

Основные определения

Клеи — полимерные композиции, предназначенные для соединения различных материалов вследствие образования прочных связей между их поверхностями и клеевой прослойкой.

Клеи-компаунды или компаунды – многокомпонентные полимерные композиции, предназначенные для заливки поврежденных мест, полостей и пустот в изделиях различных габаритов и назначения.

Клеи-шпатлевки – многокомпонентные высоковязкие полимерные композиции, обладающие повышенной прочностью после отверждения. Клеи-шпатлевки имеют в своем составе порошки металлов, состоящие из очень небольших по размеру поверхностно активных частиц. Данные клеи образуют прочную химическую связь с молекулами полимерного связующего. Этим клеи-шпатлевки принципиально отличаются от обычных клеев с наполнителем, частицы которого только физически – посредством адгезионной/клеевой связи - соединены между собой.

Клеи-герметики обладают свойствами и клеев, и герметиков.

Заливочные компаунды должны обладать:

- соответствующей вязкостью, обеспечивающей хорошее заполнение необходимых объемов;
- механической прочностью в полимеризованном состоянии, отвечающей возможным статическим и динамическим нагрузкам в условиях эксплуатации;
- малой водопоглощаемостью и влагопроницаемостью;
- высокой электрической прочностью; стабильностью электрических характеристик в рабочих условиях; нагревостойкостью и термостойкостью при циклическом изменении температур.

Все клеи и компаунды, в основном, делятся на термопластичные и термореактивные/отверждаемые

Термопластичные клеи/компаунды не любят высокой температуры и растворителей, но имеют хорошую эластичность. Соединения на этих клеях/компаундах обладают невысокой прочностью, но большей стойкостью к вибрации, чем термореактивные.

Термореактивные клеи/компаунды теплостойки, но подвержены ударам и вибрациям.

Основные характеристики клеев и

компаундов

Разрушение - разрыв физических и/или химических связей между элементами тела (атомами, молекулами, ионами), приводящий к разделению образца на части (разрыв или скол).

Механическая прочность – сопротивление материала разрушению. Измеряется в Па (МПа), или кгс/см²

Хрупкое разрушение – разрушение, которому предшествуют только обратимы (упругие) деформации.

Пластическое разрушение – разрушение, которому предшествуют пластические деформации, обусловленные перегруппировкой отдельных элементов структуры тела.

Вязкость (внутреннее трение) – свойство жидких, а также газообразных и твердых тел оказывать сопротивление их течению – перемещению одного слоя тела относительно другого под действием внешних сил.

Кинематическая вязкость - мера потока имеющей сопротивление жидкости под влиянием силы тяжести. Когда две жидкости равного объема помещены в идентичные капиллярные вискозиметры и двигаются самотеком, вязкой жидкости требуется больше времени для протекания через капилляр. Если одной жидкости требуется для вытекания 200 секунд, а другой - 400 секунд, вторая жидкость в два раза более вязкая, чем первая по шкале кинематической вязкости.

Абсолютная вязкость, иногда называемая **динамической или простой вязкостью**, является произведением кинематической вязкости и плотности жидкости. По мере повышения температуры вязкость жидкости быстро уменьшается и нередко падает наполовину при повышении температуре на 40 °С. Это происходит потому, что при повышении температуры увеличиваются средние расстояния между молекулами и ослабляется взаимное притяжение между ними. Для органических веществ вязкость растет с возрастанием молекулярного веса, с введением в молекулу полярных групп

Теплопроводность - способность полимера переносить тепло от более нагретых элементов к менее нагретым; зависит от химической структуры и физического состояния и мало меняется с ростом температуры.

Температуропроводность – это параметр, характеризующий скорость распространения температуры под действием теплового потока.

Теплоемкость – это количество тепла затрачиваемое для изменения температуры полимеров на 1⁰С. Различают теплоемкость при постоянном давлении и теплоемкость при постоянном объеме. Различие между C_p и C_v для полимеров начинает сказываться лишь при повышенных температурах.

Набухание - сорбция (поглощение) низкомолекулярного вещества полимером, сопровождающаяся увеличением его массы, объема и изменением структуры.

Неограниченное набухание - набухание, самопроизвольно переходящее в растворение.

Ограниченное набухание - процесс взаимодействия полимеров с низкомолекулярными жидкостями, ограниченный только стадией их поглощения полимером; самопроизвольного растворения полимера не происходит, то есть цепи полимера полностью не отделяются друг от друга.

Теплостойкость полимеров – свойство, определяющее формоустойчивость полимеров, в том числе деформационную, при нагревании.

Термостойкость полимеров - свойство, определяющее химическую устойчивость полимеров при нагревании.

Огнестойкость полимеров непосредственно связана с их устойчивостью к термоокислительной деструкции. Проблема огнестойкости полимеров и полимерных материалов требует решения вопросов горючести, дымообразования и токсичности продуктов горения.

