

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА РАЗРАБОТАННОГО ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Национальный авиационный университет

*Проведены исследования структурных и триботехнических свойств разработанного износостойкого сплава на основе железа для работы при повышенных температурах методами оптической и растровой электронной микроскопии, рентгеновского фазового методов анализа*

**Введение и состояние проблемы.** Одним из перспективных методов повышения износостойкости деталей узлов трения является нанесение композиционных покрытий [1]. Однако существующие покрытия не всегда удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям при эксплуатации соответствующих узлов в условиях динамических нагрузок, активного воздействия коррозионных сред и особенно температур. Одним из эффективных путей получения материалов с высокой жаропрочностью и износостойкостью является создание композиций на металлической основе, упрочненной тугоплавкими боридами и карбидами с использованием эвтектической реакции между ними, поскольку высокая жаростойкость и жаропрочность определяется их структурно-фазовым составом. В работе [2, 3] показано, что такие фазы проникновения, как  $TiB_2$ ,  $CrB_2$  и  $VC$ , характеризуются химической совместимостью, упрочняющая связь находятся в устойчивом равновесии при повышенных температурах (до  $0,9 T_{пл}$ ) с металлической основой, близкой по составу к стали 12Х18Н9Т. Такие сплавы способны работать в нагруженных узлах трения при одновременном воздействии химически активной среды, высоких температур и отсутствии смазки. Однако эксплуатация покрытий в условиях высоких температурах 900–1200 К снижает работоспособность, что обусловлено окислением.

**Цель работы** заключается в исследовании специально разработанного износостойкого сплава на основе железа, который содержит: железо, хром, никель, титан и бор, взятый в соотношении компонентов, в масс %: В (6,1–8,2); Cr (20,4–27,1); Ni (10,1–20,2); Ti (12,7–16,4); Fe (остальное) [4].

**Результаты исследований.** Структурные исследования проводились методами оптической и растровой электронной микроскопии, рентгеновского фазового, микродюрOMETрического методов анализа. Необходимо отметить, что изучаемая система представляет собой довольно сложный объект (пятикомпонентной системе Fe–Cr–Ni–Ti–B). Однако, структурные исследования несколько облегчаются тем, что в равновесии находятся практически две фазы: металлическая – твердый раствор на основе стали 12X18H9T и боридная (небольшое количество высокодисперсных выделений карбида хрома, присутствующих как неизбежная технологическая примесь, структурно не обнаруживаются).

Эвтектические сплавы характеризуются высоким уровнем стабильности структуры [3]. Их долговечность определяется температурным порогом устойчивости структур, малой избыточной энергией межфазных границ, связанной со спецификой кристаллизации сплавов. Особенной высокотемпературной стабильностью отличаются эвтектические сплавы металлов с фазами внедрения, что определяет сохранение механических свойств таких сплавов до температур  $0,8-0,85 T_{пл}$  [2].

На рис. 1. показана топография поверхности трения разработанного сплава, полученная в идентичных условиях: скорость скольжения  $v = 0,1$  м/с, удельная нагрузка  $P_{уд} = 3,0$  МПа, температура  $t = 20$  °С, контртело – одноименная пара. Хорошо видны окисные пленки и разрушение сплава вследствие образования углублений с рваными краями. Ни на одном из исследуемых образцов не наблюдается хрупкого разрушения с образованием трещин. При трении разработанного сплава, по-видимому, сочетаются процессы оптимального окисления с разрушением, так как поверхность наименее дефектна.

На рис. 2, а хорошо видно образование вторичных структур. На поверхности трения разработанного сплава в отдельных местах наблюдаются четко различимые, периодически повторяющиеся наслоения материала, характерные для усталостного разрушения (рис. 2, б). По-видимому, процесс однонаправленного трения скольжения приводит к усталостному разрушению участков поверхности. Интересно отметить, что направление образования таких наслоений перпендикулярно направлению трения.

