

## УЗЕЛ ТРЕНИЯ СТАЛЬ-УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЙ МАТЕРИАЛ, РАБОТАЮЩИЙ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Рошин М.Н.<sup>1</sup>, Кривошеев А.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва;*

<sup>2</sup>*ООО "ГАЗ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКТ", г. Таганрог*

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

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы фрикционного взаимодействия углерод-углеродных композитов со сталью в условиях высоких температур. Обосновывается утверждение о допустимости применения углеродного композита в узлах трения при высоких температурах. Исследуются антифрикционные свойства углеродных композитов при трении по стали в интервале скоростей 0,05 – 0,25 м/с и контактном давлении 0,5 МПа. Экспериментально показано, что материал "Хардкарб-Т" в диапазоне температур +300...+700 °С, скорости 0,05 м/с имеет лучшие антифрикционные свойства, чем материал «Аргалон-2D». Коэффициент трения материала "Хардкарб-Т" в диапазоне температур 300...700 °С изменяется от 0,32 до 0,36. При нагрузке 0,5 МПа, скорости скольжения 0,05 м/с и температуре 700°С коэффициент трения материала "Хардкарб-Т" ниже на 15%, чем материала «Аргалон-2D».

## FRICITION UNIT STEEL IS A CARBON-CONTAINING MATERIAL THAT OPERATES AT HIGH TEMPERATURES

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

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

<sup>2</sup>*GAZ METALLOKOMPLEKT LLC, Taganrog*

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

**Abstract.** The article deals with the frictional interaction of carbon-carbon composites with steel at high temperatures. The statement about the permissibility of using carbon composite in friction units at high temperatures is substantiated. The antifriction properties of carbon composites under friction on steel in the speed range of 0.05 – 0.25 m/s and a contact pressure of 0.5 MPa are studied. It is experimentally shown that the «Hardcarb-T» material has better antifriction properties than the «Argalon-2D» material in the temperature range of +300...+700 °C and a speed of 0.05 m/s. The coefficient of friction of the "Hardcarb-T" material in the temperature range 300...700 °C varies from 0.32 to 0.36. At a load of 0.5 MPa, a sliding speed of 0.05 m/s and a temperature of 700°C the coefficient of friction of the «Hardcarb-T» material is less than 15% than that of the «Argalon-2D» material.

**Введение.** Работоспособность узлов трения в экстремальных условиях зависит от конструктивных особенностей узла и материалов пары трения. При высоких температурах в парах трения возможно применение твердых смазочных покрытий [1]. При исследовании планет солнечной системы, например планеты Венера, необходимо создавать аппараты для долговременной работы на поверхности планеты, как стационарные, так и подвижные. Атмосфера на поверхности Венеры имеет температуру 460°С [2] и состоит на 96% из углекислого газа. В агрессивных атмосферных условиях и присутствия высоких температур просматривается возможность применение в парах трения

поворотных механизмов и узлах приводов углеродосодержащих композиционных материалов (УУКМ). Особенно актуальны эти исследования в области авиационной и космической техники, потому что УУКМ обладают уникальным сочетанием веса и прочности [3]. Постоянно совершенствуются технологии производства УУКМ. Например, для улучшения механических и триботехнических свойств в состав УУКМ вводят ПАН волокно, углеродные нанотрубки. При большом объеме исследований УУКМ влияния температуры на трибологические параметры углеродных композитов слабо изучены.

**Цель работы.** Исследование трибологических свойств пары трения сталь-углеродосодержащий материал в условиях высоких температур 300-700°C в интервале скоростей 0,05-0,25 м/с и контактных давлений 0,5 МПа.

**Материалы и методы исследований.** Образцы изготовлены из объемно-армированного углерод-углеродного композиционного материала марки «Аргалон-2D» и армированного углеродного 2D материала "Хардкарб-Т", изготовленного из углеродистой ткани типа Саржа 2/2-1000-12К-400 (ПАН волокно). В качестве ответной пары при трении использовались образцы из коррозионностойкой стали 40Х13. Трибологические испытания проводились на модернизированном высокотемпературном стенде ВТМТ-1000 [4].

Режим трения образцов проводился в интервале температур 300-700°C в условиях нормальной нагрузки 0,5 МПа и диапазоне линейных скоростей 0,05-0,25 м/с. Проведение испытания образцов материалов должны проводиться в условиях моделирующих работу натурального узла трения. Наиболее приемлемой схемой трибологических испытаний материалов является схема «диск-палец», т.к. результаты стендовых испытаний образцов легче распространять на другие схемы сопряжений. На протяжении всего периода испытаний производился замер момента трения и температуры. Регистрация момента трения осуществляется с использованием тензометрических датчиков. Измерение температуры испытуемых образцов осуществлялся термопарой хромель-алюмель.

