

## КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Кузнецов Ю.А., д.т.н., проф.

*ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»*

*Предложена новая комбинированная технология восстановления деталей сверхзвуковым газодинамическим напылением (ГДН) с последующим упрочнением микродуговым оксидированием (МДО), позволяющая получать покрытия с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.*

**Ключевые слова:** *сверхзвуковое газодинамическое напыление, микродуговое оксидирование, покрытие, изнашивание, прочность сцепления.*

Опыт ремонтно-технических предприятий показывает, что в последние годы наметилась тенденция использования упрочняющих технологий, которые позволяют значительно повысить относительную износостойкость деталей и соединений.

Одним из таких методов, является микродуговое оксидирование (МДО). В настоящее время, оно применяется в основном для упрочнения деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов и защиты их от коррозии. Микродуговое оксидирование не позволяет получить покрытия на деталях из железоуглеродистых сплавов. Этим способом также невозможно компенсировать износ деталей.

Проведенные нами исследования позволили разработать и предложить ремонтному производству комбинированную технологию восстановления и упрочнения деталей, изготовленных из железоуглеродистых сталей и алюминиевых сплавов.

Суть технологии заключается в том, что в начале на изношенной поверхности восстанавливаемой детали «холодным» газодинамическим напылением формируют толстослойное алюминиевое покрытие, а затем в целях увеличения ее износостойкости и обеспечения необходимой долговечности упрочняют микродуговым оксидированием.

**Цель** работы заключалась в проведении исследований адгезии и износостойкости комбинированных покрытий, полученных сверхзвуковым газодинамическим напылением и упрочненных микродуговым оксидированием; разработке общих рекомендаций для осуществления технологии.

**Результаты исследований.** Для проведения исследований были использованы образцы, изготовленные из алюминиевых сплавов марок АК7, АК12, G-AlSi12 (Германия), а также из коррозионностойкой стали 12X18H10T.

Нанесение порошковых материалов осуществляли комплектом для сверхзвукового газодинамического напыления «ДИМЕТ-403». В качестве на-

пыляемого материала служил алюминиевый порошок А-80-13.

Микродуговое оксидирование образцов с напыленными покрытиями проводили в электролите типа «КОН- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ».

*Прочность сцепления покрытий.* Результаты исследований адгезии покрытий, полученных ГДН на алюминиевых сплавах и коррозионностойкой стали, представлены на рисунке 1.

