



Обозначение: D 4541 – 02

Стандартный метод испытания на прочность адгезии покрытия при помощи переносных адгезиометров¹

Настоящему стандарту присвоено постоянное обозначение D 4541; число, следующее непосредственно за обозначением означает год первоначального утверждения или, при внесении изменений, год последней редакции. Число в скобках означает год последнего повторного утверждения. Надстрочная буква эpsilon (ϵ) означает, что со времени последней редакции или повторного утверждения были внесены поправки.

1. Область применения

1.1. В настоящем методе испытаний определена процедура оценки прочности связи (которая обычно называется адгезией) покрытия с жесткими подложками, такими как металл, бетон или древесина. По результатам испытания определяется либо наибольшее нормальное усилие (на растяжение), которое может выдержать участок поверхности до отрыва материала, либо тот факт, останется ли поверхность неповрежденной после приложения заданного усилия (результат – успех/неудача). Отрыв покрытия (неудача) произойдет вдоль самой ослабленной плоскости в рамках системы, которая состоит из контрольного упора, клеящего вещества, системы защитного покрытия и подложки. Этот метод испытания максимизирует растягивающую нагрузку, по сравнению со сдвиговой нагрузкой, прилагаемой другими методами, такими как определение адгезии царапанием или испытание методом надрезов, и результаты этих методов нельзя сравнивать.

1.2. Измерения прочности адгезии зависят как от свойств материала, так и от параметров прибора. Результаты, полученные каждым из методов испытания, могут различаться. Результат испытания оценивается по каждому отдельному методу, и не должен сравниваться с результатами испытаний, проведенных с помощью других приборов. Применяется пять типов приборов, которые определены в методах испытаний А-Е. Указание метода проведения испытаний обязательно при предоставлении отчетов о результатах.

1.3. В настоящем методе испытаний используется группа приборов, известных как переносные адгезиометры². Они способны прилагать концентрическую нагрузку и противодействующую нагрузку на одну поверхность, что позволяет испытывать поверхности, даже если доступна только одна сторона. Измерения ограничены прочностью адгезионных связей между контрольным упором и поверхностью образца или прочностью сцепления клеящего вещества, слоев покрытия и подложки.

1.4. Это испытание может быть разрушающим, и может потребоваться частичное восстановление.

1.5. Значения, выраженные в МПа (дюйм-фунт) считаются стандартными. Значения, приведенные в скобках, представлены только для информации.

¹ Настоящий метод испытания находится под юрисдикцией Комитета D01 ASTM (Американское общество по испытаниям и материалам) по краске и связанным с ней покрытиям, материалам и способам нанесения, и находится под прямой ответственностью Подкомитета D01.46 по промышленным защитным покрытиям.

Данное издание утверждено 10 февраля 2002 года. Опубликовано в апреле 2002 года. Изначально опубликовано под номером D 4541 – 93. Последняя предыдущая редакция – D 4541 - 95^{e1}.

² Термин адгезиометр может в некотором роде считаться неправильным термином, однако его признание двумя производителями и, как минимум, двумя патентами свидетельствует о постоянном использовании.

1.6. Этот стандарт не имеет целью учесть все вопросы техники безопасности, связанные с его применением, если таковые есть. Установление надлежащих правил техники безопасности и охраны здоровья, а также определение применимости нормативных ограничений к данному стандарту перед его использованием, является ответственностью каждого пользователя стандарта.

2. Справочные документы

2.1. Стандарты ASTM:

D 2651 «Руководство по подготовке металлических поверхностей к склеиванию»³

D 3933 «Руководство по подготовке алюминиевых поверхностей к структурному склеиванию (Анодирование фосфорной кислотой)»³

D 3980 «Методика межлабораторных испытаний краски и связанных с ней материалов»⁴

2.2. Стандарт ANSI (Американский национальный институт стандартов):

N512 «Защитные покрытия (краски) для ядерной промышленности»⁵

2.3. Стандарт ISO (Международная организация по стандартизации):

4624 «Краски и лаки – Испытание на прочность адгезии»⁵

3. Краткий обзор метода проведения испытаний

3.1. Обычное испытание на прочность адгезии проводится путем закрепления контрольного упора (грибок, болт) нормально (перпендикулярно) к поверхности покрытия посредством клеящего вещества. После отверждения клеящего вещества прибор для испытаний присоединяется к упору и устанавливается таким образом, чтобы прилагать растягивающую нагрузку перпендикулярно испытываемой поверхности. Нагрузка, прилагаемая на контрольный упор, постепенно увеличивается и измеряется до тех пор, пока не произойдет отрыв материала, или не будет достигнуто заданное значение нагрузки. При отрыве материала вскрытая поверхность представляет собой плоскость с ограниченной прочностью в рамках системы. Причина разрушения оценивается исходя из процентного соотношения степени адгезионного и когезионного разрушения, и исходя из фактических взаимосвязей и слоев покрытия, затронутых разрушением. Прочность адгезии вычисляется на основе максимальной показанной нагрузки, данных проверки прибора и изначальной площади поверхности, подвергшейся нагрузке. Результаты испытания на прочность адгезии, полученные с помощью различных приборов, могут различаться, поскольку эти результаты зависят от параметров прибора (см. Дополнение X1).

³ Ежегодный сборник стандартов ASTM, том 15.06.

⁴ Ежегодный сборник стандартов ASTM, том 06.01.

⁵ Можно заказать в Американском национальном институте стандартов, по адресу: Запад 42 ул., здание 11, 13 этаж, г. Нью-Йорк, штат Нью-Йорк 10036.

4. Значимость и применение

4.1. Прочность адгезии покрытия является важной эксплуатационной характеристикой, которая используется в технических условиях. Этот метод испытаний призван установить единообразную процедуру подготовки и испытания покрытых поверхностей, а также оценки и предоставления результатов. Этот метод проведения испытаний применим к любому переносному устройству, которое отвечает основным требованиям для определения прочности адгезии покрытия.

4.2. Возможны различия результатов, полученных с применением различных устройств или различных подложек с одним и тем же покрытием (см. Дополнение X1). Поэтому, рекомендуется заранее согласовать тип прибора и подложки между заинтересованными сторонами.

4.3. Ссылаясь на настоящий стандарт, покупатель или специалист, определяющий спецификации товаров должен указать конкретный метод проведения испытания, т.е. А, В, С, D или E.

5. Приборы для испытаний

5.1. *Адгезиометр*, существующий в продаже, или сопоставимый прибор, конкретные примеры которого перечислены в Приложениях A1-A5.

5.1.1. *Контрольные упоры*, имеющие плоскую поверхность, которая может быть приклеена к покрытию, с одного конца, и механизм крепления к прибору с другого конца.

5.1.2. *Отрывной механизм* (адгезиометр) с центральным зажимом для крепления упора.

5.1.3. *Основание*, на отрывном механизме, или уплотнительное упорное кольцо, при необходимости, для равномерного надавливания на поверхность покрытия вокруг упора либо напрямую, либо через промежуточное упорное кольцо. Необходим механизм выравнивания основания, так чтобы результирующая сила действовала перпендикулярно к поверхности.

