивании свежеподготовленных поверхностей обычно несколько выше, чем после длительного хранения обработанных материалов.

Для предохранения подготовленных к склеиванию поверхностей при последующей обработке или хранении деталей, а также улучшения смачиваемости их

клеем применяют адгезионные грунты (праймеры). Их использование требует дополнительных технологических операций, оборудования, производственных помещений, но в ряде случаев они незаменимы, так как увеличивают долговечность клеевых соединений, ингибируют коррозию склеиваемых материалов, а также расширяют технологические возможности производства. Установлено, что относительная долговечность клеевых соединений с адгезионным грунтом, в среднем, вдвое превышает долговечность таких же соединений без грунта, особенно в условиях высокой влажности. Обычно адгезионные грунты представляют собой разбавленные растворы смол соответствующих клеев.

Если нужно защитить часть детали от клея, то на ее поверхность наносят антиадгезионный слой. Это могут быть кремнийорганические жидкости или смазки, растворы силиконовых каучуков или суспензия низкомолекулярного фторопласта в хладоне (фреоне). Некоторые из них выпускаются в аэрозольной упаковке, что облегчает способ нанесения слоя. Для создания защитного промежуточного слоя на детали часть ее, подвергаемую склеиванию, закрывают бумагой или пленкой, а на незащищенную часть наносят тонкий слой антиадгезива из аэрозольного баллончика.

Иногда для защиты поверхности перед склеиванием в процессе изготовления деталей на них наносят защитный удаляемый слой, называемый «жертвенным». Это может быть стеклоткань или нейлоновая ткань, пропитанная связующим. После удаления защитного слоя не требуется обезжиривания и повторной обработки склеиваемой поверхности.

Контроль подготовки поверхности материалов к склеиванию. После удаления загрязнений проверяют чистоту поверхности, подготовленной к склеиванию. Контроль проводят визуально или с помощью различных методов. Наиболее простой из них заключается в том, что на твердую поверхность наносят каплю воды; если она растекается, то имеет место смачивание (рис. 10), что говорит о хорошей подготовке склеиваемой поверхности.

Если угол смачивания, образуемый жидкостью с поверхностью твердого тела, из-за молекулярного взаимодействия меньше 90° , то на поверхности практически нет жировых загрязнений. Молекулы клея должны также интенсивно взаимодействовать со склеиваемым материалом на границе раздела фаз и растекаться по склеиваемой поверхности. Если угол $\varphi > 90$, то вода, а следовательно, и клей не смачи-

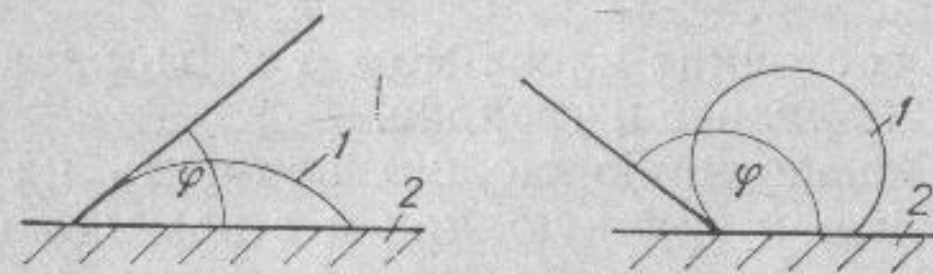


Рис. 10. Капля жидкости (1) на поверхности твердого тела (2).

вают поверхность. Для примера рассмотрим влияние угла смачивания на прочность клеевых соединений полиэтилена и фторопласта:

	Угол смачивания, градусы	Разрушающее напряжение при сдвиге, МПа (кгс/см ²)
Полиэтилен		
необработанный	99	0,1 (1)
обработанный хромовой смесью	29	9 (90)
Фторопласт		
необработанный	108	0,01 (0,1)
обработанный в натрийнафталиновом комплексе	62	11,7 (117)

Растекание воды может наблюдаться и при наличии на поверхности гидрофильных веществ, солей, окислов. При изучении явлений растекания необходимо учитывать возможность впитывания жидкой фазы за счет шероховатости любой твердой поверхности.

Подготовку поверхности к склеиванию необходимо также контролировать испытаниями клеевого соединения. Условия испытаний должны отражать влияние предполагаемых условий эксплуатации.

НАНЕСЕНИЕ КЛЕЯ

Все работы по склеиванию необходимо проводить в чистом, сухом и светлом помещении при температуре воздуха 15—25 °С и относительной влажности не выше 75%. При более высокой температуре снижается жизнеспособность термореактивных клеев, а при более низкой — скорость отверждения некоторых клеев.

Исходное состояние клеев может быть различным: жидкое, пастообразное и твердое.

Клеевую композицию можно наносить на склеиваемые детали как вручную, так и с помощью специальных приспособлений. Количество наносимой массы обычно составляет от 100 до 300 г/м² и зависит от вида клея и состояния склеиваемой поверхности. Равномерная толщина нанесения клеевой композиции — первооснова успешного склеивания.

Если клей имеет жидкую консистенцию, его можно наносить кисточкой, валиком, распылителем или окунанием изделия в его раствор. Для создания нужной толщины клеевой пленки его наносят в несколько слоев, предварительно подсушивая каждый предыдущий слой. Нанесение клея на пленочные, листовые и

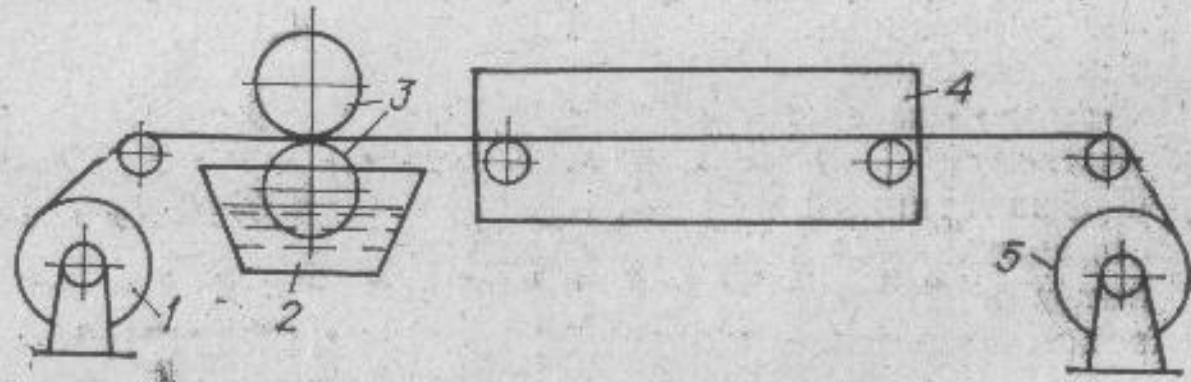


Рис. 11. Схема лакировальной машины:

1—рулон пленки; 2—ванна с клеем; 3—валки; 4—сушильная камера; 5—приемное устройство.

волокнистые материалы осуществляется с помощью лакировальных и пропиточных машин. В лакировальной машине (рис. 11) рулон пленки (бумаги, ткани) пропускают между валками, один из которых погружен в раствор клея. Затем пленка, бумага или ткань проходит через сушильную камеру, где из нее удаляется растворитель, и сматывается в рулон или идет

сразу на припрессовку с бумагой или с другой пленкой.

Этот способ нанесения клеевой композиции используют в полиграфической промышленности для припрессовки полимерных пленок со слоем прозрачного клея к красочным оттискам на бумаге, что позволяет улучшить внешний вид и износостойкость обложек книг и открыток.

Нанесением ворса в электрическом поле на ткань с клеем производят искусственный мех и синтетические ковры.

Приклеивание полимерных пленок к металлической фольге или к другим пленкам позволило соз-

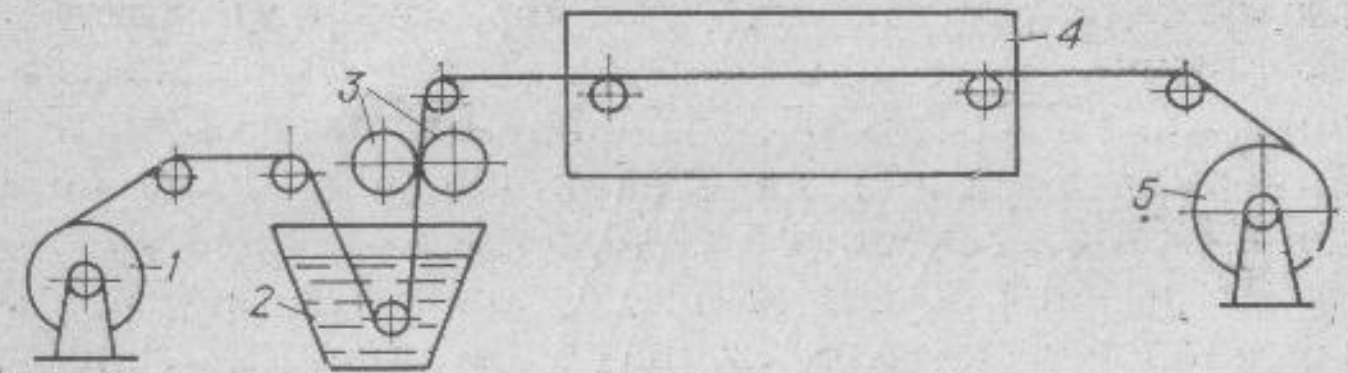


Рис. 12. Схема пропиточной машины:

1—рулон пленки; 2—ванна с клеем; 3—отжимные валки; 4—сушильная камера; 5—приемное устройство.

дать новые упаковочные материалы для пищевых продуктов, например молочных, а также для технических целей.

В пропиточной машине (рис. 12) волокно, пленка, бумага или ткань пропускаются через ванну с клеем, высушиваются от растворителя. Пропитанный клеем материал разрезается или наматывается в рулон. С помощью отжимных валков регулируется толщина наносимого клеевого слоя. Таким способом изготавливают гетинакс, текстолит, стеклотекстолит, фольгированные изделия, декоративные слоистые пластики. Для этого нарезанные листы с клеем набирают в пакет и запрессовывают в многоэтажных прессах при повышенной температуре. Клей отверждается и соединяет отдельные листы в прочный пластик. Изделия из слоистого пластика применяют в машиностроении, электротехнике и радиоэлектронике, а также для декоративной отделки.

Вязкий пастообразный клей лучше всего наносить шпателем. При этом клеевая композиция вдавливаются в поры и заполняет неровности поверхности склеиваемого материала. Можно наносить пастообразный клей также и с помощью шприца.

Клей-расплавы можно намазывать на предварительно нагретые выше температуры плавления клея материалы, подготовленные для склеивания. Для термопластичных клеев-расплавов рекомендуется использовать приспособление в виде пистолета. Он представляет собой металлическую трубку с соплом, на

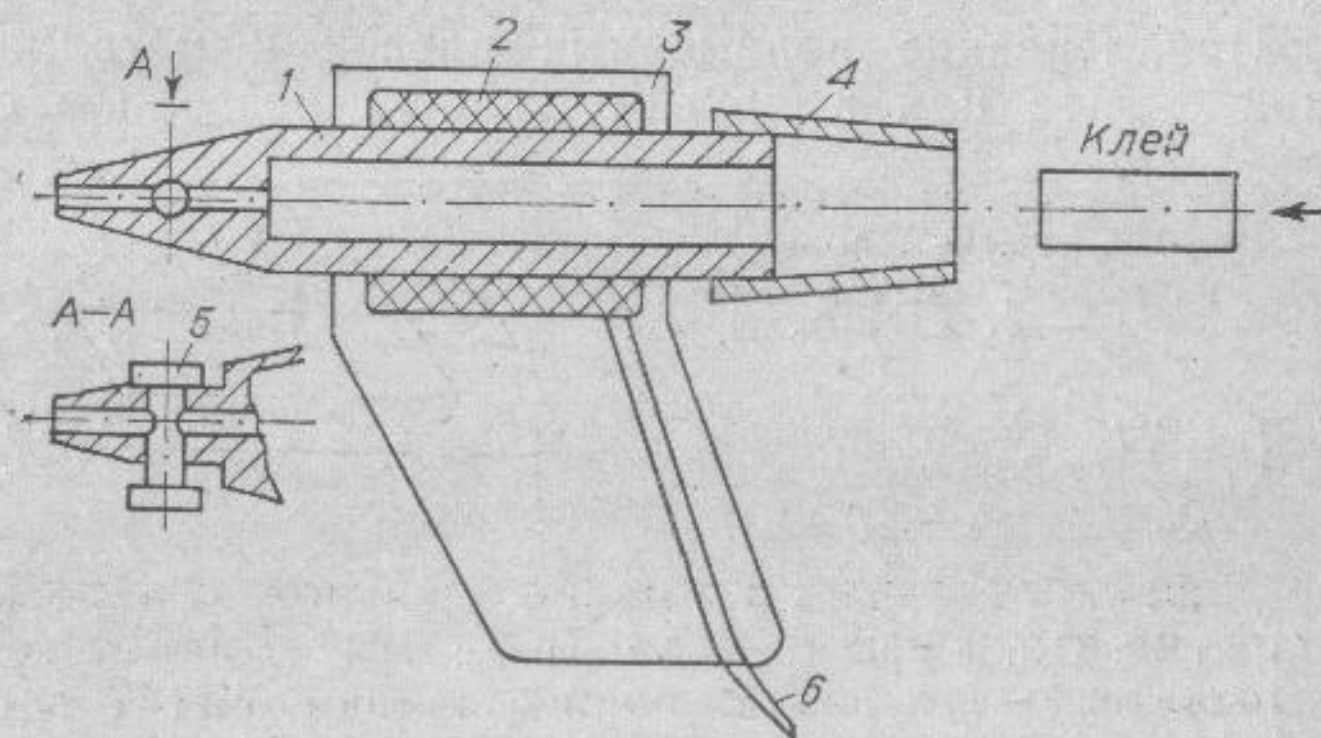


Рис. 13. Схема ручного устройства (пистолета) для нанесения клеев-расплавов:

1—металлическая трубка с соплом; 2—нагревательный элемент; 3—ручка; 4—фторопластовая трубка; 5—кран; 6—провод к понижающему трансформатору.

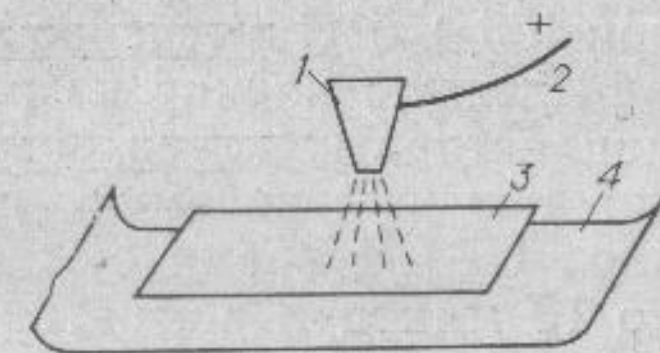
которой крепятся обогреватель и рукоятка (рис. 13). Такой пистолет прост в устройстве и обращении, удобен для любых клеев, так как температура в обогревателе легко регулируется с помощью понижающего автотрансформатора (ЛАТР). Клей-расплав для пистолета готовят в виде цилиндров длиной до 50 мм и диаметром, соответствующим внутреннему размеру трубки пистолета. Пистолет перед нанесением клея разогревают, вводят в трубку несколько цилиндров клея так, чтобы он выступал из нее, сдвигают кран в положение «открыто» и большим пальцем выдавливают через сопло требуемое количество расплавленного клея. Имеются конструкции, где клей в

расплавленном состоянии поступает по шлангу в пистолет и выдавливается на склеиваемую поверхность сжатым воздухом.