Тепловой пробой - **разрушение диэлектрика за счет прогрессирующего локального энерговыделения при протекании тока в среде.** Тепловой пробой возникает вследствие положительного температурного коэффициента электропроводности диэлектриков, т.е. увеличения электропроводности диэлектрика с ростом температуры.

Частичный разряд - локальный лавинный разряд в газовой поре диэлектрика. Каждый разряд оказывает воздействие на диэлектрик за счет образования активных радикалов, излучения, повышенной температуры. Интенсивность ЧР зависит от напряженности поля. Поскольку разряды обычно возникают на каждом полупериоде синусоидального напряжения, поэтому с течением времени их действие нарастает. Это ведет к постепенному разложению материала, росту давления в поре, образованию проводящих частиц (обугливание) и, в конце концов, к образованию дендрита, беспорядочного образования в теле диэлектрика, имеющего

Классификация компаундов

По назначению

Пропиточные (без наполнителей)

Сохраняют невысокую вязкость в течение 4-5 ч при $t = 15-35\text{ }^{\circ}\text{C}$

Заливочные или формовочные (с наполнителями)

Обладают высокой прочностью, легко наносятся, могут заполнять большие зазоры и полости.

Твёрдые и ударопрочные
(высокие значения прочности и модуля упругости)

Мягкие и эластичные
(высокие значения относительной деформации)

По структуре

Термопластичные-термокомпаунды

При нормальных условиях представляют собой твердые или смолообразные массы. В жидкое состояние переводятся путём нагрева. Отвердевание происходит при охлаждении расплава компаунда. Возможен ремонт залитых компаундами изделий. Низкая термостойкость.

Термореактивные

Необратимо отвердевают в результате происходящих в жидком состоянии химических реакций. Ремонт залитых компаундами изделий исключен. Высокая термостойкость.

По виду полимерной основы

- Эпоксидные;
- Полиуретановые;
- Фенолформальдегидные;
- Акриловые;
- Кремнийорганические;
- Эпоксикремнийорганические;
- Термопластичные на базе синтетических каучуков, битума, канифоли и др.;
- На основе термореактивных (отверждаемых) синтетических каучуков

Пропиточные компаунды

Пропиточный компаунд – полимерный состав, который применяют для пропитки обмоток электродвигателей и аппаратов. При разработке или изготовлении систем изоляции пропиточные компаунды выбирают, основываясь на их эксплуатационных и технологических свойствах. В первую очередь **оценивается класс нагревостойкости компаунда**, т.е. возможность длительной работы при определенной температуре, в частности по классу Н – 180 °С и классу С – свыше 180 °С. **Класс нагревостойкости материалов** определяется по изменению электрических (удельное объемное электрическое сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь, электрическая прочность), механических (цементирующая способность), химических (потеря массы) свойств в процессе длительного старения при повышенных температурах.

Общая оценка электроизоляционных материалов. Для хороших электроизоляционных материалов удельное объемное электрическое сопротивление должно составлять 10^{14} - 10^{16} Ом · м, а тангенс угла диэлектрических потерь не должен превышать 0,01. Соответственно, низкокачественные электроизоляционные материалы для электротехнических изделий неответственного исполнения могут иметь удельное объемное электрическое сопротивление 10^6 - 10^8 Ом · м, а тангенс угла диэлектрических потерь может превышает 0,1.

Диэлектрические потери это электрическая мощность, поглощенная в диэлектрике под действием приложенного к нему напряжения. Эта мощность рассеивается в изоляции, превращаясь в тепло. Если учесть, что с ростом температуры тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрика существенно возрастает, то для каждого материала наступает момент по температуре, когда теплосъем с изоляции за счет какого-либо теплоносителя становится недостаточным для компенсации тепла, выделившегося в диэлектрике. С этого момента начинается автокаталитический процесс саморазогрева изоляции, который может и должен привести к тепловому пробое изоляции.

Применительно к высоковольтной изоляции очень важное значение для пропиточных компаундов имеет коэффициент усадки и совместимость с изоляционной основой. *Малая величина коэффициента усадки* (химическая и термическая составляющие) **гарантируют малое количество пор в структуре изоляции**, где доля компаунда составляет 25-35%. Это явление доказано на практике применения малоусадочных (< 2%) эпоксидных компаундов. **Малая усадка компаунда определяет низкие значения величин частичных разрядов и прироста тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения**, которыми обычно характеризуют монолитность изоляции.

На данный момент предлагается достаточно много компаундов с классами нагревостойкости Н-С, производящиеся в России и за рубежом. По химической природе это компаунды на основе олигоэфиримидов, модифицированных или нет активными разбавителями - стиролом или винилтолуолом, модифицированные эпоксидные составы, а также силиконовые компаунды.

Клеи. Определения, состав и свойства. Слайд 1.

