УДК 621

Фадин В.В., Алеутдинова М.И.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИТА, СОДЕРЖАЩЕГО ПОДШИПНИКОВУЮ СТАЛЬ, В УСЛОВИЯХ СКОЛЬЗЯЩЕГО ТОКОСЪЁМА

Определены вольт-амперная характеристика и линейная интенсивность изнашивания композита, основанного на переработанной стали ШХ15 при скорости скольжения 5-10 м/с. Показано, что структурные изменения материала в зоне трения не способны эффективно компенсировать влияние скользящего электроконтакта, что приводит к повышенной интенсивности изнашивания при скорости скольжения 10 м/с.

Volt-ampere characteristic and linear wear rate have been defined for the composite based on ball bearing steel at sliding speed 5-10 m/s. It is shown the wear rate increasing at sliding speed 10 m/s because structural changes of the material in friction zone are not capable for effective compensation of sliding electrocontact effect.

Введение

Ведущий механизм деформации и разрушения материала поверхности трения зависит от различных входных параметров трибосистемы (давление, скорость скольжения, природа контактирующих материалов и др.) и может измениться при изменении режима трения. Соответственно должны измениться выходные параметры, в первую очередь, интенсивность изнашивания. Важными входными параметрами в трибосистемах с токосъёмом являются плотность тока и скорость скольжения. Применяемые скользящие электроконтакты работоспособны при скоростях до 100 м/с и плотности тока менее 100 А/см^2. Проблема создания материалов, способных надёжно и с малой интенсивностью изнашивания работать в качестве электроконтакта со скоростью более 100 м/с и плотностью тока более 100 А/см^2 остается актуальной. Существующие исследования в области трения токосъемных материалов при скоростях скольжения 15-100м/с [1, 2] и плотности тока более 100 А/см^2 [3] не дают удовлетворительного представления о влиянии этих параметров на износостойкость металлических материалов в условиях скользящего токосъёма. Совместное электрическое и механическое воздействие на материал поверхности трения, приводящее к его быстрому разрушению, может быть компенсировано изменением его структуры в процессе трения, т.е. при образовании вторичных структур (ВС) в зоне трения. Основой ВС могут быть наномасштабные зёрна, которые всегда образуются при трении [4]. Однако нанозёренная структура обладает развитой сетью межфазных границ, что приводит к повышенной зернограничной диффузии. Поэтому наноструктуры в зоне трения могут существовать только при невысоких значениях входных параметров, в условиях невысокой температуры и слабой диффузии кислорода в межзёренные границы. Ужесточение режима трения путем увеличения значения одного или нескольких входных параметров вызовет повышение температуры, что приведёт к образованию стабильных окислов, рекристаллизации и повышению интенсивности изнашивания. Однако, возможен вариант, когда высокая прочность поверхностного слоя может быть достигнута за счет образования ВС, являющихся результатом фазового превращения первичной структуры в износостойкую фазу или в диссипативную структуру. Принципы создания первичной структуры, способной к фазовому превращению в таких условиях, отсутствуют и создание таких материалов осуществляется в результате случайного поиска. В качестве примера такого материала можно рассмотреть композит на основе переработанной подшипниковой стали ШХ15. Данные оптической металлографии позволяют предположить, что в зоне трения модельного скользящего электроконтакта на основе стали ШХ15 происходит фазовое превращение с образованием квазиаморфной структуры [5]. Изучение прочности этой структуры при изменении входных параметров представляет научный и практический интерес.

Целью настоящей работы является определение вольт-амперной характеристики (ВАХ) и интенсивности изнашивания трибосопряжения композит на основе стали ШХ15-сталь 45 в условиях скользящего токосъёма при скоростях скольжения до 10 м/с.

