

# Формирование толстослойных электроискровых покрытий для восстановления изношенных деталей силовых гидроцилиндров

\* С. А. Величко<sup>a,b</sup>, П. В. Сенин<sup>a</sup>, \*\* В. И. Иванов<sup>a,b</sup>, П. В. Чумаков<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева» (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева»),

ул. Большевикская, д. 68, г. Саранск, 430005, Россия, \*e-mail: [Velichko2005@yandex.ru](mailto:Velichko2005@yandex.ru)

<sup>b</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ФГБНУ ГОСНИТИ), 1-Институтский проезд, дом 1, г. Москва, 109428, Россия, \*\*e-mail: [tehnoinvest-vip@mail.ru](mailto:tehnoinvest-vip@mail.ru)

Рассмотрено применение нового способа формирования толстослойных покрытий методом электроискрового легирования при восстановлении изношенных деталей, работающих в условиях трения скольжения, на примере силовых гидроцилиндров; для практического использования значительно расширены технологические возможности метода, обеспечено преодоление размерного барьера при нанесении покрытий, обладающих высокой контактной сплошностью.

*Ключевые слова:* электроискровое легирование, установка, энергетический режим, электрическая эрозия, толщина покрытия, контактная сплошность, оплавление, топография, износ, дефект, силовой гидроцилиндр.

УДК 621.9.048.4

## ВВЕДЕНИЕ

В числе методов нанесения металлических покрытий на токопроводящие материалы определенное место занимает электроискровое легирование (ЭИЛ). Метод отличается высокой эффективностью и успешно применяется при нанесении функциональных покрытий в машиностроительном производстве и при восстановлении размеров изношенных деталей на ремонтных предприятиях. Однако ограниченная толщина наносимых покрытий и невысокая контактная сплошность служат препятствием широкому использованию данного метода.

Анализ отечественной и зарубежной технической литературы свидетельствует, что исследования ученых и специалистов направлены преимущественно на создание новых электродных материалов для ЭИЛ, исследования структуры и свойств покрытий [1–7], но весьма ограничены сведения о прикладных технологиях применения ЭИЛ, что весьма актуально в современных условиях. Говоря об использовании метода ЭИЛ в ремонтных целях, отметим, что до сих пор остается проблемой восстановление рабочих поверхностей деталей, работающих в условиях трения скольжения с износами от 0,2 мм и выше. Также не решена задача экономичного устранения локальных дефектов на рабочих поверхностях деталей.

Предложено использовать новое технологическое решение [8], позволяющее наносить толстослойные электроискровые покрытия с повышенной контактной сплошностью, основанное на анализе известных публикаций о причинах ограниченной толщины электроискровых покрытий [9] и способах увеличения их толщины [10], а также результатов собственных экспериментальных исследований.

Ученые Мордовского госуниверситета им. Н.П. Огарева и Всероссийского НИИ ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка развивают метод ЭИЛ и совершенствуют ремонтные технологии, в том числе применительно к агрегатам гидравлических систем [11]. Исполнительным звеном гидросистем является гидроцилиндр, потеря работоспособности которого приводит к снижению КПД всей гидросистемы. Ремонт гидроцилиндров осуществляется на специализированных предприятиях, и в 90% случаев детали, имеющие дефекты и износы на рабочих поверхностях, подлежат выбраковке.

На основе результатов исследования технического состояния силовых гидроцилиндров, бывших в эксплуатации, установлено, что среднее значение износа отверстия передней крышки штокового уплотнительного узла составляет 220 мкм, а среднее значение глубины локальных дефектов на поверхности штока – 76 мкм [12].

С учетом повышенных требований к качеству рабочих поверхностей отверстия передней крышки и штока необходимая толщина покрытия должна включать величину припуска на последующую механическую обработку, которая составляет 30–50% от нанесенного электроискрового покрытия [13]. Следовательно, на поверхность отверстия передней крышки необходимо нанести слой толщиной не менее 330 мкм, а на локальные дефектные участки штока – не менее 120 мкм.

Цель работы – экспериментальным путем определить наиболее производительный энергетический режим установки и минимальное время обработки единицы площади, позволяющие формировать покрытия, функционально пригодные для восстановления деталей с величиной износов и глубиной дефектов более 0,2 мм.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Требуемая толщина покрытий  $h_{сп}$ , функционально пригодных для восстановления размеров и удаления локальных дефектов на рабочих поверхностях деталей, обеспечивается выполнением необходимого количества циклов «нанесение – оплавление» (рис. 1).

