

Надежное соединение поверхностей с помощью конструкционного клея: выбор и применение

В статье рассматриваются особенности выбора клеящего вещества в соответствии с требованиями к конечному применению.

Роман Симонов

rsimonov@mmm.com

Для чего нужен конструкционный клей

Конструкционные клеи применяют для многих сборочных операций. В отличие от механических способов крепления при использовании монтажного клея:

- не повреждается поверхность (не нужно высверливать отверстия, не возникает тепловая деформация, как, например, при сварке металла);
- возможно соединять разнородные материалы без возникновения электрохимической коррозии;

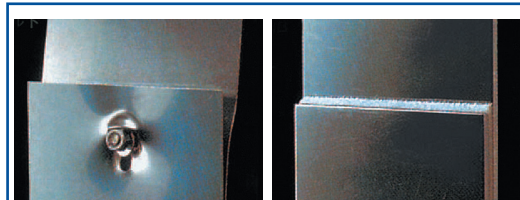


Рис. 1. Клеевое соединение (справа) распределяет нагрузку без деформации конструкции

- удобно соединять предметы различной геометрической формы;
- не создается напряжение на нескольких локальных участках, что увеличивает усталостную прочность;
- не требуется повторная отделка;
- нет выступов, что более эстетично (рис. 1).

По сравнению с другими типами клеящих веществ у монтажного клея самая высокая способность выдерживать нагрузку, хорошая стойкость к воздействию окружающей среды и химическая стойкость. Как правило, формула монтажного клея на 100% состоит из твердых веществ (в формуле отсутствуют растворители); есть конструкционные клеи с различными механическими свойствами и временем затвердевания. Затвердевание конструкционного клея — необратимый процесс, который обеспечивает отличную термостойкость и стойкость к действию растворителей. Для высыхания не требуется доступ воздуха или влажность, как для однокомпонентных силиконовых и полиуретановых герметиков; таким образом, у конструкционного клея неограниченная толщина затвердевания.

У конструкционного клея так много характеристик и применений, что инженер может оказаться в затруднительном положении, определяя, какой вид клея использовать. В статье мы попытаемся прояснить этот вопрос. По сравнению с другими видами клеящих веществ, однако, применение конструкционного клея менее очевидно, а на его характеристики могут значительно влиять способы обработки и подготовки поверхностей. Эти проблемы будут рассмотрены ниже (рис. 2).

Выбор конструкционного клея

При выборе конструкционного клея можно проконсультироваться с представителем компании-поставщика либо со сторонним специалистом. Например, в технологическом центре компании «ЗМ Россия» технические сотрудники лаборатории промышленных лент и клеев могут предложить подготовить образцы соединяемых поверхностей, заполнить небольшую анкету с вопросами о конкретном применении и направить образцы и анкету в лабораторию для детального анализа и подбора клеевого состава, а также дать рекомендации по работе с выбранным техпроцессом (рис. 3).



Рис. 2. Типы клеящих средств

В некоторых ситуациях, в силу специфики применения, нежелательно привлекать посторонних экспертов. В таком случае при выборе монтажного клея инженер должен руководствоваться общими принципами. Однако независимо от того, каким образом будет определен тип монтажного клея, ключевым моментом остается испытание: нельзя принять окончательное решение, не проведя специальные тесты и проверки. Тем не менее существуют основные принципы отбора некоторых типов клеев для испытаний.

Можно выбрать монтажный клей, руководствуясь требованиями, которые предъявляют к конечному применению, и сопоставив различные виды обработки и характеристики разных монтажных клеев.

В частности, условия конечного применения предусматривают следующее:

- Ожидаемые условия при конечном применении:
 - температура (насколько жарко или холодно);
 - влажность (будет ли материал попадать под дождь или под воздействие соленой воды);
 - ультрафиолетовое излучение (будет ли клеевое соединение находиться на солнце и может ли ультрафиолетовое излучение проникать сквозь материал поверхности, достигая клеевого вещества).
- Необходимая химическая стойкость:
 - будут ли контактировать жидкости (моторное масло, бензин, дизельное топливо, реактивное топливо) с клеевым соединением;
 - как часто будет производиться мойка клеевого соединения моющими растворами (слабыми кислотами и основаниями);
 - имеются ли какие-либо особые химические вещества, которые могут попасть на склеенную деталь;
 - будет ли такой контакт постоянным (например, в блоке фильтрации) или периодическим.
- Чистота/проблемы охраны окружающей среды в процессе производства и конечного использования:
 - дегазация, содержание ионов, потенциал коррозии — является ли склеиваемая деталь чувствительной к данным факторам (например, электроника или оптика);
 - токсичность, утилизация — имеются ли нормативы, которые необходимо соблюдать (будет ли клей использоваться в упаковках пищевых продуктов или в медицинском приборе).
- Механические нагрузки:
 - удары, вибрация (будет ли склеенная деталь подвергаться сильным ударным или вибрационным воздействиям при использовании);
 - тип и величина нагрузки (насколько высока нагрузка на линию склейки, какие виды нагрузок будет испытывать линия склейки). Этот сложный вопрос будет рассмотрен в другой статье данной серии материалов.

