

5. Choi, H. G. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic green house and inagrowth chamber / H. G. Choi, B. Y. Moon, N. J. Kang // *Scientia Horticulturae*. — 2015. — Vol. 189. — P. 22—31.
6. Исследование влияния светодиодного освещения на рост и развитие растений / А. Ю. Хомяков [и др.] // *Электрон. средства и системы упр.* — 2015. — № 1. — С. 259—262.
7. *Dutta Gupta, S. Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting / S. Dutta Gupta // Springer Nature Singapore Pte Ltd. — 2017. — P. 273—303.*
8. LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) / C. Hung [et al.] // *Acta Physiologia Plantarum*. — 2016. — Vol. 38:152. — P. 1—9. DOI: 10.1007/s11738-016-2162-0.
9. Инновационные технологии возделывания земляники садовой : науч.-практ. изд. / под ред. М. И. Куликова. — М. : Росинформагротех, 2010. — 88 с.
10. *Никонович, Т. В. Биотехнология в растениеводстве : курс лекции / Т. В. Никонович, А. Н. Иванистов, В. В. Французенок. — Горки : БГСХА, 2017. — 84 с.*
11. Фотоморфогенез и продукционный процесс разных онтотипов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) в условиях светокультуры на основе узкополосных светодиодов / М. Н. Яковцева [и др.] // *Изв. ТСХА*. — № 4. — 2016. — С. 69—95.
12. Особенности адаптации меристемных растений земляники садовой *Fragaria × ananassa* Duch. в условиях светодиодного освещения / Д. С. Мороз [и др.] // *Вестн. БарГУ. Сер. «Биолог. и с.-х. науки»*. — 2019. — Вып. 7. — С. 73—82.
13. *Маркова, М. Г. Влияние питательной среды и спектрального состава света на размножение земляники in vitro / М. Г. Маркова, Е. Н. Сомова // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. — 2018. — Т. 63, № 2. — С. 35—41.*
14. *Бьядовский, И. А. Влияние различных по спектральному составу светодиодных источников света на укореняемость земляники садовой (Fragaria × ananassa) in vitro / И. А. Бьядовский // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. — 2019. — № 180 (1). — С. 33—37.*
15. *Nadalini, S. Effects of blue and red LED lights on soilless cultivated strawberry growth performances and fruit quality / S. Nadalini, P. Zucchi, C. Andreotti // Eur. J. Hortic. Sci. — 2017. — Vol. 82 (1). — P. 12—20.*

УДК 621.793

М. А. Леванцевич, Е. В. Пилипчук, Л. Л. Сотник, А. А. Голушко, А. С. Столяров, И. А. Козловский  
 Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

## ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПРОВОЛОЧНОГО ВОРСА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ДЕФОРМАЦИОННО-ПЛАКИРОВАННЫХ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ

**Введение.** Во многих типах гидроприводов металлорежущих станков нашли широкое применение гидроцилиндры возвратно-поступательного движения, использующие для герметизации подвижного штока манжетные резиновые уплотнения. Для обеспечения надежной герметизации сопряжения «шток-резиновая манжета», а также защиты от коррозии и износа поверхность штока подвергают гальваническому хромированию [1]. Однако учитывая вредность гальванических производств, а также их высокую энергоемкость и низкую эффективность, особенно при формировании хромовых покрытий на поверхностях деталей, изготавливаемых, например, на предприятиях мелкосерийного и индивидуального производств, активно проводится поиск иных технологий, альтернативных гальваническому хромированию [2]. Известны положительные примеры применения технологий гиперзвуковой металлизации, газотермического и плазменного напыления, электроискрового и лазерного легирования и др. Вместе с тем указанные технологии пока не получили широкого промышленного применения в силу ряда причин, главными из которых являются высокая стоимость используемого оборудования и необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов для его обслуживания.

