



УДК. 669.15

Поступила 12.08.2013

В. В. НЕТРЕБКО, И. П. ВОЛЧОК, Запорожский национальный технический университет

ОСОБЕННОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ ХРОМОМ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ

Цель данной работы – анализ влияния хрома на процессы карбидообразования, изменение химического состава металлической основы в зонах, прилегающих к карбидам, а также на твердость чугунов при экономном легировании никелем и марганцем.

The aim of this work - analysis of the influence of chromium on the process of carbide formation, changes in chemical composition of the metal substrate in the areas adjacent to the carbides and at the hardness of iron while economy nickel and manganese alloying.

Хромистые чугуны широко применяются для изготовления деталей машин и механизмов, работающих в условиях интенсивного абразивного и гидроабразивного изнашивания, а также в коррозионных средах. Их применение в различных отраслях, таких, как добыча полезных ископаемых, обогащение, металлургия, энергетика, производство строительных материалов и дорожное строительство, делает эти чугуны универсальным конструкционным материалом [1–4]. Необходимые свойства чугунов достигаются за счет легирования хромом, марганцем, никелем и реже другими элементами. При этом хром выполняет роль ферритообразующего и карбидообразующего элемента, а также основного элемента, обеспечивающего износостойкость и коррозионную стойкость, никель – аустенитообразующего элемента, повышающего вязкость разрушения и коррозионную стойкость, марганец – как карбидообразующего, так и аустенитообразующего и стабилизирующего аустенит элемента. По родству к углероду марганец занимает промежуточное положение между хромом и железом, принимает участие в карбидообразовании и часто используется в качестве частичного заменителя никеля. Высокая износостойкость чугунов определяется наличием в их структуре карбидов. Углерод является регулятором количества карбидов.

Возрастание стоимости энергоносителей значительно удорожает термическую обработку высоколегированных чугунов, однако в процессе термической обработки устраняется химическая неоднородность металлической основы, вызванная процессами карбидообразования. Поэтому разработка составов из-

носостойких чугунов, применяемых в литом состоянии без высокотемпературной термической обработки, является актуальной задачей.

Взаимное влияние основных легирующих элементов (Cr, Mn, Ni) на уровень износостойких и коррозионностойких свойств чугунов достаточно велико. Литературные данные по влиянию хрома, марганца и никеля, например [5–12], не позволяют осуществить рациональное сочетание химического состава, структуры и свойств чугуна, обеспечивающее требуемый срок эксплуатации в конкретных условиях.

Износостойкость чугунов является структурно чувствительным свойством и определяется в основном уровнем твердости, который обеспечивается упрочняющей фазой (карбидами). При этом высокой износостойкостью обладают сплавы с карбидами $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$, которые по сравнению с карбидами цементитного типа имеют в 1,5–2,0 раза более высокую твердость. Указываемое авторами [1, 3, 12] минимальное содержание хрома для получения карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$ при 3% углерода изменяется в широких пределах: от 12 до 27%, что затрудняет однозначное определение области 100%-ного образования карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$.

В целом коррозионные свойства чугунов зависят от концентрации хрома в металлической основе, при этом для удовлетворительной коррозионной стойкости необходимо иметь более 12% этого элемента. При охлаждении отливок в процессе карбидообразования происходит локальное обеднение хромом околокарбидных зон и, как следствие, снижается коррозионная стойкость сплавов [11].

Цель данной работы заключалась в анализе влияния хрома на процессы карбидообразования, изменение химического состава металлической основы в зонах, прилегающих к карбидам, а также на твердость чугунов при экономном легировании никелем и марганцем.

Исследовали чугуны следующего состава: углерод – 2,8–3,1 мас.%; хром – 10,24–29,86; марганец – 1,72–2,17; никель – 1,1–1,5; кремний – 0,8–1,2 мас.%. Чугун выплавляли в индукционной печи емкостью 60 кг с основной футеровкой. Температура жидкого чугуна при заливке в сухие песчаные формы составляла 1390–1420 °С. Структуру и твердость чугунов исследовали в литом состоянии, без термической обработки. Для выявления структурных составляющих применяли травитель Марбле. После травления α -фаза имела черный цвет, а γ -фаза – светлый. Анализ структуры выполняли на оптических микроскопах МИМ- 8, Sigeta MM700

при увеличении 100–600. Микротвердость структурных составляющих измеряли на приборах ПМТ-3 и Duramin -1, макротвердость сплава – на твердомере Роквелла. Методами микрорентгеноспектрального анализа на микроскопе РЕМ 106И исследовали химический состав металлической основы и карбидной фазы. При этом изучали изменение химического состава металлической основы с увеличением расстояния от карбидов от 1,5 до 18 мкм.