Общие ответы на вопросы — надо ли учитывать стойкость к воздействию раствори-



Рис. 3. Основные инструменты лаборатории клеевых материалов:
а) разрывная машина; б) климатическая камера

телей? будет ли деталь подвергаться постоянной вибрации? — помогут определить, какой тип монтажного клея необходимо рассматривать. В то же время ответы на вопросы, воздействие какой температуры будет испытывать клей в процессе конечного использования и какую именно массу должно выдерживать клеевое соединение, позволят сделать правильный выбор продукта на основе технических паспортов изделий, предоставленных изготовителями, и результатов тестов на пригодность.

Типы стандартных клеев и оценка их характеристик

В целом виды монтажных клеев можно классифицировать в зависимости от химического состава. В статье мы определим монтажный клей как выдерживающий напряжение сдвига свыше 7 МПа при склеивании металла и проведении испытаний при комнатной температуре. Несмотря на то, что существуют гибридные виды, в основном монтажные клеи подразделяют на следующие категории:

- эпоксидные смолы (одно- и двухкомпонентные составы);
- акрилы (двухкомпонентные составы и составы для двухэтапного применения);
- уретаны (двухкомпонентные составы);
- цианоакрилаты («моментальные клеи»).

Конечно, каждую категорию можно до некоторой степени приспособить для определенного применения, но также допустимо провести их грубое сравнение на основании общих свойств, присущих конкретному составу. Сопоставление химических составов клеев приведено в таблице 1. Свойства варьируются

многочисленными добавками, такими как сгустители (для повышения вязкости или жесткости), разбавители (для уменьшения вязкости), пластификаторы, и другие. Кроме того, для изменения времени затвердения используются специальные отвердители и катализаторы. Соответственно, инженерам следует обратить внимание на особые свойства интересующих их видов монтажного клея.

В общем, справедливо следующее: акрилы в целом обеспечивают самое прочное склеивание пластмасс, а также хорошее склеивание металлов, в том числе многих металлов, загрязненных маслом. Однако они более жесткие по сравнению с эпоксидными смолами и обладают более низкой устойчивостью к вибрации (ударам), поскольку отличаются более низкой усталостной прочностью. Уретаны достаточно эластичные, но в целом имеют более низкую прочность. Они сравнительно хорошо склеивают пластмассы и резину и дешевле по сравнению с другими категориями монтажных клеев.

Эпоксидные смолы имеют различные свойства и лучше всего подходят для склеивания металлов. Стандартные «5-минутные» жесткие эпоксидные клеи, продающиеся в строительных и хозяйственных магазинах, являются хрупкими и предназначены для таких применений, где не предполагается воздействие сильных нагрузок и ударов. Эластичные эпоксидные клеи обладают высокой прочностью на отрыв и, следовательно, лучшей ударной прочностью; они также пригодны для склеивания деталей, при конечном использовании которых может потребоваться некоторая гибкость. Ударопрочные эпоксидные клеи, такие как 3M ScotchWeld DP420 и DP460, содержат эластомерные слои, поглощающие удары, и обеспечивают самую высокую устойчивость к напряжению сдвига, отрыву, ударам, вибрации и усталостным нагрузкам. Их выбирают в тех случаях, когда при конечном применении предъявляются наиболее высокие требования. В общем, однако, при использовании эпоксидных клеев следует тщательно очищать склеиваемые металлические поверхности от масла (исключение составляет большинство однокомпонентных эпоксидных клеев с горячим отверждением и двухкомпонентный эпоксидный клей 3M ScotchWeld DP920, который подходит для склеивания большинства замасленных металлов).

Таблица 1. Сравнение физико-химических свойств различных типов монтажных клеев

Свойство	Эпоксидные смолы	Акрилы	Уретаны	Цианоакрилаты
Напряжение сдвига при соединении внахлест — металлы	Высокая прочность	Достаточная прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа	Нежелательно использовать клеи данного типа
Напряжение сдвига при соединении внахлест — пластмассы	Высокая прочность	Высокая прочность	Достаточная прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа
Напряжение сдвига — замасленные металлы	Высокая прочность	Высокая прочность	Достаточная прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа
Прочность на отрыв	Высокая прочность	Достаточная прочность	Достаточная прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа
Ударопрочность и ударная вязкость	Высокая прочность	Достаточная прочность	Достаточная прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа
Эластичность	Высокая прочность	Достаточная прочность	Высокая прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа
Диапазон термостойкости	Высокая прочность	Достаточная прочность	Достаточная прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа
Устойчивость к воздействию растворителей	Высокая прочность	Достаточная прочность	Достаточная прочность	Нежелательно использовать клеи данного типа

Примечание:

- высокая прочность
- достаточная прочность
- нежелательно использовать клеи данного типа

Таким образом, если инженеру нужно склеить АБС с нержавеющей сталью, при этом деталь будет испытывать умеренное воздействие окружающей среды (например, от -6 до +65 °С) и слабое вибрационное или ударное воздействие, вероятным выбором будут эпоксидные и акриловые клеи. Если добавить критерии устойчивости к вибрации и ударам, следует воспользоваться эпоксидными клеями или ударопрочными акрилами.

