

УДК 621.793

М.А. ЛЕВАНЦЕВИЧ, канд. техн. наук; Е.В. ПИЛИПЧУК

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

В.К. ШЕЛЕГ, член-корр. НАН Беларуси

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В.Н. КАЛАЧ

ОАО «МЗАЛ им. П.М. Машерова», г. Минск

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ СФОРМИРОВАННЫХ СПОСОБОМ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПЛАКИРОВАНИЯ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Приведены результаты триботехнических испытаний хромовых покрытий, сформированных способом деформационного плакирования с электрическим напряжением. В качестве материалов доноров использовались спеченные смеси из порошка хрома с легирующими добавками ультрадисперсной алмазнографитной шихты УДАГ и терморасширенного графита. Установлено, что при трении по контробразцу из резины плакированное хромовое покрытие с добавками УДАГ имеет триботехнические характеристики сопоставимые с покрытием из твердого хрома, сформированным гальваническим осаждением.

Ключевые слова: деформационное плакирование, гибкий инструмент, электрический ток, вращающаяся металлическая щетка, покрытие, гальванический хром, ультрадисперсная алмазнографитная шихта, терморасширенный графит

Введение. Актуальной проблемой современного машиностроительного производства является снижение себестоимости выпускаемой продукции с целью повышения ее конкурентоспособности на мировых рынках. Одним из путей ее решения является поиск и внедрение новых технологий позволяющих при смене типа производства (массовое, серийное, мелкосерийное) эффективно решать задачи по обеспечению требуемой работоспособности изделий на уровне с традиционно используемыми технологиями. Например, применение технологии электролитического хромирования, которую достаточно давно и широко используют в машиностроении как для улучшения эксплуатационных свойств изделий, так и для восстановления геометрических размеров и формы изношенных деталей [1–3], наиболее оправдано в условиях крупносерийного и массового производства, при необходимости формирования покрытий на больших, часто повторяющихся партиях одинаковых изделий. Однако при переходе к условиям мелкосерийного и единичного производства, где периодичность выпуска небольших партий деталей может составлять не более одного раза в 1–2 месяца, эффективность применения гальванического хромирования резко снижается по причине значительного роста удельных затрат на единицу площади покрываемой поверхности. В этой связи возникает острая необходимость в изыскании новых, сравнительно недорогих, способов формирования хромовых покрытий в качестве альтернативы гальваническому хромированию.

Сравнительный анализ существующих средств и методов формирования покрытий показывает, что для формирования покрытий на основе хрома вполне может быть использована технология деформационного плакирования гибким инструментом (ДПГИ) [4–6], отличающаяся простотой реализации и несложностью исполнения необходимых технических средств. Однако в ходе предварительных испытаний по ее применению для хромирования штоков гидроцилиндров, работающих в паре с резиновыми манжетными уплотнениями [7–8],

было установлено, что хромовые покрытия, сформированные способом ДПГИ, по сравнению с хромовыми покрытиями, полученными гальваническим осаждением, обладают не только худшими триботехническими характеристиками, но и в процессе трения способствуют интенсивному изнашиванию резиновых контробразцов [9]. К тому же стоит отметить, что одним из существенных недостатков способа ДПГИ является относительно небольшая толщина слоя формируемых покрытий (10–30 мкм) и сложность формирования покрытий из металлов, обладающих более высокой твердостью и температурой плавления, чем цветные металлы.

В последнее время, для расширения технологических возможностей метода ДПГИ предложено в процессе плакирования осуществлять подачу электрического напряжения на фрикционно взаимодействующие ворс ВМШ и материал донор [10]. В работе [11] представлены результаты испытаний при формировании покрытий из латуни. Установлено, что толщина покрытия, формируемого плакированием с подачей электрического напряжения, в 1,5–2 раза превышает толщину покрытия, формируемого по традиционной технологии ДПГИ. Данный эффект, вероятно, достигается благодаря совокупному воздействию на поверхность материала донора одновременно протекающих в контактирующей со щеткой зоне фрикционно-механического, электроэрозионного и электрохимического процессов. Подобное воздействие способствует быстрому нагреву донора и усилению эффекта схватывания и налипания микрочастиц материала донора на кончики ворсинок щетки, увеличению их массы и количества, и переносу на поверхность обрабатываемой детали. Можно предположить, что путем рационального подбора энергосиловых и электрических параметров процесса деформационного плакирования станет возможным формировать покрытия с повышенной толщиной слоя не только из цветных, но и из других металлов, обладающих более высокой температурой плавления, например, хрома, вольфрама и др., с улучшенным комплексом эксплуатационных свойств.

