

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И КЛЕЕВОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Олег Соколов, Технический Специалист ЗАО «ЗМ Россия»

При любом соединении деталей, механическом, клеевом, сварном, важно не только получить прочное соединение – не менее важна его долговечность в условиях эксплуатации изделия. Испытать начальную прочность как правило, несложно – устойчивость клеевого соединения к различным типам нагрузки (удары, вибрации, отрыв, расщепление) можно определить испытаниями по стандартным методикам. А вот испытание долговечности соединения представляет собой более сложную и долгую задачу. Необходимо представлять себе условия эксплуатации изделия, собранного с помощью клея, а зная их, оценить поведение соединенных материалов. Так, коррозия под клеевым слоем, встречающаяся при работе клеевого соединения в агрессивных условиях, например, в регионах с морским климатом, в которых сочетается высокая влажность, воздействие мелкодисперсного соляного тумана и, часто, высокие температуры. Это требует длительных испытаний в климатической камере или камере соляного тумана.

Однако существует еще один фактор, который часто упускают из вида, хотя его влияние на надежность, долговечность клеевого соединения очень существенно. Его учет усложняется тем, что протестировать его можно только на полноразмерном изделии точнее – на полноразмерном клеевом соединении. Речь пойдет о различном температурном (или тепловом) расширении материалов. При изменении температуры любой твердый материал сжимается или расширяется. Как правило, при сжатие происходит при охлаждении, а расширение при нагреве (хотя бывают и материалы-исключения, у которых изменение температуры приводит к обратному результату). Для разных материалов одинаковое изменение температуры приводит к различному изменению размера. Поэтому при соединении различных материалов, в тех случаях, когда изделие будет подвергаться температурным перепадам, необходимо учитывать, что изменение температуры приведет к появлению дополнительной сдвиговой нагрузки на клеевой шов.

Насколько велик может быть эффект разницы температурных расширений? Как определить, не опасен ли он для нашего соединения? Как склеить изделие, учитывая этот эффект? На эти вопросы я постараюсь ответить ниже.

Коэффициент теплового (температурного) расширения является характеристикой каждого материала и показывает насколько этот материал увеличивается (уменьшается) в размере при изменении температуры на один градус. Абсолютная величина расширения или сжатия, кроме коэффициента, зависит от размера изделия и изменения температуры.

Из часто используемых материалов, наиболее низким коэффициентом теплового расширения обладает стекло; несколько выше коэффициент расширения у металлов, значительно выше у пластиков. Коэффициенты теплового расширения некоторых материалов приведены в таблице.

Материал	Коэффициент теплового расширения, мм/мм*К
Стекло	9×10^{-6}
Сталь	$12-14 \times 10^{-6}$
Алюминий	24×10^{-6}
Полиметилметакрилат (ПММА)	74×10^{-6}
Поликарбонат	68×10^{-6}
Полипропилен	86×10^{-6}
Полиэфир	120×10^{-6}

Конечно, каждый металл или сплав, каждый пластик этот параметр имеет свою величину коэффициента. Однако, беря типичные характеристики и температурный перепад 65С (от +25 С при соединении летом до – 40С зимой) можно рассчитать, что одинаковые детали из оргстекла (полиметилметакрилат) и алюминия длиной при соединении 1 метр, зимой будут различаться по длине на 3,5 миллиметра. Жесткое крепление в таком случае неизбежно приведет или к растрескиванию пластика, или к разрушению клеевого соединения, или к деформации (прогибу) пластиковой детали. Конечно, различное расширение материалов необходимо учитывать при любом способе крепления, клеевом или механическом.

Именно зависимость от размера изделия делает сложным лабораторное испытание –стандартные образцы соединения для испытания на сдвиг размером, скажем 25x12 мм могут без потери прочности пройти многократные температурные перепады; но при длине клеевого шва один-два метра, тот же клей на тех же материалах окажется неспособен выдержать типичные для улицы температурные перепады. Впрочем, при использовании жесткого клея

разрушение соединения может произойти и на изделиях небольшого размера, особенно если один из соединяемых материалов – стекло. Ввиду хрупкости этого материала, неправильный выбор продукта часто приводит к растрескиванию стекла при охлаждении даже на изделиях небольшого размера. Испытания изделий больших размеров требует использования дорогого и сравнительно редкого оборудования. К счастью, часто оценить воздействие теплового расширения материалов можно и без проведения испытаний. Необходимо учитывать сейчас с использованием клеевых технологий часто собираются изделия большого размера – рекламные вывески, фасадные панели и многие другие. Оценку возможных тепловых расширений соединяемых материалов, по моему мнению, всегда следует проводить если соблюдаются следующие условия:

1. Соединяются различные материалы; такие пары, как стекло-металл, стекло-пластик, металл-пластик наиболее «опасны» с точки зрения расширения.
2. Изделие будет эксплуатироваться на улице или подвергаться нагреву/охлаждению более, чем на 20 С.
3. Максимальный размер изделия более 30 мм.

Как же избежать возникновения критических для клеевого шва нагрузок, вызванных различным тепловым расширением соединенных материалов?

Очевидное решение задачи – использовать эластичный клей. Однако, при выборе продукта нередко забывают вот о чем: во-первых, продукт должен оставаться эластичным при охлаждении. Некоторые клеи и герметики, эластичные при температуре близкой к комнатной, становятся жесткими при охлаждении до -5 - -10°C, то есть теряют способность компенсировать движение соединенных поверхностей друг относительно друга именно тогда, когда это движение становится значительным. Во-вторых, даже используя эластичный клей или герметик, необходимо создавать клеевой шов достаточной толщины. Например, полиуретановые герметики, безусловно, одни из наиболее эластичных клеевых продуктов – их растяжение до разрыва составляет 500-700%, а у некоторых и несколько больше. Тем не менее, длительно (а расширение/сжатие материалов, связанное, например, с сезонными колебаниями температуры, это именно длительное изменение) они выдерживают сдвиговые деформации 20-25% от толщины. Попробуем оценить, какую толщину должен иметь полиуретановый герметик для соединения стекла и алюминия длиной 1 метр при изменении температуры от +25 при склейке до -40. Расчет с учетом типичных коэффициентов для стекла и алюминия (напомню, точное значение несколько меняется в

зависимости от марки стекла или алюминиевого сплава) дает значение примерно 1,4 мм. Для надежного крепления стекла в таком случае потребуется толщина клеевого слоя 5,5-6,0 миллиметров (кстати, именно эту минимальную толщину многие производители полиуретановых герметиков рекомендуют для соединения стекла с металлом).

Отличным решением для соединения материалов с различным тепловым расширением являются ленты 3M™ VHB™ - двусторонние монтажные ленты, состоящие только из акрилового полимера. Вязкоупругая основа этих лент, в отличие от герметиков и, тем более, от двухкомпонентных клеев, выдерживает без разрушения сдвиговые деформации до 300% от толщины ленты. Максимальная толщина ленты VHB™ составляет 3 мм, позволяя, таким образом, компенсировать разницу расширений до 15 мм. Акриловый полимер сохраняет эластичность до -40С, а у некоторых лент VHB™ и при более низких температурах. Ленты 3M™ VHB™ успешно используются для соединения стекла с алюминием, в том числе в архитектурных объектах и подтвердили свою работоспособность при соединении самых разных сочетаний материалов в очень широком диапазоне температур.