

14,7 МПа составляет 1,9 мм. Учитывая, что размер диаметра вала гораздо меньше минимального диаметра, данный размер можно оставить в качестве расчетного.

Список литературы

- 1 Антипов, В. А. Реализация продольной силы в роторах турбомашин / В. А. Антипов, А. А. Свечников, Д. И. Понамаренко // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 2. – С. 223–226.
- 2 Совершенствование упруго-демпфирующих свойств опор роторов энергетических установок транспортных средств / В. А. Антипов [и др.] // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 2. – С. 195–199.

УДК 621:981.2

СНИЖЕНИЕ ИЗНОСА СТАЛЬНОГО КОНТРЕЛА ПРИ ТРЕНИИ ПО ПОКРЫТИЮ НИТРИДА ТИТАНА

А. Н. ПОПОВ, И. Л. ДМИТЕРКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Плунжерные пары и распылители форсунок представляют собой прецизионные пары трения, изготовленные из сталей с высокой твердостью (60–63 HRC) и характеризуются малой шероховатостью ($R_a < 0,04$ мкм) [1]. Рабочей средой для таких пар трения является дизельное топливо, которое имеет в 300 раз более низкие триботехнические характеристики по сравнению с маслами [2]. При исследовании большого количества плунжерных пар топливных насосов выявлено, что наибольший износ поверхности плунжера наблюдается на его головке со стороны, противоположной рабочей отсечной спирали, в зоне, где воздействие максимальных прижимающих усилий ударного характера (создаваемых давлением 50–80 МПа) накладывается на воздействие движения плунжера с максимальной скоростью (2–4 м/с) в каждом рабочем цикле [3, 4].

Наиболее часто к выходу из строя подвижных трибосопряжений машин приводят абразивное изнашивание и изнашивание вследствие схватывания. Эффективным путем борьбы с абразивным изнашиванием является повышение твердости поверхностных слоев деталей. Существует много традиционных способов создания поверхностных слоев с повышенной износостойкостью. В работе [5] испытывались плоские пары трения с образцами из стали ШХ15, прошедшими различные виды поверхностного упрочнения в дополнение к традиционной закалке: низкотемпературная нитроцементация; ионная имплантация азотной плазмой; лазерная закалка; азотирование в тлеющем разряде; покрытия КИБ на основе нитридов молибдена, хрома, титана; диффузионное хромирование, борирование, силицирование. Однако, по мнению авторов, пары трения сталь ШХ15 (закалка) – покрытие КИБ практически неработоспособны по причине интенсивного изнашивания образца из закаленной стали в связи с наличием капельной фазы на поверхности TiN. Применение покрытий, получаемых методом КИБ, возможно при условии снижения интенсивности изнашивания контртела.

Цель данной работы – установить влияние реакционного газа на капельную фазу и, соответственно, на триботехнические характеристики.

Для получения покрытий использовалась установка вакуумного напыления УВНИПА-1-001 (УРМЗ.279.070). Эта установка оборудована газовым ионным источником ИИ-4-015, с помощью которого можно производить очистку и нагрев подложек; источником плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим (титановым) катодом; источником плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита, используемым для нанесения углеродных покрытий. В установке используется электродуговой испаритель с сепарацией плазменного потока в магнитном поле. Триботехнические испытания проводили на микротрибометре, по схеме «сфера – плоскость» (шарик ШХ15 и исходное покрытие).

Установлено, что с увеличением давления реакционного газа до $8 \cdot 10^{-3}$ Па уменьшается средний размер капельной фазы и её содержание на подложке. При дальнейшем увеличении давления до $3 \cdot 10^{-2}$ Па изменения в содержании и размерах капельной фазы не наблюдаются (рисунок 1). Также были изучены снимки скола покрытия нитрида титана (рисунок 2). Из снимков видно, что с уменьшением давления азота на поверхности появляются образования в форме расплюснутых капель и в конусовидной форме. Капли образовались из катодных пятен при их угасании, а конусообразные объекты, возможно, образуются при кристаллизации титана не вступившего в химическую реакцию с азотом из-за низкого давления.

В зависимости от давления изменяется структура покрытия TiN. На всех снимках заметен более плотный поверхностный слой толщиной порядка 0,2–0,3 мкм. При давлении азота $2 \cdot 10^{-2}$ Па покрытие однородное, что, по-видимому, связано с образованием TiN стехиометрического состава. Это также подтверждается тем, что адгезия в этом случае наименьшая [6]. При уменьшении давления происходит образование столбчатой структуры и увеличивается дефектность покрытия. При давлении более $2 \cdot 10^{-2}$ Па покрытие перестает быть однородным и уменьшается число капельной фазы на поверхности покрытия.

