

УДК 621.793

**ОСОБЕННОСТИ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ С РЕЗИНОВЫМ КОНТРЕЛОМ В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ**

*канд. техн. наук М.А. ЛЕВАНЦЕВИЧ; Е.В. ПИЛИПЧУК  
(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск);  
В.Н. КАЛАЧ  
(Минский завод автоматических линий им. П.М. Машерова);  
канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН  
(Полоцкий государственный университет)*

*Демонстрируются результаты исследований триботехнических характеристик хромовых покрытий, сформированных методом электродеформационного плакирования гибким инструментом, выполненных с целью оценки перспектив их применения в качестве альтернативы гальваническому хромированию, широко используемому при изготовлении штоков гидроцилиндров металлорежущих станков. В качестве гибкого инструмента использовались вращающиеся металлические щетки с проволочным ворсом из нержавеющей стали 03X17H14M2. По результатам исследований установлено, что в условиях «граничного трения» спаренных образцов «диск с покрытием – резиновый ролик» наименьшими значениями величин коэффициента трения скольжения обладают хромовые покрытия, сформированные указанным методом, которые ниже, чем у хромовых покрытий, полученных гальваническим осаждением. Эффект снижения трения объясняется наличием на их поверхности развитого микрорельефа, состоящего из сглаженных микровыступов и микроуглублений, которые способствуют лучшему удержанию смазочного материала и повышению гидроемкости поверхностного слоя.*

**Ключевые слова:** *хромовые покрытия, электродеформационное плакирование, гибкий инструмент, материал-донор, контртело, алмазнографитная шихта, триботехнические характеристики.*

**Введение.** Гидроцилиндры возвратно-поступательного движения, использующие в качестве герметизирующих элементов манжетные резиновые уплотнения, получили широкое применение в различных типах гидроприводов металлорежущих станков [1; 2]. Для обеспечения надежной герметизации (уплотнения) соединения «шток – резиновая манжета», а также высокой износо- и коррозионной стойкости поверхность штока в подобных гидроцилиндрах подвергают гальваническому хромированию с осаждением слоя твердого хрома толщиной 20...25 мкм [3]. Однако технологии гальванического хромирования являются экологически вредными и достаточно энергоемкими [4], в связи с чем, например, в условиях мелкосерийного и индивидуального производства при необходимости осаждения хромовых покрытий на разнообразных по номенклатуре и небольших партиях деталей становятся совершенно нерентабельными. Поэтому возникает острая потребность в изыскании новых, сравнительно недорогих, способов формирования хромовых покрытий в качестве альтернативы гальваническому хромированию.

Стоит отметить, что к настоящему времени известны положительные примеры применения технологий гиперзвуковой металлизации [5], газотермического и плазменного напыления [6; 7], электроискрового и лазерного легирования [8; 9] как альтернативы гальваническому хромированию. Однако высокая стоимость используемого технологического оборудования и расходных материалов, а также необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов для его обслуживания сдерживают их широкое промышленное применение.

В последние годы получила развитие сравнительно недорогостоящая, малоэнергоемкая и экологически чистая технология, основанная на применении метода электродеформационного плакирования гибким инструментом (ЭДПГИ), где слой покрытия на поверхности детали формируется за счет переноса ворсом вращающейся металлической щетки (ВМЩ) частичек материала покрытия (донора), а с целью интенсификации процесса плакирования на ворс ВМЩ частичек донора подают электрическое напряжение [10; 11]. Установлено, что хромовые покрытия, сформированные с использованием технологии ЭДПГИ из доноров, полученных путем спекания смеси порошков чистого хрома и наноразмерной алмазнографитной шихты УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) производства фирмы «Синта» (Беларусь), в условиях «сухого» трения с резиновым контробразцом имеют триботехнические характеристики, сопоставимые с гальваническими хромовыми покрытиями, что создает хорошие предпосылки для их практического применения [11]. Однако поведение подобных покрытий в условиях «граничного» (смешанного) трения, характерного для большинства сопряжений «шток – резиновая манжета» [12], осталось неизученным, что обусловило необходимость проведения дополнительных исследований.