Клей — это природное или синтетическое вещество, применяемое для соединения различных материалов за счет образования адгезионной связи клеевой пленки с поверхностями склеиваемых материалов. Клеи состоят из основного клеевого вещества, растворителя и вспомогательных веществ. **Растворители** применяют для растворения основного клеевого вещества и доведения его до определенной концентрации. К растворителям относятся вода, спирт, водные растворы щелочей, органические растворители.

Пластификаторы используют преимущественно в смоляных клеях для придания им пластичности и снижения хрупкости клеевого шва.

Отвердителями называют вещества, применяемые для более ускоренного перевода смоляных клеев в твердое нерастворимое и неплавкое состояние.

Клеобразователи способствуют переходу основного клеевого вещества в состояние раствора. К ним относятся: жидкое стекло, едкий натр, известь, аммиак.

Наполнителями называют вещества, применяемые для уменьшения расхода основного клеевого вещества и уменьшения просачивания клея налицевую поверхность, а также усадочных явлений в клеевом шве. В качестве наполнителя применяются древесная мука, гипс, теплостойкие и жаростойкие порошки металлов, карбидов, боридов и нитридов металлов и т.д.

Катализаторы — вещества, применяемые для ускорения процесса смолообразования при производстве синтетических смол. К катализаторам относят неорганические и органические кислоты, соли этих кислот, сульфонафтенновые кислоты, щелочи. **Отвердителями** называют вещества, применяемые для более ускоренного перевода смоляных клеев в твердое нерастворимое и неплавкое состояние.

Антисептики — ядовитые вещества, убивающие микроорганизмы и придающие клеевым веществам биологическую стойкость. В качестве таких веществ используют фенол, крезол, формалин, сульфонафтенновые кислоты, фтористый натр.

Вспенивающие вещества применяют для вспенивания карбамидных смол с целью их экономного использования. Наиболее распространенное и дешевое вспенивающее вещество — пылевидный альбумин.

По внешнему виду различают клеи жидкие, порошкообразные и пленочные.

По реакционной способности клеи могут быть терморезистивные (необратимые) и термопластичные (обратимые). Терморезистивные клеи под влиянием тепла и катализатора переходят из жидкого состояния в твердое, нерастворимое и необратимое состояние (смолы резольные, мочевиновые и меламиновые). Термопластичные клеи способны под влиянием тепла расплавляться, а после охлаждения вновь затвердевать, не изменяя химического состава. При последующем нагревании такие клеи снова расплавляются, например, мездровый и костный клеи, новолачные смолы, клеи «расплав».

Требования к клеям

Клеи должны отвечать следующим требованиям: прочно склеивать, быть простыми в употреблении, иметь жизнеспособность и большой срок хранения; быть водостойкими (для изделий, работающих в условиях высокой влажности) и биостойкими (сопротивляться разрушительной деятельности микроорганизмов); не разрушать водонепроницаемые покрытия и не изменять ее естественной окраски; быть сравнительно дешевыми по

Клеи. Определение, состав и свойства. Слайд 2.

Адгезия, или прилипание - связь между поверхностями двух разнородных жидких или твердых тел. Прочность клеевых соединений характеризуется пределом прочности клеевого шва (адгезионная прочность, МПа).

Вязкость - внутреннее трение, проявляющееся при взаимном перемещении частиц жидкости (раствора). Вязкость клея указывает на возможность его применения для различных видов склеивания (рабочая вязкость). Показателем условий вязкости является отношение времени истечения (в с) 200 см³ клеевого раствора стандартной концентрации и температуры через сопло вискозиметра ко времени (в с) истечения такого же количества дистиллированной воды при температуре 20° С. Клеи пониженной вязкости легко впитываются, отчего прочность клеевого соединения снижается. С увеличением вязкости клея до определенных пределов, различных для разных типов клеев, их пропитывающая способность снижается и прочность соединения повышается. Клеи с повышенной вязкостью трудно наносить на поверхности, они, как правило, образуют толстый малопрочный клеевой слой.

Концентрация клеевого раствора - процентное содержание в нем товарно-сухого клея, а в смоляных клеях — сухих веществ; выражается в процентах от массы раствора. Чем больше концентрация клеевого раствора, тем выше его вязкость.

Водостойкость — свойство клея не снижать прочности клеевого соединения при воздействии на него влаги. По водостойкости клеи делятся на клеи повышенной водостойкости, водостойкие и ограниченно водостойкие. К водостойким относятся большинство синтетических клеев, ограниченно водостойки казеиновые, совершенно неводостойки глютиновые клеи.

Жизнеспособность клеев характеризуется временем, в течение которого клеевой раствор пригоден для использования. По истечении этого срока они густеют, вследствие чего клеящая способность клеев снижается и затрудняет их нанесение на поверхность деталей.

