

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Potts J.R. [et al.] Graphene-based polymer nanocomposites. // *Polymer*. – 2011. – Vol. 52. – pp. 5–25.
2. Лиопо В. А. [и др.] Влияние выбора ячейки в кристалле на ячейку обратной решетки // *Веснік Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. С. Пушкіна. Серыя 4. Фізіка. Матэматыка*. – 2019. – № 2. – С. 12–23.
3. Parageorgiou D.G., Kinloch I.A., Young R.J. Graphene/elastomer nanocomposites. // *Carbon*. – 2015. – Vol. 95. – pp. 460–484.
4. Овчинников Е. В. [и др.]. Противоречия в структуре алмаза и их устранение // *Горная механика и машиностроение*. – 2018. – № 4. – С. 66–77.
5. Young R.J. [et al.] The mechanics of graphene nanocomposites: a review. // *Comp Sci Tech*. – 2012. – Vol. 72. – pp. 1459–1476.

УДК 621.62.762

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ С ИЗНОСОСТОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**Голуб В.М.¹, Теслюк Д.В.², Колодич В.В.³, Добрияник Ю.А.⁴,
Мартынов А.В.⁵**

- 1, 2) Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь
3,4,5) ОАО «ЦВЕТОТРОН» г. Брест, Республика Беларусь

Подбор материалов фрикционной пары и ее способность работать длительный период времени в режиме сухого трения или дефицита смазки, является важной задачей машиностроения. Фрикционный узел в процессе работы при высоких скоростях скольжения воспринимает как статические, так и динамические нагрузки и подвергается изнашиванию. На работу фрикционного узла влияет температурный режим, окружающая среда и наличие в ней абразива. Способность материалов поглощать или рассеивать тепловую энергию без катастрофического износа является важной характеристикой фрикционной пары.

Антифрикционные материалы должны сопротивляться терморастрескиванию в режиме сухого трения. На поверхности трения не должно возникать трещин в результате многократного колебания силового и теплового воздействия. В рабочих средах в условиях плохой смазки в узлах антифрикционной пары трения нашли применение композиционные материалы и покрытия на основе карбида вольфрама и медьсодержащей матрицы.

Для решения прикладных задач триботехники, связанных с оптимизацией состава композиционных материалов, применительно к антифрикционным

устройствам, способным работать в сухом режиме трения и при дефиците смазки, проведены их испытания.

Разработан специальный стенд, позволяющий снимать триботехнические характеристики материалов пар трения. Основным узлом стенда является испытательная головка.

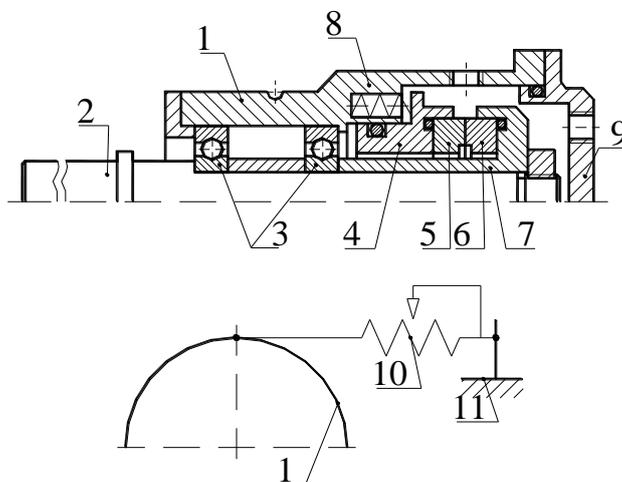


Рисунок 1 – Схема стенда для испытания контактных колец на трение и износ

Испытательная головка содержит корпус 1 и шпиндель 2. Вал шпинделя закреплен на подшипниках 3 в корпусе 1. В камере испытательной головки установлена аксиально-подвижная втулка 4 с контактным кольцом 5. Вращающееся контактное кольцо 6 установлено в обойму 7, связанную с валом. Аксиально-подвижная втулка с контактным кольцом 5 поджата пружинами 8, равномерно расположенными по окружности, к контактному кольцу 6. Усилие нагружения контакта определяется по величине сжатия пружин. Испытательная камера закрывается крышкой 9. Изменение частоты вращения шпинделя осуществляется через коробку передач станка, например, токарного, на котором устанавливается испытательная головка. Момент силы трения измеряется динамометром 10, прикрепленным к корпусу 1 головки тросиком через неподвижную стойку 11.

