

2. **Алифанов, А. В.** Изготовление концевого биметаллического режущего инструмента методом горячего пластического деформирования / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова, ФТИ НАН Беларуси // *Литье и металлургия*. – 2006. – № 4 (40). – С. 125–127.

3. **Гильденгорн, М. С.** Прессование со сваркой полых изделий из алюминиевых сплавов / М. С. Гильденгорн, В. Г. Керов, Г. А. Кривonos. – М.: Металлургия, 1975. – 240 с.

4. **Опыт** использования порошковой быстрорежущей стали для изготовления рабочих элементов тяжело нагруженных штампов / Ю. С. Холодняк [и др.] // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2007. – № 5. – С. 23–29.

5. **Макаренко, Н. А.** Ремонт штампов холодной штамповки / Н. А. Макаренко // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2007. – № 7. – С. 42–46.

6. **Способ** изготовления стержневых деталей (положительное решение по заявке № а20060140 от 19.02.2006 на выдачу патента РБ).

7. **Способ** диффузионной сварки сталей (заявка № а20060507 от 25.05.2006 на выдачу патента РБ).

8. **Качанов, И. В.** Оптимизация энергосилового режима при ударном выдавливании стержневых изделий с плакированием торцевой части / И. В. Качанов, В. Н. Шарий // *Вестник БНТУ*. – 2008. – № 2. – С. 198–200.

9. **Качанов, И. В.** Бесконтактное измерение поверхностной температуры при скоростном выдавливании стержневых изделий с плакированием торцевой части / И. В. Качанов, В. Н. Шарий // *Литье и металлургия*. – 2008. – № 2. – С. 198–200.

10. **Гельман, А. С.** Основы сварки давлением / А. С. Гельман. – М.: Машиностроение, 1970. – 312 с.

Поступила 9.09.2008

УДК 621.723

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СПЛАВА Д16Т

Докт. техн. наук, доц. ИВАЩЕНКО С. А., асп. КОЙДА С. Г.

Белорусский национальный технический университет

Одна из основных проблем, общая для всех областей техники, – повышение надежности и долговечности машин, механизмов и приборов.

Главной причиной выхода из строя машин, сокращения срока их службы является износ, поэтому большинство задач, решаемых с целью повышения надежности и долговечности машин в большей или меньшей степени, связано с устранением износа.

Традиционные методы упрочнения деталей (термическая и химико-термическая обработка, пластическое деформирование поверхности) в ряде случаев не обеспечивают существенного повышения износостойкости рабочих поверхностей. В первую очередь это относится к изделиям из аустенитных сталей, сплавов на основе меди и алюминия. В связи с этим особую актуальность приобретают работы, направленные на поиск путей изготовления деталей, об-

ладающих комплексом специальных свойств (высокая коррозионная стойкость, теплостойкость, немагнитность и др.) и имеющих высокие эксплуатационные характеристики: малый износ, особенно в условиях трения без смазочного материала, исключение явления «схватывания», хорошую приработку сопряженных поверхностей, достаточную стойкость в условиях агрессивных сред и повышенных температур. Очевидно, наиболее перспективным направлением создания поверхностных слоев с улучшенными эксплуатационными свойствами является формирование на рабочих поверхностях изделий упрочняющих покрытий.

В процессе эксплуатации деталей машин в зоне скользящего контакта происходит комплекс физических, физико-механических, электрохимических, акустических и других явлений, которые влияют на процессы трения и износа металлов [2].

Формирование изнашиваемой поверхности происходит в результате суммирования различных по интенсивности и видам элементарных актов разрушения и изменений механических и физико-химических свойств материала под воздействием внешних факторов.

Вероятностный характер параметров износостойкости обуславливает методические трудности их исследования.

Различают следующие общие методы определения износа деталей машин на основе [1]: микрометрирования; взвешивания; обогащения смазочного масла железом, определяемого химическим анализом; обогащения масла радиоактивными продуктами износа деталей; метода радиоактивных изотопов; профилографирования с помощью обычных и специальных профилографов; определения износа методом искусственных баз.

