

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-10-18-21>

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА ТЕЛЛУРОМ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Роцин М.Н.*

**Ключевые слова:** трение, коэффициент трения, нагрузка, высокотемпературные испытания, контактное давление, УУКМ.

**Аннотация.** Работа посвящена высокотемпературным лабораторным трибологическим испытаниям углеродосодержащих материалов. Установлено, что при температуре 400 и 500 °С в диапазоне скоростей 0,05-0,25 м/с значения коэффициента трения при нагрузке 1,0 МПа выше, чем при нагрузке 0,5 МПа. При скоростях скольжения 0,16-0,18 м/с наблюдается минимальное значение коэффициента трения при нагрузках 0,5 и 1,0 МПа и температуре 400 °С, который составляет 0,23 и 0,26 соответственно, а при и температуре 500 °С коэффициент трения составляет 0,23 и 0,32 соответственно.

## EFFECT OF SLIDING SPEED ON THE COEFFICIENT OF FRICTION OF A MODIFIED SURFACE OF A CARBON-CARBON COMPOSITE WITH TELLURIUM AT HIGH TEMPERATURES

*Roshchin M.N.*

**Keywords:** friction, coefficient of friction, load, high temperature tests, contact pressure, CCCM.

**Abstract.** The work is devoted to high-temperature laboratory tribological tests of carbon-containing materials. It is established that at temperatures of 400 and 500 °C With a speed range of 0.05-0.25 m/s, the friction coefficient values at a load of 1.0 MPa are higher than at a load of 0.5 MPa. At sliding speeds of 0.16-0.18 m/s, there is a minimum value of the coefficient of friction at loads of 0.5 and 1.0 MPa and a temperature of 400 °C, which is 0.23 and 0.26, respectively, and at a temperature of 500 °C, the coefficient of friction is 0.23 and 0.32, respectively.

При проектировании узлов трения для работы при высоких температурах необходимы новые материалы и твердосмазочные покрытия, выдерживающие температуру эксплуатации. Материалы должны выдерживать экстремальные нагрузки и иметь достаточно низкую удельную массу [1]. При создании космических аппаратов (КА) для полета к дальним планетам солнечной системы необходимо учитывать условия работы (высокая температура, давление и т.д.), при которых требуется обеспечить надежную работу исполнительных органов КА. Поэтому для работы в условиях высоких температур в узел трения должен входить неметаллический материал, который кроме хороших антифрикционных свойств, должны обладать хорошей стойкостью к адгезионному схватыванию. Для проверки работоспособности пар трения в условиях высоких температур необходимо проводить моделирование работы узлов трения, которое требует создание специального оборудования и методики проведения эксперимента. Отсутствие унифицированных методов испытаний и методик объясняется сложностью процессов, происходящих при трении, наличием большого числа факторов, влияющих на процесс трения. К числу наиболее перспективных

материалов относятся углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) [2]. Материал УУКМ обладает экстремально низкой плотностью, хорошие характеристики прочности и стойкости к адгезионному схватыванию, высокая температурная стойкость определяют интерес к их применению в КА, особенно для обеспечения работоспособности узлов трения, например, механизмов поворота антенн, в условиях длительных полетов космических аппаратов в открытом космосе [3]. В условиях высоких температур, например, при полетах в сторону Солнца, требуется высокая термостойкость [4]. Поэтому для работы в условиях высоких температур наибольший интерес в этих условиях представляют керамические и углеродные композиты. Применение УУКМ в узлах трения при высоких температурах сдерживается в связи с тем, что коэффициент трения имеет высокое значение.

**Цель работы** – исследовать влияние скорости и нагрузки на коэффициент трения модифицированной поверхности трения УУКМ теллуrom для работы в паре трения со сталью 40X13 при температуре +400 и +500 °С.

В связи с тем, что материал УУКМ имеет пористую структуру, для улучшения трибологических параметров производилось изменение структуры поверхности трения, которая насыщалась теллуrom (Te) при температуре +880 °С с предварительной откачкой вакуума до температуры +300 °С.

Сравнительные трибологические испытания проводились на высокотемпературном стенде ВТМТ-1000, разработанном в ИМАШ РАН, обеспечивающий режим трения образцов по пальчиковой схеме в интервале температур +20...+1000 °С в условиях удельных нагрузок 0,12...1,0 МПа и скорости скольжения 0,05-0,35 м/с. В процессе испытаний осуществлялся контроль удельной нагрузки на испытываемые образцы, скорости вращения шпинделя установки, времени испытаний, момента трения и температуры.

Испытания проводились на прямоугольных образцах 10x10x8 мм из УУКМ, модифицированных в среде Te, в паре трения со сталью 40X13 [5]. Площадь контакта составляла 300 мм<sup>2</sup>, средний диаметр расположения образцов – 66 мм, линейная скорость: 0,05; 0,16; 0,25 м/с, осевая нагрузка: 0,5 и 1,0 МПа, температура испытаний +400 и +500 °С. В результате испытаний была установлена зависимость коэффициента трения от скорости при нагрузке 0,5 и 1,0 МПа и температуре +400 и +500 °С для испытываемых образцов. Результаты испытаний приведены на рис.1 и 2.