Цель работы заключалась в сравнительной оценке триботехнических характеристик хромовых покрытий, сформированных с использованием технологий гальванического осаждения и ЭДПГИ в условиях «граничного» трения.

**Методика исследований.** Для проведения триботехнических испытаний использовали образцы в виде дисков из стали 40Х, диаметром 70 и толщиной 5 мм, подвергнутые объемной закалке до твердости 50 HRC и последующей шлифовке до  $R_a = 0,2 \dots 0,3$  мкм. В качестве контрообразцов использовались цилиндрические ролики диаметром 6 и длиной 12 мм, изготовленные из маслобензостойкой резины с модулем упругости 15 МПа.

На плоских поверхностях дисков методами гальванического осаждения и ЭДПГИ формировали хромовые покрытия. Электролитическое хромирование с осаждением слоя твердого ( $HV_{0,2} = 990 \dots 1200$ ) хрома толщиной 30...35 мкм выполнялось по типовой технологии, применяемой в ЗАО «Синта». В качестве материала-донора при ЭДПГИ использовали компактированный брусок, полученный путем спекания смеси порошков чистого хрома и наноразмерной алмазнографитной шихты УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) с соотношением алмазной и неалмазной форм углерода 25:75, производства фирмы «Синта» в количестве не более 1 мас. %.

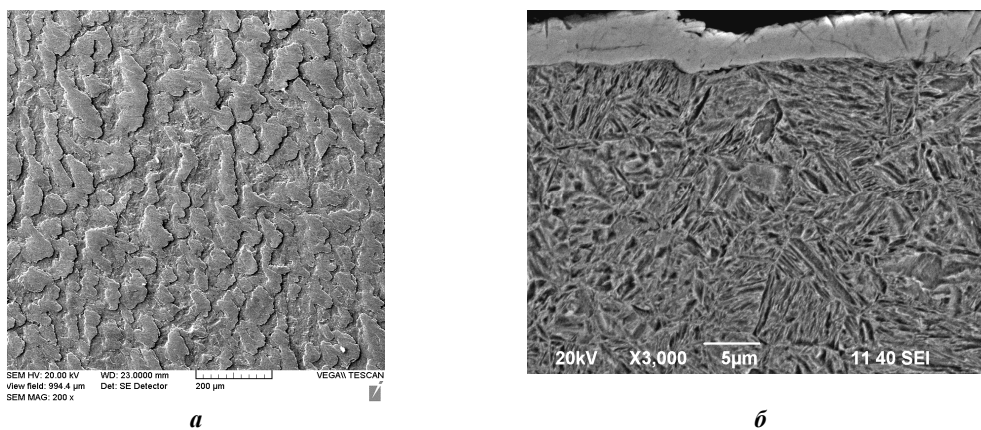
Электродеформационное плакирование гибким инструментом выполняли вращающейся цилиндрической щеткой размером 200×20×22 мм, с длиной и диаметром проволочного ворса соответственно 55 и 0,25 мм. Технологические режимы ЭДПГИ: линейная скорость вращения щетки – 30 м/с; натяг – 2 мм; число проходов щетки – 8; частота вращения диска – 7,3 мин<sup>-1</sup>. Величина подаваемого напряжения составляла 40 В; сила тока – 140 А. Толщина слоя хромовых покрытий, сформированных способом ЭДПГИ, не превышала 5...7 мкм, микротвердость –  $HV_{0,2} = 612 \dots 634$ .