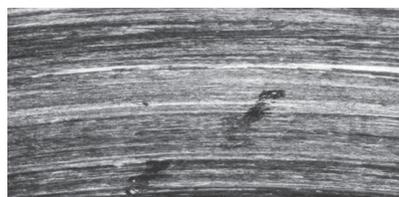


Рис. 1. Поверхность трения разработанного сплава: условия испытания:  $v = 0,1$  м/с,  $P_{\text{уд}} = 3,0$  МПа,  $t = 20$  °С, контртело одноименная поверхность



*a*



*б*

Рис. 2. Поверхность трения разработанного сплава. Условия испытания:  $v = 1$  м/с,  $P_{\text{уд}} = 1$  МПа,  $t = 20$  °С, контртело одноименная пара;  $a - \times 1500$ ;  $б - \times 4500$

Сочетание нужных механических, химических свойств и структура изучаемого запатентованного сплава создает предпосылки высокой износостойкости, однако необходимо определить в какой области параметров трения эти преимущества сплавов реализуются наиболее полно. Так, в качестве контртела целесообразно выбрать материал, работающий в условиях повышенных (до 800 °С) температур, например однотипную пару, а именно на контртеле нанести эвтектическое покрытие разработанного сплава. Такие пары трения представляют не только теоретический, но и практический интерес, поскольку изучаемый сплав сохраняет неизменными свои свойства до высоких температур. В процессе эксперимента определялись величина износа, коэффициент трения, максимальная температура на глубине 1 мм от поверхности контакта неподвижного образца, качество трущейся поверхности.

Рентгенофазовым анализом установлено, что на поверхностях трения образуются оксиды FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. В зависимости от свойств и структуры пленок различные оксиды по-разному влияют на коэффициент трения. Так, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, образующийся на поверхности трения, снижает коэффициент трения, в то время как Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> увеличивает его.

При температуре испытания 20 °С и скорости скольжения 0,1 м/с оксиды формируются в виде отдельных участков, в то время как при скорости скольжения больше 0,5 м/с или температуре 500 °С пленка оксидов покрывает всю площадь контакта. Образующиеся сплошные тонкие поверхностные пленки приводят к увеличению суммарной износостойкости пары трения, уменьшению коэффициента трения и снижению степени фрикционного нагрева. Увеличение температуры, обусловленное возрастанием скорости скольжения приводит к образованию различных оксидов железа на поверхности трения. При скоростях скольжения 0,5–1,0 м/с происходит образование в основном оксида Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При 1,7 м/с обнаружены оксиды Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. При 3 м/с присутствует только Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Известно, что закись железа FeO стабильна лишь при температурах выше 570 °С. Ниже этой температуры она может существовать только в метастабильном состоянии и при обычной температуре стремится распасться на железо и магнетит. По-видимому, при скорости скольжения 1,7 м/с локальная поверхностная температура повышается, согласно данным рис. 3, до 600 °С и при окончании эксперимента происходит быстрое охлаждение за счет теплоотвода массой образца, которое подавляет распад оксида FeO. В то время как при скорости скольжения 3 м/с весь образец прогревается, что не позволяет обеспечить его быстрого охлаждения и предупредить распад FeO на Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Необходимо отметить, что при трении эвтектических сплавов наблюдается образование расплавленных продуктов окисления (V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которые играют роль смазки [5].

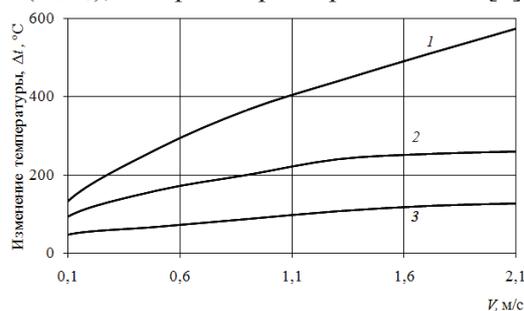


Рис. 3. Зависимость изменения температуры приповерхностного слояработанного сплава от скорости скольжения при трении по одноименному покрытию с  $P_{уд} = 1$  МПа и  $t$  опыта: 1 – 20 °С; 2 – 410 °С; 3 – 800 °С

Таким образом, основную роль в обеспечении оптимальных условий трения играет самоорганизация вторичных структур структурно-химической трансформацией поверхности [6]. Существенную роль снижения износа сплавов при высоких температурах по мере возрастания содержания диборида играет не только состав, но и окисные пленки [7].

Для учета локального температурного воздействия был проведен эксперимент, и установлено, что на глубине 0,4 мм от поверхности трения для эвтектического сплава в зависимости от скорости скольжения изменение температуры, равное разности между локальной (измеренной) и интегральной температурами, носит плавный нарастающий характер (рис. 3). При комнатной температуре прирост наиболее существенный и возрастает с увеличением скорости скольжения. При температуре 410 °С увеличение скорости скольжения свыше 1,7 м/с практически не изменяет температуру поверхности. Для интегральной температуры 800 °С такое «насыщение» наступает при 1 м/с. Таким образом, построенные зависимости дают возможность внести корректировку по температуре в интересующей нас области трения и подтверждают правомерность выбора диапазона изменения скоростей скольжения – 0,1–1 м/с.

