

## ШАРНИРЫ СО ВТУЛКАМИ ИЗ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

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

<sup>1</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благодирова РАН, г. 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 0,67 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 0,31 до 0,34. При нагрузке 0,5 МПа, скорости скольжения 0,05 м/с и температуре 700°С коэффициент трения материала "Хардкарб-Т" ниже на 19%, чем материала «Аргалон-2D».

## JOINTS WITH BUSHINGS OF THEIR CARBON-CONTAINING MATERIALS FOR OPERATION AT HIGH TEMPERATURES

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

<sup>1</sup>*Mechanical Engineering Research Institute of the 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 0.67MPa are studied. It is experimentally shown that the material "Hardcarb-T" in the temperature range of 300...700°C, the speed of 0.05m/s has better anti-friction properties than the material "Argalon-2D". The coefficient of friction of the "Hardcarb-T" material in the temperature range 300...700°C varies from 0.31 to 0.34. At a load of 0.5MPa, a sliding speed of 0.05m/s and a temperature of 700°C the coefficient of friction of the Hardcarb-T material is 19% lower than that of the Argalon-2D material.

**Введение.** Работоспособность шарниров в условиях высоких температур зависит от конструктивных особенностей шарнира и материалов, образующих пару трения. При высоких температурах в парах трения возможно применение твердых смазочных покрытий. Применение в конструкции шарнира углеродосодержащих композитных материалов (УУКМ) в паре со сталью дает возможность повысить эксплуатацию их при высоких температурах. Особенно актуальны эти исследования в области авиационной и космической техники, потому что УУКМ обладают уникальным сочетанием веса и прочности [1].

Технологии производства УУКМ постоянно совершенствуется. Например, для улучшения механических и триботехнических свойств в состав УУКМ вводят ПАН волокно, углеродные нанотрубки. При большом объеме исследований УУКМ [2, 3] влияния температуры на трибологические параметры углеродных композитов слабо изучены.

**Цель работы.** Исследование работоспособности углеродосодержащих материалов для втулок шарниров, работающих в условиях высоких температур.

**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]. Испытания образцов материалов для втулок шарниров проводились в интервале температур 300-700°C в условиях нормальной нагрузки 0,67МПа и диапазоне линейных скоростей 0,05-0,25м/с. Проведение испытания образцов материалов должны проводиться в условиях моделирующих работу натурального узла трения. Наиболее приемлемой схемой трибологических испытания 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 0,67МПа и скорости 0,05м/с приведены на рис.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 10%, чем у материала «Аргалон-2D», а при температуре 700°C коэффициент трения у материала "Хардкарб-Т" ниже на 19%, чем у материала «Аргалон-2D». При испытании материалов при температуре 500 °C при скоростях скольжения 0,05-0,25м/с и нагрузке 0,67МПа было установлено, что с увеличением скорости коэффициент трения в условиях заданных параметров увеличивается для обоих материалов (рис. 2). Изменение коэффициента трения материала "Хардкарб-Т" в диапазоне скоростей 0,05-0,25м/с и давлении 0,67МПа находится в диапазоне 0,31-0,35.

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.

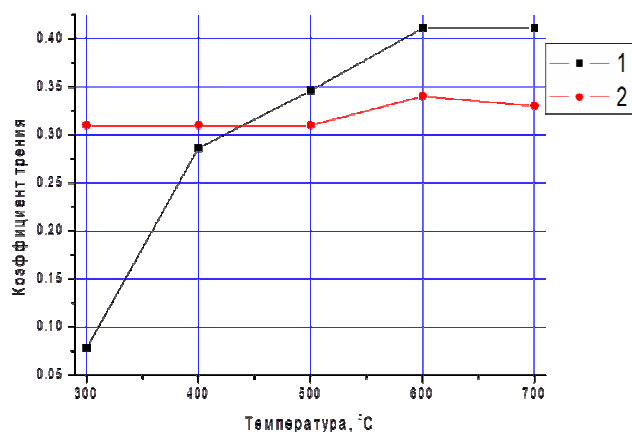


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от температуры при нагрузке 0,67МПа и скорости 0,05 м/с материалов: 1-«Аргалон-2D»; 2-"Хардкарб-Т"

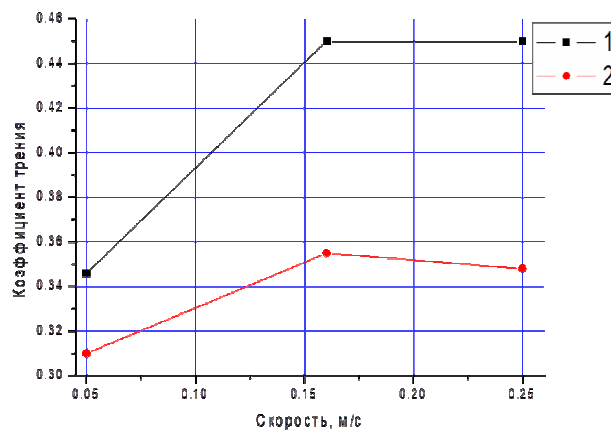


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от скорости при нагрузке 0,67МПа и температуре 500°С материалов: 1-«Аргалон-2D»; 2-"Хардкарб-Т"

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что материал "Хардкарб-Т" в диапазоне температур 300...700°С, нагрузки 0,67МПа, скорости 0,05м/с имеет лучшие антифрикционные свойства, чем материал «Аргалон-2D». Коэффициент трения материала "Хардкарб-Т" в диапазоне температур 300...700°С изменяется от 0,31 до 0,34. При нагрузке 0,67 МПа, температуре 500°С и скорости скольжения 0,05м/с коэффициент трения материала "Хардкарб-Т" ниже на 10%, чем материала «Аргалон-2D». Полученные результаты в области высокотемпературных испытаний материалов на трение предназначены для использования при проектировании шарниров.

#### Список литературы

1. Новые материалы. Колл. авторов. Под научной редакцией Ю.С. Карабасова. – М: МИСИС. – 736 с.
2. Роцин М.Н., Кривошеев А.Ю. Исследование изменения коэффициента трения углеродосодержащих материалов при высоких температурах // Современные проблемы теории машин. – 2019. – № 7. – С. 10-12.
3. Алисин В.В., Роцин 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 имени С.А. Лавочкина». – 2019. – №1(43). – С. 61-65.
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.