

механических свойств материала покрытий, но и контактных характеристик, теплового и напряженного состояния режущего клина инструмента.

Литература:

1. Табаков В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.
2. Табаков В.П., Чихранов А.В. Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана. – Известия Самарского научного центра РАН, Т. 12, 2010. – № 4. – 13-24 С.

УДК 678.026.345 (048.8)

**Исследование адгезии покрытий, полученных сверхзвуковым газодинамическим напылением**

**А.А.Гайдук, студент 4 курса, факультета Агротехники и энергообеспечения  
Научный руководитель: Ю.А.Кузнецов, д.т.н., профессор**

**ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»**

Исторически возникновение способа сверхзвукового газодинамического напыления (ГДН) можно связать с обнаружением российскими учеными закрепления металлических частиц на лобовой поверхности преграды при ее обтекании сверхзвуковым двухфазным потоком в институте прикладной механики в Новосибирске. Выполнив специальные исследования по взаимодействию двухфазного потока с преградой А.П. Алхимов, В.Ф. Косарев и А.Н. Папырин установили, что, при превышении некоторого значения скорости потока, которое было названо критической скоростью, может происходить осаждение толстого слоя твердых металлических частиц на преграде. Данный метод в настоящее время широко известен в мире как «холодное напыление» («Cold Spray»). [1]

Суть ГДН состоит в том, что мелкие металлические частицы, находящиеся в твердом состоянии, ускоряются сверхзвуковым газовым потоком до скорости 500-800 м/с и направляются на восстанавливаемую поверхность детали. Сталкиваясь с поверхностью в процессе высокоскоростного удара, частицы закрепляются на ней, формируя сплошное покрытие.

В наиболее распространенных газотермических способах нанесения покрытий для их формирования из потока частиц необходимо, чтобы падающие на основу частицы имели высокую температуру, обычно выше температуры плавления материала. При газодинамическом напылении, это условие не является обязательным, что и обуславливает ее уникальность. В данном случае с твердой основой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, но обладающие очень высокой скоростью [1].

Однако на сегодняшний день данный способ остается еще малоизученным. В частности, для ремонтного производства особый интерес представляют эксплуатационные свойства покрытий.

В Орловском государственном аграрном университете на кафедре «Технология конструкционных материалов и организация технического сервиса» в рамках студенческого конструкторского бюро СКБ-6 были проведены исследования прочности сцепления покрытий, сформированных сверхзвуковым газодинамическим напылением.

*Методика проведения экспериментов.*

Адгезию напыленных покрытий определяли штифтовым методом. Образцы (рис.1) изготавливали из алюминиевого сплава АК7ч и коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т.

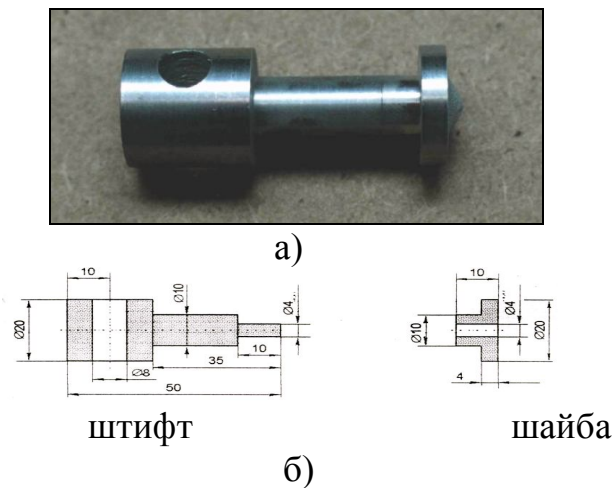


Рисунок 1 – Общий вид образца для определения прочности сцепления покрытий, полученных ГДН: а) образец в сборе; б) составные части образца.

Штифт, в сборе с шайбой устанавливали в специальное устройство и проводили шлифование рабочей поверхности. Покрытие напыляли на рабочую поверхность образца при его равномерном перемещении. При напылении покрытий использовали порошок марки А-80-13.

