

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
СТАЛЬНОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ТРЕНИИ СО СМАЗОЧНЫМИ
МАТЕРИАЛАМИ, МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ТВЕРДЫМИ
ДИСПЕРСНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ****А. В. Бондарев***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Е. Н. Волнянко

Поверхность металлических изделий по сравнению с их внутренними частями имеет ряд особенностей. Любой атом, расположенный внутри металла с идеальной кристаллической решеткой, находится в состоянии подвижного устойчивого равновесия. Атомы, которые находятся на поверхности, имеют только односторонние связи с металлом, поэтому их состояние неустойчиво: они более активны, обладают избыточной свободной энергией по сравнению с атомами, находящимися в объеме материала. С физической точки зрения, поверхность металлов представляет собой атомную плоскость с нескомпенсированными силовыми полями атомов, что приводит к высокой сорбционной активности поверхностного слоя. В реальных условиях поверхностный слой металлов и его толщина зависят от природы металлов, состава окружающей газовой среды и условий контактирования: температуры, давления, продолжительности и т. д. [1]. Строение поверхностей трения во многом определяет износостойкость трибосопряжения. Структурные параметры поверхности трения входят в совокупность взаимосвязанных характеристик, обуславливающих физико-химические, трибологические и эксплуатационные свойства узлов трения.

В процессе работы металлическое изделие в составе трибосопряжения существенно меняет механические свойства: прочность, пластичность, износостойкость и так далее за счет фазовых превращений поверхностного слоя. Фазовые превращения в поверхностных слоях сопряженных деталей обусловлены высокими контактными нагрузками и температурами. Из этого следует, что борьба с деструкцией поверхностного слоя деталей должна идти в первую очередь по пути улучшения смазки и снижения температур на трущихся поверхностях [2].

В работе исследовали стальные поверхности, разделенные смазочным материалом, содержащим ультрадисперсные керамические частицы. Пара трения: фольга из стали 3 и ролик из стали 45. Использовали смазочный материал на основе индустриального масла И-40, загущенного церезином. Керамические частицы представляют собой твердый раствор Al_2O_3 и AlN в Si_3N_4 с общей формулой $Si_{6-x}Al_xO_xN_{8x}$ (где $x = 0,8-4,2$), полученный плазмохимическим методом. Элементный состав, %: $44,5 \pm 1,5Si$, $14,5 \pm 1,0Al$, $9,5 \pm 1,5O$, $30,5 \pm 1,5N$. Исследования поверхностей трения проводили методами оптической и растровой электронной микроскопии. Поверхности трения стальных образцов обрабатывали методами, используемыми в металлографии [3]. Подготовку стальных образцов проводили травлением в реактиве Фрая [4] после предварительного нагрева. Металлографическую структуру оценивали методами оптической микроскопии.

Металлографические исследования показали, что стальные образцы после трения со смазочным материалом, содержащим ультрадисперстные керамические частицы, приобрели пластически деформированный гетерофазный поверхностный слой полиэдрического строения, тогда как исходная фольга имеет четко выраженную текстуру прокатки. На рис. 1 приведены фотографии образцов, наблюдаемых в стереоскопическом микроскопе. Нитридные, оксидные и другие неметаллические включе-

ния в сталях, как правило, оценивают по характерной окраске на нетравленных микрошлифах, так называемых цветах побежалости. Полный и точный анализ включений является достаточно сложной процедурой. Однако использование справочных данных [3] позволило констатировать наличие на поверхностях трения стальных деталей после трения со смазочным материалом, модифицированным ультрадисперсными керамическими частицами, включений следующих соединений: нитрида железа, имеющего серо-голубой цвет; оксидов железа буроватого цвета; силиката железа, имеющего очень темный, практически черный цвет; и цементита блестящего, белого цвета.