Износостойкий слой наносится на рабочие поверхности стальных колец путем припекания разнородных порошков карбида вольфрама медьсодержащей связкой. Для этого применяют методы порошковой металлургии, газопламенного напыления, электродугового расплава под слоем флюса, индукционного и электроконтактного припекания.

В качестве шихты использованы смеси тонкодисперсных порошков карбида вольфрама с кобальтом (ВК-6, ВК-8 и др.) и литой карбид вольфрама (релит) с зернистостью 0,05 – 0,1 мм.

После припекания износостойкого слоя проводится окончательная механическая обработка контактного кольца, при которой рабочая поверхность шлифуется и притирается алмазными пастами для достижения шероховатости $Ra \leq 0,16 - 0,3$ мкм и отклонением от плоскости 0,9 – 0,6 мкм.

Испытанию были подвергнуты контактные пары, на торцевой поверхности колец которых нанесены износостойкие слои путем припекания разнозернистых порошков карбида вольфрама и медьсодержащей связки при температуре ее плавления. В качестве матричной связки для колец первой пары трения принята медь, для колец второй пары – медно-никелевый сплав, с содержанием никеля 10% и для колец третьей пары медно-никелевый сплав с содержанием никеля 30%.

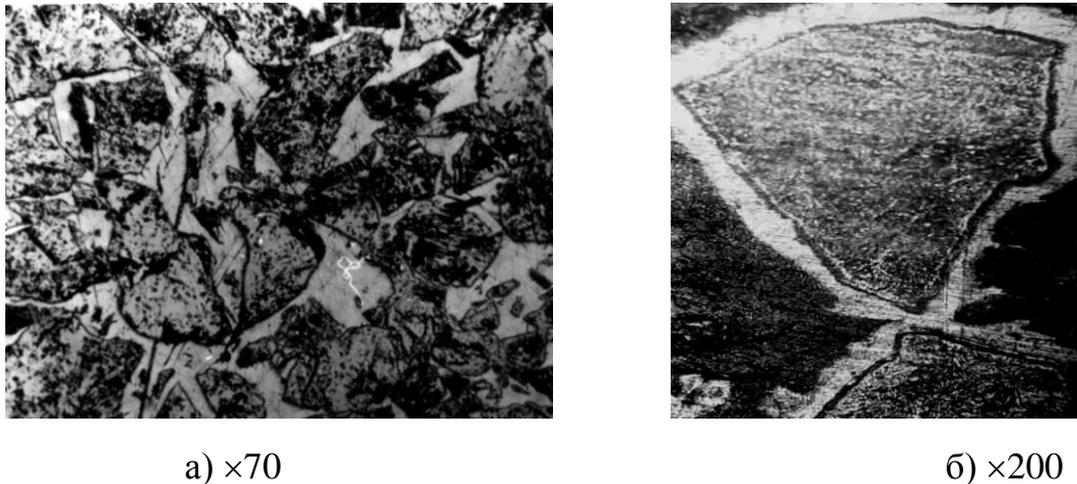


Рисунок 2 – Микрофотография поверхности и структура композиционного материала до испытания

Перед испытаниями были сняты профилограммы рабочих поверхностей, шероховатость которых составила $Ra=0,21$ мкм (рис. 3).