Испытания на трение и износ проводили на машине трения одностороннего вращения, реализующей трение торцевой поверхности резинового ролика (контрообразца) по плоской поверхности диска с покрытием при следующих условиях: скорость вращения диска с покрытием – 834 мин<sup>-1</sup>; относительная скорость скольжения ролика по диску – 2,4 м/с; удельная нагрузка в зоне контакта торца ролика с поверхностью диска – 0,5 МПа; продолжительность испытаний каждой пары трения составляла 120 мин, что соответствовало пути трения 17280 м. В ходе триботехнических испытаний воспроизводился режим, приближенный к режиму «граничного» трения, т.е. к режиму трения с ограниченной подачей смазочного материала. В связи с этим смазывание дорожки трения на диске осуществлялось фитилем, пропитываемым капельным способом (12 капель в минуту) гидравлическим маслом М10Г2.

Регистрацию момента силы трения скольжения, который затем пересчитывался в коэффициент трения скольжения ( $f_{mp}$ ), проводили на протяжении всего цикла испытаний каждой пары трения. Износ  $\Delta m$  роликов и дисков оценивали по величине убыли их массы, определяемой по разности масс до испытаний и после испытаний, путем взвешивания на аналитических весах ВЛР-200 с точностью до 0,00001 г.

Для повышения достоверности результатов исследований испытано по три пары спаренных образцов с каждым видом покрытия. При этом три диска с гальваническим хромовым покрытием подвергали последующему шлифованию; три – шлифованию, затем полированию; соответственно три диска с хромовыми покрытиями, сформированными методом ЭДПГИ, подвергались только полированию и три – использовались в исходном состоянии, т.е. без последующего шлифования и полирования.

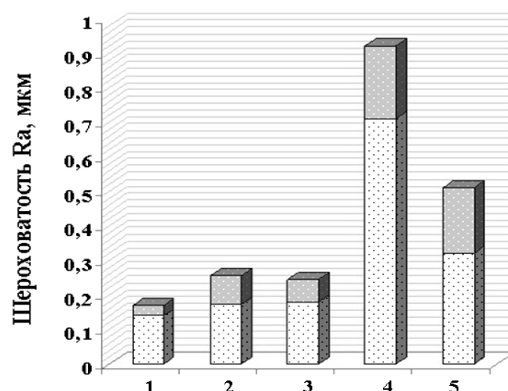
**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Изучение морфологии поверхности хромовых покрытий, сформированных методом ЭДПГИ, показало, что рельеф поверхности покрытия имеет развитую шероховатую структуру (рисунок 1, а), состоящую из плотно уложенных и вытянутых в направлении вращения щетки различных по размерам микрочастиц хрома, а также сглаженных микровыступов и микроуглублений. Дефекты покрытия в виде несплошностей и отслоений отсутствуют. Между слоем хромового покрытия и основой наблюдается граница раздела без видимых признаков наличия промежуточного слоя (рисунок 1, б).



**Рисунок 1. – Фотоснимок рельефа поверхности (а) и микроструктуры образца из стали 45 с хромовым покрытием, сформированным методом ЭДПГИ (б)**

Анализ результатов измерений шероховатости поверхности экспериментальных образцов дисков без покрытия и с хромовыми покрытиями, сформированными гальваническим осаждением и методом ЭДПГИ, показал, что для гальванических хромовых покрытий последующее после шлифования полирование незначительно влияет на снижение как разброса значений, так и общего уровня шероховатости поверхности (рисунок 2, столбцы 2, 3). Для этих покрытий полировка способствовала снижению параметра шероховатости поверхности  $R_a$  в среднем на 6%.

