

А.М.Нестеренко, В.Л.Плюта, Е.Г.Дёмина, О.Я.Свистельник*

**СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ
ХРОМОМАНГАНЦЕВЫХ СПЛАВАХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
СМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Институт чёрной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины
ООО «Єдність» (г. Днепропетровск)

Установлено, что в литых хромоманганцевых сплавах системы Fe–Mn–Cr–C переходного класса (содержание углерода не более 2,2%) при определённом сочетании Mn и Cr возможно образование кристаллов высокотвёрдого карбида Me_7C_3 . Показано, что экономнолегированные хромоманганцевые сплавы системы Fe–Mn–Cr–C с эвтектикой на основе карбида Me_7C_3 характеризуются высоким уровнем ударно–абразивной износостойкости и могут использоваться для изготовления металлических элементных вставок резинометаллических футеровок горно–металлургического оборудования.

хромоманганцевые сплавы, горно–металлургическое оборудование, резинометаллическая футеровка, ударно–абразивная износостойкость

Введение. Важное место в горно–металлургической отрасли Украины занимает задача подготовки железорудного сырья, связанная с его дроблением, измельчением и дальнейшим компактированием. Для измельчения сырья наиболее широко применяют барабанные мельницы с защитной бронefутеровкой, изготавливаемой обычно из марганцовистых сталей, таких как 65Г, 75Г2 (и её модификаций), стали Гадфильда 110Г13Л и др. Реализующиеся при измельчении сырья условия совместного влияния сил трения, абразивного и ударно–абразивного износа, а также коррозии вызывают повышенную выработку бронеплит, изготовленных из указанных сплавов, что приводит к простоям оборудования на период проведения ремонтных работ. В связи с этим проблема повышения стойкости изделий и деталей, эксплуатирующихся в условиях интенсивного абразивного, ударно–абразивного и ударно–абразивно–коррозионного износа, представляется актуальной задачей современного материаловедения.

Современное состояние вопроса. Широкая номенклатура агрегатов, отличающихся размерами, скоростью вращения, технологическими особенностями помола порождает разнообразие условий эксплуатации барабанных мельниц. Снижение затрат на измельчение предполагает использование такого материала бронefутеровки, который обеспечивает наибольшую эксплуатационную долговечность в конкретных условиях помола. Таким материалом бронefутеровки, может стать эластомер (резины) [1]. Полное использование всех уникальных особенностей резины, как футеровочного материала, позволяет [2–4] получить существенные преимущества перед металлом, включая: меньший износ – больший срок

службы, снижение расхода мелющих тел, меньший вес – меньшее давление на опорные подшипники, плотность прилегания – отсутствие протекания пульпы под футеровку и через болтовые соединения, простота установки и демонтажа (по схеме «лифтер – плита») без применения специальных газо–резательных работ – существенное снижение трудозатрат для данных видов операций, минимальная опасность травматизма при проведении монтажных и демонтажных работ, поглощение шума (до 50 %) и вибрации [5–7].

Несмотря на указанные преимущества, при превышении определённого предела динамического ударно–абразивного нагружения такие детали начинают разрушаться [8]. Начиная с конца 80–х годов прошлого столетия интенсивно развивается направление комбинирования различных материалов, например, стали и резины. Создание комбинированных деталей такого типа включает рациональный выбор пары материалов эластомерная (резиновая) основа — металлическая вставка и, собственно, повышенный уровень сопротивления износу [9–12].

Такой подход позволяет максимально использовать преимущества как одного, так и другого материалов – эластичность резины и износостойкость металлической вставки. При этом представляется возможным использование гораздо более твёрдых и износостойких марок стали и чугуна, чем при сплошной металлической футеровке. В этом случае резина выступает в роли демпфирующего материала, способного поглощать ударные нагрузки. Например, металлические элементы комбинированной футеровки могут иметь твёрдость до 500–600 единиц по Бринеллю (НВ), тогда как при сплошном металлическом футеровании твёрдость ограничивается 350–400 НВ. В [11] показано, что одним из перспективных направлений достижения в железоуглеродистых сплавах переходного класса (содержание углерода не более 2,2 %) высокого уровня механических свойств, твёрдости, абразивной и ударно–абразивной износостойкости в агрессивных средах является их экономное комплексное легирование хромом и марганцем.