Пленочный клей, обладающий липкостью, прикатывают к поверхности склеиваемого материала холодным или разогретым валиком. В случае нелипкой клеевой пленки для ее фиксирования могут быть использованы липкие грунты. При использовании нескольких кусков клеящей пленки надо следить, чтобы их края лежали плотно встык или накладывались друг на друга.

Рис. 14. Схема нанесения клея в электростатическом поле:

1—распылитель; 2—кабель высокого напряжения; 3—деталь; 4—пылеуловитель.



Порошкообразные и жидкие клеи можно наносить в электростатическом поле (рис. 14). Для этого к распылителю (пульверизатору) подают высокое напряжение, а деталь заземляют. Заряженные частицы клея равномерно распределяются по поверхности, а излишек собирается пылеуловителем. Расход клея регулируется скоростью движения детали.

ФОРМИРОВАНИЕ КЛЕЕВОГО СЛОЯ

Время до соединения склеиваемых поверхностей зависит от типа клея. Для жидких клеевых композиций делают открытую выдержку клеевого слоя. Испарение растворителя и всасывание его в поры подложки может протекать как при комнатной, так и при повышенной температуре. Время сушки клеевого слоя обычно составляет от 15 до 60 мин, после чего детали соединяют друг с другом и обеспечивают усилие прижима. Если клей наносят в несколько слоев, то проводят сушку со ступенчатым подъемом температуры для каждого последующего слоя. Например, для клея БФ первый слой наносят на обе склеиваемые поверхности и выдерживают на

воздухе не менее 15—20 мин, а затем в термостате при 55—60 °С в течение 15 мин. Извлеченные из термостата детали охлаждают до комнатной температуры. Затем наносят второй слой клея и выдерживают на воздухе 15—20 мин и в термостате при температуре 55—60 °С в течение 15 мин. Детали извлекают из термостата и снова охлаждают до комнатной температуры. Затем совмещают склеиваемые поверхности друг с другом и плотно прижимают с помощью струбцины, обеспечив удельное давление до 1 МПа (10 кгс/см²). Находящиеся под давлением детали помещают в термостат и проводят отверждение при 155 ± 5 °С в течение 2 ч.

Клеевую пленку из растворов или дисперсий термопластичных клеев обычно наносят в один слой на каждую склеиваемую поверхность. Например, для клея ПВАД время сушки слоя клея составляет от 2 до 10 мин при комнатной температуре. Затем склеиваемые детали прижимают друг к другу под давлением до 0,3 МПа (3 кгс/см²) и выдерживают при 25 ± 10 °С от 1 до 1,5 сут. В случае прессования давление может быть увеличено до 5 МПа (50 кгс/см²).

Склеивание поролона с деревом клеем ПВАД можно проводить без давления.

Клеевой шов из клея-расплава формируется несколькими способами. Во-первых, расплавленный клей можно нанести на холодные склеиваемые поверхности и тут же прижать их друг к другу. Эффективнее наносить клей на подогретые поверхности, чтобы он лучше растекался и проникал в поры под давлением. При этом клеевой слой образуется при остывании склеенного изделия до температуры ниже температуры плавления клея-расплава. Во-вторых, расплавленный клей можно нанести на поверхность и охладить до комнатной температуры. Подготовленные таким образом детали привести в соприкосновение под давлением и нагреть их до температуры, превышающей температуру плавления клея на 10—20 °С, а затем охладить.

Давление при склеивании необходимо создавать как для лучшего проникновения клея в поры тела, так и для фиксации соединения. Для этого применяют грузы, резьбовые соединения, пружинные приспособ-

ления, прессы и вакуум. Давление при склеивании находится в пределах от 0,01 до 1,0 МПа (0,1—10 кгс/см²) и подбирается в каждом конкретном случае склеивания, так как избыток или недостаток его ухудшают прочность клеевого шва.

За исключением клеев холодного отверждения, для всех остальных терморезактивных клеев требуется нагревание. Отверждение при повышенных температурах проводят в термостатах, печах, между обогреваемыми плитами прессы, путем облучения.

Влияние температуры и давления на прочность клеевых соединений носит сложный характер. Повышение температуры при склеивании вызывает снижение вязкости расплава, возрастание текучести и диффузии молекул к поверхности, что благоприятствует достижению более высокой адгезии. С повышением температуры увеличивается скорость реакции в клеевой композиции и между клеем и склеиваемой поверхностью и снижается продолжительность формирования клеевых соединений. При более высоких температурах прочность снижается в результате деградации полимеров или если время гелеобразования терморезактивной композиции становится недостаточным для полного смачивания поверхности.

Увеличение давления сопровождается увеличением числа контактов между молекулами склеиваемого вещества и склеиваемой поверхности, при этом неровности поверхности заполняются клеем. При недостаточном давлении образуется пористое и непрочное соединение неравномерной толщины из-за образования пузырей при выделении остатков растворителей, низкомолекулярных продуктов реакций отверждения, воздуха. С другой стороны, под большим давлением вытекает клей и может образоваться тонкий клеевой шов («голодная» склейка).

Установлено, что в большинстве случаев с уменьшением толщины клеевой пленки повышается прочность клеевого соединения. Это объясняется тем, что в тонком слое клея меньше внутренних напряжений. Так, для мочевиноформальдегидных клеев, при отверждении которых возникают большие внутренние напряжения, рекомендуется тонкий клеевой шов (~0,1 мм). Прочность же соединений на эпоксидных

клеях почти не зависит от толщины слоя, она равна $\sim 0,2$ мм.

Возникновение остаточных напряжений в клеевых соединениях обусловлено несколькими факторами. В пленке клея, сформированной из раствора, на поверхности склеиваемого материала напряжения возникают потому, что при улетучивании растворителя пленка сокращается только по толщине и сохраняет свою первоначальную длину. После того как пленка теряет текучесть, начинается рост напряжений, стремящихся осуществить сокращение пленки по длине. Поэтому необходимо выбирать растворитель с достаточно большим временем испарения и установить оптимальный режим открытой сушки, чтобы уменьшить усадку клеевой пленки.

Кроме улетучивания растворителя протекают и другие процессы, связанные с уменьшением объема пленки: химическая усадка, сопутствующая образованию химических связей. При этом изменяются межмолекулярные расстояния, перегруппировка молекул происходит неравномерно, постепенно замедляясь в ходе процесса отверждения. Наименьшие внутренние напряжения возникают при склеивании эпоксидными смолами, так как они отверждаются с небольшим изменением объема и без выделения летучих продуктов. Вторая причина — это напряжения, вызванные различием термических коэффициентов линейного расширения (КЛР) адгезива и склеиваемого материала. Полимеры имеют КЛР в 6—10 раз больше, чем дерево, стекло, металлы. Напряжения возникают в тех случаях, когда отверждение клея проводят при повышенной температуре, а затем температура понижается. Эти напряжения могут быть уменьшены при постепенном остывании склеенного изделия. У комбинированных из разных материалов конструкций это может быть причиной деформации и даже разрушения.

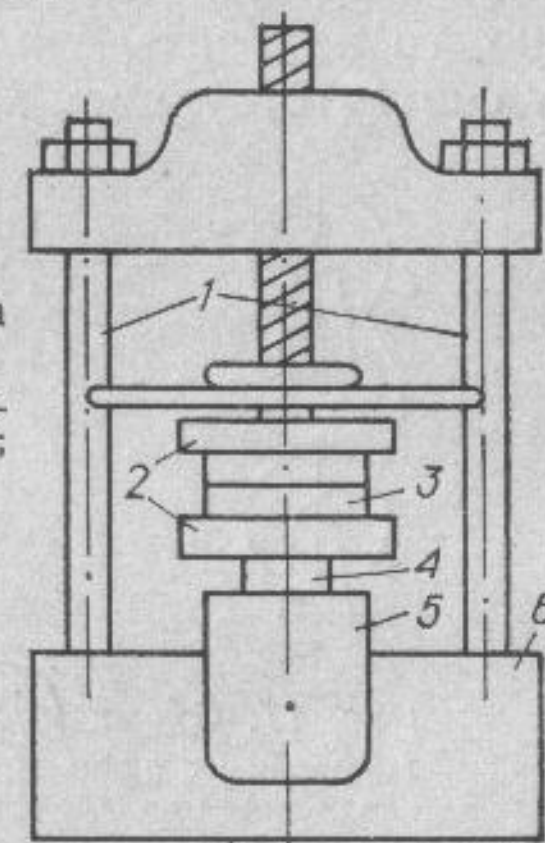
Эффективным способом снижения остаточных напряжений является применение пластификаторов и модификаторов. Пластификаторы, являющиеся низкомолекулярными и жидкими веществами, повышают подвижность молекулярных цепей полимера. Пластификаторы снижают температуру размягчения поли-

мера, его вязкость и повышают эластичность. Повышение адгезии полимерных адгезивов достигается благодаря лучшему контакту склеиваемых поверхностей и проникновению клея в поры из-за повышения подвижности макромолекул или благодаря большей полярности адгезива при введении в него пластификатора с полярными группами. При склеивании пластмасс, содержащих пластификатор, необходимо выбирать клеи, не смешивающиеся с этим пластификатором, иначе через некоторое время миграция пластификатора в клеевую пленку ухудшит прочность клеевого соединения.

В качестве модификаторов клеевых композиций для снижения остаточных напряжений могут быть рекомендованы различные типы каучуков. Так при введении 10—15% акрилатного каучука с молекулярной массой 3000 в эпоксидную композицию повышается сопротивление сдвигу в 1,5 раза за счет снижения

Рис. 15. Схема гидравлического пресса марки ПСУ-10:

1—колонны; 2—обогреваемые плиты; 3—склеиваемая деталь; 4—плунжер; 5—цилиндр; 6—станина.



остаточных напряжений и повышения эластичности клеевого шва.

Наиболее удобным оборудованием для склеивания терморезактивными клеями являются прессы (рис. 15). В них можно с большой точностью задаваться необходимым давлением, а обогреваемыми горячей водой, паром или электричеством плитами поддерживать требуемую температуру. Контроль давления

осуществляется манометрами, а температуры — термометрами или термометрами.

Операция склеивания состоит в том, что детали с нанесенным клеевым слоем помещают между плитами пресса, затем плиты смыкают под давлением и включают обогрев. После необходимой по технологии выдержки под давлением выключают обогрев и, охла-

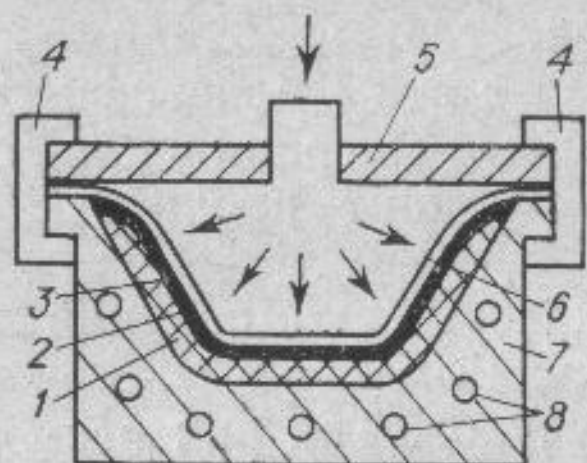


Рис. 16. Схема футеровки металлической ванны винипластовым листом: 1—ванна; 2—винипласт; 3—клей; 4—струбцина; 5—верхняя плита; 6—резиновый чехол; 7—форма; 8—каналы для горячей (холодной) воды.

див под давлением, размыкают плиты и вынимают готовое изделие. Если деталь имеет сложную конструкцию, то на плиты укрепляют специальную пресс-форму соответствующей конфигурации.

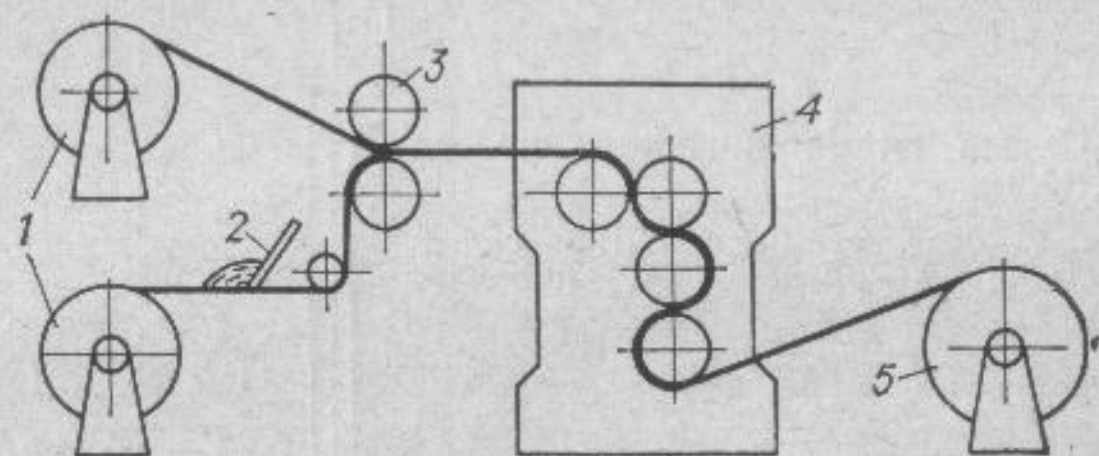


Рис. 17. Схема дублирования пленок: 1—рулоны с пленкой; 2—устройство для нанесения клея; 3—тянущие валки; 4—каландр; 5—приемное устройство.

Широко применяют для склеивания автоклавы. Они представляют собой камеры, в которых давление от 0,1 до 1,4 МПа (1—14 кгс/см²) создается паром или воздухом, а нагрев — электричеством или паром.

Если при склеивании не требуется высоких давлений и температур, то деталь можно поместить в резиновый мешок и откачать из него воздух. Вакуумный

метод в сочетании с автоклавом позволяет упростить технологию склеивания.

В случае приклеивания полимерных пленок или металлической фольги к внутренней поверхности труб или других деталей несложной формы применяют резиновый чехол с избыточным давлением воздуха (рис. 16).

Для склеивания рулонных пленочных материалов между собой применяют обогреваемые валки: например, полимерную пленку с нанесенным на нее слоем клея и бумагу пропускают через каландр с обогреваемыми паром валками (рис. 17). Усилие прижатия валков может достигать 25 кН (2500 кг), а температура — 150 °С.

Полученный материал наматывают в рулон, а затем разрезают на листы требуемого формата.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И РЕМОНТ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В готовом изделии бывает подчас трудно определить качество клеевого соединения. Для получения склеенных деталей хорошего качества необходимо строго соблюдать технологические инструкции на всех этапах изготовления клеевых соединений.

Химическая лаборатория предприятия должна контролировать качество поступающего клея, а в случае приготовления клея на месте — еще и свойства исходных компонентов. Известны случаи некачественного склеивания из-за того, что в растворителе для клея содержались примеси масел.

Необходим контроль также и по операциям в процессе склеивания: контролируют состояние склеиваемых поверхностей, качество обезжиривающих или травящих растворов, толщину клеевого слоя, температуру, давление и время выдержки для формирования клеевой пленки.

