

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Ф.Х. Бурумкулов, В.А. Денисов, А.Ю. Костюков, В.И. Иванов,
Р.Н. Задорожний, А.В. Потапов

Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта
и эксплуатации машинно-тракторного парка РАСХН, Россия,
1-й Институтский проезд, д. 1, 109428, г. Москва, tehnoinvest-vip@mail.ru

Введение

В настоящее время около 95% объема ремонта машин приходится на ремонтные мастерские. Поэтому им необходимы универсальные технологии, обеспечивающие восстановление изношенных деталей на уровне не ниже новых изделий. Этим целям в наибольшей степени отвечают методы электроискрового легирования (ЭИЛ) в газовой среде и холодного газодинамического напыления (ХГДН) порошковых материалов, которые успешно применяются для восстановления изношенных поверхностей неподвижных соединений, отверстий нижних и верхних головок шатунов, постелей блоков цилиндров дизельных двигателей и т.п.

В данной работе приводятся результаты экспериментальной оценки прочности покрытий, образованных после ЭИЛ стержневыми электродами, и ХГДН порошков на основе меди, алюминия и цинка при нормальном отрыве и срезе.

Методика и материалы испытаний

Испытания проведены по стандартной методике с применением стандартной оснастки [1, 2].

Испытания на отрыв проводились с использованием стального блока, имеющего сквозные отверстия для шести образцов, и испытываемых стальных образцов в виде штифта с резьбовой головкой (рис. 1).

При подготовке к работе образцы вставляются в блок, и их головки (M14x2) подпираются упорными гайками (M27x3). С другой стороны блока выходящие на поверхность торцы образцов зашлифовываются заподлицо с поверхностью блока. На шлифованную поверхность блока, где на нее выходят торцы образцов, наносится покрытие.

Далее проводятся испытания на отрыв на специальной установке, представленной на рис. 2. Последовательность при этом такова: над испытываемым образцом отворачивается упорная гайка M27x3; на резьбовую часть головки образца M14x2 накидывается гайка испытательного устройства, к которой прикладывается усилие на отрыв, создаваемое испытательным устройством (до 2 кН с точностью нагружения до 0,01 кН). Испытания на отрыв проводятся с каждым штифтом последовательно.

Для испытаний были подготовлены следующие образцы:

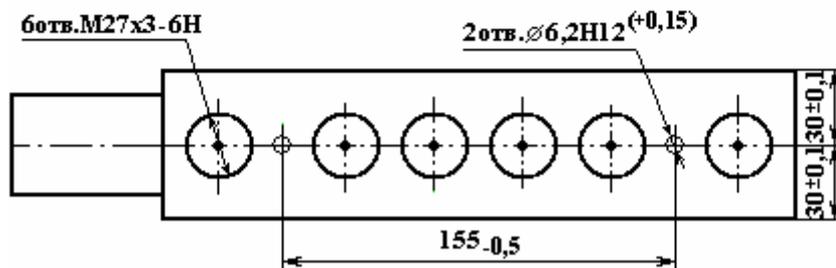
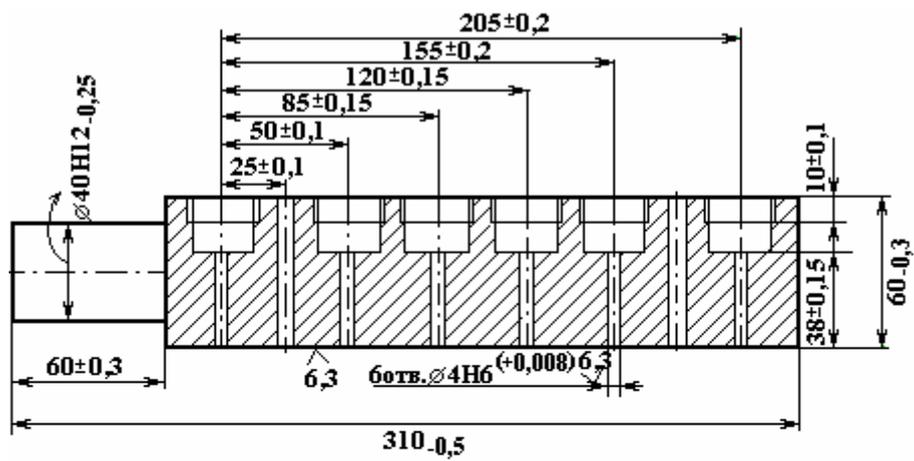
- 30 образцов с покрытием, нанесенным способом ЭИЛ электродом БрКМц3-1 на установке «Вестрон АИ-007»;
- 12 образцов с покрытием, нанесенным способом ХГДН порошком С-01-01 (основной компонент – медь) на установке «ДИМЕТ-405»;
- 12 образцов с покрытием, нанесенным способом ХГДН порошком А-80-13 (основной компонент – алюминий, цинк) на установке «ДИМЕТ-405». После нанесения покрытий их поверхности обрабатывались вручную на абразивном круге до создания плоскости в зоне отрыва;
- 6 образцов с покрытием, нанесенным комбинированием ЭИЛ+ХГДН (С-01-01).

