

Г.В.Левченко, А.М.Нестеренко, В.Л.Плюта, С.В.Бобырь, П.Д.Грушко,
О.С.Касьян

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ МАРГАНЦОВИСТЫХ И ХРОМОМАРГАНЦОВИСТЫХ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Целью настоящего исследования явилось дальнейшее изучение и анализ фазово-структурных превращений в системе Fe-Cr-C. Показано, что литые хромо-марганцовистые сплавы с колониальной эвтектикой на основе карбида Me_7C_3 характеризуются высоким уровнем ударно-абразивной износостойкости, определяющим перспективность их использования для изготовления износостойких деталей сменного металлургического оборудования.

хромомарганцовистые сплавы, фазово-структурные превращения, ударно-абразивная износостойкость, перспективы

Введение. Известно [1,2], что материалы, используемые для изготовления целого ряда деталей сменного металлургического оборудования, которые эксплуатируются в сложных условиях контактного взаимодействия с движущимися массивами высокотвердых частиц, теплосмен и агрессивных сред, должны характеризоваться высоким уровнем механических свойств, твердости, коррозионной стойкости, абразивной и ударно-абразивной износостойкости. Несмотря на достаточно широкое применение для изготовления деталей сменного металлургического оборудования марганцовистых сталей и сплавов, таких как 65Г, 75Г2 (и ее модификации), сталь Гадфильда 110Г13Л и др. [3], их эксплуатационные характеристики являются очень низкими прежде всего по той причине, что они не обладают требуемым уровнем абразивной и ударно-абразивной износостойкости. Помимо этого сталь Гадфильда и ее модификации 110Г13Х2БРЛ, 110Г13ФТЛ, 130Г14ХМФАЛ, 120Г10ФЛ, применяемые для деталей сменного металлургического оборудования, содержат большое количество марганца и других легирующих элементов, что существенно повышает их стоимость.

Поэтому актуальной задачей современного материаловедения является разработка новых экономнолегированных сплавов, имеющих более высокие эксплуатационные свойства и более низкую стоимость, чем перечисленные стали и сплавы.

Состояние вопроса. Создание гаммы хромистых сталей и чугунов (Х12, Х12М, 30-40Х13, Х12Ф1, Х12МФ, ИЧХ30НМ, ИЧ300Х28Н2, ИЧ280Х12М и др.) в 60-80-х годах прошлого столетия основывалась на представлениях о том, что свойственные им показатели высокой абразивной износостойкости обусловлены наличием в их структуре высокотвердых карбидов типа Me_7C_3 . Согласно [4], микротвердость карбидов $(Cr,Fe)_7C_3$ составляет 12000 – 15000 МПа, тогда как для карбидов цементитного типа Fe_3C или $(Cr,Fe)_3C$ ее значения ниже – на уровне 8000 –

11000 МПа. Несмотря на достаточно широкое распространение сплавов системы Fe-Cr-C как базовых для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного износа, их существенным недостатком остается высокая хрупкость при ударном нагружении [4].

Наиболее детальный анализ фазово-структурных превращений в системе Fe-Cr-C был проведен Джексоном [5]. Как следует из предложенных пространственных моделей превращений в указанной системе, образование карбида $(Cr,Fe)_7C_3$ в сплавах Fe-Cr-C, содержащих примерно от 0,5 до 3,0 % (по массе) углерода, возможно при содержании хрома в этих сплавах на уровне свыше 12%. Из представленных в [6, 7] данных по анализу структурообразования в сплавах системы Fe-Mn-C с 5,0 - 20,0% Mn в концентрационном поле изменения содержания углерода от 0% до 8% (по массе) наряду с аустенитом и ферритом наблюдается образование только одной карбидной фазы – цементита $(Fe,Mn)_3C$. Высокотвердый карбид $(Mn,Fe)_7C_3$, несмотря на его изоморфизм с карбидом Cr_7C_3 [8], даже при повышенных содержаниях Mn вплоть до 20% в исследованных в [6, 7] сплавах системы Fe-Mn-C и в приведенных выше марганцовистых сплавах, применяемых для изготовления деталей сменного металлургического оборудования, не образуется.

