BcB
ПРОИЗВОДСТВО АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ

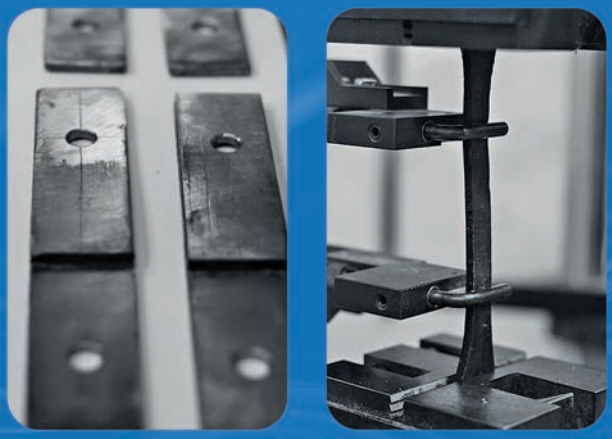
ПРОДУКЦИЯ
САЙТ ЗАКАЗ
О КОМПАНИИ

www.anker-w.ru
+7 495 229-44-16
zakaz@anker-w.ru

ЕДИНСТВЕННОЕ В РОССИИ!
ПРОИЗВОДСТВО АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ

Эластичные конструкционные клеи производства НПК «СТЭП»

Подробнее на с.44



+7(812) 966-52-57
step@npkstep.ru
npkstep.ru

НПК СТЭП

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ САМОРЕЗЫ ДЛЯ ТЕРРАС
HIMTEXFIX

HIMTEX

РУСБОЛТ
качественный крепеж оптом

Поставки метрического крепежа со своего склада по всей России

- прочность: 4.8; 8.8; 10.9; 12.9
- покрытие: zp, HDG, A2
- угол резьбы: строго 60°
- проверенное качество
- конкурентоспособные цены

www.rbolt.ru
тел.: 8 (812) 449-17-35
8 (800) 555-73-08
e-mail: rusbolt@rbolt.ru

Сытов В. В., генеральный директор
Никулин В. А., ведущий инженер
Богданова В. В., инженер
ООО «НПК «СТЭП»

О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ЭЛАСТИЧНЫХ КЛЕЕВ

Достаточно серьёзной проблемой, возникающей перед проектировщиками новых изделий, является выбор конструкционных клеев из сотен наименований, представленных на отечественном рынке. Не всегда удаётся быстро сориентироваться в многообразии физико-механических, тепло-, электрофизических и прочих характеристик, представленных производителями. В результате зачастую выбор падает на привычные советские клеи. И такой выбор может показаться верным, ведь по самому интуитивно понятному критерию, а именно по прочности склеивания, они демонстрируют неплохие показатели. При этом остальные физико-механические характеристики незаслуженно отходят «на второй план». Во многих случаях данный подход не является оптимальным, так как популярные показатели мгновенной прочности при разрушении клеевого соединения являются малоинформативными без проведения дополнительных испытаний.

Российскими стандартами, которые в данной области принципиально не менялись с конца 60-х годов, предусмотрено два основных метода определения прочности конструкционных клеевых систем: при равномерном отрыве (ГОСТ 14760) и при сдвиге (ГОСТ 14759) клеевого соединения. В обоих случаях нагрузка, действующая на клеевой шов, является приблизительно одинаковой по величине и направлению в любой точке клеевого шва. В то же время в реальных конструкциях в процессе эксплуатации возникают более сложные векторы нагрузки. В результате клеевое соединение может быть разрушено при усилиях, которые значительно уступают расчётным значениям, основанным на документации производителя клея. Следует отметить, что наличие неравномерных нагрузок на клеевой шов не означает, что были допущены ошибки при проектировании изделия. Напротив, это практически неизбежно при эксплуатации конструкций сложной формы, получаемых в результате склеивания.

Таким образом, стойкость к воздействию неравномерных нагрузок является одним из важных требований к современному конструкционному клею. В рамках представленной работы оценивалась данная характеристика для ряда клеев, а также её взаимосвязь с эластичностью адгезива. В частности, был сымитирован наиболее неблагоприятный для клеевого соединения сценарий, при котором нагрузка концентрируется, в первую очередь, на границе клеевого шва. Дальнейшие испытания показали, что подобный подход действительно позволяет получить новую информацию о прочности различных клеевых систем.