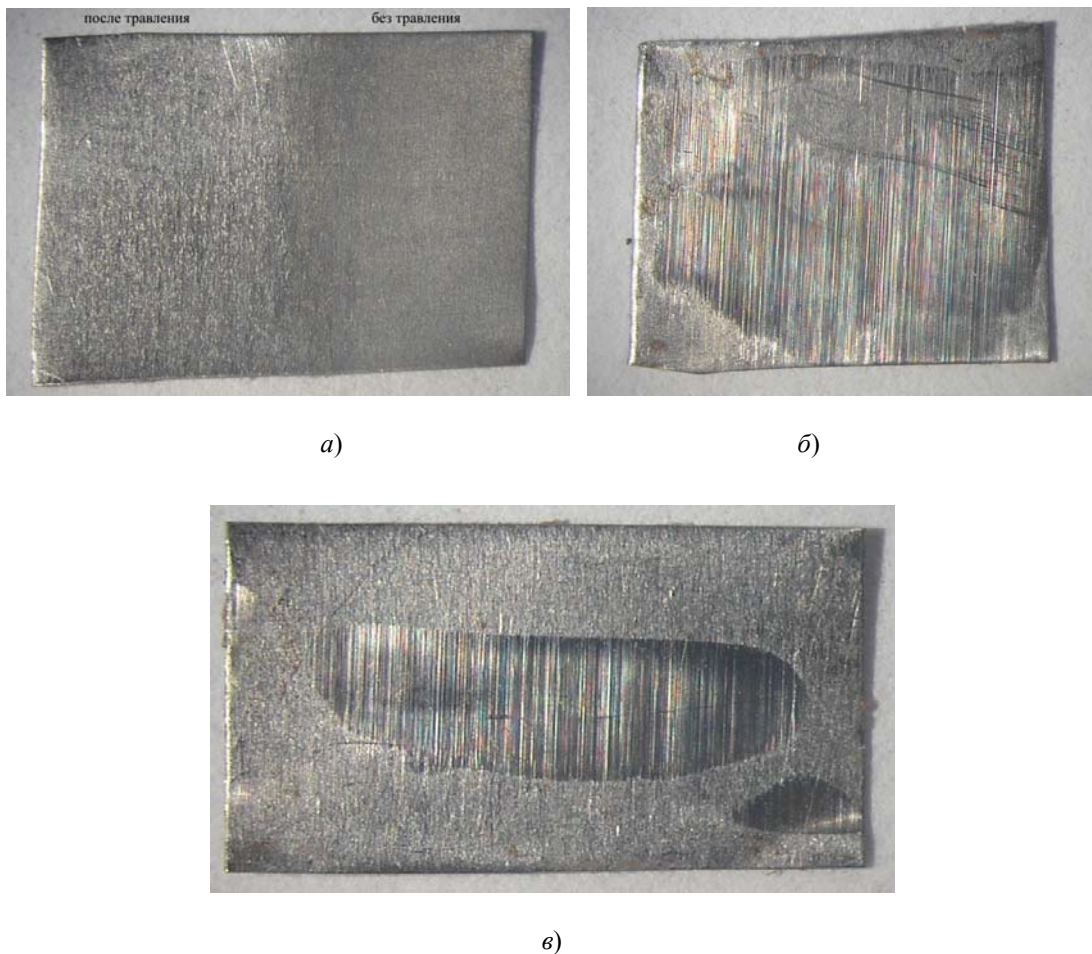
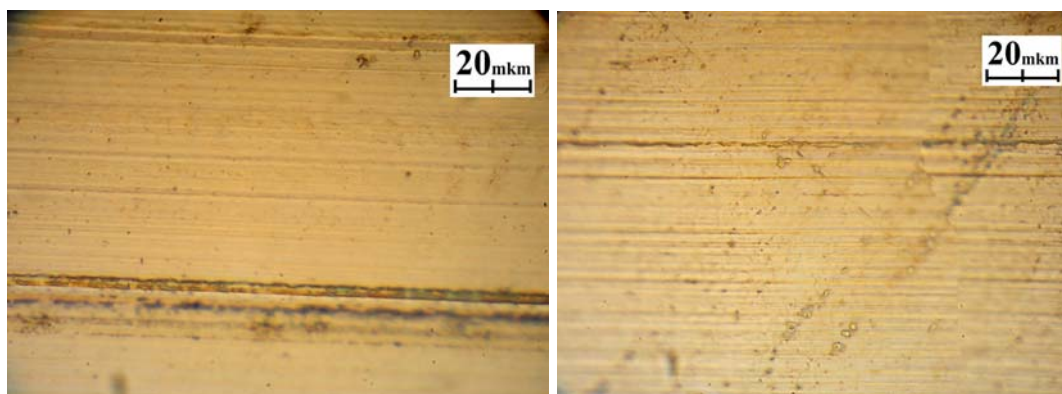


Рис. 1. Изображения стальных поверхностей в стереоскопическом микроскопе:
a – до трения; *б* – после трения при нагрузках 20 МПа;
в – после трения при нагрузках 70 МПа

Изображения поверхностей трения, полученные с помощью светового микроскопа в светлом поле, приведены на рис. 2. Особенностью поверхности стальных образцов после трения при повышенных нагрузках в среде смазочного материала, содержащего ультрадисперсные керамические частицы, является сглаженный рельеф. Трение при высоких нагрузках приводит к формированию зеркально гладких поверхностей, что обуславливает увеличение площади фактического контакта и способствует равномерному распределению приложенной нагрузки в трибосопряжении.



а)

б)

Рис. 2. Изображения поверхностей стальных образцов в световом микроскопе в светлом поле: после трения с использованием СМ, модифицированных \square -сиалоном: а – при нагрузке 20 МПа; б – при нагрузке 70 МПа

Очевидно, что наиболее выраженный антифрикционный эффект при использовании в качестве целевой добавки ультрадисперсных керамических частиц наблюдается в тяжело нагруженных узлах трения.

Литература

1. Структурные превращения металлов при трении. – Режим доступа: <https://znatock.org/s775t1.html>. – Дата доступа: 05.02.2021.
2. Кламанн, Д. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты / Д. Кламанн. – М. : Химия, 1988. – 488 с.
3. Что такое металлография, этапы и методы исследований. – Режим доступа: <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/metallografiya.html>. – Дата доступа: 05.02.2021.
4. Смитлз, К. Дж. Металлы / К. Дж. Смитлз. – М. : Металлургия, 1980. – 446 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАБОТЫ СИСТЕМ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИНИ-ЗАВОДАХ

П. Н. Никитин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. А. Жаранов

Наибольшее распространение ДСП получили на мини-заводах как основной сталеплавильный агрегат для переработки железосодержащей шихты с концентрацией углерода около 0,3 %, недостаточной для завершения плавки, поэтому в исходную шихту добавляют углеродсодержащие материалы (УСМ). Способ загрузки шихты (в две бадьи на болото) и постоянно изменяющаяся плотность шихты (от 0,2 до 0,9 т/м³) создают дополнительные трудности в организацию теплового, аэродинамического и температурного режимов. Постоянное увеличение численности автомобильного парка и сокращение срока эксплуатации автомобилей обеспечит железосодержащей шихтой электросталеплавильное производство [3].