Главная роль в изготовлении качественных клеевых соединений принадлежит рабочим. Рабочий должен сознательно выполнять порученные ему операции, понимать процессы, происходящие при

операциях склеивания, знать свойства применяемых клеев. Отношение лаборантов, рабочих и контролеров к своим обязанностям, их квалификация — определяют надежность и качество клеевых соединений.

Некачественное склеивание может быть вызвано следующими причинами:

Дефекты	Причины
Не образовалась равномерная пленка клея, обе поверхности гладкие	Недостаточная вязкость клея; недостаточная скорость отверждения клея; недостаточный нанос клея; малое время открытой выдержки; завышенное давление
Пористая склейка	Плохое распределение порошкообразного клея; недостаточное перемешивание клея; большая концентрация порошкообразных наполнителей в низковязком клее; высокая влажность склеиваемых поверхностей; применение нерастворимого отвердителя
Видны волокна мягкого или частично отвержденного клея	Недостаточная предварительная сушка клея; в случае непористых поверхностей — из соединений не удален растворитель; высокая влажность склеиваемых поверхностей; низкая температура отверждения; недостаточное количество отвердителя или вулканизирующего агента в клее
Клей мягкий, липкий	Выбрано неправильное соотношение компонентов клея — может иметь место химическое взаимодействие отвердителя с наполнителем или склеиваемым веществом; низкая температура или недостаточное время отверждения; не полностью удален растворитель
Клей находится на одной из склеиваемых поверхностей, другая — без следов клея	Преждевременное отверждение клея до контакта с другой поверхностью; клей не имеет адгезии к склеиваемому материалу из-за недостаточной подготовки поверхности
На поверхности видны островки клея	Недостаточное или поздно примененное давление; неравномерное нанесение клея; большая неровность поверхности
Клей вспенивается	При приготовлении в клей попали примеси, влага, некачественное сырье; недостаточно подсушен клей или удален воздух из клеевой композиции; клей реагирует со склеиваемым веществом; перегрев клея; плохо подогнаны склеиваемые поверхности; недостаточное давление

Прочие дефекты

Склеенные материалы имеют различные коэффициенты линейного расширения; температура склеивания превышает теплостойкость склеиваемых материалов; разрушение склеиваемых материалов растворителем, содержащимся в клее; возникновение больших внутренних напряжений в клее из-за неправильных условий формирования клеевого шва (быстрое охлаждение, наличие растворителей и пластификаторов, шероховатость поверхности)

Если дефекты выявлены, то склеенные детали необходимо заменить. Для этого при непроклеях термопластичными клеями снова нагревают склеиваемые поверхности до температуры выше температуры плавления полимерной основы клея и обеспечивают давление, при котором произойдет заполнение непроклеенных участков. Если при этом пустоты не будут устранены, надо нагреть склеиваемые детали, разъединить их, добавить клеевой композиции и снова провести склеивание.

Терморезактивные клеи нагревают до температуры их размягчения, а после этого клеевой шов подвергают механическому разрушению. Если склеенные детали нельзя греть, то их погружают в растворитель, чтобы клей набух, а после этого разнимают. Поверхности этих деталей зачищают и вновь склеивают. Если размер дефекта небольшой, то можно с торца заполнить шов клеем с помощью шпателя или шприца и произвести его отверждение (для терморезактивных клеев). Для ремонта непроклея в многослойных панелях рекомендуется вырезать слой с непроклеенным участком, заполнить повреждение жидким или пастообразным клеем, наложить заплату и провести отверждение. При небольших повреждениях достаточно просверлить панель в нескольких местах, залить в эти отверстия клей и отвердить.

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Склеенные детали в процессе эксплуатации подвергаются различным воздействиям: механических нагрузок, температуры, влаги или агрессивных сред. Для оценки работоспособности клеенное изделие или модельные образцы испытывают в условиях предстоящей работы. Качество склеивания и работоспособность клеевых соединений могут быть определены разрушающими или неразрушающими методами контроля.

РАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ

Если подвергнуть деформации клеенную деталь (рис. 18), то разрушение может произойти по слою клея (*a*) или по склеиваемому материалу (*b*), если прочность клея выше прочности клеенного тела. В обоих случаях наблюдается разрушение, называемое когезионным, а в случае *a* разрушение определяется прочностью клеевой композиции.

Другим видом разрушения клеевых соединений является адгезионное разрушение (*в*), происходящее по границе раздела клей — склеиваемый материал. Такой вид разрушения свидетельствует либо о недостаточно хорошей подготовке поверхности склеиваемого материала, либо о малой адгезионной способности клея. На практике наиболее часто встречается смешанное адгезионно-когезионное разрушение (*г*), обычно выражаемое в процентах, например на 30% адгезионное и на 70% когезионное.

На вид разрушения влияет скорость приложения нагрузки. Так, при низких скоростях происходит когезионное разрушение по объему полимера, с увели-

чением скорости наблюдается смешанное, а при больших скоростях — адгезионное. Такое поведение клеев зависит от времени релаксации напряжений, определяемого природой полимерных молекул. При медленном нагружении нагрузка перераспределяется равномерно по всему клеевому слою, а при быстром — трещина распространяется по линии раздела фаз под

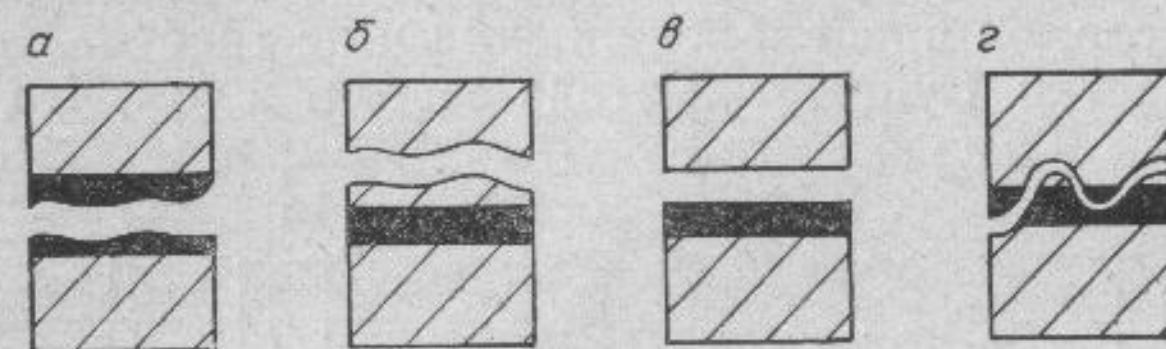


Рис. 18. Виды разрушения клеевого соединения:
a — когезионное по клею; *б* — когезионное по материалу;
в — адгезионное; *г* — смешанное.

действием напряжений, достигающих предела текучести клея.

На шероховатых поверхностях рост микротрещин затруднен, так как они появляются на разных расстояниях от склеиваемого материала и для возникновения критической трещины необходимы большие нагрузки, чем в случае гладкой поверхности.

Вид разрушения зависит также от содержания наполнителя в клеевой композиции (рис. 19).

Разрушение клеевых соединений начинается с торцов, где меньше толщина клеевого слоя и имеются дефекты, загрязнения, пузырьки воздуха, т. е. нет хорошего контакта клея со склеиваемым материалом. В этих местах концентрируются значительные напряжения. При увеличении нагрузки в них возникают микротрещины, которые постепенно распространяются к центру склеивания. Когда число микротрещин достигает определенного уровня, создаются условия для соединения микротрещин в трещину значительных размеров, что приводит к разрушению.

Клеевые соединения по-разному ведут себя в различных условиях эксплуатации. Они характеризуются хорошими показателями при сжатии и сдвиге, удовлетворительными — при равномерном отрыве и плохими — при неравномерном отрыве. В соответствии с

требованиями эксплуатации разработаны специальные методы и приборы для определения прочности клеевых соединений.

Разрушающее напряжение при сдвиге (по ГОСТ 14759—69 «Метод определения прочности при сдвиге»). Этот метод испытания нашел широкое применение, так как в большинстве случаев клеевые соединения подвергаются этому виду деформаций; кроме того, он прост в исполнении и не требует сложной оснастки. Сущность метода состоит в том, что две

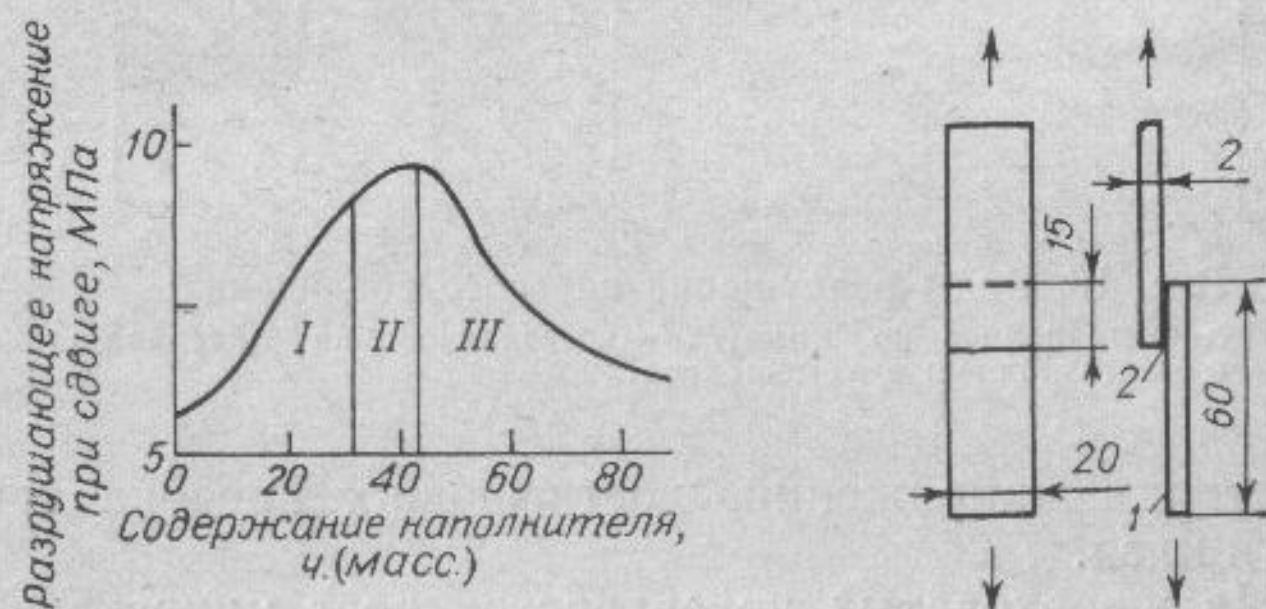


Рис. 19. Зависимость прочности при сдвиге от содержания наполнителя в эпоксидной композиции.

Зоны разрушения: I—адгезионного; II—смешанного; III—когезионного.

Рис. 20. Образец для испытания клеевых соединений при сдвиге: 1—пластина; 2—клеевой шов.

пластины склеивают внахлестку друг с другом и подвергают одноосному растяжению в испытательной машине (рис. 20).

Для склеивания пластин используют специальное приспособление с зажимным устройством, позволяющим фиксировать усилие запрессовки.

Разрушающее напряжение клеевого соединения при сдвиге τ (МПа) определяют по формуле: $\tau = P/F$, где P —разрушающая нагрузка, МН (кгс); F —площадь склеивания, м².

Испытания проводят не менее чем на 5 образцах при скорости нагружения 10 мм/мин.

Разрушающее напряжение при равномерном отрыве (по ГОСТ 14760—69 «Метод определения прочности при отрыве») проводят на ци-

линдрических образцах диаметром 25 мм, склеенных по торцевым поверхностям. Для этого на подготовленные и обезжиренные поверхности наносят слой клея и образцы помещают в приспособление, в котором создается необходимое давление. После выдержки при заданной температуре образцы разрушают на разрывной машине в специальных приспособлениях (рис. 21) при скорости погружения 10 мм/мин.

Разрушающее напряжение при равномерном отрыве σ (МПа) определяют по формуле: $\sigma = P/F$.

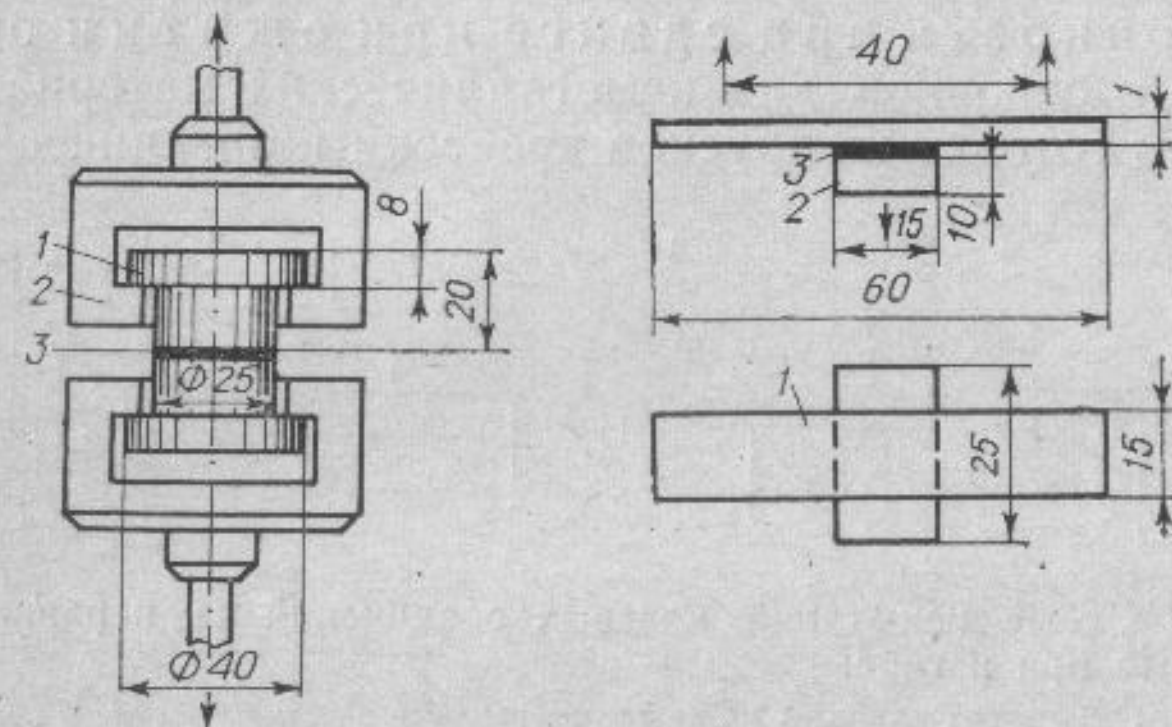


Рис. 21. Схема испытания на равномерный отрыв склеенных цилиндрических образцов:

1—образец; 2—захват; 3—клеевой шов.

Рис. 22. Образец для определения прочности при неравномерном отрыве:

1—полоса; 2—брусок; 3—клеевой шов.

Условия испытания те же, что и при сдвиге. Иногда проводят испытания соединений на брусках, склеенных крест-накрест.

Прочность при неравномерном отрыве. Этот метод испытания характеризует клеевые соединения типа «гибкий лист, отрываемый от жесткого основания». Склеенные образцы закрепляют в специальном приспособлении и нагружают со скоростью 10 мм/мин (рис. 22).