ИССЛЕДОВАННЫЕ КЛЕИ

Для сравнения были выбраны клеи «холодного» отверждения шести марок, обладающие различной эластичностью: ВК-9 ОСТ В 84-2081-83, К-153 ОСТ В 84-167-90, СТЭП-ЭЛ1, СТЭП-ЭЛ2, СТЭП-ЭЛ3, СТЭП-ЭЛ4 ТУ 20.52.10-113-50050552-2020. ВК-9 и К-153 — неэластичные клеевые системы, разработанные в советское время и широко применяемые в различных отраслях промышленности (электроника, электротехника, приборо- и машиностроение и др). Эпоксикаучуковые клеи серии «СТЭП-ЭЛ» выпускаются НПК «СТЭП», отличительной особенностью данных адгезивов является сочетание высокой прочности, характерной для эпоксидных материалов, и повышенной эластичности, обусловленной наличием в структуре химически связанных каучуковых сегментов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

В качестве характеристики эластичности был выбран параметр «относительное удлинение при

Рисунок 1 — Испытание образца клея в соответствии с ГОСТ 11262

растяжении» по ГОСТ 11262, в соответствии с которым осуществляется растяжение испытуемого образца в виде «лопатки» с постоянной скоростью деформирования вплоть до его разрушения. Несмотря на то, что метод в первую очередь предназначен для литьевых материалов, он применим и для клеев при условии изготовления бездефектных образцов. Вид образца при проведении данного испытания показан на *рисунке 1*.

Образец закреплён в зажимах, деформация при растяжении регистрируется с помощью датчиков перемещения, закреплённых на рабочей области образца.

Прочность склеивания определяли на образцах из стали Ст3 при трёх различных видах нагрузки. К двум стандартным параметрам — прочность при равномерном отрыве и при сдвиге клеевого соединения — было добавлено испытание при изгибе клеевого образца. Вид образцов для определения выбранных параметров показан на *рисунке 2*.

Рисунок 2 — Вид клеевых образцов для определения прочности при сдвиге (слева) и при равномерном отрыве (справа)

Как отмечалось выше, российскими стандартами не предусмотрены испытания конструкционных клеев при неравномерной нагрузке, в связи с чем испытания на изгиб проводились в соответствии с ГОСТ 4648 с той разницей, что в качестве объекта испытаний был выбран не цельный брусок пластмассы, а образец в виде склеенных пластин (принципиальная схема представлена на *рисунке 3*).

Прочность клея при данном испытании характеризовалась условной прочностью при изгибе — отношение разрушающей нагрузки к площади склеивания.

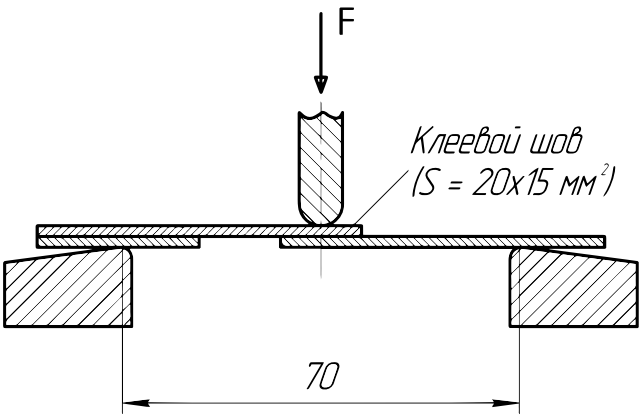


Рисунок 3 — Принципиальная схема проведения испытания на изгиб клеевого образца

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Результаты проведённых испытаний представлены в *таблице 1*.

Основная закономерность, которая прослеживается при анализе полученных результатов, — падение прочности клеев при испытаниях с равномерной нагрузкой по мере роста относительного удлинения клея. Из данной зависимости «выпадают» результаты для клев К-153 и ВК-9 с нулевым относительным удлинением, прочность которых оказывается ниже прочности клея СТЭП-ЭЛ1. Вероятно, это объясняется высоким уровнем внутренних напряжений в жёстких клеях, которые могут быть значительно снижены даже незначительной добавкой каучука, химически связанного с эпоксидными сегментами. Дальнейшее увеличение количества каучука уже приводит к падению прочности клеевых систем при равномерной нагрузке. Указанная закономерность практически одинаково прослеживается как при сдвиговом, так и при отрывающем усилии.