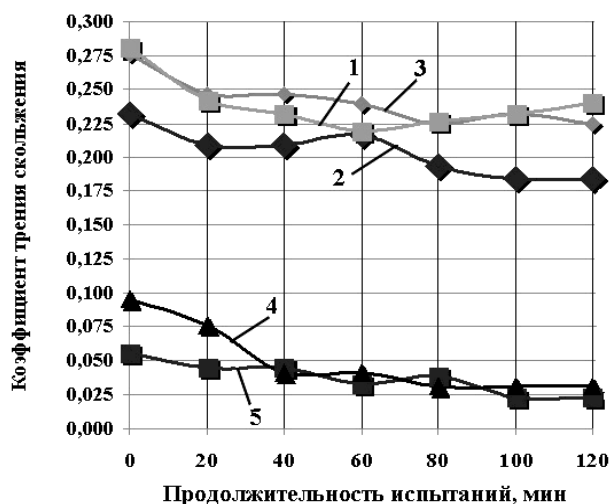
У дисков с плакированными хромовыми покрытиями шероховатость поверхности как по общему уровню, так и по разбросу значений величин параметра  $R_a$  значительно выше, чем у гальванических хромовых покрытий (рисунок 2, столбцы 4, 5). При этом, хотя последующая полировка плакированных хромовых покрытий и снижает параметр шероховатости поверхности  $R_a$  с 0,71...0,92 до 0,32...0,51 мкм, тем не менее он выше, чем у гальванических неполированных хромовых покрытий ( $R_a$  0,18...0,26 мкм).



- 1 – без покрытия; 2 – с гальваническим хромовым покрытием после шлифования;  
 3 – с гальваническим хромовым покрытием после шлифования и последующего полирования;  
 4 – с хромовым покрытием, сформированным ЭДПГИ в исходном состоянии;  
 5 – с хромовым покрытием, сформированным ЭДПГИ с последующим полированием

Рисунок 2. – Диаграмма общего уровня и разброса значений величин параметра шероховатости поверхности  $R_a$  экспериментальных образцов дисков с хромовыми покрытиями

Однако несмотря на худшие показатели шероховатости установлено, что пары трения с образцами с неполированными и полированными плакированными хромовыми покрытиями, сформированными методом ЭДПГИ, обладают наименьшими значениями величин коэффициента трения скольжения (рисунок 3, кривые 4, 5), нежели пары с образцами с гальваническими неполированными и полированными покрытиями (рисунок 3, кривые 2, 3), а также пары без покрытия (рисунок 3, кривая 1).



- 1 – без покрытия; 2 – с гальваническим хромовым покрытием после шлифования;  
 3 – с гальваническим хромовым покрытием после шлифования и последующего полирования;  
 4 – с хромовым покрытием, сформированным ЭДПГИ в исходном состоянии;  
 5 – с хромовым покрытием, сформированным ЭДПГИ с последующим полированием

Рисунок 3. – Зависимости коэффициента трения скольжения для пар трения с образцами с хромовыми покрытиями от продолжительности испытаний

Кроме того, установлено, что коэффициент трения скольжения у пар с образцами с плакированными полированными хромовыми покрытиями в начальный и заключительный периоды испытаний оказался соответственно, в 4,5 и 7,5 раза меньше, нежели у образцов с гальваническими неполированными хромовыми покрытиями (рисунок 3, кривая 2).

Как видно из представленных на рисунке 3 зависимостей, значения величин коэффициента трения скольжения для всех испытываемых пар трения на протяжении 80 мин цикла испытаний имеют тенденцию к снижению. При этом коэффициент трения скольжения для пар трения с образцами без покрытия и с гальваническими неполированными и полированными хромовыми покрытиями уменьшается относительно первоначальных значений в среднем в 1,2...1,24 раза (рисунок 3, кривые 1, 2, 3), а для пар с образцами с плакированными неполированными и полированными хромовыми покрытиями – в 3,1 и 1,4 раза, соответственно (рисунок 3, кривые 4, 5). Далее наблюдается стабилизация процесса трения у всех испытываемых пар с образцами с хромовыми покрытиями, кроме пар с образцами без покрытия, где заметно возрастание величины коэффициента трения скольжения (рисунок 3, кривая 1). К концу цикла испытаний среднее значение величины коэффициента трения скольжения для трущихся пар составляло: 0,24 – для образцов без покрытия; 0,185 – для образцов с гальваническими неполированными покрытиями; 0,224 – для образцов с гальваническими полированными покрытиями; 0,031 и 0,023 – для образцов с плакированными неполированными и полированными покрытиями соответственно.

