

## Литература

1. Моделирование процесса бесконтактной лазерной деформации адаптивным методом / Л.Ф. Головки [и др.] // Электронное моделирование. – 2011. – № 3. – С. 71 – 84.
2. Григорьянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

УДК 621.793.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Ni и Cu

**Н. В. Спиридонов, Е. В. Ероховец, И. О. Соков, Л. И. Пилецкая**  
*Белорусский национальный технический университет, Минск*

Несмотря на то, что во всем мире непрерывно ведутся работы по снижению потерь на трение и износ, эта проблема сохраняет свою актуальность. Достаточно сказать, что по оценке экспертов вредные последствия от этих факторов глобальны и ежегодные потери мировой экономики составляют многие миллиарды долларов. Эти последствия связаны, прежде всего, с потерями энергии в узлах трения, потерями материалов при изнашивании и выходе оборудования из строя, вредными экологическими последствиями износа подшипников скольжения и других подвижных сопряжений [1].

Одной из важнейших эксплуатационных характеристик большинства изделий является износостойкость, т.к. уменьшение износа приводит к увеличению срока службы. Применение в узлах трения антифрикционных материалов, которые обеспечивают низкие значения коэффициента трения и минимальные потери энергии, позволяет значительно уменьшить износ.

Антифрикционные покрытия – материалы, применяемые для деталей машин (подшипников, втулок и др.), работающих при трении скольжения и обладающих в определенных условиях низким коэффициентом трения. Материалы покрытий отличаются низкой способностью к адгезии, хорошей прирабатываемостью, теплопроводностью и стабильностью свойств.

Плазменное напыление – универсальный процесс, позволяющий повысить износостойкость, жаростойкость, коррозионную стойкость и другие эксплуатационные характеристики деталей машин.

Перспективными материалами для плазменного напыления являются [2]:

1. Спеченный антифрикционный материал на основе меди, который содержит никель, хром, олово, бор, углерод и кремний и дополнительно фосфор, железо и алюминий.

2. Порошковая шихта для спеченных антифрикционных покрытий на основе бронзы.

3. Порошковый керамический материал для газотермического напыления покрытий, содержащий диоксид титана, оксид хрома и оксид алюминия.

4. Материал покрытия для уплотнительных элементов узлов турбин, содержащий нитрид бора и ниобий, алюминий, молибден и бор.

Целью данного исследования было установить, как плазменная обработка воздействует на определенные свойства покрытий. После плазменного напыления исследовали микротвердость, проводили трибологические исследования и микроструктурный анализ.

В данной работе методом плазменного нанесения покрытий были получены образцы с антифрикционными покрытиями. Материалы покрытий: ПГ-19М-01, ПР-БРОНСР, ПГ-ЮНХ16СРЗ, ПР-НД42СР, ПГ-ЮНХ16СРЗ+ Al (в виде нанопорошка), а также Al в чистом виде.

Для нанесения покрытия использовалась плазменная установка модели УПУ-3Д. Основываясь на результатах предварительных исследований были приняты оптимальными следующие параметры: напряжение  $U = 80$  В, расход плазмообразующего газа 35 – 40 л/мин, сила тока  $I = 400$  А, расход порошка 0,5 – 1,5 кг/ч, дистанция напыления – 120 мм.

Затем покрытия были шлифованы. При шлифовании использовались следующие режимы обработки: скорость круга 30 – 35 м/с, скорость детали 30 – 32 м/мин, поперечная подача 0,01 – 0,02 мм/дв. ход, продольная подача 1,2 – 1,5 м/мин.

Далее проводились исследования износостойкости экспресс-методом на машине торцевого трения по схеме диск – втулка в условиях сухого трения. В качестве входных параметров были выбраны нагрузка и время испытания. Значение нагрузки составило 1000 Н, время испытаний – 30 мин.

**Исследование износостойкости.** По полученным результатам построены гистограммы линейного износа образцов и износостойкости (рис. 1).

Результаты испытания покрытий позволили сделать вывод, что все они обладают достаточной износостойкостью. Наиболее износостойким оказалось покрытие с добавлением Al.