Схватываемость (скорость застудневания, затвердевания) зависит от вида и состава клея. Схватываемость животных клеев зависит от температуры склеивания и скорости испарения воды из клеевого шва. Превращение синтетических клеев в твердое нерастворимое состояние происходит вследствие химической реакции, под влиянием высокой температуры реакция протекает быстрее.

Биологическая стойкость клеев различна. Клеи органического происхождения представляют собой при благоприятных

Заливочные компаунды

Компаунды заливочные (от англ. compound - смесь, соединение), композиции, предназначенные, в основном, для заливки отдельных элементов и блоков электронной, радио- и электроаппаратуры с целью электрической изоляции, защиты от внешней среды и механических воздействий. Заливочные компаунды — жидкие, полужидкие или пастообразные композиции в исходном состоянии и затвердевающие при комнатной температуре или при нагревании.

Для работы при температурах 300 °С и выше известны заливочные компаунды, полученные на основе фосфатных и кремнийорганических связующих, наполненных неорганическими тугоплавкими наполнителями. Для снижения усадки и температурного коэффициента линейного расширения, повышения теплостойкости и теплопроводности в состав компаундов могут вводиться дисперсные наполнители, например, молотый кварц, каолин, доломит, Al_2O_3 , $Al(OH)_3$, техн. углерод (сажа), графит, нитриды и карбиды тугоплавких металлов, сфера алюмосиликатная и т.д.

Основные требования к заливочным компаундам:

Отсутствие летучих веществ, достаточная жизнеспособность, малая усадка при затвердевании, отверждение без выделения побочных продуктов, определенные реологические, электроизоляционные и теплофизические свойства. В зависимости от сложности изделий и деталей, а также от вязкости заливочных компаундов заливку проводят свободным литьем, литьем под давлением или без него в вакуумируемую форму, центробежным литьем и методом автоматического гелеобразования под давлением (метод АГД).

Верхний предел эксплуатации компаундов определяется течением термической деструкции полимерного связующего. Процесс термической деструкции алюмофосфатных компаундов не зависит от химического состава и температуры их обработки и начинается при температуре 1250 °С. Конденсированная фаза всех образцов алюмофосфатных компаундов представляет собой Al_2O_3 и $AlPO_4$. Наибольшее применение нашли заливочные составы на основе алюмофосфатных связующих, наполненных корундом (типа АФ-5), корундом и молотой слюдой (типа АФС-4), а также компаунды из фосфатных связующих, наполненных оксидами кремния и алюминия (типа АСФ-3). Эти компаунды работоспособны при кратковременном и длительном воздействии температуры до 600 °С.

Состав заливочных термореактивных (отверждаемых) компаундов

1. Полимерное связующее.

Отвечает за формирование комплекса основных реологических, физико-химических и физико-механических характеристик.

2. Система отверждения: отвердители, инициаторы и катализаторы отверждения. Отвердитель отвечает за формирование химической сетки при полимеризации/отверждении полимерного связующего. Плотность полимерной сетки – количество химических связей в единице объема отвержденного полимера – обеспечивает реализацию и регулирование физико-механических свойств полимерной композиции: разрывная прочность, разрывная относительная деформация, разрывной модуль упругости или модули упругости при 2 %-й и 10 %-й деформации.

Чем выше плотность полимерной сетки, тем выше прочность и модуль упругости отвержденной композиции. При прочих равных условиях, чем больше концентрация активных групп и/или двойных связей в полимере и количество вводимого отвердителя, тем выше прочностные характеристики композиции.

3. Инициаторы и катализаторы отверждения.

Отвечают за ускорение процесса отверждения полимерного связующего. Скорость отверждения повышается с ростом содержания вводимого в композицию катализатора.

4. Наполнители.

Органические – растворители, пластификаторы, адгезионные добавки и т.д.

Обеспечивают необходимый уровень реологических характеристик. При повышении содержания в композиции вязкость снижается. Не удаляемые пластификаторы (остаются в составе после отверждения) наряду со снижением вязкости повышают деформацию композиции при одновременном понижении уровня прочностных характеристик. Адгезионные добавки обеспечивают повышение прочности скрепления/склеивания полимерного связующего с порошковыми наполнителями. Как правило, при введении адгезионных добавок увеличиваются прочностные характеристики, но снижаются деформационные.

Неорганические – в основном, порошки различной химической природы и фракций (размеров).

Улучшают свойства клеевого слоя и/или компаунда (электро- и теплопроводность, коэффициент термического расширения), а также снижают величину усадки при отверждении. С ростом дисперсности (снижением размеров частиц) порошка вводимого в композицию:

- Повышается уровень вязкости при одновременном снижении коэффициента растекаемости. Масса становится «тягучей» и хуже течет и растекается.

- Растет прочность и модуль упругости при одновременном снижении относительной деформации.