Целью настоящей работы являлось установление особенностей структурообразования сплавов системы Fe–C–Mn–Cr переходного класса с пониженным (до 2,2 %) содержанием углерода и определение направлений последующего использования полученных результатов для разработки износостойких вставок комбинированных резинометаллических деталей горно–металлургического оборудования, эксплуатирующихся в условиях абразивного и ударно–абразивного воздействия.

Постановка задачи. Для определения эффективных материалов, предназначенных для изготовления указанных вставок, был проведен комплекс исследований, направленных на получение экономнолегированных хромомарганцевых сплавов, в структуре которых при минимизированном содержании Cr в результате установившейся системы фазовых превращений достигается образование в достаточном объёме высокотвёр-

дого карбида типа Me_7C_3 как в виде отдельной структурной составляющей, так в виде разветвлённой (в отличие от цементита в ледебурите – рис. 1) колониальной составляющей тонкодифференцированной эвтектики – аустенит (перлит – после эвтектоидного превращения) и Me_7C_3 [13].

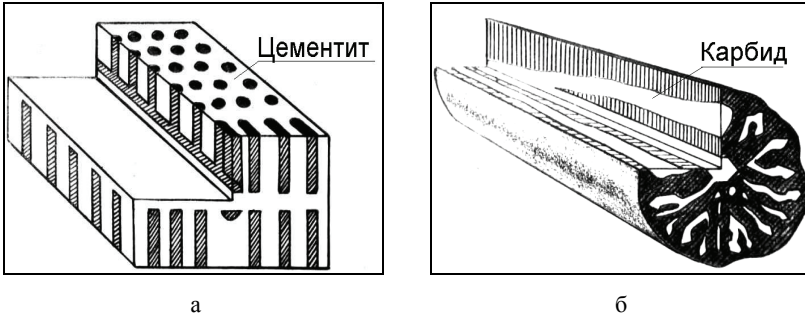


Рис. 1. Модели строения карбидной фазы: а – модель эвтектической колонии ледебурита; б – модель хромисто-карбидной эвтектики [13].

Методика исследования. Исследовали образцы литых синтетических сплавов системы Fe–C–Mn с 0,5 % Si, вводимым для раскисления, и вариацией содержания Mn от 2,0 до 8,0 % (по массе) и системы Fe–C–Mn–Cr с теми же содержаниями Mn и Si, а также содержание Cr на уровне 2,0–8,0 % (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав и показатели ударно-абразивной износостойкости опытных синтетических сплавов

№ сплава	Содержание элементов, % масс.				Относительная потеря массы, %
	C	Si	Mn	Cr	
1	2,0	0,5	–	–	0,362
2	2,0	0,5	2,0	–	0,306
3	2,0	0,5	4,0	–	0,256
4	2,0	0,5	8,0	–	0,279
5	2,0	0,5	4,0	2,0	0,225
6	2,0	0,5	4,0	4,0	0,242
7	2,0	0,5	4,0	8,0	0,202

Работа выполнена с использованием металлографического, рентгенодифрактометрического, микрорентгеноспектрального методов анализа и испытаний на ударно-абразивную износостойкость.

Металлографические исследования выполнены на микроскопе «Axiovert 200 M MAT» производства фирмы «Carl Zeiss». Рентгенодифрактометрический анализ проводился на установке ДРОН 2,0 в $Cu\ K\alpha$ – излуче-

нии с использованием плоского графитового монохроматора на вторичном пучке. Микрорентгеноспектральный анализ проведён с помощью растрового электронного микроскопа EVO-50 с энергодисперсионной приставкой INKA ENERDGY 450 (совместная разработка фирм «Карл Цейсс», Германия, и «Оксфорд Инструментс», Великобритания).