В последние годы активно развивается сравнительно недорогая, малоэнергоемкая и экологически чистая технология, основанная на методе деформационного плакирования гибким инструментом (далее — ДПГИ), где слой покрытия на поверхности детали формируется за счет переноса ворсом вращающейся металлической щетки (ВМЩ) частичек материала покрытия (донора). Установлено, что хромовые покрытия, сформированные с использованием технологии ДПГИ из доноров, полученных путем спекания смеси порошков чистого хрома и наноразмерной алмазнографитной шихты УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) производства фирмы «Синта» (Беларусь), в режиме «сухого» трения с резиновым контрообразцом имеют трибо-технические характеристики, сопоставимые с гальваническими хромовыми покрытиями [3], а в режиме граничного трения подобные покрытия обеспечивают коэффициент трения скольжения в установленном режиме, равный 0,023...0,025, что в среднем в 7,5 раза ниже, чем у хромовых покрытий, полученных гальваническим осаждением [4]. При этом в ходе проводимых испытаний технологии ДПГИ было выявлено, что определенное влияние на качество формируемых слоев хромовых покрытий может оказывать материал проволочного ворса ВМЩ.

Цель исследований заключалась в оценке влияния материала проволочного ворса ВМЩ на структурно-фазовый состав и параметры шероховатости поверхности слоев хромовых покрытий, сформированных с использованием технологии ДПГИ.

**Основная часть.** Структурно-фазовые исследования и оценка параметра шероховатости поверхности  $Ra$  проводились на образцах ( $10 \times 6 \times 2$  мм) из стали 45 ( $HRC 43...45$ ) с хромовым покрытием, сформированным из донора, полученного методами порошковой металлургии путем спекания смеси порошков чистого хрома и наноразмерной алмазнографитной шихты УДАГ (не более 1 мас. %). Деформационное плакирование осуществлялось поочередно ВМЩ с гофрированным ворсом, выполненным из стали 65Г и нержавеющей стали 03X17H14M2 (производства фирмы OSBORN). Диаметр и ширина щетки составляли, соответственно, 200 и 30 мм, линейная скорость вращения — 30 м / с, диаметр и вылет ворса — 0,2 и 40 мм, число проходов щетки по поверхности образцов — 6.

Для повышения достоверности результатов испытаний было обработано по три образца с применением каждой из щеток.

После обработки среднее значение толщины сформированного слоя покрытия, измеренного с помощью прибора МТЦ-3, составило 3...5 мкм для покрытий, сформированных щёткой с ворсом, выполненным из стали 65Г, и 10...12 мкм — для покрытий, сформированных щёткой с ворсом из нержавеющей стали. Среднее значение параметра шероховатости поверхности  $Ra$  покрытий, измеренных с помощью профилографа-профилометра завода «Калибр», после нанесения щётками из стали 65Г и нержавеющей стали составило 0,25...0,35 и 0,8...1,0 мкм соответственно.

Для металлографического анализа поверхностных слоев образцов, подвергнутых деформационному плакированию, использовался инвертированный микроскоп «Альтами МЕТ 1МТ». Травление микроструктуры шлифов проводилось с использованием реактива Куррана ( $HCl$  — 50 мл,  $CuSO_4$  — 10 г,  $H_2O$  — 50 мл), а также Марбле (50 мл  $HCl$ , 2 г  $CuSO_4$ , 50 мл  $C_2H_5OH$ , 50 мл  $H_2O$ ).

Рентгеноструктурный анализ исследуемых образцов выполняли на дифрактометре ДРОН 3.0 в монохроматизированном  $CoK_{\alpha}$ -излучении при ускоряющем напряжении 30 кВ и анодном токе 15 мА. Рентгеновская съемка осуществлялась с фокусировкой по Бреггу—Брентано в режиме сканирования (по точкам) с шагом  $0,1^{\circ}$  и временем набора импульсов на точку, равном 10 секундам. В целях исследования фазового состава тонких поверхностных слоев был применен метод скользящего пучка ( $\psi = 6^{\circ}$ ). Для расшифровки фазового состава использовалась картотека стандартных спектров PDF. Обработку данных рентгеноструктурного анализа осуществляли с помощью автоматизированного программного комплекса DiffacPlus EVA.

