

## Критическое рассмотрение методик испытаний на адгезионную прочность покрытий способом отрыва

А.М. Михальченков, д-р техн. наук, профессор  
(ФГБНУ ГОСНИТИ, г. Москва,  
+79621323274; e mail: mihalchenkov.alexandr@yandex.ru)  
Я.Ю. Бирюлина, аспирант  
Ю.И. Филин, аспирант  
Т.А. Ермакова, аспирант  
(Брянский ГАУ, г. Брянск)

**Аннотация.** Проведено критическое рассмотрение известных способов определения адгезии методом отрыва, выявлены достоинства и недостатки, а также причины их ограниченного применения. Предложена собственная классификация способов, базирующихся на нескольких признаках: штифтовая проба, методы повышенной точности, специальные методы и методы определяемые ГОСТом.

**Ключевые слова:** адгезия, отрыв, сдвиг, классификация способов, штифтовая проба, точность результатов, достоверность данных, ГОСТы.

Одним из критериев, определяющих работоспособность покрытий, является их адгезионная прочность. Методики проведения испытаний по данному параметру сводятся к способам «на отрыв» и «на сдвиг». В публикации рассматриваются и анализируются методы оценки адгезионной прочности основанные «на отрыве» покрытия и дается их классификация.

Метод штифтов (штифтовая проба)

Сущность штифтовой пробы заключается в отрыве штифта, вставленного в матрицу заподлицо с её поверхностью, на которую нанесено покрытие [1]. Оценка прочности сцепления проводится по усилию отрыва отнесенного к площади контакта покрытия и штифта. Существует большое количество вариантов реализации данного способа [1-4] (рис. 1а,б,в,г).

Применение штифтов конической конфигурации (рис. 1б,в,г) позволяет снизить эффект от трения поверхностей контакта матрицы и штифта. В связи с этим, по мнению авторов [2], применение бесконтактного штифта позволит полностью устранить влияние такого трения (рис. 1в). В то же время отсутствие контактирования штифта с поверхностью матрицы приведет к различного рода нарушениям геометрии (например, соосности), а это, в свою очередь, усилит влияние фактора работы покрытия на срез.

По мнению [3,4], вероятность разрушения на срез снижается применением дополнительных клеевых прокладок (рис. 1в,г). Это усложняет подготовку и проведение эксперимента, а также приводит к неточностям измерений из-за наличия адгезии клеевого соединения, усугубляющихся высокой вероятностью разрушения покрытия по периметру и маленькой площадью контактирования штифта и покрытия. Высокая точность изготовления образцов не позволяет избежать образования микрозазоров, где увеличивается концентрация разрушающих напряжений. Поэтому такой метод дает заниженные значения экспериментальных данных.

Для обеспечения высокой достоверности получаемых данных в [5] предлагается использовать метод штифтов с их внутренним и наружным расположением (рис. 2). Вызывает сомнения, что данное устройство позволит достичь высокой точности определения адгезии ввиду необходимости высокой точности сопряжений. Попадание частиц покрытия в зазоры

и невысокая площадь контакта «штифт-покрытие» также не будут способствовать точности получаемых результатов.

#### Методы повышенной точности

Повышенную точность обеспечивает способ, изложенный в [6] (рис. 3). Отрывной элемент прикрепляют к подложке фиксаторами до нанесения покрытия, затем наносят покрытие так, чтобы часть покрытия легла на отрывной элемент, а часть - на подложку, через калиброванное отверстие в отрывном элементе, удаляют фиксаторы, нагружают отрывной элемент до отрыва отрывного элемента и определяют прочность сцепления покрытия с подложкой. Недостатком рассмотренного способа является сложность как самого прибора, так и проведения испытаний. Применение тензометрии хотя и увеличивает точность, но требует высокой технологичности поверхностей.