Цель исследований заключалась в сравнительной оценке триботехнических характеристик хромовых покрытий, сформированных гальваническим осаждением и способом ДПГИ с подачей электрического напряжения, при трении с резиновым контробразцом.

Методика исследований. Для проведения триботехнических испытаний использовались образцы в виде дисков из стали 40Х диаметром 70 мм и толщиной 5 мм, подвергнутые объемной закалке до твердости 50 HRC и последующей шлифовке до Ra 0,32 мкм.

На плоских поверхностях дисков методами гальванического осаждения и ДПГИ с подачей электрического напряжения формировали хромовые покрытия. При этом электролитическое хромирование с осаждением слоя хрома толщиной 40–45 мкм выполнялось по типовой технологии, применяемой в ЗАО «Синта», Республика Беларусь. Деформационное плакирование с подачей электрического напряжения выполняли вращающейся цилиндрической щеткой размером 200×20×22 мм, длиной и диаметром проволочного ворса 55 мм и 0,25 мм соответственно. В качестве материалов-доноров использовали бруски из спеченных порошков чистого и легированного хрома, полученные методами порошковой металлургии. Механическое легирование порошков хрома осуществлялось в смесителе типа «пьяная бочка» с применением добавок из порошков ультрадисперсной алмазнографитной шихты УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) производства фирмы «Синта» (Беларусь) и терморасширенного графита, в количестве не более 1 мас.%. Толщина слоя хромового покрытия, сформированного способом ДПГИ с подачей электрического напряжения, не превышала 15–20 мкм.

Технологические режимы деформационного плакирования: линейная скорость вращения щетки — 30 м/с, натяг — 2 мм, число проходов щетки — 8, частота вращения диска — 7,3 мин⁻¹. Величина подаваемого напряжения — 40 В, сила тока — 60 А.

После формирования хромовых покрытий методом ДПГИ последующей механической обработки поверхностей дисков не проводили, а диски с гальваническим хромовым покрытием подвергали шлифованию до Ra = 0,16...0,32 мкм.

Триботехнические испытания экспериментальных образцов дисков с покрытием проводили на машине трения одностороннего вращения, реализующей трение торцевой поверхности резинового ролика (контробразца) по плоской поверхности диска с покрытием. В качестве контробразцов использовались цилиндрические ролики диаметром 6 и длиной 12 мм, изготовленные из маслостойкой резины с модулем упругости 15 МПа.

Испытания на трение и износ проводились при следующих условиях: скорость вращения диска с покрытием — 834 мин⁻¹; 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 — 60 мин., что соответствовало пути трения 8640 м. Испытания проводили в режиме «сухого трения», т. е. без смазочного материала.

В ходе испытаний регистрировали коэффициент трения скольжения ($f_{тр}$) и весовой износ диска и ролика. Износ роликов и дисков оценивали по величине убыли их массы на аналитических весах ВЛР-200 с точностью до 0,00001 г.

Для повышения достоверности полученных результатов было испытано по три пары трения (диск — ролик) каждого вида хромовых покрытий, включая и пару трения, диск которой не имел покрытия.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Стальные поверхности экспериментальных образцов дисков после нанесения хромового покрытия способом ДПГИ с подачей электрического напряжения приобретают характерный для хрома белый цвет. Внешний вид рельефа поверхности покрытия (рисунок 1 *в, з*) имеет шероховатую структуру, состоящую из плотно уложенных и слегка вытянутых в направлении вращения щетки различных по размерам микрочастиц хрома (см. рисунок 1 *в, з*). Дефекты в виде несплошностей и «островков» отсутствуют. При этом рельеф поверхности плакированных покрытий, сформированных из доноров, изготовленных из порошков чистого и легированного хрома, практически одинаков.

Результаты сравнительных триботехнических испытаний показали, что минимальные значения величин коэффициента трения скольжения имеют пары трения с деформационно-плакированным хромовым покрытием, сформированным из донора, легированного добавкой ультрадисперсной алмазнографитной шихты УДАГ ($f_{тр} = 0,35$) (рисунок 2.1) и гальваническим хромовым покрытием ($f_{тр} = 0,37$) (см. рисунок 2.2), что на 8...14% ниже, в сравнении с парой трения, где диск не имел покрытия ($f_{тр} = 0,4$) (см. рисунок 2.3).