Таким образом, разработка рецептур клеев и компаундов – сложная системная задача, требующая обязательной экспериментальной отработки. Изменение содержания любого из компонентов в рецептуре композиции или введение других новых веществ закономерно повлечет за собой изменение всего комплекса свойств, как неотвержденной массы, так и готового изделия.

Вязкость клеев и компаундов

Вязкость воды при $t = 20^\circ\text{C}$ составляет $1004 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Классификация компаундов по вязкости

Сильнотекучие

Вязкость 0,01-0,02 Па·с

Текучие

Вязкость 0,02-0,20 Па·с

Среднотекучие

Вязкость 0,2-2,0 Па·с

Труднотекучие

Вязкость 2,0-20,0 Па·с

Пастообразные

Вязкость 20-100 Па·с

Вязкость определяется тепловым движением, размерами и формой молекул, их взаимодействием (упаковкой) и действием молекулярных сил.

Основные факторы, влияющие на вязкость полимерных систем

Молекулярная масса полимера.

Чем выше ММ, тем больше уровень вязкости

Разветвлённость полимерной цепи

С ростом разветвленности, вязкость увеличивается

Содержание наполнителя

С ростом содержания, вязкость увеличивается

Содержание пластификатора/растворителя

С ростом содержания, вязкость снижается

Температура

С ростом значения, вязкость снижается

Климатическая стойкость клеев и компаундов

Изменение свойств клеевых соединений и компаундов вызвано течением физико-химических процессов в клеевом шве или объеме компаунда, а также термомеханическими напряжениями при воздействии эксплуатационных и атмосферных факторов.

Физико-химические процессы – процессы изменения релаксационных свойств композиции в результате структурирования, а также процессы, связанные с термической деструкцией.

Термомеханические процессы – процессы усталостного разрушения при воздействии напряжений различной природы, влияющие на прочность и характеризующиеся неравномерным распределением напряжений в объеме композиции и по площади склеивания. Различают разрушение когезионного (по химическим связям, в объеме) и адгезионного (по физическим связям, по границе «поверхность изделия – композиция») характера.

Разрушение или снижение прочности клеевых соединений при воздействии тепла вызвано термической или термоокислительной деструкцией и/или возникающими термическими напряжениями. Последнее связано с различием коэффициентов термического расширения склеиваемых материалов и клея, особенно в течение циклических перепадов температурного поля. **Термоокислительная деструкция** связана с воздействием кислорода на полимерное связующее клея, а, следовательно, её уровень определяется, прежде всего, наличием окислительного агента и скоростью его диффузии в объем композиции.

Водостойкость клеев – самое главное требование, предъявляемое практически ко всем клеям. **По водостойкости** компаунды разделяются на 4 категории в зависимости от снижения прочности в воде за 30 суток выдержки: на 10-20 %; на 30-50 %; на 50-60 % и на более 60 % от исходной прочности. По этому показателю клеи делятся на: водостойкие; повышенной водостойкости; ограниченно водостойкие; неводостойкие. Водостойкие клеи в основном синтетические.

Влагостойкость определяется по падению прочности после выдержки контрольных образцов при относительной влажности воздуха 90-100% в течение 30 суток. Деградация прочности в камере тропиков является обязательным испытанием, результаты которого входят в паспорта на вновь разрабатываемые клеевые композиции и компаунды. В камере тропиков реализуются условия 100 %-й относительной влажности. Контрольные образцы выдерживают 60 суток при 50 °С или 10-15 суток при 70 °С.

Стойкость композиций к действию топлив, масел и различных химических реагентов определяется падением прочности после выдержки контрольных образцов в соответствующей среде в течение 30 суток при 20 °С. Исследование следует проводить строго при указанной температуре, так как с её ростом агрессивность сред увеличивается.

Если результаты ускоренных тепловлажностных, тепловых, циклических испытаний нового материала превосходят или соответствуют результатам материала-аналога, то считается, что исследуемый материал не уступает аналогу по атмосферостойкости или работоспособности в изделии.

Компаунды на эпоксидной основе чрезвычайно чувствительны к влаге, сорбируемой из атмосферы.

Кратковременная и длительная электрическая прочность компаундов

Электрическая прочность компаундов определяется в зависимости от частоты, формы кривой приложенного напряжения и его полярности, формы электрического поля, температуры окружающей среды, толщины диэлектрика и его объема.

На электрическую прочность влияют:

- Рецептурные факторы (компонентный состав компаунда).
- Наличие в отвержденном компаунде микро- и макроскопических неоднородностей в виде скоплений частиц наполнителя (агломератов), газовых пор, трещин, отслоений и т.д. Вероятность увеличения количества и размеров неоднородностей возрастает с увеличением толщины и объема компаунда. Неоднородности являются основной причиной разброса значений электрической прочности и её зависимости от толщины диэлектрика. Наличие неоднородностей приводит к необходимости использования статистического подхода при экспериментальном определении электрической прочности.

