

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Чжан Цинхуэй

cinhuey1@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены некоторые важные испытания для определения прочности клеев на основе международных стандартов. Показана сущность испытания определения механических характеристик клея для проектирования и оптимизации машиностроения. Перечислены несколько важных механических характеристик клеев и методы измерения данных характеристик клеев. Дана информация о методах измерения прочности клеев. Выполнено сравнение различных методов измерения прочности клеев. Отмечены основные преимущества измерения адгезивной прочности при кручении с точки зрения измерения силы сцепления. Показана важность измерения прочности связи при разработке клеев и их использовании.

Ключевые слова

Адгезия, испытание клеев, машиностроение, клеевое соединение, характеристики, метод определения адгезии

Поступила в редакцию 15.06.2022

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. Клеи относятся к материалам, которые обладают хорошими адгезионными свойствами, могут образовывать пленку между поверхностями двух объектов и прочно связывать их друг с другом. Существует множество классификаций клеев. По составу клеи могут быть органическими и неорганическими. В зависимости от термических свойств основы клеи могут быть терморезистивными и термопластичными. В зависимости от внешнего вида и консистенции клей может быть твердым (в виде порошков, плитки, чешуек, пленок и др.), капсулированным, дисперсионным, находится в виде раствора или расплава [1].

Обычно клей состоит из связующих веществ, отвердителей, упрочняющих агентов, разбавителей и модификаторов и широко используется при упаковке, в электронной промышленности, строительстве, транспортном и общем машиностроении, энергетике, медицине и здравоохранении, авиакосмической и других областях [2].

Основное тестирование клеев. Тестирование клеев очень важно для всех аспектов материаловедения и инженерии. Тесты позволяют не только определить прочность самого клея, но и оценить технологию склеивания, степень очистки поверхности, эффективность обработки поверхности, коррозию поверхности, вид клеевого покрытия, толщину клеевого слоя, условия отверждения и другие вопросы, на которые люди обращают внимание. Для определения

этих вопросов необходимо определить различные показатели качества клеев, а именно:

1) показатели состава (внешний вид и цвет, плотность, массовая доля нелетучих веществ, массовая доля воды и т. д.);

2) показатели технологичности (показатель текучести расплава, толщина клеевого слоя, жизнеспособность клея и др.);

3) показатели назначения (прочность при расслаивании, прочность при отслаивании, прочность при сдвиге, прочность при отрыве, прочность при неравномерном отрыве и др.);

4) показатели надежности и долговечности (коррозионная агрессивность, выносливость при сдвиге, длительная прочность при сдвиге и др.);

5) показатели безопасности (горючесть, класс опасности, кислородный индекс).

Далее обсуждаются различные типы испытаний клеевых соединений по показателю назначения, включая только некоторые из наиболее важных испытаний, а затем перечислим соответствующие методы в некоторых предметных областях.

Прочность при расслаивании. К линии срая прикладывается сила, и повреждение соединения начинается с конца (рис. 1). Если адгезив достаточно толстый и жесткий, нагрузка действует на конец образца и перпендикулярна склеиваемой поверхности, адгезив не деформируется, и рассоединение происходит внезапно, что приводит к раскалыванию. В ГОСТ Р 57751–2017 «Метод определения прочности клеевого соединения при расслаивании в условиях растяжения» описан метод измерения расщепления и отслаивания адгезивов, используемых для склеивания технических пластмасс.

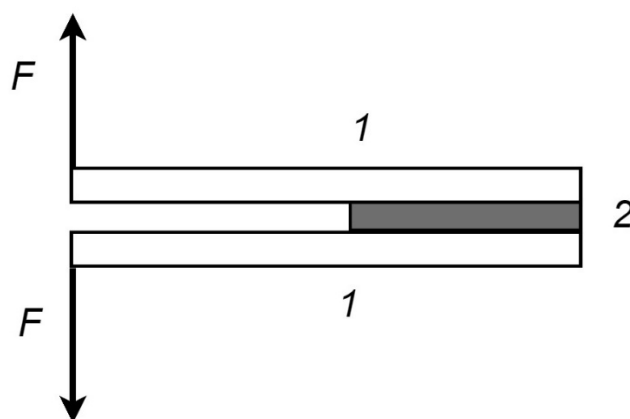


Рис. 1. Схема определения прочности адгезии при расслаивании:

1 — жесткий материал; 2 — слой клея

Прочность при отслаивании. Тест на отслаивание (T-peel test по ISO 11339) используется для определения способности гибких клеев выдерживать локальную концентрацию напряжений (рис. 2). Считается, что сила зачистки действует вдоль линии, т. е. это линейная сила. Чем мягче клей, тем выше модуль адгезии, тем более линейной становится поверхностная сила, поэтому напряжение велико. Поскольку площадь силы зависит от толщины и модуля адгезива и клея, ее трудно оценить, поэтому обычно считают, что действующее и разрушающее напряжения являются линейными и изменяются в ньютонах на сантиметр (Н/см) [3]. Тест T-отслаивания более широко используется для тонких металлических прилипающих предметов. В этом испытании вся нагрузка передается на соединение, поэтому измеренная адгезивная прочность на отслаивание ниже, чем при других испытаниях на отслаивание.

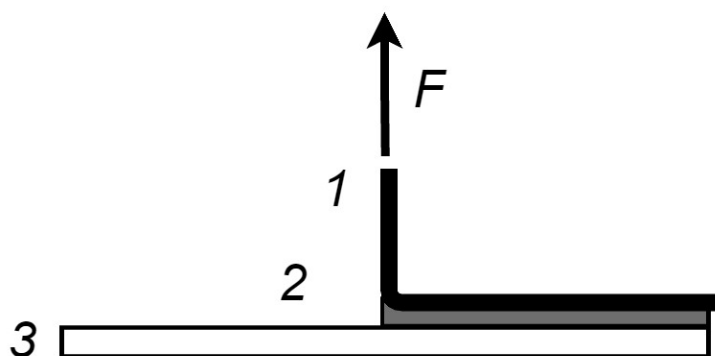


Рис. 2. Схема определения прочности адгезии при отслаивании методом T-отслаивания:
1 — гибкий материал; 2 — слой клея; 3 — жесткий материал

Адгезивная прочность на отслаивание эластомерных клеев зависит от толщины клеевого слоя. По мере увеличения толщины клеевого слоя упругая деформация клея увеличивает площадь склеивания. Когда соединение находится под воздействием одинаковой силы, распределение растягивающих напряжений является широким, а концентрация напряжений мала, поэтому прочность на отслаивание относительно выше. Тест T-отслаивания является часто используемым методом тестирования. Этот тест в основном предназначен для определения стойкости двух гибких клеевых соединений к отслаиванию.

В ГОСТ 28966.2–91 описан метод определения прочности клеевых соединений на отрыв или разрыв, который представляет собой стандартное испытание на отрыв (угол между силой и плоскостью равен 180°), при этом один из клеев должен быть достаточно гибким, чтобы позволять слою клея складываться (рис. 3). Измерение выполняется путем отрыва гибкой фольги, пленки или ленты от относительно жестких подложек (таких как металлы, пластмассы, стекло, дерево

и т. п.) значительной толщины. Этот метод в основном используется для определения прочности на отрыв клейких лент и эластичных или мягких материалов, таких как резина, ткани и пленки, прикрепленных к жестким адгезивам.

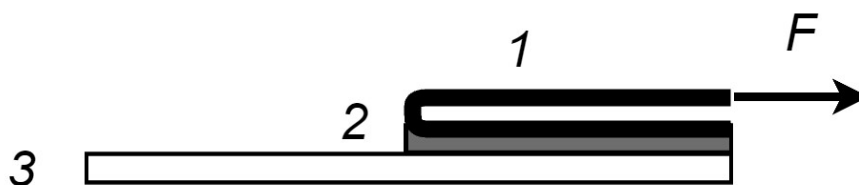


Рис. 3. Схема определения прочности адгезии при отслаивании по стандарту ГОСТ 28966.2-91:

1 — гибкий материал; 2 — слой клея; 3 — жесткий материал

Прочность при сдвиге. Напряжение сдвига — это напряжение, создаваемое параллельно поверхности склеивания (рис. 4). Образец сдвига с одним кругом не представляет собой образец чистого сдвига, но он очень практичен, производство таких образцов относительно простое, а измеренные данные имеют практическую ценность.