Микроструктура исследуемых чугунов состояла из феррито-аустенитной металлической основы и карбидной фазы (рис. 1). По мере увеличения содержания хрома доля аустенита (γ -фаза) уменьшалась и при 29,86% Cr металлическая основа была полностью ферритной (α -фаза).

Карбидная фаза была представлена карбидами $(Cr, Fe, Mn)_3C$ и $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$ (рис.2). При 10,24% Cr карбидная фаза состояла приблизительно из 30% карбидов $(Cr, Fe, Mn)_3C$ и 70% карбидов $(Cr,$

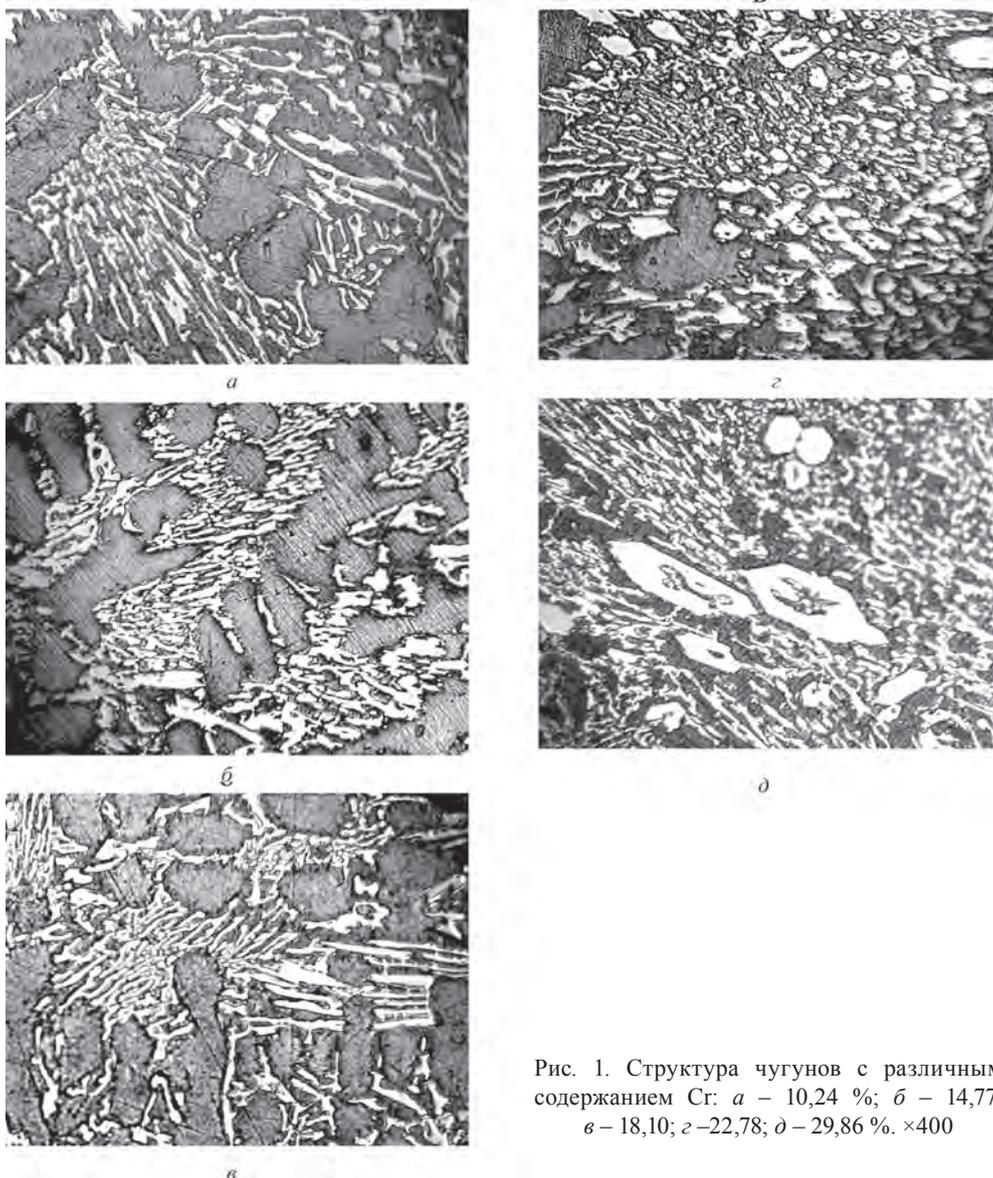


Рис. 1. Структура чугунов с различным содержанием Cr: а – 10,24 %; б – 14,77; в – 18,10; г – 22,78; д – 29,86 %. $\times 400$

