

УДК 621.892.09

## ПРИРАБОТОЧНЫЕ СВОЙСТВА СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

*Д.т.н., проф. Жорник В.И., Ковалева С.А., д.ф.-м.н. Кукареко В.А., к.х.н. Карпинчик Е.В., Южик Л.И.*

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Институт химии новых материалов НАН Беларуси*

Стадия приработки элементов пары трения оказывает существенное влияние на условия функционирования и ресурс трибосопряжений. Для интенсификации процессов приработки и формирования благоприятных условий контактирования трущихся поверхностей применяют специальные приработочные составы. Для улучшения эксплуатационных свойств смазочных материалов применяют различного рода добавки, которые имеют свою рекомендованную область применения. Некоторые из них целесообразно применять на этапе обкатки механизма, другие на этапе нормального, установившегося изнашивания, а третьи на этапе ремонта и восстановления механизма без разборки и т.д. [1, 2]. В качестве добавок, чаще всего используют комплексные препараты на основе фторопласта и других фторсодержащих соединений; солей металлов и растворов, содержащих ионы металлов; ультрадисперсных порошков металлов и сплавов. При использовании металлосодержащих добавок на поверхностях трения образуются тонкие металлические плёнки или соединения типа сульфидов, фосфидов и пр., улучшающие триботехнические характеристики сопряжений. Эффективность действия добавок обуславливается их химическими свойствами, концентрацией в смазочных материалах, их смачиваемостью, а также жесткостью контакта.

Цель работы - исследование влияния различных нанодисперсных добавок в масло И-40 на параметры микрогеометрии поверхности трения в парах трения типа «пластичный-высокопрочный», «высокопрочный-высокопрочный» и триботехнические свойства смазочных композиций с целью оценки их приработочной способности.

В работе исследовались смазочные композиции с наноразмерными добавками аморфного алюмосиликата (№2), магнийсиликата (№3), дисульфида молибдена (№4), карбида кремния (№5) и алмазно-графитовой шихты ША-А (№6) в сравнении с маслом И-40 без добавок (№1). В качестве «пластичного» материала использовалась сталь ШХ15 после отпуска (325 HV) и в качестве «высокопрочного» - сталь ШХ15 после закалки (800 HV). Триботехнические испытания проводились в режиме граничного трения на автоматизированном трибометре АТВП. Контртело - сталь У8 (800 HV). Средняя скорость перемещения - 0,1 м/с, путь трения - 1800 м, номинальное контактное давление -  $p = 10$  МПа. Анализ геометрических параметров микрорельефа проводился с помощью атомно-силового микроскопа NT-206. Оценивались коэффициент трения  $f$ , интенсивность изнашивания  $I_h$ , параметры шероховатости  $R_a$ . Период приработки оценивался по пути трения  $L$  до наступления стабилизации коэффициента трения.

Результаты триботехнических испытаний показали, что введение добавок магнийсиликата и шихты ША-А в два раза сокращает продолжительность приработки в парах трения «пластичный-высокопрочный», в то время как добавки дисульфида молибдена и карбида кремния не обеспечивают завершения стадии приработки на всем выбранном пути трения (табл.1). Самые низкие значения коэффициента трения и параметров микрорельефа характерны для добавок шихты ША-А (табл.1).

Таблица 1 – Результаты триботехнических испытаний пары трения «пластичный-высокопрочный» в присутствии различных смазочных композиций

|                   | №1           | №2          | №3         | №4        | №5          | №6         |
|-------------------|--------------|-------------|------------|-----------|-------------|------------|
| $R_a$ , нм        | 20-40        | 22-41       | 17-30      | 16-65     | 19-46       | 15-26      |
| $f$               | 0,035- 0,038 | 0,085-0,090 | 0,095-0,12 | 0,07-0,08 | 0,078-0,085 | 0,01-0,015 |
| $L$ , м           | 1200         | 1200        | 600        | -         | -           | 600        |
| $I_h$ , $10^{-9}$ | 2,1          | 3,3         | 6,6        | 34        | 42          | 5,7        |

Наиболее низкие значения интенсивности изнашивания на стадии установившегося трения наблюдаются для случая использования чистого масла И-40 ( $I_h = 2,1 \cdot 10^{-9}$ ). Для модифицированных смазочных композиций наибольший уровень износостойкости отпущенной стали ШХ15 на стадии установившегося трения зафиксирован при использовании аморфного алюмосиликата ( $I_h = 3,3 \cdot 10^{-9}$ ). Использование добавок алюмосиликатов, дисульфида молибдена и карбида кремния при приработке пластичного материала приводит к образованию глубоких абразивных царапин и увеличению значений параметров шероховатости характеристик поверхности трения в 1,5 раза по отношению к немодифицированному маслу И-40, что может быть обусловлено формированием абразивных агломератов из продуктов износа и модификаторов.

В парах трения «высокопрочный-высокопрочный» ускорение периода приработки отмечается в масле с добавками алюмосиликата, карбида кремния, дисульфида молибдена и алмазно-графитовой шихты ША-А. При этом наиболее низкие значения величины линейного износа и коэффициента трения регистрируются при введении добавок дисульфида молибдена и алмазно-графитовой шихты ША-А (табл.2).