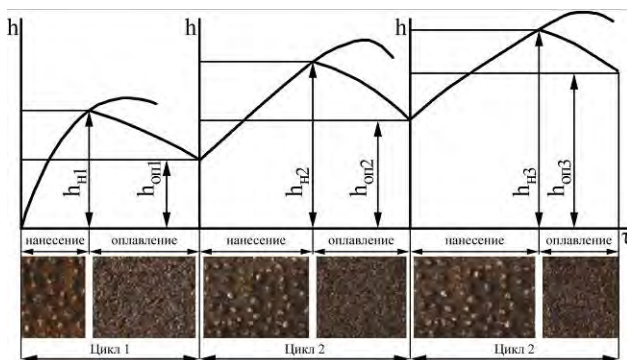


Рис. 1. Циклы формирования толстослойных электроискровых покрытий повышенной сплошности.

В результате выполнения первой операции цикла – «нанесение» – происходит формирование «бугристого» покрытия высотой  $h_n$  с неровностями рельефа поверхности значительных размеров, присущих данной паре материалов катода и анода при обработке в жестких энергетических режимах применяемой установки.

При нанесении первого слоя предпочтение отдается применению электродных материалов (анод) либо создающих с материалом основы (катод) неограниченные твердые растворы, либо обладающих пониженной склонностью к окислообразованию, либо обладающих этими двумя качествами. Максимальная высота микронеровностей образованного покрытия может достигать 1 мм и более. Подбором электродного материала также обеспечивается придание поверхностному

слою требуемых физико-механических и триботехнических свойств.

В зависимости от требований к толщине и контактной сплошности покрытия осадка неровностей первого слоя выполняется оплавлением на 50–80% его толщины. Основные требования к материалу электрода для выполнения операции оплавления методом ЭИЛ, обеспечивающие эффективность обработки и минимальное влияние на химический состав формируемого покрытия, – это высокие теплопроводность и электроэрозионная стойкость. Исходя из этого, наиболее эффективны для оплавления бугристых покрытий электроды из меди, вольфрама или молибдена.

При недостаточной толщине сформированного покрытия число циклов «нанесение – оплавление» повторяется  $n$  раз. В общем случае толщина покрытия с повышенной сплошностью  $h_{сп}$  определяется согласно равенству:

$$h_{сп} = n(h_n - h_{оп}), \quad (1)$$

где  $h_n$  – толщина «бугристого» покрытия, мм;  $h_{оп}$  – толщина покрытия после оплавления, мм;  $h_{оп} = (0,5–0,8) \cdot h_n$ .

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены с использованием установки «БИГ-4» ТУ 3312-001-02069964-2012, имеющей в управлении 35 электрических режимов. Номер режима установки позволяет изменять энергию электрического импульса  $E$  (Дж) и частоту импульсов  $f$  (Гц).

В качестве образцов использовали сегменты, вырезанные из серого чугуна марки СЧ21, с площадью вогнутой поверхности, равной 6 см<sup>2</sup>, и радиусом кривизны – 15 мм. Толщину покрытий измеряли микрокатером с точностью измерения 10 мкм. Контактную сплошность покрытий определяли с использованием профилографа-профилометра «Form Talysurf» английской фирмы «Тейлор Хобсон».

Для сформированных покрытий проводили оценку прочности сцепления металлопокрытия с основным металлом. Для этого цилиндрический образец из исследуемого материала с нанесенным на него в виде кольцевого пояса покрытием продавливается через матрицу. При этом под действием касательных напряжений происходит отслаивание покрытия, а напряжение сдвига характеризует прочность сцепления.

В соответствии со схемой испытаний (рис. 2а) образец 1 (рис. 2б) устанавливали в матрицу 2, а матрицу – в корпус 3. Матрицу изготавливали из инструментальной стали твердостью не менее HRC 52–54, корпус – из стали 45 твердостью не менее HRC 48–50.

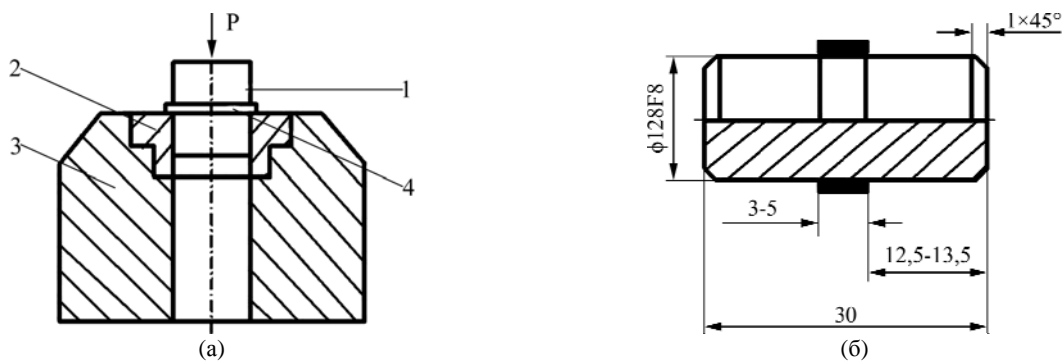


Рис. 2. Схема испытания (а) образцов (б) на прочность сцепления при сдвиге: 1 – образец; 2 – матрица; 3 – корпус; 4 – слой металлопокрытия.