Метод испытаний на износостойкость должен учитывать специфику работы пары трения, которая определяется сочетанием характеристик контактирующих тел, условиями контактирования и относительного перемещения, наличием межконтактных агентов и т. п. При испытаниях на износостойкость изделий с покрытием необходимо учитывать не только условия работы пары трения, но и физико-механические свойства самих покрытий и особенности технологии их формирования.

В работе исследовались износостойкость и фрикционные характеристики различных упрочняющих покрытий при трении скольжения без смазочного материала. В качестве образцов использовались диски диаметром 50 мм и высотой 35 мм, изготовленные из алюминиевого сплава Д16Т (исходная шероховатость $R_a = 0,11-0,14$ мкм) с различными упрочняющими покрытиями: нитрид титана TiN ($h_{\text{покрытия}} = 2,5-3$ мкм), углеродная алмазоподобная пленка (УАП) ($h_{\text{покрытия}} = 1-2$ мкм), анодное и химическое оксидирование ($h_{\text{покрытия}} = 30-40$ мкм). В качестве контртела – кольцевые образцы, изготовленные из сплава Д16Т и закаленной стали ШХ15 (HRC-58–60) с аналогичными покрытиями и площадью торцевой поверхности 610 мм².

Определение износостойкости и фрикционных характеристик проводилось для различных сочетаний материалов как с упрочненными, так и с неупрочненными поверхностями на машине

трения МФТ-1. Перед началом испытаний производилась ее тарировка по моменту трения. Во время работы машины под нагрузкой в плоскости контакта образцов возникают момент сил трения и противоположно направленный ему крутящий момент, который передается невращающемуся валу. Нажимной рычаг невращающегося вала при помощи специальной подвески нагружался съемными грузами установленного веса, вызывая деформацию упругого элемента индуктивного датчика. Сигнал с датчика передавался на самописец, на ленте которого записывалась диаграмма изменения момента трения во времени. Тарировка производилась при трех различных положениях нажимного рычага на упругом элементе индукционного датчика. Изменением этого положения можно было впоследствии влиять на чувствительность датчика.

При определении фрикционных характеристик исследуемых материалов дисковый образец устанавливался в невращающийся шпиндель подвижной каретки машины трения на шарик $\varnothing 10$ мм, который обеспечивал плоскостной контакт трущихся поверхностей. От проворачивания образца в шпинделе во время работы служил штифт, запрессованный в шпиндель и входящий в отверстие, просверленное в образце. Кольцевой образец устанавливался во вращающийся шпиндель машины трения на штифт, служащий для передачи крутящего момента.

После установки образцов подвижная каретка подводилась при помощи маховика с винтом к вращающемуся валу до соприкосновения трущихся поверхностей образцов. Нагружение осуществлялось с помощью пневматического мембранного механизма, установленного на подвижной каретке. Величина удельного давления определялась по показаниям манометра и тарировочным графикам, приложенным к паспорту машины трения с учетом площади контакта поверхностей трения.

Исследование фрикционных характеристик производилось при следующих режимах:

- скорость относительного скольжения – 0,1–1,0 м/с;
- удельное давление – 0,1–1,0 МПа.

Исследовалась износостойкость вакуумно-плазменных покрытий при различном сочетании материалов пар трения:

Д16Т – Д16Т	Д16Т + TiN – Д16Т + TiN
Д16Т + ан. окс. –	Д16Т + TiN – ШХ15
– Д16Т + ан. окс.	
Д16Т + хим. окс. –	Д16Т + УАПП – Д16Т +
– Д16Т + хим. окс.	+ УАПП
Д16Т – Д16Т + TiN	Д16Т + УАПП – ШХ15

Износ образцов определялся профилографированием канавки трения на профилографе-профилометре модели 252. Измерения проводились через 3, 10, 30, 60 мин после начала испытаний и далее – до полного разрушения покрытия (катастрофического износа) через каждый последующий час испытания с записью профилограммы поверхности трения. Критерием завершения эксперимента служило резкое увеличение момента трения, фиксируемое на ленте самописца, что свидетельствует о начале катастрофического изнашивания трущихся поверхностей.

