

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА НЕМАГНИТНЫХ ДЕТАЛЯХ

В условиях современного производства высокоточных приборов возникает необходимость в изготовлении прецизионных деталей из немагнитных, коррозионно-стойких материалов. Обеспечить удовлетворительные эксплуатационные характеристики таких деталей можно путем достижения высокой износостойкости и хороших фрикционных характеристик их трущихся поверхностей в сочетании с достаточной контактной жесткостью. Поскольку для изготовления немагнитных коррозионно-стойких деталей могут быть использованы в основном нетермоупрочняемые материалы (латуни, бронзы, аустенитные стали, алюминиевые сплавы), получение их высоких эксплуатационных характеристик не всегда обеспечивается.

Одним из путей решения данной проблемы является нанесение на рабочие поверхности деталей тонкопленочных ионно-вакуумных покрытий [1, 2]. Однако эффективное применение таких покрытий невозможно без изучения их эксплуатационных характеристик.

В работе приведены результаты исследования микротвердости, параметров шероховатости (R_{max} , R_a , t_p), износостойкости и фрикционных характеристик тонкопленочных покрытий из углеродной алмазоподобной пленки, нитрида титана, а также покрытий, полученных химическим способом и анодным оксидированием.

Микротвердость тонкопленочных покрытий измерялась на приборе ПМТ-3, параметры шероховатости — на профилометре TALYSURF-6. Для исследования фрикционных характеристик покрытий была принята схема торцового трения кольцо — плоскость. В качестве образцов для нанесения покрытий использовались диски, изготовленные из различных материалов: латуни ЛС59, бронзы Бр.А10, стали 12Х18Н10Т, алюминиевых сплавов Д16, Д16Т, АМц. Момент трения фиксировался на ленте самописца, подключенного к индуктивному измерителю-преобразователю машины трения. Коэффициент трения

$$f_{тр} = M_{тр} / (Pr),$$

где $M_{тр}$ — момент трения, Н·м; P — нагрузка на образец, Н; r — средний радиус поверхности трения, м.

Исследование фрикционных характеристик трущихся пар производилось в условиях трения без смазочного материала при следующих режимах: скорость относительного скольжения 0,1...1 м/с, давление 0,1...1 МПа. Износ тонкопленочных покрытий определялся профилографированием поверхности трения через 3, 10, 30, 60 мин после начала испытания и далее через каждый час работы машины трения.

На рис. 1 показано изменение параметров шероховатости поверхности образцов из алюминиевого сплава, латуни и коррозионно-стойкой стали после нанесения покрытия из углеродной алмазоподобной пленки. Из приведенных

зависимостей следует, что при исходном $Ra < 0,4...0,5$ мкм с нанесением покрытия увеличивается среднее арифметическое отклонение профиля поверхностей напыленных слоев. Если $Ra = 0,5...1$ мкм, нанесение углеродного алмазоподобного покрытия не приводит к существенному изменению параметров шероховатости образцов. Аналогичное влияние на характер изменения высоты микронеровностей образцов из стали 12Х18Н10Т оказывает нанесение покрытия из нитрида титана [3].

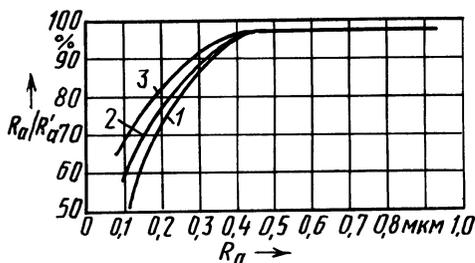


Рис. 1. Изменение параметров шероховатости поверхности при нанесении покрытий из углеродной алмазоподобной пленки на образцы:

1 – из сплава Д16Т; 2 – латуни ЛС59; 3 – стали 12Х18Н10Т; Ra – исходный параметр шероховатости; Ra' – после нанесения покрытия

Изменение относительной опорной длины профиля для образцов из аустенитной стали 12Х18Н10Т после нанесения углеродной алмазоподобной пленки при различных исходных параметрах шероховатости показано на рис. 2. Нанесение покрытий приводит к уменьшению относительной опорной длины профиля образцов при любых исходных параметрах шероховатости образцов. Особенно значительно снижается t_p при минимальных исходных параметрах их шероховатости. Аналогичная картина наблюдается и для образцов из других исследуемых материалов. Значительное уменьшение t_p связано, по-видимому, с особенностями осаждения покрытия на образцах. Поскольку при нанесении покрытия подложка находится под напряжением, заряженные частицы осаждаются в первую очередь на выступах поверхности образца. Это приводит к увеличению параметров шероховатости Ra , R_{max} поверхности образцов после нанесения покрытия и к уменьшению относительной опорной длины профиля.

