

## ИССЛЕДОВАНИЕ УЛУЧШЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА ОКИСЬЮ МЕДИ

*Рощин М.Н.*

**Ключевые слова:** трение, коэффициент трения, нагрузка, скорость, испытания, модификация, поверхность, контактное давление.

**Аннотация.** Модифицированная поверхность трения материала «Арголон-2D» окисью меди и политетрафторэтиленом в паре со сталью 40X13 улучшает антифрикционные свойства поверхности трения, уменьшает значение коэффициента трения. Модификация поверхности трения материала «Арголон-2D» составом CuO-ПТФЭ показала, что при нагрузке 1,0МПа, скорости скольжения 0,25м/с и температуре +200°С коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,78 раза, а при температуре +600°С коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,73 раза, чем не обработанной.

## INVESTIGATION OF IMPROVEMENT OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF A MODIFIED FRICTION SURFACE OF A CARBON- CONTAINING MATERIAL WITH COPPER OXIDE

*Roshchin M.N.*

**Keywords:** friction, coefficient of friction, load, speed, tests, modification, surface, contact pressure.

**Abstract.** The modified friction surface of the Argolon-2D material with copper oxide and polytetrafluoroethylene paired with 40X13 steel improves the antifriction properties of the friction surface, reduces the value of the friction coefficient. Modification of the friction surface of the Argolon-2D material with the CuO-PTFE composition showed that at a load of 1.0MPa, a sliding speed of 0.25m/s and a temperature of +200°С, the friction coefficient of the modified surface is 1.78 times less, and at a temperature of +600°С, the friction coefficient of the modified surface is 1.73 times less than that of the untreated one.

### Введение

По мере увеличения температуры эксплуатации узлов трения все более актуальной становится проблема рационального выбора материалов узлов трения, лимитирующих надежность и долговечность как самих узлов так машины в целом. Повышение температуры в узле трения при работе ведет к изменению смазочных способностей применяемой смазки. Уменьшение тепловыделения в узле трения можно обеспечить путем конструктивных решений, подбором материалов пар трения, применение смазочных материалов и покрытий. Применяемые способы должны способствовать уменьшению коэффициента трения, повышению антифрикционности пары трения [1,2]. Антифрикционная способность материалов становится очевидной при повышенных температурных режимах работы узла в условиях смазки или при трении без смазки и является функция физических и химических свойств материала, включая высокую теплопроводность и теплоемкость, способность образовывать прочные пограничные слои, снижающие трение, и способность легко деформироваться или изнашиваться, чтобы нагрузка могла равномерно распределяться по контактирующей

поверхности [3,4]. Смазочные материалы, используемые для снижения износа поверхностей трения, снижают коэффициент трения. Для повышения антифрикционности поверхностей трения в условиях высоких температур применяют твердые смазочные покрытия или же используют специальные антифрикционные добавки, которые вводят в структуру материала [5]. В структуру композиционных не металлических материалов для повышения антифрикционности вносят политетрафторэтилен [6]. В узлах трения при высоких температурах применяют углеродосодержащие композиционные материалы (УУКМ) [7]. Отсутствия триботехнических характеристик материала УУКМ при высоких температурах сдерживает применение УУКМ в узлах трения.

Цель работы – исследование улучшения трибологических свойств модифицированной поверхности трения углеродосодержащего материала окисью меди и политетрафторэтиленом для работы в условиях высоких температур.

**Материалы и оборудование.** Трибологические исследования модифицированной поверхности трения окисью меди и политетрафторэтиленом проводились на композиционном материале марки «Арголон-2D» в паре со сталью 40X13 [8]. Для улучшения трибологических параметров пары трения «Арголон-2D» - сталь 40X13 производилось изменение структуры поверхности трения материала «Арголон-2D». Учитывалось то, что материал «Арголон-2D» имеет пористую структуру, поверхностные поры заполнялись окисью меди (CuO) с целью повышения антифрикционности поверхности трения с дополнительной обработкой поверхности трения в среде политетрафторэтилена (ПТФЭ). Обработка образцов из материала «Арголон-2D» проходила в среде ПТФЭ в защитной камере при температуре 610°C.

