

## РАБОТОСПОСОБНОСТЬ УЗЛОВ ТРЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ

*Рощин М.Н., Мишанова В.Г.*

**Ключевые слова:** трение, коэффициент трения, нагрузка, скорость, испытания.

**Аннотация.** Работа посвящена высокотемпературным трибологическим испытаниям углеродосодержащих материалов при трении по стали 40X13 в температурном диапазоне от плюс 300 до плюс 600 °С в среде углекислого газа. Выбор температуры и среды испытаний обусловлен перспективами создания приводов космических аппаратов для работы без смазки в условиях атмосферы Венеры. Проведенные исследования показали, что при трении в среде углекислого газа при температуре плюс 500 °С и нагрузке 0,5 МПа с увеличением скорости скольжения с 0,05 м/с до 0,16 и 0,25 м/с коэффициент трения возрастает на 18 и 40% соответственно, а при нагрузке 1,0 МПа коэффициент трения возрастает на 12 и 24% соответственно.

## PERFORMANCE OF FRICTION UNITS OF SPACECRAFT WITH CARBON-CONTAINING MATERIALS IN THE ATMOSPHERE OF VENUS

*Roshchin M.N., Mishanova V.G.*

**Keywords:** friction, coefficient of friction, load, speed, tests.

**Abstract.** This work is devoted to high-temperature tribological tests of carbon-containing materials under friction on 40x13 steel in the temperature range from plus 300 to plus 600 °C in a carbon dioxide environment. The choice of temperature and test environment is determined by the prospects for creating spacecraft drives for operation without lubrication in the atmosphere of Venus. Studies have shown that when friction occurs in a carbon dioxide environment at a temperature of plus 500°C and a load of 0.5 MPa with an increase in the sliding speed from 0.05 m / s to 0.16 and 0.25 m / s, the coefficient of friction increases by 18 and 40%, respectively, and at a load of 1.0 MPa, the coefficient of friction increases by 12 and 24%, respectively.

**Введение.** Работоспособность новой техники, работающей в экстремальных условиях эксплуатации, например, в условиях высоких температур, обеспечивается конструктивными особенностями и применением в узлах трения новых антифрикционных материалов. Моделирования условий работы узлов трения при высоких температурах 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. Выбор материалов для узлов трения усложняется еще тем, что в экстремальных условиях испытаний работы узлов трения необходимо создать условия близкие к реальным. Особенностью при проектировании авиакосмической техники одним из ключевых требований к конструкционным материалам является эффективность прочностных свойств материала по массе – удельная прочность [1]. Одним из перспективных материалов для работы в высокотемпературных узлах трения являются

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 космических аппаратах (КА), особенно для обеспечения работоспособности узлов трения, например, механизмов поворота антенн, передвижных планетных платформ. Так например, в условиях агрессивной среды на планете Венера при температуре плюс 467 °С требуется высокая термостойкость [3]. Также негативное влияние на узлы трения имеет состав атмосферы Венера: высокое содержание углекислого газа и высокого атмосферного давления. В условиях высоких температур в среде углекислого газа триботехнические свойства УУКМ изучены мало [4].

Цель работы – исследовать работоспособность узлов трения КА с углеродосодержащими материалами при трении в среде углекислого газа  $\text{CO}_2$  по стали 40X13 в диапазоне температур от плюс 300 до плюс 600 °С.

**Материалы и оборудование.** В качестве материалов для исследуемых образцов был выбран УУКМ-2D марки «Арголон-2D» и материал контртела – сталь 40X13. Трибологические испытания проводились на высокотемпературном стенде ВТМТ-1000, обеспечивающем режим трения образцов по пальчиковой схеме в интервале температур от плюс 20 до плюс 1000 °С в условиях диапазона нормальных нагрузок от 35 до 300 Н. Зона испытаний образцов находится в защитной камере. В камеру постоянно подается газ  $\text{CO}_2$ . Контроль концентрации газа осуществляется датчиком  $\text{CO}_2$  газа. Концентрация газа  $\text{CO}_2$  на протяжении испытаний составляет от 95 до 98 %. При испытаниях производили измерение момента трения. Испытание образцов проводились в условиях вращательного движения с постоянной угловой скоростью. Линейная скорость составляла 0,05; 0,16; 0,25 м/с. Размеры образцов составляли 10x10x10мм. Процесс трения осуществлялся в паре со сталью 40X13. Площадь контакта составляла 300 мм<sup>2</sup>, средний диаметр расположения образцов – 66 мм, осевая нагрузка: 0,5 и 1,0 МПа, температура – +300...+600 °С. В процессе испытаний измерялись непрерывно температура на поверхности трения и момент трения. Испытания проводились в среде углекислого газа.