Прочность клеевого соединения $\sigma_{н.о}$ (МН/м) при неравномерном отрыве определяют по формуле: $\sigma_{н.о} = P/b$, где b —ширина полосы, м.

Прочность при неравномерном отрыве при изгибе. Испытание проводится на клеенных внахлестку образцах. Образец помещается на две опоры, и в середине нахлестки перпендикулярно прикладывается изгибающая нагрузка (рис. 23) со скоростью 10 мм/мин. Прочность клеевого соединения в данном случае $\sigma_{н. о. и}$ (МН/м) характеризуется отрывающим усилием, вычисляемым по формуле:

$$\sigma_{н. о. и} = P/b$$

Прочность при сдвиге при сжатии определяют в основном для неметаллических материалов. Образцы готовят из брусков древесины, органического

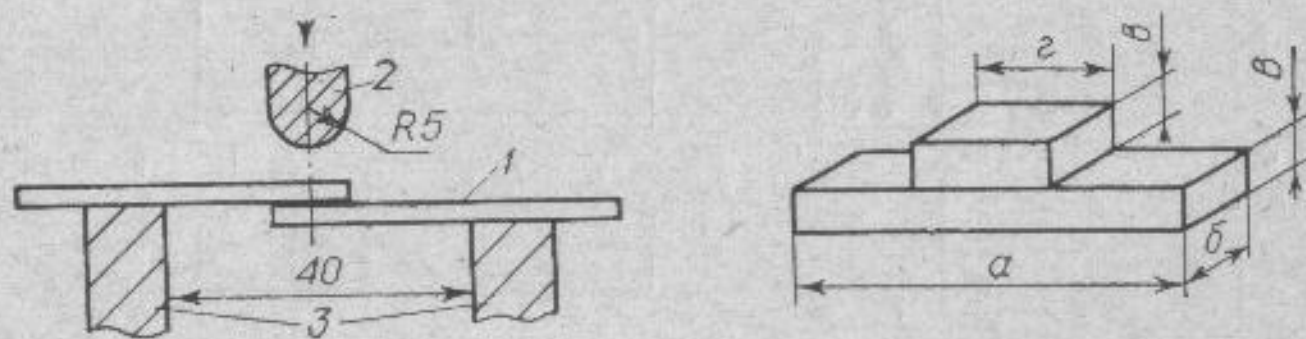


Рис. 23. Схема испытаний клеевых соединений на неравномерный отрыв при изгибе:

1—образец; 2—нагружающий нож; 3—опоры.

Рис. 24. Образец для определения прочности клеевого соединения при сдвиге.

Для древесины $a=65$, $b=50$, $z=25$, $z=50$; для оргстекла $a=50$, $b=20$, $z=8$, $z=20$ мм.

стекла или стеклотекстолита (рис. 24). Разрушение образца проводят в специальном приспособлении на испытательной машине, обеспечивающей нагрузку в 10—20 МПа в минуту (100—200 кгс/см² в минуту). Разрушающее напряжение при скалывании σ (МПа) определяют по формуле

$$\sigma = P/F$$

где F — площадь скалывания, м².

Характеристикой склеивания пленочных материалов (бумаги, ткани, металлической фольги, кожи и др.) между собой является прочность при расслаивании. Испытания проводят на разрывной машине при скорости нагружения 100—200 мм/мин. Образцы имеют форму прямоугольной полоски шириной 25 мм и длиной 150 мм. Клей на-

носят на длину 110 мм, а концы образца закрепляют в захватах испытательной машины (рис. 25). Прочность склеивания при расслаивании $F_{пог}$ (МН/м) вычисляют по формуле: $F_{пог} = P/b$, где P — средняя нагрузка, при которой происходит расслаивание образца, МН.

Если один из склеиваемых материалов представляет собой пленку, а другой — твердое тело, то опре-

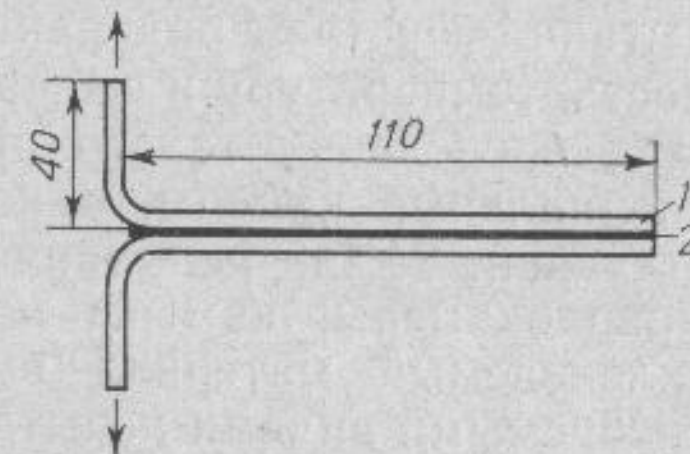


Рис. 25. Схема испытания клеевого соединения на прочность при расслаивании:

1—пленка; 2—клеевой шов.

деляют прочность при отслаивании. Для этого готовят образцы, например, из металлической пластины или фанеры толщиной 3—4 мм и размером 50 × 125 мм и приклеивают к ним пленку, ткань, кожу

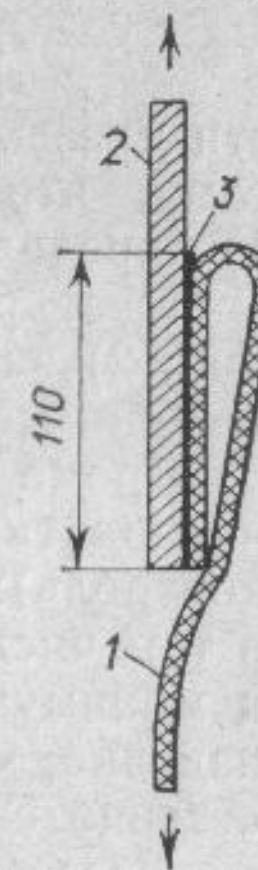


Рис. 26. Схема испытания клеевого соединения на отслаивание:

1—ткань; 2—фанера; 3—клеевой шов.

и др., как показано на рис. 26. Испытания проводят при скорости нагружения 100—110 мм/мин, и прочность при отслаивании определяют по формуле: $F_{пог} = P/b$, где P — средняя нагрузка, при которой происходит отслаивание ткани (пленки), МН.

Существует еще целый ряд разрушающих методов испытаний клеевых соединений в зависимости от конструкции деталей и типа склеиваемых материалов. Так как в процессе эксплуатации клеевые соединения подвергаются различным воздействиям окружающей среды, то проводят испытания при повышенных или пониженных температурах, при повышенной влажности или погружении в жидкость. Иногда методы испытаний сочетают ряд факторов: температуру и влажность, температуру и выдержку в агрессивных средах. Для проведения такого рода испытаний применяют специальные камеры, в которых создаются соответствующие для испытаний условия, например термостатические камеры, камеры погоды и др. Если клей и склеиваемый материал выдержали проверку всеми требуемыми видами испытаний, т. е. снижение их первоначальной прочности произошло в допустимых пределах, то клеевое соединение соответствует условиям эксплуатации.

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ

Неразрушающие методы контроля прочности клеевых соединений находят распространение потому, что позволяют при минимальных затратах: 1) определить некачественное склеивание, что предотвращает разрушение изделия в процессе эксплуатации; 2) экономить время на контроль; 3) принять необходимые меры для улучшения качества склеивания.

Кроме того, неразрушающие методы позволяют проводить контроль всех выпускаемых изделий (100% контроль); многократный контроль качества склейки, в том числе в процессе эксплуатации изделий; свести к минимуму число разрушающих испытаний готовых изделий, что дает возможность в ряде случаев существенно снизить непроизводительные затраты.

Известные методы неразрушающего контроля: акустические, радиационные, оптические, электромагнитные — имеют различные области применения. Они позволяют обнаруживать пустоты между склеиваемыми элементами: непроклеи, расслоения, повышенную пористость клеевых соединений. Дефектоскопия основана на прохождении или отражении электромагнит-

ных (звуковых) колебаний и сравнении интенсивности излучения, прошедшего через дефектный и бездефектный участки испытуемого изделия.

Наибольшее распространение в настоящее время получил ультразвуковой метод. Для контроля клеевых соединений типа металл — стеклопластик, металл — металл, полимер — полимер (при небольших толщинах склеиваемых изделий) обычно применяют приборы типа ДУК-66, ДУК-66П и аналогичные им, с помощью которых можно проводить контроль как в эхо-варианте, так и теневым методом. Приборы работают в диапазоне частот 0,6—5 МГц. Чувствительность приборов и точность их калибровки позволяют обнаруживать непроклеи эффективной площадью не менее 1 см². Для контроля склейки полимерных материалов, обладающих значительным затуханием, необходимо использовать более низкочастотные приборы, работающие в диапазоне 50—200 кГц: УКБ-1М, УК-10, УК-10П. Указанные приборы позволяют проводить контроль только теневым методом. Чувствительность их ниже, и площадь дефектного участка, обнаруживаемого уверенно с их помощью, обычно составляет несколько квадратных сантиметров.

В некоторых случаях клеевые соединения контролируют велосиметрическим методом. В этом методе используется влияние дефектов на скорость распространения упругих волн в изделии и длину пути между излучателем и приемником упругих колебаний. Дефекты регистрируются по изменению сдвига фазы принятого сигнала или времени распространения волны на контролируемом участке. Эти параметры не зависят от силы прижатия преобразователя к изделию, состояния акустического контакта и других факторов, что повышает стабильность показаний. Для контроля используются указанные выше низкочастотные ультразвуковые приборы.

Эффективен также импедансный метод, основанный на измерении механического сопротивления контролируемого изделия в точке его контакта с датчиком с помощью ультразвуковых колебаний. В дефектной зоне значение механического импеданса изменяется, что фиксируется по изменению амплитуды и фазы упругого сигнала. Для контроля используются

дефектоскопы типа ИАД-3, АД-40И. Чувствительность описанных методов составляет порядка нескольких квадратных сантиметров.

Аналогичную чувствительность имеют и СВЧ-дефектоскопы, которые применяют для контроля качества склейки полимерных материалов. Их преимуществом, по сравнению с ультразвуковыми методами, является отсутствие непосредственного контакта с контролируемым изделием. Используется, как правило, теневой вариант контроля: по ослаблению интенсивности прошедшего через дефектный участок сигнала или изменению фазы прошедшего сигнала. К СВЧ-дефектоскопам относятся приборы типа ИМ-1-120, СВЧД-4П, СД-20П, работающие в 8-миллиметровом диапазоне.

Контроль качества клеевых соединений с применением рентгеновского излучения основан на различной интенсивности лучей в местах дефекта и на бездефектных участках, которая фиксируется на фотопленке. Применение для контроля аппаратов типа РУП-5, РУП-60-20-1, РУП-150-10-1, УРПН-70-1 позволяет обнаружить дефект размером свыше 1 мм. Недостатком метода является длительность процесса просвечивания и обработки фотопленки.

Рассмотрим подробнее, следуя В. В. Мурашову*, области применения и возможности акустических методов неразрушающего контроля, как наиболее распространенных, на примере контроля многослойных клеевых конструкций.

При изготовлении многослойных клеевых конструкций возможно образование дефектов типа непроклеев и расслоений — наиболее опасных дефектов клеевых соединений. Кроме того, в многослойных клеевых конструкциях возможно образование дефектов типа зон пониженной прочности склеивания, которые при эксплуатации изделий, даже при сравнительно небольших нагрузках, могут привести к образованию расслоений в клеевом соединении.

Основная область применения акустических методов контроля — выявление дефектов типа непроклеев

* Мурашов В. В. — В кн.: Достижения в области создания и применения клеев. М., МДНТП, 1979, с. 188—194.

и расслоений в слоистых конструкциях, состоящих из металлических слоев или из комбинации металлических и неметаллических слоев, а также оценка прочности клеевого соединения в конструкциях типа «лист — лист» и «лист — соты».

Акустические методы, применяемые для контроля качества сотовых и слоистых конструкций, можно разделить на две группы:

специальные низкочастотные акустические методы, реализуемые с использованием сухого точечного контакта между преобразователем искательной головки прибора и изделием;

ультразвуковые методы, обычно реализуемые с использованием контактной жидкости для создания акустического контакта между головкой прибора и изделием.

К первой группе относятся импедансный, велосиметрический (односторонний и двусторонний варианты фазового способа с использованием непрерывных колебаний; временной и фазовый способы с использованием импульсного излучения), свободных колебаний (спектральный способ) и вибрационно-топографические методы.

Ко второй группе относятся теневой (амплитудный и временной), эхо-импульсный (основной и реверберационный) и резонансный методы. При контроле теневым и эхо-импульсным методами с помощью дефектоскопа УД-22УМ в качестве контактной среды могут использоваться полиуретановые прокладки; применения контактной жидкости в этих случаях не требуется.

Импедансный метод дефектоскопии основан на различии механических импедансов доброкачественного и дефектного участков изделия, определяемых в зоне ввода колебаний. Импедансный метод применяется в двух вариантах.

Первый вариант реализуется с использованием совмещенной искательной головки, когда излучатель и приемник колебаний совмещены в одном преобразователе. Он применяется для выявления дефектов клеевых соединений между обшивкой и заполнителем или элементом каркаса (лонжероном, нервюрой), обнаружения непроклеев и расслоений в слоистых конструкциях, а также для выявления зон пониженной

прочности склеивания обшивок с наполнителем в металлических сотовых панелях.

Наименьший размер выявляемого дефекта составляет 3 мм, наибольшая глубина залегания выявляемого дефекта равна: 2,5 мм для алюминиевых сплавов, 1,6 для сталей и 4—7 мм для полимерных композиционных материалов, наименьшая глубина — 0,1 мм.

Первый вариант с наибольшим успехом применяется для контроля сотовых конструкций, а также слоистых конструкций с достаточно жестким и плотным внутренним элементом. Контроль двухслойной конструкции, склеенной из двух металлических листов разной толщины, возможен только со стороны более тонкого слоя. Чувствительность метода уменьшается с уменьшением жесткости и плотности внутреннего элемента.

При проверке сотовых конструкций с обшивками из полимерных композиционных материалов и сотами из полиамидной бумаги выявляются дефекты соединения сотового наполнителя с той обшивкой, со стороны которой выполняется контроль, а также дефекты соединения между противоположной обшивкой и наполнителем. Для выявления дефекта необходимо провести контроль сотовой конструкции с обеих сторон и сопоставить результаты контроля.

Второй вариант импедансного метода отличается от первого применением искательной головки с акустически изолированными друг от друга излучателем и приемником упругих колебаний. Признаком дефекта при контроле этим вариантом импедансного метода служит увеличение амплитуды принятого сигнала вследствие уменьшения механического импеданса в зоне дефекта. Он применяется для обнаружения дефектов клеевых соединений между различными неметаллическими и металлическими слоями многослойной конструкции.

Наименьший размер выявляемого дефекта равен 8—14 мм; наибольшая глубина залегания выявляемого дефекта в конструкциях, содержащих полимерные композиционные материалы, составляет 15 мм, а наименьшая — 0,2—0,3 мм.

Вторым вариантом импедансного метода дефекты обнаруживаются только в том случае, когда оба пре-

образователя (и излучающий, и приемный) находятся в зоне дефекта. При контроле конструкций с очень тонким верхним слоем предельная чувствительность может быть меньше базы искательной головки.