5.1.4. Механизм оттягивания зажима от основания должен работать очень плавно и непрерывно, так чтобы между зажимом и основанием действовала сила без кручения и с совпадающими осями (противодействующее натяжение зажима и надавливающая сила основания должны работать вдоль одной оси).

5.1.5. *Таймер* или механизм ограничения скорости приложения нагрузки до значения менее 1 МПа/сек (150 psi/сек), так чтобы максимальная нагрузка достигалась менее чем за 100 сек. Таймер это минимально необходимое оборудование, если он используется оператором наряду с индикатором силы, описанном в п. 5.1.6.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 – Требование о достижении максимальной нагрузки за 100 сек или менее при максимальной интенсивности нагрузки менее 1 МПа/сек (150 psi/сек) действительно для измерения прочности адгезии, с помощью этих типов приборов.

5.1.6. *Индикатор силы и информация о проверке* для определения фактической силы, действующей на упор.

5.2. *Растворитель* или другое средство очистки поверхности контрольного упора. Основными объектами загрязнения обычно являются отпечатки пальцев, влага и оксиды.

5.3. *Мелкозернистая наждачная бумага* или другое средство очистки покрытия, которое не нарушит его целостность путем воздействия химикатов или растворителей. Если предполагается легкое шлифование, используйте только очень мелкозернистый абразив (400 зерен или более), который не исцарапает поверхность и не образует остатков.

5.4. *Клеящее вещество*, для прикрепления упора к покрытию, которое не повлияет на свойства покрытия.

Наиболее универсальными считаются двухкомпонентные эпоксидные смолы⁶ и акриловые смолы⁷.

5.5. *Магнитные или механические зажимы*, при необходимости, для фиксации упора при отверждении клеящего вещества.

5.6. *Ватные валики*, или другое средство удаления лишнего клея и отсечения склеенного участка. Следует избегать любых методов удаления лишнего клея, которые повреждают поверхность, таких как царапание (см. п. 6.7), так как царапины на поверхности могут привести к преждевременному разрушению покрытия.

5.7. *Инструмент для прорезания кругового отверстия* (необязательно), для надрезания покрытия вокруг упора до поверхности подложки.

6. Подготовка к испытанию

6.1. Метод выбора участков покрытия, которые будут подготовлены для проведения испытания, зависит от целей испытания и положений, согласованных сторонами в договоре. Тем не менее, есть несколько физических ограничений, наложенных общим методом и прибором. Следующие требования распространяются на все участки покрытия:

6.1.1. Поверхность избранной для испытаний зоны должна быть плоской и достаточно большой, чтобы на ней можно было провести заданное количество повторных испытаний. Поверхность может иметь любое расположение относительно гравитации. Расстояние между участками для испытаний должно быть достаточным для размещения отрывного механизма. Размер участка для испытания зависит, главным образом, от размера контрольного упора. Для статистического анализа зоны испытания требуется, как минимум, три повторных испытания.

6.1.2. Выбранные зоны испытаний должны иметь достаточный перпендикулярный и радиальный зазор, чтобы разместить прибор; быть достаточно плоскими для осуществления выравнивания и достаточно жесткими, чтобы выдержать обратную силу. Необходимо учесть, что измерения, выполненные близко к краю, не могут характеризовать покрытие в целом.

6.2. Поскольку жесткость подложки влияет на результаты испытаний на прочность адгезии и не является контролируемой переменной испытания в полевых условиях, некоторые данные о толщине и химическом составе подложки должны быть зафиксированы для последующего анализа или для сравнения с испытаниями в лабораторных условиях. Например, результат испытания на прочность адгезии, выполненного на стальной подложке толщиной 3.2 мм (1/8 дюйма), обычно ниже, по сравнению с испытанием, проведенном на стальных подложках толщиной 6.4 мм (1/4 дюйма).

6.3. Выберите показательные зоны испытаний в соответствии с п. 6.1, и очистите поверхности таким образом, чтобы не повредить целостность покрытия и не оставить шлаков. Следует избегать шлифования поверхности, т.к. оно может привести к образованию царапин. Для удаления

⁶ Арадитовый адгезив, который можно заказать в компании «Ciba-Geigy Plastics», по адресу Англия, Кэмбридж, Даксфорд CB2 4QA; набор «Hysol Epoxy Patch Kit 907», который можно приобрести в корпорации «Dexter», отделение «Hysol», Питтсбург, Уиллоу Пэсс Роуд, СА 94565; и клеящее вещество «Scotch Weld Adhesive 1838В/А», которое можно приобрести в компании 3М, Отделение адгезивов, покрытий и уплотнителей, США, Миннесота, 3М Сентер, Сент-Пол, MN 55144; были признаны подходящими для применения в данных целях.

⁷ Изделия Versiloc 201 и 204 с ускорителем отверждения, которые можно приобрести в компании «Lord Corp.», Отделение промышленных адгезивов, США, Пенсильвания, г. Эйри, Грандвью Бульвар 2000, почт. ящик 10038, PA 16514 были признаны подходящими для применения в данных целях.

незакрепленных или слабо присоединенных загрязнений поверхности следует использовать только мелкозернистый абразив (см. п. 5.3).

6.4. Очистите поверхность контрольного упора, согласно указаниям производителя прибора. Нарушение взаимосвязи между упором и клеящим веществом часто можно избежать путем обработки поверхности упора в соответствии с надлежащей стандартной методикой ASTM для подготовки металлических поверхностей к склеиванию.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 – В документах D 2651 и D 3933 определены типовые доказанные методы улучшения прочности клевого соединения с металлическими поверхностями.

6.5. Подготовить клеящее вещество в соответствии с рекомендациями производителя. Нанести клеящее вещество на упор или на испытываемую поверхность или на обе поверхности методом, рекомендованным производителем клеящего вещества. Убедитесь, что вся поверхность покрыта клеящим веществом. Аккуратно удалите излишки клея вокруг упора. (**Внимание** – движение упора, особенно кручение, может вызвать образование мелких пузырьков, которые сростаются в большие пропуски, что приводит к неоднородности нагрузки во время испытания.)

ПРИМЕЧАНИЕ 3 – Добавление 1 процента стеклянной крошки размером #5 поможет равномерно расположить контрольный упор по отношению к поверхности.

6.6. На основе рекомендаций производителя клеящего вещества и ожидаемых погодных условий, определить время, достаточное для загустевания клея и достижения им рекомендуемого уровня отверждения. Во время загустевания и на ранней стадии отверждения на упор должно постоянно действовать контактное давление. С этой задачей хорошо справляются магнитные или механические зажимы, однако системы, основанные на клейкости, такие как липкая лента, следует использовать с осторожностью, и убедиться, что они не ослабевают со временем, и что между упором и зоной испытания циркулирует воздух.

6.7. Выполнение надреза вокруг упора нарушает основной принцип проведения испытаний на месте работ, который состоит в неизменности испытываемого покрытия. При выполнении надреза вокруг испытываемой поверхности, следует действовать с особой осторожностью, чтобы предотвратить образование микротрещин в покрытии, поскольку такие трещины могут привести к заниженным показателям прочности адгезии. Испытание на надрезанном образце представляет собой испытание, отличающееся от стандартных испытаний, и процедура надреза должна быть четко отражена в отчетах с результатами.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 – Выполнение надреза вокруг упора является обычной процедурой при проведении испытаний на цементирующих подложках, когда прочность подложки на растяжение значительно ниже отрывного усилия и прочности связи системы покрытия.