Таким образом, можно предположить, что снижению значений величин коэффициента трения скольжения у пар с образцами с плакированными хромовыми покрытиями способствует развитый микрорельеф их поверхности, характеризующийся наличием сглаженных микровыступов и микроуглублений, микрокарманов, (см. рисунок 1, а). Подобные микрокарманы, сформированные, например, виброударной [13] или эрозионно-струйной обработкой [14], обладают способностью повышать гидроемкость поверхностного слоя, лучше удерживают смазочный материал и в процессе фрикционного взаимодействия с контртелом обеспечивают возможность возникновения гидродинамического эффекта в зоне контакта. К числу их положительных свойств относят также и то, что при преднамеренном формировании на поверхности, например, штока гидроцилиндра, они способствуют снижению усилия страгивания штока в случае его длительной выдержки в неподвижном состоянии под нагрузкой благодаря способности сохранения смазочной пленки на трущейся поверхности.

Для проверки сделанного предположения проведены дополнительные исследования по оценке гидроемкости слоев хромовых покрытий, сформированных с использованием обеих технологий. При этом оценку гидроемкости проводили на цилиндрических образцах из стали 45 (45...48 HRC) диаметром 15 и длиной 32 мм, с исходной шероховатостью поверхности по параметру  $R_a = 0,2...0,25$  мкм. Технологические режимы формирования хромовых покрытий были идентичны, что и для дисков, используемых для триботехнических испытаний. После нанесения хромовых покрытий образцы подвергались промывке в ацетоне, протирке и сушке в сушильном шкафу при температуре 60 °С в течение 20 минут, после чего остывшие до комнатной температуры (22...24 °С) образцы взвешивались на аналитических весах ВЛР-200 с точностью до 0,00001 г. Затем образцы погружались в ванну с гидравлическим маслом М10Г2 и после выдержки в течение 10 минут извлекались и подвешивались в вертикальном положении в течение 30 минут для естественного стекания масла, и снова взвешивались.

Для повышения достоверности результатов испытаний всего было испытано по три образца без покрытия и с каждым видом хромовых покрытий, сформированных по обеим технологиям.

При оценке гидроемкости образцов с покрытием предварительно определялась гидроемкость образцов без покрытия по формуле:

$$\mu_{\sigma} = \frac{m_{2\sigma} - m_{1\sigma}}{2 \cdot S_{1\sigma} + S_{2\sigma}},$$

где  $m_{1\sigma}$  – масса образца без покрытия до окунания в масло;  $m_{2\sigma}$  – масса образца без покрытия после окунания в масло;  $S_{1\sigma}$  – площадь торцевой поверхности образца;  $S_{2\sigma}$  – площадь образующей цилиндрической поверхности образца.

Далее, с учетом того, что хромовые покрытия были сформированы только на внешних цилиндрических поверхностях образцов, для исключения из расчета гидроемкости непокрытых торцевых поверхностей, гидроемкость образцов с покрытиями вычисляли по формуле:

$$\mu_{\pi} = \frac{m_{2\pi} - m_{1\pi} - 2 \cdot S_{1\pi} \cdot \mu_{\sigma}}{S_{2\pi}}.$$

Здесь  $m_{1\pi}$  – масса образца с покрытием до окунания в масло;  $m_{2\pi}$  – масса образца с покрытием после окунания в масло;  $S_{1\pi}$  – площадь торцевой поверхности образца;  $S_{2\pi}$  – площадь образующей цилиндрической поверхности образца;  $m_{\sigma}$  – маслосъемность образца без покрытия.

Анализ данных по оценке гидроемкости образцов с хромовыми покрытиями показал, что наибольшей гидроемкостью обладают образцы с неполированными и полированными хромовыми покрытиями, сформированными с использованием технологии ЭДПГИ (таблица 1). Гидроемкость образцов с плакированными полированными хромовыми покрытиями в среднем на 16% превышает аналогичное значение для образцов с гальваническими неполированными хромовыми покрытиями и на 28% для образцов без покрытия.