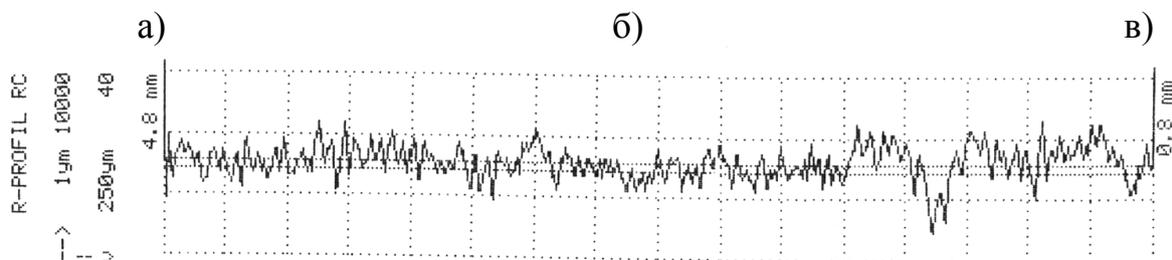
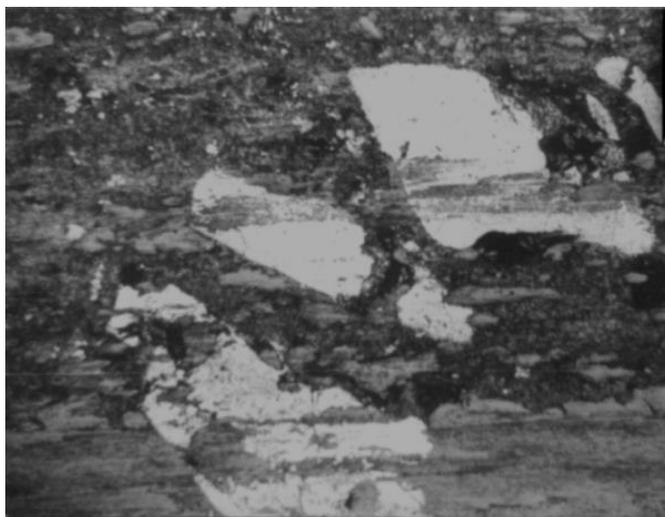


Рисунок 3 – Результаты профилографирования контактных поверхностей пар трения

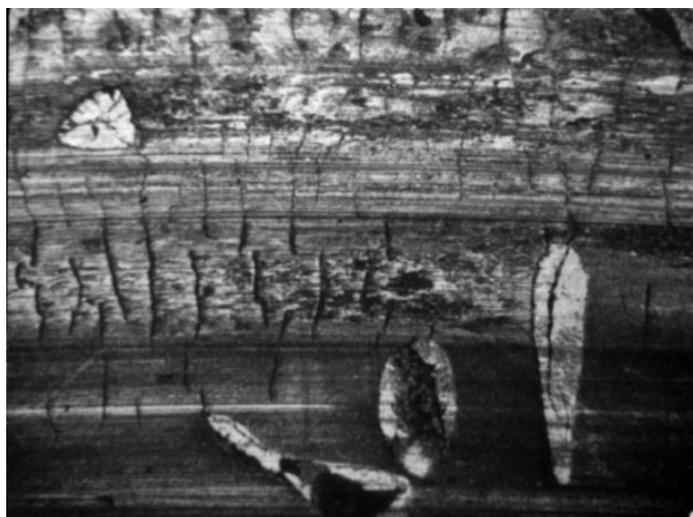
Испытания без смазки проводились при скорости скольжения 7 м/с и удельном нагружении контакта $p_{уд} = 0,3$ МПа. Испытания пар трения проводились в течение 10 часов с периодическими пусками и остановами. Коэффициент трения контактных колец составил 0,2–0,3. Температура колец достигала 400 °С. Шероховатость поверхностей после испытания увеличилась и составила для колец первой и второй пары трения $Ra = 1,55$ мкм, а для третьей пары трения – $Ra = 2,13$ мкм.

