

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОД- УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ОКИСЬЮ МЕДИ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Роцин М.Н.*

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,  
Москва*

**Ключевые слова:** коэффициент трения, нагрузка, скорость, трибологические испытания, модификация, поверхность.

**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 1,0 МПа, скорости скольжения 0,16 м/с и температуре +500°C коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,76 раза, чем не обработанной.

## TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF A CARBON-CARBON MATERIAL WITH A MODIFIED SURFACE WITH COPPER OXIDE AT HIGH TEMPERATURES

*Roshchin M.N.*

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow*

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

**Abstract.** The modified friction surface of the «Argolon-2D» material with copper oxide and polytetrafluoroethylene paired with 40X13 steel improves the antifricion properties of the friction surface, reduces the value of the friction coefficient. Modification of the friction surface of the «Argolon-2D» material with CuO-PTFE composition showed that at a load of 1,0 MPa, a sliding velocity of 0,16 m/s and a temperature of +500°C, the friction coefficient of the modified surface is 1,76 times less than that of the untreated one.

**Введение.** Долговечность работы механических узлов находится в прямой зависимости от свойств материала, из которого они изготовлены, его способности работать в определенных условиях трения. Знание процессов взаимодействия рабочих поверхностей деталей позволяет правильно рассчитать профиль их рабочих поверхностей, подобрать материалы деталей и рациональные режимы приработки [1]. При увеличении удельной нагрузки в узле трения, увеличивается температурный режим эксплуатации узла трения. При этом все более актуальной становится проблема рационального выбора материалов узлов трения, лимитирующих надежность и долговечность как самих узлов так и 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 [2]. В узлах трения при высоких температурах применяют углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) [3]. Отсутствия триботехнических характеристик материала УУКМ при высоких температурах сдерживает применение УУКМ в узлах трения.

Цель работы – исследовать трибологические свойства углерод-углеродного материала с модифицированной поверхностью окисью меди при высоких температурах.

**Материалы и оборудование.** Для улучшения антифрикционных свойств поверхность трения проходила обработку в среде окиси меди (CuO) с дополнительной обработкой поверхности трения в среде политетрафторэтилена (ПТФЭ). Подготовка поверхности трения проводилась на композиционном материале марки «Арголон-2D». Для улучшения трибологических параметров пары трения «Арголон-2D» – сталь 40X13 производилось изменение структуры поверхности трения материала «Арголон-2D». Обработка образцов из материала «Арголон-2D» проходила в среде ПТФЭ в защитной камере при температуре 620°C. Трибологические испытания проводились на высокотемпературном стенде ВТМТ-1000, который обеспечивает режим трения образцов по пальчиковой схеме в интервале температур от +20 до +700°C при контактном давлении 1,0 МПа и скорости 0,16 м/с. Выбранная схема испытаний «диск-палец» обеспечивает распространение результатов испытаний на другие схемы испытания пар трения. Температура образцов при испытаниях контролировалась термодульной хромель-алюмель. 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.** Трибологические испытания проводились на 2 видах образцов: «Арголон-2D» и «Арголон-2D» + CuO-ПТФЭ. По результатам испытаний была установлена зависимость коэффициента трения от температуры при нагрузке 1,0 МПа и скорости 0,16 м/с (рис. 1). При увеличении температуры от +300°C до +700°C коэффициент трения материала «Арголон-2D» растет и при температуре +700°C составляет 0,47. При температуре выше 300°C происходит окисление углерода, скорость окисления усиливается механическим воздействием силы трения и как следствие, рост коэффициента трения. Диапазон значений коэффициента трения для материала «Арголон-2D»+CuO-ПТФЭ при температуре +300...+700°C составляет 0,21...0,22. Модификация поверхности трения материала «Арголон-2D» составом CuO-ПТФЭ показала, что при нагрузке 1,0 МПа, скорости скольжения 0,16 м/с и температуре +500°C коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,76 раза, чем не обработанной. Модификация поверхности трения в среде CuO-ПТФЭ создает защитную поверхностную антифрикционную структуру, создавая поверхность с улучшенными антифрикционными свойствами, как это и показали проведенные эксперименты. 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.

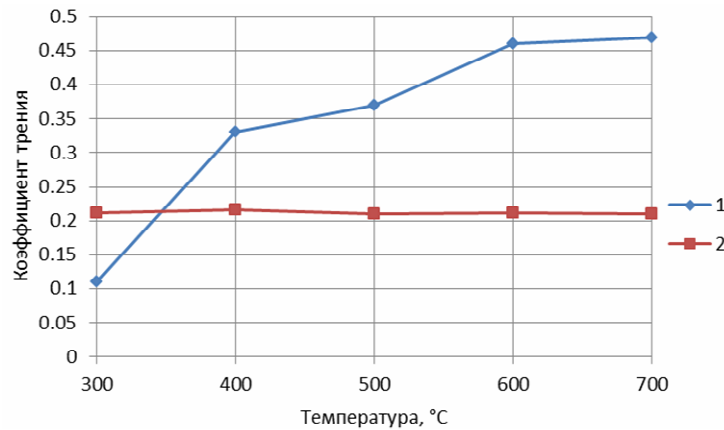


Рис. 1. Изменение коэффициента трения от температуры при нагрузке 1,0 МПа и скорости 0,16 м/с материалов: 1-«Арголон-2D»; 2-«Арголон-2D»+CuO-ПТФЭ

### 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 0,16 м/с и температуре +500°C коэффициент трения модифицированной поверхности меньше в 1,76 раза, чем не обработанной. Полученные результаты в области высокотемпературных испытаний материалов на трение предназначены для использования при проектировании узлов трения, работающих при высокой температуре.

### Список литературы

1. Богданович П.Н., Прушак В.Я., Богданович С.П. Трение, смазка и износ в машинах. – Минск: Тэхналогія, 2011. – 527 с.
2. 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.
3. Новые материалы / Колл. авторов; Под науч. ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.
4. Roshchin M.N. Modification of the Carbon-Containing Material Friction Surface with Copper and Selenium // AIP Conference Proceedings. 2023, vol. 2526, p. 020001.

### Сведения об авторе:

*Роцин Михаил Николаевич* – к.т.н., ведущий научный сотрудник.