Таблица 1. – Гидроемкость хромовых покрытий, сформированных методами гальванического осаждения и электродеформационного плакирования гибким инструментом

№ образца	Вид покрытия	Масса образца до испытаний $m_1$ , г	Масса образца после испытаний $m_2$ , г	Изменение массы образца $\Delta m = m_2 - m_1$ , г	Гидроемкость покрытия $\mu \cdot 10^{-6}$ , г
1	Без покрытия	43,629	43,6352	0,0062	3,3308
2	Гальваническое хромовое покрытие (после шлифования)	38,0187	38,0252	0,0065	3,8897
3	Гальваническое хромовое покрытие (после шлифования и полирования)	37,0219	37,027	0,0051	2,8950
4	Плакированное хромовое покрытие (неполированное)	43,5402	43,5486	0,0084	4,7898
5	Плакированное хромовое покрытие (полированное)	42,4819	42,4901	0,0082	4,6571

По результатам исследований износа образцов установлено, что наименьший износ как дисков с покрытиями, так и резиновых контробразцов имеют пары трения с дисками с гальваническими неполированными хромовыми покрытиями, т.е. обработанных только шлифованием (рисунок 5, столбец 2).

Несколько больший износ имеют пары с плакированными полированными хромовыми покрытиями (рисунок 4, столбец 5). Для этих пар характерно то, что хотя износ дисков был сопоставим с износом дисков с гальваническими неполированными хромовыми покрытиями, износ их резиновых контробразцов оказался на  $0,3 \cdot 10^{-3}$  г выше значений величин износа контробразцов пар с гальваническими неполированными покрытиями. Возможной причиной повышенного износа контробразцов в данном случае может быть более высокая шероховатость поверхности плакированного хромового покрытия.

У остальных пар трения, подвергнутых испытаниям, значения величин износа дисков и контробразцов значительно превышали рассмотренные выше (рисунок 4, столбцы 1, 3, 4).

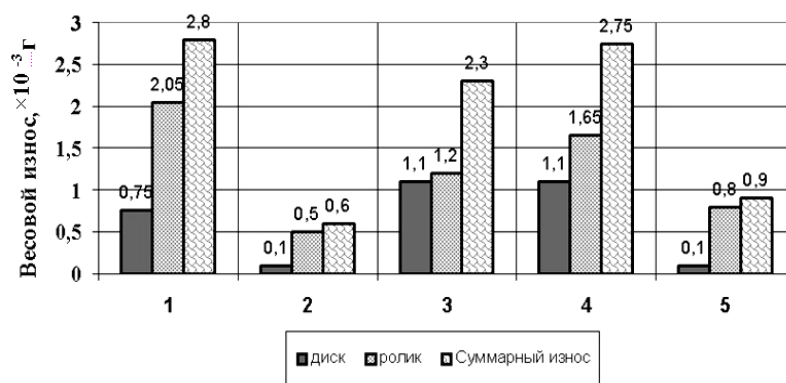


Рисунок 4. – Диаграмма значений величин износа для пар трения с образцами без покрытия (1); с гальваническим хромовым покрытием после шлифования (2); с гальваническим хромовым покрытием после шлифования и последующего полирования (3); с хромовым покрытием, сформированным ЭДПГИ в исходном состоянии (4); с хромовым покрытием, сформированным ЭДПГИ с последующим полированием (5)

**Выводы.** При формировании хромовых покрытий методом ЭДПГИ рельеф поверхности сформированного слоя покрытия имеет развитую шероховатую структуру, состоящую из плотно уложенных и вытянутых в направлении вращения щётки различных по размерам микрочастиц хрома, а также сглаженных микровыступов и микроуглублений. Дефекты покрытия в виде несплошностей и отслоений отсутствуют.

Шероховатость поверхности плакированных покрытий до полировки ( $R_a = 0,71...0,92$  мкм) и после полировки ( $R_a = 0,32...0,51$  мкм) как по общему уровню, так и по разбросу значений величин параметра  $R_a$  выше, чем у гальванических неполированных ( $R_a = 0,18...0,26$  мкм) и полированных ( $R_a = 0,17...0,24$  мкм) хромовых покрытий.

