

ОЦЕНКА АДГЕЗИИ И КОГЕЗИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

EVALUATION ADHESION AND COHESION GASDYNAMIC COATING

М.С.Пугачев – н.с., В.Е.Архипов - к.т.н., г.н.с., А.В.Балашова – н.с.,
А.Ф.Лондарский – к.т.н., с.н.с., Г.В.Москвитин – д.т.н., проф., зав. лаб.
ИМАШ РАН

pugachevmax@mail.ru

Abstract. Three non-standard techniques are given for assessment of adhesive and cohesive durability of gasdynamic coverings. Properties coverings copper, zinc, aluminum and nickel have been defined by using new techniques. Dependences are received durabilities of gasdynamic coverings from temperature of their drawing.

Key words: copper coating, zinc coating, nickel coating, aluminium coating, gasdynamic spraying, adhesion, cohesive strength of coating.

Аннотация. Приведены три нестандартные методики для оценки адгезионной и когезионной прочности газодинамических покрытий. С помощью новых методик определены свойства покрытий меди, цинка, алюминия и никеля. Получены зависимости прочности газодинамических покрытий от температуры их нанесения.

Ключевые слова: покрытие меди, покрытие цинка, покрытие никеля, покрытие алюминия, газодинамическое напыление, адгезия покрытия, когезионная прочность покрытия.

Газодинамическое напыление покрытий различного назначения применяют для восстановления исходных геометрических размеров деталей и изделий; «заделки» трещин и раковин, возникших во время эксплуатации и изготовления деталей; герметизации соединений, работающих в условиях низкой и высокой температуры и т.д. [1]. Исследование способности покрытий, нанесённых газодинамическим напылением, сопротивляться разрушению под воздействием различных нагрузок является актуальной научной и технологической задачей. Качество наносимых покрытий оценивают по двум параметрам, а именно – прочности сцепления нанесённого металла с основой (адгезия) и когезионной прочности металла покрытия (когезия).

Целью работы является исследование механических характеристик покрытий, нанесённых газодинамическим напылением, а также оценка методик испытаний.

Эксперименты по напылению покрытий никеля, меди, алюминия и цинка на поверхность образцов из стали 40Х проводятся с использованием газодинамической установки модели «ДИМЕТ – 404». Механическая смесь мелкодисперсных порошков пластичных металлов (Ni, Cu, Al, Zn) и твёрдых хрупких частиц корунда (Al_2O_3) применяется для нанесения покрытия в состоянии поставки [1].

При выборе методик испытаний покрытий на адгезию и когезию руководствуются материалами, представленными в государственном стандарте [2] и методических рекомендациях [3]. В процессе подготовки к проведению испытаний были рассмотрены четыре методики. В трёх методиках испытание проводится при растяжении образцов с покрытием и в одной при смещении (сдвиге) нанесённого слоя металла с подложки.

В методических рекомендациях предлагается методика, при использовании которой на поверхность цилиндрического образца наносится покрытие шириной 10 мм [3,4]. Приводится оснастка, которая позволяет наносить покрытие сразу на пять образцов. При этом, по-видимому, использование оснастки позволяет получить покрытие такой формы, чтобы оно равномерно опиралось на поверхность матрицы (рис.1). При нагружении образец продавливается через матрицу и, при этом покрытие смещается с его поверхности без разрушения или с формированием трещины.

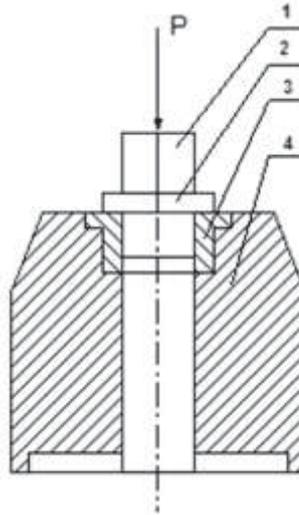


Рис. 1. Принципиальная схема испытания покрытия методом сдвига: 1-образец, 2-покрытие, 3-матрица, 4-корпус

Моделирование процесса нагружения с использованием программы ANSYS показало возникновение значительных по величине напряжений в зоне контакта галтель – матрица, что приводит к разрушению покрытия (возникновению трещины) [4]. Изменение геометрии покрытия – устранение галтели позволяет проводить испытание, при котором трещина в нанесённом покрытии не возникает, что повышает достоверность результатов.

