

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ-СВЯЗОК НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Досліджено вплив структури залізних сплавів, що містять бор і вуглець, у тому числі додатково легованих Si, Al, Mn і P, на їх опір руйнуванню в газоабразивному та кислих середовищах. Визначено оптимальний склад сплаву, який можна використати як зв'язку макрогетерогенних композиційних матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Исследовано влияние структуры железоборуглеродистых сплавов, в том числе дополнительно легированных Si, Al, Mn и P, на их сопротивление износу в газоабразивной и кислых средах. Определен оптимальный состав сплава, который можно использовать в качестве связки макрогетерогенных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

The paper studies the influence of structure of boron- and carbon-containing iron alloys, including those additionally alloyed with Si, Al, Mn, and P, on their resistance to wear and corrosion in gas-abrasive and acid media. The optimal composition of the alloy that can be used as the binder of macroheterogeneous composites having high performance characteristics was determined.

Сплавы на основе железа, легированные бором и углеродом, находят применение в качестве связок макрогетерогенных композиционных материалов, упрочненных карбидами вольфрама [1]. Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам, эти материалы эффективно защищают поверхность быстроизнашивающихся деталей металлургического оборудования, таких как клапаны доменных печей, конусы засыпных аппаратов, футеровочные элементы и т. д. [2].

Ввиду перспективности использования композиционных материалов со связками на железной основе для создания износостойких покрытий на деталях железнодорожного транспорта в настоящей работе были проведены исследования структуры и свойств эвтектических железоборуглеродистых сплавов-связок, предназначенных для работы в условиях воздействия газоабразивной и кислых коррозионных сред.

Композиционные материалы получали методом пропитки в интервале температур 1423...1473 К в течение 30...45 минут. Для исследования структуры использовали методы металлографического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов.

Стойкость в газоабразивной среде изучали на установке ОБ-876 [3]. Испытания проводили в интервале температур 293...773 К. В работе изучали структуру и свойства сплавов-связок композиционных материалов, состав которых указан в таблице.

Таблица

**Химический состав исследованных сплавов-связок на основе железа**

Номер сплава	Состав, вес, %
1	Fe – 2,5 % В – 0,7 %
2	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al
3	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 1%Si
4	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 1%Mn
5	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%P
6	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al – 1%Si
7	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al – 1%Si – 1%Mn
8	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al – 1%Si – 1%Mn – 0,5%P
e	эталон из Ст3

Коррозию в растворах 0,5 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5 н H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и 1н HCl исследовали гравиметрическим и потенциодинамическим методами. Измерения скорости коррозии выполняли при температуре 295 ± 2 ежечасно в течение 4 часов. В качестве эталона использовали образец, изготовленный из Ст3.

Измерение окалинстойкости осуществляли при естественной циркуляции воздуха термогравиметрическим методом с периодической фиксацией массы на дериватографе МОМ.

При легировании 1,2...2,5 % В железоуглеродистых сплавов, содержащих 0,5...0,7 % С, в

их структуре наблюдаются первичные кристаллы твердого раствора на основе  $\alpha$ -Fe и эвтектики Fe-Fe<sub>2</sub>(B,Cl) и Fe-Fe<sub>3</sub>(C,B) (рис. 1).

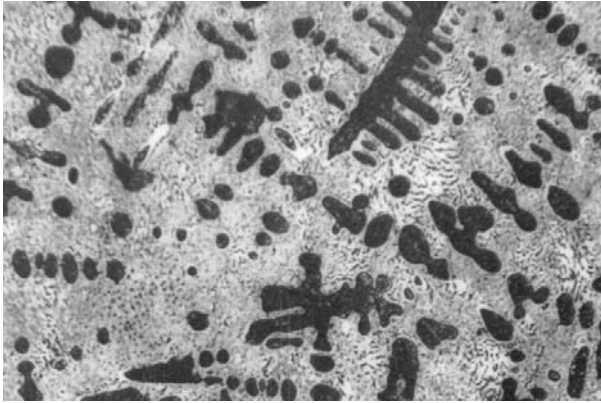
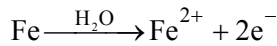


Рис. 1. Микроструктура сплава-связки x300 Fe-2,5%B-0,7%C

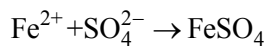
Введение бора обеспечивает повышение твердости сплавов до 45...50 HRC и их стойкости в газообразной среде в 1,2...1,3 раза по сравнению с соответствующими железуглеродистыми сплавами.

