

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ИСПЫТАНИЙ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Рощин М.Н.<sup>1</sup>, Маркачев Н.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,  
Москва;*

<sup>2</sup>*Акционерное общество «Научно-производственное объединение  
им. С.А. Лавочкина», Химки, Московская область*

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

**Аннотация.** Исследованы антифрикционные свойства углеродосодержащего композиционного материала «Арголон-2D» при трении без смазки по стали 40X13 в среде углекислого газа в диапазонах температур 200-600°C при скорости 0,25 м/с, контактном давлении 1 МПа. В сравнении с коэффициентом трения на воздухе установлен эффект сильного уменьшения коэффициента трения в среде CO<sub>2</sub> в интервале температур 200-600°C. Для работы на поверхности Венеры в температурном диапазоне 400...500°C определен коэффициент трения материала «Арголон-2D» в среде углекислого, который составляет 0,15-0,21.

## INFLUENCE OF THE CARBON DIOXIDE TEST ENVIRONMENT ON THE COEFFICIENT OF FRICTION OF A CARBON-CONTAINING MATERIAL AT HIGH TEMPERATURES

*Roshchin M.N.<sup>1</sup>, Markachev N.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow;*

<sup>2</sup>*Joint Stock Company “Scientific and Production Association n.a. S.A. Lavochkin”,  
Khimki, Moscow region*

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

**Abstract.** The antifriction properties of the carbon-containing composite material "Argolon-2D" were investigated during friction without lubrication on steel 40X13 in a carbon dioxide environment in the temperature ranges 200-600°C at a speed of 0,25 m/s, contact pressure of 1 MPa. In comparison with the coefficient of friction in air, the effect of a strong decrease in the coefficient of friction in the CO<sub>2</sub> medium in the temperature range of 200-600°C has been established. To work on the surface of Venus in the temperature range of 400...500°C, the coefficient of friction of the “Argolon-2D” material in a carbon dioxide medium was determined, which is 0,15-0,21.

### Введение

При полетах к дальним планетам солнечной системы работоспособность механических систем космических аппаратов (КА) должна быть обеспечена в широком температурном диапазоне. При длительных полетах применение жидких смазочных материалов не может обеспечить надежную работу исполнительных органов КА. В условиях открытого космоса для обеспечения работы кинематических пар механизмов приводов применяют твердые смазочные покрытия [1]. При исследовании планеты Венера и долговременной работы на поверхности планеты необходимо обеспечить работоспособность

узлов трения в атмосфере планеты при температуре  $467^{\circ}\text{C}$  и 96% углекислого газа [2]. Также негативное влияние на узлы трения имеет состав атмосферы Венеры: высокое содержание углекислого газа и высокого атмосферного давления. Одним из перспективных материалов для работы в высокотемпературных узлах трения являются углеродосодержащие композиционные материалы (УУКМ) [3]. Материал УУКМ обладает хорошими характеристиками: прочности и стойкости к адгезионному схватыванию, особенно это важно для обеспечения работоспособности узлов трения, например, механизмов поворота антенн, передвижных планетных платформ. В условиях высоких температур в среде углекислого газа триботехнические свойства УУКМ изучены мало [4].

**Цель работы** – исследовать влияние углекислой газовой среды испытаний на коэффициент трения углеродосодержащего материала при высоких температурах.

**Материалы и оборудование.** В качестве материалов для исследуемых образцов был выбран материал марки «Арголон-2D» и материал контртела – сталь 40X13. Трибологические испытания проводились на высокотемпературном стенде ВТМТ-1000-2, обеспечивающем режим трения образцов по пальчиковой схеме в интервале температур от плюс 20 до плюс  $1000^{\circ}\text{C}$  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 0,25 м/с. Размеры образцов составляли 10x10x10 мм. Осевая нагрузка составляла 1,0 МПа, температура –  $200\text{...}600^{\circ}\text{C}$ . В процессе испытаний измерялись непрерывно температура на поверхности трения и момент трения. Испытания проводились в среде углекислого газа, а для сравнения в нормальных атмосферных условиях.