Приведённые данные также показывают, что образцы для определения прочности при сдвиге могут быть разрушены при существенно

Таблица 1 — Результаты испытаний для различных клеевых систем

Показатель	Клеевые системы					
	ВК-9	К-153	СТЭП-ЭЛ1	СТЭП-ЭЛ2	СТЭП-ЭЛ3	СТЭП-ЭЛ4
Относительное удлинение при растяжении, %	1,1	1,4	11,5	24,3	36,7	169,8
Прочность при равномерном отрыве, МПа	12,2	18,3	19,2	13,9	10,7	5,1
Прочность при сдвиге, МПа	15,3	18,4	24,3	18,4	14,2	7,9
Условная прочность при изгибе клеевого образца, МПа	1,16	1,03	1,60	1,39	1,33	1,06

меньшей нагрузке, если прикладывать изгибающее, а не «стандартное» сдвиговое усилие. В частности, образцы жёстких клеев ВК–9 и К–153 разрушаются при условной нагрузке всего 1,16 МПа и 1,03 МПа соответственно. При должном усилии пластинки с площадью склеивания ВК–9 15х20 мм^2 можно разъединить вручную с усилием 350 Н (примерно 36 кгс), если обеспечить изгибающий вектор нагрузки. В то же время при продольном растяжении образца клея ВК–9 потребуется усилие более 4500 Н (примерно 460 кгс) для его разрушения, что едва ли возможно даже в руках подготовленного спортсмена.

Эластичные клеи СТЭП–ЭЛ1, СТЭП–ЭЛ2 и СТЭП–ЭЛ3 демонстрируют большую стойкость к неравномерной изгибающей нагрузке (условная прочность от 1,33 МПа до 1,60 МПа), что можно объяснить их способностью к перераспределению возникающих при подобном воздействии внутренних напряжений. Для клея СТЭП–ЭЛ4 разрушающее усилие на изгиб оказалось сопоставимо со значением для ВК–9 и К–153. Однако по–настоящему большой интерес данные значения представляют вместе с информацией о деформации прогиба клеевых образцов при разрушении. Соответствующие кривые представлены на *рисунке 4*.

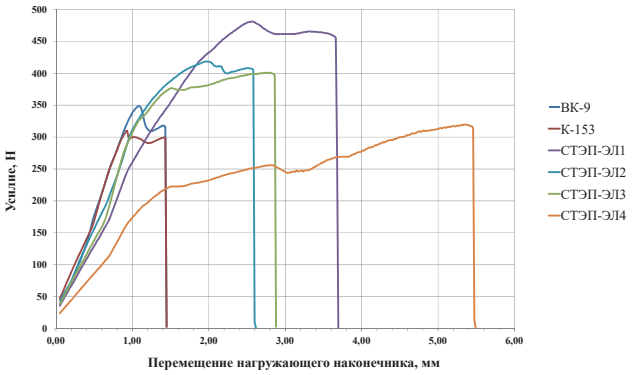


Рисунок 4 — Зависимость усилия, оказываемого на клеевой образец нагружающим наконечником, от деформации образца

Как видно из представленных кривых, образцы, склеенные жёсткими клеями ВК–9 и К–153, разрушаются при прогибе образца менее 1,5 мм. При этом усилие, создающее такой прогиб, существенно ниже, чем разрушающее усилие для клеев СТЭП–ЭЛ1, СТЭП–ЭЛ2, СТЭП–ЭЛ3. Любопытно, что максимальная деформация для образцов, склеенных СТЭП–ЭЛ1, выше, чем аналогичный показатель для СТЭП–ЭЛ2 и СТЭП–ЭЛ3. Вероятно, это объясняется тем, что для клея СТЭП–ЭЛ1, характеризующегося максимальной прочностью при данном виде нагрузки, высокая деформация обеспечивается в том числе изгибом склеенных пластин. В то же время прочности остальных клеев оказывается недостаточно, чтобы произошла существенная деформация склеенных металлических листов. В этом случае максимальная величина прогиба определяется только относительным удлинением самого клея. Особого внимания заслуживает кривая испытания клея СТЭП–ЭЛ4. Для разрушения образцов потребовалось деформировать их в среднем на 5,5 мм, то есть в 3,5 раза больше, чем образцы, склеенные ВК–9 и К–153.

