

УДК 621.787.6

А.В. Ряховский¹, В.В. Косенко², В.Н. Власенко²¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков²Государственное предприятие «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения», Харьков

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Предложена методика определения адгезионной прочности детонационных покрытий штифтовым методом, позволяющая обеспечить снижение трудоемкости изготовления образцов при сохранении точности результатов испытаний.

Ключевые слова: адгезионная прочность, детонационные покрытия, штифтовый метод, точность, испытания.

Введение

Анализ существующих способов упрочнения рабочих поверхностей деталей показал, что детонационно-газовый метод имеет значительные преимущества: покрытие можно получать с минимальной пористостью, высокой твердостью и адгезией к основному металлу. Безусловным преимуществом детонационно-газового метода является то, что нагрев детали в зоне напыления не превышает 200°C, а это дает возможность сохранить имеющиеся физико-химические свойства деталей. Расширение областей применения газотермических покрытий для поверхностного упрочнения конструкционных материалов деталей машин, инструмента и других изделий непосредственно связано с необходимостью количественной оценки характеристик напыленных покрытий. Прочность сцепления покрытий с подложкой (адгезионная прочность) является одним из важнейших показателей качества детонационных покрытий, так как она во многом определяет их работоспособность в условиях эксплуатации.

Основной раздел

В настоящее время существует ряд методик определения прочности сцепления газотермических покрытий с подложкой, среди которых весьма распространенный метод - штифтовый, заключающийся в том, что в подложке выполняют отверстие и размещают в нем штифт торцом заподлицо с поверхностью подложки (рис. 1). На поверхность подложки и штифта наносят покрытие, прикладывают к штифту усилие и отрывают штифт от покрытия. По значению отрывающего усилия и площади поверхности торца штифта судят об адгезионной прочности, определяемой по формуле:

$$\sigma_a = P / S_{шт}, \quad (1)$$

где σ_a – напряжение, характеризующее адгезионную прочность; P – отрывающее усилие; $S_{шт}$ – площадь поверхности торца штифта.

Многие авторы отмечают основным недостатком штифтового метода – далеко не всегда отрыв штифта происходит по адгезионной поверхности, часто происходит прорыв покрытия с образованием сквозного от-

верстия. Эта особенность обусловлена сложным напряженным состоянием, возникающем при испытании покрытия, и накладывает определенные ограничения на диаметр штифта и толщину испытываемого покрытия: обычно применяются штифты диаметром около 2 мм при толщине покрытий не менее 300 мкм.

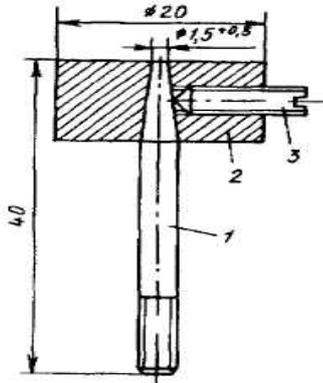


Рис. 1. Образец для испытания на адгезионную прочность сцепления:
1 – штифт; 2 – подложка; 3 – винт

Разброс значений адгезионной прочности достигает 50% [1], поэтому полученные значения σ_a являются приближенными и, как правило, существенно заниженными. Предпринимаются попытки по раскрытию механизма отрыва штифта и совершенствованию штифтового метода с целью повышения его точности. В работе [2] проанализировано напряженное состояние покрытия при испытании и показано, что нагруженной является лишь часть покрытия, расположенная по периферии торца штифта. Выведенное авторами соотношение $R/h \leq 2,0$ (R – радиус штифта; h – толщина покрытия), обеспечивающее чисто адгезионный отрыв штифта, заставляет ограничивать диаметр штифтов значениями 0,5 – 1,0 мм. Качественное изготовление штифтов столь малых размеров при оперативном контроле широкого круга покрытий весьма затруднено.