Анализ образцов после испытаний при нормальном нагружении на отрыв показал, что разрушения имели вид чистого отрыва, среза или их комбинацию, то есть характер разрушений был **адгезионный, когезионный или смешанный**.

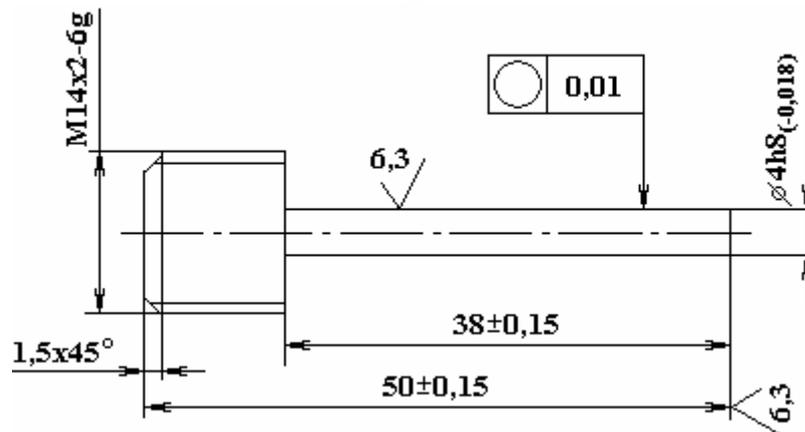
Прочность покрытия при разрушении в виде среза (когезионная) оценивалась по формуле

$$\tau = \frac{P}{\pi dh} \text{ кгс/мм}^2, \quad (1)$$

где P – нагрузка, кгс; d – диаметр штифта, мм; h – толщина покрытия, мм.



a



б

Рис. 1. Комплект для испытаний на отрыв: а – блок; б – образец



Рис. 2. Установка для испытаний на отрыв покрытий

Прочность сцепления покрытия при разрушении в виде нормального отрыва (адгезионная) оценивалась по формуле

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} \text{ кгс/мм}^2. \quad (2)$$

При смешанном разрушении оценивались оба параметра (τ и σ) с учетом площади покрытия, оставшейся после отрыва на торце штифта.

Для испытаний на срез образцы изготавливали из исследуемого материала в виде цилиндра $\varnothing 12$ мм и длиной не менее 30 мм. Покрытие наносили в виде кольцевой полоски посередине образца. Образец продавливали через матрицу. Соединение «образец без покрытия – матрица» образует посадку $\varnothing 12 \frac{H7}{f6}$.

Прочность покрытия при разрушении в виде среза (когезионная) оценивалась по формуле (1).