Введение в компаунд пластификаторов (пластифицирующих добавок) способствует снижению электрической прочности при увеличении температуры.

Увеличение теплопроводности вследствие роста процентного содержания наполнителя приводит к смещению области теплового пробоя в сторону более высокой температуры и к повышению электрической прочности.

При длительном воздействии напряжения механизм пробоя компаунда зависит от накопления механических и электрических микро- и макроразрушений и от их развития под действием частичных разрядов. Частичные разряды могут возникать в порах, отслоениях, трещинах и т. п. при весьма низких значениях напряжений. Для поддержания частичных разрядов (ионизационных процессов) требуется напряженность электрического поля, значительно меньшая, чем для возникновения этих процессов. Процесс разрушения материала начинается в локальной области максимальной напряженности электрического поля, то есть около электродов с малыми радиусами кривизны или около включений, содержащихся в компаунде и искажающих электрическое поле. Такими неоднородностями могут, например, явиться поры, агломераты наполнителя и т.п.

При небольших градиентах напряженности электрического поля на скорость старения влияет размер радиусов кривизны электродов. При больших градиентах поле у электрода искажается объёмным зарядом.

Данные для компаундов на эпоксидной основе:

Переходы от электрического дендрита к тепловому, что наиболее характерно при $f = 15$ кГц, наблюдаются при средней напряженности электрического поля 3,3 МВ/м. Увеличение частоты не приводит к образованию дендритов, но влияет на ускорение их развития. При частоте 35 кГц рост теплового канала начинается без предварительного образования электрического дендрита. Эпоксидная изоляция успешно может эксплуатироваться при напряженностях электрического поля 1,5... 2 МВ/м при частоте менее 35 кГц.

Дендрит - древовидное образование в теле диэлектрика, имеющее повышенную проводимость и приводящее к прогрессирующему разрушению диэлектрика. Характерен для многих видов твердых диэлектриков, канал дендрита обладает повышенной проводимостью, имеет

Заливочные компаунды. Ремонтпригодность.

К ремонтпригодным, в основном, относят заливочные компаунды термообратимого или термопластичного типа.

Ремонтпригодность залитого термопластичным компаундом изделия обеспечивается физико-химическими свойствами полимерного связующего, способного переходить из вязкотекучего в высокоэластическое состояние и обратно при переходе через температуру текучести.

К ремонтпригодным относят компаунды с относительно низким уровнем прочностных характеристик. Такие компаунды легко удаляются из бракованного или отработавшего гарантийный срок эксплуатации изделия в ручную без приложения больших усилий.

Обеспечение возможности удаления лишних объемов компаунда с изделий и устройств срезанием также относится к «ремонтпригодности». Как правило, к таким компаундам относятся композиции с высоким уровнем деформационных характеристик при относительно невысокой прочности. Например, компаунды на силоксановой основе.

Общий недостаток ремонтпригодных компаундов – невысокий уровень прочностных характеристик.

Общая сравнительная характеристика заливочных компаундов.

Эпоксидные компаунды

- Очень прочные
- Легко наносятся
- Стабильность размеров отвержденной композиции
- Хорошая совместимость с наполнителем
- Высокая химстойкость
- Обладают низким коэффициентом теплового расширения
- Превосходная защита как от воздействия влажной среды, так и агрессивных химических веществ

Полиуретановые компаунды

- Хорошая эластичность даже при низких температурах
- Отлично подходят для хрупких компонентов
- Исключительно широкий диапазон твердостей
- Превосходная водостойкость

Силиконовые компаунды

- Очень широкий диапазон рабочих температур
- Исключительные характеристики при высоких температурах
- Превосходная эластичность

Акриловые клеи

Классифицируются на эмульсионные (на основе акриловых мономеров), анаэробные и цианакрилатные. Как правило, акриловые клеи двухкомпонентные: полимерная основа и система отверждения. Клеи отверждают, в основном, пероксидами.

Анаэробные клеи

Могут долгое время оставаться в исходном состоянии, не меняя свойства в контакте с кислородом воздуха и быстро отвердевать при нарушении этого контакта. Жидкие композиции с вязкостью 1-400 Па*с, обладающие высокой проникающей способностью, из-за чего они плотно заполняют неровности на склеиваемых поверхностях и формируют герметичный и монолитный клеевой шов. Кроме того, они защищают склеиваемые поверхности против коррозии, не образуют дополнительных напряжений в соединении.

Основные свойства анаэробных клеев

Одноупаковочные, не содержат растворитель. Низковязкие однородные жидкости, либо пастообразные субстанции. Вязкость при 20 °С 0,008-100 Па*с. Интервалы рабочих температур зависят от состава и лежат в области от минус 253 до 150 °С длительно и до 300 °С кратковременно.