Наибольшее значение величины коэффициента трения скольжения ($f_{тр} = 0,59$) зарегистрировано у пары трения с деформационно-плакированным хромовым покрытием, сформированным из донора, изготовленного из спеченного порошка чистого хрома (см. рисунок 2.4).

Значение величины коэффициента трения скольжения деформационно-плакированного хромового покрытия, сформированного из донора, легированного добавкой из терморасширенного графита ($f_{тр} = 0,5$), на 25% превысило коэффициент трения пары без покрытия (см. рисунок 2.4).

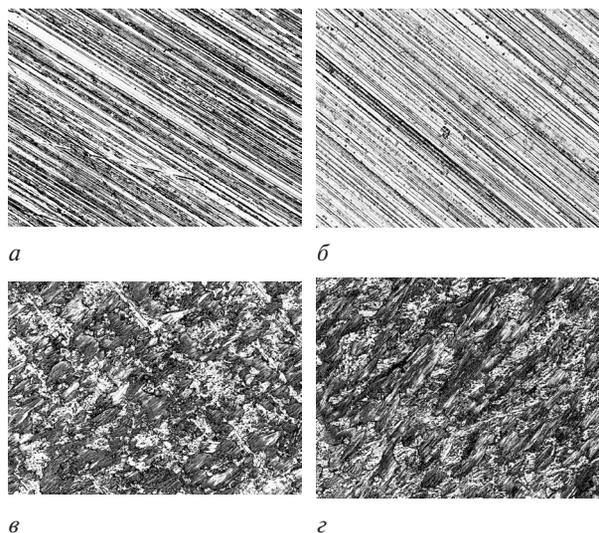


Рисунок 1 — Рельеф поверхности дисков из стали 40Х различными видами хромовых покрытий ($\times 430$):
a — без покрытия; *б* — гальваническое хромовое покрытие;
в, г — хромовые покрытия, сформированные способом ДПГИ с подачей электрического напряжения, из доноров, изготовленных из порошков чистого (*в*) и легированного ультрадисперсной алмазнографитной шихтой УДАГ (*г*) хрома

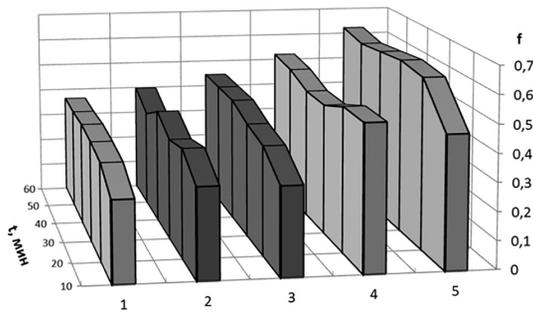


Рисунок 2 — Зависимости коэффициента трения скольжения от времени испытаний при трении торца резинового ролика по поверхности дисков с различными видами хромовых покрытий: 1 — деформационно-плакированное хромовое покрытие с легирующей добавкой УДАГ; 2 — гальваническое хромовое покрытие; 3 — без покрытия; 4 — деформационно-плакированное хромовое покрытие с легирующей добавкой из терморасширенного графита; 5 — деформационно-плакированное хромовое покрытие из чистого хрома

Анализ данных по весовому износу образцов позволяет заключить, что образцы пар трения (диск — ролик-индентор) с гальваническим (рисунок 3.2) и деформационно-плакированным хромовым покрытием, легирующим добавкой УДАГ (см. рисунок 3.4), имеют минимальные и практически одинаковые значения величин весового износа.

Наибольший износ имеют образцы пар трения с дисками без покрытия (см. рисунок 3.1) и с деформационно-плакированным хромовым покрытием из чистого хрома (см. рисунок 3.3).

Заключение. Хромовые покрытия, формируемые деформационным плакированием гибким инструментом с подачей электрического напряжения, наносятся на поверхности основы плотным шероховатым слоем из различных по размеру микрочастиц хрома. Дефекты в виде несплошностей и «островковости» отсутствуют. Рельеф поверхности плакированных покрытий, сформированных из доноров, изготовленных из порошков чистого и легируемого хрома, практически одинаков.