Трибологические испытания проводились на высокотемпературном стенде ВТМТ-1000, который обеспечивает режим трения образцов по пальчиковой схеме в интервале температур от +20 до +800 °C при контактном давлении 1,0 МПа и скорости 0,25 м/с. Схема испытаний «диск-палец» обеспечивает распространение данных испытаний на другие схемы подшипников скольжения. Температура образцов при испытаниях контролировалась термпарой хромель-алюмель с регистрацией на приборе ZET 7120. Процесс трения осуществлялся в паре со сталью 40X13. В процессе испытаний измерялись непрерывно температура на поверхности трения и момент трения. Испытания проведены в нормальных атмосферных условиях.

### **Результаты эксперимента**

Испытания проводились на 2 видах образцов: «Арголон-2D» и «Арголон-2D» + CuO-ПТФЭ. В результате испытаний была установлена зависимость коэффициента трения при нагрузке 1,0 МПа и скорости 0,25 м/с от температуры образцов из материала «Арголон-2D» и «Арголон-2D»+CuO-ПТФЭ (рис. 1). При увеличении температуры от +20°C до +600°C

коэффициент трения материала «Арголон-2D» растет и составляет 0,17...0,42. Диапазон значений коэффициента трения для материала «Арголон-2D»+CuO-ПТФЭ при температуре +20...+200°C падает и составляет 0,18...0,13. Модификация поверхности трения материала «Арголон-2D» составом CuO-ПТФЭ показала, что при нагрузке 1,0 МПа, скорости скольжения 0,25 м/с и температуре +200°C коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,78 раза, а при температуре +600 °C коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,73 раза, чем не обработанной. Модификация поверхности трения в среде CuO-ПТФЭ заполняет поры материала антифрикционным составом CuO-ПТФЭ и создает защитную антифрикционную пленку, создавая поверхность с улучшенными антифрикционными свойствами, как это и показали проведенные эксперименты.

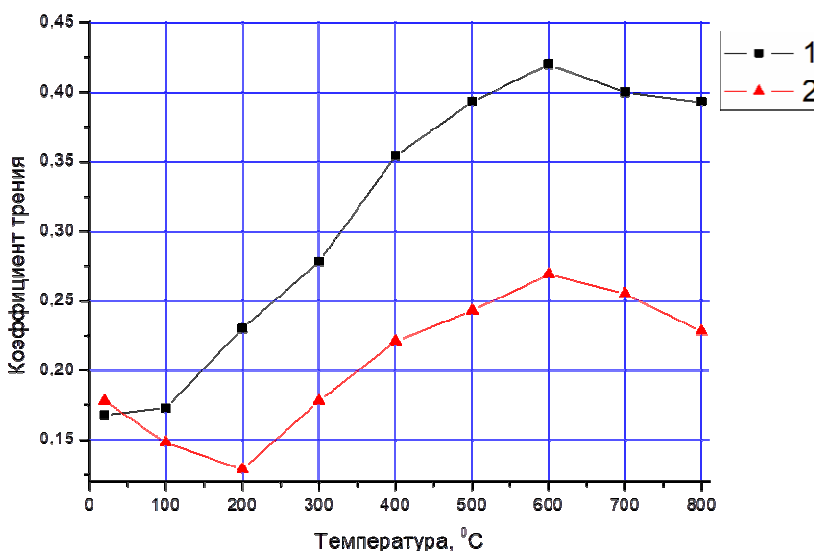


Рис. 1. Изменение коэффициента трения от температуры при нагрузке 1,0 МПа и скорости 0,25 м/с материалов: 1-«Арголон-2D»; 2-«Арголон-2D»+CuO-ПТФЭ

Модифицированная поверхность при высокотемпературном нагреве более устойчива к окислительному процессу, что подтверждено в процессе испытаний низким коэффициентом трения. Модификация поверхности трения улучшает защиту от воздействия кислорода атмосферы.