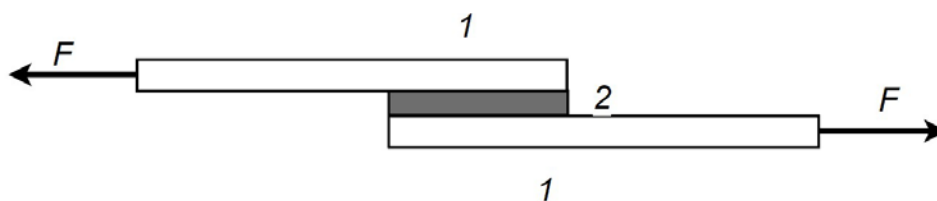


Рис. 4. Схема определения прочности адгезии при сдвиге:

1 — жесткие материалы; 2 — слой клея

Испытание на сдвиг является очень распространенным испытанием, поскольку образец легко подготовить, а геометрия и условия эксплуатации применимы ко многим конструкционным клеям. Как и при испытании на растяжение, распределение напряжений при испытании на сдвиг неравномерно. Разрывное напряжение получают путем деления нагрузки на площадь склеивания в соответствии с обычным методом. Максимальное напряжение в клеевом слое намного выше среднего напряжения, а напряжение на клеевом слое отличается от чистого сдвига. Форма разрушения скрепленного «сдвигового» соединения зависит от толщины клеевого слоя и жесткости клея. Иногда основной причиной является разрушение при сдвиге, а иногда — разрушение при растяжении [4].

Прочность при отрыве. Испытание на отрыв — это испытание, при котором нагрузка действует перпендикулярно плоскости клеевого слоя и проходит через центр клеевой поверхности (рис. 5). Метод испытаний на прочность на

растяжение клеевых соединений по стандарту ASTM D897 является одним из старейших методов, до сих пор используемых в американской компании ASTM International для клеев. Внимание должно быть обращено на производство испытательных образцов и приспособлений, используемых в испытании. Из-за неправильной конструкции во время испытания будет возникать краевое напряжение, и на поверхности адгезивного слоя будет большая концентрация напряжения. Данные о напряжении рассчитывают по аналогии. Расчет прочности различных зон склеивания или различных конформных соединений на основе полученных данных не приводит к точным результатам. Таким образом, стандарт D897 был заменен стандартом D2095 «Метод испытания прочности клеев на разрыв с помощью образцов стержней и стержней». Исследуемый образец изготовлен в соответствии со стандартом ASTM D2094 «Практика подготовки стержней и стержней для испытаний на адгезию» и обеспечивает большую точность измерений [5].

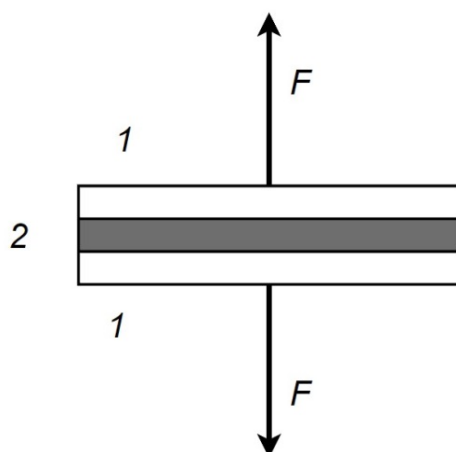


Рис. 5. Схема определения прочности адгезии при отрыве:
1 — жесткие материалы; 2 — слой клея

Прочность соединения при растяжении может быть определена более точно, если образцы для испытаний изготовлены и испытаны надлежащим образом. Испытание на растяжение является наиболее распространенным испытанием для оценки адгезивов. Хотя это соединение разработано опытным персоналом, нет никакой гарантии, что оно будет полностью растянуто при нагрузке. Большинство конструкционных материалов обладают более высокой прочностью на растяжение, чем клеи. Одним из преимуществ испытаний на растяжение является то, что при таких испытаниях можно получить самые основные данные, такие как деформация при растяжении, модуль упругости и предел прочности при растяжении [6].