Целью настоящего исследования явилось дальнейшее изучение и анализ фазово-структурных превращений в системе Fe-Cr-C.

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным 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 объеме высокотвердого карбида типа Me_7C_3 как в виде отдельной структурной составляющей, так и в виде колониальной составляющей тонкодифференцированной эвтектики аустенит (перлит после $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения) - Me_7C_3 [9].

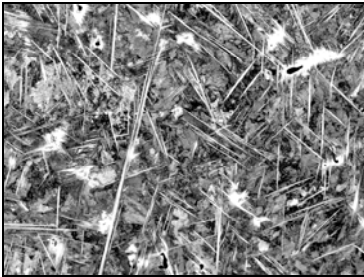
Методика исследования. Методами микроструктурного и рентгенографического анализов, а также испытаниями на ударно-абразивную износостойкость исследовали образцы литых сплавов систем Fe-Mn-C и Fe-Mn-Cr-C с минимизированным содержанием Si, вводимым для раскисления. Данные по химическому составу образцов исследованных сплавов представлены в табл.1.

Результаты исследований. Данные микроструктурного и рентгенодифрактометрического анализов показали, что кристаллизационная структура исследованных Fe-C сплавов по мере увеличения содержания Mn существенно изменяется. Так, в Fe-C сплаве без Mn основными структурными составляющими являются перлит (матрица сплава), протяженные иглообразные выделения кристаллов цементита Fe_3C и, в незначительном количестве, округлые включения графита в остаточного аустенита (рис.1а).

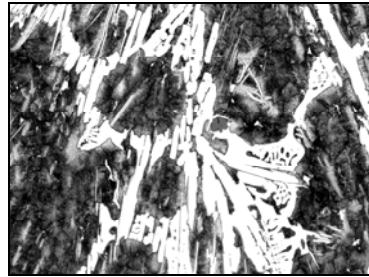
При кристаллизации сплава №2 с 2,15% Mn формируется совсем иная, типичная для так называемых «белых» чугунов [4,9] структура, которая состоит из дендритов аустенита, превращающихся затем в перлит при последующем $\gamma \rightarrow \alpha$ – фазовом переходе, и образовавшихся в междуветвях этих дендритов на последних этапах затвердевания отливок колоний ледебурита (рис. 1б).

Таблица 1. Химический состав и показатели ударно-абразивной износостойкости образцов исследуемых сплавов.

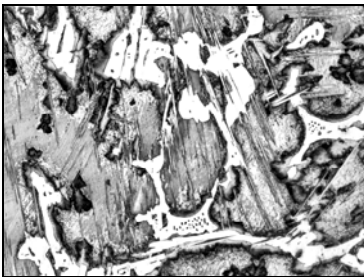
№ сплава	Массовая доля элементов, %				Относительная потеря массы, %
	C	Si	Mn	Cr	
1	2,19	0,67	-	-	0,26
2	2,06	0,56	2,15	-	0,31
3	2,01	0,51	3,89	-	0,26
4	2,04	0,49	7,06	-	0,28
5	2,02	0,67	4,25	3,88	0,25
6	2,10	0,63	3,56	7,00	0,20



а



б



в

Рис. 1. Микроструктура литых сплавов № 1 (а) $\times 200$, № 2 (б) $\times 500$ и № 3 (в) $\times 500$.