Когда надо склеить дерево с пластмассой и в дальнейшем использовать изделие вне помещения, при условии возможного значительного перемещения подложки ввиду погодных изменений, стоит рассмотреть уретаны, обладающие эластичностью. Если необходима более высокая прочность, предпочтительнее эластичный эпоксидный клей.

Склеивание пластмасс с низкой поверхностной энергией, таких как полиэтилен повышенной плотности, между собой или с другими пластмассами потребует применения специального акрилового клея — 3M ScotchWeld DP8010.

Разумеется, иногда окончательная прочность или определенные характеристики могут не понадобиться. В таком случае можно сделать выбор на основе физико-химических свойств клеев, которые будут рассмотрены далее.

Технологические свойства клеев

После того как инженер определил, какой вид клея соответствует требованиям, предъявляемым к конечному использованию, следует рассмотреть технологические свойства клея и особенности обращения с ним. Здесь нужно учитывать свойства клея от условий хранения и срока хранения на складе до удобства работы в процессе сборки. Как показано в таблице 2, монтажные клеи различного химического состава обладают разными свойствами.

Анализируя технологические свойства клеев, надо делать различие между однокомпонентными и двухкомпонентными эпоксидными составами, поскольку они требуют очень разного обращения и обработки. В однокомпонентных эпоксидных клеях основа и отвердитель предварительно перемешаны, что устраняет необходимость отдельно отмерять и смешивать компоненты, но при этом возникают проблемы со сроком хранения (преждевременное старение), к тому же для подобных составов требуется горячее отверждение (обычно +120...+175 °С). Таким образом, по сравнению с двухкомпонентными эпоксидными клеями однокомпонентные составы предусматривают аккуратное обращение, но их сравнительно легко распределить, причем им всегда нужен дополнительный нагрев для отверждения. Как правило, однокомпонентные эпоксидные клеи обеспечивают самую высокую прочность на сдвиг и наилучшую термостойкость и устойчивость к воздействию растворителей (табл. 2).

Очень часто выбирают цианоакрилаты, поскольку они весьма удобны в работе: не требуют смешивания и имеют очень продолжительный срок годности при открытой выдержке до того, как затвердеют.

Таблица 2. Сравнение технологических свойств различных типов монтажных клеев

Свойство	Однокомпонентные эпоксидные клеи	Двухкомпонентные эпоксидные клеи	Акрилы	Уретаны	Цианоакрилаты
Требования к хранению	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Срок хранения на складе	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Нужно ли отмерять/смешивать?	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Затвердевает ли при комнатной температуре?	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Срок годности после смешивания компонентов	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Возможно ли изменение положения деталей перед схватыванием?	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Время схватывания/отпускная прочность	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Полное время отверждения	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Диапазон вязкости	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Запах	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий
Возможные проблемы в связи с техникой безопасности	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий

Уровень технологичности:

■ высокий
 ■ приемлемый
 ■ низкий

Их недостатки заключаются в том, что как только склеиваемые детали совмещены, их положение нельзя изменить; кроме того, присутствует характерный запах и существует вероятность случайного склеивания кожи. Помимо этого, для некоторых видов применения может стать проблемой тенденция цианоакрилатов к образованию налета (он фактически является испаренным мономером, который осаждается на деталях) — моментальные клеи со слабовыраженным запахом 3M ScotchWeld LO5 и LO100 образуют незначительный налет.

Двухкомпонентные эпоксидные клеи, акрилы и уретаны требуют некоторого времени на отверждение после смешивания частей и совмещения склеиваемых поверхностей; таким образом, допускается изменение положения деталей, но при этом необходимо закрепить детали на месте до тех пор, пока клей не схватится. Данный период времени называется временем схватывания, временем фиксации или временем набора отпускной прочности — производители называют его по-разному, поэтому инженеру необходимо тщательно изучить данные, указанные в паспорте изделия, чтобы точно определить параметры каждого клеящего средства. Как и цианоакрилаты, эти компоненты устойчивы при комнатной температуре до смешивания; срок хранения при комнатной температуре наибольший для двухкомпонентных эпоксидных клеев и наименьший для уретанов, чувствительных к влажности, и акрилатов, чувствительных к изменениям температуры.