Микротвердость исследуемых материалов до и после нанесения различных упрочняющих покрытий приведена в табл. 1.

Нанесение покрытий обеспечивает существенное повышение микротвердости поверхностного слоя исследуемых деталей. На поверхности образцов с покрытием из алмазоподобной углеродной пленки не удалось зафиксировать отпечаток алмазной пирамидки при нагрузке 0,5 Н. Микротвердость поверхности покрытия из нитрида титана зависит от пластичности материала подложки, поскольку при относительно небольшой толщине покрытия более мягкий материал подложки способствует некоторому деформированию покрытия, в результате чего микротвердость поверхности образца из сплава Д16Т с покрытием из нитрида титана несколько меньше, чем у образцов из стали 12Х18Н10Т с аналогичным покрытием.

Исследование износостойкости образцов показало, что при принятых режимах испытания она зависит от материала и параметров шероховатости трущихся поверхностей. Крайне низка износостойкость у исследуемых образцов

без покрытия. После 3...5 мин испытания наблюдалось катастрофическое изнашивание поверхностей трения в результате заедания и задира. При этом резко возрастал коэффициент трения скольжения.

Испытания образцов из алюминиевых сплавов Д16Т и АМц, упрочненных химическим и анодным оксидированием, также показали низкую работоспособность данных пар трения при указанных выше режимах испытания. Характер и интенсивность изнашивания рассматриваемых пар определяются в основном схватыванием поверхностей трения. Параметры шероховатости контактирующих поверхностей практически не оказывают влияния на их износостойкость ввиду интенсивного изнашивания пар трения.

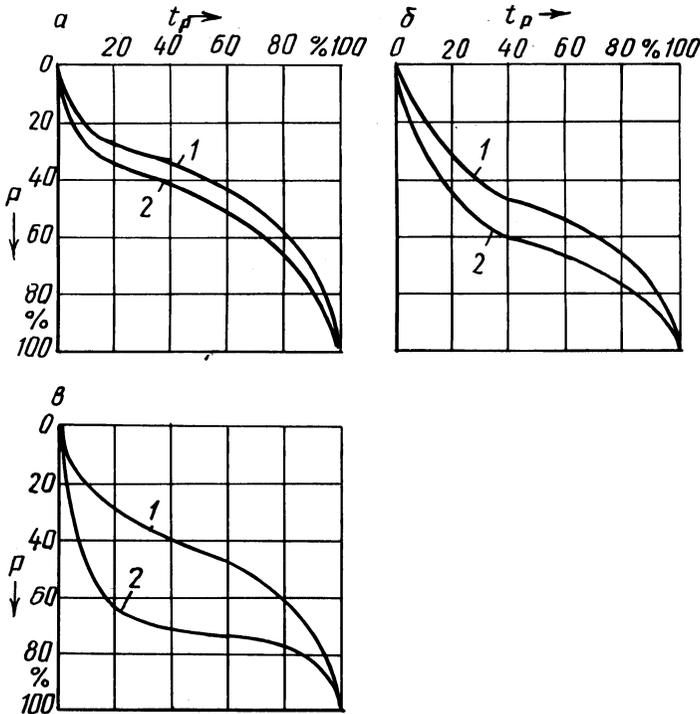


Рис. 2. Изменение относительной опорной длины профиля t_p образцов из стали 12Х18Н10Т при нанесении углеродной алмазоподобной пленки:

а – при исходном параметре шероховатости $Ra = 0,6$ мкм; б – $0,36$ мкм; в – $0,13$ мкм; 1 – до нанесения покрытия; 2 – после нанесения покрытия

Продолжительность работы пары трения Д16Т + TiN – Д16Т + TiN до срыва покрытия толщиной $1,5...2$ мкм (начало катастрофического изнашивания определялось по резкому изменению коэффициента трения) составила 90 мин. При этом не наблюдалось заедания поверхностей трения.