Получаемые клеевые соединения обладают высокой стойкостью к изменению климата, стойкостью к воздействию топлива, минерального масла, смазки, органических растворителей, агрессивных продуктов (кислот, щелочей и др.) и т.д. в широких интервалах температуры и давления, высоким сопротивлением к сдвигу при кручении. Анаэробные клеи очень чувствительны к типу склеиваемых поверхностей и размерам зазоров между ними, так как от этих параметров зависит скорость отвердевания.

Цианакрилатные клеи

Адгезионные характеристики цианакрилатного клея определяются присутствием полярных циано- и сложноэфирных групп.

Цианакрилатные клеи оптически прозрачны в широкой области спектра (220-900 нм), обладают влагостойкостью.

Применение цианакрилатных клеев с низкой вязкостью позволяет получать высокопрочные клеевые соединения при склеивании хорошо подогнанных поверхностей (с зазорами не более 0,05 мм); клеи с высокой вязкостью применяют при склеивании деталей с зазором до 0,3 мм.

Модифицированные цианакрилатные клеи очень устойчивы к воздействию органических растворителей (бензин, нефтяные и минеральные масла, спирт, разбавленные кислоты), имеют электроизолирующие свойствами.

К недостаткам этих клеев следует отнести хрупкость, малую стойкость к ударным нагрузкам, малую влагостойкость, нестабильность при хранении, и низкую морозостойкость.

Клеи на основе каучуков

Клеи на основе каучуков (или резиновые клеи) – изготавливают из натурального и синтетических каучука практически всех видов. Для резиновых клеев характерны высокие эластичность после отверждения, из-за этого они широко используются для склеивания эластичных материалов.

Клеи делятся на 2 группы.

1-я группа - невулканизирующиеся клеи на основе каучуков. Склеивание этими клеями происходит за счет высыхания, то есть удаления растворителя. Как правило, это одноупаковочные составы на основе натурального каучука.

2-я группа - вулканизирующиеся клеи (самовулканизирующиеся). Это двухупаковочные или одноупаковочные системы. При склеивании двухупаковочными клеями их вулканизация происходит после смешения компонентов, один из которых представляет собой раствор каучука с некоторыми добавками, а второй - вулканизирующую систему (или систему отверждения). Смешивать компоненты следует непосредственно перед использованием. Их отверждение (вулканизация) может происходить как при комнатной (длительно), так и при повышенной температуре (ускоренное отверждение).

Клеи горячего отверждения являются жидкими системами (растворы, либо дисперсии) вязкостью 0,05-20 Па*с.

Полиуретановые клеи

Полиуретановые клеи имеют высокую адгезию к большинству субстратов из-за наличия в их составе полярных групп $-NCOO$ с высокой энергией когезии. Благодаря наличию в своем составе полярных NCO -групп, полиуретаны обладают адгезионными свойствами.

Наиболее распространены двухупаковочные клеи, которые состоят из изоцианата и гидроксилсодержащего соединения (главным образом, олигоэфира). Формирование полиуретана происходит при совмещении этих продуктов непосредственно в клеевом соединении в процессе отверждения клея.

Жизнеспособности этих клеев 1-3 ч при комнатной температуре. Вулканизация идет при комнатной температуре в течение 1-3 суток или при 100-150 °С и давлении до 0,3 МПа в течение 3-6 часов с выделением воды и диоксида углерода, из-за чего клеевой шов не является монолитным. Наличие в клее изоцианатов определяет их высокую реакционную способность, что понижает жизнеспособности клеев, увеличивает токсичность и чувствительности к воздействию воды и других протонодонорных агентов.

Эпоксидные и уретановые клеи способны отверждаться как при комнатной, так и при повышенных температурах. Нагревание при отверждении во всех случаях способствует получению более прочного клеевого соединения и ускоряет процесс вулканизации. Большинство клеев этой группы имеет максимальную верхнюю температуру эксплуатации 60-80 °С, отдельные клеи теплостойки до 150 и 300 °С.

Эпоксидные клеи

Эпоксидные клеи – терморезистивные (отверждаемые) синтетические системы, получаемые на основе полиэпоксидной смолы и различных отвердителей основного или кислотного типов. Эпоксидные клеи характеризуются: высокой адгезией к самым разным материалам, удовлетворительными физико-механическими характеристиками, малой усадкой при отверждении, высокой химической стойкостью, отличными диэлектрическими характеристиками. При склеивании не требуют высокого давления.

для клеев холодного отверждения (для алюминиевых сплавов) составляет 15-25 МПа, для клеев горячего отверждения **Прочность клеевых соединений при сдвиге** - до 35 МПа, для высокопрочных пленочных клеев - до 45 МПа.

Климатическая стойкость зависит от состава клеев и улучшается как правило в той же последовательности, что и теплостойкость. Наиболее высокой климатической стойкостью обладают эпоксидные клеи, отверждаемые ангидридами.

