



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторному практикуму

«Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова»

Автор

Кудряков О.В.

Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

Методические указания предназначены для студентов старших курсов бакалавриата технических направлений подготовки, изучающих дисциплины «Физика прочности», «Механика разрушения» и «Технология покрытий». Руководство ставит целью более глубокое раскрытие физического смысла сложного понятия теории прочности – вязкости разрушения, знакомит с методикой определения вязкости адгезионного разрушения клеящих материалов.

Указания могут быть полезны при подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров, а также для магистрантов, аспирантов и научных работников, занимающихся прикладными вопросами материаловедения, технологии материалов, прочности материалов, покрытий и конструкций.

Автор

Д.т.н., профессор Олег Вячеславович Кудряков





Оглавление

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ	4
МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.....	7
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ.....	8
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	9
ЛИТЕРАТУРА.....	10



Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Усвоение физического смысла и фундаментальной универсальности понятия «вязкость разрушения» для материалов и покрытий различной природы, экспериментальное определение вязкости адгезионного разрушения клеевых материалов.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Из механики разрушения известно, что хрупкое (катастрофическое) разрушение материала или конструкции инициируется при достижении определенного *критического напряжения* (давления), которому соответствует критический размер дефекта (например, длины трещины), возникшего при эксплуатации или изначально содержащегося в материале. Пока критический размер трещины не достигнут, при её распространении будет затрачиваться большее количество энергии, чем выделяться. Поэтому такая малая трещина (меньше критической) увеличиваться не будет и к разрушению не приведет.

Как можно определить это критическое напряжение? Составим энергетический баланс, определяющий возможность роста трещины. Предположим, что в пластине толщиной t длина трещины увеличилась от a до $a + \delta a$. В этом случае работа, совершенная внешней силой, должна превышать изменение упругой энергии и энергии, поглощенной в кончике трещины [1]:

$$\delta W \geq \delta U + G_c \cdot t \cdot \delta a$$

где G_c – энергия образования единицы площади *трещины* (которую не следует путать с термодинамической поверхностной энергией); $t \cdot \delta a$ – увеличение площади трещины.

Параметр G_c называется вязкостью разрушения. Он является важнейшей характеристикой материала – это энергия, поглощаемая при образовании трещины единичной площади. Вязкость разрушения имеет размерность Дж/м². При высокой вязкости разрушения распространение трещины затруднено (это характерно, например, для отожженной меди, у которой $G_c \approx 10^6$ Дж/м²). Напротив, стекло растрескивается очень легко и для него G_c составляет всего лишь ≈ 10 Дж/м².

Вязкость разрушения G_c характеризует также прочность склейки [2]. Её можно измерить для рулона клейкой ленты типа «Скотч», подвесив груз на свободный конец ленты и закрепив



Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова

рулон так, чтобы он мог свободно вращаться вокруг своей оси, как показано на рисунке 1. Увеличим нагрузку до значения M , начинается быстрое разматывание ленты.

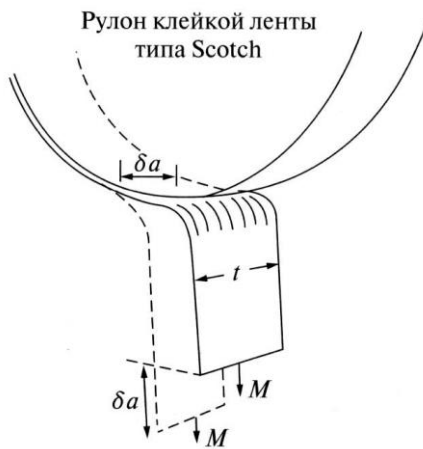


Рисунок 1 – Определение вязкости адгезионного разрушения G_c склейки ленты типа «Скотч» по методике Баженова С.Л. [2]

При такой геометрии величина δU будет мала по сравнению с работой, совершаемой силой M (лента имеет сравнительно небольшую упругость), так что ею можно пренебречь. Для хрупкого разрушения (т.е. для разматывания ленты) получаем:

$$\delta W = G_c \cdot t \cdot \delta a$$

В рассматриваемом случае [1]:

$$M \cdot g \cdot \delta a = G_c \cdot t \cdot \delta a$$

$$M \cdot g = G_c \cdot t$$

Откуда:

$$G_c = \frac{M \cdot g}{t} \quad (1)$$

Эта упрощенная формула пригодна для оценочных расчетов вязкости разрушения клеящих веществ и клеевых соединений. В большинстве же случаев нужно учитывать величину δU и использовать более общие формулы [1, 3]. Однако схема, показанная на рисунке 1, вполне может рассматриваться как модель для понимания физического смысла величины вязкости разрушения любых



Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова

материалов (металлических, керамических, полимерных, композиционных), а также адгезионной (от латинского слова «*adhaesio*» – прилипание) прочности покрытий.