Изучение морфологии поверхности хромовых покрытий показало (рисунок 1, а, б), что рельеф поверхности, в особенности у покрытий, сформированных щеткой из нержавеющей стали, имеет развитую шероховатую структуру, состоящую из плотно уложенных и вытянутых в направлении вращения щётки различных по размерам микрочастиц хрома. Дефекты покрытия в виде несплошностей и «островковости» отсутствуют.

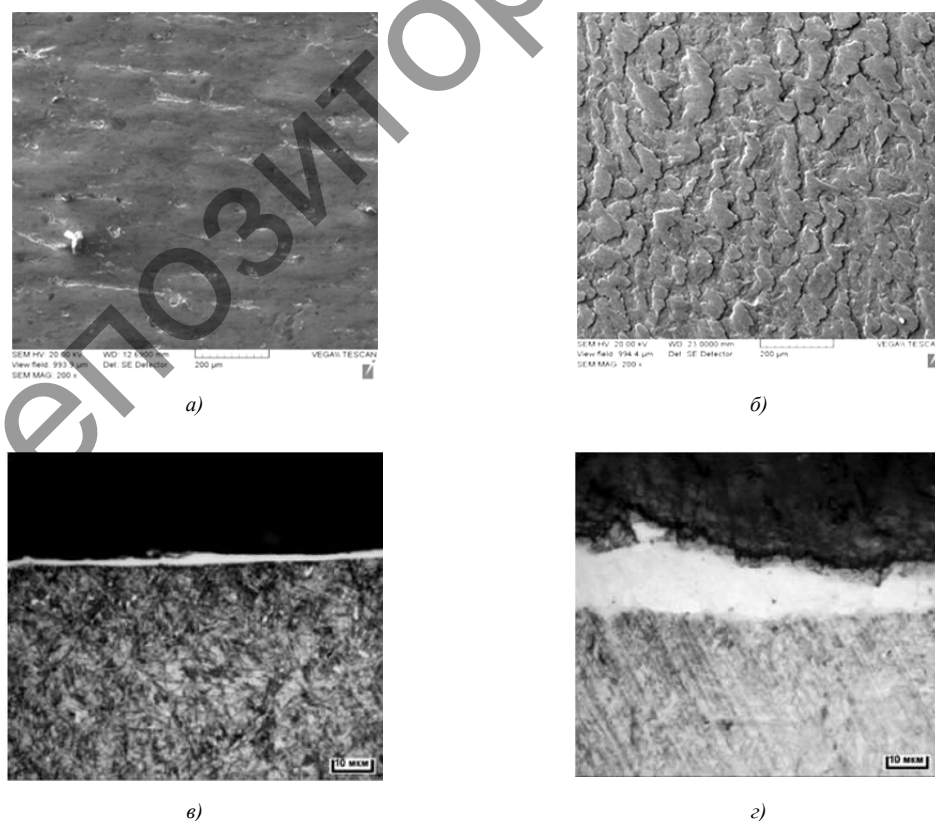


Рисунок 1 — Фото рельефа поверхности (а, б) и микроструктуры (в, г) образца из стали 45 с хромовым покрытием, сформированным методом ДПИ

Между слоем хромового покрытия и основой наблюдается граница раздела без видимых признаков наличия промежуточного слоя (см. рисунок 1, в, г).

Исследование структуры и фазового состава плакированных слоев хромовых покрытий выявило присутствие в них аустенита и хрома (рисунок 2, таблица 1). Период кристаллической решетки плакированного хрома  $a = 0,2884$  нм. При этом количество хрома и никеля в плакированном слое покрытия, сформированном щеткой из нержавеющей стали, по процентному содержанию, соответственно, в 5,3 и 9,6 раза выше, нежели в покрытии, сформированном щеткой из стали 65Г (см. таблицу 1).