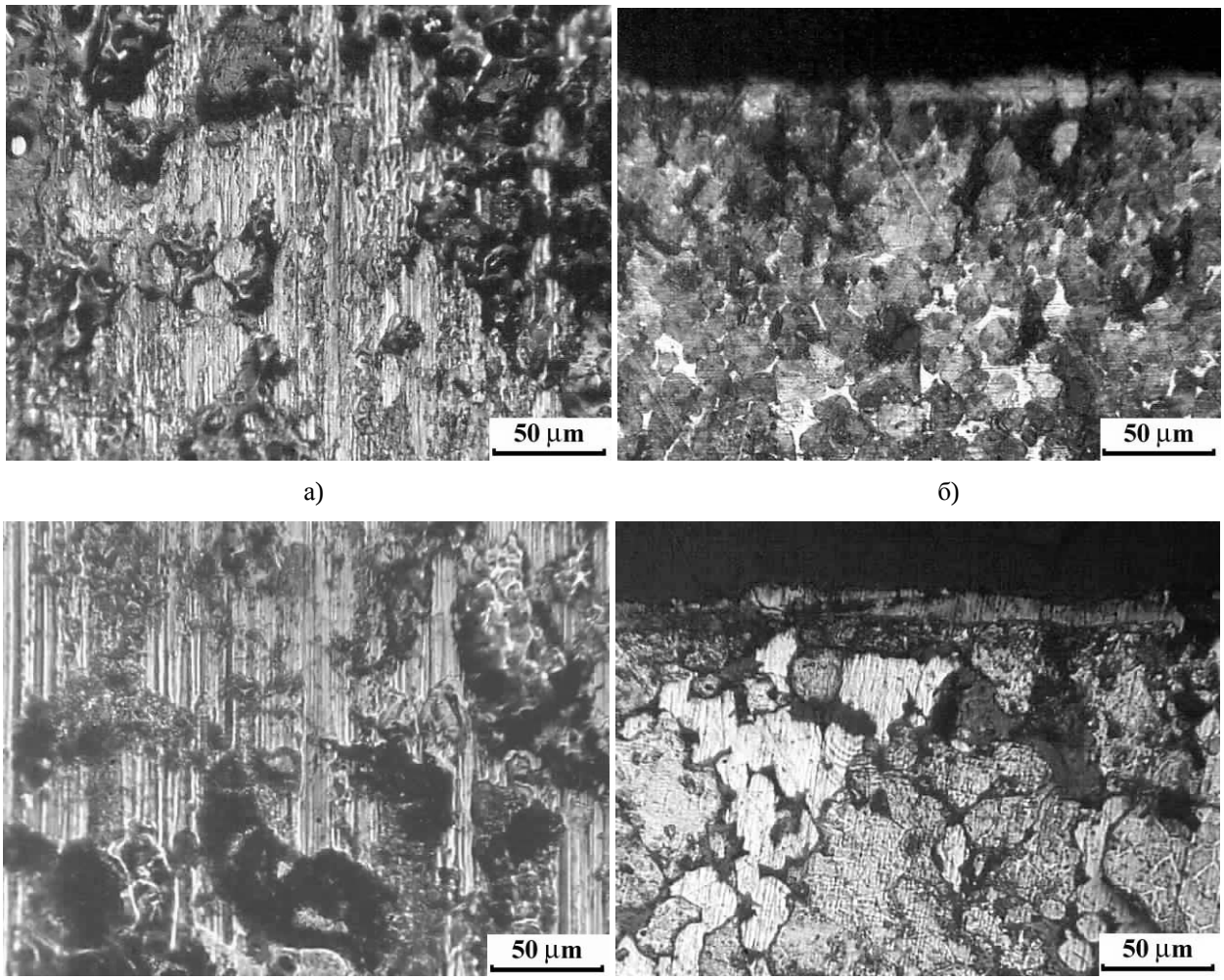
1. Материалы и методика эксперимента

Модельный композит имел состав Cu-10об.%графит-70об.%ШХ15. Сталь ШХ15 была получена путем переработки шлифовального шлама подшипникового производства. Размеры стальных частиц не превышали 100 мкм. Образцы получали однократным прессованием смеси порошков при давлении 550 МПа и спекали в вакууме при температуре 1080°C в течение 2 часов. Свойства модельного композита представлены в сравнении со свойствами материала, изготовленного заводом «Электроконтакт» (г. Кинешма) и применяемого для серийного изготовления троллейбусных токосъёмных вставок, контактирующих с медным троллеем. Этот материал в настоящей работе назван «серийный» и имеет основной состав (вес.%): 43%Fe-42%Cu-10%Pb-2%Zn-графит. Предел прочности на изгиб определен на испытательной машине Instron-1185. Металлографические исследования проведены на оптическом микроскопе Neophot-21. Удельное электросопротивление композитов определено методом амперметра-вольтметра. Пористость измерена методом гидростатического взвешивания на аналитических весах. Триботехнические испытания проведены в условиях скользящего токосъема аналогично [5] без смазки со скоростью скольжения 5 и 10 м/с при давлении 0,13 МПа на машине трения СМТ-1 по схеме нагружения “вал-колодка”, контртело сталь 45 (50 HRC). Путь трения составлял не менее 36 км. Протекание электрического тока через трибоконтакт обеспечено подачей переменного напряжения с промышленной частотой 50 Гц. Линейную интенсивность изнашивания I_h определяли как отношение изменения высоты образца (мкм) к пути трения (км).