Исследование износостойкости образцов показало, что пара трения из неупрочненных материалов Д16Т – Д16Т при работе без смазочного материала с удельным давлением до 0,2 МПа и относительной скоростью скольжения 0,2 м/с обладает крайне низкой износостойкостью. Уже после первых 3–5 мин испытаний наблюдалось катастрофическое изнашивание трущихся поверхностей, характеризующееся глубокими равномерными следами износа (0,08–0,3 мм) по всей поверхности трения (рис. 1а).

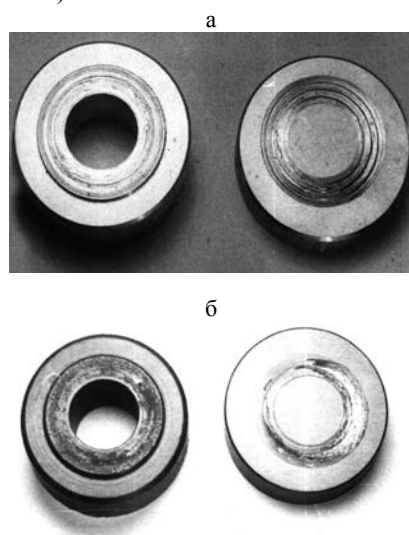


Рис. 1. Внешний вид образцов из сплава Д16Т после испытания на износостойкость: а – без покрытия; б – с анодным оксидированным покрытием

Испытание образцов из алюминиевых сплавов Д16Т, упрочненных анодным и химическим

оксидированием, также показало низкую работоспособность данных пар трения. Катастрофический износ наблюдался через 15 мин испытания.

Характер и интенсивность износа рассматриваемых пар определяются в основном схватыванием, т. е. происходят интенсивное удаление и перенос металла с обеих поверхностей трения. При увеличении под микроскопом видны явные следы вырывов и налипания частиц металла с «пропахиванием» канавки. Шероховатость контактируемых поверхностей практически не оказывает влияния на характер и интенсивность изнашивания ввиду интенсивного износа пар трения (рис. 1б).

Более высокую износостойкость имеют образцы с вакуумно-плазменным покрытием из нитрида титана TiN. Продолжительность работы пары трения Д16Т + TiN – Д16Т + TiN до частичного разрушения покрытия составила более 180 мин (рис. 2а).

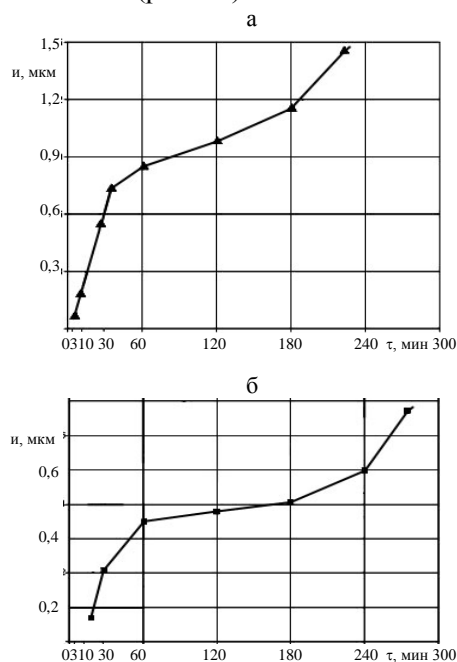


Рис. 2. Зависимость линейного износа от времени испытаний для пар трения: а – Д16Т + TiN – Д16Т + TiN; б – Д16Т + УАПП – Д16Т + УАПП

В процессе испытаний изнашивание покрытия не сопровождалось заеданием трущихся поверхностей. Следует отметить практически линейное увеличение износа покрытия из нитрида титана. Очевидно, твердость и толщина покрытия при данных режимах испытания недостаточны для обеспечения более высокой износостойкости. Наступление катастрофиче-

ского износа для этой пары материалов происходит вследствие продавливания и разрушения покрытия при достижении критического износа из-за недостаточной твердости материала основы образцов (рис. 3а). Износостойкость образцов с покрытием из TiN возрастает в 2–3 раза при использовании в качестве материала основы закаленной стали ШХ15.