6.8. Необходимо учесть примерную температуру и относительную влажность во время проведения испытания.

7. Процедура испытания

7.1. Методы проведения испытания:

7.1.1. *Метод испытания А – Адгезиометр фиксированного выравнивания типа 1:*

7.1.1.1. Работайте с прибором согласно Приложению А1.

7.1.2. *Метод испытания В – Адгезиометр фиксированного выравнивания типа 2:*

7.1.2.1. Работайте с прибором согласно Приложению А2.

7.1.3. *Метод испытания С – Самовыравнивающийся адгезиометр типа 3:*

7.1.3.1. Работайте с прибором согласно Приложению А3.

7.1.4. *Метод испытания D – Самовыравнивающийся адгезиометр типа 4:*

7.1.4.1. Работайте с прибором согласно Приложению А4.

7.1.5. *Метод испытания E – Самовыравнивающийся адгезиометр типа 5:*

7.1.5.1. Работайте с прибором согласно Приложению А5.

7.2. Выберите адгезиометр с отрывным механизмом, эталонная сила которого перекрывает диапазон ожидаемых значений, и используйте его вместе с совместимым контрольным упором. Обычно лучшими являются измерения со значениями посередине диапазона, однако прочитайте инструкции по эксплуатации производителя перед проведением испытания.

7.3. При использовании упорного кольца или подобного устройства (5.1.3) поместите его концентрически вокруг упора на поверхности покрытия. Если с упорным кольцом необходимо использовать регулировочные прокладки, лучше поместите их между основанием прибора и упорным кольцом, а не на поверхности покрытия.

7.4. Аккуратно прикрепите центральный зажим отрывного механизма к контрольному упору без толчков, изгибов или иного предварительного напряжения образца, затем присоедините отрывной механизм к устройству его управления, если необходимо. При проведении испытаний на негоризонтальных поверхностях, поддерживайте отрывной механизм, чтобы его вес не влиял на усилие, прилагаемое при испытании.

7.5. Расположите устройство согласно инструкциям производителя и установите индикатор силы на ноль.

ПРИМЕЧАНИЕ 5 – Правильное выравнивание имеет важнейшее значение, см. Дополнение X2. Если требуется выравнивание, следуйте процедуре, рекомендованной производителем адгезиометра, и зафиксируйте используемую процедуру в отчетах.

7.6. Увеличивайте нагрузку на упор очень плавно и непрерывно со скоростью менее 1 МПа/сек (150 psi/сек), так чтобы отрыв или макс. нагрузка была достигнута через примерно 100 сек или ранее (см. Примечание 1).

7.7. Запишите усилие, которое было достигнуто при отрыве, или максимальное приложенное усилие.

7.8. При отрыве материала промаркируйте и сохраните упор для анализа разрушенной поверхности согласно п. 8.3.

7.9. Зафиксируйте любые отклонения от процедуры, такие как возможное плохое выравнивание, приостановки приложения усилия и т.д.

8. Расчеты и интерпретация результатов

8.1. Если это определено в инструкции производителя, используйте факторы поверки прибора для перевода показанного значения силы для каждого испытания в фактическое значение приложенной силы.

8.2. Используйте таблицу поверки, предоставленную производителем, или рассчитайте относительную нагрузку, приложенную на каждый образец покрытия, следующим образом:

$$X = 4F/\pi d^2 \quad (1)$$

где:

X = наибольшее среднее оттягивающее усилие, приложенное во время испытания по принципу успех/неудача, или оттягивающее усилие, достигнутое при отрыве. Оба значения выражены в МПа (psi).

F = фактическое усилие, приложенное на испытываемую поверхность, определенное в соответствии с п. 8.3.

d = эквивалентный диаметр изначальной поверхности, подвергшейся нагрузке, выраженный в дюймах (или миллиметрах). Он обычно равен диаметру контрольного упора.

8.3. Для всех испытаний, результатом которых было разрушение покрытия, необходимо определить процентное соотношение адгезионного и когезионного разрушения в соответствии с их площадями, с учетом положения в рамках испытательной системы, состоящей из слоев покрытия и клеящего вещества. Удобная схема, которая описывает испытательную систему, приведена в пунктах 8.3.1 – 8.3.3. (См. стандарт ISO 4624.)

ПРИМЕЧАНИЕ 6 – В стандарте ISO 4624 используется механизм для испытаний на растяжение в лабораторных условиях.

8.3.1. Опишите образец как подложку *A*, на которую нанесены последовательные слои покрытия *B*, *C*, *D* и т.д., включая клеящее вещество *Y*, которое присоединяет упор, *Z*, к верхнему слою.

8.3.2. Обозначить когезионные разрушения по слоям, в которых они произошли как *A*, *B*, *C*, и т.д., и вычислить процентное отношение каждого.

8.3.3. Обозначить адгезионные разрушения по взаимосвязям, в которых они произошли как *A/B*, *B/C*, *C/D*, и т.д., и вычислить процентное отношение каждого.

8.4. Получение результата, который сильно отличается от большинства результатов, может быть вызвано ошибкой в записи данных или в расчетах. Если причина не в этом, исследуйте условия проведения испытания. Если причиной необычного результата признаны условия проведения испытания, исключите этот результат из анализа. Однако не удаляйте этот результат, если нет веских статистических причин сделать это, или если результат не является статистически посторонним значением. Веские статистические причины отклонения результата включают позиционирование прибора не перпендикулярно к поверхности, неправильное обозначение площади, подвергшейся нагрузке из-за неправильного нанесения клеящего вещества, плохо определенный клеевой слой и границы, пропуски в клеевом слое, вызванные пустотами и включениями посторонних веществ, неправильно подготовленные поверхности, сдвиг или кручение упора во время первоначального отверждения. Надрезанные или поцарапанные образцы могут содержать концентрации напряжений, которые вызывают преждевременное образование трещин. Для выявления посторонних значений может использоваться критерий Диксона, описанный в методике D 3980.

8.5. Любое испытание, при котором разрушение клевого соединения составляет более 50% площади, отклоняется. Если используется критерий успеха/неудачи, и разрушение клевого соединения происходит при оттягивающем усилии большем, чем этот критерий, результат фиксируется в отчете следующим образом: «успех с прочностью адгезии > {полученное значение}...»

8.6. Дальнейшая информация, касательно интерпретации результатов испытаний, приведена в Дополнении X2.

9. Отчет

9.1. В отчет включается следующая информация:

9.1.1. Краткое описание общей сути испытания, в частности: полевое или лабораторное испытание, обобщенный тип покрытия, и т.д.

9.1.2. Температура, относительная влажность и любые другие условия окружающей среды, имеющие отношение к делу, во время испытания.

9.1.3. Описание используемого прибора, включая: производитель прибора и номер модели, тип и размеры упора, тип и размеры упорного кольца.

