

---

---

**Клеи. Определение энергии  
адгезионного разрушения типа 1  
конструкционных клеевых соединений  
с использованием образцов типа  
двухконсольной балки и конусной  
двухконсольной балки**

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)  
*Adhesives – Determination of the mode 1 adhesive fracture energy of structural adhesive joints using double cantilever beam and tapered double cantilever beam specimens*

ISO 25217:2009

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ed31276f-af50-4514-a741-723adb38f435/iso-25217-2009>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R  
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO



Ссылочный номер  
ISO 25217:2009(R)

**Отказ от ответственности при работе в PDF**

Настоящий файл PDF может содержать интегрированные шрифты. В соответствии с условиями лицензирования, принятыми фирмой Adobe, этот файл можно распечатать или смотреть на экране, но его нельзя изменить, пока не будет получена лицензия на интегрированные шрифты и они не будут установлены на компьютере, на котором ведется редактирование. В случае загрузки настоящего файла заинтересованные стороны принимают на себя ответственность за соблюдение лицензионных условий фирмы Adobe. Центральный секретариат ISO не несет никакой ответственности в этом отношении.

Adobe - торговый знак фирмы Adobe Systems Incorporated.

Подробности, относящиеся к программным продуктам, использованные для создания настоящего файла PDF, можно найти в рубрике General Info файла; параметры создания PDF были оптимизированы для печати. Были приняты во внимание все меры предосторожности с тем, чтобы обеспечить пригодность настоящего файла для использования комитетами-членами ISO. В редких случаях возникновения проблемы, связанной со сказанным выше, просьба проинформировать Центральный секретариат по адресу, приведенному ниже.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 25217:2009

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ed31276f-af50-4514-a741-723adb38f435/iso-25217-2009>



**ДОКУМЕНТ ЗАЩИЩЕН АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

© ISO 2009

Все права сохраняются. Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO, которое должно быть получено после запроса о разрешении, направленного по адресу, приведенному ниже, или в комитет-член ISO в стране запрашивающей стороны.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Опубликовано в Швейцарии

## Содержание

Страница

Предисловие .....	iv
1 Область применения .....	1
2 Нормативные ссылки .....	1
3 Символы и сокращенные термины .....	1
4 Сущность метода .....	3
5 Аппаратура .....	3
6 Образцы для испытания .....	4
6.1 Число образцов .....	4
6.2 Кондиционирование .....	4
6.3 Изготовление образцов клеевых соединений .....	4
6.4 Определение размеров образца .....	7
6.4.1 Подложки DCB .....	7
6.4.2 Подложки TDCB .....	7
6.4.3 Подложки DCB и TDCB .....	8
6.5 Подготовка образцов для испытания .....	8
7 Проведение испытания .....	8
7.1 Схема испытания и регистрация данных .....	8
7.2 Первоначальное нагружение (стадия нанесения предварительной трещины) .....	8
7.3 Повторное нагружение: испытание с предварительно нанесенной трещиной типа I .....	9
7.4 Измерение податливости испытательной машины .....	11
8 Анализ данных .....	11
8.1 Определение необработанных данных по графику нагрузка-смещение .....	11
8.1.1 Общие положения .....	11
8.1.2 Значения страгивания .....	11
8.1.3 Значения распространения .....	12
8.2 Определение $G_{IC}$ .....	12
8.2.1 Общие положения .....	12
8.2.2 Двухконсольная балка (DCB) .....	12
8.2.3 Конусная двухконсольная балка (TDCB) .....	14
9 Протокол испытания .....	15
9.1 Протокол испытания образцов DCB .....	15
9.2 Протокол испытания образцов TDCB .....	16
Приложение А (информативное) Измерение податливости системы .....	18
Приложение В (нормативное) Процедура на случай нестабильного или “скачкообразного” роста трещины, наблюдаемого при испытании на разрушение .....	20
Приложение С (нормативное) Процедура обнаружения возникновения пластической деформации при испытании клеевых соединений в образцах DCB или TDCB .....	21
Приложение D (информативное) Краткое описание базовой теории .....	22
Библиография .....	26

## Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) представляет собой всемирную федерацию, состоящую из национальных органов по стандартизации (комитеты-члены ISO). Работа по разработке международных стандартов обычно ведется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в теме, для решения которой образован данный технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные организации, правительственные и неправительственные, поддерживающие связь с ISO, также принимают участие в работе. ISO тесно сотрудничает с Международной электротехнической комиссией (IEC) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Международные стандарты разрабатываются в соответствии с правилами, приведенными в Части 2 Директив ISO/IEC.