Для испытаний на срез были подготовлены следующие образцы:

- 27 образцов из стали 45, обработанных ЭИЛ электродами БрКМц3-1+ М1;
- 4 образца из КЧ 35-10, обработанных ЭИЛ электродами БрКМц3-1 + М1;
- 16 образцов из стали 45, обработанных ХГДН порошком А-80-13 (на основе Al+Zn);
- 14 образцов из стали 45, обработанных ХГДН порошком С-01-01 (на основе Cu).

Покрытия ЭИЛ наносились на установке «Вестрон АИ-007».

Параметры обработки: режим 4–4, $U_{\text{разр}}=200$ В, $C=360$ мкф, $f_{\text{имп}}=100$ Гц. Толщина покрытий от 0,3 до 1,1 мм. Покрытия на образцах обтачивались на токарном станке в виде пояска шириной 1,5–2,5 мм.

Покрытия ХГДН наносились на установке «ДИМЕТ-405».

Параметры нанесения: режим подогрева $T=3$, давление $P=7$ атм, режим расхода порошка $Q=3-5$. Толщина покрытий $h=0,6-2,1$ мм. Ширина поясков среза $L=1,7-2,45$ мм.

Результаты испытаний и обсуждение

Анализ поверхности штифтов после испытаний на отрыв в зоне отрыва от покрытия, нанесенного электроискровым способом, с увеличением до 400 раз показал, что отрыв имел смешанный вид при толщинах покрытий до 1,2 мм и адгезионный (чистый отрыв) при покрытиях более 1,2 мм (рис. 3).

При уменьшении толщины электроискрового покрытия от 1,2 до 0,2 мм наблюдалось заметное увеличение адгезионной прочности сцепления – σ , достигающей 9,7 кгс/мм² (рис. 3). При этом прочность на срез покрытия (когезионная) τ уменьшалась до 4 кгс/мм².

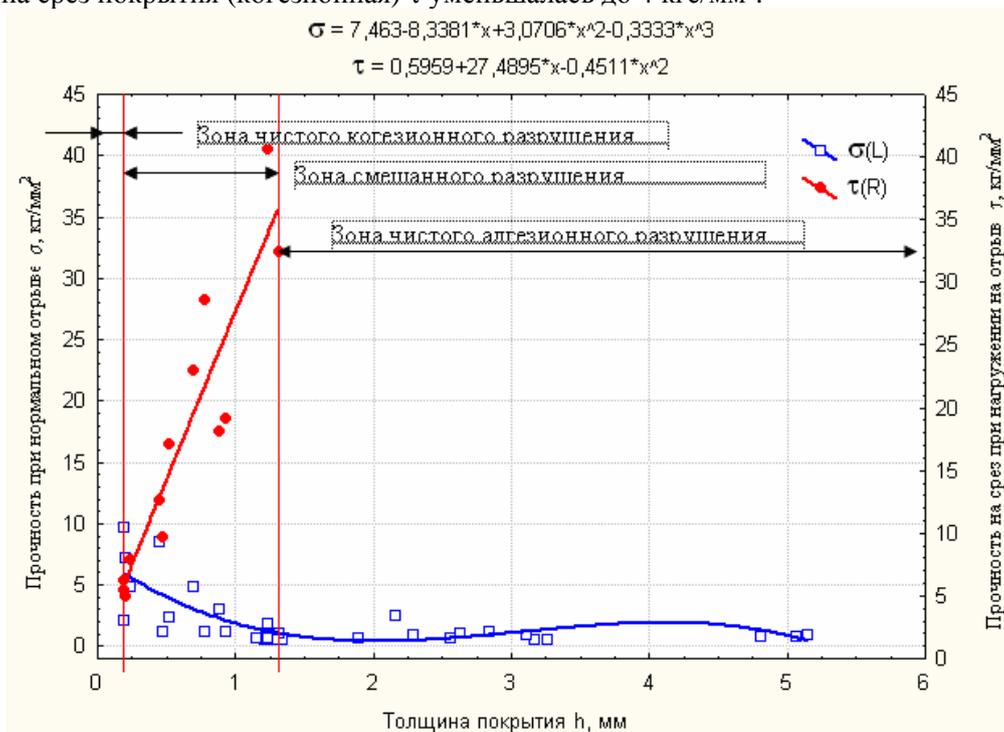


Рис. 3. Зависимость прочности сцепления покрытия, нанесённого на сталь 45 электродом БрКМц3–1, от его толщины