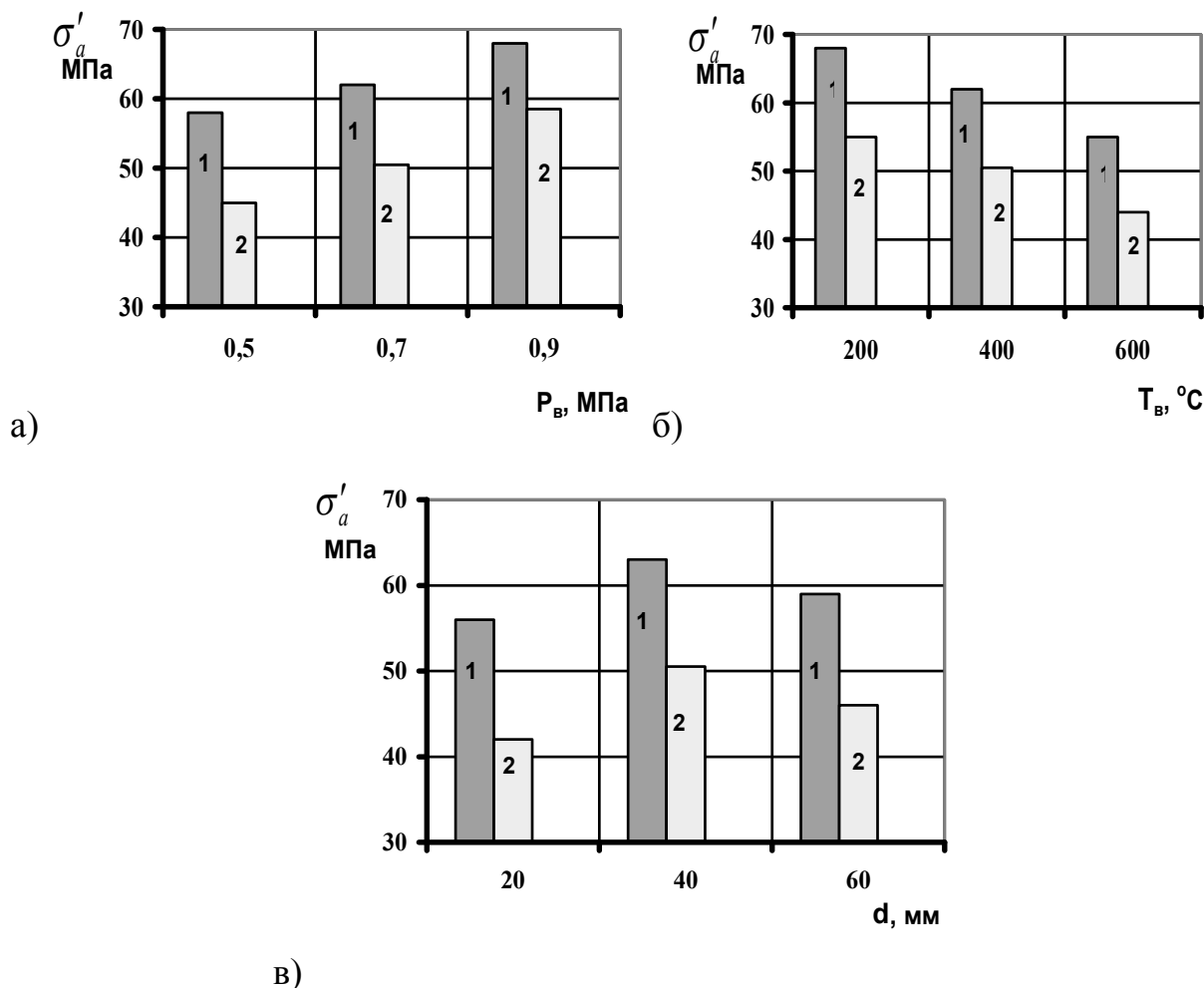


Рис. 1. Зависимость прочности сцепления покрытий от режимов ГДН: а) от давления воздуха в напылительном блоке (температура нагрева воздуха (const) –  $400^\circ\text{C}$ ); б) от температуры нагрева воздуха в напылительном блоке (давление воздуха в напылительном блоке (const) –  $0,7 \text{ МПа}$ ); в) от фракции порошкового материала (давление воздуха в напылительном блоке –  $0,7 \text{ МПа}$ )

1 – алюминиевая основа; 2 – стальная основа

Установлено, что для достижения наибольшей адгезии покрытий при ГДН, необходимо работать на максимально возможных давлениях воздуха (рис. 1а). При увеличении давления воздуха в напылительном блоке установки для ГДН возрастает скорость частиц напыляемого порошкового материала. Так как в состав комбинированного алюминиевого порошка входят твердые частицы оксида алюминия, это приводит к формированию более плотных покрытий с более высокой прочностью сцепления.

С увеличением температуры нагрева воздуха в блоке установки адгезионная прочность покрытий снижается (рис. 1б). Можно предположить, что с повышением температуры воздуха увеличивается термодинамическая активность напыляемых частиц. Поэтому на напыляемой поверхности закрепляться будут не только частицы, обладающие достаточной кинетической энергией для этого, но и частицы с меньшей кинетической энергией, но с большей температурой.

Процесс формирования прочносцепленных покрытий, реализуемый при ГДН, зависит также фракции напыляемого порошкового материала (рис. 1в).

Для получения покрытий с высокой адгезией необходимо использовать достаточно мелкую фракцию напыляемого порошкового материала ( $\leq 60$  мкм).