Обычно двухкомпонентные клеи поставляют в наливном виде и используют метод отмеривания и смешивания; они могут быть упакованы в контейнеры с двумя отмеренными компонентами рядом (как, например, в системе 3M EPX Duo-Pak), что обеспечивает смешивание в надлежащих пропорциях. Также могут поставляться в маленьких баночках или тубиках, при этом требуется вручную отмерять и смешивать компоненты. В двухкомпонентную систему EPX Duo-Pak входят распо-



Рис. 4. Контейнер с двумя компонентами и неподвижная насадка для смешивания — ручной инструмент 3M EPX Plus II

ложенные рядом цилиндры с отмеренными компонентами, что обеспечивает надлежащие пропорции при смешивании, и одноразовые неподвижные насадки для смешивания, способствующие правильному смешиванию. Кроме того, предусмотрено множество ручных инструментов (рис. 4).

Примечание относительно отверждения двухкомпонентных клеев

Клеящие вещества, затвердевающие вследствие химической реакции (в том числе двухкомпонентные клеи), чувствительны к изменениям температуры при отверждении. В теплых условиях они затвердевают быстрее (и, следовательно, у них более короткий срок годности после смешивания компонентов, время открытой выдержки и время набора отпускной прочности). В холодных условиях затвердевание происходит медленнее, при этом указанные сроки возрастают. Таким образом, при использовании клеящих веществ, при отсутствии регулирования температуры, пользователь должен учитывать разницу температур между фактической и стандартной комнатной температурой, равной +21...+24 °С, к которой обычно относятся данные изготовителей о сроке годности после смешивания компонентов и времени набора отпускной

прочности. Можно руководствоваться следующим очень приблизительным правилом: при использовании клея вне помещения в жаркий летний день время открытой выдержки сократится вдвое по отношению к указанному изготовителем в паспорте изделия; тогда как в холодный весенний или осенний день, когда температура может ненамного превышать 10 °С, указанные сроки могут увеличиться вдвое. Соответственно, необходима особая аккуратность для быстрого склеивания в жаркий день, а в холодную погоду может потребоваться большее время на схватывание. Помимо изменения времени отверждения, клей также будет разжижаться в теплых условиях (то же самое происходит, например, при подогреве меда или кленового сиропа) и сгущаться в холодных условиях. Загустевание может привести к меньшему образованию поперечных связей и более низкой прочности после затвердевания; в общем, рекомендуется использовать двухкомпонентные составы при температуре +15...+27 °С, при этом минимальная температура применения равна около +4 °С.

Можно сделать вывод, что время отверждения двухкомпонентных составов сокращается при использовании нагрева. Обычно для этого применяют сушильную печь или источники лучистого нагрева. Возможное время отверждения определяют с помощью паспортов изделий и других данных, предоставленных изготовителями.

В процессе склеивания вязкость также имеет значение; монтажные клеи каждой категории

обладают различной вязкостью. В целом, наибольшим диапазоном вязкости отличаются двухкомпонентные эпоксидные клеи и уретаны, чья консистенция варьируется от жидкой до пастообразной. Неоседающие клеящие вещества могут иметь сниженную вязкость при сдвиге: это обеспечивает сравнительно легкое нанесение, но при этом они не растекаются и не оседают после нанесения.

В состав монтажного клея обычно не входят растворители, но в нем могут содержаться летучие органические химические компоненты либо другие вещества, имеющие запах или вызывающие раздражение кожи или органов дыхания. А потому перед использованием клея рекомендуется ознакомиться с паспортом безопасности материала.

Выводы

Для выбора клеящего вещества необходимо в первую очередь учесть требования, предъявляемые к конечному использованию. На основе этих данных и информации, предоставленной изготовителями, выберите несколько видов клеев. Затем сделайте выбор клея с учетом требований к окружающей среде в процессе работы наряду с процессом изготовления продукта. В результате у вас останется сравнительно небольшое количество клеев, обладающих необходимыми характеристиками и технологическими свойствами. Для окончательного выбора рекомендуется провести испытания и подтверждение на пригодность. Обычно

тесты на прочность при сдвиге соединенных внахлест поверхностей проводятся для определения прочности клея на конкретных подложках или при определенных условиях окружающей среды, кроме того, часто проводят испытания на отрыв. Подробные условия испытаний определяются в зависимости от конкретного проекта; не полагайтесь лишь на результаты, приведенные в технических паспортах на изделия, предоставленных изготовителями.

Тем не менее даже наиболее тщательно выбранный клей может не дать приемлемых характеристик, если склеиваемые поверхности не были подготовлены надлежащим образом или если соединение имеет неудачную конструкцию. Влияние данных факторов будет рассмотрено в следующей статье. ■■■