

Таблица 2 – Величины коэффициента трения в зависимости от режимов испытаний

Коэффициент трения f для пары трения	Режимы испытаний (удельное давление P /скорость V)		
	$P=0,2$ МПа, $V=0,08$ м/с	$P=0,4$ МПа $V=0,08$ м/с	$P=0,4$ МПа $V=0,16$ м/с
12X18H10T +TiN — ШХ15	0,12	0,14	0,076
12X18H10T+TiN — 12X18H10T+TiN	0,108	0,123	0,057
12X18H10T + (Cu-TiN) _x — ШХ15	0,043	0,044	0,028

Как видно из таблицы, покрытие (Cu-TiN)_x при данных режимах испытаний эффективнее покрытия TiN соответственно в 2,7...3,2 раза при трении по закаленной стали и в 2...2,8 раза при трении по аналогичному покрытию. Кроме того, отмечено, что для всех пар трения коэффициент трения возрастает с увеличением нагрузки и уменьшается с увеличением скорости скольжения образцов. Таким образом, мультислойное полосчатое покрытие (Cu-TiN)_x эффективнее монослойных покрытий за счет образования масляных карманов и возможности реализации режима избирательного переноса.

УДК621.793.1

ФОРМИРОВАНИЕ МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПОЛОСЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

Фролов И.С., Иващенко С.А., Фролов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет, Минск,
Республика Беларусь

Вакуумно-плазменное осаждение покрытий, как процесс поверхностного упрочнения деталей, отличается многообразием и широкими возможностями комплексного использования при создании экономичных, высокоэффективных композиционных материалов, способных работать в жестких условиях эксплуатации механизмов и машин [1]. Одним из перспективных направлений развития данного способа является получение износостойких композиций путем создания мультислойных систем-покрытий, состоящих из большого количества слоев, толщина которых составляет несколько периодов кристаллической решетки. Наряду с мультислойными покрытиями постоянного химического состава из нитрида титана, были предложены покрытия переменного состава, в частности, полосчатые покрытия, представляющие собой чередование мультислойных полос (участков) из износостойкого и антифрикционного материалов и сочетающие в себе преимущества мультислойных покрытий постоянного состава и обычных полосчатых покрытий [2]. В качестве антифрикционного материала покрытия может использоваться медь, бронза и некоторые другие пластичные металлы.

Расположение полос из антифрикционного материала зависит от формы детали, типа движения в паре трения (возвратно-поступательное или вращательное) и направления вектора скорости относительного скольжения. Для плоских деталей при возвратно-поступательном движении полосы располагают параллельно друг другу в направлении, перпендикулярном вектору скорости относительного скольжения. Для деталей больших габаритов, длина и ширина которых соизмеримы, может использоваться шахматная схема расположения антифрикционных полос. В случае вращательного движения плоской поверхности полосы целесообразно располагать радиально относительно оси вращения детали. Для деталей типа тел вращения при возвратно-поступательном движении в паре трения полосы наносятся в виде колец, а при вращательном движении – в виде полос, перпендикулярных вектору скорости относительного скольжения.

Полосчатые покрытия обеспечивают снижение внутренних напряжений и, как следствие, уменьшение деформации нежестких деталей за счет разделения температурных потоков в покрытии. При этом относительно пластичные полосы из антифрикционного материала выполняют роль температурных барьеров и одновременно являются демпферами, компенсирующими увеличение или уменьшение линейных размеров покрытия при его остывании под влиянием разных коэффициентов термического расширения покрытия и основы, а также изменение объема конденсата вследствие происходящих в нем субструктурных изменений. К преимуществам полосчатых покрытий можно отнести и повышение износостойкости за счет поступления твердой смазки в зону трения.

Формирование полос покрытия осуществляется с помощью накладных масок (экранов специальных устройств) с прорезями соответствующих размеров. Наряду с функцией формообразования, маски выполняют роль холодильных элементов, обеспечивая дополнительный отвод теплоты от поверхности детали и снижая тем самым интегральную температуру поверхности.

Для формирования мультислойных полосчатых покрытий была разработана технология поочередно-последовательного их нанесения в вакууме [3]. Данная технология заключается в том, что участки из различных материалов получают путем многократного поочередного нанесения слоев материалов при периодическом движении детали между катодами – испарителями из наносимых материалов, работающими в импульсном режиме. Периодическое движение детали между катодами-испарителями из наносимых материалов, согласованное с импульсным режимом их работы строгой математической зависимостью, позволяет обеспечить необходимую точность процесса нанесения покрытия с участками из различных материалов по предлагаемой технологии при любых схемах движения детали между катодами, а также избежать перегрева и нежелательных структурных превращений материала основы; уменьшить внутренние напряжения в покрытии.

Толщина слоя покрытия, наносимого за один цикл, должна лежать в строго определенных пределах. При этом нижний предел определяется толщиной нескольких атомарных слоев (2-3 и более), позволяющих обеспечить

сплошность покрытия. Верхний предел толщины слоя для металлов IV–VI групп таблицы Менделеева и их карбидов, нитридов и карбонитридов равен $50-60a$, где a – период кристаллической решетки. При превышении этой толщины происходит формирование нежелательной для износостойких покрытий столбчатой структуры. Для реализации разработанной технологии были сконструированы специальные устройства, обеспечивающие оптимальную кинематику движения деталей в процессе нанесения покрытий.

1. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. – Мн.: Издательство НПО «Интеграл», 1998. – 285 с.
2. Фролов И.С., Мрочек Ж.А., Иващенко С.А. Повышение триботехнических характеристик деталей из немагнитных материалов нанесением композиционных вакуумно-плазменных покрытий // Материалы международной 53-й науч.-техн. конф. проф., препод., научн. работн. и аспирантов Белорус. госуд. политехн. академии: В 4-х ч. – Мн., 1999. – Ч. 1 – С. 179.
3. Фролов И.С. Формирование вакуумно-плазменных мультислойных композиций для особых условий эксплуатации // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8-9 апреля 2015 г. – Минск: Бизнесофсет, 2015. – С. 178-180.

УДК 621.9

УПРАВЛЕНИЕ НАСЛЕДОВАНИЕМ СВОЙСТВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕМ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ И ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**Чижик С.А.¹, Кузнецова Т.А.¹, Бородавко В.И.², Хейфец М.Л.²,
Грецкий Н.Л.², Батаев А.А.³, Панин А.В.⁴, Колмаков А.Г.⁴, Кречетов А.А.⁵,
Блюменштейн В.Ю.⁵**

- 1) Институт тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси,
- 2) ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь;
- 3) Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация
- 4) Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, г. Томск, Российская Федерация
- 5) Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

Проблемы в разработке ресурсосберегающих технологий производства изделий всегда комплексные. Невозможно рационально обеспечить качество материалов и поверхностей для надежной эксплуатации изделий, только на