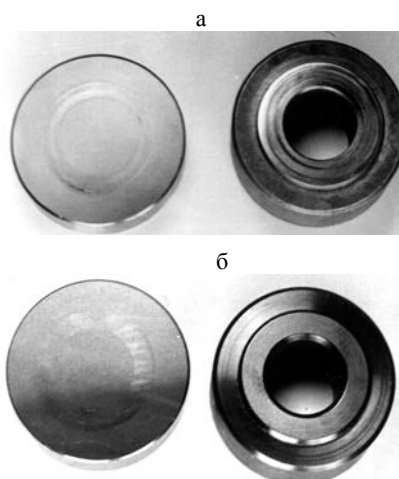


Рис. 3. Внешний вид образцов после испытания на износостойкость: а – покрытие TiN; б – то же УАПП

Наиболее работоспособными при принятых режимах испытаний оказались образцы из сплава Д16Т с покрытиями из углеродной алмазоподобной пленки (УАПП). При изнашивании данных покрытий после приработки (первые 60 мин испытания) наблюдается достаточно продолжительный (более 150 мин) период установившегося изнашивания (рис. 2б).

Задиры на поверхности трения в этих парах происходят после разрушения значительных участков покрытия из-за схватывания материалов подложек, а также за счет образования в зоне трения микроабразива из продуктов изнашивания покрытия (рис. 3б).

При трении образцов с покрытиями из TiN и УАПП по контртелу из закаленной стали ШХ15 наблюдалось налипание материала контртела на поверхность образца с покрытием в виде налета коричневого цвета, что свидетельствует об окислительном характере изнашивания контртела. Процесс трения сопровождался значительным колебанием момента трения (рис. 4), резким звуком и вибрацией образцов. График линейного износа для данных пар трения построить не удалось, так как канавка трения полностью заполнена продуктами износа материала контртела.

Значения коэффициента трения скольжения испытанных материалов приведены в табл. 1. Коэффициенты трения ряда пар, например Д16Т + хим. окс. – Д16Т + ан. окс. и др., с достаточной степенью точности определить не удалось, так как сразу же после начала испытаний этих материалов происходили заедание трущихся поверхностей и катастрофическое изнашивание покрытий.

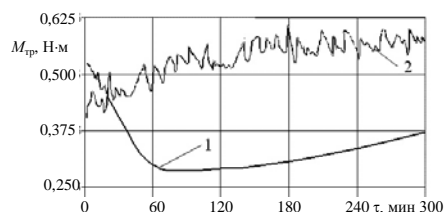


Рис. 4. Зависимость момента трения от времени испытаний и способа упрочнения: 1 – обе поверхности пары трения упрочнены покрытием TiN; 2 – одна из поверхностей пары трения упрочнена покрытием TiN

Таблица 1

Значения коэффициента трения скольжения испытанных материалов

Пара трения	Коэффициент трения
Д16Т – Д16Т	0,8–0,93
Д16Т + ан. окс. – Д16Т + ан. окс.	1,08–1,24
Д16Т + TiN – Д16Т + TiN	0,4–0,52
Д16Т + TiN – ШХ15	0,21–0,31
Д16Т + УАПП – Д16Т + УАПП	0,18–0,34
Д16Т + УАПП – ШХ15	0,2–0,35

ВЫВОДЫ

1. Формирование упрочняющих вакуумно-плазменных покрытий на изделиях из сплава Д16Т обеспечивает существенное, более чем в 10 раз, увеличение износостойкости изделий при трении скольжения без смазочного материала.

2. Изнашивание пар трения, упрочненных УАПП и TiN, носит абразивно-усталостный характер, что в значительной мере обусловлено высокой твердостью и гетерогенной структурой этих покрытий.

3. Износостойкость вакуумно-плазменных покрытий определяется твердостью материала основы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский, И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
 2. Плазменно-вакуумные покрытия / Ж. А. Мрочек [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 369 с.

Поступила 14.04.2008