Основное назначение технических комитетов заключается в разработке международных стандартов. Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, направляются комитетам-членам на голосование. Для их опубликования в качестве международных стандартов требуется одобрение не менее 75 % комитетов-членов, участвовавших в голосовании.

Внимание обращается на тот факт, что отдельные элементы данного документа могут составлять предмет патентных прав. ISO не несет ответственность за идентификацию каких бы то ни было или всех подобных патентных прав.

ISO 25217 был подготовлен Техническим комитетом ISO/TC 61, *Пластмассы*, Подкомитетом SC 2, *Механические свойства*.

[ISO 25217:2009](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ed31276f-af50-4514-a741-723adb38f435/iso-25217-2009)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ed31276f-af50-4514-a741-723adb38f435/iso-25217-2009>

# Клеи. Определение энергии адгезионного разрушения типа 1 конструкционных клеевых соединений с использованием образцов типа двухконсольной балки и конусной двухконсольной балки

## 1 Область применения

Настоящий международный стандарт устанавливает метод, основанный на линейно-упругой механике разрушения (трещинообразования) (LEFM), для определения сопротивления разрушению конструкционных клеевых соединений под нагрузкой типа I, с использованием образцов типа двухконсольной балки (DCB) и конусной двухконсольной балки (TDCB).

## 2 Нормативные ссылки

Следующие ниже стандарты являются обязательными для применения настоящего документа. В отношении жестких ссылок действительно только приведенное издание. В отношении плавающих ссылок действует последнее издание (включая любые изменения).

ISO 291, *Пластмассы. Стандартные атмосферы для кондиционирования и испытания*

ISO 10365, *Клеи. Обозначение основных типов разрушений*

## 3 Символы и сокращенные термины

Применительно к данному международному стандарту используются следующие символы и сокращенные термины:

- |       |   |
|-------|---|
| $A$   | длина вставленной пленки (мм), т.е. расстояние от конца образца до кончика вставленной пленки (см. Рисунок 1)   |
| $a$   | длина трещины (мм), т.е. расстояние между линией приложения нагрузки (пересечение плоскости, проходящей через центры точечных отверстий или центры осей шарниров с плоскостью трещины) и вершиной предварительно нанесенной трещины или трещины на кромке образца (см. Рисунок 1) |
| $a_p$ | длина предварительно нанесенной трещины (мм), отмеренная от линии приложения нагрузки до вершины предварительно нанесенной трещины типа I   |
| $a_0$ | длина вставленной пленки (мм) между линией приложения нагрузки и кончиком вставленной пленки (см. Рисунок 1)  |
| $B$   | ширина образца (мм)   |
| $C$   | (коэффициент) податливости $\delta P$ образца (мм/Н)  |