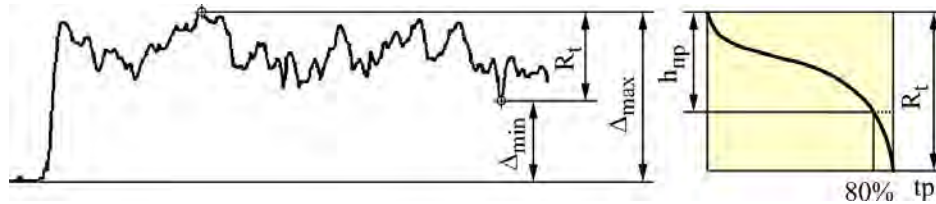


Рис. 3. Параметры микропрофиля поверхности образца: (а) – микропрофиль поверхности; (б) – относительная опорная длина профиля.

Испытания проводились на универсальной испытательной машине Inspekt 50кН-250 кН *Hegewald & Peschke*, обеспечивающей нагружение с заданной постоянной скоростью перемещения штока и измерение нагрузки с погрешностью не более 0,25%.

В процессе испытания фиксируется максимальная нагрузка, предшествующая сдвигу пояска (слоя металлопокрытия). Каждый вариант покрытия испытывался на семи образцах.

С поверхности образцов снимали микропрофиль, затем полученные данные обрабатывали в программе «*Talysurf Control*», которая позволяет определить максимальное расстояние пик-впадин профиля ( $R_t$ ) в пределах длины оценки, мкм; расстояние от средней линии необработанной поверхности до максимальной впадины обработанной поверхности ( $\Delta_{min}$ ), мкм; расстояние от средней линии необработанной поверхности до максимального выступа обработанной поверхности ( $\Delta_{max}$ ), мкм (рис. 3а). Работа с кривой относительной опорной длины профиля в программе «*Talysurf Gold*» (рис. 3б) позволяет определить искомую величину припуска ( $h_{пр}$ ) как расстояние от верхней точки кривой до точки, соответствующей длине заданной опорной поверхности профиля, не менее 80%.

Для оценки качества поверхности после механической обработки использовали устройство для измерения и анализа параметров топографии поверхности *Form Talysurf120*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для восстановления изношенных поверхностей деталей силовых гидроцилиндров с изно-

сами более 200 мкм на сторону и устранения локальных дефектов на поверхности штоков проведены исследования по формированию толстослойных электроискровых покрытий повышенной сплошности.

Электродный материал для нанесения первого слоя покрытия выбирали из бронзы марок БрКМц3-1, БрАЖМц10-3-1,5 и БрАМц9-2 (химический состав по ГОСТ 18175-78, проволока  $\varnothing 3-4$  мм), применяемых для нанесения электроискровым методом антифрикционных покрытий.

Из среднего диапазона мощности режимов установки «БИГ-4», позволяющих формировать «бугристые» покрытия без образования сплошного тонкого слоя, предварительно выбрано значение, равное 153,7 ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 252$  Гц). На этой мощности режимов для выбранных исследуемых электродных материалов строили зависимость толщины «бугристых» покрытий от времени ЭИЛ.

Исследования склонности к переносу электродных материалов из бронзы марок БрАМц9-2, БрКМц3-1 и БрАЖМц10-3-1,5 показали, что максимальная толщина покрытий электродом из бронзы БрАМц9-2 достигает 800 мкм за удельное время обработки 35 с/см<sup>2</sup>. За это же время обработки толщина покрытия из бронзы БрАЖМц10-3-1,5 составила 1230 мкм, а толщина покрытия электродом из бронзы БрКМц3-1 – 1510 мкм. При этом максимальное значение толщины покрытия, нанесенного электродом из бронзы БрАЖМц10-3-1,5, составляет 1300 мкм за 41 с/см<sup>2</sup>, а электродом из бронзы БрКМц3-1 – 1760 мкм за 46 с/см<sup>2</sup> (рис. 4).

Таким образом, результаты исследования кинетики изменения толщины покрытия и скоро-

сти обработки (производительности) показали, что исследуемые электродные материалы позволяют наносить «бугристые» покрытия, это дает возможность использовать их для формирования «бугристого» покрытия. Преимуществом здесь обладает электродный материал из бронзы БрКМц3-1, который использован для дальнейших исследований.