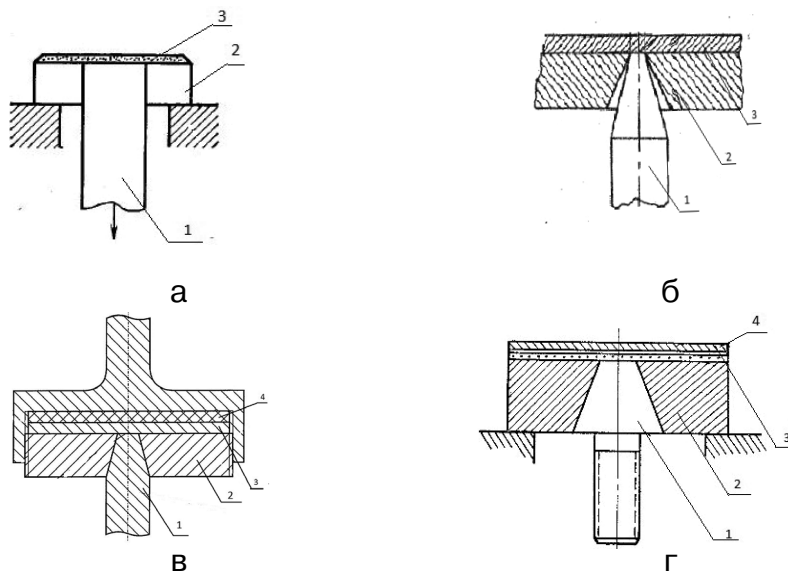


Рис. 1. Варианты проведения испытаний штифтовой пробой: 1- штифт; 2 - подложка; 3 –покрытие; 4 – клеевая компонента

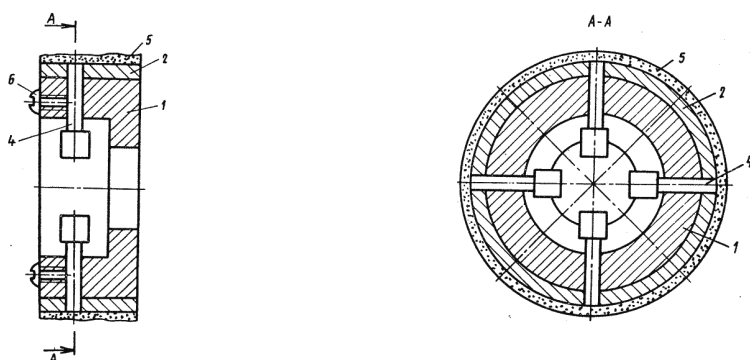


Рис. 2. Метод кольцевых штифтов (внутреннее расположение)

Другим методом, где используется тензометрия, является способ [19] (рис. 4а), в котором перед нанесением покрытия к поверхности основы прижимают толкатель, после нанесения покрытия снимают усилие прижима толкателя к поверхности основы, не оказывая при этом механического воздействия на покрытие, и прикладывают к толкателю усилие на отрыв.

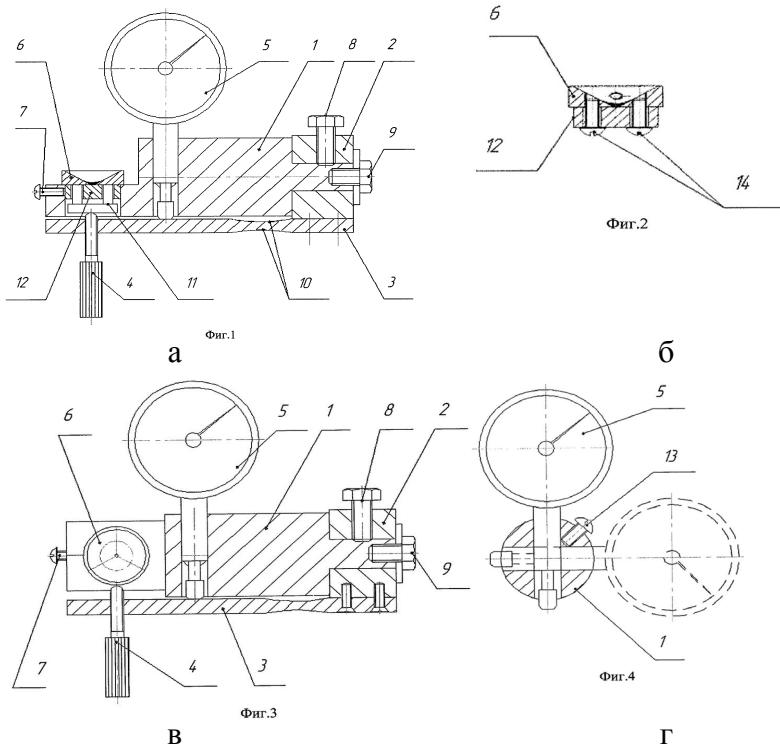


Рис. 3. Устройство с фиксатором и калиброванным отверстием (а – общая схема, б – отрывной элемент, в – общая схема – рабочее состояние, г – измерительное устройство). 1 - поворотный элемент, 2 - основание, 3 - пружина, 4 - нагружающий винт, 5 - индикатор, 6 - отрывной элемент, 7 - фиксирующий винт, 8 - позиционирующий болт, 9 - стягивающий болт, 10 - тензорезисторы, 11 - толкатель, 12 - подложка, 13, 14 - фиксирующие винты.