9.1.4. Описание испытательной системы, по возможности, посредством системы обозначений, описанной в п. 8.3, включая: описание покрытия и обобщенный тип каждого слоя, любая другая доступная информация, описание

подложки (толщина, тип, расположение, и т.д.), и используемое клеящее вещество.

9.1.5. Результаты испытаний.

9.1.5.1. Дата и место испытания, исполнитель.

9.1.5.2. При испытаниях по принципу успех/неудача, наряду с результатом указывается приложенная нагрузка, например, успех или неудача с указанием плоскости любого разрушения (см. п. 8.3 и стандарт ANSI N512).

9.1.5.3. Для испытаний до отрыва, необходимо включить в отчет все значения, рассчитанные в соответствии с п. 8.2, а также природу и местоположение разрушений согласно п. 8.3, или, если требуется только средняя прочность, необходимо включить в отчет среднюю прочность и статистические расчеты.

9.1.5.4. Если в результаты были внесены корректировки, или если были опущены определенные значения, такие как самое низкое или самое высокое значение и др., необходимо указать в отчете причины корректировок и используемые критерии.

9.1.5.5. Для любого испытания с использованием надреза необходимо поставить надстрочную ссылку возле каждого значения, на которое повлиял надрез, и сноску, соответствующую этой ссылке с описанием такого влияния внизу каждой страницы, на которой появилось такое значение. Следует указать любые другие отклонения от процедуры.

10. Точность и погрешность⁸

10.1. *Точность* – В межлабораторном исследовании методов испытания A-D, операторы выполнили измерения, в основном, на основе трех испытаний, но в некоторых случаях – на основе двух испытаний, проведенных на покрытых панелях со средним диапазоном значений на промежуточном уровне адгезии с использованием четырех различных типов приборов (см. Приложения A1-A5 и Дополнение X1). Количество участвовавших лабораторий различалось для каждого прибора, а в случае применения одного прибора – для каждого материала. Только у двух лабораторий был доступ к приборам типа 1, однако два оператора провели испытания в трех экземплярах каждый. Во время статистического анализа результатов три отдельных результата и один набор результатов в трех экземплярах, полученных приборами типа 2, были отклонены как посторонние значения; одно испытание прибором типа 3 и три отдельных результата, полученных приборами типа 1, были отклонены. Были рассчитаны объединенные коэффициенты вариации внутри- и межлабораторных исследований, которые приведены в Таблице 1.

ТАБЛИЦА 1 Точность измерений прочности адгезии

Прибор	Коэффициент вариации, v, %	Степени свободы	Максимально допустимое отклонение, %
Внутрилабораторное исследование:			
Прибор типа IV	8.5	48	29.0
Прибор типа I			
Прибор типа II	12.2	129	41.0
Прибор типа III			
Итого		177	
Межлабораторное исследование:			
Прибор типа IV	8.7	20	25.5
Прибор типа I			
Прибор типа II	20.6	58	58.7
Прибор типа III			
Итого		78	

⁸ Дополнительные данные можно получить в штаб-квартире «ASTM International». Следует запросить документ RR: D01-1094.

На основе этих коэффициентов для оценки приемлемости результатов используются следующие критерии, при уровне уверенности 95%:

10.1.1 *Повторяемость испытаний* – Результаты трех испытаний, полученные одним и тем же оператором с использованием инструментов одной категории, считаются сомнительными, если их отклонение в процентах превышает значения, приведенные в Таблице 1.

ПРИМЕЧАНИЕ 7 – Отклонение в процентах между двумя результатами, x_1 и x_2 , равно модулю следующего числа:

$$\frac{(x_1 - x_2)}{(x_1 + x_2)/2} \times 100. \quad (2)$$

10.1.2 *Воспроизводимость* – Два результата, каждый из которых является средним значением из результатов трех испытаний, полученных операторами разных лабораторий с использованием приборов одной категории, считаются сомнительными, если их отклонение в процентах превышает значения, приведенные в Таблице 1.

10.2. *Погрешность* – Для данного метода проведения испытаний нет требований к погрешности, поскольку не существует применимого справочного материала, подходящего для определения погрешности этого метода испытаний.

11. Ключевые слова

11.1. адгезия; покрытия; полевые испытания; краска; переносной; прочность адгезии; испытание на растяжение

ПРИЛОЖЕНИЯ

(Обязательная информация)

A1. АДГЕЗИОМЕТР ФИКСИРОВАННОГО ВЫРАВНИВАНИЯ, ТИП 1

A1.1 *Прибор:*

A1.1.1 Переносной адгезиометр фиксированного выравнивания, показанный на Схеме A1.1⁹

ПРИМЕЧАНИЕ A1.1 – Данные о точности для приборов типа 1, указанные в Таблице 1, были получены с использованием устройств, показанных на Схеме A1.1.

A1.1.2 Адгезиометр состоит из съемных алюминиевых контрольных упоров диаметром 50 мм (1.97 дюйма), винтов со сферическими головками, которые вкручены в центр упора, гнезда в испытательном устройстве для закрепления головки винта, манометра, динамометра, диска и коленчатого рычага.

A1.1.3 Адгезиометр выпускается в четырех версиях с максимальным растягивающим усилием 5, 15, 25 и 50 кН (1125, 3375, 5625, и 11250 фунтов) соответственно. Для упора диаметром 50 мм (1.97 дюйма), устройство с усилием 5 кН соответствует диапазону от 0 до 2.5 МПа (0-360 psi).

⁹ Адгезиометр «Дуна Z5» можно заказать в компании «PROCEQ SA» по адресу: Швейцария, Цюрих, Райсбахштрассе 57, CH-8034.

A1.2 *Процедура:*

A1.2.1 Следуйте общим процедурам, описанным в Разделах 6 и 7. Методики, относящиеся к данному конкретному прибору, описаны в данном разделе.

A1.2.2 Установите указатель на нулевую отметку, сначала нажав кнопку слева от индикатора. Удерживая кнопку нажатой, поверните маленькую рукоятку в верхней части индикатора, чтобы установить указатель на ноль. После испытания указатель устанавливается на ноль нажатием кнопки.

A1.2.3 После приклеивания упора к подложке вставьте винт со сферической головкой в центр упора. Расположите испытательное оборудование на металлическом диске. Затем закрепите сферическую головку винта в гнезде, расположенном в основании устройства посредством диска с выемками. Для фиксации механического сближения, прекратите закручивать диск, когда указатель индикатора сдвинется с НУЛЕВОЙ отметки. Испытания производятся поворачиванием коленчатого рычага. После каждого испытания поверните коленчатый рычаг в противоположном направлении до его остановки.