Испытания на ударно-абразивную износостойкость проводили на образцах исследуемых сплавов размерами $\varnothing 30 \text{ мм} \times 10\text{--}15 \text{ мм}$, помещённых в лабораторную мельницу для помола цементного клинкера совместно с шарами и cibleпбсами, в соответствии с требованиями ГОСТ 23.207 [14].

Изложение основных результатов исследования. Данные металлографического анализа показали, что кристаллизационная структура исследованных литых Fe–C сплавов по мере увеличения содержания Mn существенно изменяется. Так, в Fe–C сплаве без Mn основными структурными составляющими являются перлит (матрица сплава), протяжённые иглообразные выделения кристаллов цементита Fe_3C и, в незначительном количестве, округлые включения графита в участках остаточного аустенита (рис. 2, а). При кристаллизации сплава с 2,0 % Mn формируется совсем иная, типичная для так называемых «белых» чугунов структура [11, 13, 15]. Она состоит из дендритов аустенита (превращающегося в перлит после эвтектоидного распада), и колоний ледобурита, образовавшихся в их междуветвиях на последних этапах затвердевания отливок (рис. 2, б).

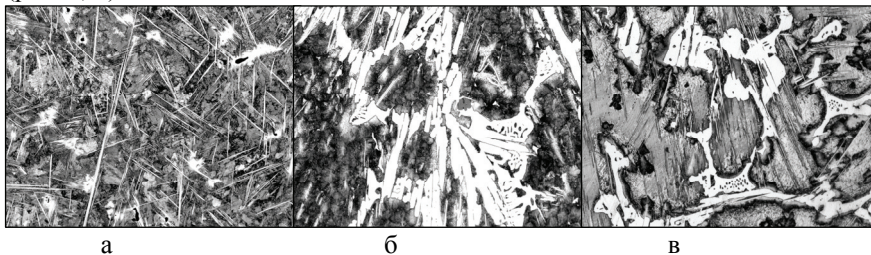


Рис. 2. Микроструктура литых сплавов:

а – сплав № 1, $\times 200$, б – сплав № 2, $\times 500$ и в – сплав № 3, $\times 500$

Выделившиеся из аустенита кристаллы «вторичного» цементита в сплаве с 2,0 % Mn, как и в случае сплава Fe–C без Mn, имеют иглочатое строение (рис. 2, б). При повышении содержания Mn до 4,0 % общая структура сплава не претерпевает изменений (рис. 2, в). Однако при этом, вследствие повышения устойчивости, значительное количество аустенита (примерно до 50,0 %) остаётся непревращённым после охлаждения отливок до комнатной температуры, структура дендритной матрицы этого сплава становится аустенито–перлитной (рис. 2, в). В сплаве с 8,0 % Mn несколько увеличивается количество ледобуритной составляющей, а объёмная доля аустенита в конечной структуре возрастает примерно до 70 %. Из приведенных данных следует, что в исследованных Fe–Mn–C сплавах

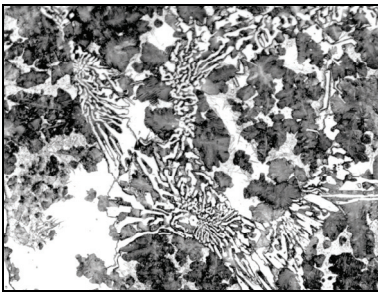
при содержаниях Mn от 2,0 до 8,0 % высокотвёрдые карбиды типа $(\text{Mn,Fe})_7\text{C}_3$ и эвтектики на его основе не образуются.