$C_{cs}$	(коэффициент) податливости калибровочного образца, использованного для измерения податливости системы (мм/Н)
$C_{max}$	(коэффициент) податливости образца при максимальной нагрузке (мм/Н)
$C_{sy}$	(коэффициент) податливости системы под действием растягивающей нагрузки (мм/Н)
$C_{total}$	(коэффициент) податливости системы под действием растягивающей нагрузки и калибровочного образца, использованного для измерения его (мм/Н) (см. Приложение А)
$C_0$	исходная податливость образца, пренебрегая пусковыми эффектами, например, за счет люфта в креплении образца (мм/Н) (см. Рисунок 2)
$C_{0+5\%}$	исходная податливость образца, $C_0$ , умноженная на коэффициент 1,05 (мм/Н) (см. Рисунок 2)
$E_f$	модуль изгиба плеча подложки (балки) для нанесения клея, рассчитанный по испытанию на распространение трещины типа I DCB (ГПа)
$E_s$	независимо измеренный модуль изгиба или упругости при растяжении концов составленной из подложек для нанесения клея балки (ГПа). Если подложка представляет собой волоконный композиционный материал, $E_s$ является продольным модулем материала в направлении выравнивания волокон
$F$	поправка на большое смещение
$G_{IC}$	критическая скорость выделения энергии деформации, или энергия адгезионного разрушения, для нагрузки раскрытия типа I (Дж/м <sup>2</sup> )
$H$	толщина блока нагружения (мм)
$h$	толщина подложки (образца типа балки) для нанесения клея при длине трещины $a$ (мм)
$h_a$	толщина слоя клея (мм)
$l$	общая длина образца (мм)
$l_1$	расстояние от центра нагружающего штифта или оси рояльной петли до середины плоскости плеча подложки (балки) для нанесения клея, к которой присоединен блок нагружения или рояльная петля (мм) (см. Рисунок 1)
$l_2$	расстояние от центра точечного отверстия в нагружающем блоке до края нагружающего блока, измеренное в направлении вставленной пленки (стартовой пленки) или вершины предварительно нанесенной трещины типа I (мм) (см. Рисунок 1)
$l_3$	общая длина нагружающего блока (мм) (см. Рисунок 1)
MAX/5 %	либо максимальная нагрузка на кривой нагрузка-смещение, либо точка пересечения прямой линии с кривой нагрузка-смещение при наклоне прямой, соответствующем $C_{0+5\%}$ (см. Рисунок 2)
$m$	коэффициент формы образца [см. формулу (1)]
$N$	поправка на блок нагружения
NL	появление нелинейности на кривой нагрузка-смещение (см. Рисунок 2)

$n$	наклон графика зависимости $\log_{10}C$ от $\log_{10}a$ , или $\log_{10}(CIN)$ от $\log_{10}a$ , если используются нагружающие блоки
$P$	нагрузка, измеренная датчиком нагрузки испытательной машины (Н)
PROP	приращения длины трещины при стабильном росте (распространении) трещины, которые отмечаются на кривой нагрузка-смещение (см. Рисунок 2)
$r^2$	коэффициент корреляции подбора прямых
r.h.	относительная влажность во время испытания (%)
VIS	начало визуально определяемого роста трещины на кромке образца, которое отмечают на кривой нагрузка-смещение (см. Рисунок 2)
$\Delta$	поправка на длину трещины для балки, заделанной неидеально (мм)
$\delta$	смещение ползуна испытательной машины (мм)
$\delta_{\text{cor}}$	смещение ползуна испытательной машины с поправкой на эффекты податливости системы (мм)

#### 4 Сущность метода

Образец типа двухконсольной балки (DCB) или конусной двухконсольной балки (TDCB) используют для определения энергии адгезионного разрушения,  $G_{IC}$ , конструкционных клеевых соединений.

Определяют сопротивление зарождению и распространению трещины. Сопротивление зарождению трещины определяют по неадгезионной вставке, помещенной в клеевой слой и по предварительно нанесенной трещине типа I. Сопротивление распространению трещины определяют по предварительно нанесенной трещине типа I. Энергию адгезионного разрушения,  $G_{IC}$ , (также называемую критической скоростью выделения энергии деформации) для приложенной нагрузки типа I рассчитывают по кривой сопротивления (R-кривой), т.е. по графику зависимости  $G_{IC}$  от длины трещины.

#### 5 Аппаратура

**5.1 Испытательная машина на растяжение**, обеспечивающая постоянную скорость смещения ползуна от 0,1 мм/мин до 5 мм/мин под контролем. Испытательная машина должна оснащаться следующим

- креплением для нагружения штифтов, вставленных в блоки или непосредственно в подложку (образца типа балки);
- или захватами для удерживания рояльных петель, которые позволяют поворачиваться концу образца (см. Рисунок 1).