При увеличении толщины покрытия ЭИЛ (более 1,2 мм) значительно возрастает когезионная прочность (более 35 кгс/мм²) и уменьшается до минимума адгезионная прочность (около 0,96 кгс/мм²), что приводит к чистому адгезионному отрыву покрытия (рис. 3).

В работе [3] показано, что прочность сцепления покрытия с основой существенно зависит от материала электрода (рис. 4).

Толщина электроискровых покрытий при испытаниях на срез составляла 0,1–0,15 мм, а в случаях нормального отрыва – 0,3–0,35 мм.

Отмечено, что по сравнению с прочностными характеристиками материалов, используемых в качестве легирующих электродов, значения τ покрытий очень низкие.

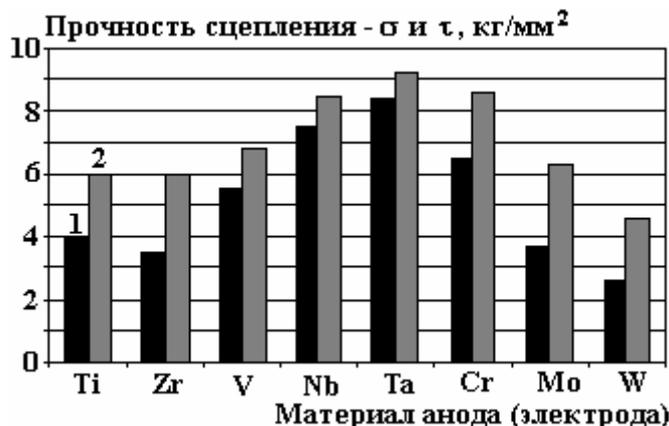


Рис. 4. Прочность на срез (τ) и прочность сцепления на отрыв (σ) слоя ЭИЛ переходными металлами на Ст. 3. 1 – σ ; 2 – τ

Это определяется высокой гетерогенностью структуры покрытия, значительной несплошностью и наличием в нем больших остаточных напряжений. Низкие значения прочности материала покрытия на срез являются причиной того, что при оценке прочности сцепления покрытия с подложкой не всегда удается добиться чисто адгезионного отрыва, чаще отрыв адгезионно-когезионный, как и в случае, описанном на рис. 3. Чисто адгезионный отрыв наблюдается только в тех случаях, когда величина τ имеет очень низкое значение (легирование Ti, Zr, Mo, W). В остальных случаях адгезионный отрыв наблюдается на 2/3 поверхности торца штифта.

Исследование прочности сцепления покрытий, нанесенных способом ХГДН, при нормальном отрыве проводилось на покрытиях толщиной от 0,7 до 1,0 мм.

Анализ поверхности штифтов после испытаний на отрыв покрытий показал, что разрушения имели адгезионный характер.

По результатам испытаний покрытий, образованных ХГДН порошком С-01-01 (на основе Cu) и порошком А-80-13 (на основе Al+Zn), а также комбинации методов ЭИЛ + ХГДН установлены зависимости прочности сцепления от толщины покрытий (рис. 5, 6).

