

МЕХАНИЧЕСКИЕ И АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ Fe-Cu-Pb-Sn-Zn, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ КОНТАКТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ*

Ю. С. Авраамов, А. Н. Кравченков, И. А. Кравченкова, А. Д. Шляпин

Впервые изучены механические и антифрикционные свойства многокомпонентных поверхностных слоев, полученных контактным легированием железо-медного сплава из трехкомпонентного расплава тяжелых легкоплавких компонентов. Показано значительное преимущество новых материалов по сравнению с базовым, полученным контактным легированием железо-медного сплава из свинцово-оловянного расплава.

Ключевые слова: контактное легирование, легкоплавкие элементы, коэффициент трения, износостойкость, механические свойства

Введение

На основе систем несмешивающихся компонентов при условии равномерного распределения структурных составляющих по объему можно получать материалы, обладающие самыми разнообразными свойствами – антифрикционными, электрическими, магнитными, демпфирующими и целым рядом других специальных свойств. Согласно экспертным оценкам, выполненным в середине прошлого века, с учетом особенностей компонентов, образующих системы данного типа, уровень свойств таких материалов может намного превышать таковой у традиционных материалов аналогичного назначения.

Исторически первыми среди полученных материалов на основе систем несмешивающихся компонентов были антифрикционные материалы, изучение и совершенствование которых не прекращается и сегодня. Особое внимание при этом уделяется совершенствованию технологии, поскольку

ку традиционные методы сплавления и спекания к таким системам, как правило, не применимы.

В данной работе сообщается о результатах измерения антифрикционных и механических свойств сплавов Fe-Cu-Pb-Sn-Zn, полученных методом контактного легирования (КЛ) железо-медного сплава из трехкомпонентного расплава Pb-Sn-Zn.

Микроструктура и свойства новых материалов

В работе [1] сообщалось, что с целью минимизации содержания олова в легирующем свинцово-оловянном расплаве, применяемом при контактном легировании железо-медных сплавов, в названный расплав добавляли цинк. Были выбраны несколько составов легирующих расплавов, позволяющих получать приемлемую микроструктуру поверхностного слоя, изучены микроструктура слоя, его фазовый

* Работа выполнена при финансовой поддержке Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы), проект 2.1.2/6967

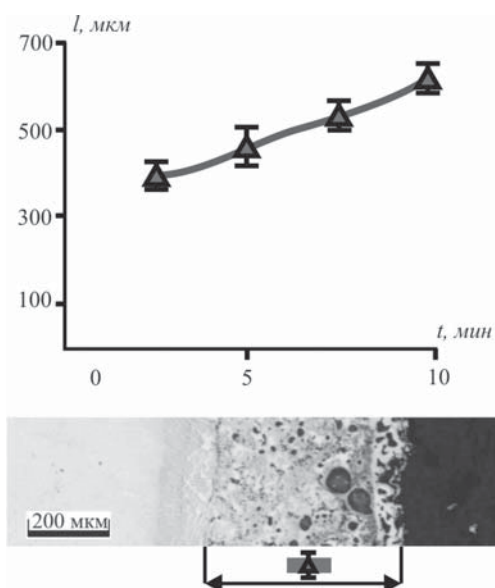


Рис. 1 Зависимость величины рабочего слоя от времени выдержки в расплаве Pb-5%Sn-10%Zn

и элементный составы, а также распределение легирующих элементов по толщине слоя.

Предварительный анализ [1] полученных результатов позволил предположить, что частичная замена олова цинком не только не ухудшает механические и антифрикционные свойства поверхностного слоя, но и позволяет надеяться на улучшение этих свойств. Ниже приводятся результаты изучения этих свойств на образцах новых материалов.

Выбор рабочих режимов контактного легирования

В процессе контактного легирования из расплава в поверхностной зоне базового металла

или сплава формируется собственно рабочий слой, легированный элементами расплава (в рассматриваемом случае железо-медный сплав, легированный свинцом, оловом и цинком). С практической точки зрения значительный интерес представляет зависимость величины рабочего слоя новых антифрикционных материалов от времени выдержки при контактном легировании. Из анализа литературных данных [2] следует, что эта величина у современных подшипников скольжения варьируется от 300 до 500 мкм. С учетом этих значений и подбирали режим контактного легирования для исследуемых сплавов.