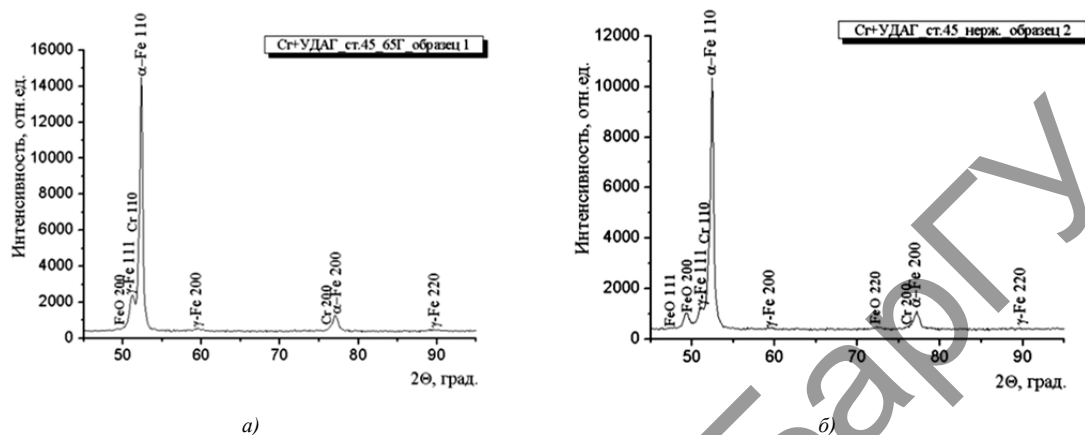


Рисунок 2 — Фрагменты рентгеновских дифрактограмм хромовых покрытий, сформированных методом ЭДПИ на поверхности образца из стали 45 с использованием металлических щёток с ворсом, выполненным из стали 65Г (а) и нержавеющей стали 03X17H14M2 (б)

Т а б л и ц а 1 — Химический состав хромовых покрытий, сформированных на поверхностях образцов из стали 45 методом ДПИ с использованием ВМЩ с ворсом, выполненным из стали 65Г (1) и нержавеющей стали 03X17H14M2 (2)

Номер образца	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Mo	Fe
1	<i>Покрытие</i>										
		0,441	0,060	0,016	0,506	0,556	0,181	0,153	0,020		Основа
	<i>Основа</i>										
	0,132	0,441	0,052	0,017	0,121	0,557	0,185	0,170			Основа
2	<i>Покрытие</i>										
	0,187	0,681	0,074	0,014	2,697	0,660	1,739	0,195		0,015	Основа
	<i>Основа</i>										
	0,101	0,476	0,053	0,002	0,123	0,552	0,181	0,175		0,010	Основа

Образование аустенита в поверхностных слоях плакированных образцов, а также повышенное содержание хрома и никеля в покрытии, сформированном щеткой из нержавеющей стали, свидетельствуют о том, что в процессе ДПИ наряду с частичками материала донора в состав хромового покрытия переносятся также и элементы проволоочного ворса щетки.

**Заключение.** Результаты экспериментальных исследований позволяют заключить, что на толщину, структурно-фазовый состав и шероховатость поверхности слоев хромовых покрытий, сформированных методом ДПИ существенное влияние может оказывать материал проволоочного ворса ВМЩ, используемой в качестве гибкого инструмента. При формировании хромовых покрытий из доноров, полученных путем спекания смеси порошков чистого хрома и наноразмерной алмазнографитной шихты УДАГ, щетками с ворсом из углеродистой стали 65Г, достижимые значения величин толщины слоя и параметра шероховатости поверхности  $Ra$  составляют, соответственно, 3...5 и 0,25...0,35 мкм.

В случае использования щеток с ворсом из нержавеющей стали 03X17H14M2 значения указанных величин могут составлять, соответственно, 10...12 и 0,8...1,0 мкм. Увеличение толщины слоя и параметра шероховатости поверхности  $Ra$  хромовых покрытий, сформированных щеткой с ворсом из нержавеющей стали, связано с привнесением частиц материала проволоочного ворса в слой покрытия. Об этом свидетельствует повышенное содержание в сформированном слое химических элементов Cr и Ni, входящих в состав материала проволоочного ворса щетки. Подобное привнесение, по-видимому, можно объяснить тем, что при форми-

ровании хромовых покрытий вследствие фрикционного взаимодействия ворса щетки с поверхностью основы гораздо интенсивнее протекают процессы схватывания и налипания микрочастиц материала ворса к поверхности основы в силу его более низких прочностных свойств и высокой пластичности, по сравнению с ворсом из углеродистой стали 65Г.