Испытательная машина должна включать динамометрический элемент, который должен иметь калибровку и точность в пределах  $\pm 1\%$  в выбранном диапазоне нагружения.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Обычно ожидается приложение нагрузок в диапазоне от 100 Н до 5 000 Н.

Смещение раскрытия испытуемого образца должно быть выведено по положению ползуна. Испытательная машина должна оснащаться средствами записи кривых полной нагрузки от смещения (кривой нагружения и разгружения) в процессе испытания.

**5.2** **Подвижный микроскоп** или **видеокамера**, с подходящим увеличением, обеспечивающие измерение длины трещины вдоль кромки образца с точностью не менее  $\pm 0,5$  мм.

**5.3** **Микрометр** или **штангенциркуль с нониусом**, обеспечивающий измерение толщины плеча подложки для нанесения клея (образца типа балки) и клеевых соединений с точностью не менее  $\pm 0,02$  мм.

**5.4** **Микрометр** или **штангенциркуль с нониусом**, обеспечивающий измерение ширины клеевых соединений с точностью не менее  $\pm 0,05$  мм.

**5.5** **Корректирующая жидкость для пишущих машин** (“белые чернила”) или **белая краска-спрей**.

## 6 Образцы для испытания

### 6.1 Число образцов

Необходимо испытать минимум четыре клеевых соединения.

### 6.2 Кондиционирование

Большинство клеев будут абсорбировать в небольшом количестве влагу из атмосферы, которая может оказать заметное влияние на измеряемые характеристики. После подготовки образцов клей обычно высушивают. Если испытание осуществляют в течение нескольких дней после изготовления образца, то нет необходимости в кондиционировании в условиях контролируемой влажности, поскольку незначительное поглощение воды будет происходить в тонком слое клея. Однако если образец испытывают спустя значительное время или если рассматривается именно влияние абсорбированной воды на характеристики, то влажность необходимо контролировать путем кондиционирования, а характеристики будут зависеть от продолжительности кондиционирования.

ISO 25217:2009

Кроме того, если используют подложки из композиционных материалов, то может оказаться важным просушить их до выполнения соединения. Характеристики некоторых клеев очень чувствительны к присутствию небольшого количества влаги в подложке для нанесения клея перед отверждением. Температура сушки перед отверждением обеспечит отсутствие влияния на целостность клеевого соединения влаги до склеивания.

### 6.3 Изготовление образцов клеевых соединений

Образцы DCB должны соответствовать Рисункам 1 а), 1 б) или 1 с). Образцы TDCB должны соответствовать Рисунку 1 д).

Толщина пленки, которую вставляют в клеевой слой при изготовлении, должна быть меньше 13 мкм. Пленка не должна прилипать. Рекомендуется применять пленку из ПТФЭ. Если используют алюминиевую фольгу, ее необходимо покрыть разделительной смазкой перед использованием. Соответствующую обработку поверхностей металлических подложек можно найти в ISO 17212 <sup>[1]</sup>.

Толщина клеевого слоя должна тщательно контролироваться и быть меньше 1 мм (см. Примечания 1 и 2). Толщина слоя не должна меняться более чем на 20 % в пределах соединения, а средняя толщина слоя в одном соединении не должна отличаться более чем на 20 % от толщины слоя соединения в другом образце. Когда клей полностью отвердеет, удаляют избыток клея с помощью механических средств, которые не ослабляют клеевое соединение, так чтобы кромки образца были гладкими.

Следует признать, что значение  $G_{IC}$  измеренное в данных испытаниях, будет зависеть от толщины клеевого слоя в соединении. Значение толщины слоя должно определяться пользователем на основе рекомендаций изготовителя или после рассмотрения предполагаемого применения.