2. Результаты и обсуждение

Из общих соображений ясно, что ВС, имеющие невысокую сдвиговую прочность и высокую пластичность, способны образовать большую площадь фактического контакта. Это должно привести к уменьшению электросопротивления трибоконтакта и понизить коэффициент трения. Если такие ВС способны хорошо удерживаться в зоне трения, то это также вызовет повышение износостойкости. Пластичность, прочность, электропроводность и другие свойства ВС зависят от скорости скольжения и вида изнашивания (адгезионный, окислительный и др.). Процессы изнашивания могут усилиться или ослабеть в случае образования ВС на основе фазы или набора фаз в зоне трения, отличных по составу и структуре от существующих в первичной (начальной) структуре. В условиях отсутствия тока рельеф поверхности трения модельного композита состоит из полос, возникающих при оттеснении материала образца неровностями контртела после окончания приработки. Аналогичный рельеф формируется в модельном композите в условиях скольжения без тока при нагрузках до 4 МПа и принципиальное отличие металлографической структуры поверхностного слоя от объёмной структуры композита отсутствует. В присутствии электротока модельный композит на основе стали ШХ15 формирует ВС, топография которых позволяет предположить о «квазижидком» течении поверхностных слоёв (ПС), что указывает на появление особенностей механизма деформации ПС в условиях скользящего токосъёма (рис.1а). Такая топография поверхности трения образуется при всех сочетаниях скорости скольжения до 10 м/с и плотности тока более 15 А/см^2. Если на пятнах контакта таких ВС действительно образуется вязкая жидкость при скольжении, то деформационные дефекты не возникают и отсутствуют условия для возникновения частицы износа. При этом формируется достаточно большая площадь фактического контакта, что уменьшает электросопротивление трибоконтакта. Из рис.2 видно, что при скорости скольжения 5 м/с электросопротивление и интенсивность изнашивания трибоконтакта находятся на относительно низком уровне. Увеличение скорости скольжения приводит к заметному возрастанию этих показателей. Толщина слоя ВС (рис.1б) увеличивается при увеличении плотности тока и увеличении скорости скольжения. Разрушение слоя ВС происходит при достижении толщины около 25 мкм путем образования трещин, перпендикулярных поверхности трения, которые соединяются на межфазной границе ВС-первичная структура с

образованием частицы износа. Образование ВС с такой толщиной указывает на то, что происходит деформация не только поверхностных слоёв, но также и подповерхностных. Такой характер деформирования и разрушения поверхности материала не соответствует режиму нормального трения. Но следует учитывать, что в настоящей работе проведены предварительные исследования по созданию материала, способного образовать сдвигонеустойчивую фазу в зоне трения.



а) б)

в) г)

Рис.1. Топография поверхности трения (а) и сечение поверхности трения (б) модельного материала на основе переработанной стали ШХ15; топография поверхности трения (в) и сечение поверхности трения (г) серийного композита после скольжения со скоростью 10 м/с при плотности тока 100 А/см^2

Необходимо отметить, что увеличение толщины слоя ВС не оказывает влияния на зависимость электросопротивления от плотности тока (рис.2а). В случае отсутствия механизмов, способных компенсировать совместное электрическое и механическое воздействие на материал зоны трения, происходит его ускоренное разрушение, что наблюдается при скольжении с токосъёмом композитов на основе других сталей (Р6М5, Г13, Х13М2) [6]. Металлические композиты, применяемые в промышленности для скользящего токосъёма, содержат в первичной структуре легкоплавкие элементы (свинец, олово и др.). Считается, что они присутствуют в зоне трения до температур около 250єС и формируют сдвигонеустойчивые пластичные и электропроводные ВС. Из рис.1в видно, что поверхность трения серийного материала является морфологическим приближением к поверхности трения композита на основе стали ШХ15. Можно видеть ВС, размазанные в направлении скольжения, толщина которых явно менее 1 мкм (рис.1г). Не исключено, что при малой скорости скольжения реализуется механизм деформации таких ВС по типу вязкой жидкости. Но при увеличении значений вход-