В то же время в сплавах системы Fe–Mn–Cr–C, как установлено в результате проведенного анализа, при определенном соотношении концентраций Mn и Cr (4,0 и 8,0 % соответственно – табл. 1), возможна реализация эвтектического превращения $\text{Ж} \rightarrow \text{A} + \text{Me}_7\text{C}_3$, т. е., образование эвтектики на основе карбида Me_7C_3 . Как следует из рис. 3, а, указанные эвтектики с колониальным строением образуются при затвердевании отливок в междуветвях дендритов аустенита, превращающегося впоследствии в результате эвтектидного превращения в перлит. Данные микрорентгено-спектрального анализа свидетельствует о том, что кристаллы карбидной фазы характеризуются свойственным карбиду Me_7C_3 повышенным содержанием Cr (рис. 3, б).

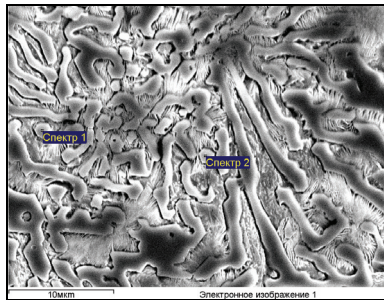
Таблица 2. Содержание элементов в карбидной фазе сплава системы Fe–Mn–Cr–C с хромисто–карбидной эвтектикой на основе карбида Me_7C_3

Спектр	C	Si	P	S	Ti	Cr	Mn	Fe	Итого
Спектр 1	9,86	0,16	0,00	0,04	0,01	28,17	6,35	55,41	100,00
Спектр 2	6,79	0,49	0,11	0,01	0,00	15,01	5,41	72,18	100,00

На дифрактограмме этого сплава отчётливо выявляются системные интерференции, позволяющие однозначно интерпретировать карбидную фазу, как карбид типа Me_7C_3 (рис. 4).



а



б

Рис. 3. Микроструктура хромомарганцевого сплава № 7 с хромисто–карбидной эвтектикой: а – $\times 800$, б – $\times 3000$

Проведенные испытания образцов на ударно–абразивный износ показали (табл. 1), что наиболее высокую стойкость при данном виде испытаний имеет сплав с хромисто–карбидной эвтектикой на основе карбида Me_7C_3 . В колониях хромисто–карбидной эвтектики ветви высокотвёрдого карбида Me_7C_3 размещены в перлитной либо аустенитной (в зависимости от микролегирующего распределения легирующих элементов) матрице

и тем самым армируют её (в соответствии с моделью, приведенной на рис. 1, б). Это обстоятельство как раз и определяет, наряду с высокой твёрдостью, повышенную пластичность и ударно-абразивную износостойкость хромомарганцевого сплава отливок.

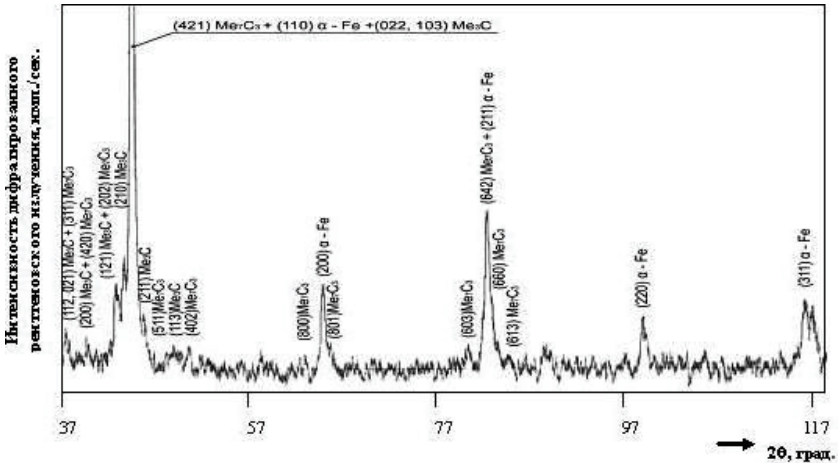


Рис. 4. Дифрактограмма хромомарганцевого сплава № 7 с хромисто-карбидной эвтектикой (монохроматизированное излучение $\text{CuK}\alpha$)

Полученные результаты составили основу для разработки технологической инструкции на выплавку в индукционной печи типа ТПЧ-320 экономнолегированного хромомарганцевого сплава с условной маркировкой 200Г2Х7Л для изготовления металлических вставок резинометаллической футеровки клинового типа.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования экономнолегированных хромомарганцевых сплавов с эвтектикой на основе карбида Me_7C_3 для изготовления деталей сменного металлургического оборудования, в том числе металлических элементов комбинированных (резинометаллических), эксплуатирующихся в условиях абразивного и ударно-абразивного износа.