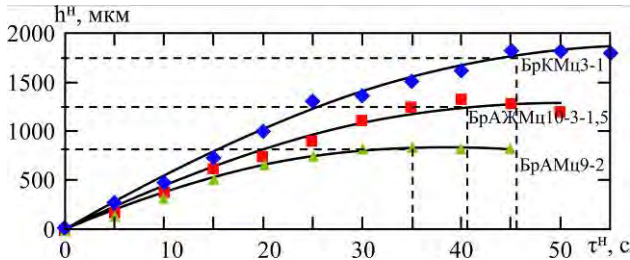


Рис. 4. График зависимости толщины покрытий при различном времени нанесения для электродных материалов из бронзы (мощность режима 153,7 ВА).

В зависимости от выбранного материала электрода на первом этапе определяли диапазон мощности режимов, на которых происходит образование «бугристых» покрытий. Выбор рационального значения мощности режима при формировании «бугристых» покрытий электродом из бронзы БрКМц3-1 осуществлялся согласно зависимости толщины покрытий от мощности, представленной в порядке увеличения (рис. 5). Удельное время обработки составляло 15 с/см<sup>2</sup>. Из представленной зависимости видно, что максимальная толщина покрытия на поверхности чугунного образца СЧ21 достигает 550 мкм при мощности режима  $W = 205$  ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 336$  Гц). При дальнейшем увеличении мощности режима толщина «бугристых» покрытий снижается.

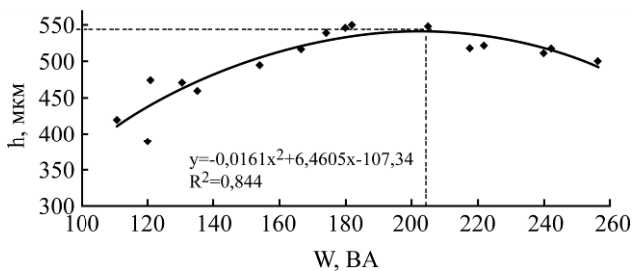


Рис. 5. График зависимости толщины «бугристых» покрытий БрКМц3-1 на чугуне СЧ21 от мощности режимов.

Для определения рационального времени нанесения «бугристых» покрытий БрКМц3-1 экспериментальным путем получена кинетика формирования покрытий в режиме с мощностью  $W = 205$  ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 336$  Гц). Время обработки увеличивали через 5 с до тех пор, пока толщина «бугристой» поверхности не переставала расти (рис. 6).

Данная кинетическая зависимость формирования толщины «бугристых» покрытий показы-

вает, что с увеличением времени обработки 1 см<sup>2</sup> от 10 до 50 с толщина слоя возрастает до 1850 мкм, дальнейшее его увеличение не способствует росту толщины покрытия.

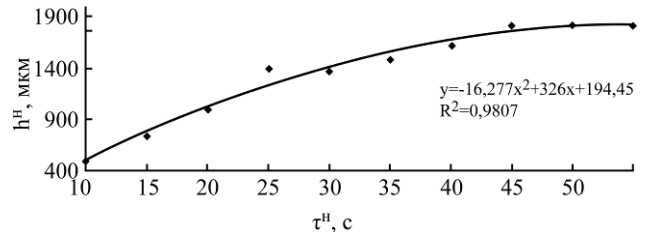


Рис. 6. Кинетическая зависимость толщины «бугристых» покрытий от времени нанесения в режиме с мощностью 205 ВА.

На следующем этапе экспериментальных работ полученные «бугристые» покрытия в режиме с мощностью  $W = 205$  ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 336$  Гц) при разном времени обработки подвергли оплавлению эрозионно-стойким электродом из меди М01 Ø3 мм до полного выравнивания поверхности в режиме с мощностью  $W = 153,72$  ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 252$  Гц). Мощность режима оплавления выбрали предварительно из диапазона 81–217 ВА, позволяющего оплавлять «бугристые» покрытия эрозионно-стойкими электродами до формирования на поверхности контактной сплошности не менее 60–80% [8]. Критерием выбора рациональной мощности режима оплавления является минимальное время, необходимое для оплавления бугров на поверхности образца площадью 1 см<sup>2</sup> до достижения контактной сплошности не менее 80%. После операции оплавления толщина нанесенного слоя снижалась на 50–70%. Полученная зависимость толщины оставшейся части покрытий, нанесенных при различном времени ЭИЛ, представлена на рис. 7.

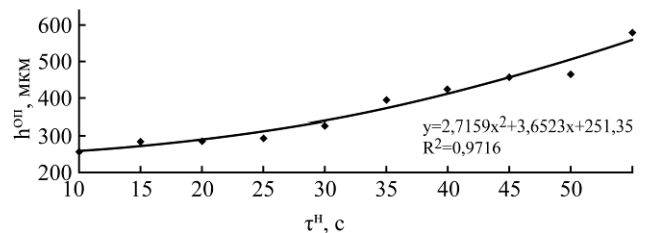


Рис. 7. Толщина оставшейся после оплавления части «бугристых» покрытий.