Велосиметрический метод дефектоскопии основан на влиянии дефектов на скорость распространения упругих волн в контролируемой конструкции, а также на изменении пути волны между излучателем и приемником, вызванном наличием дефекта. Различают два варианта метода.

Первый вариант реализуется с использованием непрерывного излучения и применяется при одностороннем или двустороннем доступе к контролируемому изделию. В обоих случаях изменение скорости распространения (или изменения пути) упругих колебаний оценивается по изменению фазы принятого сигнала. Он применяется для выявления зон нарушения клеевого соединения между неметаллическим материалом и металлическим или неметаллическим каркасом.

Наименьший размер выявляемого дефекта при контроле с односторонним доступом составляет 45 мм, при контроле с двусторонним доступом — 15 мм. Дефекты выявляются на глубине 25 мм при контроле с односторонним доступом и 50 мм при контроле с двусторонним доступом к изделию. Наименьшая глубина залегания выявляемых дефектов составляет 0,3—0,5 мм, а краевая неконтролируемая зона, обусловленная наличием интерференционных помех, — 40—60 мм. Глубинная неконтролируемая («мертвая») зона, прилегающая к поверхности, противоположной поверхности ввода упругих колебаний при контроле с односторонним доступом, составляет 20—40% от толщины изделия.

Второй вариант велосиметрического метода реализуется с использованием импульсного излучения. Различают два способа контроля: временной и фазовый.

Признаком наличия дефекта при контроле временным способом служит изменение времени прохождения импульса через изделие. Этот способ применяется для выявления зон отсутствия сцепления между соединяемыми элементами в виде расслоений и непроклеев в конструкциях, выполненных с применением

неметаллических материалов, толщиной до 100 мм. Наименьший размер выявляемых этим способом дефектов равен 15 мм, наименьшая глубина их залегания — 0,1—0,2 мм. При контроле временным способом отсутствуют как краевая, так и глубинная неконтролируемые зоны, т. е. дефекты выявляются во всех сечениях изделия.

При контроле фазовым способом изменение фазы принятого сигнала, прошедшего в зоне дефекта, регистрируется по смещению нулей импульса. Этот способ применяется при контроле комбинированных конструкций для выявления дефектов склейки между неметаллическим и металлическим слоями. Наименьший размер выявляемых дефектов равен 30—35 мм, наибольшая глубина залегания выявляемых дефектов — 25 мм, наименьшая — 0,3—0,5 мм от края изделия.

Метод свободных колебаний основан на ударном возбуждении импульсов свободно затухающих упругих колебаний в контролируемом изделии и анализе спектра принятого сигнала. Признаком наличия дефекта является изменение спектра упругих колебаний изделия в зоне контроля. Этот метод применяется для выявления непроклеев в комбинированных многослойных конструкциях, выполненных с применением неметаллических материалов с высоким коэффициентом затухания упругих колебаний (например, резиноподобных).

Наименьший размер дефектов, выявляемых этим методом, составляет 15—45 мм, наибольшая глубина их залегания — 30 мм, наименьшая — 0,5 мм. Глубинная неконтролируемая зона обычно не превышает 60% толщины изделия. Контроль конструкций, как правило, проводится со стороны неметаллического слоя. Недостатком метода является шум при контроле.

Вибрационно-топографический метод заключается в возбуждении упругих колебаний в широком диапазоне частот и установлении различия в уровнях колебаний дефектных и доброкачественных зон. Он применяется для обнаружения зон нарушения соединений в слоистых и сотовых конструкциях. Наименьший размер выявляемого дефекта — 2—9 мм, наибольшая глубина залегания выявляемых дефектов — 3—5 мм, наименьшая — не ограничена. Время одного контроля со-

ставляет 5—7 мин. При контроле конструкций с неметаллическими слоями, а также клееных конструкций больших размеров возбуждение колебаний необходимо производить в нескольких точках конструкции.

Теневой метод (метод сквозного прозвучивания) основан на ослаблении или задержке дефектом сигнала, проходящего от излучателя к приемнику, которые расположены по разные стороны стенки контролируемого изделия. Различают амплитудный и временной способы контроля. При контроле амплитудным способом дефекты обнаруживаются по ослаблению или исчезновению принимаемого сигнала. При контроле временным способом дефекты выявляются по задержке времени прихода сигнала, огибающего дефект. Он применяется для выявления дефектов типа расслоений и непроклеев в многослойных клееных конструкциях с металлическими и неметаллическими слоями. Наименьший размер выявляемых дефектов равен 3,5 мм. Метод не имеет глубинной неконтролируемой зоны.

Эхо-импульсный метод дефектоскопии заключается в посылке в изделие искателем ультразвуковых импульсов и приеме тем же или другим искателем сигналов, отраженных от дефектов и от противоположной поверхности изделия. Различают два способа контроля: основной и реверберационный.

При контроле основным способом сигналы, отраженные от дефекта, различают по временной развертке на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа и фиксируют время их прихода. Этот способ применяется для выявления непроклеев в конструкциях, содержащих неметаллические слои большой толщины (до 200 мм). Наименьший размер выявляемых дефектов равен 8 мм, наибольшая глубина их залегания определяется глубиной неконтролируемой зоны, прилегающей к поверхности контроля, и равна 3—5 мм.

Реверберационный способ применяется для выявления дефектов соединений в комбинированных конструкциях, а также между металлом и легким заполнителем. Он основан на явлении реверберации (многократного отражения) упругих волн в слоях с относительно невысоким коэффициентом затухания

88 Таблица 2. Приборы для контроля многослойных клееных конструкций

Тип	Метод	Способ	Доступ к изделию	Завод-изготовитель
АД-40И	Импедансный (с использованием совмещенного искателя)	Амплитудный Амплитудно-фазовый	Односторонний »	Кишиневский з-д «Электроточприбор»
ИАД-3	То же	То же	»	То же
АД-10У	Импедансный (с использованием раздельно-совмещенного искателя) Велосиметрический (с использованием непрерывного излучения)	Амплитудный Временной Фазовый	» Двусторонний Односторонний	» »
УВФД-1	Велосиметрический (с использованием непрерывного излучения)	»	» Двусторонний	»
АД-50У	Свободных колебаний (с использованием одновременного анализа спектра)	Спектральный	Односторонний	Запорожский опытный завод дефектоскопии
ЧИКП-4УС	То же	»	»	То же
Титан 5 Титан-4	Вибрационно-топографический	Основной	»	»
УД-22УМ	Эхо-импульсный Теневой	» Амплитудный Временной	» Двусторонний »	Кишиневский з-д «Электроточприбор»
УД-10УА (со сменными субблоками)	Эхо-импульсный	Реверберационный Основной	Односторонний »	То же
СЕ-02 СЕ-03	Теневой »	Амплитудный Временной	Двусторонний »	» »
УН-20Р (Фенол-2)	Резонансный (модифицированный)	Частотный Амплитудный	Односторонний	»

колебаний. Обычно контроль проводится со стороны металлического слоя, но возможен и со стороны неметаллического слоя (если затухание упругих колебаний в этом слое невелико).

Наименьший размер выявляемого дефекта равен 8 мм, наименьшая толщина металлического слоя — 1,5 мм.

Резонансный метод контроля разработан для оценки прочности клеевых соединений в многослойных конструкциях и основан на корреляционной связи когезионной прочности склеивания с резонансными характеристиками преобразователя. Возможно применение резонансного метода для выявления дефектов типа непроклеев и расслоений. Различают два способа контроля: частотный и амплитудный.

Частотный способ используется для оценки когезионной прочности склеивания при сдвиге в клеевых соединениях типа «лист — лист», мерой прочности при испытании таких соединений служит величина изменения резонансной частоты системы преобразователь—изделие; амплитудный способ — для оценки когезионной прочности склеивания при отрыве в клеевых соединениях с легким наполнителем (соты, пенопласт и т. п.).

Достаточно надежная корреляция между прочностью и показаниями прибора наблюдается только в том случае, когда адгезионная прочность клеевого шва выше когезионной и когда выдерживается постоянной масса клея, наносимого на единицу площади склеиваемой поверхности.

При дефектоскопии конструкций резонансным методом наименьший размер выявляемых дефектов определяется размерами искательных головок и составляет 10—20 мм, наибольшая глубина их залегания при контроле со стороны металлического слоя — 5 мм.

В табл. 2 указана аппаратура для осуществления перечисленных методов контроля многослойных клеевых конструкций.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Широкое использование клеевых соединений в современной технике делает актуальными вопросы интенсификации процессов склеивания и повышения качества клеевых соединений. В настоящее время совершенствование процесса склеивания осуществляется: 1) путем химического модифицирования клеевых композиций и поверхности склеиваемых материалов и 2) путем физического модифицирования — воздействием на клеи физическими и физико-химическими методами.

Химическое модифицирование основано на повышении реакционной способности клеев, отвердителей и инициаторов (здесь не рассматривается).

Второй путь повышения качества клеевых соединений включает в себя тепловое воздействие, различные виды излучения и вибрацию, в том числе ультразвук.

Наибольшее распространение на практике получили методы теплового воздействия, основанные на ускорении химических и физических процессов при повышении температуры. Одним из таких методов является инфракрасный (ИК) нагрев. Прочность склеивания при ИК-нагреве не ниже, чем при конвекционном отверждении, и ускорение химических реакций между компонентами клея происходит в результате увеличения колебаний химических связей. Например, время отверждения для деталей, склеенных пленочным клеем БЭН-50П, можно сократить в два раза за счет применения ИК-нагрева (по сравнению с отверждением в термошкафу) при одной и той же прочности.

Прямой электронагрев, заключающийся в прохождении электрического тока через пакет из чередующихся металлических сеток и клеевых «проставок» (пленок) из клея БЭН-50П, при изготовлении теплообменных аппаратов позволил снизить давление склеивания от 1 до 0,1 МПа, сократить время отверждения на 2 ч по сравнению со склеиванием в термопечах. Применение новой технологии склеивания дало возможность повысить качество готовой продукции при снижении энерго- и трудовых затрат.

Одним из важных методов повышения качества клеевых соединений и ускорения процессов склеивания является индукционный нагрев. Нагревание склеиваемых деталей происходит за счет наведения индукционных токов внутри материала с помощью высокочастотных генераторов, частота и мощность которых подбираются в зависимости от типа металла, массы материала и размеров соединяемых поверхностей. При более высоких частотах тепло может выделяться на поверхности склеиваемых деталей, при низких частотах (для металлов) наблюдается более глубокий разогрев.

Достоинством метода склеивания с помощью установок ТВЧ является значительное уменьшение времени нагревания за счет более низкой температуры плавления и отверждения клеев. Для высокочастотной установки типа ВЧИ 25/0,44 мощностью 25 кВт время нагрева деталей до нанесения клея составляет 2—6 с, а время выдержки склеиваемых деталей в совмещенном состоянии после нанесения клея — от 4 до 18 с. Применение нагрева ТВЧ предполагает использование однокомпонентных клеев, из которых особенно удобны в производственных условиях клеевые заготовки в виде прутка, нанесение которых на поверхности деталей, нагретых до 100—150 °С, не представляет затруднений. При необходимости возможно доотверждение клея по установленному режиму в термошкафах.

Электромагнитное поле сверхвысокой частоты (СВЧ) также позволяет ускорить отверждение. Так, воздействуя электромагнитным полем мощностью 5,2 кВт в течение 10—20 с на фенольный клей марки КБ-3, можно добиться полноты его отверждения до 85—92% за более короткое время.

Одним из физических способов ускорения отверждения эпоксидных клеев является предварительное облучение рентгеновскими лучами отдельных компонентов клея. На примере обработки клея К-400 показано, что прочность клеевых соединений зависит от дозы облучения и от того, какой из компонентов подвергался облучению.

Ниже приведена зависимость разрушающего напряжения при сдвиге от дозы рентгеновского облучения и времени отверждения клея К-400:

Доза облучения, Р	3 000	5 000	3 000	12 000	15 000
Смола Т-111 . . .	5,1/7,9	5,6/6,9	4,9/6,9	4,8/7,7	6,5/8,8
Смола Л-20 . . .	7,7/9,3	7,2/9,3	7,8/8,8	7,6/7,9	8,9/9,7
Окись хрома . . .	5,6/7,7	6,4/9,8	10,3/12,7	7,7/9,9	10,0/14,1

Примечание. В числителе значения при времени отверждения 12 ч, в знаменателе — при 24 ч.

Время отверждения при оптимальной дозе для этого клея может быть снижено в 4 раза (от 48 до 12 ч).

Радиационная обработка полимерных клеев, кроме улучшения прочностных свойств клеевых соединений, способствует их интенсивному отверждению. При этом мономерные и олигомерные клеи могут отверждаться без применения катализаторов и высоких температур. Такой процесс отверждения клеевых композиций рекомендован при соединении материалов, проницаемых для β - или γ -лучей.

Одним из перспективных методов повышения адгезионных свойств клеев и качества клеевых соединений является обработка их в магнитном поле. На примере эпоксидных клеев установлено, что под действием магнитного поля возрастает скорость отверждения, уменьшается дефектность структуры сшитого клея, а прочностные характеристики клеевого соединения зависят от напряженности магнитного поля, причем эта зависимость имеет периодический характер (с рядом максимумов и минимумов). При воздействии магнитного поля изменяются физико-химические процессы на границе смола — наполнитель. Это приводит к улучшению смачивающей способности наполнителей клеевыми составами и уменьшению остаточных напряжений.

Улучшение структуры и свойств эпоксидных клеев возможно также и при воздействии на них вибрации при частоте 70 Гц, амплитуде 0,4 мм и времени 120 мин, что приводит к более интенсивному нарастанию скорости отверждения. Энергия активации процесса отверждения клея на основе смолы ЭД-20 снижается от 50 (у исходной композиции) до 27 кДж/моль (у обработанной). При этом наблюдается перестройка ассоциативных структур, которые становятся более упорядоченными. Повышение прочности клеевых соединений вызвано также тем, что под действием вибрации наблюдается значительное снижение вязкости клеевой массы. Это улучшает смачиваемость поверхностей склеиваемых деталей и облегчает проникновение клея в микрокапилляры. Наибольший эффект от вибровоздействия проявляется на олигомерах, имеющих большую начальную вязкость, он уменьшается при увеличении температуры композиции. Вибровоздействие на клеевую композицию можно проводить как в массе перед склеиванием, так и непосредственно на склеиваемой детали.

Как показывает опыт, наиболее перспективно для повышения качества клеевых соединений и интенсификации процессов склеивания применение ультразвуковой техники. В обрабатываемую среду вводят ультразвуковые колебания высокой интенсивности в течение короткого промежутка времени, что значительно ускоряет процессы взаимодействия между компонентами клея, а также между клеем и склеиваемыми деталями.

Различают три основных метода склеивания с применением ультразвука, отличающиеся способом введения ультразвуковых колебаний в клеевую массу.

По первому из них ультразвуковой излучатель подводится и прижимается к поверхности одной из склеиваемых деталей и передача ультразвуковой энергии в клеевой шов осуществляется через материал детали.

