

## **СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДЕФОРМАЦИОННЫМ ПЛАКИРОВАНИЕМ**

**Леванцевич М.А., Кукареко В.А., Пилипчук Е.В.**  
*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь, levancev@mail.ru*

**Введение.** Гидроцилиндры возвратно-поступательного движения, использующие для герметизации подвижного штока манжетные резиновые уплотнения, нашли широкое применение во многих типах гидроприводов металлорежущих станков. 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 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 и донор подают электрическое напряжение. 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» (РБ), в режиме «сухого» трения с резиновым контробразцом имеют триботехнические характеристики, сопоставимые с гальваническими хромовыми покрытиями [3]. При этом в ходе проводимых испытаний технологии ЭДПГИ было выявлено, что большое 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 слоев хромовых покрытий, сформированных с использованием технологии ЭДПГИ.

**Методика исследований.** Структурно-фазовые исследования проводились на образцах (10×6×2 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. %). Электродеформационное плакирование осуществлялось поочередно вращающимися металлическими щетками 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, сила тока I=140А. После обработки толщина сформированного слоя покрытия, измеренного с

помощью прибора МТЦ – 3, составила 3...5 мкм для покрытий, сформированных щёткой с ворсом, выполненным из стали 65Г и 7..10 мкм для покрытий, сформированных щёткой с ворсом из нержавеющей стали. Параметр шероховатости поверхности Ra покрытия - 0,25...0,35 мкм для покрытия, выполненного щёткой из стали 65Г и 0,6...0,8 мкм для покрытия, выполненного щёткой из нержавеющей стали. 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<sub>4</sub> - 10 гр, H<sub>2</sub>O - 50 мл), а также Марбле (50 мл HCl, 2 г CuSO<sub>4</sub>, 50 мл C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, 50 мл H<sub>2</sub>O).

Рентгеноструктурный анализ исследуемых образцов выполняли на дифрактометре ДРОН 3.0 в монохроматизированном CoK<sub>α</sub> 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° и временем набора импульсов на точку, равном 10 секундам. С целью 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 «DiffraPlus EVA».

**Результаты испытаний.** Изучение морфологии поверхности хромовых покрытий показало, что рельеф поверхности покрытия имеет развитую шероховатую структуру (рис. 1, а), состоящую из плотно уложенных и вытянутых в направлении вращения щётки различных по размерам микрочастиц хрома. Дефекты покрытия в виде несплошностей и “островковости” отсутствуют.

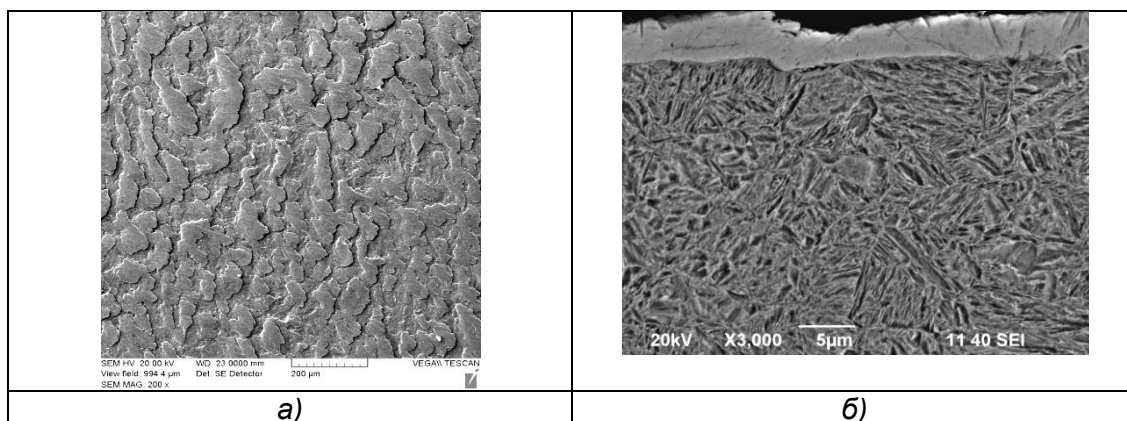


Рисунок 1 – Фото рельефа поверхности

а) и микроструктуры образца

б) из стали 45 с хромовым покрытием, сформированным методом ЭДПГИ

Между слоем хромового покрытия и основой наблюдается граница раздела без видимых признаков наличия промежуточного слоя (рис. 1, б)

Исследование структуры и фазового состава плакированных слоев хромовых покрытий выявило присутствие в них аустенита и хрома (рис. 2, табл. 1). Период кристаллической решетки плакированного хрома составляет,  $a = 0,2884$  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 (Таблица 1).