Выделившиеся из аустенита кристаллы «вторичного» цементита в сплаве № 2 с 2,15% Mn, как и в случае сплава Fe-C без Mn, имеют игольчатое строение (рис. 1б). При повышении содержания Mn до 3,89% (сплав

№ 3) общая структура не претерпевает изменений (рис.1в). Однако при этом, вследствие повышения устойчивости, значительное количество аустенита (примерно до 50%) остается непревращенным после охлаждения отливок до комнатной температуры и структура дендритной матрицы этого сплава становится аустенито-перлитной (рис. 1в). В сплаве № 4 с 7,06% Mn несколько увеличивается количество ледебуритной составляющей, а объемная доля аустенита в конечной структуре возрастает примерно до 70%. Из приведенных данных следует, что в исследованных сплавах Fe-Mn-C при содержаниях C 2,01-2,06% и Mn от 2,15 до 7,06% высокотвердые карбиды типа $(Mn,Fe)_7C_3$ или же эвтектики на его основе не образуются.

В то же время в сплавах системы Fe-Mn-Cr-C (табл. 1), как установлено в результате проведенного анализа, при определенном соотношении концентраций Mn и Cr, возможна реализация эвтектического превращения $J \rightarrow A + Me_7C_3$, т.е., образование эвтектики на основе карбида Me_7C_3 . Как следует из рис. 2а, указанные эвтектики с колониальным строением образуются при затвердевании отливок в междуветвиях дендритов аустенита, превращающегося впоследствии в результате $\gamma \rightarrow \alpha$ - превращения в перлит. Данные микрорентгеноспектрального анализа, проведенного с помощью растрового электронного микроскопа EVO-50 XVP с энергодисперсионной приставкой INKA ENERDGY - 450 (совместная разработка фирм «Карл Цейсс», Германия, и «Оксфорд Инструментс», Великобритания), свидетельствует о том, что кристаллы карбидной фазы характеризуются свойственным карбиду Me_7C_3 повышенным содержанием C и Cr (рис. 2б, табл. 2).

Таблица 2. Содержание элементов в карбидной фазе сплава № 6.

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 наряду с интерференциями феррита отчетливо выявляются интерференции, позволяющие однозначно идентифицировать карбидную фазу в сплаве № 6 (табл. 1), структурную составляющую колониальных эвтектик, как карбид Me_7C_3 (рис. 3).

Проведенные испытания образцов на ударно-абразивный износ показали, что наиболее высокую стойкость при данном виде испытаний имеет сплав № 6 (табл.1), имеющий в качестве структурной составляющей описанную выше эвтектику на основе карбида Me_7C_3 .

Заключение. Данные проведенных исследований свидетельствуют о перспективности использования экономнолегированных хромомарганцевых сплавов для изготовления деталей сменного металлургического оборудования, эксплуатирующихся в условиях абразивного и ударно-абразивного износа.

Установлено, что при кристаллизации отливок из хромомарганцовистых сплавов системы Fe-Mn-Cr-C при концентрациях C, Mn и Cr на уровне 2,10%, 3,56% и 7,00%, соответственно, 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 .

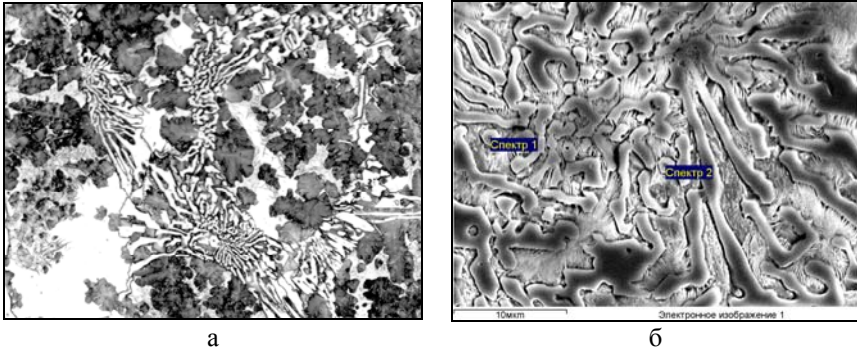


Рис. 2. Микроструктура сплава № 6 (а) $\times 800$, (б) $\times 3000$.