Наиболее широко этот способ используется для соединения термопластов, которые с трудом поддаются склеиванию обычными способами, например полиэтилена и полиацетала. При таком воздействии происходит активация и очистка склеиваемых поверхностей,

а клей лучше перемешивается и проникает в поры детали. Способ позволяет достигнуть быстрого разогрева склеиваемых деталей и клея (в течение 3—5 с) за счет интенсивного трения в местах контакта и поглощения ультразвуковой энергии. При обработке ультразвуком эпоксидного клея на стадии В*, находящегося между двумя алюминиевыми пластинами толщиной 0,9 мм и шириной 25 мм, за 40 с температура возросла от 24 до 230 °С, причем металл разогрелся на участке длиной 300 мм. При склеивании двух алюминиевых пластин сечением 0,9 × 25 мм с помощью эпоксидного клея на стадии В при перемещении под излучателем со скоростью 500 мм/мин температура в клеевом шве не превышала 180 °С. Повышение температуры склеиваемых образцов зависит от их толщины и предварительной грунтовки, предотвращающей рассеивание теплоты в материале. Повышение температуры в слое клея за время озвучивания в течение 5—7 с составляет 100—200 °С, что вполне достаточно, чтобы расплавить, заставить течь и отвердиться различные клеи.

В качестве клеевых композиций в этом случае могут быть использованы как терморезактивные, так и термопластичные, обладающие определенными вязкоупругими свойствами и скоростью отверждения. Из термопластичных клеевых материалов применяются термопласты с высокой температурой плавления и клей-расплавы.

Хорошие результаты получены для быстроотверждающихся терморезактивных клеев на стадии В (например, эпоксидные, эпоксинитрильные и эпоксифенольные клеи). Использование жидких клеев приводит обычно к неудовлетворительным результатам. Это вызвано тем, что клей не успевает «схватиться» и вытекает из клеевого шва.

К преимуществам описываемых способов относятся быстрота склеивания, возможность механизации процесса и соединения «несклеиваемых» материалов, а также пониженные требования к чистоте склеиваемых поверхностей.

* Стадия В — клей потерял текучесть, но еще не полностью отвердился; содержание нерастворимой части 30—50%.

Но наряду с этим в данном способе имеется и ряд недостатков. Основной из них — значительное повышение температуры склеивания и неблагоприятное ее воздействие на структуру и свойства склеиваемых деталей. Этот способ не универсален и не может применяться для всех марок клеев. При этом из-за очень короткого времени склеивания (1—5 с) велика вероятность возникновения в склеиваемых образцах остаточных деформаций за счет внутренних напряжений, что приводит к снижению долговечности и качества склеивания.

По второму способу ультразвуковой излучатель вводится непосредственно в слой клеевой массы, нанесенной на одну из склеиваемых деталей, и обработке подвергается тонкий слой клея.

Способ позволяет улучшить проникновение клеевой композиции в поры детали, улучшить смачиваемость склеиваемых поверхностей, дополнительно обезжирить их, а также дегазировать слой адгезива, повышая его однородность. На границе клей — склеиваемый материал под действием ультразвука возникают большие переменные давления и улучшается диффузия клея в поры и микротрещины на поверхности.

При этом способе ультразвуковой обработки жидких и пастообразных клеев возможно три варианта нанесения клеевой массы: а) склеиваемая деталь неподвижна, формирующий инструмент перемещается относительно ее поверхности; б) инструмент неподвижен, деталь перемещается относительно его рабочего торца; в) склеиваемая деталь и формирующий инструмент перемещаются относительно друг друга.

Для осуществления данного способа применяют установку, которая включает ультразвуковой генератор, преобразователь со сменным формирующим инструментом, подвижный стол для крепления склеиваемых деталей и пульт контроля и управления процессом. На качество склеивания оказывают большое влияние следующие технологические параметры: интенсивность ультразвуковых колебаний (I), скорость перемещений излучателя (v), зазор между поверхностью детали и формирующим инструментом (δ), и угол наклона (α) формирующего инструмента к поверхности детали.

Установлено (на примере компаунда К-153), что существуют определенные оптимальные условия, при которых удастся получить минимальное количество пор в клеевом шве. Для металлических материалов найдено, что наилучшие результаты достигаются при $I = 50$ Вт, $v = 10$ мм/мин, $\delta = 0,2$ мм, $\alpha = 60^\circ$.

Для обеспечения равномерной и регулируемой подачи наносимого клея на поверхность обрабатываемой детали предлагается клеевую массу пропускать через канал, проходящий через преобразователь и формирующий инструмент. При этом одновременно с нанесением клея на поверхность детали производится его обработка: растворение, плавление и перемешивание компонентов, дегазация смеси и придание ей определенной вязкости, диспергирование наполнителя. Для дозирования и автоматической подачи клея на поверхность детали выходные отверстия в рабочем инструменте выполнены с регулируемым сечением.

Применение описанного способа ультразвукового воздействия на эпоксидный клей горячего отверждения позволило сократить время последующей термообработки почти в два раза по сравнению с традиционной технологией и увеличить разрушающее напряжение при равномерном отрыве на 10%, в 3—4 раза снизить пористость клеевого шва.

Способ ультразвуковой обработки при нанесении тонкого слоя клея позволяет автоматизировать процесс склеивания и получить клеевые соединения с улучшенными характеристиками, что повышает прочность и надежность клеевых конструкций.

По третьему способу ультразвуковую обработку проводят при введении в клеевую массу ультразвукового излучателя с последующим нанесением озвученного клея на склеиваемые поверхности деталей. Ультразвуковой обработке подвергается жидкий или вязкотекучий полимер непосредственно перед нанесением на поверхность изделия.

После ультразвуковой обработки склеенные детали доотверждаются в термошкафу или на воздухе.

Ультразвуковая обработка эпоксидного клея горячего отверждения перед нанесением его на склеиваемые детали существенно сокращает время его приготовления при одновременном повышении прочности

клеевых соединений. Ниже показано влияние способа приготовления клея марки ТКМ-75 на прочность клеевых соединений:

Способ смешения компонентов	Ручной	Механизированный (клеемешалка)	С помощью ультразвука
Продолжительность перемешивания, с	900—1200	300—480	7—15
Разрушающее напряжение при сдвиге, МПа	52,8	59,2	62,9

Ультразвуковая обработка компонентов клея ТКМ-75 явилась одним из путей повышения производительности труда и качества склеенного изделия.

На примере склеивания металлических и неметаллических материалов клеями холодного отверждения К-153 и Д-9 установлено, что в результате ультразвуковой обработки их по описанному способу улучшается смачиваемость поверхности наполнителя смолой, частицы наполнителя равномернее распределяются в объеме полимера, наблюдается ускорение процесса отверждения. Ультразвуковая обработка клея с применением генератора УЗГ-2-4 и магнитострикционного преобразователя ПМС-15А-18 в течение 15 с улучшает его растекание на поверхности детали за счет уменьшения исходной вязкости почти вдвое и снижает угол смачивания для всех исследуемых материалов.

Ниже приведены значения угла смачивания (в градусах) клеев К-153 и Д-9 (без наполнителя) до и после ультразвуковой обработки для различных склеиваемых материалов:

	К-153	Д-9
Алюминиевый сплав Д16	23/21	23/18
Сталь 30ХГСА	33/30	36/31
Латунь Л62	37/33	38/33
Стеклопластик АГ-4С	39/37	42/39
Полиамид 6с-32с	18/16	33/26

Примечание. В числителе — значения до УЗ-обработки, в знаменателе — после УЗ-обработки.

Для перечисленных материалов наблюдается сокращение времени достижения максимальной

прочности и увеличение конечной прочности клеевого соединения на 10—25% по сравнению с неозвученными образцами при одновременном повышении надежности соединения в 3—4 раза.

Ультразвуковое воздействие не только улучшает адгезию, но и приводит к повышению физико-механических свойств отвержденных эпоксидных клеев (табл. 3).

Разрушающее напряжение при изгибе в результате ввода УЗ-колебаний в массу возрастает по сравнению с композицией, не обработанной ультразвуком, для К-153 в 1,4 раза, для Д-9 в 1,3 раза, разрушающее напряжение при сжатии — соответственно в 1,1 и 1,3, ударная вязкость — в 1,8 и 1,9, твердость — в 1,6 и 1,1 раза.

Эффект от ультразвуковой обработки клеевых композиций вызван существенной перестройкой надмолекулярных структур полимерных материалов, входя-

Таблица 3. Зависимость физико-механических свойств отвержденных эпоксидных клеев К-153 и Д-9 от интенсивности ультразвуковой обработки

Интенсивность ультразвуковой обработки, Дж	Разрушающее напряжение, МПа		Ударная вязкость, кДж/м ²	Твердость по Бринеллю, МПа
	при изгибе	при сжатии		
0	103/86	70/95	6,6/2,2	130/150
250	112/92	73/126	7,5/2,9	200/148
500	112/72	75/105	8,0/1,8	180/152
750	118/115	78/115	10,2/3,2	189/158
1000	109/105	76/114	11,0/1,5	150/156
1250	113/84	80/105	11,0/1,5	150/156
1500	140/73	75/112	9,5/2,1	140/155

Примечание. В числителе — значения для К-153, в знаменателе — для Д-9.

щих в клей. Например, в не обработанной ультразвуком отвержденной эпоксидной смоле наблюдаются отдельные ассоциаты молекул размером от 20 до 100 мкм и бесструктурные области. В результате ультразвукового воздействия надмолекулярные образования приобретают вид плотно уложенных ассоциатов молекул размером 20—30 мкм. Такая перестройка структуры полимерного клея приводит к повышению плотности

клея до 1,183 г/см³ по сравнению с 1,134 г/см³ для необработанного ультразвуком клея.

При формировании эпоксидных покрытий на металлической подложке с применением ультразвука установлено, что адгезионная прочность зависит от того, на каком этапе отверждения смолы проводится ультразвуковая обработка. Попытка обработки ультразвуком частично или полностью «сшитой» эпоксидной смолы приводит к снижению адгезии за счет отслаивания при вибрации. Только предварительная обработка эпоксидной композиции перед нанесением в течение 20 мин на ультразвуковой установке (мощность осциллятора 250 Вт, частота 1 МГц) позволяет повысить адгезионную прочность композиции в 1,2 раза.

Ниже показано изменение адгезионной прочности (в кН/м) фураноэпоксидных композиций в зависимости от способа ультразвуковой обработки:

Продолжительность обработки, с	0	300	600	1200
В стадии отверждения	2,30	1,60	—	—
После отверждения	2,30	2,08	1,83	1,80
Озвучивание исходной композиции	2,30	2,50	2,58	2,68

Примечание. Адгезионная прочность определена по методу отслаивания.

Кроме того, наблюдается улучшение механических свойств отвержденных материалов, например микротвердости в 1,8 раза по сравнению с необработанными (при сокращении времени их отверждения на 6—7 ч).

Технология склеивания путем введения в клеевую массу ультразвукового излучателя отличается наибольшей простотой, так как не требуется специального оборудования, формующих инструментов, установочных приспособлений и высокой квалификации обслуживающего персонала.

Таким образом, склеивание с применением ультразвука повышает прочность и скорость склеивания, в ряде случаев позволяет исключить контакт рабочих с токсичными клеевыми композициями, например эпоксидными.

Использование ультразвуковых колебаний предъявляет специфические требования к охране труда человека и технике безопасности при эксплуатации ультразвуковых устройств. Выпускаемые промышленные

ультразвуковые генераторы работают на частотах и уровнях шумов, биологически безвредных для работающих. Необходимо только исключить контакт рабочего с жидкостью, ультразвуковым инструментом и обрабатываемыми деталями, в которых возбуждаются колебания.

В настоящее время повышение качества клеевых соединений и интенсификация процесса склеивания с применением различных физико-химических способов обработки клеев позволяет склеивать материалы, которые другим путем склеивать невозможно, и получать прочные и долговечные клеевые конструкции. Способы воздействия на клеи можно варьировать в зависимости от требований к прочности и свойствам клеевого соединения, что позволит широко использовать их в технологии склеивания.

При работе с клеями следует соблюдать максимальную осторожность; неаккуратность, невнимательность, недостаточное знакомство с приборами, аппаратами и свойствами веществ, с которыми ведутся работы, могут повлечь за собой несчастный случай.

На рабочем месте разрешается выполнять только ту работу, которая поручена и разъяснена. Запрещается отвлекаться посторонними делами, принимать пищу, пить воду, курить, использовать химическую посуду как пищевую. Категорически запрещается пробовать на вкус и нюхать химические реактивы. Это вызвано тем, что применяемые для клеев компоненты токсичны, взрыво- и пожароопасны.

Токсичность клеев на основе фенолоформальдегидных олигомеров определяется концентрацией свободного фенола и паров формальдегида, которые выделяются в воздух при нанесении и отверждении клеевой композиции и раздражают слизистые оболочки глаз и кожи.

При контакте с жидкими эпоксидными смолами возможно возникновение дерматита (покраснение кожных покровов, зуд), который проходит после прекращения контакта со смолой. Кроме того, при нагревании эпоксидных смол из них выделяются эпихлоргидрин и толуол, которые оказывают вредное влияние на нервную систему и печень. Еще большую опасность для здоровья представляют отвердители, применяемые для эпоксидных клеев. Ангидриды дикарбоновых кислот (маленный, фталевый и др.)

вызывают раздражение слизистых оболочек верхних дыхательных путей и глаз (слезотечение, покраснение, отек, гнойное воспаление). При контакте с ними на коже наблюдается покраснение и образование пузырей, напоминающих ожог. Наименьшей токсичностью из них обладает метилтетрагидрофталевый ангидрид.

Опасность воздействия отвердителей аминного типа заключается в их высокой токсичности, предельно допустимые концентрации (ПДК) для них составляют 1—2 мг/м³. Полиэтиленполиамин, этилендиамин, гексаметилендиамин и другие амины вызывают изменения в центральной нервной системе, легких и печени. При попадании на кожу появляется раздражение, вплоть до образования язвенного дерматита, а на слизистых оболочках раздражение сопровождается гнойным воспалением.

Очень большой токсичностью обладают полиуретановые клеи, основу которых составляет толуиленизоцианат (продукт 102-Т). Работа с этим веществом требует особой тщательности. При случайном попадании его на кожу необходимо протереть это место ватным тампоном, смоченным этилцеллозольвом или спиртом, после этого кожу промывают водой с мылом. Применение для удаления продукта 102-Т других органических растворителей (ацетона, этилацетата) нежелательно, они сами представляют опасность, так как проникают через кожу в кровь. Для удаления пролитого продукта 102-Т с пола его засыпают опилками или песком для впитывания, после их удаления пол промывают раствором аммиака и горячей водой с мылом.

Для некоторых клеев (марок ЛН, ТМ-60, ПММ) в качестве растворителя применяется дихлорэтан. Это ядовитая жидкость с характерным сладковатым запахом. Оказывает наркотическое действие и вызывает изменения в печени, почках и других органах, всасывается через кожу.

Полиэфирные клеи обычно содержат летучие мономеры: стирол, метилметакрилат и другие, участвующие в процессе сополимеризации. Эти мономеры пожароопасны и весьма токсичны, они раздражающе действуют на слизистые оболочки глаз и верхних ды-

хательных путей. Особую осторожность следует проявлять при работе с инициаторами: они могут взорваться в результате нагрева или удара, нельзя также смешивать инициатор и ускоритель. Вначале следует смешать инициатор со смолой, а затем добавить ускоритель; или инициатор смешать с одной порцией смолы, а ускоритель с другой, и потом обе порции перемешать вместе. Хранить перекиси следует без доступа воздуха, оберегая от прямого солнечного облучения и нагревания.