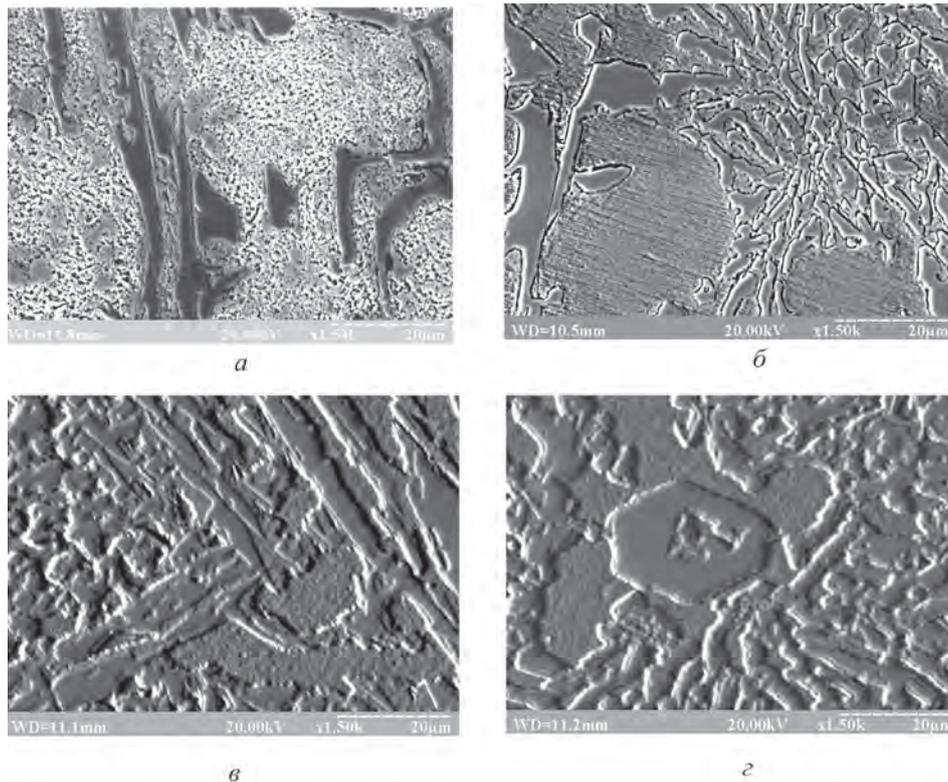


Рис. 2. Различные типы карбидов: а – карбиды цементитного типа; б, в – эвтектические карбиды; г – заэвтектический карбид $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$. $\times 1500$

$Fe, Mn)_7C_3$. По мере увеличения содержания хрома в чугунах доля карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$ увеличивалась и достигала 100% при 18% Cr. В чугунах с 22,78–29,86% Cr наблюдались только эвтектические и заэвтектические карбиды $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$. Следует отметить, что по мере увеличения содержания хрома в чугунах от 10,24 до 29,86 % увеличивалась концентрация хрома в карбидах от 30 до 66 мас. %, содержание железа снижалось с 59 до 27%, а содержание марганца – с 3,0 до 1,5%.

В процессе охлаждения литых деталей протекали следующие процессы:

- снижалась растворимость углерода в твердом растворе;
- образовывались эвтектоидные карбиды;
- в карбидах атомы железа замещались атомами хрома и марганца;
- обеднялись хромом околокарбидные зоны металлической основы.

Степень обеднения металлической основы хромом зависела от общего содержания хрома в сплаве и расстояния от карбида (рис. 3).

Диффузионные процессы при охлаждении отливок были затруднены из-за большого количества легирующих элементов, поэтому выравнивания концентрации хрома не происходило. Понижение концентрации хрома в околокарбидных зонах и внутри эвтектических колоний достигало 4%,

что отрицательно сказывалось на коррозионной стойкости чугунов.

Как было показано в [11], зоны измененного химического состава наблюдались в виде черной оторочки в областях, примыкающих к карбидам и внутри карбидных колоний. Увеличение размеров черной оторочки, свидетельствующее о повы-

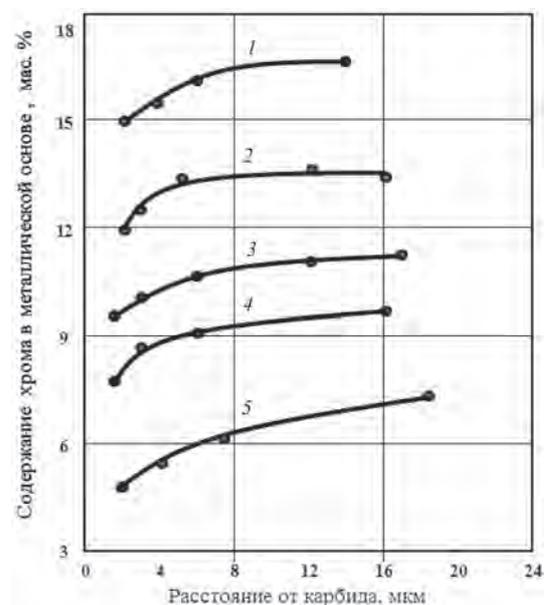


Рис. 3. Изменение концентрации хрома в металлической основе по мере удаления от карбида: 1 – 29,86% Cr; 2 – 22,78%; 3 – 18,10%; 4 – 14,77%; 5 – 10,24% Cr



Рис. 4. Изменение количества карбидов в зависимости от содержания хрома в чугуне

шении травимости сплава, происходило по мере снижения концентрации хрома в металлической основе.