Полученные результаты явились основанием для определения рациональных значений толщины покрытий с оплавлением ( $h^H$  и  $h^{on}$ ) (рис. 8) и времени их нанесения ( $\tau^H$  и  $\tau^{on}$ ) (рис. 8 и 9) применительно к восстановлению деталей штокового узла в режимах с мощностями  $W = 205$  ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 336$  Гц) («нанесение») и  $W = 153,72$  ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 252$  Гц) («оплавление»).

Для исследуемых образцов, полученных при рациональном значении мощности режима с раз-

личным временем обработки  $\tau^H$ , определяли толщину покрытия  $h^{оп}$  после оплавления и строили зависимость (рис. 8).

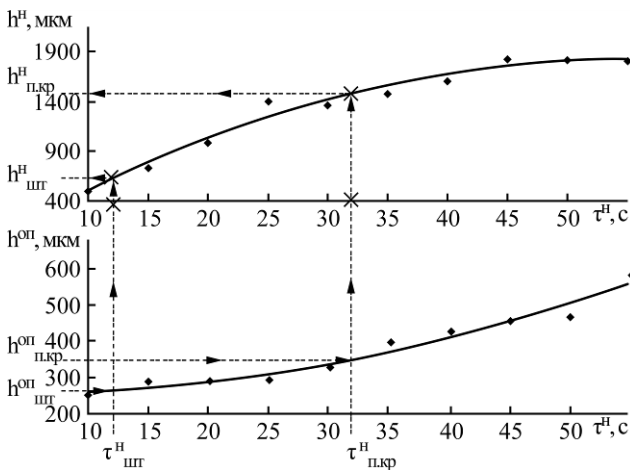


Рис. 8. Номограмма для определения требуемой толщины покрытий для восстановления деталей штокового узла.

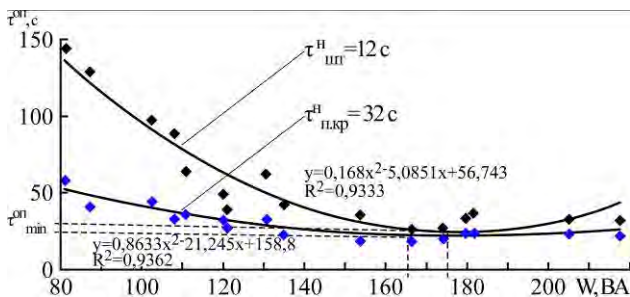


Рис. 9. Зависимость времени оплавления «бугристых» покрытий от мощности режимов.

Согласно номограмме (рис. 8), например, для восстановления отверстия передней крышки с получением толщины нанесенного слоя после оплавления 350 мкм (с учетом припуска на механическую обработку) (нижняя часть рисунка) требуется нанести «бугристое» покрытие толщиной 1450–1500 мкм (верхняя часть рисунка).

Рациональные значения времени нанесения «бугристых» покрытий  $\tau^H$  при восстановлении деталей штокового узла в зависимости от необходимой толщины покрытия  $h^{оп}$  выбраны по номограмме, представленной на рис. 8, и приведены в таблице.

Отметим, что операция оплавления выполнялась в режиме с мощностью  $W = 153,72$  ВА ( $E = 0,61$  Дж,  $f = 252$  Гц). С целью выбора по критерию минимального времени  $\tau_{min}^{оп}$  рациональных энергетических режимов оплавления «бугристых» покрытий для указанных деталей получены экспериментальные зависимости времени оплавления  $\tau^{оп}$  от мощности режимов  $W$  ЭИЛ (рис. 9).

Видно, что область минимальных удельных значений времени оплавления для данных покрытий находится в пределах 25–35 с/см<sup>2</sup>, и это реализуется применением режимов с мощностью

$W = 166$  ВА ( $E = 1,26$  Дж,  $f = 132$  Гц) и  $W = 174$  ВА ( $E = 0,29$  Дж,  $f = 600$  Гц).

Для исследования прочности сцепления металлопокрытия с основным металлом введен параметр  $\mu$ , косвенно характеризующий качество толстослойных покрытий по критерию сплошности:

$$\mu = \frac{C_n}{h_n}, \quad (2)$$

где  $C_n$  – сплошность нанесенного покрытия, %;  $h_n$  – толщина покрытия, мкм.