По результатам триботехнических испытаний установлено, что, несмотря на повышенную шероховатость поверхности плакированных хромовых покрытий, пары трения с образцами с неполированными и полированными плакированными хромовыми покрытиями, сформированными методом ЭДПГИ, обладают наименьшими значениями величин коэффициента трения скольжения, нежели пары, с образцами с гальваническими неполированными и полированными покрытиями, а также пары без покрытия. Среднее значение величины коэффициента трения скольжения для трущихся пар составляло: 0,24 – для образцов без покрытия; 0,185 – для образцов с гальваническими неполированными покрытиями; 0,224 – для образцов с гальваническими полированными покрытиями; 0,031 и 0,023 – для образцов с плакированными неполированными и полированными покрытиями, соответственно. Снижению значений величин коэффициента трения скольжения у пар с образцами с плакированными хромовыми покрытиями способствует развитый микрорельеф их поверхности, характеризующийся наличием сглаженных микровыступов и микроуглублений (микрокарманов), которые повышают гидроемкость поверхностного слоя на 16 и 28% по сравнению с образцами с гальваническими неполированными хромовыми покрытиями и образцами без покрытия соответственно. Подобный микрорельеф обладает способностью лучше удерживать смазочный материал и в процессе фрикционного взаимодействия с контртелом обеспечивает возможность возникновения гидродинамического эффекта в зоне контакта. Однако у пар с плакированными хромовыми покрытиями, несмотря на низкие значения величин коэффициента трения скольжения, наименьший износ резиновых контробразцов отмечен у пар с гальваническими неполированными хромовыми покрытиями, т.е. обработанных только шлифованием.

По результатам исследований износа образцов, установлено, что наименьший износ, как дисков с покрытиями, так и резиновых контробразцов, имеют пары трения с дисками с гальваническими неполированными хромовыми покрытиями. Для этих пар характерно то, что хотя износ дисков был и сопоставим с износом дисков с плакированными полированными хромовыми покрытиями, износ их резиновых контробразцов оказался на  $0,3 \cdot 10^{-3}$  г меньше значений величин износа контробразцов пар с плакированными полированными покрытиями.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют заключить, что технология формирования покрытий на основе хрома методом ЭДПГИ, хотя и обладает определенными недостатками, главным из которых может оказаться повышенный износ контртел, выполненных из резины, однако в силу простоты ее реализации, малой энергоемкости и экологической чистоты вполне может быть использована в промышленности для хромирования деталей гидроприводов.

Опытно-промышленная апробация и внедрение технологии ЭДПГИ выполнены на ОАО «Минский завод автоматических линий им. П.М. Машерова». Покрытия из хрома, легированного УДАГ, сформированы методом ЭДПГИ на рабочих поверхностях штоков гидроцилиндров объемных гидроприводов гидравлического оборудования станков (рисунок 5).



**Рисунок 5. – Фотоснимок процесса формирования покрытия «хром + УДАГ» методом ЭДПГИ на рабочей поверхности штока гидроцилиндра**

Испытания штоков с покрытием «хром + УДАГ» в составе гидроцилиндров проведены на специализированном испытательном стенде в ОАО «МЗЛ им. П.М. Машерова».