Устройство (рис. 4б) [7] требует высокой технологичности изготовления, что обеспечивает повышенную точность результатов экспериментов, но ограничено в своем применении и позволяет проводить испытания только покрытий незначительной величины.

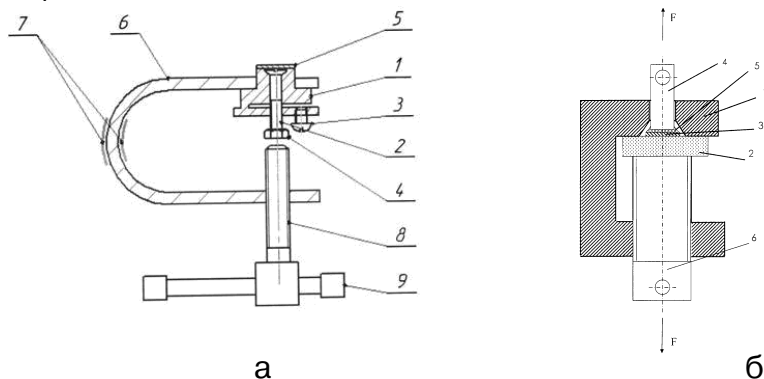


Рис. 4. Конструкции, повышенной точности определения адгезии: (а-. конструкция для измерения адгезии без разрушения покрытия : 1- основа; 2- толкатель;

- 3- паз; 4 – опора; 5- покрытие; 6-пружина; 7 – тензорезисторы; 8 - нагружающий винт;  
 9 – ручка; б-устройство для определения прочности сцепления покрытия основой:  
 1 – обойма, 2 - подложка-основа, 3 – покрытие, 4 - силопередающий стержень,  
 5 - клеевой состав, 6 – шпилька)

Специальные методы

Адгезиометр [8] (рис. 5) состоит из механизма отрыва 1, захвата 2; скобы 3, винта 4, разрывного устройства, покрытия с подложкой 5, захвата 2 шпилек 6, пазов 7. В этом случае возможно проведение испытаний тонкослойных покрытий, которые часто сопровождаются их разрушением и невозможностью получения достоверной информации о прочности сцепления испытываемого покрытия с основой при узкой направленности исследований.

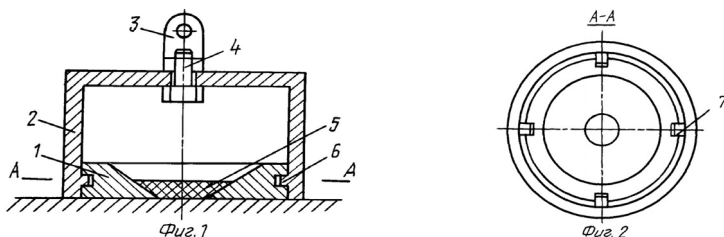


Рис. 5 . Адгезиометр для испытания полимерных материалов

Среди методов определения адгезионной прочности известен способ [9], когда к консольно закрепленному образцу (рис. 6), образованному стержнями 1 и 2 и адгезионным соединением 3, прикладывают поперечную силу  $P$  и параллельную оси образца силу  $R$ , направление которой выбирают так, что изгибающий момент от этой силы был противоположен изгибающему моменту от поперечной силы  $P$ . Сила  $P$  - это реакции опоры 4, действующая на упор 5. В способе двухосное растяжение достигается одновременным подбором трех установочных размеров  $h, b, l$ , что приводит к неверной и сложной постановке эксперимента и, следовательно, полученные результаты не могут быть достаточно объективными. Указанный способ предназначен только для определения адгезии тонкослойных покрытий.