**Результаты эксперимента.** В результате испытаний была установлена зависимость коэффициента трения от температуры при нагрузке 1,0 МПа и скорости скольжения 0,25 м/с (рис. 1). Из анализа зависимостей, приведенных на рисунке 1, следует, что с увеличением температуры коэффициент трения увеличивается. Для работы на поверхности Венеры важен температурный диапазон  $400\text{...}500^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент трения материала «Арголон-2D» в среде углекислого составляет 0,15-0,21. При температуре  $400^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения материала «Арголон-2D» в среде углекислого газа в 2,4 раза меньше, чем в нормальных атмосферных условиях, а при температуре  $500^{\circ}\text{C}$  коэффициент трения материала «Арголон-2D» в среде углекислого газа в 1,8 раза меньше, чем в нормальных атмосферных условиях.

Сравнительные испытания показали, что коэффициентом трения на воздухе сильно увеличен, чем при испытаниях в среде  $\text{CO}_2$  в интервале температур  $200\text{--}600^{\circ}\text{C}$ . Эффект уменьшения коэффициента трения при испытаниях в среде  $\text{CO}_2$  объясняется образованием пленки твердой смазки на основе графита, которая в

процессе трения и износа восстанавливается по механизму карбонизации в условиях высоких температур.

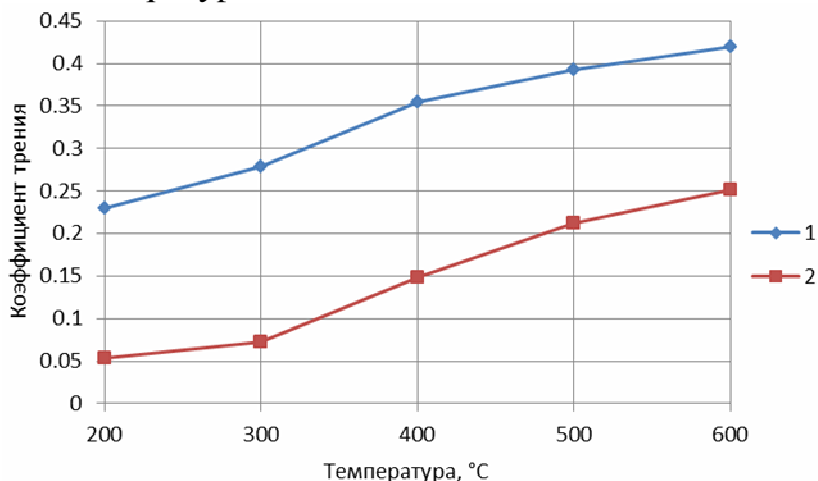


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от температуры при нагрузке 1,0 МПа и скорости 0,25 м/с материалов: 1 – «Арголон-2D», 2 – «Арголон-2D» в среде CO<sub>2</sub>

**Выводы.** Исследованы антифрикционные свойства углеродсодержащего композиционного материала «Арголон-2D» при трении без смазки по стали 40X13 в среде углекислого газа в диапазонах температур 200-600°C при скорости 0,25 м/с, контактном давлении 1 МПа. В сравнении с коэффициентом трения на воздухе установлен эффект сильного уменьшения коэффициента трения в среде CO<sub>2</sub> в интервале температур 200-600°C. Для работы на поверхности Венеры в температурном диапазоне 400...500°C определен коэффициент трения материала «Арголон-2D» в среде углекислого, который составляет 0,15-0,21. Результаты проведенных исследований предназначены для использования при проектировании узлов трения аппаратов будущего, предназначенных для работы на поверхности Венеры.

#### Список литературы

1. Nunez E.E., Gheisari R., Polycarpou A.A. Tribology review of blended bulk polymers and their coatings for high-load bearing applications // Tribology International. 2019, vol. 129, pp. 92-111.
2. Marcq E., Jessup K.I., Baggio L., Encrenaz T., et al. Climatology of SO<sub>2</sub> and UV absorber at Venus' cloud top from SPICAV-UV nadir dataset // Icarus. 2020, vol. 335, p. 113368.
3. Новые материалы / Колл. авторов; Под науч. ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.
4. Алисин В.В., Рошин М.Н., Лукьянов А.И., Воронцов В.А., Богачев В.А., Маркачев Н.А. 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. Roshchin M.N., Markachev N.A., Bogachev V.A. Tribology of carbon-containing materials in the carbon dioxide environment at high temperatures // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 862, p. 062063.

#### Сведения об авторах:

Рошин Михаил Николаевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник;  
Маркачев Николай Александрович – к.т.н., ведущий конструктор.