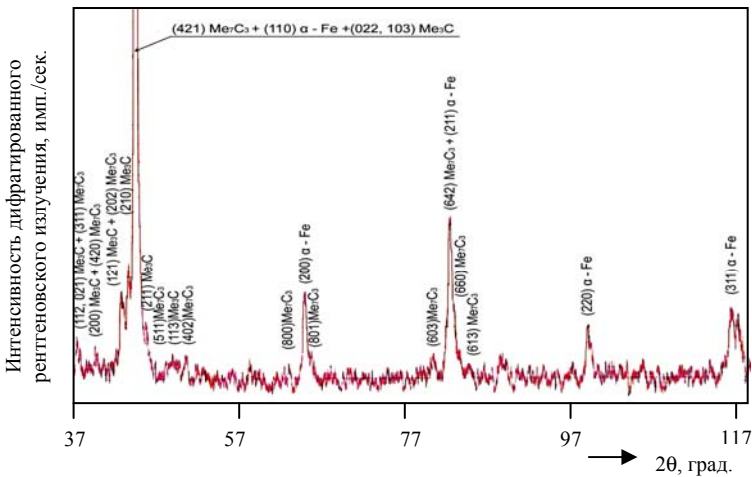


Рис. 3. Дифрактограмма хромомарганцовистого сплава № 6 (монохроматизированное излучение $\text{CuK}\alpha$).

Показано, что литой хромомарганцовистый сплав системы Fe-Mn-Cr-C с эвтектикой на основе карбида Me_7C_3 характеризуется высоким уровнем ударно-абразивной износостойкости, определяющим перспективность сплавов такого типа для изготовления деталей сменного металлургического оборудования.

1. *Меськин В.С.* Основы легирования стали. – М.: Металлургия, 1964. – 684с.
2. *Костецкий Б.И.* Поверхностная прочность материалов при трении. – Киев: Техника, 1976. – 293с.
3. *Соколов О.Г., Кацов К.Б.* Железомарганцевые сплавы. - Киев: Наукова думка, 1982. - 212 с.
4. *Гарбер М.Е.* Отливки из белых износостойких чугунов. // М.: Машиностроение, 1972. - 112с.
5. *Jackson R.S.* The austenite liquidus surface and constitutional diagram for the Fe – Cr – C metastable system. // J. Iron and Steel Inst., 1970. – 208.-№ 2. –С.163–167.
6. *Шевчук Л.А., Дудецкая Л.Р., Ткачева В.А.* Фазовые равновесия в системе Fe – C – Mn. // Литейное производство, 1976. - № 2. - С.7–8.
7. *Богачев И.Н., Еголаев В.Ф.* Структура и свойства железомарганцевых сплавов. // М.: Металлургия, 1973. – 295с.
8. *Гольдшмидт Х. Дж.* Сплавы внедрения. – М.: Мир, 1971. – 424с
9. *Таран Ю.Н., Мазур В.И.* Структура эвтектических сплавов. // М.: Металлургия, 1978. – 312с.

*Статья рекомендована к печати:
Заместитель ответственного редактора
раздела «Металловедение и материаловедение»
докт.техн.наук, проф. Э.В.Приходько
рецензент канд.техн.наук М.Ф.Евсюков*

Г.В.Левченко, А.М.Нестеренко, В.Л.Плюта, С.В.Бобирь, П.Д.Грушко, О.С.Касьян

Дослідження літої структури марганцевих і хромомарганцевих залізовуглецевих сплавів

Метою дослідження є подальше вивчення та аналіз фазово-структурних перетворень у системі Fe-Cr-C. Показано, що литі хромомарганцеві сплави з колоніальною евтектикою на основі карбіду Me_7C_3 характеризуються високим рівнем ударно-абразивної зносостійкості, що визначає перспективність їх використання для виготовлення зносостійких деталей змінного металургійного устаткування.