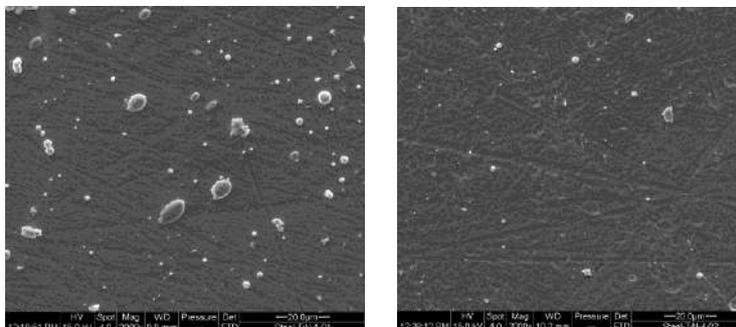


Рисунок 1 – Изображения поверхности TiN, полученного при давлении азота $4 \cdot 10^{-3}$ Па и 10^{-2} Па

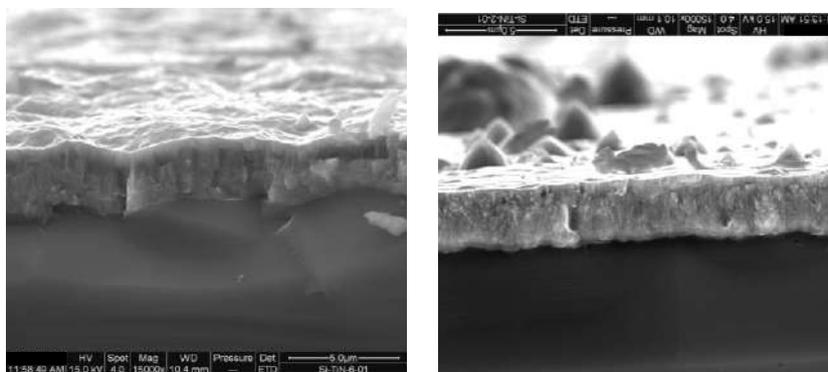


Рисунок 2 – Снимки скола покрытия, полученного при давлениях азота $3 \cdot 10^{-2}$ Па и $6 \cdot 10^{-3}$ Па

Триботехнические испытания показали зависимость коэффициента изнашивания стального контртела от давления газа (рисунок 3) (носит одинаковый характер с зависимостью микротвердости покрытий TiN, полученных при различном давлении реакционного газа).

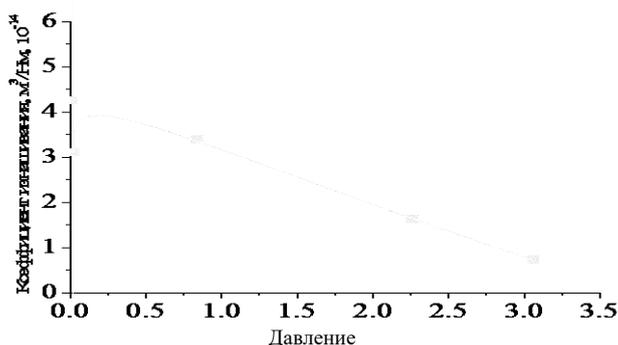


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента изнашивания контртела от давления реакционного газа, Па, для пары трения «плоскость с покрытием нитрида титана – ролик с покрытием нитрида титана»

Таким образом, для снижения изнашивания поверхности контртела из-за уменьшения содержания капельной фазы следует увеличивать давления реакционного газа.

Список литературы

1 Барвинок, В. А. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления / В. А. Барвинок, В. И. Богданович. – М. : Машиностроение, 1999. – 309 с.

- 2 Справочник по ремонту тепловозов / И. Г. Кокошинский [и др.]. – М. : Транспорт, 1976. – 304 с.
 3 Исследование закономерностей изнашивания поверхностей методом контактного электросопротивления / Б. И. Коцецкий [и др.] // Вестник машиностроения. – 1988. – № 1. – С. 14–17.
 4 Дизельная топливная аппаратура / В. Е. Горбаневский [и др.]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996. – 140 с.
 5 Изнашивание стальных прецизионных пар трения в низкомолекулярных жидкостях / В. Е. Горбаневский // Проблемы трения и изнашивания : Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев, 1987. – Вып. 32. – С. 38–43.
 6 Лаптева, В. Г. Выбор методов повышения износостойкости пар трения, изготавливаемых из сталей типа ШХ-15 / В. Г. Лаптева, В. Е. Горбаневский // Трение и износ. – 1988. – Т. 9, № 1. – С. 43–51.