В чугунах, содержащих более 22,78% Cr, достигалась концентрация хрома в околокарбидных зонах (более 12%), необходимая для обеспечения коррозионной стойкости, и, как следствие, зоны растравливания не наблюдались.

При увеличении содержания хрома от 10,24 до 29,86% количество карбидов увеличивалось от 26 до 33% (рис. 4).

Изменение химического состава металлической основы и карбидов по мере увеличения содержания хрома в чугуне привело к изменению твердости этих фаз и сплава в целом (рис. 5).

Существенное повышение микротвердости металлической основы с ростом содержания хрома до 23% можно объяснить твердорастворным упрочнением. При содержании хрома в чугуне выше 23% микротвердость металлической основы возрастала незначительно, что свидетельствует об исчерпании эффекта твердорастворного упрочнения.

Микротвердость карбидов по мере увеличения содержания хрома в чугуне возрастала с 800 HV

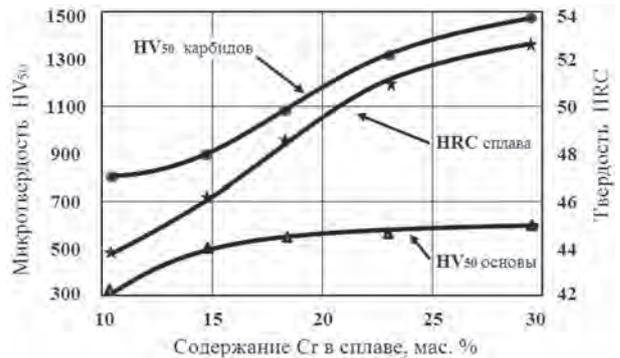


Рис. 5. Влияние содержания хрома на твердость и микротвердость структурных составляющих чугуна

и достигла максимальных значений около 1450 HV при содержании хрома 30%.

Специфическое изменение микротвердости карбидов объясняется увеличением в них концентрации хрома, а также возрастанием доли карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$.

Повышение макротвердости сплава явилось результатом легирования хромом металлической основы и карбидов.

Выводы

1. Повышение содержания хрома от 10,24 до 29,86% привело к увеличению количества карбидов от 26 до 33% и вызвало возрастание твердости сплава от 44 до 53 HRC.

2. В экономнолегированных чугунах (2% Mn и 1% Ni) при 3% углерода содержание хрома, необходимое для получения 100% карбидов $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$, должно быть более 18%.

3. Для обеспечения коррозионной стойкости чугунов, эксплуатируемых без термической обработки, минимальное содержание хрома в чугуне должно быть более 23% при содержании углерода около 3%.

Литература

1. Гарбер М. Е. Отливки из белых износостойких чугунов. М.: Машиностроение, 1972.
2. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Металлургия, 1983.
3. Герек А., Байка Л. Легированный чугун – конструкционный материал. М.: Металлургия, 1978.
4. Комаров О. С. и др. Высокохромистый чугун как материал для быстроизнашиваемых деталей машин // Литейное производство. 2008. № 2. С. 2–4.
5. Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М.: Металлургия, 1969.
6. Иванов Д., Митяев О. Абразивна стійкість проти спрацювання високохромистого чавуну // машинознавство. 2000. № 10. С. 22–25.
7. Капустин М. А., Шестаков И. А. Оптимизация химического состава износостойкого чугуна для литых мелющих шаров // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 1999. № 2. С. 32–33.
8. Чейлах А. П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. Харьков.: ННЦ ХФТИ, 2003.
9. Кириллов А. А., Белов В. Д., Рожкова Е. В. и др. Структурно и неструктурно чувствительные свойства хромистых чугунов // Черные металлы. 2007. сентябрь. С. 7–13.
10. Волчок И. П., Нетребко В. В. Влияние марганца на процессы структурообразования износостойких высокохромистых чугунов // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. 64. Днепропетровск: ПГАСА, 2012. С. 301–304.
11. Волчок И. П., Нетребко В. В. Особенности легирования марганцем износостойких высокохромистых чугунов // Литье и металлургия. 2012. № 3. С. 162–165.
12. Гарост А. И. Железоуглеродистые сплавы. Минск: Беларуская наука, 2010.