В работе [3] для исследования адгезии и когезии рекомендован штифтовой метод испытания. Образец с рабочей частью поверхности $3,14 \text{ мм}^2$ вставляется в корпус оснастки и на собранную конструкцию наносится покрытие, которое покрывает поверхность, включающую торец образца и шайбу (рис.2). Образец при помощи оснастки, позволяющей избежать нагрузок, которые могут привести к деформации и разрушению покрытия, закрепляется в захватах испытательной машины, и проводится испытание при растяжении. Полученный результат оценивается, исходя из состояния рабочей части поверхности образца после испытания. Если на поверхности образца покрытие занимает менее 50% площади, то результат интерпретируется как прочность сцепления покрытия с подложкой.

Для проведения испытаний на когезионную прочность покрытия был предложен собственный вариант образца, где две симметричные части фиксируются с помощью центрирующей втулки и «жёстко» соединяются за счёт шпильки и гаек (рис.3). На поверхность образца наносится покрытие с последующей обработкой его лезвийным инструментом до получения необходимой толщины слоя металла. После этого образец освобождается от соединения шпильками и в технологические отверстия закручиваются элементы для закрепления его в захватах испытательной машины. Затем производится его растяжение с фиксацией разрушающей нагрузки.

Было проведено моделирование и численное исследование с использованием программного комплекса ANSYS для определения напряжений и деформаций в образцах и покрытиях, возникающих при испытании штифтовым методом и методом «кольцевого отрыва».

Исследование поверхности образцов после испытания на сдвиг покрытия меди показало, что во всех случаях площадь металла покрытия занимает менее 50% и результаты можно интерпретировать как прочность сцепления покрытия с подложкой. Поверхность образцов после испытания представляет систему точек красного цвета и только у образца с покрытием меди, нанесённым при 540°C , по краям слоя присутствуют сплошные участки металла шириной до 1,8 мм, где наблюдаются полосы сдвига. Прочность сцепления покрытия меди с основой существенно возрастает с 17 МПа до 48 МПа при увеличении температуры процесса с 180°C до 540°C .

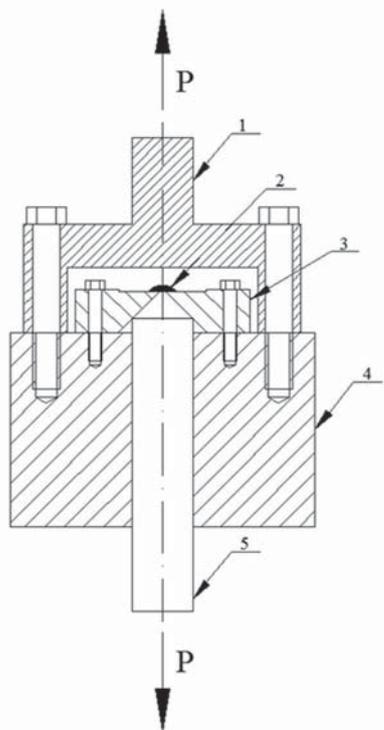


Рис. 2 Принципиальная схема испытания покрытия штифтовым методом: 1 – серьга, 2 – слой металла, 3 – шайба, 4 – корпус, 5 – образец

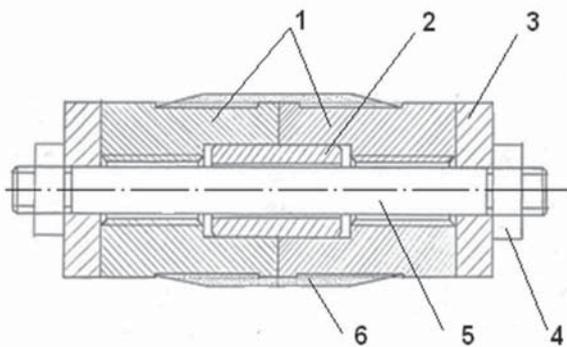


Рис. 3 Образец для испытания при растяжении покрытия «методом кольцевого отрыва»: 1 – части образца, 2 – центрирующая втулка, 3 – уплотнительная шайба, 4 – гайка, 5 – шпилька, 6 – покрытие