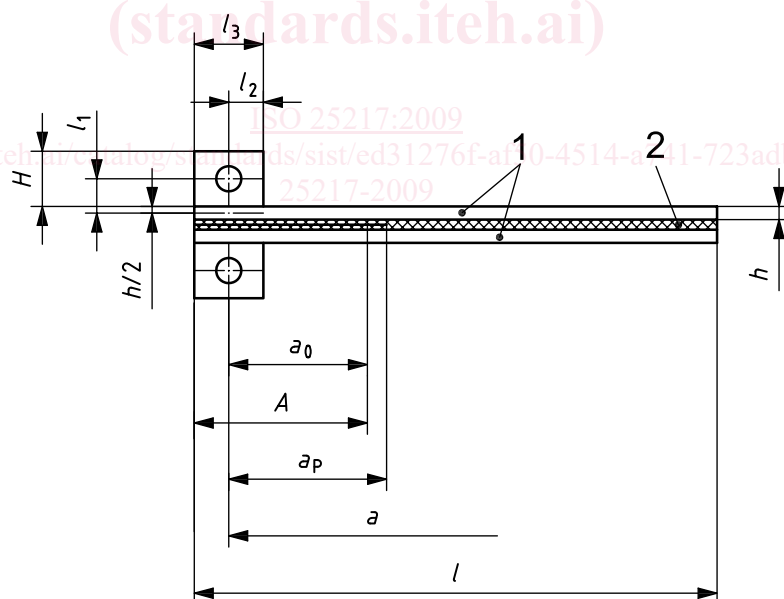
В область применения настоящего международного стандарта не входит установление деталей изготовления соединений, которые подлежат испытанию. Такую информацию можно получить от изготовителя клея и/или изготовителя подложек.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1** Используемый здесь анализ предполагает, что клеевой слой вносит пренебрежимо малый вклад в общую податливость соединения. В межлабораторных испытаниях и поддерживающих испытаниях использовались значения  $h_a$  от 0,1 мм до 1,0 мм с приемлемыми результатами. Значения  $h_a > 1,0$  мм можно использовать, однако для таких более толстых слоев достоверность анализа продемонстрирована не была.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2** Для некоторых упрочненных клеев значение  $G_{IC}$  определенное данным методом, показано как величина, сильно зависящая от толщины клеевого слоя,  $h_a$ . В результате требуется тщательное изучение при выборе значения  $h_a$ . Для выбора  $h_a$ , рекомендуется определить размер зоны пластичности перед вершиной трещины. Радиус этой зоны,  $r_p$ , можно аппроксимировать к условиям плосконапряженного состояния (как существующее на краях соединения) и плоскостной деформации (как существующей в центральной части соединения) следующим образом:

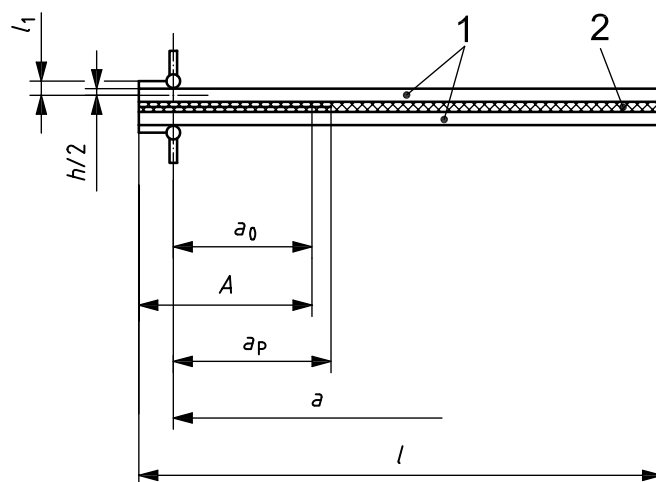
$$r_p = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{E_a G_{IC}}{\sigma_y^2} \right) \text{ (плосконапряженное состояние); } r_p = \frac{1}{6\pi} \left( \frac{E_a G_{IC}}{\sigma_y^2} \right) \text{ (плоскодеформированное состояние)}$$