Качественное исследование прочности сцепления оксидно-керамических покрытий, полученных МДО в электролите типа «KOH- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ » на напыленных поверхностях, показали, что на контрольных образцах не наблюдалось вздутий и отслаиваний покрытий, независимо от режимов оксидирования.

*Износостойкость покрытий.* Сравнительные испытания комбинированных покрытий (ГДН+МДО), полученных на алюминиевых сплавах, проводили на машине трения МТУ-1 по схеме «вращающиеся пальчики – неподвижный диск». За эталон сравнения принимались алюминиевые сплавы без покрытий АК12, АК7ч, G-AlSi12 (Германия) и покрытия, сформированные ГДН без упрочнения МДО. Продолжительность испытаний составляла 20 часов.

Результаты исследований отражены на рис. 2. Установлено, что износостойкость комбинированных покрытий (ГДН+МДО) примерно в 7...7,5 раз выше износостойкости не упрочненных покрытий и в 5...6 раз выше износостойкости алюминиевых сплавов.

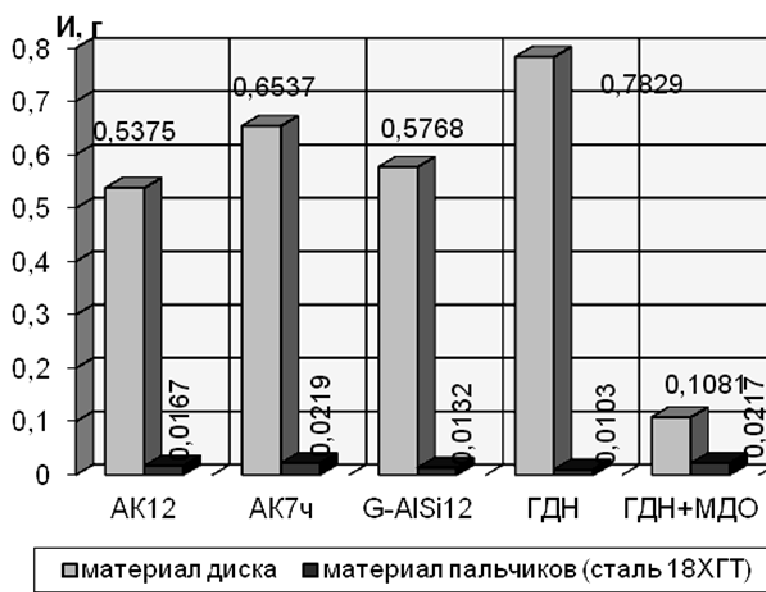


Рис. 2. Значения износа образцов пары трения «диск-пальчики».

Причины высокой износостойкости оксидно-керамических покрытий, следует связывать с их структурным состоянием. Очевидно, что структурные модификации оксида алюминия в покрытиях образуют между собой наиболее прочный тип межмолекулярной связи [1].

*Общие технологические рекомендации.* При «холодном» газодинамическом напылении алюминиевую поверхность детали, подлежащую восстановлению, можно не подвергать абразивно-струйной обработке, так как за счет воздействия высокоскоростного потока твердых частиц, содержащихся в порошковом материале, возможна очистка «мягкой» поверхности от различных технических загрязнений и активация кристаллической решетки материала изделия. Для деталей, изготовленных из железоуглеродистых сталей применение абразивно-струйной обработки, – обязательно.

Напыление алюминийсодержащего порошкового материала А-80-13 рекомендуется проводить с помощью установок для сверхзвукового ГДН серии «ДИМЕТ». За один проход можно наносить слой порошка толщиной 0,05...0,15 мм. При этом прочность сцепления покрытий на алюминиевой основе составит 55...65 МПа, на стальной – 45...50 МПа.

Микродуговое оксидирование рекомендуется осуществлять в электролите типа «КОН- $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ », следующего состава: КОН – 2,9...3,6 г/л,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 4...6 г/л. Для этих же целей, можно также использовать электролит типа «КОН-  $\text{H}_3\text{BO}_3$ » [2]. Плотность тока при МДО должна составлять 15...20 А/дм<sup>2</sup>, продолжительность обработки – не менее 100...120 мин [1]. При этом, толщина упрочненного оксидно-керамического слоя, полученного на напыленной поверхности, составит не менее 0,12...0,16 мм.