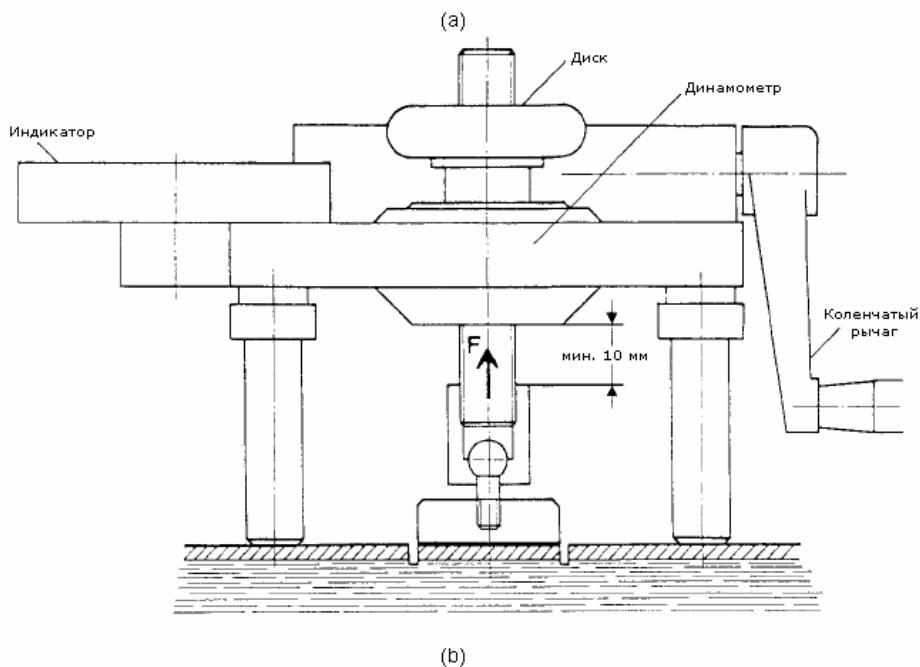


СХЕМА А1.1 Фотография (а) и эскиз (б) прибора типа 1

А2. АДГЕЗИОМЕТР ФИКСИРОВАННОГО ВЫРАВНИВАНИЯ, ТИП 2

А2.1 Прибор:

А2.1.1 Переносной адгезиометр фиксированного выравнивания, показанный на Схеме А2.1¹⁰

ПРИМЕЧАНИЕ А2.1 – Данные о точности, указанные в Таблице 1, были получены с использованием устройств, показанных на Схеме А2.1.

¹⁰ Адгезиометр «Elcometer 106» можно заказать в компании «Elcometer Instruments Ltd.», по адресу: Англия, Соединенное Королевство, Манчестер М35 6UB, Дройлстон, Эдж Лейн.

А2.1.2 Адгезиометр состоит из съемных алюминиевых упоров, имеющих плоское коническое основание диаметром 20 мм (0.8 дюйма) с одного конца для приклеивания к покрытию, и круглую Т-образную головку с другого конца; центрального зажима для закрепления упора, который оттягивается от треножного основания посредством взаимодействия маховика (или гайки); и коаксиального болта, присоединенного через набор тарельчатых шайб, или пружин – в последних моделях, который работает в качестве механизма предотвращения закручивания и в качестве пружины, которая перемещает указатель по отношению к шкале.

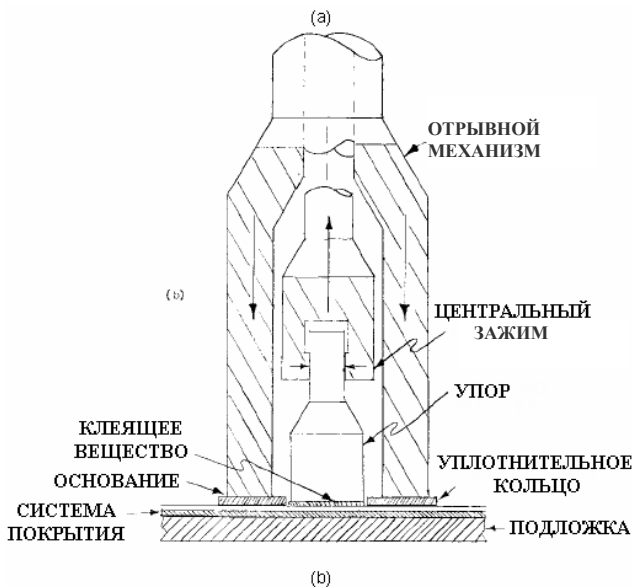


СХЕМА A2.1 Фотография (а) и эскиз (б) адгезиометра фиксированного выравнивания, тип 2

A2.1.3 Усилие показывается путем измерения максимального перемещения пружины при нагрузке. Следует убедиться, что изгиб подложки не влияет на ее окончательное положение или на фактическое усилие, приложенное пружинным механизмом.

A2.1.4 Приборы выпускаются с четырьмя диапазонами шкалы: 3.5, 7.0, 14 и 28 МПа (0-500, 0-1000, 0-2000 и 0-4000 psi).

A2.2 Процедура:

A2.2.1 Расположите упорное кольцо на поверхности покрытия так, чтобы его ось совпадала с осью контрольного упора. Поверните маховик или гайку прибора против часовой стрелки, опуская зажим таким образом, чтобы он находился под головкой упора.

A2.2.2 Выровните или отрегулируйте прокладками три поворотных опоры треножного основания на упорном кольце таким образом, чтобы растягивающее усилие прибора действовало перпендикулярно поверхности. На гибких подложках может использоваться уплотнительное кольцо.

A2.2.3 Выберите слаbinу между различными компонентами и переместите индикатор силы, расположенный на адгезиометре, на нулевую отметку.

A2.2.4 Крепко держите прибор одной рукой. Не допускайте смещение или скольжение основания во время испытания. Другой рукой очень плавно и непрерывно поворачивайте маховик по часовой стрелке. Не поворачивайте резкими движениями и не превышайте скорость приложения нагрузки 150 psi/сек (1 МПа/сек), что достигается путем приложения нагрузки 7 МПа (1000 psi) в течение 7 сек. Если используются модели со шкалой на 14 или 28 МПа (2000 или 4000 psi), маховик заменяется гайкой, для затягивания которой требуется гаечный ключ. Гаечным ключом необходимо работать в плоскости, параллельной плоскости подложки, чтобы не допустить отрыв упора вследствие сдвиговой нагрузки или отклонения от оси, и не забраковать результаты. Максимальная нагрузка должна быть достигнута в течение примерно 100 сек.

A2.2.5 Растягивающее усилие, приложенное на упор, увеличивается до максимального значения или пока не произойдет отрыв в самом слабом месте системы. После отрыва шкала слегка поднимется, а индикатор силы будет указывать на истинную нагрузку. На шкале прибора показывается приблизительная нагрузка в фунтах на кв. дюйм (psi), однако ее можно сравнить с кривой поверки прибора.

A2.2.6 Запишите максимальное значение, на которое указывает нижняя часть указателя силы.

А3. САМОВЫРАВНИВАЮЩИЙСЯ АДГЕЗИОМЕТР, ТИП 3

А3.1 *Прибор:*

А3.1.1 Самовыравнивающийся адгезиометр, показанный на Схеме А3.1¹¹

ПРИМЕЧАНИЕ А3.1 – Данные о точности для приборов типа 2, указанные в Таблице 1, были получены с использованием устройств, показанных на Схеме А3.1.

А3.1.2 Усилие прилагается через центр грибка (упора) посредством гидравлического поршня и стержня. Диаметр отверстия поршня подобран таким образом, чтобы площадь отверстия равнялась рабочей площади упора. Поэтому, давление, передаваемое упором, равно давлению в отверстии поршня и передается непосредственно на манометр.