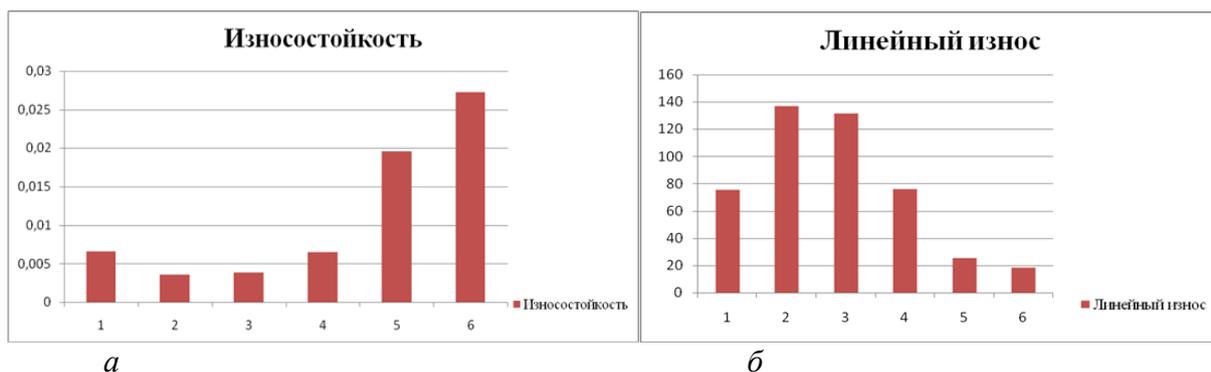


Рис. 1. Результаты испытаний

На износостойкость влияет состав покрытия – наличие твердых включений, компонентов, обладающих антифрикционными свойствами.

Трибологические исследования покрытий были выполнены с использованием прибора типа «штифт-на-диске» Т-01М, принцип действия которого изображен на рис. 2.

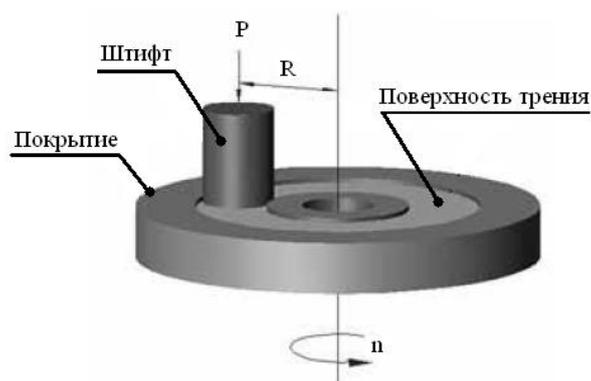


Рис. 2. Принцип работа прибора типа «штифт-на-диске»

Прибор дает возможность измерить силу трения для заранее установленной нагрузки. Штифт диаметром 4 мм, длиной 20 мм изготовлен из инструментальной стали. Образцы и контртела изготовлялись в соответствии с инструкцией. Испытания проводились со следующими параметрами трения: частота вращения  $\nu = 637 \text{ мин}^{-1}$ , число оборотов  $n = 5305$ , продолжительность испытания  $t = 500 \text{ с}$  (вплоть до приработки, определенной при предварительных испытаниях), нагрузка в пределах 5 – 15 Н.

На рис. 2 показана сила трения как функция от времени при нагрузке 10 Н. Сухое трение, наблюдаемое в случае покрытий, приводит к превращению наружного слоя в поверхностный слой. Это происходит

главным образом, благодаря скользящим нагрузкам, скорости и взаимодействию со средой. Наблюдается приработка износостойкого поверхностного слоя.

На рис. 3 можно увидеть зависимость силы трения от времени испытания. Такие же различия наблюдаются и в коэффициентах трения.

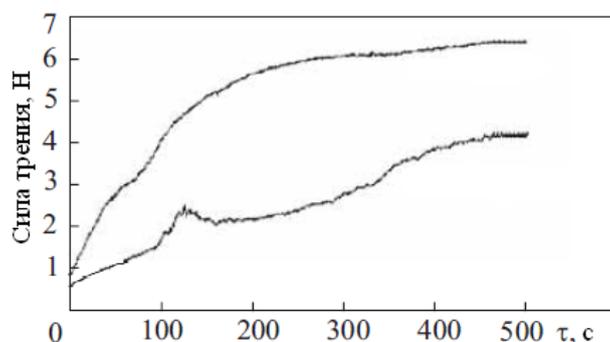


Рис. 3. Диаграмма зависимости силы трения от времени испытания

### Литература

1. Трение, изнашивание и смазка: справочник / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение. – Кн. 1. – 1978. – 400 с.
2. Борисов, Ю.С. Плазменные порошковые покрытия / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. – Киев.: Наукова думка, 1985. – 321 с.

УДК 621.793.7

## ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

**Н. В. Спиридонов, И. О. Соковров, Л. И. Пилецкая**

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

В процессе эксплуатации тормозных механизмов трактора типа «Беларус» установлено, что повышенному изнашиванию подвержены упоры промежуточных дисков корпуса, расположенные на его внутренней поверхности.

Практика показывает, что использование традиционных методов термоупрочнения (объемная закалка, закалка ТВЧ и т.д.) быстроизнашивающихся деталей не обеспечивает должного эффекта по прочности и износостойкости и создает дополнительные проблемы при последующей механической обработке упрочненных деталей. С учетом этих обстоятельств