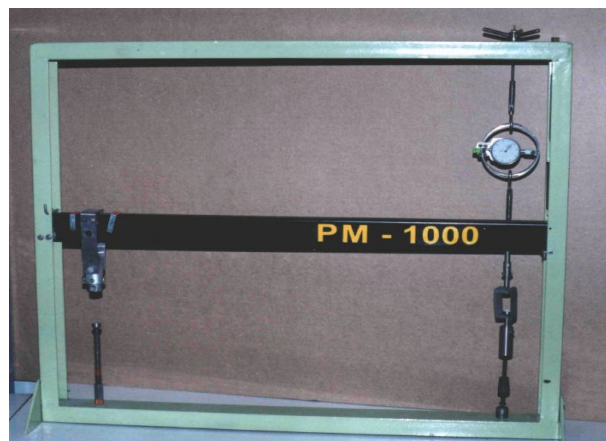


Рисунок 2 – Общий вид универсальной разрывной машины РМ-1000.

Напряжение отрыва покрытия определяли для каждого образца по формуле:

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{3,14 \cdot d_{ш}^2},$$

где  $\sigma$  – напряжение отрыва, МПа;

Q – разрушающее усилие, Н;

$d_{ш}$  – диаметр штифта, мм.

#### Результаты исследований.

Из рисунка 3 следует, что для достижения наибольшей адгезии покрытий при ГДН необходимо работать на максимально возможных давлениях воздуха. Так, например, при повышении давления воздуха в напылительном блоке установки с 0,5 до 0,9 МПа прочность сцепления покрытий увеличивается: на алюминии с 54 до 69 МПа, на стали – с 45 до 58 МПа.

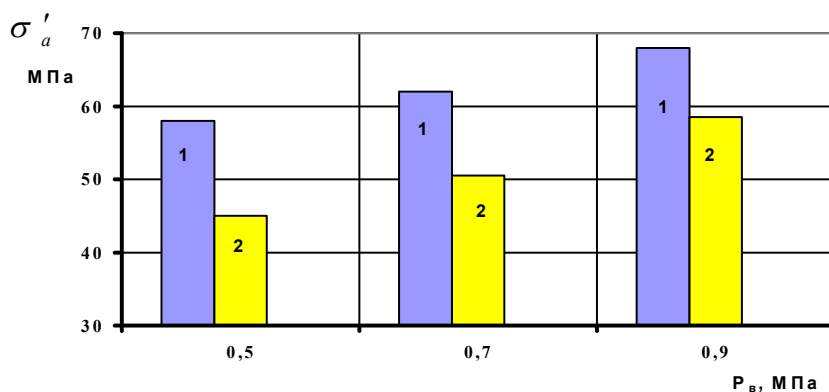


Рисунок 3 – Зависимость прочности сцепления покрытий от давления воздуха в напылительном блоке: 1 – алюминиевая основа; 2 – стальная основа. Режимы ГДН: температура нагрева воздуха  $T_B = 400$  °С, дистанция напыления  $H = 15$  мм, фракция порошка  $d = 40$  мкм

Однако, учитывая то, что при больших давлениях воздуха установка может работать лишь кратковременно и нестабильно, можно заключить, что наиболее рациональный диапазон давлений воздуха, рекомендуемый для получения максимальной прочности сцепления покрытия с основой, для установки «ДИМЕТ-403» будет составлять 0,6...0,7 МПа. Следовательно, максимальная адгезия покрытий в данном случае будет ограничиваться конструктивными параметрами установки ГДН.

Исследования адгезии напыленных покрытий в зависимости от температуры нагрева воздуха в напылительном блоке установки (рис. 4) показали, что с увеличением температуры адгезионная прочность покрытий снижается.

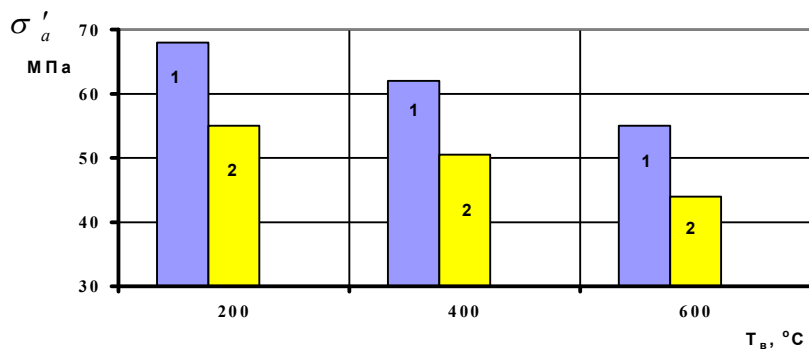


Рисунок 4 – Зависимость прочности сцепления покрытий от температуры нагрева воздуха в напылительном блоке: 1 – алюминиевая основа; 2 – стальная основа. Режимы ГДН: давление воздуха в напылительном блоке  $P_B = 0,7$  МПа, дистанция напыления  $H = 15$  мм, фракция порошка  $d = 40$  мкм.