Важность величины вязкости разрушения G_c характеризуется тем, что, являясь константой материала, она определяет критерий хрупкого разрушения этого материала:

$$\sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} = \sqrt{E \cdot G_c} \quad (2)$$

Смысл критериального выражения (2) состоит в том, что хрупкое разрушение наступает, когда при фиксированном напряжении σ трещина в материале достигает некоторой критической длины a . Или, по-другому, разрушение происходит, когда в материале, содержащем трещину длиной a , достигается критическое напряжение σ . Правая часть критерия (2) зависит только от свойств материала – модуля упругости E и вязкости разрушения G_c . Таким образом, критическая комбинация внешнего напряжения и длины трещины, при которой происходит хрупкое разрушение, является характеристикой материала.

Параметр $\sigma \sqrt{\pi \cdot a}$ обозначают буквой K и называют коэффициентом интенсивности напряжения (его размерность – Н/м^{3/2}). Хрупкое разрушение наступает, когда K достигает критического значения K_c :

$$K = K_c = \sqrt{E \cdot G_c} \quad (3)$$

Критерий хрупкого (катастрофического) разрушения, определяемый выражениями (2) и (3), включающими вязкость разрушения G_c , справедлив для конструкционных материалов любой природы. Он также характеризует адгезионную прочность покрытий, клеевых, паяных и других соединений.



Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Соберите экспериментальную конструкцию со свободно вращающейся в вертикальной плоскости катушкой скотча и приспособлением для подвешивания груза M , как показано на рисунке 1. Для обеспечения вращения катушки скотча можно использовать, например, карандаш.

2. Для обеспечения массива экспериментальных данных используйте несколько катушек скотча различной ширины. С этой же целью может быть использован скотч из различных материалов (полимерных, тканевых, металлизированная лента и т.д.).

3. Выполняйте постепенное нагружение ленты скотча каждой катушки до тех пор, пока лента не начнет быстро разматываться.

4. Фиксируйте три параметра испытаний для каждой катушки: материал скотча, ширина катушки t , масса груза M , при котором начинается быстрое разматывание.

5. Занесите все данные измерений в таблицу.

Таблица экспериментальных данных:

№ п/п	Материал скотча	Ширина скотча t , 10^{-3} м	Критическая масса груза M , кг	Вязкость разрушения склейки G_{cr} Дж/м ²	Среднее значение G_{cr} Дж/м ²



Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По полученным данным с помощью выражения (1) рассчитайте значения G_c для каждого опыта (для каждой катушки скотча), а затем – среднее значение G_c для каждого материала скотча. Их также занесите в таблицу.

Нанесите полученные экспериментальные значения в виде точек на поле с координатными осями t – M , показанное на рисунке 2. Постройте графики зависимости $M=f(t)$ для каждого из использованных материалов скотча. В случае необходимости воспользуйтесь методами статистической обработки данных для построения графика (метод наименьших квадратов, метод чисел Чебышева и т.п.).

Определите значение величины G_c склейки для каждого материала скотча по построенным графикам как тангенс угла наклона графика к оси абсцисс t . Сравните полученные значения с рассчитанными средними значениями G_c из таблицы.

Сделайте выводы на основании полученных результатов работы.

Для справок: типичные значения G_c для клеящих веществ составляют 70–80 Дж/м².

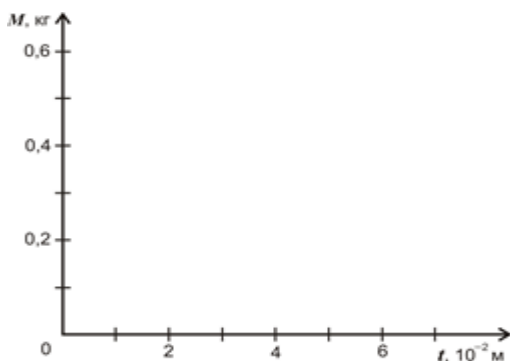


Рисунок 2 – Координатные оси для построения графиков по экспериментальным данным



Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков физический смысл величины «вязкость разрушения»?
2. Что понимается под термином «адгезионная прочность»? Для характеристики каких объектов он применяется?
3. Почему формула (1) является упрощенной и неприменима к характеристике хрупкого разрушения металлов?
4. Как связана вязкость разрушения с коэффициентом интенсивности напряжений?
5. Какие параметры определяют критерий хрупкого разрушения?
6. Почему хрупкое разрушение более опасно, чем вязкое?
7. Каков сравнительный уровень вязкости адгезионного разрушения клеевых соединений? Какими могут быть пути его повышения?



Определение вязкости адгезионного разрушения материалов и покрытий по методу Баженова

ЛИТЕРАТУРА

1. Эшби М., Джонс Д. Конструкционные материалы. Полный курс. Учебное пособие / Пер. с англ. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. С.141-143.
2. Bazhenov S.L. // Composites. – 1991. – V.22. – P. 275-280.
3. Кудряков О.В., Варавка В.Н., Бровер Г.И. Введение в физику прочности и основы механики разрушения: Текст лекций / ДГТУ. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 65с.