В результате исследований установлено значение оптимальной толщины, обеспечивающей максимальную прочность на отрыв:

$$\sigma_{Cu} = 0,8-0,85 \text{ кгс/мм}^2 \text{ при } h = 0,78-0,86 \text{ мм,}$$

$$\sigma_{Al+Zn} = 1,2-1,3 \text{ кгс/мм}^2 \text{ при } h = 0,75-0,85 \text{ мм.}$$

Анализ поверхности штифтов после испытаний на отрыв покрытий, нанесенных **комбинацией способов ЭИЛ и ХГДН** (С-01-01) на стальную поверхность, показал, что разрушения имеют адгезионный характер, как и в случае испытания покрытий, нанесенных способом ЭИЛ. Средняя прочность комбинированного покрытия ЭИЛ (БрКМц3-1) + ХГДН (порошок С-01-01) (образцы 10,1–10,6) на сталь 45 (улучшенную) при нормальном отрыве составила:

$$\sigma_{\text{ЭИЛ+ХГДН}} = 0,72 \text{ кгс/мм}^2 \text{ при } S=0,2 \text{ кгс/мм}^2.$$

Обобщенные результаты испытаний на срез покрытий ЭИЛ и ХГДН представлены на рис. 7 [4–5].

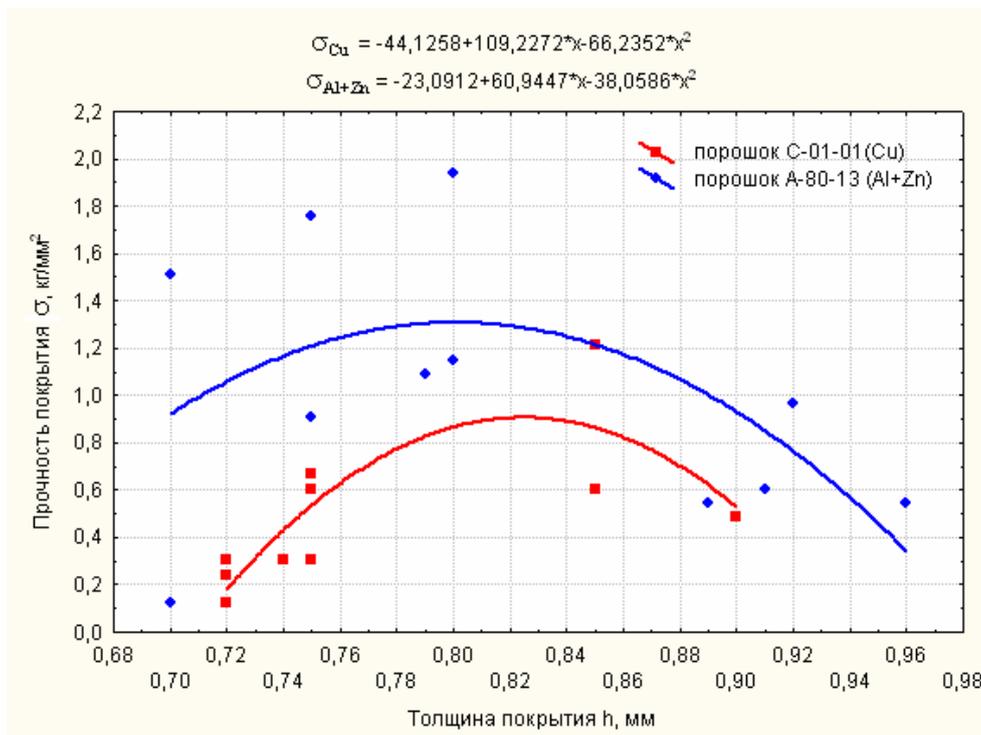


Рис. 5. Зависимость прочности сцепления покрытия при нормальном отрыве от толщины покрытия ХГДН порошками С-01-01 и А-80-13, нанесенными на сталь 45