Деформационно-плакированные хромовые покрытия, сформированные из донора, легируемого добавкой ультрадисперсной алмазнографитной шихты УДАГ по своим триботехническим характеристикам и значениям величин весового износа испытываемых образцов сопоставимы с гальваническими покрытиями из твердого хрома, что создает хорошие предпосылки их применения для нанесения покрытий на поверхности деталей гидравлических систем (штока, оси и гильзы гидроцилиндров, фланцы и др.).

Деформационно-плакированные хромовые покрытия, сформированные из доноров, изготовленных из спеченных порошков чистого хрома и с легирующей добавкой терморасширенного графита без последующей их возможной доработки (шлифовки) не пригодны к применению из-за худших триботехнических харак-

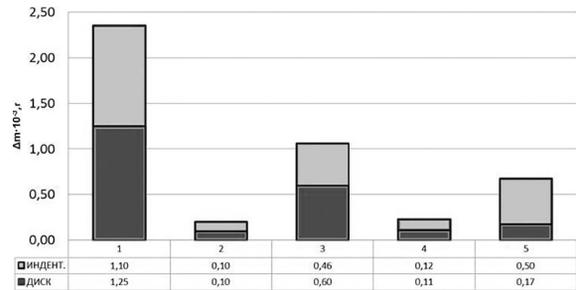


Рисунок 3 — Зависимость величины весового износа образцов пар трения с различными видами хромовых покрытий:

1 — без покрытия; 2 — гальваническое хромовое покрытие; 3 — деформационно-плакированное хромовое покрытие из чистого хрома; 4 — деформационно-плакированное хромовое покрытие с легирующей добавкой УДАГ; 5 — деформационно-плакированное хромовое покрытие с легирующей добавкой из терморасширенного графита

теристик и высоких значений величин весового износа трущихся образцов.

Список литературы

1. Солодкова, Л.Н. Электролитическое хромирование / Л.Н. Солодкова, В.Н. Кудрявцев; под ред. В.Н. Кудрявцева. — М.: РХТУ, 2013. — 191 с.
2. Композиционные электрохимические покрытия на основе хрома / В.Н. Целуйкин [и др.] // Нанотехнологии. Наука и производство. — 2014. — № 3. — С. 69–71.
3. Беленький, М.А. Электроосаждение металлических покрытий: Справ. / М.А. Беленький, А.Ф. Иванов. — М.: Металлургия, 1985. — 288 с.
4. Белевский, Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом / Л.С. Белевский. — Магнитогорск: Магнитогорский лицей РАН, 1996. — 230 с.
5. Анцупов, В.П. Теория и практика плакирования изделий гибким инструментом / В.П. Анцупов. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999. — 241 с.
6. Витязь, П.А. Работоспособность изделий, плакированных композиционными покрытиями / П.А. Витязь, М.А. Леванцевич; под ред. В.В. Клубовича // Перспективные материалы и технологии. — Витебск: ВГТУ. — 2013. — С. 275–301.
7. Голубев, Г.А. Контактные уплотнения вращающихся валов / Г.А. Голубев. — М.: Машиностроение, 1976. — 264 с.
8. Кондаков, Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л.А. Кондаков. — М.: Машиностроение, 1982. — 216 с.
9. Триботехнические характеристики плакированных хромовых покрытий / М.А. Леванцевич [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2016. — Вып. 5. — С. 394–398.
10. Формирование покрытий деформационным плакированием с подачей электрического напряжения / М.А. Леванцевич [и др.] // Перспективные материалы и технологии: сб. статей междунар. симпозиума, Витебск, 22–26 мая 2017 г.: в 2-х ч. / ВГТУ; под ред. В.В. Рубаника. — Витебск, 2017. — Ч. 1. — С. 183–186.
11. 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.

Levantsevich M.A., Pilipchuk E.V., Sheleg V.C., Kalach V.N.

Wear resistance of the alloyed chromium coatings formed by the deformation cladding method with electric tension

The results of tribotechnical tests of chromium coatings formed by the method of deformation cladding with electric tension are presented. Sintered mixtures of chromium powder with alloying additives of ultradisperse diamond-graphite charge UDAG and thermally expanded graphite were used as donor materials. It is established that when rubbing of a rubber check sample, a clad chrome coating with UDAG additives has tribotechnical characteristics comparable to a hard chromium coating formed by galvanic deposition.

Поступил в редакцию 17.08.2017.