В процессе окисления поверхности трения сплава на воздухе в условиях повышенных температур наибольший интерес представляет кинетика образования окисных пленок, особенно за время, соизмеримое со временем проведения экспериментов по износу (рис.4).

Как видно из рис. 4. при температуре 500 °С в течение 120 мин не происходит заметного окисления сплавов на воздухе (кривая 1). Положительный привес (образование окисных пленок) наблюдается лишь при температурах 700 °С и 900 °С. Причем в обоих случаях закон окисления носит линейный характер в выбранном интервале. Это указывает на то, что образующиеся окисные пленки при высоких температурах легко отделяются от основного сплава и открывается вновь не окисленная поверхность. Таким образом, образовавшиеся пленки не тормозят процесса диффузии кислорода в глубь металла в течение выбранного времени. Из рис.4. можно сделать вывод, что образование окисных пленок меньшей толщины, позитивно влияет на износ.

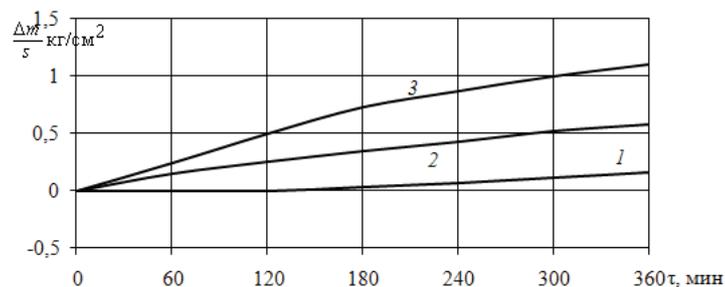


Рис. 4. Кинетические кривые окисления разработанного сплава на воздухе, при температуре: 1 – 500 °С; 2 – 700 °С; 3 – 900 °С

**Выводы.** Проведенные исследования разработанного сплава на основе железа для работы при повышенных температурах показали, что структурно-фазовый состав оказывает значительное влияние на его эксплуатационные свойства. Так, разработанный состав сплава, обеспечивает формирование при трении на поверхности необходимых окисных пленок, за счет чего происходит самоорганизация вторичных структур и обеспечивается снижение износа, как при комнатных, так и повышенных температурах.

#### Список литературы

1. Кіндрачук М.В., Лучка М.В., Корнієнко А.О. Експериментально-аналітичні дослідження триботехнічних характеристик покриттів матрично-наповненого типу // Проблеми трибології. – 2005, № 2. – С. 74–80.
2. Шурип А.К., Кіндрачук М.В., Панарин В.Е. Износостойкость нержавеющей эвтектических сплавов с фазами внедрения. –К.:Техніка, – 1981. –№19. –С. 17–28.
3. Кіндрачук М.В. Вплив структури евтектичних плазмових покриттів на їхні триботехнічні властивості в широкому діапазоні температур // Фізико-хімічна механіка матеріалів. –№ 4. –С. 66–71.
4. Пат. 27849 Україна, МПК С23С 8/02. Зносостійкий сплав / В. Є. Панарін, М. В. Кіндрачук, Джамаль Ібрагим Мансур, С. В. Федорчук, В. В. Погоріла. Заявл. 21.08.07; Опубл. 12.11.07. Бюл. №11. 2007.
5. Лабунец В.Ф. Износостойкие боридные покрытия/ В.Ф.Лабунец, Л.Г.Ворошкин, М.В.Кіндрачук. – К.: Техніка, 1989. –159 с.
6. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспособляемость материалов при трении / Б.И.Костецкий // Трение и износ. –1985. 6, №2. –С.210–217.

7. *Новый эвтектический* наплавочный сплав / А.К. Шурин, В.Е. Панарин, В.М. Киндрачук и др. // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавленный металл. –К.: Наук. думка, 1977. –С.162–165.

**Федорчук С.В. Исследование свойств износостойкого сплава на основе железа разработанного для работы при повышенных температурах // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2011. – Вип. 55. – С.136–142.**

В работе проведены исследования структурных и триботехнических свойств разработанного износостойкого сплава на основе железа для работы при повышенных температурах методами оптической и растровой электронной микроскопии, рентгеновского фазового методов анализа.

Рис. 4, список лит.: 7 наим.

***Fedorchuk S. Investigation of the properties of wear proof iron-based alloys***

The investigations of structural and tribological properties of the developed wear proof iron-based alloys for use at elevated temperatures were performed by methods of optical and scanning electron microscopy, X-ray phase analysis.

Стаття надійшла до редакції 27.03.2011