**Результаты и обсуждение.** Результаты испытаний материалов «Аргалон-2D» и "Хардкарб-Т" при температуре 300-700°C, нагрузке 0,5 МПа и скорости 0,05 м/с приведены на рисунке 1. С увеличением температуры испытаний более 450°C коэффициент трения материала «Аргалон-2D» растет по сравнению с материалом "Хардкарб-Т". Так при скорости 0,05 м/с и температуре 500°C коэффициент трения у материала "Хардкарб-Т" ниже на 7%, чем у материала «Аргалон-2D», а при температуре 700°C коэффициент трения у материала "Хардкарб-Т" ниже на 15%, чем у материала «Аргалон-2D». При испытании материалов при температуре 500 °C при скоростях скольжения: 0,05; 0,16; 0,25 м/с и нагрузке 0,5 МПа было установлено, что с увеличением скорости коэффициент трения в условиях заданных параметров увеличивается для обоих материалов (рис. 2). Так при скорости 0,05 м/с коэффициент трения у материала "Хардкарб-Т" ниже на 7%, чем у материала «Аргалон-2D», а при скорости 0,25 м/с коэффициент трения у материала "Хардкарб-Т" ниже на 27%, чем у материала «Аргалон-2D». Изменение коэффициента трения материала "Хардкарб-Т" в диапазоне скоростей 0,05-0,25 м/с и давлении 0,5 МПа находится в диапазоне 0,32-0,38.

С увеличением температуры более 300°C при испытании материала «Аргалон-2D» уменьшаются механические характеристики материала, в том числе

твердость. С размягчением материала поверхностных слоев УУКМ увеличивается деформационная составляющая силы трения и, соответственно, имеет место устойчивый рост коэффициента трения. С ростом температуры изменяются механические и триботехнические свойства материалов, находящихся в узле трения. В зависимости от сочетания коэффициентов линейного расширения сопряженных материалов с ростом температуры возможно уменьшение величины радиального зазора в цилиндрическом шарнире до нуля, что ведет к задиру контактирующих поверхностей и заклиниванию узла трения.

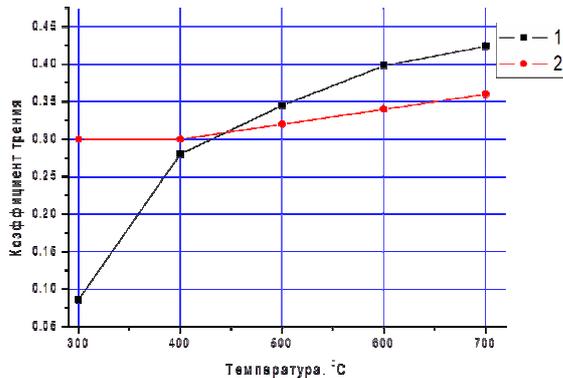


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от температуры при нагрузке 0,5 МПа и скорости 0,05 м/с материалов: 1-«Аргалон-2D»; 2-«Хардкарб-Т»

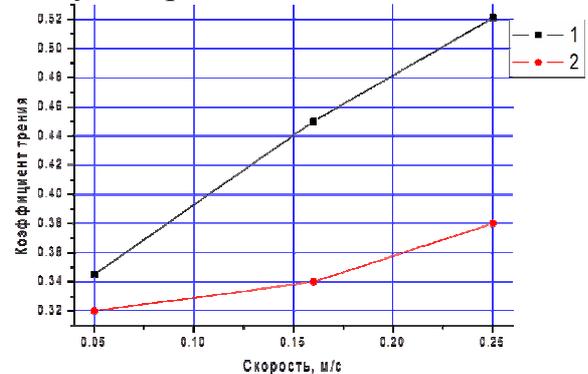


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от скорости при нагрузке 0,5 МПа и температуре 500 °C материалов: 1-«Аргалон-2D»; 2-«Хардкарб-Т»

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что материал «Хардкарб-Т» в диапазоне температур +300...+700 °C, нагрузки 0,5 МПа, скорости 0,05 м/с имеет лучшие антифрикционные свойства, чем материал «Аргалон-2D». Коэффициент трения материала «Хардкарб-Т» в диапазоне температур 300...700 °C изменяется от 0,32 до 0,36. При нагрузке 0,5 МПа, температуре 500 °C и скорости скольжения 0,05 м/с коэффициент трения материала «Хардкарб-Т» ниже на 7%, чем материала «Аргалон-2D». Полученные результаты в области высокотемпературных испытаний материалов на трение предназначены для использования при проектировании узлов трения.

#### Список литературы

1. Vereshchaka A.A., Tabakov V.P., Griguriev S.N., et al. Investigation of wear and diffusion processes on rake faces of carbide inserts with Ti-TiN-(Ti,Al,Si)N composite nanostructured coating // *Wear*. 2018. V. 416-417. P. 72-80.
2. Peralta J. Venus's winds and temperatures during the Messenger's flyby: an approximation to a three-dimensional instantaneous state of the atmosphere // *Geophys. Res. Lett.* 2017. №44. P.3907-3915.
3. Новые материалы. Колл. авторов. Под научной редакцией Ю.С. Карабасова. – М: МИСИС. – 736 с.
4. Roshchin M.N. High-temperature installation for testing composite ceramic materials on the friction and wear behavior // *Journal of Physics: Conference Series* 1515 (2020) 042050.

#### Сведения об авторах:

Роцин Михаил Николаевич – к.т.н., в.н.с., ИМАШ РАН, г. Москва;

Кривошеев Андрей Юрьевич – директор ООО «ГАЗ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКТ», г. Таганрог.