Это можно объяснить тем, что с увеличением температуры воздуха увеличивается термодинамическая активность напыляемых частиц. Поэтому, закрепляться на поверхности будут не только частицы, обладающие достаточной кинетической энергией для этого, но и частицы с меньшей кинетической энергией, но с большей температурой. Это приводит к увеличению эффективного использования напыляемого материала, с одновременным снижением адгезии покрытия. Из рисунка 4 видно, что максимальная прочность сцепления покрытий с основой достигается при нагреве воздуха в напылительном блоке около  $200$  °С. Однако при данной температуре наблюдается низкий коэффициент использования порошкового материала (4-8%). При увеличении температуры нагрева воздуха в напылительном блоке до  $400$  °С коэффициент использования порошка достигает 12-15%. Следовательно, наиболее рациональным температурным режимом будет являться режим, обеспечивающий нагрев воздуха в напылительном блоке установки около  $400$  °С.

Из рисунка 5 видно, что процесс взаимодействия твердой частицы с основой, реализуемый при газодинамическом напылении, зависит не только от температуры нагрева и давления воздуха в напылительном блоке установки, но и от размера напыляемой частицы, т.е. ее фракции. Для обеспечения максимальной адгезии покрытия необходимо использовать достаточно мелкую фракцию напыляемого порошкового материала ( $\leq 60$  мкм).

На основе комплекса проведенных исследований для установки ГДН модели «ДИМЕТ-403» были рекомендованы следующие рациональные режимы напыления порошкового материала А-80-13:

- давление воздуха в напылительном блоке  $0,6 \dots 0,7$  МПа;
- температура нагрева воздуха в напылительном блоке –  $400$  °С;
- фракция порошка А-80-13 –  $40$  мкм.

При формировании покрытий на указанных режимах ГДН прочность их сцепления с основой должна составить: на алюминиевом сплаве АК 7ч – 55...63 МПа; на стали 12Х18Н10Т – 45...50 МПа.

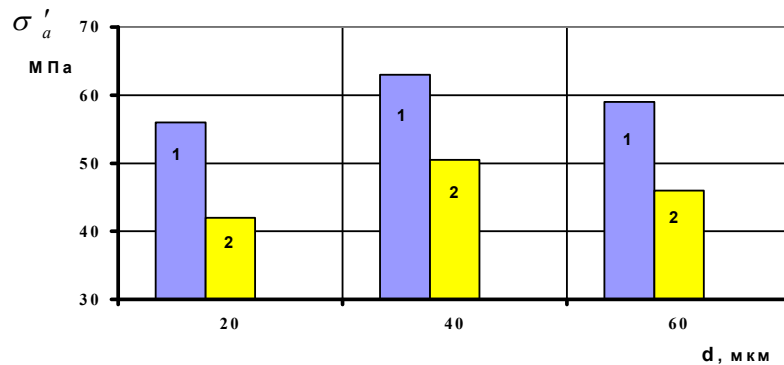


Рисунок 5 – Влияние фракции порошкового материала на прочность сцепления покрытий: 1 – алюминиевая основа; 2 – стальная основа. Режимы ГДН: давление воздуха в напылительном блоке  $P_B = 0,7$  МПа, дистанция напыления  $H = 15$  мм, температура нагрева воздуха  $T_B = 400$  °С.

Способ сверхзвукового газодинамического напыления целесообразно использовать при проведении кузовных работ, ремонте практически всех деталей системы охлаждения и кондиционирования воздуха, восстановлении деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов, защиты изделий от коррозии.

Литература:

1. Кузнецов Ю.А. Ресурсосберегающие технологии газотермического напыления при ремонте машин АПК. // Вестник ОрелГАУ. №1(16). – 2009. – С. 13-15.

УДК 621.794.61:669.056.93

### **Исследование износостойкости покрытий полученных плазменно-электролитическим оксидированием**

**Д.В. Гудков, студент 4курса, факультета Агротехники и энергообеспечения**

**Научный руководитель: Ю.А.Кузнецов, д.т.н., профессор**

**ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»**

Разработка новых экологически чистых технологий нанесения высокоэффективных и надежных покрытий для упрочнения деталей с целью повышения их износостойкости, является одной из актуальных задач современной науки и техники.

Среди новых способов создания высоко-износостойких покрытий на алюминиевых сплавах особый интерес представляет плазменно-электролитическое оксидирование (ПЭО). Суть метода заключается в