Все работы с веществами, обладающими высокой токсичностью, следует проводить в специально оборудованных помещениях при работающей вытяжной вентиляции, скорость движения воздуха в открытых створках вытяжных шкафов и местных отсосах должна быть не менее 0,7 м/с. В случае непредвиденного выключения вентиляционной установки работу следует, по возможности, прекратить, надеть проверенный индивидуальный противогаз и сообщить мастеру или начальнику смены. Все работы с вредными веществами проводить в застегнутом халате, пользоваться резиновыми перчатками и прорезиненным фартуком, в ряде случаев надевать защитные очки или маски.

Для выполнения операций, сопровождающихся образованием пыли в воздухе (введение порошкообразных наполнителей и отвердителей, пескоструйная обработка), рабочий должен, кроме того, пользоваться еще противопылевым респиратором и надевать на голову шапочку или косынку.

Приготовление растворов для травления поверхности металлов и полимеров связано с использованием едких веществ, поэтому рабочий обязан пользоваться предохранительными очками, резиновыми перчатками, сапогами и прорезиненными передниками.

При приготовлении растворов серной кислоты необходимо приливать кислоту к воде тонкой струей при непрерывном перемешивании, чтобы не было местного перегрева и выброса кислоты.

При поражении слизистых оболочек или кожи кислотами рекомендуется промывание водой и 2—3% раствором пищевой соды, при поражении

щелочами — обильное промывание водой и 1—2% раствором борной кислоты.

Подготовку металлического натрия для натрий-нафталинового комплекса во избежание ожога следует проводить в фарфоровой ступке под слоем керосина ножом из цветного металла. В случае попадания металлического натрия на кожу следует промыть пораженное место большим количеством воды, обработать 5%-ным раствором борной кислоты и смазать мазью от ожогов.

Органические растворители, применяемые для клеев, помимо токсичности еще легко воспламеняются и образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Пожар и взрыв могут произойти при обезжиривании деталей легковоспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) (бензин, ацетон, спирт), при приготовлении клеев, натрий-нафталинового комплекса и при подготовке наполнителя — алюминиевой пудры.

Рабочие, непосредственно соприкасающиеся с клеевой композицией, должны быть ознакомлены с пожароопасностью и ядовитостью компонентов, входящих в состав клея.

Самовоспламенение ЛВЖ может происходить не только после нагрева их до определенной температуры в открытом сосуде, но и в случае, если эти жидкости попадут на горячие поверхности. Поэтому для предотвращения пожара и взрыва запрещается хранить и использовать в работе ЛВЖ вблизи огня и нагревательных приборов. Хранить и разливать ЛВЖ необходимо в изолированных помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении.

В случае воспламенения горючей жидкости необходимо выключить нагревательные приборы и вентиляцию. Руководствуясь противопожарной инструкцией, приступить к тушению пожара. Подходы к противопожарному инвентарю: ящикам с песком, водопроводным кранам, огнетушителям, асбестовому одеялу и электрощитам — должны быть всегда свободными.

Поражение электрическим током может произойти в случае прикосновения к металлическим частям оборудования, которые из-за некачественной изоляции

электропроводки или ненадежного заземления могут оказаться под напряжением.

В сухих помещениях опасным для человека считается напряжение выше 36 В. Смертельной является сила тока 0,1 А, а ток 0,05 А вызывает судорожное сокращение мышц, не позволяющее человеку оторваться от источника поражающего напряжения.

Для предупреждения поражения работающих электрическим током необходимо предусмотреть надежное заземление всех частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением, осуществить качественную изоляцию соединительных проводов и оградить все доступные для прикосновения токоведущие части оборудования.

В случае перерыва в подаче электрического тока или выхода из строя одной фазы все электроприборы и электродвигатели должны быть немедленно выключены.

При загорании проводов или электроприборов следует немедленно их обесточить и гасить сухим углекислотным огнетушителем и покрывалом из асбеста. Применять воду запрещается.

Искры статического электричества, возникающие при трении, дроблении, перемешивании порошков, при переливании жидкостей, могут быть источником пожара и взрыва. Для отвода статического электричества все металлические части аппаратов должны быть заземлены.

При поражении электрическим током необходимо отключить прибор или оторвать провод от человека нетокопроводящим предметом (палкой), проверить пульс пострадавшего и приступить в случае необходимости к искусственному дыханию, сообщить о случившемся в медпункт.

В Приложении 3 приведены свойства веществ, наиболее часто встречающихся в клеевых композициях. По температурам кипения и плавления, по плотности можно судить о физическом состоянии применяемых веществ. Температура воспламенения характеризует способность горючих веществ к самостоятельному горению. Это наименьшая температура,

при которой вещество после воспламенения устойчиво горит. Температура самовоспламенения — это наименьшая температура вещества, при которой возникает горение. По предельно допустимой концентрации (ПДК) определяют наибольшую безопасную концентрацию вредного вещества, которая допускается в воздухе рабочих помещений. В графе «Дополнительные сведения» приведены наименьшие концентрации, при которых наблюдается нарушение жизнедеятельности организма.

Необходимо помнить, что подготовка поверхности склеиваемых полимерных материалов обычно связана с их зашкуриванием, поэтому предельно допустимая концентрация (в мг/м³) пыли различных пластмасс в воздухе рабочей зоны помещения не должна превышать: для полиэтилена, полипропилена и фторопласта — 10, для поливинилхлорида, аминопласта и фенопласта — 6, для стеклопластиков — 4. Это вызвано тем, что при длительном воздействии на органы дыхания пыли различных полимерных материалов наблюдаются поражения бронхов, легких, болезни печени, почек, изменения в нервной системе. Уборка запыленных участков и оборудования должна проводиться с помощью промышленных пылесосов или влажным способом не реже одного раза в смену.

Соблюдение требований охраны труда является обязанностью каждого рабочего. Таким образом, рациональная организация рабочих мест, введение передовой технологии, соблюдение правил трудового распорядка, соблюдение правил техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной безопасности позволят добиться на предприятиях работы без травматизма.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПРИМЕР ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СКЛЕИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ КЛЕЕМ ТИПА БФ

Технические требования к клеям, склеиваемым поверхностям и рабочим помещениям

1. Клеи и их компоненты должны отвечать требованиям соответствующих государственных стандартов и технических условий.

2. Для выбора марки клея следует провести испытания склеенных приборов или их имитаторов в условиях, максимально приближающихся к эксплуатационным.

3. Поверхности склеиваемых элементов должны быть тщательно пригнаны друг к другу.

4. Шероховатость поверхности склеивания не должна быть менее 2,5 мкм.

5. Работы по склеиванию проводить в чистом, сухом и светлом помещении. Температура воздуха в помещении при склеивании не должна быть ниже 20 °С. Относительная влажность при склеивании не должна быть выше 75%.

Типовые технологические процессы

Подготовка поверхностей деталей к склеиванию

1. Склеиваемые поверхности из металлов и неметаллических материалов обработать шлифовальной шкуркой.

2. Обработку шлифовальной шкуркой не производить при склеивании поверхностей с химическим или гальваническим покрытием.

3. Склеиваемые поверхности элементов обезжирить бензином, ацетоном или спирто-бензиновой смесью. Выдерживать обезжиренные элементы при температуре 18—25 °С в течение 15—20 мин в шкафу, оборудованном вытяжной вентиляцией.

Допускается применение моющих составов, описанных выше, не вызывающих коррозии и обеспечивающих требуемое качество клеевого шва. Обезжиривание рекомендуется проводить в ультразвуковых ваннах типа УЗУ. Подготовленные к склеиванию элементы брать за склеиваемые поверхности только с помощью пинцета или специальных приспособлений.

Технологический процесс склеивания клеями типа БФ

1. Нанести на обе склеиваемые поверхности клей кистью или любым другим инструментом в зависимости от конфигурации склеиваемых поверхностей.

2. Выдержать поверхности с нанесенным клеем на воздухе не менее 15—20 мин, а затем в термостате при 55—60 °С в течение 15 мин.

3. Извлечь элементы, покрытые клеем, из термостата и охладить до комнатной температуры.

4. Нанести на склеиваемые поверхности второй слой клея и выдержать поверхности с клеем на воздухе 15—20 мин, а затем в термостате при 55—60 °С в течение 15 мин; элементы извлечь из термостата и охладить до комнатной температуры.

5. Совместить склеиваемые поверхности друг с другом и плотно прижать с помощью струбины или другого приспособления, обеспечив удельное давление 0,5—1 МПа (5—10 кгс/см²).

6. Поместить склеиваемые элементы, находящиеся под давлением, в термостат и отверждать при 155 ± 5 °С не менее 1 ч.

7. Извлечь склеенные элементы из термостата, охладить до комнатной температуры и освободить от прижимного приспособления.

Контроль склеенных элементов

При осмотре склеенных элементов контролировать: а) соответствие склеенных деталей чертежу и при необходимости эталону; б) плотность прилегания склеиваемых поверхностей; в) отсутствие непроклеев, наплывов, раковин, воздушных пузырей.

Требования безопасности при проведении процесса склеивания

1. К работе с клеями допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, обученные безопасным методам труда на рабочем месте и получившие разрешение врача.

2. Операции по приготовлению клеевых композиций, нанесению их на изделие и отверждению должны проводиться в изолированном помещении, оборудованном проточно-вытяжной вентиляцией.

3. При выполнении технологического процесса склеивания рабочие обеспечиваются спецодеждой, резиновыми и тканевыми перчатками.

4. Выполнение технологического процесса требует соблюдения «Правил пожарной безопасности для промышленных предприятий», утвержденных 25.08.54 Главным управлением пожарной охраны МВД СССР.

Запись в документации

При записи в технической документации указывать марку клея; цвет; наполнитель; способ подготовки склеиваемых деталей; режим сушки; обозначение стандарта.

**Приложение 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ
МЕТАЛЛОВ К СКЛЕИВАНИЮ**

Операция	Оборудование	Материалы	Режим		Дополнительные указания
			температура, °С	время, мин	
Обезжиривание	Установка для обезжиривания типа ГГ-1996	Трихлорэтилен	65±5	3-5	Расход трихлорэтилена 100-150 г/м ²
	Установка для обезжиривания типа УПН-5	Средство моющее ТМС-31 (50-80 г/л)	70±10	3-5	Расход моющего средства ТМС-31 от 30 до 50 г/м ²
	Шкаф вытяжной; емкость	Бензин-спирт (1:1); бязь	-	-	Применять в случае ручной протирки
Промывка проточной водой	Ванна типа Н92 $\frac{09}{16}$	-	80±10	0,5	Проводить при обезжиривании деталей растворами моющих средств
Сушка	Шкаф сушильный типа СНОЛ	-	90±10	до 15	
Гидропескоструйная обработка или зашкуривание	Установка гидропескоструйная типа Г881-011	Песок кварцевый электропроводный (400 г/л) или шлифовальная шкурка № 5-6	-	-	Давление воздуха от 0,1 до 1 МПа (от 1 до 10 кгс/см ²)
Обработка в антикоррозионном растворе	Ванна типа Н90 $\frac{01}{08}$	Натрий азотнокислый (100-150 г/л). Сода кальцинированная (8-12 г/л)	70±10	1-2	Производить только после пескоструйной обработки
Промывка проточной водой	Ванна типа Н93 $\frac{09}{13}$	-	20±10	0,5	-
Сушка	Шкаф сушильный типа СНОЛ	-	90±10	10-15	-
Контроль качества подготовки поверхности	Стол рабочий	-	-	-	Производить в соответствии с техническими требованиями стандарта

Приложение 3. СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ СКЛЕИВАНИИ

Вещество	Пример клея (марка)	Мол. масса	$T_{пл}^{\circ C}$	$T_{кип}^{\circ C}$	Плот- ность, г/см ³	$T_{всп}^{\circ C}$	$T_{само-воспл.}^{\circ C}$	ПДК, мг/м ³	Дополнительные сведения
Ацетон	ПУ-2	58	-95	56	0,8	-18	465	200	При концентрации в воздухе 5 мг/л вызывает изменения состава крови
Бензин (обезжиривание)	—	—	—	80—110	0,73	-30	300	100	При концентрации 1 мг/л — головная боль, раздражение
Винилацетат	ПВАД	86	-100	73	0,83	-8	380	10	При концентрации 0,1 мг/л — раздражение слизистых оболочек; наркотик
Гексаметилендиамин	ФЛ-4С	116	42	196	0,83	73	280	1	Вызывает экземы, нарушения в составе крови
Дибутилфталат	Д-86	278	-35	340	1,05	148	390	0,5	Малотоксичен
Диметиланилин	ВАК	121	2,5	193	0,95	53	400	0,2	Раздражает дыхательные пути, глаза и кожу
Дихлорэтан	ЛН	99	-35	83	1,25	-9	413	10	При концентрации 0,05 мг/л — головные боли, утомляемость
Дициандиамид	Эпоксид Пр	84	209	—	1,4	—	—	—	Трудногорючее вещество
Диэтилентриамин	*	103	—	208	—	—	—	1	Раздражает дыхательные пути, глаза и кожу
Малеиновый ангидрид	ЭЗК-4	98	52	202	0,93	70	376	1	При концентрации 0,005 мг/л раздражение глаз
Метилметакрилат	ВАК	100	-48	100	0,94	8	460	10	При концентрации 0,5 мг/л — раздражение слизистых оболочек
Натуральный каучук	Резиновый	—	—	—	0,91	129	—	—	—
Перекись бензоила	ВАК	242	103	При $T = 113^{\circ C}$		взрывается		5	Горюча, взрывоопасна. Рекомендуется 50% паста в дибутилфталате
Полиэтиленполиамин	Д-9	—	—	75 (при 10 мм рт. ст.)	0,98	134	—	1	Вызывает угнетение центральной нервной системы
Стирол	БОВ-1	104	-31	146	0,90	30	530	5	При концентрации 0,02 мг/л — раздражение слизистых оболочек глаз и носа; изменения в составе крови

Вещество	Пример клея (марка)	Мол. масса	$T_{пл}^{\circ C}$	$T_{кип}^{\circ C}$	Плот- ность, г/см ³	$T_{всп}^{\circ C}$	$T_{само-воспл.}^{\circ C}$	ПДК, мг/м ³	Дополнительные сведения
Толулендиизоцианат	ПУ-2	174	21	125 (при 18 мм рт. ст.)	1,23		400	0,5	При концентрации 0,003 мг/л — раздражение слизистых оболочек глаз и носа
Толуол	ПС	92	-95	110	0,87	4	490	50	При концентрации 0,75 мг/л — раздражение слизистых оболочек, головная боль
Трихлорэтилен (обезжиривание)		131	-73	87	1,48	—	390	10	Вызывает заболевания кожи
Триэтаноламин	Д-86	149	-21	360	1,12	179	395	1	Вызывает заболевания кожи
Уротропин	**	140	—	—	—	—	—	—	При длительном контакте возникают экземы с сильным зудом
<i>n</i> -Фенилендиамин	**	108	140	267	—	—	—	—	При контакте вызывает дерматит
Фенол	ВИАМ-Ф9	94	43	181	1,06	75	595	5	При концентрации 0,01 мг/л — утомляемость, головокружение, сердцебиение
Формальдегид (формалин)	М-70	30	-118	-19	(1,10)	(67)	(435)	0,5	При концентрации 0,05 мг/л — головная боль и слабость
Фталевый ангидрид	**	148	131	284	1,53	—	800	1	При контакте возможен ожог кожи
Хладон-113 (обезжиривание)		187	-35	47	1,6	—	—	800	Непожароопасен, невзрывоопасен
Эпихлоргидрин	ЭЛ-19	92,5	-25	116	1,17	40		1	Раздражает слизистые оболочки, вызывает сонливость
Этилацетат	88Н	88	-83	77	0,88	2	400	200	Раздражает слизистые оболочки глаз и носа; наркотик
Этиловый спирт (обезжиривание)		46	-114	78	0,79	13	365	1000	При концентрации 5 мг/л — невнимательность, утомляемость; наркотик
Этилцеллозольв (обезжиривание)		90	-70	130	0,93	52	235	200	

* Отвердитель для эпоксидных клеев холодного отверждения.