Для исследования применяли четыре группы образцов. На образцы первой группы наносили бугристые покрытия из бронзы БрКМц3-1 без оплавления ( $\mu = 0,01$ ). На образцы второй группы наносили ту же бронзу, но частично подвергали оплавлению электродом из меди М01 до получения сплошности 50% ( $\mu = 0,05$ ). Образцы третьей группы формировались нанесением толстослойных электроискровых покрытий из бронзы БрКМц3-1 в рациональных режимах с полным оплавлением электродом из меди М01 до получения сплошности не менее 80% ( $\mu = 0,23$ ). Ширина пояска покрытий 3–5 мм. Для исследования когезионной прочности основного материала (СЧ21) поясок на образцах изготавливался заодно с самими образцами из чугуна СЧ21.

Предел прочности сцепления покрытия с основным металлом при сдвиге определяли по формуле:

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h}, \quad \text{МПа}, \quad (3)$$

где  $P$  – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению покрытия, Н;  $h$  – ширина пояска, мм;  $D$  – диаметр образца, мм.

На рис. 10 представлена диаграмма средних значений адгезионной прочности покрытий и когезионной прочности основного материала – серого чугуна СЧ21.

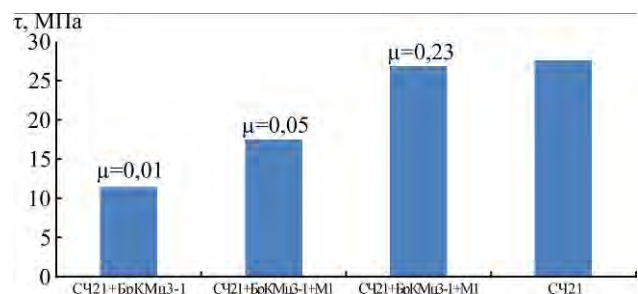


Рис. 10. Адгезионная прочность бугристых (СЧ21+БрКМц3-1), толстослойных (СЧ21 БрКМц3-1+М1) покрытий на чугуне СЧ21 и когезионная прочность серого чугуна (СЧ21).

Результаты, представленные на рис. 10, показывают, что адгезионная прочность сцепления толстослойных покрытий повышается с увеличе-

## Рациональные режимы формирования электроискровых покрытий на деталях гидроцилиндров

Операция ЭИЛ	Материал электрода	Площадь поперечного сечения электрода, мм <sup>2</sup>	Мощность режима W, ВА	Управляемые параметры установки «БИГ-4»		Удельное время обработки <sup>2</sup> , τ, с/см <sup>2</sup>
				режим/энергия импульсов, Дж	частота импульсов, Гц	
<i>Устранение дефектов на поверхности штоков</i>						
Нанесение «бугристых» покрытий	Бронза БрКМц 3-1	7	205	4/0,61	336	12
Оплавление покрытий	Медь М01	7	174	3/0,29	600	30
<i>Восстановление отверстия передних крышек</i>						
Нанесение «бугристых» покрытий	Бронза БрКМц 3-1	7	205	4/0,61	336	32
Оплавление покрытий	Медь М01	7	166	5/1,26	132	21

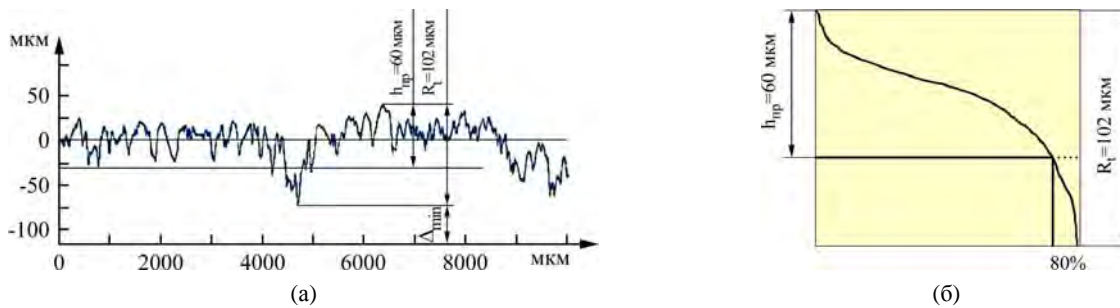


Рис.11. Профилограмма (а) и кривая опорной поверхности (б) покрытия после операции оплавления.

нием коэффициента  $\mu$ , и у покрытий со сплошностью 80% ( $\mu = 0,23$ ) почти в 2 раза выше адгезионная прочность бугристых покрытий ( $\mu = 0,01$ ), при этом близка по значению к когезионной прочности серого чугуна СЧ21.

Полученные экспериментальные результаты использованы для восстановления изношенных поверхностей деталей гидроцилиндров и представлены в таблице. При этом установлено, что для устранения дефектов на поверхности штока и восстановления отверстия передней крышки достаточно формирования покрытий за один цикл операций нанесения и оплавления.