Исследования электрохимических свойств железоборуглеродистых сплавов методом снятия поляризационных кривых показывает, что процесс растворения в кислых средах включает следующие стадии:

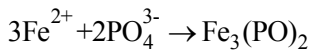
1. Анодный процесс – образование гидратированных ионов металла в электролите и некомпенсированных электронов на анодных участках по реакции



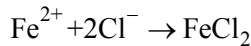
и затем по реакциям:



(в растворе 0,5н·H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>);



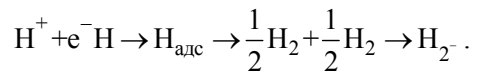
(в растворе 5н·H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>);



(в растворе 1н·HCl);

2. Процесс протекания электронов по металлу от анодных участков к катодным и соответствующего перемещения катионов и анионов в растворе;

3. Катодный процесс – ассимиляция электронов какими-либо ионами или молекулами раствора, способными к восстановлению на катодных участках по реакции:



Введение бора в железуглеродистые сплавы смещает стационарный потенциал в анодную область, т. е. в исследованных растворах кислот стационарные потенциалы сплавов увеличиваются и становятся более положительными. Это означает увеличение перенапряжения анодного процесса. При коррозии в растворе 0,5 н·H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> введение 1,2 % В гораздо сильнее сдвигает стационарный потенциал в положительную область, чем введение 2,5 % В. В остальных средах наблюдается увеличение стационарных потенциалов при увеличении содержания бора (рис. 2).

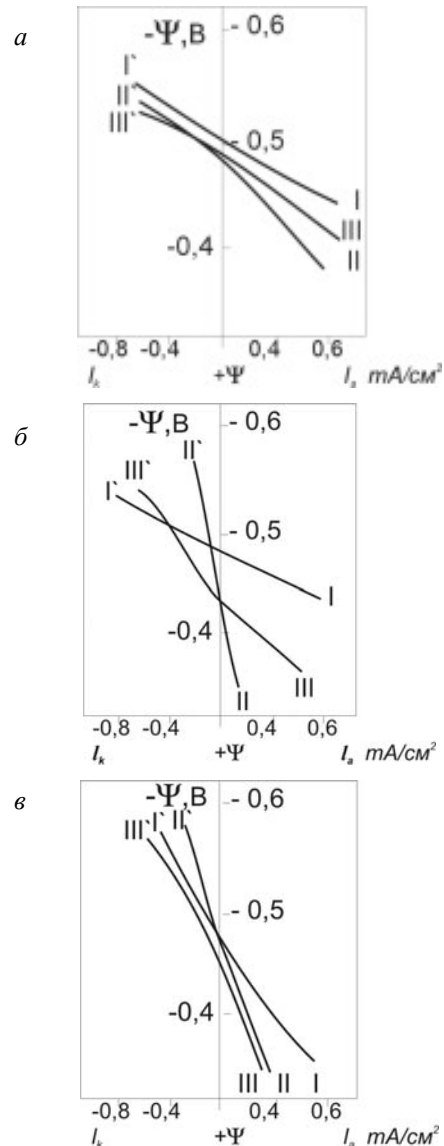
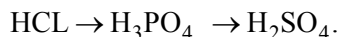


Рис. 2. Анодные (I-III) и катодные (I'-III') поляризационные кривые эталона (кривая I), сплава Fe-1,2%B-0,7%C (кривая II) и сплава Fe-2,5%B-0,7%C (кривая III) в растворах: а - 0,5 н·H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; б - 5 н·H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; в - 1 н·HCl

Следовательно, легирование бором замедляет как анодный, так и катодный процессы, так как увеличивается перенапряжение обоих процессов. Это соответствует сравнительно высокой коррозионной стойкости исследованных образцов железоборуглеродистых сплавов. Скорость их коррозии возрастает в растворах кислот в следующей последовательности:



Дополнительно эксплуатационные характеристики железоборуглеродистых сплавов в газообразной, окислительной и кислых коррозионных средах можно повысить путем комплексного легирования этих сплавов кремнием, алюминием, марганцем и фосфором (см. табл.). Указанные элементы полностью растворяются в исходных структурных составляющих железоборуглеродистых сплавов (рис. 3).



Рис. 3. Микроструктура сплава-связки,  $\times 300$   
Fe – 2,5 %B – 0,7 %C – 0,5 %Al – 1 %Si – 1 %Mn

Причем, марганец преимущественно присутствует в эвтектических фазах  $\text{Fe}_2(\text{C},\text{B})$  и  $\text{Fe}_3(\text{C},\text{B})$ , а остальные элементы – в твердом растворе на основе  $\alpha\text{-Fe}$ . За счет этого обеспечивается повышение твердости комплексно-легированного сплава до 60...62 HRC, рост его стойкости в газообразной среде в 1,15...1,2 раза и увеличение окалиностойкости в 1,2...1,25 раза.

Скорость коррозии легированных Al, Si, Mn и P железоборуглеродистых сплавов наиболее существенно снижается при введении Si и Al и достигает минимального значения для комплексно-легированного сплава (рис. 4).

С увеличением времени испытаний скорость коррозии уменьшается для всех легированных железоборуглеродистых сплавов за исключением сплава, легированного марганцем, скорость коррозии которого увеличивается во времени.