В качестве легирующего был выбран расплав Pb-5%Sn-10%Zn. Интервал времени выдержки образцов в расплаве составил 2,5, 5, 7,5 и 10 мин. На рис. 1 представлен график зависимости величины рабочего слоя от времени выдержки в расплаве. На этом же рисунке схематично изображена величина измеряемого рабочего слоя.

К узлам трения скольжения в процессе работы прикладываются значительные контактные нагрузки. Поэтому материалы, используемые для изготовления таких узлов, должны обладать соответствующими антифрикционными свойствами и высокой твердостью.

Механические свойства легированного слоя

Твердость легированного слоя измеряли на приборе Бринелля при нагрузке 100 Н, в качестве индентора использовался стальной закаленный шарик диаметром 1 мм.

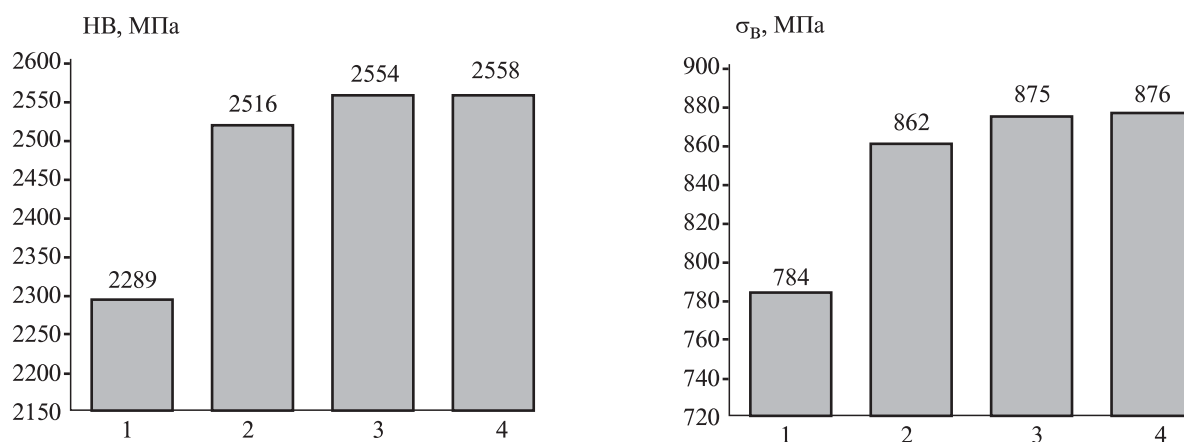


Рис. 2 Диаграммы твердости и предела прочности сравниваемых сплавов Fe-Cu, легированных из расплавов: 1 – Pb-20%Sn; 2 – Pb-5%Sn-10%Zn; 3 – Pb-5%Sn-15%Zn; 4 – Pb-10%Sn-15%Zn

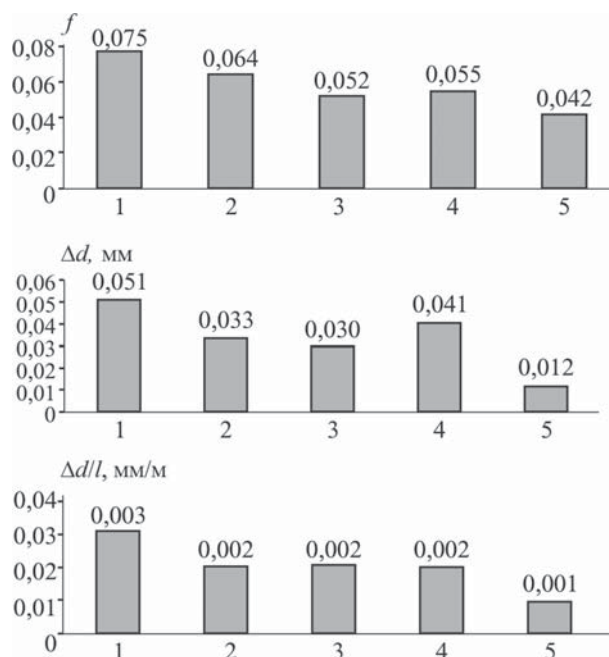


Рис. 3. Диаграммы антифрикционных свойств исследуемых материалов:

1 – сплав Fe-Cu; 2 – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-20%Sn; 3 – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-5%Sn-10%Zn;

4 – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-5%Sn-15%Zn; 5 – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-10%Sn-15%Zn

Результаты измерений твердости HB и значения предела прочности σ_b для рассматриваемых сплавов с различным составом легируемого расплава представлены на рис. 2.