Поверхности колец первой и второй пары трения не претерпели особых изменений (рисунок 4). На рабочих поверхностях колец третьей пары, с повышенным содержанием никеля в матричной связке, отмечены микротрещины

(рисунок 5). Более высокой стойкостью в режиме сухого трения обладают контактные кольца, рабочий слой которых выполнен на основе медной и медно-никелевой связки с небольшим содержанием никеля. Увеличение никеля в матрице снижает теплоотвод от поверхности контактных колец и при многоцикло-вой микропластической деформации материала связки, с изменением температуры, приводит к возникновению микротрещин.



**Рисунок 4 – Контактная поверхность кольца с рабочим слоем на основе зернового карбида вольфрама и медьсодержащей матричной связки
Cu – 100% (×200) после испытаний**



**Рисунок 5 – Контактная поверхность кольца с рабочим слоем на основе зернового карбида вольфрама и медно-никелевой матричной связки
Cu – 70%; Ni – 30% (×200) после испытаний**

Были проведены исследования контактных колец пар трения в условиях абразивного воздействия.

В этом случае пары трения испытывались при подводе к контакту абразивной смеси (вода с тонкозернистым 0,05 – 0,065 мм кварцевым песком).

Получена зависимость скорости изнашивания контактных колец от концентрации абразива в гидроабразивной смеси. С увеличением содержания абразива скорость изнашивания рабочего слоя возрастает (рисунок 6).

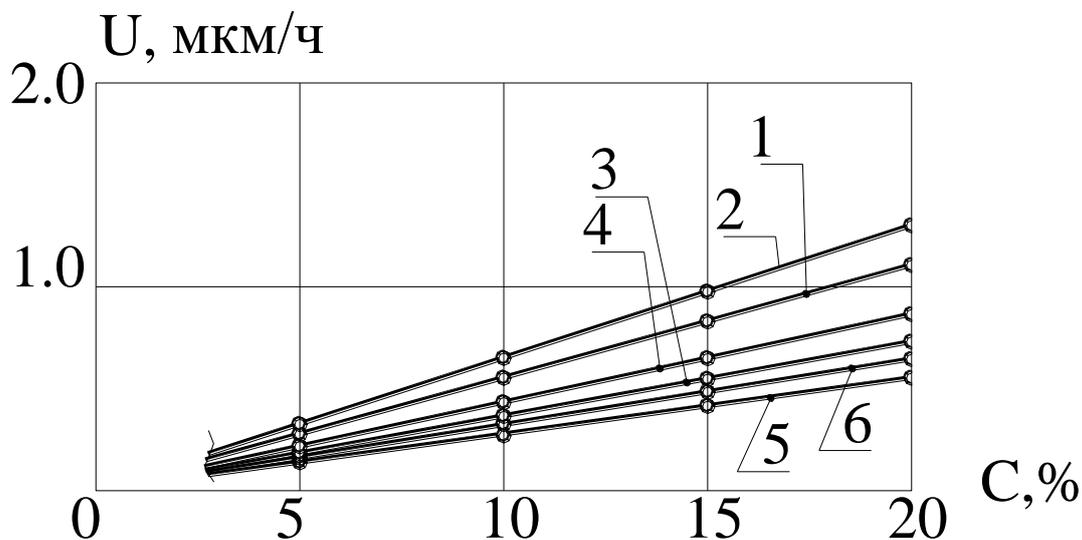


Рисунок 6 – Зависимость скорости изнашивания контактных колец от процентного содержания абразива в рабочей среде (вода), при $p_{уд}=0,3$ МПа, $v=15$ м/с:

1 и 2 – неподвижное и вращающееся контактные кольца первой пары трения;
 3 и 4 – неподвижное и вращающееся контактные кольца второй пары трения;
 5 и 6 – неподвижное и вращающееся контактные кольца третьей пары трения.

В общем виде эта зависимость описывается уравнением:

$$u = k \cdot c^m$$

где u – скорость изнашивания, мкм/ч; c – концентрация абразива, %; k и m – коэффициенты, определяющие износные характеристики материалов контактных колец. В случае абразивного износа $m = 1$, а коэффициент k определяется тангенсом угла наклона кривой и для первой пары трения $k^1 = 0,3$; второй – $k^2 = 0,2$; третьей – $k^3 = 0,15$.

