

позволяющем определять диффузионно-подвижный водород, вызывающий первичное наводороживание. Установлено, что увеличение плотности тока почти не влияет на содержание водорода в покрытиях. Следовательно, водород, выделяющийся на катоде при совместном разряде ионов хрома и ионов водорода, участвует в основном в процессе вторичного наводороживания, т.е. является прочно связанным в виде водородсодержащих соединений типа гидридов и гидроксидов хрома. Введение в оксалатно-сульфатный электролит хромирования наноразмерных частиц ZrO_2 приводит к снижению содержания водорода в покрытии на 15-20%, а проведение обезводороживающего отпуска после осаждения покрытия снижает содержание водорода в осадках Cr (III) на 25-30 %, что является результатом десорбции подвижного водорода из слоёв осажденного осадка.

Испытания на малоцикловую усталость (МЦУ) образцов с «трёхвалентными» и стандартными хромовыми покрытиями проводили на базе 10^4 циклов при $\sigma_{max} = 785$ МПа, $\nu = 10$ Гц, $R = 0,1$ после проведения обезводороживающего отпуска хромированных образцов при температуре 230 °С в течение 24 часов. Результаты сравнительных

испытаний на МЦУ показали, что долговечность образцов с покрытием Cr(III) сопоставима с долговечностью образцов, хромированных в стандартном электролите: количество циклов до разрушения образцов с «трёхвалентными» покрытиями составляет 48200, для образцов с «шестивалентными» покрытиями – 48600 циклов. Фрактографические исследования изломов показали, что зарождение усталостных трещин, как для «трёхвалентных», так и для стандартных покрытий, начинается на границе раздела «покрытие-металл», но характер разрушения образцов с покрытиями Cr(III) и Cr(VI) имеет различие. Для образцов с покрытием Cr(VI) характерно хрупкое межзёрненное разрушение покрытия с образованием сетки микротрещин, а аморфная структура покрытия Cr(III) исключает межзёрненное разрушение этого покрытия.

Проведённые исследования свидетельствуют о том, что процесс хромирования в электролитах, содержащих трёхвалентные соли хрома и добавки наноразмерных частиц оксида циркония не вызывает водородного охрупчивания стали 30ХГСА, а долговечность образцов с покрытием Cr(III) сопоставима с долговечностью образцов со стандартным хромовым покрытием.

УДК 621.452.3

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ В ТРЁХВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ В ПРИСУТСТВИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

Салахова Р.К., Семенычев В.В.

УНТЦ филиал ФГУП «ВИАМ», г. Ульяновск

Повышение износостойкости и антифрикционных свойств деталей машин и механизмов путём нанесения электрохимических покрытий общеизвестно, и с давних пор находит широкое применение в различных отраслях машиностроения. Известно, что высокой эффективностью с триботехнической точки зрения обладают хромовые покрытия. Это обусловлено такими уникальными свойствами хрома как твёрдость, повышенное сопротивление износу и присущая

ему способность к «антисхватываемости» при контакте с другими металлами.

Реализуя исполнение требований по охране окружающей среды, УНТЦ ФГУП ВИАМ проводит работы по снижению экологической нагрузки технологических процессов электроосаждения покрытий. В настоящее время в рамках кластерной гальваники разработан процесс «трёхвалентного» хромирования как альтернатива стандартному хромированию в токсичных электролитах на основе шестивалентных соедине-

ний хрома, обеспечивающий снижение класса экологической опасности процесса с 1-го на 2-ой.

Для осаждения «трёхвалентного» хромового покрытия в качестве базового электролита использовали оксалатно-сульфатный электролит с добавками наноразмерных частиц оксидов металлов Al_2O_3 или ZrO_2 (средний диаметр 40 нм, удельная поверхность до $40 \text{ м}^2/\text{г}$) и солей легирующих элементов (Mo, V). Электролиз вели без разделения анодного и катодного пространства с использованием платинированных титановых анодов. Хромовое покрытие толщиной 45-50 мкм осаждали на образцы из стали 30ХГСА.

Испытания на трение-износ пары «хром–сталь 30ХГСА» проводили на машине И-47 в условиях сухого торцового трения

при площади контакта $2,5 \text{ см}^2$ (без покрытия – вращающийся образец, с покрытием – невращающийся образец), среда – воздух, осевая нагрузка $P_{oc} = 280 \text{ Н}$, скорость скольжения 250 м/с , длительность испытаний составила 60 мин. Износостойкость хромового покрытия, осаждённого в электролите на основе трёхвалентного хрома, сравнивали с износостойкостью стандартного хрома. Также было исследовано влияние добавок в трёхвалентный электролит молибдата и ванадата натрия на триботехнические свойства покрытий Cr(III).

Результаты исследования износостойкости «трёхвалентных» хромовых покрытий при микротвёрдости 8500-9000 МПа и 11000-11500 МПа сведены в таблицу.

Таблица 1- Результаты исследования износостойкости «трёхвалентных» хромовых покрытий

Вид хромового покрытия (пара трения хром-сталь 30ХГСА)	Микротвёрдость, МПа					
	8500-9000			11000-11500		
	Износ, мкм		Коэфф. трения	Износ, мкм		Коэфф. трения
	покр.	контртело		покр.	контртело	
Cr(III)	30	50	0,58	15	40	0,60
Cr(III) + Al_2O_3	25	35	0,58	10	35	0,56
Cr(III) + ZrO_2	15	35	0,56	6	35	0,56
Cr(III) + ZrO_2 + Mo + V	10	30	0,55	5	20	0,56

Анализ полученных результатов, позволяет сделать вывод о том, что износ испытанных покрытий с микротвёрдостью 11000-11500 МПа в 2 раза меньше износа покрытий с микротвёрдостью 8500-90000 МПа, при этом износ контртела (сталь 30ХГСА) и коэффициенты трения мало зависят от величины микротвёрдости покрытий.

Как видно из таблицы, минимальные значения износа «трёхвалентного» покрытия и стали 30ХГСА получены при испытании хромового покрытия легированного ванадием и молибденом и осаждённого в присутствии наночастиц двуокиси циркония (покрытие Cr(III) + ZrO_2 + Mo + V), их износ в 3 раза меньше, чем покрытий Cr(III), получен-

ных в электролитах без наночастиц. Причём у покрытий, полученных в электролитах с наночастицами ZrO_2 , износ меньше в 1,5 раза по сравнению с покрытиями, осаждёнными в электролитах с наночастицами Al_2O_3 .

Стандартное хромовое покрытие Cr(VI) характеризуется следующими показателями: износ покрытия – 9 мкм, износ контртела – 35 мкм, коэффициент трения 0,61. Таким образом, по триботехническим характеристикам кластерное «трёхвалентное» хромовое покрытие имеет конкурентное преимущество перед традиционными хромовыми покрытиями, осаждёнными в стандартных электролитах.