где  $E_a$  и  $\sigma_y$  являются модулем Юнга и пределом текучести клея, соответственно. Kinloch и Shaw [4] поспорили, что поскольку значение  $r_p$  было выше у краев соединения, где существует плосконапряженное состояние, то значение плоского напряжения более применимо для непосредственного сравнения с толщиной клеевого слоя,  $h_a$ . Если  $h_a \ll 2r_p$ , то зона пластичности может в большей степени сдавливаться, и ожидается низкое значение  $G_{IC}$ . Если  $h_a \approx 2r_p$ , то значение  $G_{IC}$  может достичь максимума, как показано в Ссылке [4], поскольку зона пластичности полностью образуется и потенциально разрушается за счет близкого присутствия границы раздела клей-подложка. Если  $h_a > 2r_p$ , тогда значение  $G_{IC}$  будет, скорее всего, независимо от  $h_a$ , что является наиболее желательным состоянием, при условии наличия константы, введенной Примечанием 1.

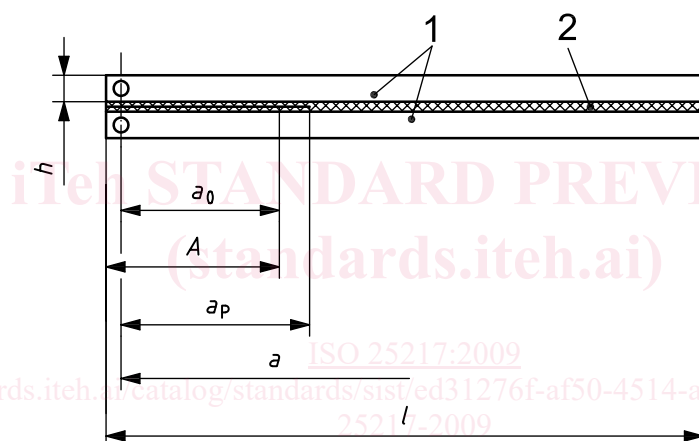


а) Образец DCB с нагружающими блоками

Рисунок 1 (продолжение на следующей странице)

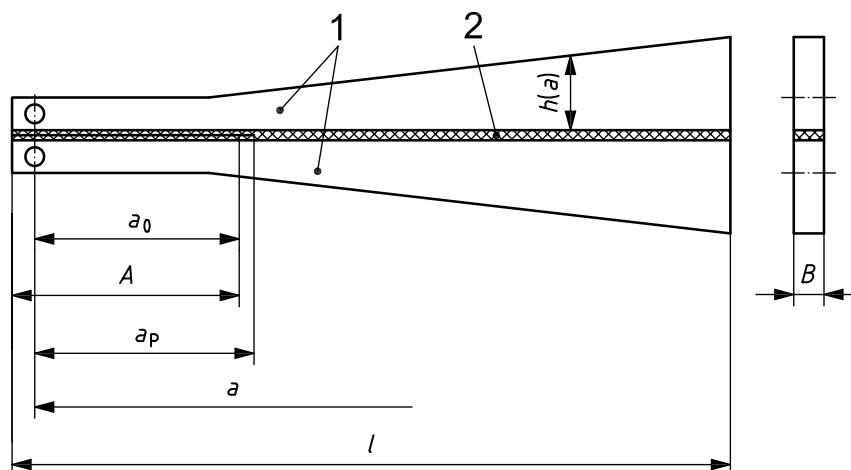


b) Образец DCB с рояльными петлями (альтернативный режим нагружения)



c) Образец DCB с металлическими подложками, когда нагружающие отверстия можно просверлить через плечи подложки (альтернативный режим нагружения)

Рисунок 1 (продолжение на следующей странице)



d) Образец DCB

**Обозначение**

- 1 подложки для нанесения клея
- 2 клей

**ПРИМЕЧАНИЕ** Длина трещины,  $a$ , представляет собой расстояние между линией нагружения (пересечение плоскости, проходящей через центры точечных отверстий или осей рояльных петель, и плоскостью трещины) и вершиной предварительной нанесенной трещины или трещины на кромке образца. Значение  $h$  - это толщина плеча подложки. Для образца TDCB значение  $h$  является функцией длины трещины,  $a$ .