Отдельно стоит ответить на следующие вопросы: в чем преимущество высокоэластичного клея, если образец, склеенный им, может быть разрушен при данном виде нагрузки с тем же усилием, что и образец жёсткого клея, и почему при этом важно, насколько велика была максимальная деформация образца? Дело в том, что факторы, которые действуют на клеевой шов при эксплуатации изделия, могут принципиально отличаться по своей природе. В ряде случаев внешнее усилие, величину которого можно принять за константу, вызывает определённую деформацию изделия, при этом величина деформации будет определяться, в первую очередь, эластичностью клея. Однако возможна и обратная ситуация. Например, при температурных перепадах в крупногабаритном изделии возможна деформация клеевого шва, величина которой не будет зависеть от характеристик адгезива. Сколь прочным бы ни был клей, он не сможет сдержать температурное расширение либо сужение габаритных керамических, металлических деталей. Главное, что требуется от адгезива при таком воздействии, — выдержать температурные перепады в изделии без растрескивания и разрушения. С такой задачей, безусловно, лучше справляются высокоэластичные клеи.

Также следует отметить, что в рамках данных исследований проводились испытания с низкой скоростью нагружения клеевых образцов, то есть в условиях, «благоприятных» для жёстких клеевых систем. Однако даже в таких условиях при воздействии геометрически неравномерной нагрузки, воздействующей на клеевой шов, жёсткий клей может быть разрушен при достаточно малом усилии. Следует учитывать, что в реальных условиях эксплуатации помимо упомянутых ранее температурных перепадов имеются дополнительные факторы, делающие целесообразным выбор эластичных клеев: ударные, вибрационные, различные циклические нагрузки.

ВЫВОДЫ:

1. Проектирование клеевого соединения является крайне важным этапом создания новых изделий.

При его осуществлении нужно учитывать, в первую очередь, величину, направление, цикличность нагрузки, так как для клеевого соединения величина разрушающего усилия может отличаться на порядок, в зависимости от направления его приложения. Предотвратить разрушение соединения при неравномерной нагрузке можно не только модификацией формы изделия, но и правильным подбором клея.

2. Наибольшую прочность как при равномерных нагрузках, так и при более сложных испытаниях, имитирующих реальные условия эксплуатации изделия, среди испытанных клеев демонстрирует клей СТЭП–ЭЛ1, модифицированный незначительным количеством химически связанного каучука. Именно данный клей можно рекомендовать для большинства ответственных изделий, даже если они не подвержены вибрационным нагрузкам и температурным перепадам.

3. Эпоксикаучуковые клеи с относительным удлинением 25–35 % (например, СТЭП–ЭЛ2, СТЭП–ЭЛ3) могут показывать меньшую прочность по сравнению с жёсткими клеями при испытаниях в «идеальных» условиях с равномерной нагрузкой. При более сложных нагрузках они, напротив, демонстрируют большую прочность. При этом, в отличие от жёстких клеев, они превосходно справляются с воздействием сильных вибраций, температурных перепадов, что наиболее актуально для моторизированной техники, эксплуатируемой в уличных условиях.

4. Сверхэластичные эпоксикаучуковые клеи (например, СТЭП–ЭЛ4) при равномерных нагрузках кажутся существенно менее прочными по сравнению с жёсткими клеями, однако в реальных условиях могут разрушаться при сопоставимых усилиях. При этом сверхэластичные клеи способны выдерживать сильные ударные воздействия, а также экстремальные циклические нагрузки, что позволяет использовать их, например, в броневой технике.

5. В рамках данной статьи не рассматривались требования к технологическим, тепло– и электрофизическим параметрам клеев. Однако, независимо от данных характеристик, в большинстве случаев применение жёстких клеевых систем с относительным удлинением менее 3 % нецелесообразно. Следует отметить, что при отсутствии информации производителя об эластичности клея он, с большой вероятностью, относится именно к разряду низкоэластичных.