Таким образом, с точки зрения практического применения технологии ДПГИ для хромирования штоков гидроцилиндров данные исследований показывают, что при формировании хромовых покрытий щетками с проволочным ворсом из стали 65Г обеспечивается параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,25 \dots 0,35$  мкм, что, согласно многим литературным данным, вполне допустимо. Однако при этом толщина слоя сформированного покрытия составляет всего 3...5 мкм, что может не удовлетворять требованиям по обеспечению коррозионной стойкости покрытий.

При формировании хромовых покрытий щетками с проволочным ворсом из нержавеющей стали 03X17H14M2 толщина слоя составляет 10...12 мкм, что может обеспечить сравнительно неплохую коррозионную стойкость. Однако повышенная шероховатость его поверхности  $Ra = 0,8 \dots 1,0$  мкм может стать причиной интенсивного изнашивания герметизирующих резиновых манжет, поэтому для снижения шероховатости поверхности требуется введение дополнительной операции полировки.

Технология формирования хромовых покрытий на штоках гидроцилиндров металлорежущих станков с использованием метода ДПГИ прошла успешную апробацию и внедрена на ОАО «Минский завод автоматических линий имени П. М. Машерова». В ходе ее отработки было признано целесообразным для формирования хромовых покрытий в качестве гибкого инструмента применять щетки с проволочным ворсом из нержавеющей стали 03X17H14M2.

#### Список цитируемых источников

1. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников. — М. : Машиностроение, 2004. — 512 с.
2. Фаличева, А. И. Экологические проблемы хромирования и альтернативного покрытия / А. И. Фаличева, Ю. А. Стекольников, Н. И. Глянцев // Вестн. ТГУ. — 1999. — Т. 4, вып. 2. — С. 256—257.
3. Оценка применимости технологии электродеформационного плакирования гибким инструментом для хромирования штоков гидроцилиндров / В. К. Шелег [и др.] // Трение и износ. — 2019. — Т. 40, № 3. — С. 265—271.
4. Особенности фрикционного взаимодействия хромовых покрытий с резиновым контртелом в условиях граничного трения / М. А. Леванцевич [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. — 2019. — № 3. — С. 65—71.

УДК 621.9

О. В. Лисок, Н. М. Федосов, Т. Я. Богданова

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

#### МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДЕМОНТАЖА СЕКЦИЙ КРЕПИ 08.22.00.000-10

**Введение.** Устройство для демонтажа (разворота) линейных секций крепи изготавливается на УПП Нива «ЗГШ» (Солигорск) и предназначено для передвижки секций прикрытия и разворота линейных секций при демонтаже секций забойной крепи в лавах высотой от 1,0 до 3,2 м в зависимости от длины используемых гидростоек. Основное назначение устройства — исключить применение лебедки при перемещении комплекта секций прикрытия и развороте линейных секций демонтируемой крепи.

**Основная часть.** На рисунке 1 представлено гидравлическое устройство для демонтажа механизированной крепи (устройство — вид А, вид В — вид в плане). Гидравлическое устройство для демонтажа секций крепи включает основание, выполненное в виде балки 1 с проушинами 5 для подсоединения системы передвижки комплекта прикрытия, приваренными через расстояние, равное шагу установки крепи в лаве, и опоры 2, на которой гидростойки 3 устанавливаются в «стаканы» 4 (для придания устойчивости) через расстояние  $H$ , равное шагу передвижки секций крепи. Гидростойки, установленные на опоре в «стаканы», могут иметь любой типоразмер для лав с различной вынимаемой мощностью. Стрела 6, в которой имеются проушины и отверстия 8 для крепления серьги, которая служит для зацепления отрезком цепи с системой передвижки демонтируемой секции, соединена с балкой 1 шарнирно и гидродомкратом 7, при помощи которой она складывается, а затем подтягивает и разворачивает секцию крепи.