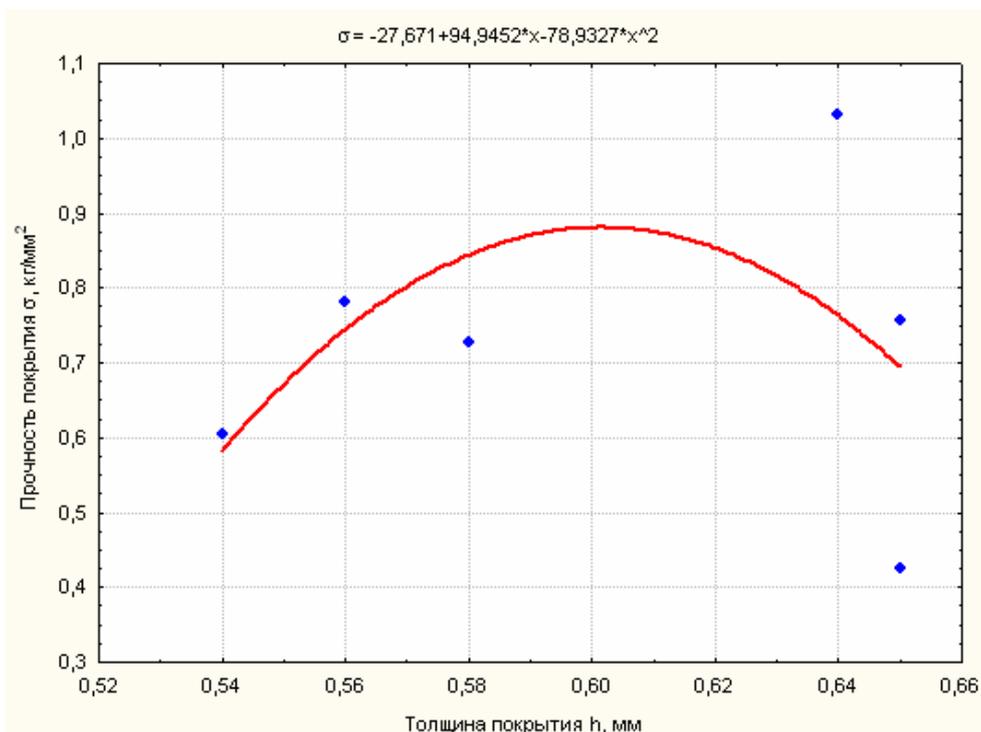


Рис. 6. Зависимость прочности сцепления покрытия при нормальном отрыве от толщины комбинированного покрытия после ЭИЛ электродом БрКМц3-1 + ХГДН порошком С-01-01, нанесенным на сталь 45

Прочность сцепления покрытий ХГДН со стальной подложкой при испытаниях на срез (когезионная прочность τ) сопоставима или меньше прочности сцепления ряда покрытий ЭИЛ (БрКМц3-1+М1, У10, 13Х25Н18, Х20Н80) (рис. 7). Однако адгезионная прочность σ при испытаниях на отрыв для покрытий ХГДН значительно меньше (от 3 до 10 раз), чем для покрытий ЭИЛ. При этом максимальные прочностные характеристики для покрытий ЭИЛ соответствуют толщинам 0,1–0,3 мм, а для покрытий ХГДН – 0,75–0,85 мм.