Таблица 2 – Результаты триботехнических испытаний пары трения «высокопрочный-высокопрочный» в присутствии различных смазочных композиций

|                   | №1        | №2        | №3        | №4        | №5        | №6        |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $R_a$ , нм        | 16-42     | 30-32     | 25-38     | 13-36     | 11-102    | 38-71     |
| $f$               | 0,12-0,13 | 0,13-0,16 | 0,14-0,16 | 0,10-0,12 | 0,22-0,15 | 0,08-0,09 |
| $L$ , м           | 1200      | 600       | 1000      | 600       | 600       | 600       |
| $I_h$ , $10^{-9}$ | 1,32      | 2,8       | 1,0       | 0,44      | 9,1       | 0,24      |

В парах трения «высокопрочный-высокопрочный» наилучшими параметрами микрогеометрии характеризуются поверхности трения после приработки в смазочных композициях с использованием добавок дисульфида молибдена ( $R_a=13-36$ ) (табл.2). Добавки магнийсиликатов существенно не изменяют параметры микрогеометрии высокопрочной поверхности относительно использования чистого масла. Добавки наноразмерных частиц алюмосиликатов и особенно ША-А приводят к росту значений параметров микрогеометрии при увеличении твердости прирабатываемой поверхности ( $R_a= 38-71$  нм) (рис.1).

Низкие значения параметров шероховатости достигаются на локальных участках при использовании добавок карбида кремния. Однако частицы SiC склонны к образованию абразивных агломератов, что приводит к появлению единичных глубоких царапин и ухудшению показателей шероховатости. Тенденция к появлению абразивных царапин на поверхности трения сохраняется при применении всех модифицированных масел и, предположительно, обусловлена образованием абразивных агломератов из дисперсных модификаторов и продуктов износа различных размеров.

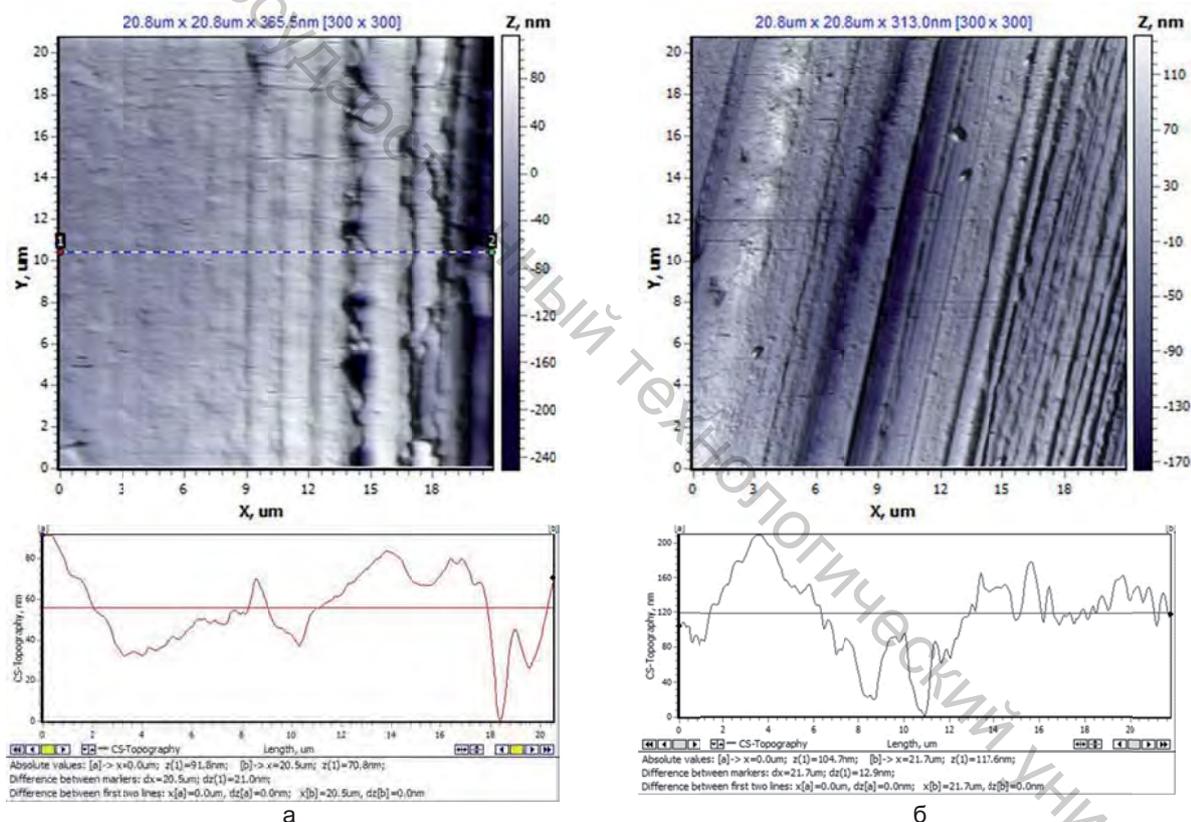


Рисунок 1 – АСМ изображение топографии и профиля поперечного сечения поверхности, приработанной в масле И-40 с присадкой шихты ША-А: а – пара трения «пластичный-высокопрочный», б – «высокопрочный-высокопрочный»

Таким образом, в парах трения «пластичный–высокопрочный» целесообразно использовать в качестве прирабочной композиции индустриальное масло с добавками ША-А, а для приработки пары трения «высокопрочный-высокопрочный» - индустриальное масло с добавками дисульфида молибдена.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект БРФИ-ФРНА-2013 №Т13А3-011).

Список использованных источников

1. Витязь, П.А. Триботехнические свойства пар трения в среде консистентной смазки, модифицированной ультрадисперсными алмазами / П.А. Витязь, В.И. Жорник, В.А. Кукареко//Порошковая металлургия. – 2001. – №24. – с.34-39
2. Балабанов, В.И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах / В.И. Балабанов, В. И. Беклемышев, И. И. Махонин – М.: Изумруд, 2004. – 192 с.