Исследованиям топографии подлежали покрытия, сформированные на указанных в таблице режимах. Их толщина 260–280 мкм – для устранения дефектов на штоках и 350–360 мкм – для восстановления отверстия передних крышек. Текстура толстослойных электроискровых покрытий имеет неровности, равномерно распределенные по всей поверхности. Средний разброс между верхней и нижней точками неровностей после оплавления составляет 102 мкм (рис. 11а).

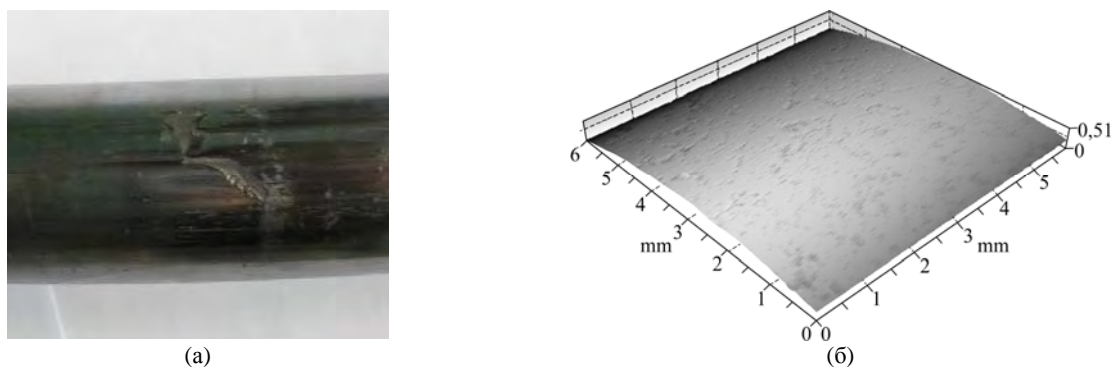
При условии, что площадь опорной поверхности для пар трения гидроагрегатов должна быть не менее 80%, величину припуска под последую-

ющую механическую обработку определили по зависимости, представленной на рис. 11б; припуск должен составлять не менее  $h_{пр} = 60$  мкм.

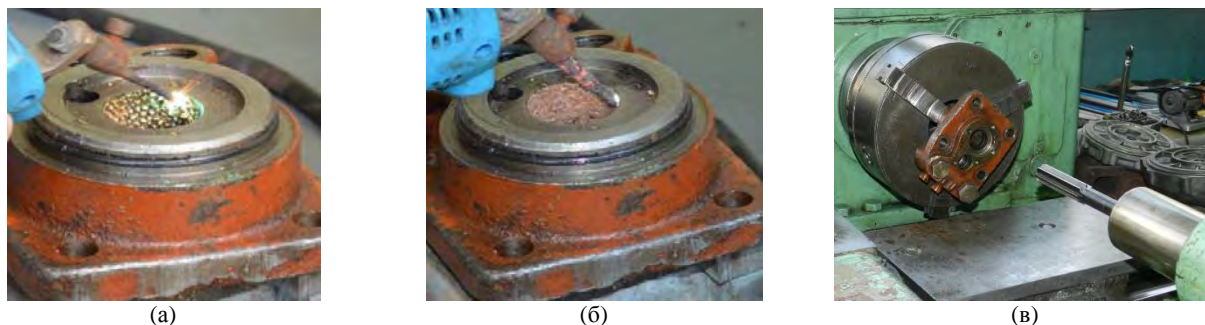
На рис. 12а представлено фото рабочей поверхности штока, имеющей дефект в виде механического повреждения. Топография восстановленной поверхности штока после механической обработки по описанной выше технологии приведена на рис. 12б. Видно, что после механической обработки покрытие представляет собой гладкую поверхность с замкнутыми объемами впадин (рис. 12б).

В данном случае у толстослойных электроискровых покрытий с величиной опорной поверхности 80% на площади 33 мм<sup>2</sup> объем впадин равен  $V = 2,7 \cdot 10^{-5}$  мм<sup>3</sup> (рис. 12б), что позволяет такие покрытия использовать в подвижных узлах уплотнительных систем. К тому же эти покрытия с помощью «масляных карманов» способны удерживать на рабочей поверхности определенный объем масла, который не полностью удаляется при контактировании с кромкой уплотнительного элемента и благоприятно влияет на триботехнические свойства пар трения.

На рис. 13 представлены переходы технологического процесса восстановления изношенной передней крышки силового гидроцилиндра. Из



**Рис. 12.** Рабочая поверхность штока: (а) – фото дефектного участка штока до восстановления; (б) – топография восстановленной поверхности после механической обработки.