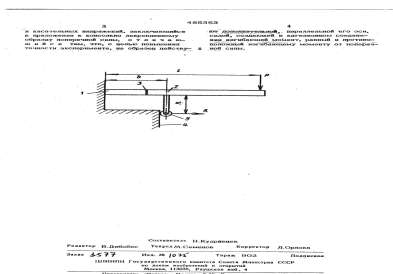


Рис. 6. Схема определения адгезионной прочности

Прибор для определения силы сцепления покрытия с основным материалом методом отслаивания [10] (рис. 7) отличается сложностью конструкции и невысокой точностью измерений, обусловленной непрерывным

ростом деформации вследствие увеличения длины отслаивающего покрытия.

По мнению авторов [11], применение метода нормального отрыва с большой площадью контакта «покрытие-подложка» позволяет получать достоверные значения прочности сцепления в сравнении с методом вытягивания штифта за счет симметричного и более равномерного приложения усилий и отсутствия изгибающего момента. Повышение прочности сцепления покрытия со сталью при увеличении диаметра образца объясняется уменьшением влияния краевого эффекта [12]. Испытания прочности сцепления на отрыв и сдвиг не отражают условий разрушения связи покрытия с основой. Поэтому определение адгезии покрытий при сложнапряженном состоянии необходимо проводить с учетом одновременного приложения к покрытию и основе усилий сдвига и нормального усилия отрыва или сжатия [13].

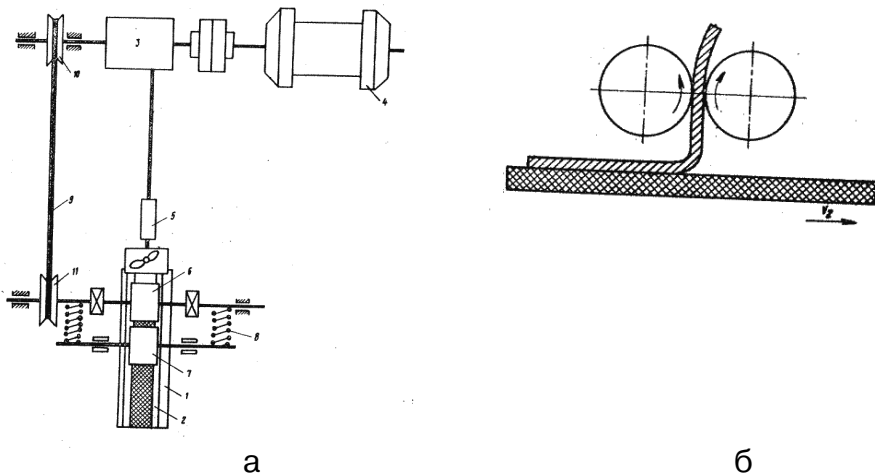


Рис. 7. Прибор для определения силы сцепления покрытия с основным материалом: 1 - колодка, 2 – образец, 3 – барабан, 4 – привод, 6 и 7 - ролики, 8 – пружины, 9 - ременная передача, 10 и 11 - шкивы

Методы, определяемые ГОСТами – ориентированы на исследование адгезии специальных покрытий и условий эксплуатации.

Сущность метода [14] заключается в том, что на пластинки для испытаний наносят испытуемый лакокрасочный материал и к ним приклеивают цилиндрические заготовки, после чего образцы испытывают на растяжение, измеряя усилие, необходимое для отрыва покрытия от окрашиваемой поверхности.

Метод определения прочности сцепления при отрыве [15] распространяется на рулонные битумно-полимерные материалы, применяемые для гидроизоляции мостовых сооружений. Прочность сцепления измеряется на образцах в составе фрагментов дорожной одежды [16], подвергаемых разрушению посредством плавного возрастающего нагружения. При этом определяется величина силы, которая приводит к нарушению согласованности слоев фрагмента дорожной одежды. В процессе испытаний нагружение проводится нарастающей отрывающей силой, с обеспечением её равномерного распределения в пределах испытательной поверхности и без возникновения касательных сил.

Испытание сухих строительных смесей [17] заключается в определении предельного сопротивления отрыву затвердевшего раствора от основания. (кирпич, природный камень, гипсовые плиты и др.). При испытании

возможны четыре варианта отрыва: 1 - отрыв по контактной зоне; 2 - отрыв по затвердевшему раствору; 3 - отрыв по основанию; 4 - отрыв по клею.

В [18] прочность сцепления определяют по силе отрыва образца затвердевшего раствора (бетона) от основания - бетонной плиты, приложенной к образцу через металлический диск с анкером, приклеенный к поверхности образца, в качестве основания могут применяться: кирпич, природный камень, плита из минеральной ваты, пенополистирол, керамическая плитка. При испытании отмечают характер отрыва образцов от основания.