А3.1.3 Прибор состоит из: грибка с наружным диаметром 19 мм (0.75 дюйма) и внутренним диаметром 3 мм (0.125 дюйма); гидравлического поршня и стержня, через который нагрузка передается грибку; шланга, манометра, резьбового плунжера и рукоятки.

А3.1.4 Усилие определяется по максимальному гидравлическому давлению, которое показывается на манометре, поскольку рабочие площади отверстия поршня и упора равны.

А3.1.5 Адгезиометры выпускаются с тремя стандартными диапазонами: от 0 до 10 МПа (0-1500 psi), от 0 до 15 МПа (0-2250 psi), от 0 до 20 МПа (0-3000 psi). Выпускаются специальные упоры для испытаний на трубчатых деталях.

А3.2 *Процедура:*

А3.2.1 Следуйте общим процедурам, описанным в Разделах 6 и 7. Методики, относящиеся к данному конкретному прибору, описаны в данном разделе.

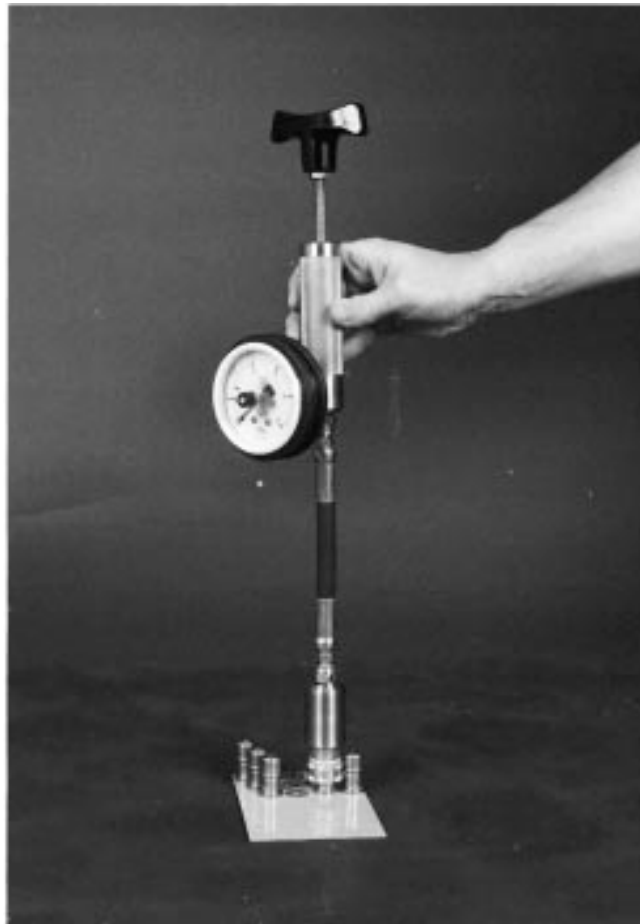
А3.2.2 Вставьте фторуглеродную заглушку на основе тетрафторэтилена в грибок, пока кончик не станет выступать над поверхностью грибка. При нанесении клеящего вещества на грибок избегайте попадания клея на заглушку. После удерживания грибка на месте в течение 10 сек снимите заглушку.

А3.2.3 Убедитесь, что черный указатель прибора показывает нулевое значение. Присоедините пробный грибок к головке и увеличивайте давление, поворачивая рукоятку по часовой стрелке, пока стержень не станет выступать из грибка. Снизьте давление до нуля и снимите пробный грибок.

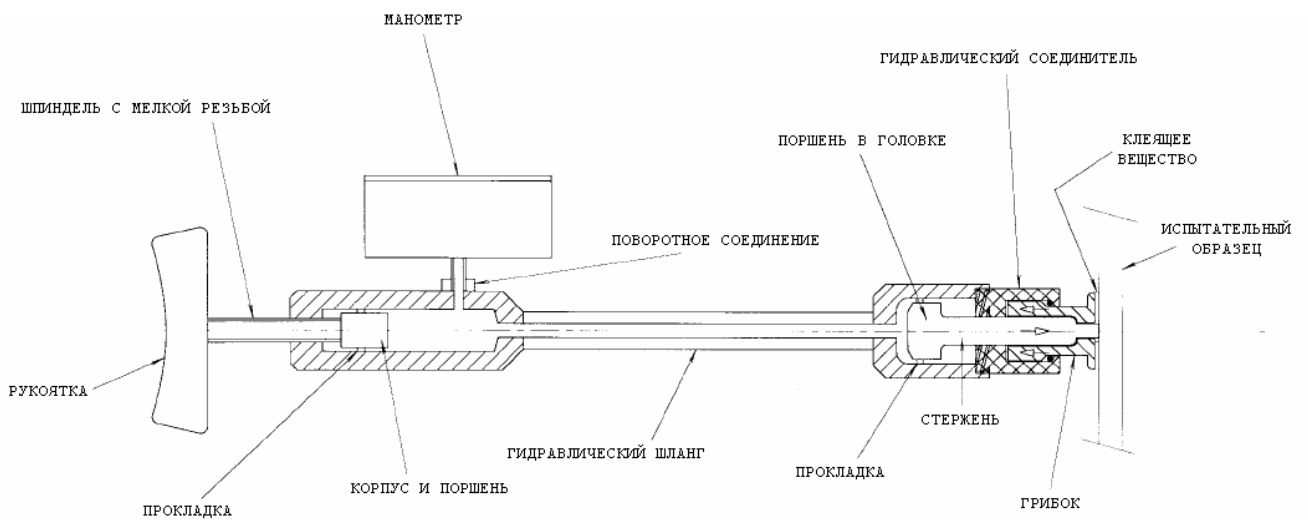
А3.2.4 Присоедините головку к грибку для испытания, оттянув защелкивающееся кольцо, нажав на головку и отпустив кольцо. Адгезиометр необходимо держать перпендикулярно поверхности, на которой проводится испытание, и шланг должен быть прямым.

А3.2.5 Медленно увеличивайте давление, поворачивая рукоятку по часовой стрелке, до достижения максимальной нагрузки или до отрыва.

¹¹ Адгезиометр «Hate Mark VII» можно заказать в компании «Hydraulic Adhesion Test Equipment, Ltd.» по адресу: США, Флорида FL 33408, Норч Палм Бич, Инлет Роуд 629.



(a)



ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ АДГЕЗИОМЕТР

(b)

СХЕМА А3.1 Фотография (а) и эскиз (b) самовыравнивающегося адгезиометра типа 3

А4. САМОВЫРАВНИВАЮЩИЙСЯ АДГЕЗИОМЕТР, ТИП 4

А4.1 Прибор:

А4.1.1 Это самовыравнивающийся адгезиометр, который может иметь самодостаточный источник давления и систему измерения, которая работает с отрывными механизмами различного диапазона нагрузок. Этот прибор показан на Схеме А4.1¹²

ПРИМЕЧАНИЕ А4.1 – Данные о точности для приборов типа 4, указанные в Таблице 1, были получены с использованием устройств, показанных на Схеме А4.1.