Наиболее работоспособными оказались образцы с покрытиями из углеродной алмазоподобной пленки. При трении таких покрытий, нанесенных на стальную основу (сталь 12Х18Н10Т), изнашивание поверхностей трения про-

| Материал основы | Микротвердость $H_{\mu 50}$, МН/м ² , | | | | |
|-----------------|---|---------------------------|------------------------|--------------------|---|
| | основы | покрытия, полученного | | | |
| | | химическим оксидированием | анодным оксидированием | в виде пленки TiN* | в виде углеродной алмазоподобной пленки |
| Сталь 12Х18Н10Т | 4000 | | | 19 000 | Более 72 000 |
| Латунь ЛС59 | 1850 | | | 13 000 | Более 72 000 |
| Сплав Д16Т | 1700 | 4000 | 6300 | 12 000 | Более 72 000 |
| Бронза Бр.А10 | 1250 | | | 10 000 | Более 72 000 |

*Толщина покрытия 1...3 мкм.

исходит в основном за счет скалывания покрытия с выступов микронеровностей поверхности. При изучении поверхностей трения под микроскопом отчетливо видны участки основы, с которых срезано покрытие. С увеличением исходных параметров шероховатости (Ra , $Rmax$) трущихся поверхностей увеличивается количество участков со срезанным покрытием.

При нанесении аналогичных покрытий на более мягкую основу (алюминиевые сплавы, латунь) во время испытаний происходит смятие выступов микронеровностей профиля, что ведет к продавливанию покрытия и его катастрофическому разрушению. Задиры в этих парах происходят после разрушения значительных участков покрытия из-за схватывания материалов подложек, а также за счет наличия в зоне трения продуктов изнашивания.

При трении образцов с покрытиями из углеродной алмазоподобной пленки по контртелу из закаленной стали ШХ15 твердостью свыше 60 HRC₃ наблюдалось интенсивное изнашивание контртела с образованием на его поверхности налипаний коричневого цвета. При этом на покрытии заметных следов изнашивания не обнаруживалось.

На рис. 3 показано изменение износостойкости алмазоподобного покрытия, нанесенного на основу из стали 12Х18Н10Т, в зависимости от продолжительности испытания и материала контртела.

При трении пары с алмазоподобными покрытиями износостойкость образцов с $Ra = 0,11...0,14$ мкм более чем в 2 раза выше, чем образцов с $Ra = 0,6...0,75$ мкм. Для образцов с меньшими параметрами шероховатости характерен незначительный износ на участке приработки покрытия.

Алмазоподобные покрытия, нанесенные на основу из сплава Д16Т, изнашиваются интенсивнее покрытий, нанесенных на более жесткую основу (сталь 12Х18Н10Т) (рис. 3).

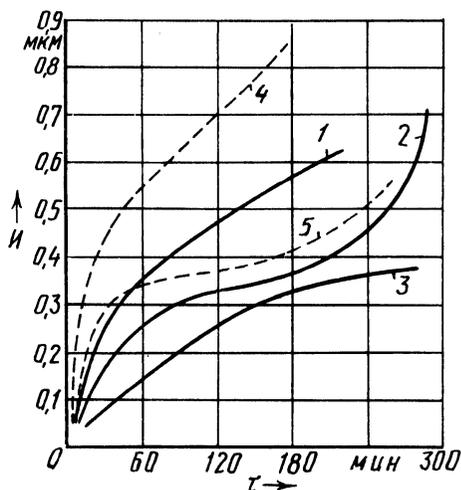
Коэффициенты трения исследуемых пар приведены ниже:

| Пара трения | Коэффициент трения |
|-----------------------------------|--------------------|
| ЛС59 – Бр.А10 | 0,39...0,46 |
| Д16 – Д16 | 0,8... 0,93 |
| Бр.А10 – Х18Н10Т | 0,61...0,67 |
| ЛС59 – Х18Н10Т | 0,38...0,45 |
| Д16Т + ан. окс. – Д16Т + ан. окс. | 1,08...1,24 |
| АМц + хим. окс. – АМц + хим. окс. | 0,95...1,05 |
| Д16Т + TiN – Д16Т + TiN | 0,4 ...0,52 |
| Д16Т + TiN – ШХ15 | 0,21...0,31 |
| Бр.А10 + УАПП – Бр.А10 + УАПП | 0,18...0,25 |
| Х18Н10Т + УАПП – Х18Н10Т + УАПП | 0,12...0,22 |
| Х18Н10Т + УАПП – ШХ15 | 0,14...0,29 |
| Д16Т + УАПП – Д16Т + УАПП | 0,18...0,34 |
| Д16Т + УАПП – ШХ15 | 0,2 ...0,35 |
| ЛС59 + УАПП – ШХ15 | 0,22...0,29 |

Примечание. Ан. окс. – анодное оксидирование, хим. окс. – химическое оксидирование, УАПП – углеродная алмазоподобная пленка.