В ходе испытаний установлено, что опытные гидроцилиндры полностью соответствуют предъявляемым техническим требованиям и пригодны для эксплуатации в составе гидроприводов станков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы : справочник / В.К. Свешников. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Гидроцилиндры : учеб.-метод. пособие / Д.Ю. Воронов [и др.]. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 72 с.
3. Беленький, М.А. Электроосаждение металлических покрытий : справочник / М.А. Беленький, А.Ф. Иванов. – М. : Металлургия, 1985. – 288 с.
4. Фаличева, А.И. Экологические проблемы хромирования и альтернативного покрытия / А.И. Фаличева, Ю.А. Стекольников, Н.И. Глянец // Вестн. ТГУ. – 1999. – Т. 4, вып. 2. – С. 256–257.
5. Перспективы замены гальванического хромирования гиперзвуковой металлизацией / М.А. Белоцерковский [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / ОИМ НАН Беларуси ; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. – 2014. – Вып. 3. – С. 324–328.
6. Verstak, A. Activated Combustion HVAF Coatings for Protection against Wear and High Temperature Corrosion / A. Verstak, V. Baranovski // Proc. of the International Thermal Spray Conference 2003, Orlando, FL, USA, ASM International, Materials Park, Ohio, USA. – 2003. – P. 535–541.
7. Пилюшина, Г.А. Состояние и пути повышения работоспособности гидропривода лесозаготовительных машин / Г.А. Пилюшина, С.В. Тяпин // Автотракторостроение-2009. – М. : МГТУ «МАМИ», 2009. – Кн. 1. – С. 452–455. (Наплавка, плазменное напыление).
8. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф.Х. Бурмукулов [и др.]. – Саранск : Тип. Крас. Окт., 2003. – 504 с. (ЭИ Легирование).
9. Raykis, O. High-speed laser metal deposition replaces hard chrome plating / O. Raykis // Laser Technik Journal 1/2017. – С. 28–30.
10. Белевский, Л.С. Фрикционный и электрофрикционный способы нанесения покрытий / Л.С. Белевский, И.В. Белевская // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2012. – Вып. 38. – С. 158–163.
11. Износостойкость легированных хромовых покрытий, сформированных способом деформационного плакирования с электрическим напряжением / М.А. Леванцевич [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси ; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2017. – Вып. 6. – С. 159–162.
12. Борисов, Г.А. Технологические основы повышения ресурса штокового узла гидроцилиндра / Г.А. Борисов, Е.Е. Семенова, В.Ю. Чикунков // Вестн. РГАТУ. – 2010. – № 2. – С. 44–50.
13. Шнейдер, Ю.Г. Влияние шероховатости металлической поверхности на трение в гидроуплотнительных парах возвратно-поступательного движения / Ю.Г. Шнейдер, А.Л. Рейнус // Вестн. машиностроения. – 1970. – № 5. – С. 19–20.
14. Проволоцкий, А.Е. Технологические методы повышения долговечности деталей гидромашин / А.Е. Проволоцкий, С.П. Лапшин, С.Л. Негруб // Промислова гідравліка і пневматика : Всеукраїнський наук.-техн. журн. – Вінниця : Вінницький державний аграрний університет. – 2004. – Вып. 2(4). – С. 68–71.

Поступила 12.02.2019

## FEATURES OF FRICTION INTERACTION OF THE CHROMIUM COATINGS WITH RUBBER CONTRALOR IN CONDITIONS OF BOUNDARY FRICTION

**M. LEVANTSEVICH, E. PILIPCHUK, V. KALACH, A. DUDAN**

*Are shown the results of research of tribological characteristics of chromium coatings formed by electro-deposition cladding flexible, made-tion to assess the prospects for their use as alternatives to electroplated chrome finish-NIJ, widely used in the manufacture of rods of hydraulic cylinders machine tools. As a flexible tool used rotating metal brushes with wire thief-catfish stainless steel 03H17N14M2. According to the results of the research it was found that under the conditions of "boundary friction" of paired images "coated disc – rubber roller" the least values of the sliding friction coefficient have chrome coatings formed by the magnetic method, which are lower than the chrome coatings obtained by galvanic deposition. The effect of friction reduction is explained by the presence on their surface of a developed microrelief consisting of smoothed micro-steps and micro-depressions, which contribute to better retention of the lubricant and increase the hydro-capacity of the surface layer.*

**Keywords:** chrome coating, electrodeposition cladding, flexible tool, material donor, has contrale, almaznaya mixture, tribological characteristics.