А4.1.2 Прибор состоит из: (1) упора, на одном конце которого имеется плоское цилиндрическое основание диаметром 12.5 мм (0.5 дюйма) для приклеивания к покрытию и отсекающее кольцо для ограничения площади клеевого слоя. На другом конце упора нарезана резьба 3/8-16 UNC (стандартная крупная); (2) центрального резьбового крепления для присоединения упора через центр отрывного механизма, которое выжимается посредством взаимодействия самовыравнивающегося уплотнения; и (3) сжатого газа, который подается в отрывной механизм через гибкий шланг, присоединенный к контроллеру интенсивности подачи давления и к манометру (или электронному сенсору).

А4.1.3 Усилие определяется по максимальному давлению газа, умноженному на рабочую площадь отрывного механизма, и может быть калибровано напрямую.

А4.1.4 Отрывные механизмы выпускаются с шестью стандартными диапазонами, каждый из которых в два раза больше предыдущего – от 3.5 МПа (0-500 psi) до 70 МПа (10000 psi). Можно заказать устройства со специальными диапазонами.

А4.1.5 Выпускается три модели блоков управления, которые работают с отрывными механизмами различного диапазона нагрузок.

А4.2 Процедура:

А4.2.1 Следуйте общим процедурам, описанным в Разделах 6 и 7. Методики, относящиеся к приборам типа 4, описаны в данном разделе.

А4.2.2 Расположите кольцеобразный отрывной механизм над упором, приклеенным к испытываемому покрытию, и слабо (без затягивания) закрепите упор посредством центрального резьбового крепления. Оставьте зазор минимум 1.6 мм (1.16 дюйма) между отрывным механизмом и нижней частью резьбового крепления, чтобы уплотнительная прокладка смогла выступить на достаточное расстояние для выравнивания при подаче давления.

А4.2.3 Присоедините все необходимые пневматические устройства и откройте регулирующий клапан на ¼ поворота.

А4.2.4 Обнулите систему измерения давления.

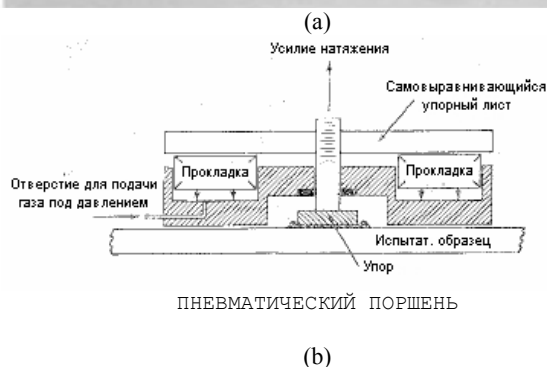
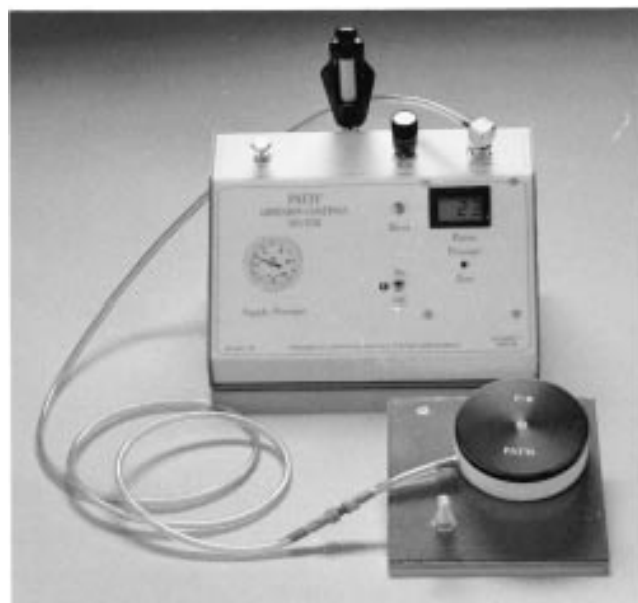


СХЕМА А4.1 Фотография (а) и эскиз поршня (b) самовыравнивающегося адгезиометра типа 4

А4.2.5 Нажмите кнопку пуска для управления подачи газа в отрывной механизм и окончательно настройте регулирующий клапан так, чтобы скорость приложения нагрузки не превышала 1 МПа/сек (150 psi/сек), а нагрузка достигла максимального значения в течение 100 сек.

А4.2.6 Зафиксируйте максимальное полученное давление и тип отрывного механизма. Перевод этого значения в нагрузку, приложенную на покрытие, для упора диаметром ½ дюйма (12 мм) осуществляется при помощи таблицы, которая предоставляется с каждым отрывным механизмом.

¹² Самовыравнивающийся адгезиометр «РАТТ» можно заказать в компании «SEMicro Corp.» по адресу: США, Мериленд MD 20855, Роквилль, Крэбс Брэнч Уэй 15817.

А5. САМОВЫРАВНИВАЮЩИЙСЯ АДГЕЗИОМЕТР, ТИП 5

А5.1 Прибор:

А5.1.1 Самовыравнивающийся адгезиометр, показанный на Схеме А5.1¹³

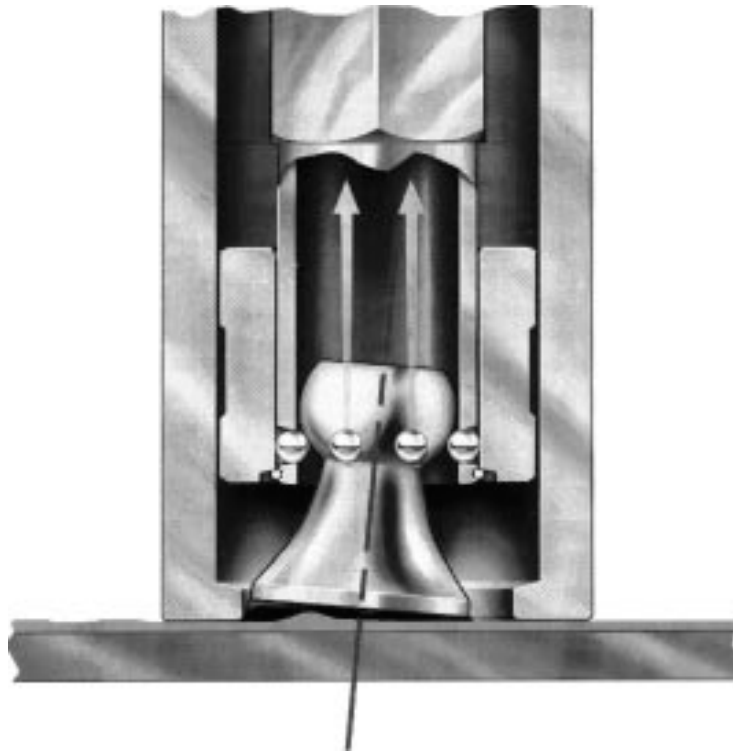
А5.1.2 Грибок с самовыравнивающейся сферической головкой. Нагрузка равномерно распределяет усилие натяжения по испытываемой поверхности, что обеспечивает

перпендикулярное и сбалансированное оттягивание. Диаметр стандартного грибка 20 мм (0.78 дюйма) равен площади отверстия в приводе. Поэтому, давление, передаваемое грибком, равно давлению в приводе, и оно передается непосредственно на манометр. Переводные таблицы и расчеты выполнены для грибков диаметром 50 мм (1.97 дюйма) и специальных диаметров 10 и 14 мм (0.39 дюйма и 0.55 дюйма соответственно).

