

## УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ 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, поверхность, материал.

**Аннотация.** Приведены результаты трибологических испытаний углеродосодержащего материала “Углекон-Т” со сталью 40X13 в диапазоне температур 20...500°C, при нагрузке 0,22...1,0 МПа и скорости скольжения 0,05 м/с.. Материал “Углекон-Т” имеет хорошие антифрикционные характеристики при температуре 20...300°C, коэффициент трения изменяется в пределах 0,05-0,17. Для уменьшения окисления материала “Углекон-Т” при температуре более 300°C необходимо наносить защитные покрытия или проводить модификацию поверхности трения.

## CARBON-CONTAINING MATERIALS IN SLIDING BEARINGS OF ROBOTIC SYSTEMS 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 S.A. Lavochkina”,  
Khimki, Moscow region*

**Keywords:** friction, coefficient of friction, load, speed, testing, surface, material.

**Abstract.** The results of tribological tests of carbon-containing material “Carbon-T” with 40X13 steel in the temperature range of 20...500°C, with a load of 0,22...1,0 MPa and a sliding speed of 0,05 m/s are presented.. The material “Carbon-T” has good antifricition characteristics at a temperature of 20...300°C, the coefficient of friction varies between 0,05-0,17. To reduce the oxidation of the Carbon-T material at a temperature of more than 300°C, it is necessary to apply protective coatings or modify the friction surface.

**Введение.** Эксплуатация техники в экстремальных условиях связана с ужесточением требований к подвижным узлам и агрегатам. При повышении температуры изменяются геометрические размеры в узлах трения, изменяются условия смазки трущихся поверхностей. Температура в узле трения растет с увеличением нормальной нагрузки, коэффициента трения, скорости скольжения и уменьшением теплопроводности контактирующих тел. При высокой температуре смазка не сможет обеспечить разделение трущихся поверхностей, может возникнуть режим граничного и сухого трения. При граничной смазке поверхность сопряженных тел разделена слоем смазочного материала малой толщины, которая соизмерима с максимальной высотой неровностей профиля

шероховатости [1]. Во многих областях, связанных с эксплуатацией агрегатов при высоких температурах, применение традиционных конструкционных машиностроительных материалов не может обеспечить работоспособность механизмов и узлов трения для выполнения поставленных задач. Применение новых антифрикционных материалов в узлах трения, способных работать при высоких температурах, позволяет создавать работоспособные агрегаты с низким коэффициентом трения. Материалы, применяемые в узлах при высоких температурах, должны обеспечивать его работоспособность и надежность. Для повышения антифрикционности узла трения используют высокотемпературные смазки или твердые смазочные материалы и покрытия (ТСП) [2]. ТСП используются также в качестве основных компонентов самосмазывающихся антифрикционных материалов. К их достоинствам следует отнести малый вес, постоянную смазку в условиях хранения. В отличие от жидких масел при их использовании не требуется специальных уплотнений и систем циркуляции смазки, что значительно упрощает конструкции узлов трения. Применение ТСП исключает необходимость периодического введения смазочного материала, что особенно в процессе эксплуатации летательных аппаратов и роботизированных систем. Для работы узлов трения в условиях агрессивной атмосферы и высоких температур используют углеродосодержащие композиционные (УУКМ) [3]. Недостаточность информации по трибологическим параметрам материалов УУКМ в узлах трения при высоких температурах сдерживает процесс широкого их использования.

**Цель работы** – исследовать трибологические свойства углеродосодержащего материала для подшипников скольжения роботизированных систем при высоких температурах.

**Материалы и методы исследований.** Проводились трибологические испытания углеродосодержащего материала марки “Углекон-Т” при высокой температуре в паре со сталью 40Х13. В качестве контртела была выбрана жаропрочная коррозионностойкая сталь 40Х13. Трибологические исследования проводились на модернизированном высокотемпературном стенде ВТМТ-1000 [4]. Испытание проводилось на образцах по схеме «диск-палец» в интервале температур 20...500°С при нагрузке 0,22...1,0 МПа и скорости скольжения 0,05 м/с. Испытания должны моделировать условия работы натурального узла трения. Данная схема испытаний «диск-палец» позволяет распространять результаты стендовых испытаний на другие схемы сопряжений. В процессе испытаний в режиме онлайн проводилось измерение момента трения и температуры.

**Результаты и обсуждение.** При испытании материала “Углекон-Т” в паре со сталью 40Х13 в диапазоне температур 20...500°С при скорости скольжения 0,05 м/с и нагрузке 0,22...1,0 МПа была установлена зависимость коэффициента трения от температуры и нагрузки (рис. 1). При температуре 20...300°С коэффициент трения материала “Углекон-Т” изменяется в пределах 0,05-0,17. При увеличении температуре 500°С и нагрузке 0,22 МПа достигает значения 0,45. Рост коэффициента трения объясняется окислительными процессами при высокой температуре. Для уменьшения окисления материала “Углекон-Т” при

температуре более 300°C необходимо наносить защитные покрытия или проводить модификацию поверхности трения.

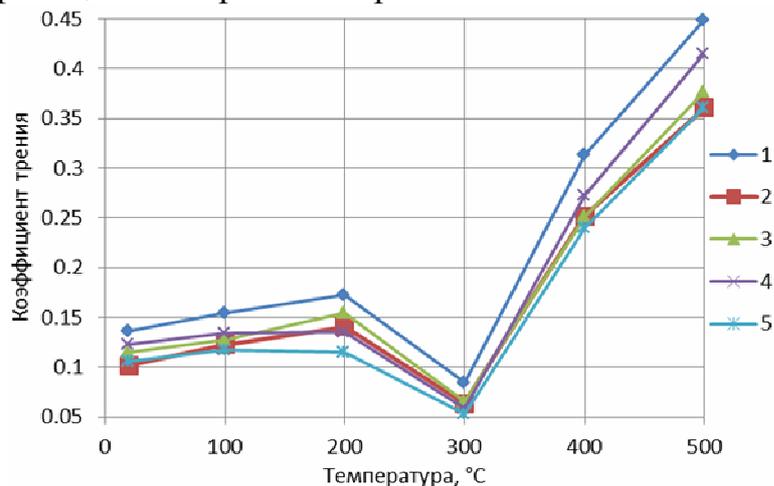


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от температуры материала “Углекон-Т” при скорости 0,05 м/с и нагрузки, МПа: 1-0,22; 2-0,3; 3-0,5; 4-0,67; 5-1,0

**Выводы.** Материал “Углекон-Т” имеет хорошие антифрикционные характеристики при температуре 20...300°C, коэффициент трения изменяется в пределах 0,05-0,17. Для уменьшения окисления материала “Углекон-Т” при температуре более 300°C необходимо наносить защитные покрытия или проводить модификацию поверхности трения. Полученные результаты в области высокотемпературных испытаний материалов на трение предназначены для использования при проектировании узлов трения роботизированных систем, работающих в экстремальных условиях.

#### Список литературы

1. Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М. и др. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под.общ.ред. А.В.Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Лобова Т.А., Марченко Е.А. Влияние состояния основы на структуру и трибологические характеристики покрытий диселенида молибдена (MoSe<sub>2</sub>) // Материаловедение. – 2019. – №11. – С. 9-13.
3. Новые материалы / Колл. авторов; Под науч. ред. Ю.С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2002. – 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. 2020, vol. 1515, p. 042050.

#### Сведения об авторах:

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