Прочность при неравномерном отрыве. Методы неравномерного отрыва весьма разнообразны (рис. 6). Общим признаком для них является нарушение связи между адгезивом и субстратом, причем усилие прикладывается не к центру соединения, а к одному его краю, поэтому связь нарушается постепенно. Если пленка адгезива (покрытия) недостаточно прочна, то при отделении от субстрата она может разрушиться. Чтобы этого не произошло, пленка укрепляется подходящим армирующим материалом. Пользоваться армирующим материалом приходится и в тех случаях, когда адгезив или субстрат под действием расслаивающего усилия способен сильно деформироваться — растягиваться. В тех случаях, когда разделяются путем постепенного нарушения связи два монолитных, негибких материала, такое испытание называют раскалыванием или отдиrom. Все эти виды испытаний могут быть объединены одним общим термином — неравномерный отрыв. Многие из методов стандартизированы [7].

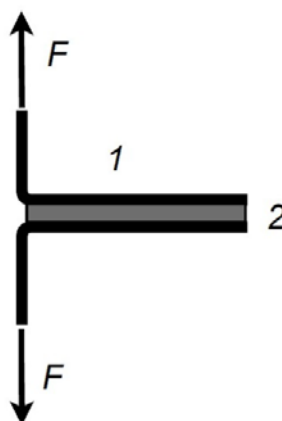


Рис. 6. Схема определения прочности адгезии при неравномерном отрыве:
1 — гибкие материалы; 2 — слой клея

Прочность при кручении. Кручение — это вид деформации, возникающий при воздействии на брус двух пар сил в плоскостях, перпендикулярных оси бруса, и характеризующийся взаимным поворотом каждого поперечного сечения по отношению к соседнему на некоторый угол. Испытание на сдвиг при кручении образцов имеет перед рассмотренными методами растяжения и сжатия одно важное преимущество: при кручении возникает чистый сдвиг без отрывающей силы. В наиболее чистом виде сдвиг реализуется при скручивании двух тонкостенных горизонтально расположенных цилиндров. Поэтому для измерения адгезивной прочности используется испытание на кручение, что может упростить экспериментальный расчет и повысить точность измерения. Эта идея еще не использовалась для измерения адгезивной прочности клеев. Схема испытаний клеевых соединений скручиванием приведена на рис. 7 [8].

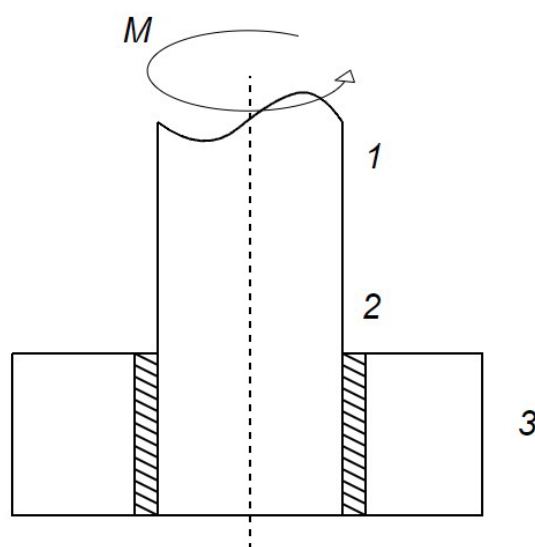


Рис. 7. Схема определения прочности адгезии при кручении:
1, 3 — гибкие материалы; 2 — слой клея; M — крутящий момент

Заключение. С развитием экономики и совершенствованием науки и техники клеи стали более удобными и эффективными и широко используются в различных областях. Поэтому определение механических свойств клеев имеет большое значение при выборе и разработке клеев, а также при разработке технологии и улучшении процессов склеивания. Склеенные соединения обычно испытывают на растяжение, сдвиг, отслаивание и т. п., чтобы проверить механические свойства клея. Испытание на отслаивание применяют для измерения прочности сцепления клея. Существует три метода проведения испытаний на отслаивание: методы неравномерного отрыва, методы равномерного отрыва и методы сдвига.