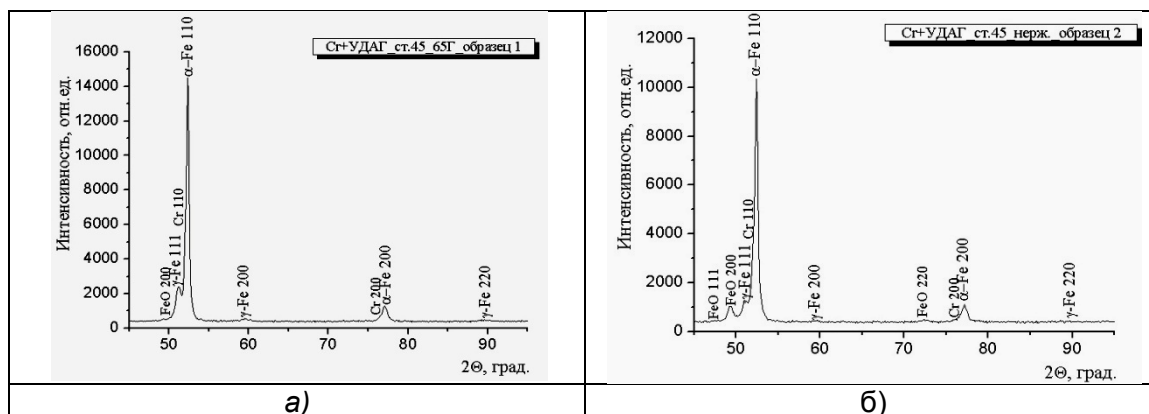


Рисунок 2 – Фрагменты рентгеновских дифрактограмм хромовых покрытий, сформированных методом ЭДПГИ на поверхности стали 45 с использованием металлических щёток с ворсом, выполненным из стали 65Г (а) и нержавеющей стали 03Х17Н14М2 (б)

Таблица 1- Химический состав хромовых покрытий, сформированных на поверхностях образцов из стали 45 методом ЭДПГИ с использованием ВМЩ с ворсом, выполненным из стали 65Г (1) и нержавеющей стали 03Х17Н14М2 (2)

№ образца		Al	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Mo	Fe
1	покрытие		0,44 1	0,06 0	0,01 6	0,50 6	0,55 6	0,18 1	0,15 3	0,020		основ а
	основа	0,13 2	0,44 1	0,05 2	0,01 7	0,12 1	0,55 7	0,18 5	0,17 0			основ а
2	покрытие	0,18 7	0,68 1	0,07 4	0,01 4	2,69 7	0,66 0	1,73 9	0,19 5		0,015	основ а
	основа	0,10 1	0,47 6	0,05 3	0,00 2	0,12 3	0,55 2	0,18 1	0,17 5		0,010	основ а

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 ЭДПГИ наряду с частичками материала донора в состав хромового покрытия переносятся также и элементы проволоочного ворса щетки.

**Выводы.** Результаты экспериментальных исследований позволяют заключить, что на структуру и фазовый состав слоев хромовых покрытий, сформированных методом электродеформационного плакирования гибким инструментом существенное влияние оказывает не только вид и состав используемого материала донора, но и материал проволоочного ворса вращающейся металлической щетки, используемой в качестве гибкого инструмента. Можно полагать, что применение щёток с проволоочным ворсом, изготовленным из нержавеющей стали, будет способствовать повышению коррозионной стойкости формируемых слоев покрытий.

Литература:

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. Глянец // Вестник ТГУ. – 1999, т. 4, Вып. 2, – С. 256-257.
3. Леванцевич, М.А. Износостойкость легированных хромовых покрытий сформированных способом деформационного плакирования с электрическим напряжением / М.А. Леванцевич, Е.В. Пилипчук, В.К. Шелег, В.Н. Калач // Актуальные вопросы машиноведения : сб. научн. трудов / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2017. – Вып. 6. – С. 159–162.