Исследование поверхности образцов с нанесённым покрытием алюминия и цинка после испытания и полного смещения нанесённого слоя металла показало наличие на поверхности сплошного слоя цинка и алюминия по всей площади нанесения покрытия. В таком случае, полученные результаты следует интерпретировать как когезионную прочность металла покрытия при испытании на срез (сдвиг).

Величина когезии покрытия цинка и алюминия снижается при увеличении температуры напыления. Когезионная прочность покрытия цинка при напылении с температурой потока воздуха 180°C и 360°C составляет порядка 35 МПа. Повышение температуры потока воздуха до максимальной 540°C сопровождается снижением когезионной прочности металла до 14 МПа. У покрытия алюминия когезионная прочность металла несколько ниже (27-30 МПа) и её снижение при увеличении температуры напыления не столь значительно до 23 МПа. Полученная зависимость когезионной прочности от температуры напыления достаточно хорошо согласуются с выявленными закономерностями изменения структуры и свойств покрытия с использованием металлофизических методов исследования.

Испытания штифтовым методом показали схожие результаты с методом сдвига.

В результате испытаний покрытий меди, алюминия, никеля и цинка на когезионную

прочность методом кольцевого отрыва, получены значения механических свойств покрытий. Когезионная прочность покрытия алюминия при напылении с температурой потока воздуха 180°C достигает 190 МПа, что в 2 раза превышает объёмную прочность технически чистого алюминия. С повышением температуры напыления до 270°C она резко снижается до уровня 110 МПа. Дальнейшее повышение температуры напыления до 540°C сопровождается уменьшением когезии покрытия алюминия в два раза до 53 МПа. Для покрытия меди прослеживается аналогичная зависимость когезионной прочности от температуры напыления. При минимальной температуре напыления 180°C когезия имеет величину порядка 175 МПа, что ниже, чем прочность технической чистой меди (220-240 МПа). С повышением температуры напыления когезионная прочность металла покрытия уменьшается до уровня 100 МПа. Дальнейшее увеличение температуры напыления в два раза не столь существенно влияет на когезионную прочность покрытия, которая снижается до уровня 86 МПа. Когезионная прочность покрытия цинка при увеличении температуры напыления с 270°C до 450°C меняется незначительно и возрастает с 91 МПа до 95 МПа. Повышение температуры напыления покрытия цинка сопровождается увеличением прочности и удлинения. Когезионная прочность покрытия никеля при повышении температуры напыления возрастает с 64 МПа до 74 МПа. Повышение температуры напыления покрытия никеля так же сопровождается увеличением прочности и удлинения.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы: методы испытания на сдвиг (срез) или штифтовой метод, следует рекомендовать для исследования механических характеристик газодинамических покрытий (адгезия, когезия), так как он позволяет получить зависимость свойств от технологических параметров напыления при нагружении покрытия на сдвиг, метод «кольцевого отрыва» можно рекомендовать для исследования только когезионной прочности газодинамических покрытий, так как он позволяет получить температурную зависимость этой характеристики от технологических параметров напыления при нагружении покрытия на растяжение.

Литература

1. Димет. Применение технологии и оборудования. Режим доступа: <http://www.dimet-g.narod.ru/>. (дата обращения: 10.06.2016).
2. ГОСТ 28844-90. Покрытия газотермические упрочняющие и восстанавливающие. Общие требования. . — Введ. 01-01-1992.— М.: Изд-во стандартов, 2004.— 11 с.
3. Определение прочности сцепления газотермических покрытий с основным. Методические рекомендации. МР 250-87. – М. ВНИИНМАШ, 1987, с.17
4. Сравнительная оценка адгезии покрытий / В.Е. Архипов [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. -2014.-№ 12.-С. 47-52.