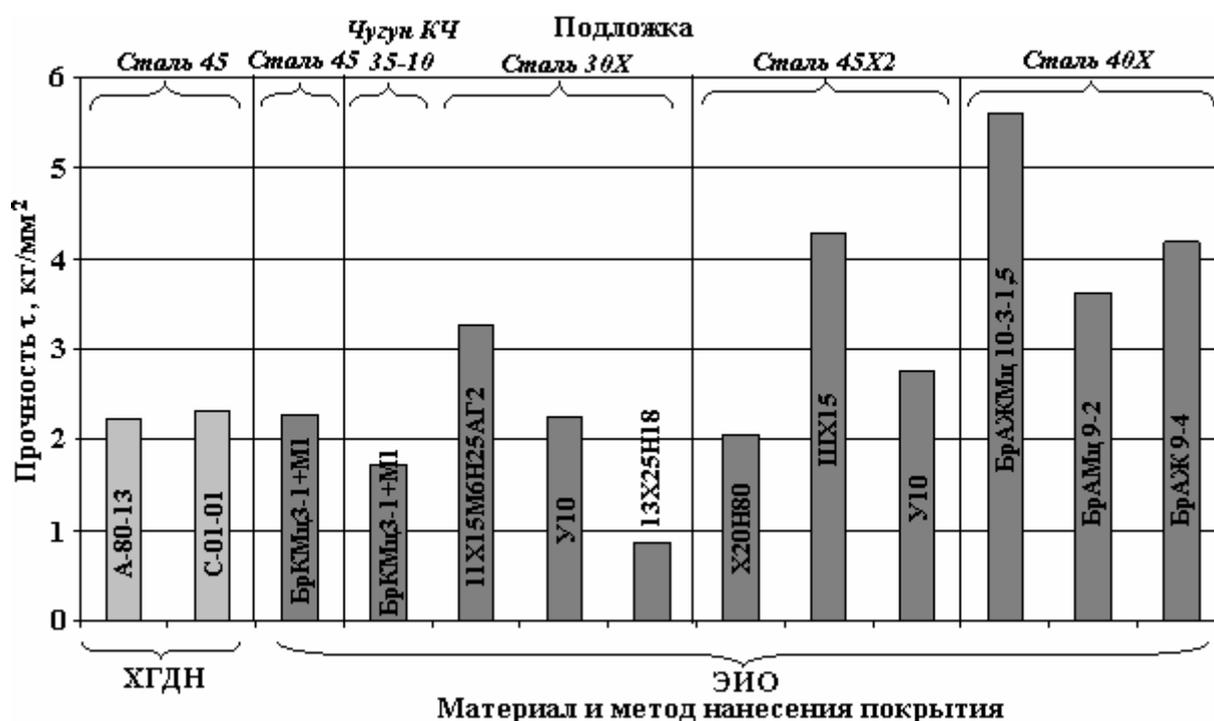


Рис. 7. Прочность покрытий при испытаниях на срез

Таким образом, для создания прочных покрытий толщиной более 1 мм целесообразно использовать комбинированный метод нанесения покрытий – ЭИО+ХГДН, где первый электроискровой слой покрытия обеспечит хорошую адгезионную прочность и высокую несущую способность, а второй слой покрытия методом ХГДН создаст необходимую толщину и плотность покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. МР 250-87. *Определение прочности сцепления газотермических покрытий с основным металлом.* М.: ВНИИНМАШ, 1987. 17 с.
2. РД 10.003-2009. *Геометрические параметры и физико-механические свойства поверхностей, образованных при электроискровой обработке материалов в газовой среде.* М.: ГОСНИТИ, 2009. с. 62.
3. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. *Электроискровое легирование металлических поверхностей.* Киев: Наукова думка, 1976. с. 344.
4. Власов М.В. *Повышение долговечности пластинчатых гидронасосов восстановлением изношенных рабочих поверхностей методом электроискровой обработки (на примере пластинчатого гидронасоса 5320 системы ГУР автомобилей семейства КамАЗ).* Автореферат дис. на соиск. ученой степени к.т.н. Саранск, 2003.
5. Раков Н.В. *Технология и средства восстановления деталей гидрораспределителей с плоскими золотниками методом электроискровой обработки (на примере гидрораспределителя Р12 П).* Автореферат дис. на соиск. ученой степени к.т.н. Саранск, 2003.

Поступила 20.09.10
После доработки 10.01.11

Summary

The results of tests on the strength of the normal separation of coatings deposited on 45 steel processing method of spark electrode БрКМц3-1 and the method of gas dynamic spraying of powders based on copper and aluminum.