В работе [3] приведено соотношение для диаметра торца штифта $d_{шт} < 4\delta\tau_{max} / \sigma_{max}$ (δ – толщина покрытия, τ_{max} – предел прочности покрытия при срезе; σ_{max} – предел адгезионной прочности). На основе этого соотношения показывается практическая непригодность штифтов круглого сечения для определения адгезии покрытий и предлагается оригинальная конструкция так называемого кольцевого штифта, который обеспечивает чисто адгезионный отрыв. Следует, однако, отметить, что он весьма сложен в изготовлении, кроме того, увеличение отношения периметра штифта к площади его торцевой поверхности увеличивает долю «вредного» усилия заклинивания напыляемых частиц в зазоре между штифтом и подложкой в общем усилии отрыва, что, естественно, снижает точность метода.

Анализ работ [1 – 3] показывает, что получение «чисто адгезионного» отрыва штифта от покрытия представляет собой сложную техническую задачу,

которую можно упростить, если при оценке адгезионной прочности покрытий отказаться от неперемного (весьма неточного) определения предела адгезионной прочности и заменить его более точным определением напряжений на адгезионной поверхности, достигнутых при испытании. Задача, таким образом, сводится к тому, чтобы, используя обычный штифт диаметром 1,5 – 2 мм, нагрузить его отрывающим усилием и определить напряжения, возникшие при этом на адгезионной поверхности. Такая постановка задачи дает возможность более достоверно судить об адгезионной прочности покрытий сравнительно малой толщины (100 – 150 мкм), характерных для детонационного метода напыления, при котором отрыв штифта происходит с образованием в покрытии сквозного отверстия, имеющего, как правило, коническую форму (рис. 2).

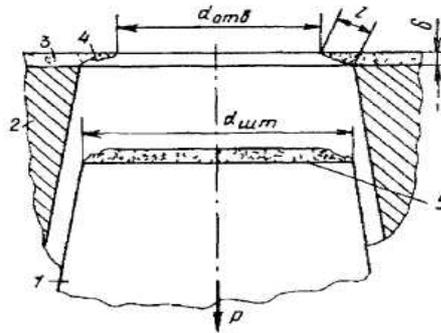


Рис. 2. Характер разрушения покрытия:
1 – штифт; 2 – подложка; 3 – покрытие; 4 – поверхность разрушения покрытия; 5 – торец штифта

При этом важно как можно точнее определить размеры участка адгезионной поверхности, подвергнувшегося действию напряженного состояния. Логично представить его как площадь некоторого кольцевого элемента, расположенного по периферии торца штифта, поскольку в центральной части штифта напряжения отсутствуют. Очевидно, что основной массив напряжений на адгезионной поверхности в момент отрыва штифта находится под зоной разрушения покрытия. Поэтому площадь напряженного кольцевого элемента адгезионной поверхности с достаточной степенью точности можно принять равновеликой площади поверхности разрушения покрытия, представляющей собой в общем случае боковую поверхность усеченного конуса, площадь которой определится как:

$$S_p = S_6 = \pi/2(d_{шт} + d_{отв}) \cdot l = \pi/2(d_{шт} + d_{отв}) \sqrt{\left\{ (d_{шт} - d_{отв})^2 / 4 + \delta^2 \right\}}, \quad (2)$$

где S_p – площадь поверхности разрушения; S_6 – площадь боковой конической поверхности, образовавшейся в покрытии при отрыве штифта; $d_{отв}$ – диаметр образовавшегося отверстия; l – длина образующей поверхности разрушения; δ – толщина покрытия. Тогда достигнутое при испытании напряжение на адгезионной поверхности

$$\sigma_a^1 = \frac{P}{S_p} = \frac{P}{\left[\frac{\pi}{2}(d_{шт} + d_{отв}) \sqrt{\left[\frac{(d_{шт} + d_{отв})^2}{4} + \delta^2 \right]} \right]} \quad (3)$$

Для испытаний были изготовлены образцы (рис. 1) с детонационным покрытием ПТ-19Н-01 толщиной $\delta = 100 - 150$ мкм и диаметром штифта $d_{шт} = 1,5 - 2,0$ мм, материал подложки – сталь 40. Для устранения люфта штифты тщательно притирали в коническом отверстии втулок. Диаметры $d_{шт}$ определяли с помощью микроскопа МБС-9 с погрешностью $0,5 - 10^2$ мм. Толщину покрытия измеряли с погрешностью $0,5 - 10^2$ мм. Напыленные образцы испытывали на разрывной машине Р - 0,5. При отрыве штифта фиксировалось усилие отрыва с погрешностью до 1 Н.