ных параметров, ВС такого типа не образуются и возникает непосредственный контакт первичной структуры и контртела. Ведущим механизмом образования частиц износа является разрушение межфазных границ в зоне трения. Невысокая прочность межфазных границ заложена при изготовлении этого композита и является также причиной его невысокой объёмной прочности (таблица).

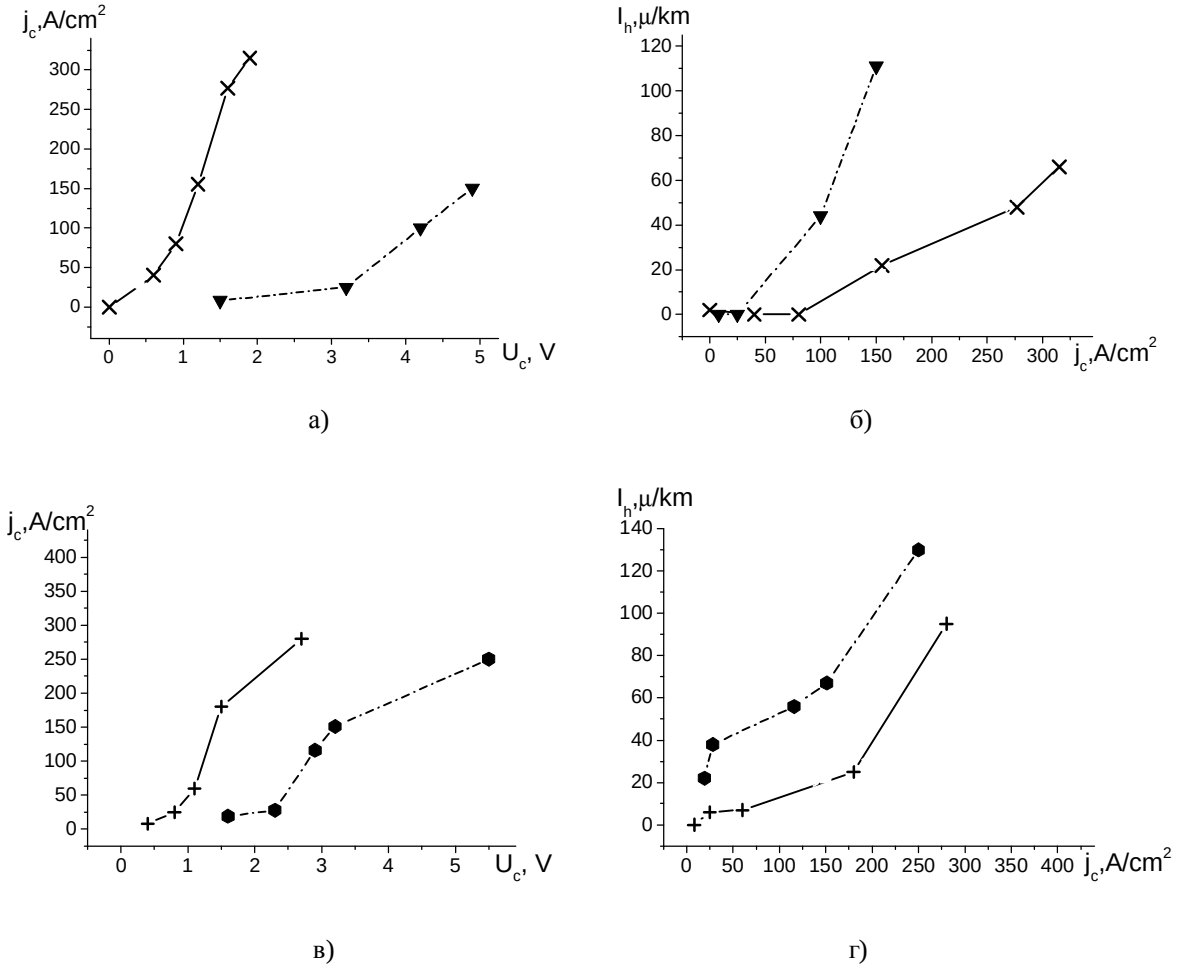


Рис.2. Зависимость контактной плотности тока $j_к$ от контактной разности потенциалов$U_к$ (а,в) и влияние контактной плотности тока $j_к$ на интенсивность изнашивания I_h (б, г): а, б – Cu-10об.%Гр-70об.%ШХ15 (х – 5 м/с, ▼ – 10м/с); в, г –серийный образец (+ – 5 м/с, ● –10м/с)

Таблица. Физические и механические свойства спеченных композитов

Состав (об.%)/свойства	НВ, МПа	$у_и$, МПа	П, %	с, мкОм*м
1.Cu-10 Гр-70ШХ15	1722	920	11	0,24
2.Серийный металлический	610	142	15	0,34

Необходимо отметить, что при малой плотности тока и скорости 10 м/с интенсивность изнашивания заметно возрастает. Это означает, что серийный материал имеет чувствительность к механическому воздействию более сильную, чем к электрическому. Кроме того, износостойкость серийного материала резко падает при увеличении шероховатости контртела. Можно предположить, что такой материал будет быстро изнашиваться в присутствии абразивных частиц в окружающей среде. Не исключено, что сдвигонеустойчивые ВС на основе легкоплавких компонентов с невысокой твёрдостью неспособны проявлять высокую износостойкость при сильной шероховатости контртела, формирующейся при его окислении

или в присутствии мелких абразивных частиц в окружающей среде. Эти ограничения ВС на основе легкоплавких металлов необходимо учитывать при разработке материалов для скользящих электроконтактов.

В целом можно утверждать, что рассмотренные материалы, способные формировать сдвигонеустойчивые электропроводные ВС, могут служить основой для создания скользящих электроконтактов, длительно работающих при плотности тока более 100 А/см^2 и скорости скольжения до 10 м/с.

Заключение

В качестве выводов можно отметить следующее:

1. При увеличении скорости скольжения рассмотренных композитов до 10 м/с происходит резкий рост электросопротивления и интенсивности изнашивания, что указывает на необходимость дальнейшей модернизации материалов и условий трения.

2. Ведущим механизмом образования частицы износа при трении модельного композита на основе переработанной стали ШХ15 является образование трещин во вторичных структурах и на межфазной границе первичная структура-ВС.

3. Разрушение ПС серийного композита происходит по межфазным границам структурных составляющих, находящихся в зоне скользящего электроконтакта.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 06-08-00775-а и проекта 3.6.1.2. программы 3.6.1 фундаментальных исследований СО РАН.

Список используемой литературы

1. Мешков В.В. О фрикционном поведении электропроводных материалов // Трение и износ. 1984. т.5. №3. С. 542-545.
2. Абраменко В.В., Свиридёнок А.И. и др. Триботехнические характеристики железографитных вставок токоприемника троллейбуса в условиях граничной смазки и атмосферных воздействий // Ч.1.Трение и износ. 2001. т.22. №3. С. 332-337.
3. Фадин В.В., Алеутдинова М.И. Износостойкость композитов на основе переработанной подшипниковой стали в условиях скользящего электроконтакта // Трение и износ. 2007. т.28. №4. С. 381-387.
4. Коршунов Л.Г., Макаров А.В. и др. Прочность и трибологические свойства ультрадисперсных структур, формирующихся в закаленной стали У8 при трении // Сб. научных трудов VII Межд.семинара «Структура, фазовые превращения и свойства нанокристаллических сплавов». Екатеринбург, УрО РАН. 1997. С. 102-111.
5. Алеутдинова М.И., Фадин В.В. Деформация поверхностных слоев металлических композитов в условиях скользящего токосъема // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. №2. С. 94-98.
6. Фадин В.В., Алеутдинова М.И. Износостойкость спеченных композитов на стальной основе в условиях скользящего токосъема // Перспективные материалы 2007. №2. С. 69-74.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия.

Подписано в печать 05.11.07.