** Отвердитель для эпоксидных клеев горячего отверждения.

**Приложение 4. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
НЕКОТОРЫХ КЛЕЕВ**

Условные обозначения: ам.—аминопласты, б.—бетон, бум.—бумага, вп.—винилпласты, др.—древесина, кер.—керамика, лав.—лавсан, м.—металлы, па.—полиамиды, пен.—пенопласты, по.—химически обработанные полиолефины, пс.—полистирол, рез.—резина, сп.—стеклопластики, ст.—стекло, тк.—ткани, фен.—фенопласты, фт.—химически обработанный фторопласт.

Марка клея	Состав	Содержание, ч. (масс.)	Расход клея, г/м ²	Давление, МПа (кгс/см ²)	Температура склеивания, °С	Продолжительность отверждения, ч	Жизнеспособность при 20 °С	Склеиваемые материалы и интервал рабочих температур
ВК-32-200	Лак бакелитовый ИФ Продукт № 3	—	300	0,6—2 (6—20)	175—185	1—2	24 ч	М., фен., ам., тк., кер., др., сп., пен. —60 ÷ +200 °С
ВК-3	Лак бакелитовый ИФ Продукт № 4	—	300	0,6—2 (6—20)	160—170	1	до 24 ч	М., фен., ам., тк., кер., др., сп., пен. —60 ÷ +200 °С
БФ-2; БФ-4; БФ-6	Спиртовой раствор резольной смолы, моди- фицированной поливи- нилбутиралем	—	250	0,1—2 (1—20)	140—160	1—2	Не менее 6 мес.	М., фен., ам., тк., кожа, кер., др., бум., сп., пен. —60 ÷ +85 °С
БФР-2, БФР-4	Спиртовой раствор резольной смолы, моди- фицированной поливи- нилбутиральфурфуралем	—	300	1—2	180—200	2	Не менее 6 мес.	М., кер., др., сп., пен., —60 ÷ +200 °С
ВС-10Т	Фенолоформальдегид- ная смола, модифици- рованная поливинилаце- татом с алкоксисиланом	—	300	0,05—0,5 (0,5—5)	140—180	1—2	Не менее 6 мес.	М., кер., сп., —60 ÷ +180 °С
ВИАМ-Ф9	Спиртовой раствор резольной смолы и от- вердителя КПК-1	—	200	0,1—0,15 (1—1,5)	20	8	5	Др., сп., орг- стекло —60 ÷ +85 °С
М-70	Смола мочевиноформ- альдегидная	100	400	0,5—1 (5—10)	25 120	3 5 мин	2 ч	Др., бум. —60 ÷ +65 °С
Д-9	Хлористый аммоний Эпоксидная смола ЭД-16 или ЭД-20	1 100	200— 400	0,1—0,3 (1—3)	25 70 100	24 5 2—3	До 1 ч	М., фен., ам., по., фт., тк., кер., др., б., сп., пен. —60 ÷ +85 °С
	Дибутилфталат или полиэфиракрилат МГФ-9	10—15						
	Полиэтиленполиамин	12—15						
	Наполнители:							
	кварц молотый	80—200						
	или пудра алюми- ниевая	20—30						
	» аэросил	2—5						
	» тальк молотый	50—150						
	» карбонильное железо	200—700						
ЭДАФ	Эпоксидная смола ЭД-20	100	200— 400	0,1—0,3 (1—3)	10—25	24	до 45 мин	М., фен., тк., кер., др., б., сп., пен. —60 ÷ +80 °С
	Отвердитель АФ-2	30—45						
	Кварц молотый	80						
ЭЛ-19	Эпоксидная смола ЭД-20	100	150— 200	0,05—0,2 (0,5—2)	20 70	24	2 ч	М., фен., ам., по., фт., тк., кер., ст., др., б., сп., пен. —60 ÷ +70 °С
	Смола полиамидная Л-19	80						
ВК-9	Эпоксидная смола ЭД-20	60	150	0,05—0,1 (0,5—1)	20	24	2 ч	М., фен., ам., по., фт., тк., кер., ст., др., б., сп., пен. —60 ÷ +125 °С
	Смола ПО-300	40						
	Катализатор	0,6						
	состоит из:							
	продукта АГМ-3	98						
	продукта АДЭ-3	2						

Марка клея	Состав	Содержа- ние, ч. (масс.)	Расход клея, г/м ²	Давление, МПа (кгс/см ²)	Темпера- тура склеива- ния, °С	Про- должи- тель- ность отвер- жде- ния, ч	Жизнеспособ- ность при 20 °С	Склеиваемые материалы и интервал рабочих температур
	Наполнители:							
	асбест	5						
	или пудра алюми- ниевая	10						
	» окись циркония	10						
	» нитрид бора	60						
	» двуокись тита- на	10						
К-400	Смола Т-111	100	200	0,05—0,2	25	48	2 ч	М., фен., по., фт., кер., ст., сп., —196 ÷ +250 °С
	Смола полиамидная Л-20	40		(0,5—2)	80	4		
	Наполнители (окись хрома или нитрид бора или двуокись титана)	60						
ЭЗК-4	Эпоксидная смола ЭД-16	100	200	0,1—1 (1—10)	120	8	48 ч	М., фен., фт., кер., ст., сп., —60 ÷ +120 °С
	Малеиновый ангидрид	40						
	Диметиланилин	0,1—0,5						
	Полиэфиракрилат МГФ-9 или полиэфир № 220	10—20						
	Кварц молотый или карбонильное железо	150—250 200—750						
ПЭД-Б	Смола перхлорвини- ловая	15	200	0,1—0,2	25	24	1 ч	М., пс., вп., тк., др., бум., пен.
	Эпоксидная смола ЭД-20	13		(1—2)				
	Циклогексанон	10						—60 ÷ +60 °С
	Хлористый метилен	90						
	Полиэтиленполиамин	12—15						
ПДИ-Л	Эпоксидная смола ЭД-20	100	250	0,05—1 (0,5—10)	25 80	24 2	7 ч	М., фен., фт., тк., кер., ст., б., сп., пен.
	Каучук ПДИ-ЗАК	100						
	Смола ДЭГ-1 или ТЭГ-1	25						
	Смола полиамидная Л-20	130						
	Нитрид бора	220						
БОВ-1	Эпоксидная смола ЭД-20	59	200	0,05—0,1 (0,5—1)	25	72	3 ч	М., фен., фт., кер., б., сп., —60 ÷ +200 °С
	Мономер ФА	30						
	Стирол	11						
	Полиэтиленполиамин или полиамидная смола Л-20	10—12 30—38						
КЛН-1	Эпоксидная смола ЭД-20	100	200	0,05—0,1 (0,5—1)	25 100	24 4	1,5 ч	М., фен., фт., кер., б., сп., —60 ÷ +80 °С
	Смола ДЭГ-1 или ТЭГ-1	20						
	Тиокол жидкий	30						
	Полиэтиленполиамин	10—15						
ВТ-10	СмолаДФМ-135	100	250	0,1—0,5 (1—5)	25	24	7 ч	М., фен., кер., сп., —196 ÷ +80 °С
	Смола полиамидная Л-20	40						
	Нитрид бора Аэросил	60 2						

Марка клея	Состав	Содержание, ч. (масс.)	Расход клея, г/м ²	Давление, МПа (кгс/см ²)	Температура склеивания, °С	Продолжительность отверждения, ч	Жизнеспособность при 20 °С	Склеиваемые материалы и интервал рабочих температур
Д-86	Эпоксидная смола ЭД-16 Дибутилфталат Триэтанолламин Ацетон	100 10 10 60—80	250	0,1—0,5 (1—5)	120	10	1 мес.	М., сп. —60 ÷ +100 °С
ФЛ-4С	Композиция из эпоксидной и фурилфенолацетатной смол, диоктилсебацината и гексаметилендиамина в спирто-ацетоновой смеси	—	200	0,1 (1)	240	2	8 ч	М., сп. —60 ÷ +60 °С
ЭН	Эпоксидно-новолачный блоксополимер	100	150	0,1—0,5 (1—5)	180	6	Не менее 2 лет	М., фен., фт., кер., ст., сп., б. —196 ÷ +100 °С
БЭН-50П	Эпоксидно-новолачный блоксополимер Поливинилбутираль Пластификатор ТГМ-3	50 50 15	100	0,1—0,5 (1—5)	180	4—6	Не менее 1,5 лет	М., фен., фт., тк., кер., ст., сп. —253 ÷ +80 °С
Эпоксид П и ПР	Эпоксидная смола ЭД-8 Дициандиаמיד	100 8	200	0,03—0,3 (0,3—3)	180	1	1 год	М., фен., сп., кер. —60 ÷ +120 °С
ПУ-2	Полиэфир 24К Продукт 102Т Портландцемент Ацетон	200 100 25 200	150—300	0,05—0,3 (0,5—3)	25 60 80 105	24 10 6 4	2 ч	М., фен., ам., пс., па., вп., лав., по., фт., тк., кер., др., сп., пен. —60 ÷ +85 °С
Вилад-11к	Двухкомпонентный полиуретановый клей	—	200	до 0,1 (1)	25 75	24 6	До 4 ч	М., фен., ам., тк., др., сп., пен. па., фт., по. —196 ÷ +100 °С
ГИПК-92	Клей на основе полиуретанового каучука	—	150	0,05—0,1 (0,5—1)	180 20	4 72	24 ч	М., лав., по., фт. —60 ÷ +100 °С
ВАК	Раствор полибутилметакрилата в метилметакрилате Продукт АТЖ Паста перекиси бензоила	100 10 6—8	500	0,02 (0,2)	25	1	До 1 ч	М., фен., ам., сп., кер., пен. —60 ÷ +80 °С
ПН-1	Диметиланилин Полидиэтиленгликольфталатмалеинат Стирол Кварц молотый Гипериз Нафтенат кобальта	0,5—1 65 35 100—150 3 5	200	0,05—0,1 (0,5—1)	20	24	До 1 ч	М., фен., пс., др., сп., пен. —60 ÷ +80 °С
ТМ-60	Полиэфирная смола ТМ-60 Хлористый метилен или дихлорэтан	4—10 90—96	200	0,05—0,1 (0,5—1)	150	0,5	Не ограничена	М., лав. —60 ÷ +60 °С
ВК-10	Композиция на основе кремнийорганической смолы и полиорганоборосилоксана с асбестом	—	300	0,8 (8)	200	3	6 мес	М., кер. До +1200 °С

Марка клея	Состав	Содержание, ч. (масс.)	Расход клея, г/м ²	Давление, МПа (кгс/см ²)	Температура склеивания, °С	Продолжительность отверждения, ч	Жизнеспособность при 20 °С	Склеиваемые материалы и интервал рабочих температур
ГИПК-143	Клей-расплав на основе сополимера этилена с винилацетатом	—	250	0,1—0,5 (1—5)	75	1 мин	не ограничена	Др., бум., тк. —60 ÷ +60 °С
Циакрин ППН	Этилцианакрилат	100	150	0,1 (1)	25	1 мин		М., фен., ам., пен. —40 ÷ +80 °С
	Аэросил	5						
ПВ-16	Перхлорвиниловая смола	100	100	0,1—0,2 (1—2)	20	4		Вп., тк., бум. —40 ÷ +60 °С
	Дибутилфталат	20—30						
	Дихлорэтан	200						
ПММ	Полиметилметакрилат	2	200	0,05—0,2 (0,5—2)	25	24	не ограничена	Оргстекло —60 ÷ +60 °С
	Дихлорэтан	98						
ПС	Полистирол	4—40	200	0,1—0,3 (1—3)	25 60	15 3	не ограничена	Пс. —50 ÷ +60 °С
	Толуол Бутилацетат	4—5 55—92						
ПВАД	Поливинилацетатная дисперсия	—	250	0,3 (3)	25	24	—	Бум., тк., др. —40 ÷ +60 °С
С-8	Поливинилацетат Органический растворитель	20	100	до 0,1 (1)	20	10	—	Тк., бум., др. —40 ÷ +60 °С
		80			80	0,5	—	
БАВ-4М	Сополимер винилацетата, бутилметакрилата и акриловой кислоты Органический растворитель	20	100	до 0,1 (1)	20	10	—	Бум., тк., лав. —40 ÷ +40 °С
		80			80	0,5	—	
БМК-5	Сополимер бутилметакрилата и метакриловой кислоты Ацетон	20	100	до 0,1 (1)	20	10	—	М., тк., бум. —40 ÷ +60 °С
		80						
ГИПК-21-11	Композиция на основе хлоропренового каучука, модифицированного фенолоформальдегидной смолой	—	400	0,05—0,1 (0,5—1)	70—90	10—12	5 ч	М., вп., рез., пен. 0 ÷ +110 °С
88Н, 88НП	Раствор наиритового каучука и бутилфенолоформальдегидной смолы в смеси этилацетата и бензина	—	300	0,02—0,1 (0,2—1)	25	24	3—9 мес.	М., вп., тк., др., бум., ст., рез. —60 ÷ +70 °С
ЛН	Раствор наиритового каучука в дихлорэтане Клей Лейконат	2	250	0,05—0,2 (0,5—2)	25	24	24 ч	М., фен., ам., пс., па., вп., лав., тк., кер., др., бум., рез., сп., пен. —60 ÷ +120 °С
		1			70	6		

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Кардашов Д. А. Синтетические клеи. 3-е изд. М., Химия, 1976. 504 с.

Клеи и герметики/Под ред. Д. А. Кардашова. М., Химия, 1978. 200 с.

Сборник технических условий на клеящие материалы/Под ред. Д. А. Кардашова. Л., Химия, 1975. 464 с.

Хрулев В. М. Синтетические клеи и мастики. М., Высшая школа, 1970. 368 с.

*Мая Степановна Тризно
Евгений Владимирович Москалев*

КЛЕИ И СКЛЕИВАНИЕ

Редактор Л. М. Танезер
Техн. редактор Ф. Т. Черкасская
Художник А. Я. Михайлов
Корректор Г. А. Лебедева

ИБ № 911

Сдано в наб. 25.08.79. Подп. в печ. 11.03.80. М-27626. Формат бумаги 84×108^{1/2}.
Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 6,3.
Уч.-изд. л. 6,43. Тираж 28 000 экз. Заказ 317. Цена 30 коп. Изд. № 1587.

Ордена «Знак Почета» издательство «Химия», Ленинградское отделение,
191186, Ленинград, Д-186, Невский пр., 28.

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 2 имени
Евгении Соколовой «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете
СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052,
Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29