1. Кудрявцева О.И., Лепехин В.В., Шолин М.К. Современные методы защиты горно-обогатительного оборудования от износа // III Конгресс обогатителей стран СНГ, г. Москва, 2001.
2. Дырда В.И., Чижик Е.Ф. Резиновые детали в машиностроении. – Днепропетровск: Полиграфист, 2000. – 586 с.
3. Дырда В.И., Маркелов А.Е. Резиновые детали технологических машин. – Днепропетровск: Авантаж, 2008. – 316 с.
4. Шолин М.К. Резиновые износостойкие элементы горно-металлургического оборудования // Геотехническая механика. – 2001. – № 24. – С. 70–77.

5. Чижик Е.Ф., Шолин М.К., Костенко В.А. Опыт применения резиновых футеровок // Промышленность строительных материалов. – М.: ВНИИЭСМ, 1987. – С. 6–9.
6. Бегун В. Исследование излучения шума пластинами при ударном возбуждении / В. Бегун // Защита рабочих горнорудной промышленности от производственных опасностей и вредностей : Всесоюзный научно–исследовательский институт безопасности труда в горнорудной промышленности. – М. : Недра, 1990. – С. 46 – 62.
7. Афанасьев В. Особливості випромінювання ударного шуму сталевими пластинами/ В. Афанасьев, А. Арутюнян // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо–металургійного комплексу. Зб. наукових праць. – Кривий Ріг : НДІБПГ, 1999. – В. 1. – С. 64 – 76. – Бібліогр.: с. 76.
8. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях. – Киев: Наук. думка, 1988. – 232 с.
9. Потапов В.Н. Резиновые и резинометаллические детали машин. – М.: Машиностроение, 1966. – 300 с.
10. Шолин М.К. Резинометаллические изделия высокой надежности // Полимеры – деньги. – 2006. – № 4. – С. 40–44.
11. Цытин И.И. Белые износостойкие чугуны, структура и свойства. // М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
12. Лепетов В.А., Юрцев Л.Н. Расчёты и конструирование резиновых изделий. – Л.: Химия, 1987. – 408 с.
13. Таран Ю.Н., Мазур В.И. Структура эвтектических сплавов. // М.: Металлургия, 1978. – 312 с.
14. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на износостойкость при ударно–абразивном изнашивании. ГОСТ 23.207.
15. Гарбер М.Е. Отливки из белых износостойких чугунов. // М.: Машиностроение, 1972. – 112 с.

*Статья рекомендована к печати
Ответственным редактором раздела
«Металловедение и материаловедение»
Докт.техн.наук, проф. Г.В.Левченко*

А.М.Нестеренко, В.Л.Плюта, К.Г.Дьоміна, О.Я.Свистельник

Структуроутворення в економнолегованих хромомарганцевих сплавах для виготовлення деталей змінного металургійного обладнання

Встановлено, що в литих хромомарганцевих сплавах системи Fe–Mn–Cr–C перехідного класу (вміст вуглецю не більше 2,2 %) при відповідному співвідношенні Mn і Cr можливо утворення кристалів карбїду Me₇C₃ в високою твердістю. Показано, що економнолеговані хромомарганцеві сплави системи Fe–Mn–Cr–C з евтектикою на основі карбїду Me₇C₃ мають високий рівень ударно–абразивної зносостійкості і можуть використовуватись для виготовлення металевих елементних вставок гумовометалевих футерівок гірничо–металургійного обладнання.