**Рис. 13.** Технологические переходы восстановления отверстия передней крышки: (а) – нанесение первого «бугристого» слоя; (б) – оплавление «бугристого» слоя; (в) – механическая обработка поверхности.

рисунка видно, что формирование толстослойных электроискровых покрытий с повышенной контактной сплошностью и требуемыми эксплуатационными свойствами осуществляется здесь в три этапа: 1) нанесение «бугристого» покрытия (рис. 13а); 2) его оплавление (рис. 13б) и 3) последующее разворачивание восстановленного отверстия (рис. 13в).

В данной статье не приводятся результаты проведенных металловедческих исследований описанных покрытий, их механических и ресурсных испытаний, что становится предметом отдельной публикации.

Полученные знания и накопленный практический опыт используются для восстановления изношенных поверхностей деталей гидроцилиндров и различной техники, длительная эксплуатация которых свидетельствует о хорошем техническом уровне разработки. Так, по данным ООО «Агросервис», в течение одного года с применением технического решения, согласно [8], восстановлено значительное количество ответственных деталей отечественной и зарубежной техники, в том числе более 100 деталей силовых гидроцилиндров, а также шлицевые валы и головки блоков цилиндров двигателей. Указанное технологическое решение по формированию толстослойных покрытий повышенной сплошности обладает существенным потенциалом и рекомендуется при решении технических задач, в первую очередь ремонтного производства.

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны эффективные приемы восстановления изношенных деталей пар трения силовых гидроцилиндров с износами и локальными дефектами глубиной более 300 мкм.
2. Установлено преимущество бронзы БрКМц3-1 при нанесении «бугристых» покрытий.
3. Определены: диапазон рациональных электрических режимов ЭИЛ с энергией импульсов 0,6–1,3 Дж и частотой их следования 250 Гц и удельное время ЭИЛ – 42–53 с/см<sup>2</sup>.
4. Показано, что применение нового технологического приема позволило значительно расширить возможности ЭИЛ, обеспечив преодоление ограничения толщины формируемых покрытий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kurbatkin I. I., Kudryashov A. E. *J of Friction and Wear*. 2011, **32**(6), 437–441.
2. Shtansky D.V., Batenina I.V., Yadroitcev I.A., Ryashin N.S. et al. *Surf Coat Technol.* 2012, **208**, 14–23.
3. Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А., Панашенко В.М., Коневцов Л.А. *Электроискровое легирование титана и его сплавов металлами и композиционными материалами*. Под ред. А.А. Буренина. Комсомольск-на-Амуре: ИмиМ ДВО РАН, 2014. 320 с.
4. Verbitchi V., Ciuca C., Cojocar R. *Nonconventional Technologies Review*. 2011, (1), 62–67.

5. Depczyński Wojciech, Radek Norbert. *Proceedings "Metal-2013"*. 15–17.05.2013, Brno, Czech Republic, EU. P. 1045–1050.
6. Коротаев Д.Н. *Технологические возможности формирования износостойких наноструктур электроискровым легированием*. Омск : СибАДИ, 2009. 255 с.
7. Химухин С.Н., Ри Хосен, Верхотуров А.Д., Ри Э.Х. *Формирование структуры слоя на металлах и сплавах при электроискровой обработке*. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. 240 с.
8. Иванов В.И., Бурумкулов Ф.Х., Денисов В.А. *Электроискровой способ нанесения толсто-слойных покрытий повышенной сплошности*. Евразийская патентная организация пат. 017066, 2011. МПК В23Н9/00, С23С8/00. 4 с.
9. Иванов В.И. *Труды ГОСНИТИ*. 2013, **113**, 429–434.
10. Иванов В.И. *Труды ГОСНИТИ*. 2013, **113**, 450–456.
11. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В., Иванов В.И. и др. *Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика)*. Саранск: Красный Октябрь, 2003. 504 с.
12. Чумаков П.В. *Технология ремонта силовых гидrocилиндров сельскохозяйственной техники электроискровым методом*. Автореф. дис. канд. техн. наук. Саранск. 2013. 19 с.
13. Бурумкулов Ф.Х., Лялякин В.П., Пушкин И.А., Фролов С.Н. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2001, (4), 23–28.

*Поступила 14.07.14*

*После доработки 14.04.16*

### **Summary**

The paper deals with the application of a new method of forming thick-layer coatings by electrospark deposition for the resporation of worn-our components, working in conditions of sliding frictiontion, using powered hydraulic cylinders as example. For the practical usage, technological capabilities of this method were greatly expanded getting over the size barrier at deposition of coatings with a high contact continuity is assured.

*Keywords: electrospark deposition, installation, energy regime, electric erosion, coating thickness, contact continuity, fusion, topography, wear, defect, powered hydrolic cylinder.*