При температуре 400 и 500 °С в диапазоне скоростей 0,05-0,25 м/с значения коэффициента трения при нагрузке 1,0 МПа выше, чем при нагрузке 0,5 МПа. При скоростях скольжения 0,16-0,18 м/с наблюдается минимальное значение коэффициента трения при нагрузках 0,5 и 1,0 МПа и температуре 400 °С, который составляет 0,23 и 0,26 соответственно, а при и температуре 500 °С коэффициент трения составляет 0,23 и 0,32 соответственно.

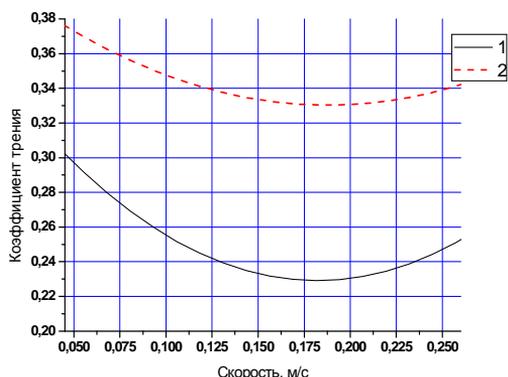


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения модифицированной поверхности трения  $T_e$  от скорости при температуре  $400^{\circ}\text{C}$  и нагрузке, МПа: 1-0,5; 2-1,0

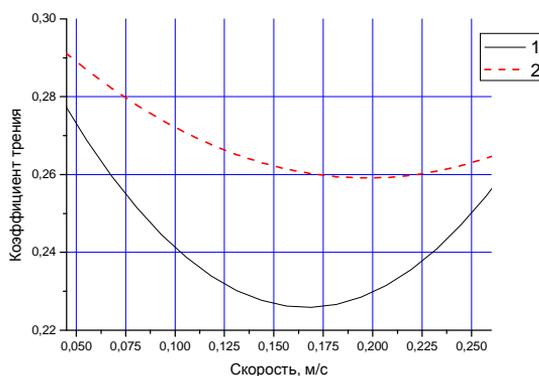


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения модифицированной поверхности трения  $T_e$  от скорости при температуре  $500^{\circ}\text{C}$  и нагрузке, МПа: 1-0,5; 2-1,0

### Выводы

Проведенные исследования показали, что при температуре 400 и  $500^{\circ}\text{C}$  в диапазоне скоростей 0,05-0,25 м/с значения коэффициента трения при нагрузке 1,0 МПа выше, чем при нагрузке 0,5 МПа. При скоростях скольжения 0,16-0,18 м/с наблюдается минимальное значение коэффициента трения при нагрузках 0,5 и 1,0 МПа и температуре  $400^{\circ}\text{C}$ , который составляет 0,23 и 0,26 соответственно, а при и температуре  $500^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения составляет 0,23 и 0,32 соответственно.

### Список литературы

1. Gillard A.P., Couégnat G., Chupin S. et al. Modeling of the non-linear mechanical and thermomechanical behavior of 3D carbon. Carbon composites based on internal interfaces Carbon 154 178-91.
2. Новые материалы. Колл. авторов. Под научной редакцией Ю.С. Карабасова. – М: МИСИС, 2002. – 736 с.
3. Gradl P.R. and Valentine P.G. 2019 Carbon-Carbon Nozzle Extension Development in Support of In-Space and Upper-Stage Liquid Rocket Engines. NASA Marshall Space Flight Center, Huntsville, AL 35812. 53rd AIAA / SAE / ASEE Joint Propulsion Conference, Atlanta, GA (AIAA-2017-5064).
4. Алисин В.В., Рощин М.Н., Лукьянов А.И. и др. Разработка и исследование узлов трения, работающих при высоких температурах, применительно к космическим аппаратам // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2019. № 1. С. 61-65.
5. Рощин М.Н. Трибологические параметры при трении модифицированной поверхности УУКМ при различных скоростях движения // Современные проблемы теории машин. – 2019. – №8. – С. 22-24.

## References

1. Gillard A.P, Couégnat G., Chupin S. et al. Modeling of the non-linear mechanical and thermomechanical behavior of 3D carbon. Carbon composites based on internal interfaces Carbon 154 178-91.
2. New materials. Call of authors. Under the scientific editorship by Yu.S. Karabasov. – M: MISIS, 2002. – 736 p.
3. Gradl P.R. and Valentine P.G. 2019 Carbon-Carbon Nozzle Extension Development in Support of In-Space and Upper-Stage Liquid Rocket Engines. NASA Marshall Space Flight Center, Huntsville, AL 35812. 53rd AIAA / SAE / ASEE Joint Propulsion Conference, Atlanta, GA (AIAA-2017-5064).
4. Alisin V.V., Roshchin M.N., Lukyanov A.I., et al. Development and research of friction units operating at high temperatures in relation to spacecraft // News of SPO na. S.A. Lavochkin. 2019. No. 1. P. 61-65.
5. Roshchin M.N. Tribological parameters for friction of a modified CCCM surface at different speeds // Modern problems of machine theory. – 2019. – №8. – P. 22-24.

**Рощин Михаил Николаевич** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия, Roschin50@yandex.ru

**Roshchin Mikhail Nikolaevich** – candidate of technical sciences, leading researcher, A.A.Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Roschin50@yandex.ru

*Received 20.05.2020*