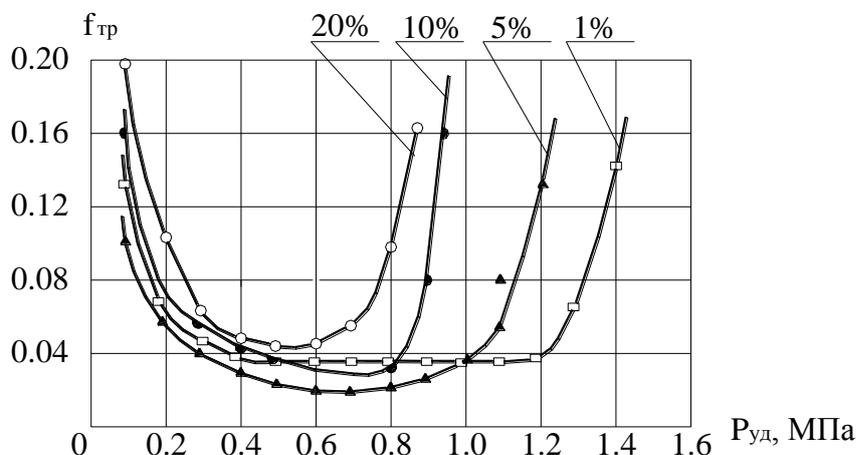


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента трения от удельного нагружения контакта пары трения и содержания абразивных частиц в гидросмеси

Существенно изменяется и нагрузочная способность колец пары трения от концентрации абразива. Так, если контактная пара трения работает в воде с содержанием абразива до 1%, то ее нагрузочная способность достигает $p_{уд}=1,2$ МПа (рисунок 7). С повышением концентрации абразива нагрузочная способность пары трения снижается. Наличие абразива в жидкости до 10% снижает допустимую нагрузку на контакт почти в два раза. Диапазон допустимой нагрузки определяется относительной стабильностью наименьшей величины коэффициента трения. Скачкообразное увеличение коэффициента трения сопровождается схватыванием материала контактных поверхностей и интенсивным износом колец пар трения.

УДК 621.785.5

КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В. С. Капленко, С. И. Багаев, И. Л. Поболь

Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Введение.

В медицинской отрасли используется большая номенклатура инструментов, изделий и приспособлений, для изготовления которых применяются высоколегированные стали аустенитного класса (AISI 347, AISI 316L, AISI 304, 12X18H10T и др.). Эти стали хорошо ведут себя в среде биологических жидкостей и тканей [1].

В зависимости от назначения к инструментам и изделиям, имплантируемым в биологическую ткань, предъявляются различные прочностные требования. Например, использование спицы Киршнера, изготавливаемой из проволоки, затруднено при ее введении в биологическую ткань ввиду высокой пластичности и низкой упругости материала импланта. Режущая кромка спицы при вводе быстро тупится из-за низкой твердости материала. Решение этой проблемы возможно с применением методов инженерии поверхности.

Возрастающие требования к качеству инструментов и изделий делают необходимым применение современных технологий обработки, направленных на повышение качества поверхности и прочностных свойств материалов. Ионно-плазменное азотирование (ИПА) является современным высокоэффективным технологическим процессом упрочнения поверхности различных сталей, включая высокохромистые материалы [2]. В соответствии с исследованиями авторов [3], низкотемпературное ИПА (350–400 °С) позволяет формировать плотные упрочнённые слои на поверхности стали AISI 304.

Известно, что ИПА может снизить коррозионную стойкость поверхности стали аустенитного класса [3]. Причина этого заключается в распылении тлеющим разрядом частиц со стен камеры, оснастки и других азотируемых элементов и осаждении их на обрабатываемую поверхность. ИПА, особенно при вы-