Согласно этим данным наилучшими механическими свойствами из всех изученных материалов обладает железо-медный сплав, полученный контактным легированием из расплава Pb-10%Sn-15%Zn. Сплав, получаемый легированием из расплава Pb-5%Sn-10%Zn, обладает более высокими механическими свойствами, чем базовый образец. Увеличение твердости новых материалов связано с увеличением содержания цинка в легируемом слое и образовании интерметаллидных соединений типа Fe_5Zn_8 .

Антифрикционные свойства легированного слоя

Для оценки износостойкости полученных антифрикционных слоев железо-медных сплавов методом контактного легирования из расплавов Pb-20%Sn, Pb-5%Sn-10%Zn, Pb-5%Sn-15%Zn и Pb-10%Sn-15%Zn проводили сравнительные испытания образцов на износ по схеме «вал-палец».

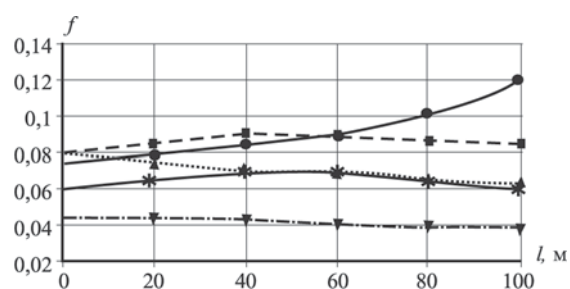


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от пути трения

◆ – сплав Fe-Cu; ■ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-20%Sn; ★ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-5%Sn-10%Zn; ☆ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-5%Sn-15%Zn; ▲ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-10%Sn-15%Zn

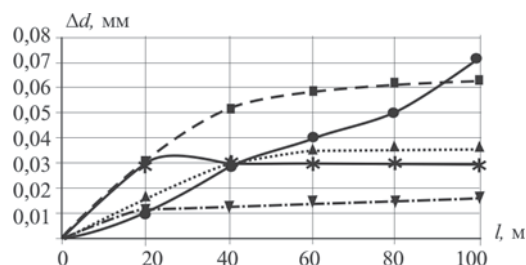


Рис. 5. График зависимости износа (изменение диаметра образца) от пути трения

◆ – сплав Fe-Cu; ■ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-20%Sn; ★ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-5%Sn-10%Zn; ☆ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-5%Sn-15%Zn; ▲ – Fe-Cu сплав, легированный из расплава Pb-10%Sn-15%Zn

Для определения антифрикционных свойств были проведены предварительные испытания новых материалов, которые позволили определить цикл приработки исследуемых образцов. Так, в случае исходного железо-медного сплава путь приработки составил 4,8 м. У железо-медного сплава, легированного из расплава Pb-20%Sn, путь приработки – 7,1 м, а у остальных материалов – 10,3–11,8 м. Поэтому для предварительных испытаний был выбран путь приработки 15 м, а для точного определения искомых параметров износа и коэффициента трения – 100 м.

Результаты предварительных испытаний образцов приведены в таблице.

Из таблицы видно, что лучшими антифрикционными свойствами обладает материал, полученный контактным легированием из расплава Pb-10%Sn-15%Zn. Сплав Fe-Cu-Pb-Sn, взятый за базу, уступает всем новым материалам. Это хорошо видно

Антифрикционные свойства сравниваемых материалов

Таблица

Состав легируемого расплава	Размеры образца, мм		Коэффициент трения	Изменение диаметра образца Δd , мм	Линейный износ $\Delta d / l$, мм/м
	диаметр	длина			
сплав Fe-Cu без КЛ	15,10	20,2	0,075	0,051	0,003
Pb-20%Sn	15,05	24,2	0,064	0,033	0,002
Pb-5%Sn-10%Zn	14,97	22,2	0,052	0,030	0,002
Pb-5%Sn-15%Zn	14,93	20,5	0,055	0,041	0,002
Pb-10%Sn-15%Zn	15,22	21,3	0,042	0,012	0,001

также из представленной на рис. 3 диаграммы.