Жизнеспособность при нормальных условиях эпоксидных клеев в зависимости от типа отвердителя

Комплексы трифторида бора – несколько минут;

Алифатические амины – 1 – 2 часа;

Низкомолекулярные полиамидные смолы – 1-4 часа;

Ароматические амины и ангидриды многоосновных карбоновых кислот – не менее 24 часов;

Дициандиамид, уротропин и др. – от 6 до 12 месяцев.

Верхний предел эксплуатации эпоксидных клеев в зависимости от типа отвердителя

Алифатические амины – до + 80 °С;

Низкомолекулярные полиамидные смолы – до + 125 °С (длительно) и до 250 °С (кратковременно)

Ароматические амины – до + 150 °С (длительно) и до до 250 °С (кратковременно)

При модификации эпоксидных смол некоторыми элементоорганическими соединениями удается повысить их рабочую температуру до 400 °С.

При добавлении в эпоксидные клеи большого количества таких порошкообразных веществ, как алюминий, диоксид титана, оксид алюминия, цинковая пыль и некоторых других получим так называемые «жидкие стали», применяющиеся для работы при 250 0С и выше, и для заделки трещин, усадочных раковин и других дефектов в металлах.

Наполнители позволяют изменить электропроводящие свойства клея. Применение в качестве наполнителя SiO_2 дает возможность обеспечить высокие электроизоляционные свойства, введение в их состав порошков серебра, никеля, графита, золота, придает электропроводящие свойства.

Элементоорганические клеи и компаунды

Особый практический интерес среди элементоорганических полимеров, используемых для приготовления клея, представляют полиорганосилоксаны, что напрямую связано с их высокой температурной и стойкостью к окислению при нагреве. Стойкость к высоким температурам и к термоокислительной деструкции элементоорганических клеев и компаундов связана с большой прочностью связи Si-O; однако из-за ионного характера связи Si-O эти клеи имеют низкую когезионную прочность.

Кроме высокой термостойкости кремнийорганические клеи имеют и другие важные свойства:

- хорошая стойкость к действию атмосферных условий, озона, коронного разряда и солнечного света;
- удовлетворительная стойкость к действию воды;
- стойкость к воздействию радиации, а также к одновременному действию высокой температуры и радиации;
- хорошие диэлектрические свойства в большом диапазоне температур.

Недостатком кремнийорганических клеев является невысокие когезионные и адгезионные свойства.

В интервале 400-600 °С происходит интенсивная деструкция полиорганосилоксанов.

Наибольшее промышленное применение нашли кремнийорганические **каучуки СКТН и СКТНФ**, отличающиеся устойчивостью к температурам от минус 90°С до +300°С, высокой гидрофобностью, химической инертностью, диэлектрическими свойствами, вибростойкостью, стойкостью к действию грибков и микроорганизмов, сопротивлением действию озона, окислителей и ультрафиолетовых лучей. Силиконовые **каучуки СКТН и СКТН-Ф** физиологически инертны, ткане- и гемосовместимы, газопроницаемы (наибольшая проницаемость из всех известных полимеров), селективны по газопроницаемости, легко стерилизуются. **Каучуки СКТН и СКТНФ** нетоксичны. Не содержат растворителей. Каучуки отверждаются при комнатной температуре в присутствии катализаторов типа К-1, К-100 или №18.

Кремнийорганические клеи (Эластосил, КТ-30, КТ-25, К-111, К-105, ВК-15, ВК-10, ВК-8, ВК-2 и др.)

Для того чтобы улучшить эластические и адгезионные свойства элементоорганических клеевых композиций, их подвергают модификации полиэфирами, эпоксидами, каучуками, поливинилацетатами и др.

Модифицированные эпоксидные смолы или эпоксикремнийорганические полимеры

Смолы марок СЭДМ представляют собой продукты модификации эпоксидных смол ЭД-20 или ЭД-16 кремнийорганическими соединениями.

Модифицированные смолы предназначены для изготовления термостойких клеев, компаундов, стеклотекстолитов и пресспорошков.

Смола СЭДМ-1 - для изготовления клеев ВТ-200, К-600, стеклотекстолита СКТФ, стеклоткани СКТФ и компаунда ТКЗ.

Смола СЭДМ-2 - для изготовления клея ВТ-25-200, ОК-СТ и компаунда ТКП.

Смола СЭДМ-3 - для изготовления клеев ВТ-10 («Криосил»), К-800, пресспорошка ТЭМП-250.

Смола СЭДМ-3Р - для изготовления клеев (склеивание полиимидных плёнок) и для клеев, работающих при криогенных температурах.

Смола СЭДМ-4 - для изготовления клеев ТКЛ-75, ТКМ-75 и ТКП-250.

Смола СЭДМ-6 - для изготовления клея К-300-61.

Смола СЭДМ-8 - для изготовления термостойких клеев.