Испытания для способов [15-18] проводятся при помощи разрывной машины, а прочность при отрыве определяется как отношение разрывного усилия к площади контакта.

Таким образом, проанализированы известные способы определения адгезии методом отрыва, выявлены причины их ограниченного применения и предложена собственная классификация.

### **Литература**

Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Филин Ю.И., Михальченкова М.А. Оптимизация состава ремонтной абразивостойкой дисперсно-упрочненной эпоксидной композиции с песчаным наполнителем по адгезионной прочности // Тракторы и сельхозмашины. - 2015. - №8. – С. 39-41.

Авторское свидетельство СССР 1809370, 15.04.1993.

Патент РФ № 2294531, 27.02.2007.

Авторское свидетельство СССР № 183459, 01.01.1966.

Авторское свидетельство СССР № 1490551, 30.06.1989.

Патент РФ: № 2419084, 20.05.2011.

Патент РФ № 2426095, 10.08.2011.

Патент РФ № 2239817, 10.11.2004.

Патент РФ № 485363, 25.09.1975.

Авторское свидетельство № 634179, 25.11.1978.

Гладков В.Ю., Кравченко И.Н. К вопросу определения адгезионных характеристик плазменнонапыленных покрытий // Строительные и дорожные машины. - 2004.- № 9. - С. 29.

Хасуй А. Техника напыления. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.

Зурабов В.М., Соколов И.К. Прочность сцепления покрытий при сложноподвижном состоянии // Пути повышения качества и надежности деталей из порошковых материалов: тезисы докл. научно-технической конференции. - Рубцовск, 1991. – С. 87.

ГОСТ 32299 - 2013

ГОСТ Р 55402 - 2013

ГОСТ Р 55397 - 2013

ГОСТ Р 31376 - 2008

ГОСТ Р 31356 - 2007

Патент РФ № 2525144, 10.08.2014

### **A critical examination of methods of testing the adhesive strength of the coating method of separation**

A.M. Mikhailchenkov, d.t.s., professor

(FGNU GOSNITI, Moscow, e-mail:mihalchenkov.alexandr@yandex.ru)

Biryulina Ya.Yu, graduate student

Filin Yu.I, graduate student

Ermakova T.A., graduate student

(Bryansk State Agricultural University, Bryansk)

**Annotaiton.** *A critical examination of the known methods for determining the adhesion of the pull revealed strengths and weaknesses, as well as the reasons for their limited use. Suggest my own classification methods based on several attributes: Pinsample, methods of high accuracy, special techniques and methods defined by GOST.*

**Keywords:** *adhesive strength, the pull-shift method, classification methods, pin test, the accuracy of the results, the accuracy of the data, Guest.*

### References

1. Mikhalchenkov A.M., Komogortsev V.F., Filin Yu., M.A. Mihalchenkova .Optimization of repair Abrasion-reinforced epoxy dispersion composition with a sand filling of the adhesive strength // Tractors and farm machinery. - 2015. - №8. - S. 39-41.
2. USSR Author's Certificate № 1809370, 15.04.1993.
3. RF patent № 2294531, 27.02.2007.
4. USSR Author's Certificate № 183459, 01.01.1966.
5. USSR Author's Certificate № 1490551, 30.06.1989.
6. RF patent № 2419084, 20.05.2011.
7. RF patent № 2426095, 10.08.2011.
8. RF patent № 2239817, 10.11.2004.
9. RF patent № 485363, 25.09.1975.
10. USSR Author's Certificate № 634179, 25.11.1978.
11. Gladkov V.Y., Kravchenko I.N. On the question of determining the characteristics of the adhesive coatings plazmennonapylennyh // Building and road machines. - 2004.- № 9. - S. 29.
12. Hasuy A. deposition technique. - M .: Engineering, 1975. - 288 p.
13. Zurabov V.M., Sokolov I.K. The strength of adhesion of the coating with the state slozhnonapryazhennom // Ways to improve the quality and reliability of parts from powder materials: abstracts. rep. scientific and technical conference. - Rubtsovsk, 1991. - S. 87.
14. GOST 32299 – 2013.
15. GOST 55402 – 2013.
16. GOST 55397 – 2013.
17. GOST 31376 – 2008.
18. GOST 31356 – 2007
19. RF patent № 2525144, 10.08.2014.