Рисунок 1 — Геометрия образцов клеевых соединений

**6.4 Определение размеров образца****6.4.1 Подложки DCB**

Измеряют толщину каждой подложки DCB микрометром (5.3) перед склеиванием. Измерения выполняют в трех точках вдоль длины балки, на расстоянии 30 мм от каждого конца, и в середине длины. Рассчитывают среднее значение толщины каждой подложки,  $h$ . Определяют толщину клеевого слоя,  $h_a$ , путем вычитания значений толщины подложек,  $2h$ , из общей толщины соединения.

**6.4.2 Подложки TDCB**

Измеряют толщину каждой подложки TDCB штангенциркулем с нониусом или микрометром (5.3) перед соединением. Выполняют измерение в трех точках вдоль отмеченного участка балки на расстоянии 30 мм от каждого края и в середине длины обрисованного участка. Измеряют длину трещины в каждой из этих позиций. Рассчитывают  $m$  по Формуле (1) (см. Приложение D).

$$\frac{3a^2}{h^3} + \frac{1}{h} = m \quad (1)$$

Повторяют измерения общей толщины балки после склеивания. Определяют толщину клеевого слоя,  $h_a$ , путем вычитания значений толщины подложек,  $2h$  (измеренной в указанных местах), из общей толщины соединения в каждом из трех мест.

### 6.4.3 Подложки DCB и TDCB

Удаляют избыток клея по кромкам образца типа балки. После склеивания измеряют ширину соединений DCB или TDCB с помощью штангенциркуля с нониусом или микрометра в трех точках вдоль длины балки, на расстоянии 30 мм от каждого конца и на середине длины. Рассчитывают среднее значение, *B*.

### 6.5 Подготовка образцов для испытания

Наносят тонким слоем корректирующую жидкость для пишущих машинок (“белые чернила”), или белую краску-спрей на кромки образца после кондиционирования, чтобы облегчить обнаружение роста трещины.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Некоторые корректирующие жидкости для пишущих машинок и краски содержат растворители, которые могут нанести вред клею или материалу слоистой матрицы подложки из композиционного материала. Обычно предпочтительней использовать в качестве растворителя воду.

Через каждый отрезок длиной 1 мм наносят метки от кончика вставки или вершины трещины типа I на расстоянии примерно первых 10 мм, затем наносят метки через каждые 5 мм. На последних 5 мм метки наносят через каждый 1 мм.

Для испытываемого образца DCB расстояние, на которое распространяется трещина должно составлять приблизительно 65 мм, а для образца TDCB это расстояние должно быть приблизительно 100 мм.

## 7 Проведение испытания

### 7.1 Схема испытания и регистрация данных

Испытание выполняют при одной из температур, установленных в ISO 291 или при другой температуре, согласованной между заинтересованными сторонами. После установки образца в крепление испытательной машины, поддерживают один конец образца, если необходимо, чтобы удерживать образец под прямым углом к направлению прилагаемой нагрузки. Регистрируют нагрузку и сигналы о смещении испытательной машины с помощью электроники или на ленте записи в течение всего испытания, включая цикл снятия нагрузки.

Если используется разрывная машина с самописцем, то рекомендуются следующие соотношения скорости ползуна и скорости бумажной ленты самописца:

- a) если испытываемое клеевое соединение выполнено на металлических подложках, то соотношение примерно 1:100;
- b) если испытываемое клеевое соединение выполнено на подложках из волоконного композиционного материала, соотношение рекомендуется 1:10.

Измеряют длину трещины вдоль кромки образца с точностью не менее  $\pm 0,5$  мм, используя либо подвижный микроскоп, либо видеокамеру с подходящим увеличением (5.2). Если наблюдается нестабильный рост трещины после остановки трещины (“скачкообразный рост”) на любой стадии испытания выполняют процедуру, описанную в Приложении В.

### 7.2 Первоначальное нагружение (стадия нанесения предварительной трещины)

Для испытания от вставки (стартовая пленка), нагружают испытываемый образец при постоянной скорости ползуна