Необходимо отметить, что с целью сохранения высоких прочностных характеристик покрытий, полученных ГДН и упрочненных МДО, толщина переходной зоны между основой и упрочненным МДО слоем покрытия, должна быть не менее 70...100 мкм.

В качестве примера на рисунке 3а и 3б представлены наконечник центробежного молочногo насоса и плунжер гомогенизатора, прошедшие все этапы технологического процесса восстановления и упрочнения.

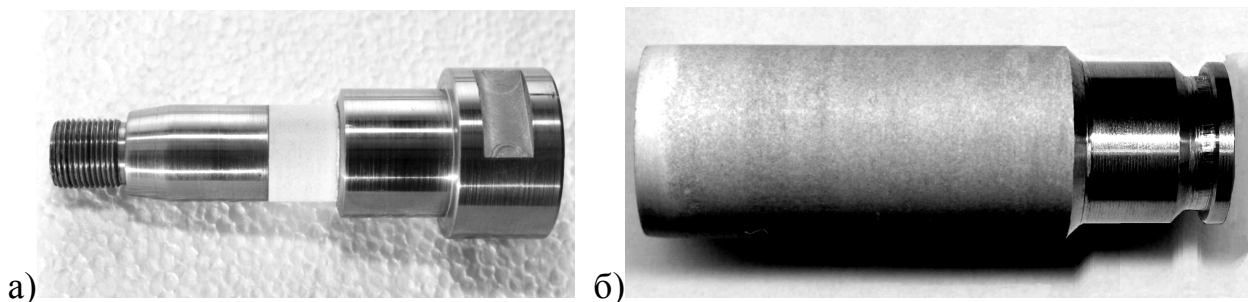


Рис.3. Примеры деталей, восстановленных комбинированным способом: а) наконечник центробежного насоса, б) плунжер гомогенизатора.

**Выводы.** Разработанная комбинированная технология рекомендуется к внедрению на ремонтно-технических предприятиях и цехах, занимающихся восстановлением изношенных деталей. Прогнозируемое увеличение ресурса

восстановленных и упрочненных деталей составляет около 150-200% по отношению к новым деталям.

#### **Список использованных источников**

1. Kuznetsov Y., Kossenko A., Lugovskoy A. Study of Wear Resistance of Plasma Electrolytic Oxidized Coatings on Aluminum Alloys // The Sixth International Conference on Mathematical Modeling and Computer Simulation of Material Technologies MMT-2010. – Ariel University Center of Samaria, Ariel, Israel, 2010. – P. 1-1 – 1-10.
2. Кузнецов, Ю.А. Восстановление деталей из коррозионностойких сталей типа «вал» сверхзвуковым газодинамическим напылением с упрочнением микродуговым оксидированием. Технологический процесс. РТМ 10.281-2005 [Текст] / Ю.А. Кузнецов, А.Н. Батищев, К.В. Кулаков и др. // Руководящий технический материал. – Изд-во Орел ГАУ, 2006. – 14 с.

#### **Анотація**

### **КОМБІНОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ**

**Кузнецов Ю.О., д.т.н., проф.**

*Запропонована нова комбінована технологія відновлення деталей надзвуковим газодинамічним напыленням (ГДН) з подальшим зміцненням микродуговим оксидуванням (МДО), що дозволяє отримувати покриття з високими фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками.*

**Ключові слова:** *надзвукове газодинамічне напылення, микродугове оксидування, покриття, зношування, міцність зчеплення.*

#### **Abstract**

### **COMBINATED TECHNOLOGY OF RESTORATION AND HARDENING OF ELEMENTS**

**Kuznetsov Y.A., doctor of technical sciences, professor**

*The suggested new combined technology of element reconditioning by means of supersonic gas dynamic spraying (GDS) with the following hardening by micro arc oxidizing (MAO) allows to obtain the coatings with high physical and mechanical exploitation qualities.*