Рис. 3. Изменение линейного износа I углеродной алмазоподобной пленки на образцах из стали 12Х18Н10Т (1, 2, 3) и сплава Д16Т (4, 5) во времени при исходных параметрах шероховатости поверхности R_a :

1 – 0,6...0,75 мкм; 2 – 0,4...0,45; 3 – 0,11...0,14; 4 – 0,45; 5 – 0,12...0,13 мкм (контртело – из стали 12Х18Н10Т (1, 2, 3) и сплава Д16Т (4, 5) с углеродной алмазоподобной пленкой)



Самым низким и стабильным коэффициентом трения характеризуются алмазоподобные покрытия. При любом сочетании пар трения $f_{тр}$ постоянно возрастает с увеличением продолжительности испытания. Это особенно заметно при трении образцов с более мягкой основой (алюминиевые сплавы, латунь, бронза), так как с увеличением продолжительности испытания параметры шероховатости поверхностей трения уменьшаются, оголяются участки основного материала образцов, материал поверхностного слоя при этом активизируется. При некотором снижении механической составляющей коэффициента трения резко усиливается зависимость $f_{тр}$ от его молекулярной составляющей.

Проведенные исследования показали высокую эффективность применения тонкопленочных ионно-вакуумных покрытий для повышения эксплуатационных характеристик немагнитных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельницкий В.Е., Падалка В.Г., Вакула С.И. Некоторые свойства алмазоподобных углеродных пленок, полученных при конденсации плазменного потока в условиях использования высокочастотного потенциала // Журн. техн. физики. — 1978. — № 2. — С. 377–381.
2. Свойства вакуумно-плазменных покрытий на основе нитрида титана / В.М. Береснев, М.П. Борушко, А.П. Любченко и др. // Диффузион. насыщение и покрытия на металлах. — Киев: Наук. думка, 1983. — С. 59–63.
3. Бабук В.В., Иващенко С.А., Моисеенко С.И. Изменение исходной шероховатости плоских деталей при нанесении покрытий из нитрида титана // Машиностроение. — Мн.: Выш. шк., 1983. — Вып. 8. — С. 88–90.

УДК 621.78.019.84

Н.В. СПИРИДОНОВ, А.Б. ПАНКОВ, Т.Э. ОПЕКУНОВА

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ

Использование самофлюсующихся сплавов системы Ni—Cr—B—Si—C позволяет получать покрытия высокой износ- и коррозионной стойкости. Покрытия наносят плазменным или газоплазменным напылением с последующим оплавлением. Наряду с традиционными методами оплавления — печным, индукционным, газовой горелкой, сопровождающимися объемным нагревом детали, все большее применение находит оплавление источниками локального нагрева, в частности лучом лазера.

Исследования структуры оплавленными лазером покрытий, их эксплуатационных характеристик, и в частности коррозионной стойкости, проводились на цилиндрических образцах из стали 45 диаметром 16 мм и высотой 8 мм. Покрытия толщиной 0,6...0,8 мм наносили на установке плазменного напыления УПУ-ЗД при силе тока $I = 250$ А, напряжении $U = 90$ В, дистанции напыления 150 мм. Оплавление производили на установке непрерывного действия ЛГН-702: мощность излучения — 800 Вт, скорость перемещения луча — 20...150 мм/мин, диаметр фокального пятна — 1...5 мм. В качестве эталонных применялись образцы с покрытиями, оплавленными газовой горелкой "Москва" при 1050...1080 °С.

Металлографические исследования выполнялись на оптическом микроскопе Neophot-21 с использованием методов цветного химического и электрохимического травления.

Рентгенофазовый анализ проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3,0 по стандартной методике.

Исследовалась коррозионная стойкость покрытий в 5 %-м растворе H_2SO_4 . Поляризационные кривые снимали на потенциостате П-5827М при температуре 20 °С в условиях естественной аэрации. Применяли трехэлектродную прижимную ячейку с площадью рабочей поверхности исследуемого электрода 1 см². В качестве вспомогательного электрода использовали платиновую проволоку. Электродом сравнения служил насыщенный хлорсеребряный электрод. Скорость развертки потенциала составляла 1 мВ/с.