Литература

- [1] Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги. М., ВИАМ, 2017.
- [2] Игнатов А.В. Современные достижения в области клеев и герметиков. *Клеи. Герметики. Технологии*, 2015, № 11, с. 35–39.
- [3] Вильнав Ж.Ж. Клеевые соединения. М., Техносфера, 2007.
- [4] Арбузов, В.И., Натрусов В.И., Шацкая Т.Е. Адгезионная прочность эпоксидных композитов, модифицированных наночастицами углеродной и силикатной природы. *Док. межд. конф. по хим. технологии*. М., 2007, с. 7–12.
- [5] Натрусов В.И., Смирнов Ю.Н., Шацкая Т.Е. и др. Аспекты формирования прочностных свойств клеевых соединений на основе эпоксидных связующих полимеризационного типа. *Журнал прикладной химии*, 2003, т. 76, № 12, с. 2059–2063.

- [6] Батиенков В.Т. Прикладная механика. М., РИОР, 2019.
- [7] Бурдикова Т.В. Адгезионная прочность композиционных материалов. Казань, КНИТУ, 2018.
- [8] Дюмаев К.М., Маненков А.А., Маслюков А.П. и др. Прозрачные полимеры — новый класс оптических материалов для лазеров. *Квантовая электроника*, 1983, т. 10, № 4, с. 810–817.

Чжан Цинхуэй — аспирант кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Гаврюшин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Чжан Цинхуэй. Сравнение методик определения механических характеристик клеевых соединений. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 07(72).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-07-813>

COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ADHESIVE JOINTS

Zhang Qinghui

cinhuey1@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Some important tests for determining the strength of adhesives based on international standards are considered. The essence of tests for determining the mechanical characteristic of adhesives for the design and optimization of mechanical engineering is shown. Several important mechanical characteristics of adhesives and methods of measuring these adhesive characteristics are listed. Information on methods for measuring the strength of adhesives is given. A comparison of different methods for measuring the strength of adhesives is made. The main advantages of measuring adhesive torsional strength in terms of measuring adhesive force are highlighted. The importance of measuring bond strength in the development of adhesives and their use is shown.

Keywords

Adhesion, adhesive testing, mechanical engineering, adhesive bonding, adhesive strength, strength characteristics, adhesion method

Received 15.06.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Petrova A.P., Malysheva G.V. Klei, kleevye svyazuyushchie i kleevye prepregi [Glues, glue bonding agents and glue prepregs]. Moscow, VIAM Publ., 2017 (in Russ.).
- [2] Ignatov A.V. Today achievements in field of adhesives and sealants. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2015, no. 11, pp. 35–39 (in Russ.).
- [3] Villenave J.J. Assemblage par collage. Paris, Dunod, 2005. (Russ. ed.: Kleevye soedineniya. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2007.)
- [4] Arbuzov, V.I., Natrusov V.I., Shatskaya T.E. [Adhesion strength of epoxide composites modified by carbon and silicate nanoparticles]. *Dok. mezhd. konf. po khim. tekhnologii* [Proc. Int. Conf. on Chemical Technologies]. Moscow, 2007, pp. 7–12 (in Russ.).
- [5] Natrusov V.I., Smirnov Yu.N., Shatskaya T.E. et al. Formation of strength properties of model glue joints based on epoxy-amine binders operating by the polymerization mechanism. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2003, vol. 76, no. 12, pp. 2059–2063 (in Russ.). (Eng. version: *Russ. J. Appl. Chem.*, 2003, vol. 76, no. 12, pp. 2009–2013. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:RJAC.0000022458.74776.34>)
- [6] Batiukov V.T. *Prikladnaya mekhanika* [Applied mechanics]. Moscow, RIOR Publ., 2019 (in Russ.).
- [7] Burdikova T.V. Adgezionnaya prochnost kompozitsionnykh materialov [Adhesion strength of composites]. Kazan, KNITU Publ., 2018 (in Russ.).
- [8] Dyumaev K.M., Manenkov A.A., Maslyukov A.P. et al. Transparent polymers: a new class of optical materials for lasers. *Kvantovaya elektronika*, 1983, vol. 10, no. 4, pp. 810–817

(in Russ.). (Eng. version: *Quantum Electron.*, 1983, vol. 13, no. 4, pp. 503–507.
DOI: <https://doi.org/10.1070/QE1983v013n04ABEH004204>)

Zhang Qinghui — PhD student, Department of Computer Systems of Manufacture Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Gavrushin S.S., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Computer Systems of Manufacture Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Zhang Qinghui. Comparison of methods for determining the mechanical characteristics of adhesive joints. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 07(72). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-07-813.html> (in Russ.).