УДК 621.315.611

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И. В. ПРИХОДЬКО, И. П. СМОЛЯКОВА, М. Е. БЕЛЬЧЕНКО, В. Е. БЕЛЬЧЕНКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современную машиностроительную и транспортную отрасли достаточно трудно представить без использования полимерных материалов. Благодаря своим высоким диэлектрическим и физико-механическим свойствам широкое применение в конструкции несущих элементов электрооборудования

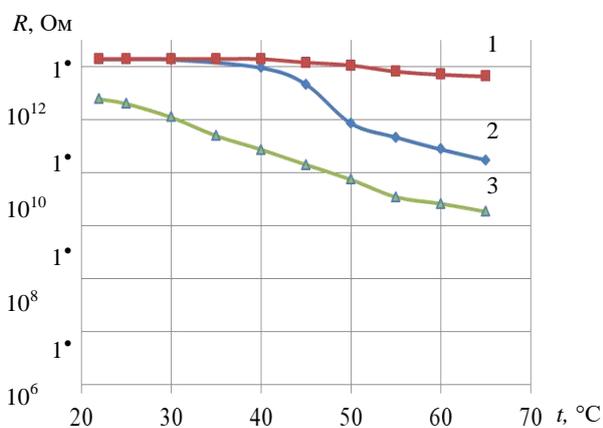


Рисунок 1 – Электрическое сопротивление изоляционного материала в зависимости от состава
 1 – ЭД (60%), ФФС (40%); 2 – ЭД (40%), ФФС (60%);
 3 – ЭД (40%), ФФС (60%)

получили композиционные материалы на основе реактопластов, таких как эпоксидные (ЭД) и фенолформальдегидные (ФФС) смолы.

Применение отвердителя не является условием формирования композиционного материала ввиду того, что смолы при определенных сочетаниях способны к самосшиванию полимерной матрицы. Для получения композиционного материала использовали эпоксидную смолу марки ЭД-20, отвержденную фенолформальдегидной смолой (рисунок 1). Проведенный комплекс исследований по подбору оптимального состава позволил выбрать сочетание компонентов: 55 % ЭД и 45 % ФФС (кривая 2 на рисунке 1), так как у материала с большим содержанием ФФС снижаются диэлектрические свойства (кривая 3 на рисунке 1),

а с увеличением содержания ЭД-20 возрастает хрупкость материала. Оптимизированный материал обладает высоким электрическим сопротивлением (до 2 ГОм) при нормальных климатических условиях (НКУ). С ростом температуры значительно снижается величина электрического сопротивления изоляции (см. рисунок 1). Полученный материал не является исключением. Однако при температуре 60 °С, соответствующей температуре в местах кузова подвижного состава, в которых имеются источники сильного дополнительного нагрева, сопротивление изоляции постоянному току составляет 0,78 ГОм, что свидетельствует о его хороших электроизоляционных свойствах. Ударная вязкость полученного композиционного материала при НКУ составила 20 кДж/м², что указывает на его устойчивость к воздействию ударных напряжений и на возможность его применения на отдельных элементах ЭПС в качестве конструкционного материала (рисунок 2).

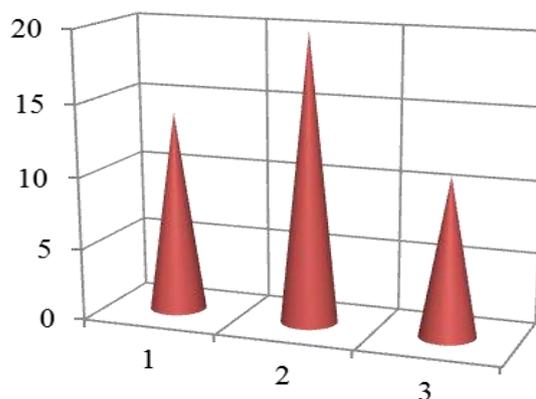


Рисунок 2 – Ударная вязкость составов (НКУ)

Оптимальное сочетание эпоксидной и фенолформальдегидной смол позволяет получить композиционный материал без введения дополнительного компонента (отвердителя) и обладающий приемлемыми физико-механическими свойствами.