На всех образцах отрыв штифта произошел с образованием сквозного отверстия в покрытии, профиль поверхности разрушения покрытия показан на рис. 2.

Для сравнения по формуле (1) определяли адгезионную прочность покрытий толщиной 100 – 150 мкм на образцах со штифтами 0,9 – 1,1 мм, обеспечившим отрыв штифта без образования сквозного отверстия в покрытии. Результаты испытаний и расчетов сведены в таблицу.

Выводы

Как видно из таблицы, значения адгезионной прочности по предлагаемой формуле (3) находятся в тех же пределах, что и по ранее применяемой формуле (1). Однако при этом трудоемкость изготовления партии подложек и штифтов диаметром 1,5 – 2,0 мм оказалась на 45 – 50% ниже, чем подложек и штифтов диаметром 0,9 – 1,1 мм, так как изготовить и выполнить притирку пары «штифт-подложка» большего диаметра значительно проще. Результаты проведенной работы опробованы на различных типах детонационных покрытий и дают основание утверждать, что предлагаемый способ определения адгезионной прочности является достаточно точным, обеспечивает уменьшение трудозатрат при проведении адгезионных испытаний детонационных покрытий толщиной 100 – 150 мкм и может быть широко использован в практике исследования свойств тонких покрытий.

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ ДЕТОНАЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

А.В. Ряховський, В.В. Косенко, В.Н. Власенко

Запропонована методика визначення адгезійної міцності детонаційних покриттів штифтовим методом, що дозволяє забезпечити зниження трудомісткості виготовлення зразків при збереженні точності результатів випробувань.

Ключові слова: адгезійна міцність, детонаційні покриття, штифтовий метод, точність, випробування.

FEATURES OF ESTIMATION OF DURABILITY OF COUPLING OF DETONATION COVERAGES

A.V. Ryakhovskiy, V.V. Kosenko, V.N. Vlasenko

A procedure is proposed for determination of adhesion strength of detonation coatings stud method to reduce the labor intensity of production of samples while maintaining the accuracy of the test results.

Keywords: adhesion durability, detonation coverages, adjustable method, exactness, test.

Таблица

Сравнительные результаты испытаний и расчетов адгезионной прочности тонких покрытий, полученные различными способами

δ , мкм	Дшт, мм	Дотд, мм	Р, Н	Шшт, 10^{-3} м^2	S_p , 10^{-3} м^2	σ_a , МПа σ_a^1 , МПа
С образованием отверстия в покрытии						
100	1,65	1,21	1,2	–	1085	110,6
100	1,67	1,35	97	–	894	108,5
100	1,7	0,98	192	–	1572	122,1
130	1,69	0,91	178	–	1678	106,1
130	1,74	0,82	194	–	1921	101
140	1,59	0,35	190	–	1936	98,1
150	1,95	0,88	222	–	2469	89,9
Без образования отверстия в покрытии						
100	0,92	–	88	664	–	132,5
100	0,94	–	75	694	–	108,1
130	0,98	–	78	754	–	103,4
140	1,01	–	77	801	–	96,1
140	1,02	–	81	817	–	99,1
150	1,06	–	80	882	–	90,7
150	1,08	–	81	916	–	88,4

Список литературы

1. Бартенев С.С. Детонационные покрытия в машиностроении / С.С. Бартенев, Ю.П. Федько, А.И. Григоров. – Л.: Машиностроение, 1982. – 215 с.
2. Пузыряков А.Ф. Механизм разрушения напыленных покрытий при определении их адгезионной прочности штифтовым методом / А.Ф. Пузыряков, А.Н. Еремичев, В.А. Гаранов // Порошковая металлургия. – 1984. – № 4. – С. 92-95.
3. Рогожин В.М. Определение адгезионной прочности газотермических покрытий / В.М. Рогожин, Ю.В. Смирнов, В.Я. Петров // Порошковая металлургия. – 1982. – № 7. – С. 17-23.
4. Рымчук Д.В. Определение коррозионной стойкости детонационных покрытий / Д.В. Рымчук, В.Н. Власенко, А.А. Мельниченко // Вестник НТУ «ХПИ»: сб. науч. тр. – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. – №11. – С. 60-63.

Поступила в редколлегию 11.07.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.