Для более точного определения коэффициента трения и износа образцы испытывались по пути трения 100 м (рис. 4 и 5).

Из полученных результатов видно, что у исходного железо-медного сплава наблюдается тенденция к увеличению износа с ростом пути трения. У остальных образцов после участка приработки наблюдается стабилизация износа. При этом наименьший износ получается для образцов из железо-медного сплава, полученного контактным легированием из расплава Pb-10%Sn-15%Zn.

После испытаний сравнивали дорожки трения испытуемых образцов. В результате показано, что железо-медный сплав, полученный контактным легированием из расплава Pb-10%Sn-15%Zn, обладает не только хорошими антифрикционными свойствами, но и более высокой устойчивостью к задирам по сравнению с исходным железо-медным сплавом. Внешний вид дорожек трения для двух рассматриваемых сплавов представлен на рис. 6, 7.

Проведенные испытания являются еще одним доказательством положительного влияния контактного легирования железо-медных сплавов из расплава свинца с добавками олова и цинка на антифрикционные свойства, а также целесообразности проведения дальнейших исследований в этом направлении.

Заключение

При контактном легировании железо-медных сплавов из расплава Pb-5%Sn-10%Zn для достижения заданной величины рабочего слоя антифрикционного материала требуется не более 10 мин.

Твердость и предел прочности поверхностных слоев сплавов, полученных легированием железо-медного сплава из цинксодержащих расплавов, значительно превышают аналогичные параметры при легировании из свинцово-оловянных расплавов.

Антифрикционные характеристики (трение

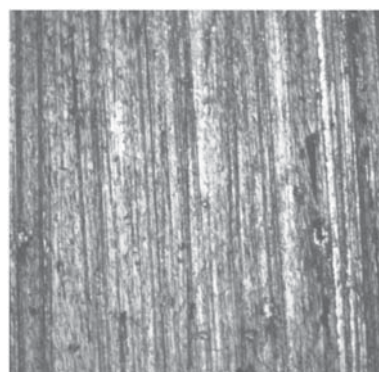


Рис. 6 Макроструктура исходного Fe-Cu сплава



Рис. 7 Макроструктура Fe-Cu сплава легированного из расплава Pb-10%Sn-15%Zn

и износ) поверхностных слоев новых материалов в несколько раз (3–5) превосходят аналогичные параметры железо-медных сплавов, легированных из свинцово-оловянных расплавов.

Список литературы

1. Авраамов Ю.С., Кошкин В.И., Кравченкова И.А., Кравченков А.Н., Шляпин А.Д. О выборе элемента-лидера при поверхностном контактном легировании сплавов на основе алюминия и меди из расплавов тяжелых легкоплавких металлов // Машиностроение и инженерное образование. 2010. № 1. С. 37–42.

2. Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. Сплавы на основе систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии. – М.: ИНТЕР-КОНТАКТ НАУКА, 2002. – 372 с.

Материал поступил в редакцию 28.10.2010

**АВРААМОВ
Юрий Серафимович**

E-mail: ashliapin@list.ru
Тел. +7 (495) 675-42-79

Доктор технических наук, профессор. Президент ГОУ МГИУ, заслуженный деятель науки РФ. Академик международной академии наук высшей школы. Специалист в области металловедения, физики металлов и композиционных материалов. Автор более 300 научных трудов, в том числе 40 авторских свидетельств на изобретение, 7 монографий.

**КРАВЧЕНКОВ
Антон Николаевич**

E-mail: akravchenkov64@yandex.ru
Тел. +7 (495) 620-39-68

Кандидат технических наук. Ассистент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов ГОУ МГИУ. Область научных интересов – металловедение и композиционные материалы. Автор 8 научных трудов.

**КРАВЧЕНКОВА
Ирина Александровна**

E-mail: iri540@yandex.ru
Тел. +7 (495) 620-39-68

Заведующий лабораторией и ассистент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов ГОУ МГИУ. Область научных интересов – металловедение и композиционные материалы. Автор 3 научных трудов.

**ШЛЯПИН
Анатолий Дмитриевич**

E-mail: ashliapin@list.ru
Тел. +7 (495) 675-61-92

Доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ. Заведующий кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов ГОУ МГИУ. Специалист в области металловедения, физики металлов и композиционных материалов. Автор более 130 научных работ, из них 7 монографий, 35 авторских свидетельств и патентов.