¹³ Адгезиометр «PosiTest» можно заказать в компании «DeFelsko Corporation» по адресу: США, шт. Нью-Йорк NY 13669, Огденсбург, Проктор Авеню 802.



(a)



(b)

СХЕМА А5.1 Рисунок (а) и эскиз (b) самовыравнивающегося адгезиометра типа 5

A5.1.3 Прибор состоит из: грибка диаметром от 20 до 50 мм (0.78 и 1.97 дюйма соответственно), гидравлического привода, посредством которого нагрузка передается грибку, манометра и гидравлического насоса.

A5.1.4 Указатель на манометре показывает максимальное усилие.

A5.1.5 Адгезиометры выпускаются с двумя стандартными диапазонами нагрузок: от 0 до 7 МПа (0-1000 psi) с грибками диаметром 20 мм (0.78 дюйма) и принадлежностями для покрытий на пластиковых, металлических и деревянных поверхностях; и от 0 до 21 МПа (0-3100 psi) с грибками диаметром 20 или 50 мм (0.78 или 1.97 мм), или с грибками обоих размеров, и принадлежностями для покрытий на металлических или

бетонных поверхностях, или для обоих из них. Можно заказать специальные грибки, обычно диаметром 10 мм (0.39 дюйма) и 14 мм (0.55 дюйма), которые пригодны для использования на криволинейных поверхностях и если необходимо высокое давление отрыва.

A5.2 Процедура:

A5.2.1 Следуйте общим процедурам, описанным в Разделах 6 и 7. Методики, относящиеся к приборам типа 5, описаны в данном разделе.

A5.2.2 Клапан сброса давления на насосе должен быть полностью открыт. Установите указатель на манометре на нулевое значение. Вдавите рукоятку привода вниз в конструкцию привода до упора.

A5.2.3 Поместите конструкцию привода над головкой грибка и присоедините быстроразъемное соединение к упору. Закройте клапан сброса давления на насосе.

A5.2.4 Насос должен стоять на хорошо подкрепленной горизонтальной поверхности. Если необходимо поставить насос на вертикальную поверхность, расположите устройство таким образом, чтобы выпускной шланг насоса находился внизу, чтобы не допустить закачивание воздуха в привод. Начните работу насоса при помощи рукоятки до тех

пор, пока указатель манометра не начнет двигаться. Продолжайте закачивание с равномерной интенсивностью не более 1 Мпа/сек (150 psi/сек) до тех пор, пока привод не оторвет грибок от покрытия.

A5.2.5 Сразу же после отрыва откройте клапан сброса давления на насосе, чтобы спустить давление. Указатель манометра останется на значении максимального давления. Зафиксируйте давление отрыва и промаркируйте грибок для дальнейшего качественного анализа.

ДОПОЛНЕНИЯ

(Необязательная информация)

X1. ДАННЫЕ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИИ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

X1.1 Таблица X1.1 представляет собой краткий обзор межлабораторного сличения данных. Он включен в данное дополнение, чтобы продемонстрировать зависимость результата испытания на прочность адгезии от типа прибора для испытаний.

ТАБЛИЦА X1.1 Краткий обзор межлабораторного сличения данных

Прибор	тип I	тип II	тип III	тип IV
Образец краски	Среднее из трех результатов, psi (без учета посторонних значений)			
A	201	586	1185	1160
B	185	674	1157	1099
C	190	827	1245	1333
D	297	888	1686	1678
	Разброс средних значений, psi			
	112	302	529	579

X2. РАСЧЕТ НАГРУЗКИ

X2.1 Нагрузка, рассчитанная в п. 8.2 равна постоянной прочности адгезии аналогичной жесткой системы защитного покрытия, если в момент отрыва приложенное усилие распределяется равномерно над определяющим местом. Для любого известного непрерывного распределения напряжений, когда известно отношение пиковой нагрузки к средней нагрузке, постоянная прочность адгезии может быть примерно рассчитана по формуле:

$$U = XR_0 \quad (X2.1)$$

где:

U = постоянная прочность адгезии, которая представляет собой максимальное усилие, которое может быть приложено на данную поверхность, в psi (МПа),

X = прочность адгезии, измеренная на месте и рассчитанная в п. 8.2, в psi,

R_0 = отношение пиковой нагрузки к средней нагрузке для выравненной системы.

Важно учесть, что разница между этими значениями прочности адгезии необязательно является ошибкой;

измерение на месте более точно и просто отражает фактические свойства нанесенной системы покрытия по сравнению с аналогичной идеально жесткой системой.

X2.2 Ошибка происходит, если прибор расположен не перпендикулярно к поверхности. Приблизительная поправка на отношение пиковой нагрузки к средней нагрузке вычисляется по формуле:

$$R = R_0(1 + 0.14 az/d), \quad (X2.2)$$

где:

z = расстояние от поверхности до первой подвески или до точки, в которой усилие и противодействующее усилие генерируются приводом, в дюймах (мм),

d = диаметр контрольного упора, в дюймах (мм),

a = угол отклонения от оси, в градусах (менее 5),

R = максимальное отношение пиковой нагрузки к средней нагрузке для неправильно выравненной жесткой системы.

Компания «ASTM International» не делает никаких заявлений относительно юридической силы каких-либо запатентованных прав, которые отстаиваются в связи с каким-либо объектом, упомянутым в настоящем стандарте. Мы определенно заявляем пользователям настоящего стандарта, что ответственность за определение юридической силы любых таких запатентованных прав и риск нарушения таких прав всецело ложится на них.

Настоящий стандарт может быть в любое время пересмотрен надлежащим техническим комитетом и подлежит рассмотрению каждые пять лет, и если он не будет пересмотрен в результате этого, он должен быть либо заново утвержден, либо изъят из обращения. Ваши комментарии относительно пересмотра настоящего стандарта или работы над другими стандартами приветствуются и должны направляться в штаб-квартиру компании «ASTM International». Ваши комментарии будут внимательно рассмотрены на собрании надлежащего технического комитета, на котором Вы можете присутствовать. Если Вы считаете, что Ваши комментарии не были рассмотрены надлежащим образом, Вам необходимо сообщить о своем мнении Комитету ASTM по стандартам, который располагается по нижеприведенному адресу.

Авторское право на настоящий стандарт принадлежит компании «ASTM International», которая расположена по адресу: США, Пенсильвания, Бар Харбор Драйв 100, почтовый ящик C700, Вест Коншохокен, PA 19428-2959. Индивидуальные копии настоящего стандарта (в одном или нескольких экземплярах) Вы можете получить связавшись с ASTM по вышеприведенному адресу или по телефону 610-832-9585, факсу 610-832-9555; по электронной почте service@astm.org; или через сайт ASTM в Интернет (www.astm.org).