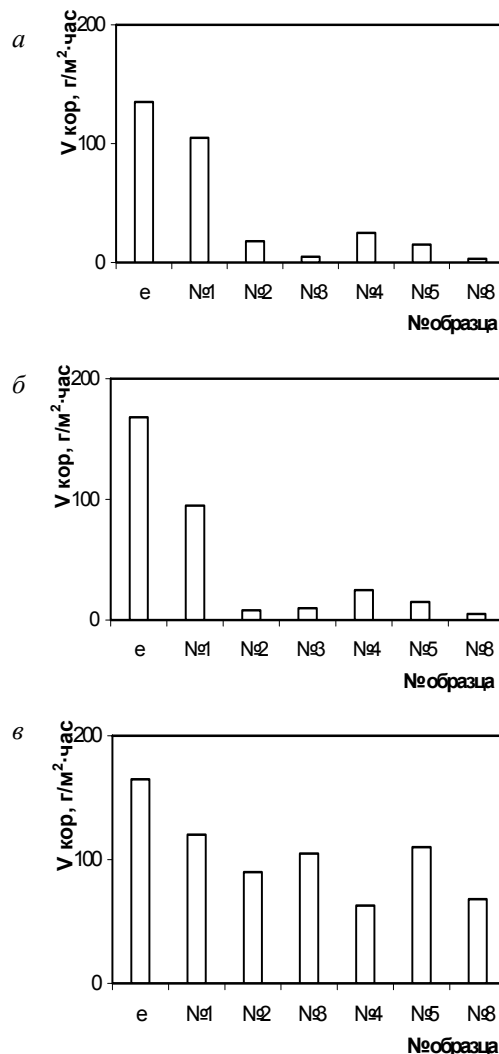


Рис. 4. Влияние легирующих элементов на скорость коррозии изученных сплавов-связок в растворах:  
а – 0,5 n H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; б – 5 n H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; в – 1 n HCl

Благодаря повышению эксплуатационных характеристик многокомпонентной эвтектической связки на основе железа повышаются все показатели и для композиционных материалов, упрочненных карбидами вольфрама. В частности, повышается их коррозионная стойкость по сравнению с композиционными материалами со связкой Fe–B–C во всех исследованных растворах, а именно: в растворе серной кислоты в 14...16 раз, в растворе фосфорной кислоты в 11...12 раз, в растворе соляной кислоты в 2...2,2 раза. Помимо этого растет окалиностойкость (почти в 1,2 раза) композиционных материалов со связкой Fe–B–C–Al–Si–Mn–P, улучшается их обрабатываемость шлифованием. Увеличивается газообразная износостойкость и соответственно уменьшается удельный износ ( $U$ ) композиционных материалов (рис. 5, а).

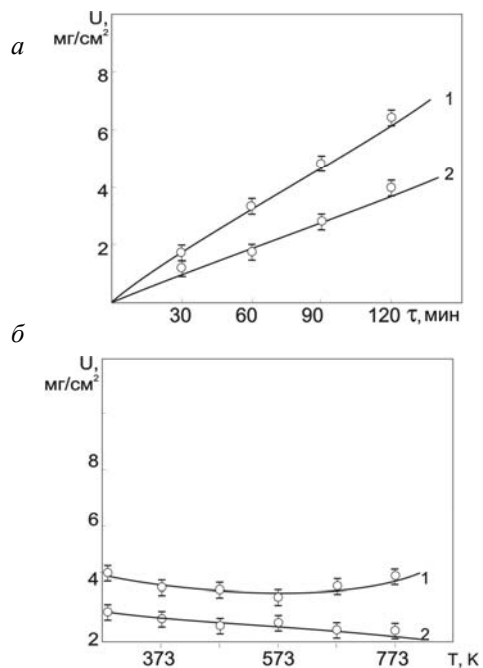


Рис. 5. Влияние длительности (а) и температуры испытаний (б) на износ композиционных покрытий:  
 1 – (W–C)/(Fe–В–С);  
 2 – (W–C)/(Fe–2,5%B–0,7%C–0,5%Al–1%Si–1%Mn)

Однако наиболее благоприятно повышение окислительности связки отражается на результатах определения удельного износа в условиях воздействия газообразной среды при увеличении температур до 473...773 К (рис. 5, б).

На основании выполненных в данной работе исследований можно сделать следующие выводы:

1. Сплавы Fe–В–С, содержащие 1,2...2,5 % В; 0,5...0,7 % С; Fe – остальное, обладают высокой твердостью, газоабразивной и коррозионной стойкостью в кислых средах.

2. Комплексное легирование Al, Si, Mn и P базовых эвтектических сплавов Fe–В–С обеспечивает дополнительное повышение вышеуказанных эксплуатационных характеристик.

3. Использование комплексно-легированных сплавов на основе железа в качестве связок макروهетерогенных композиционных материалов позволит существенно повысить срок службы деталей железнодорожного транспорта, эксплуатирующихся в условиях воздействия абразивных, окислительных и кислых сред.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sukhova O. V. Microstructure and properties of Fe–В–С/W–С interfaces in metal matrix composites // Вісник ДУ. Фізика. Радіоелектроніка, 2002. – № 9. – С. 15–18.
2. Спиридонова И. М. Износостойкие композиционные покрытия с наполнителями Fe–В–С / И. М. Спиридонова, Е. В. Суховая, С. Б. Пиляева // Автоматическая сварка, 2003. – № 1. – С. 31–34.
3. Юзвенко Ю. А. Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла / Ю. А. Юзвенко, В. А. Гавриш, В. Ю. Марьенко // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. – К.: Изд. ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. – С. 23–27.

Поступила в редколлегию 11.05.06.