**Результаты эксперимента.** В результате испытаний была установлена зависимость коэффициента трения при нагрузке 0,5 МПа (рис. 1) и нагрузке 1,0 МПа (рис.2) и скорости скольжения: 0,05; 0,16 и 0,25 м/с в интервале температур от плюс 300 до плюс 600 °С для испытываемых образцов.

Из анализа кривых на рис. 1 и рис. 2 при увеличении скорости скольжения в рассматриваемом диапазоне температур коэффициент трения увеличивается. Так, например, при нагрузке 0,5 МПа, температуре 500 °С с увеличением скорости скольжения с 0,05 м/с до 0,16 и 0,25 м/с коэффициент трения возрастает на 18 и 40% соответственно, а при нагрузке 1,0МПа коэффициент трения возрастает на 12 и 24% соответственно.

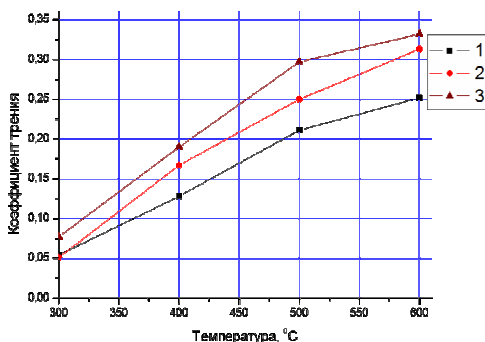


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от температуры в среде CO<sub>2</sub> при нагрузке 0,5МПа и скорости, м /с: 1-0,05; 2-0,16; 3-0,25

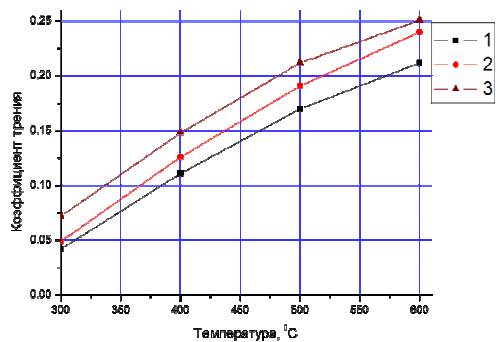


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от температуры в среде CO<sub>2</sub> при нагрузке 1,0МПа и скорости, м /с: 1-0,05; 2-0,16; 3-0,25

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что при трении в среде углекислого газа при температуре плюс 500 °С и нагрузке 0,5 МПа с увеличением скорости скольжения с 0,05 м/с до 0,16 и 0,25 м/с коэффициент трения возрастает на 18 и 40% соответственно, а при нагрузке 1,0МПа коэффициент трения возрастает на 12 и 24% соответственно.

### Список литературы

1. Gillard A.P., Couégnat G., Chupin S. et al. 2019 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. 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.
4. Roshchin M.N., Markachev N.A., Bogachev V.A. Tribology of carbon-containing materials in the carbon dioxide environment at high temperatures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. – 2020. – R. 62063.

### References

1. Gillard A P, Couégnat G, Chupin S et al. 2019 Modeling of the non-linear mechanical and thermomechanical behavior of 3D carbon/carbon composites based on internal interfaces Carbon 154 178-91.
2. New material. Group authors. Under the scientific editorship of Yu.S. Karabasov. – M: MISIS, 2002 – 736p.

3. 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 // Vestnik NPO n.a. S.A. Lavochkin. – 2019. – No. 1. – P. 61-65.
4. Roshchin M.N., Markachev N.A., Bogachev V.A. Tribology of carbon-containing materials in the carbon dioxide environment at high temperatures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. – 2020. – R. 62063.

<p><b>Рощин Михаил Николаевич</b> – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия, Roschin50@yandex.ru</p>	<p><b>Roshchin Mikhail Nikolaevich</b> – candidate of technical sciences, leading researcher, Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Roschin50@yandex.ru</p>
<p><b>Мишанова Валентина Георгиевна</b> – кандидат технических наук, доцент. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), филиал Ступино, Россия, г. Ступино, mishanova56@mail.ru</p>	<p><b>Mishanova Valentina Georgievna</b> – candidate of technical sciences, associate professor, Moscow aviation Institute (national research University), Stupino branch, Russia, Stupino, mishanova56@mail.ru</p>

*Received 22.09.2020*