### Выводы

Модифицированная поверхность трения материала «Арголон-2D» окисью меди и политетрафторэтиленом в паре со сталью 40X13 улучшает антифрикционные свойства поверхности трения, уменьшает значение коэффициента трения. Модификация поверхности трения материала «Арголон-2D» составом CuO-ПТФЭ показала, что при нагрузке 1,0 МПа, скорости скольжения 0,25 м/с и температуре +200°C коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,78 раза, а при температуре

+600°C коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,73 раза, чем не обработанной.

### Список литературы

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т. 2. – 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.
2. Калиниченко А.С., Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И. Некоторые особенности создания подшипниковых узлов прецизионных электрошпинделей на основе пар трения скольжения // Наука и техника. – 2019. – Т. 18. – № 3. – С. 195-199.
3. Bakhareva V.E., Nikolaev G.I., Anisimov A.V. Nonmetal antifriction materials for sliding friction units // Inorganic Materials: Applied Research. – 2012. – No. 3. – P. 524-533. – doi.org/10.1134/S2075113312060020.
4. Леванов Ю.К., Бердник О.Б., Царева И.Н., Кривина Л.А. Газодинамическое антифрикционное покрытие баббита для подшипников скольжения роторов турбины // Вестник научно-технического развития. – 2020. – №4(152). – С.2-19.
5. Лобова Т.А., Марченко Е.А. Влияние состояния основы на структуру и трибологические характеристики покрытий диселенида молибдена ( $\text{MoSe}_2$ ) // Материаловедение. – 2019. – №11. – С. 9-13.
6. Muravyeva T.I., Gainutdinov R.V., Morozov A.V., Shcherbakova O.O., Zagorsky D.L., Petrova N.N. Investigation of the effect of antifriction modifiers on the surface properties of elastomers based on propylene oxide rubber // Friction and wear. – 2017. – Vol. 38. – No. 5. – P. 399-410.
7. Новые материалы. Колл. авторов / Под научной редакцией Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.
8. Roshchin M.N. Increasing the anti-friction properties of carbon-containing materials at high temperatures // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol.548. – P. 052015.

### References

1. Anuryev V.I. Handbook of a designer-machine builder: in 3 volumes: Vol. 2. – 8th ed., reprint. and add. / Edited by I.N. Zhestkova. – M.: Mechanical Engineering, 2001. – 912 p.
2. Kalinichenko A.S., Basinyuk V.L., Mardosevich E.I. Some features of creating bearing units of precision electrospindles based on sliding friction pairs // Science and technology. – 2019. – Vol. 18. – No. 3. – P. 195-199.
3. Bakhareva V.E., Nikolaev G.I., Anisimov A.V. Nonmetal antifriction materials for sliding friction units // Inorganic Materials: Applied Research. – 2012. – No. 3. – P. 524-533. – doi.org/10.1134/S2075113312060020.
4. Levanov Yu.K., Berdник O.B., Tsareva I.N., Krivina L.A. Gas-dynamic antifriction coating of babbitt for sliding bearings of turbine rotors // Bulletin of Scientific and Technical Development. – 2020. – № 4 (152). – P.12-19.

5. Lobova T.A., Marchenko E.A. Influence of the base state on the structure and tribological characteristics of molybdenum diselenide (MoSe<sub>2</sub>) coatings // Materials science. – 2019. – No. 11. – P. 9-13.
6. Muravyeva T.I., Gainutdinov R.V., Morozov A.V., Shcherbakova O.O., Zagorsky D.L., Petrova N.N. Investigation of the effect of antifriction modifiers on the surface properties of elastomers based on propylene oxide rubber // Friction and wear. – 2017. – Vol. 38. – No. 5. – P. 399-410.
7. New materials. Team of authors / Under the scientific editorship of Yu.S. Karabasov. – M.: MISIS, 2002. – 736 p.
8. Roshchin M.N. Increasing the anti-friction properties of carbon-containing materials at high temperatures // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol.548. – P. 052015.

<b>Рощин Михаил Николаевич</b> – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия, г. Москва, Roschin50@yandex.ru	<b>Roshchin Mikhail Nikolaevich</b> – candidate of technical sciences, leading researcher, Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow, Roschin50@yandex.ru
---	--

*Received 17.09.2021*