

Д-р техн. наук М. О. Матвеева, д-р техн. наук С. И. Губенко
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ХРОМОМ И ТИТАНОМ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В БЕЛЫХ ЧУГУНАХ

Изучены качественный состав, количество и распределение неметаллических включений в структурных составляющих отливок из белых чугунов, комплексно легированных хромом и титаном. Показана возможность получения минимального количества включений в структуре чугунов, что благоприятно с точки зрения литейных, механических и эксплуатационных свойств отливок.

Ключевые слова: литье, белый чугун, отливка, легирование, неметаллические включения, структура, свойства.

Введение

При получении отливок с высокими эксплуатационными характеристиками большое значение имеет выбор легирующего комплекса, который, обеспечивая необходимые показатели, не должен ухудшать литейные свойства, повышать газонасыщение сплава при плавке и загрязненность расплава неметаллическими включениями [1, 2].

Неметаллические включения в затвердевшем сплаве являются частицами, нарушающими сплошность и однородность структуры. Они могут реагировать с газами и снижать физико-механические свойства сплавов. Их присутствие понижает ударную вязкость, износостойкость, усталостную прочность, пластичность, коррозионную стойкость, жаростойкость, жаропрочность и т. д. Наличие в сплаве некоторых включений обычно понижает химическую стойкость сплавов, так как они образуют с основным металлом сплава коррозионные гальванические элементы, что способствует развитию процессов электрохимической коррозии [3]. Поэтому в абсолютном большинстве случаев наличие неметаллических включений в отливках является нежелательным.

Распределение включений в дендритной структуре сплава во многом зависит от момента их образования и поведения при кристаллизации. Легкоплавкие сульфидные включения, которые образуются на последней стадии кристаллизации, располагаются на границах зерен. Тугоплавкие включения, служащие центрами кристаллизации, расположены на осях и по всему объему дендритов [4]. В каждой группе литейных сплавов встречаются различные неметаллические включения [5]. Влияние включений на свойства чугунов исследовано значительно меньше, чем в сталях [6].

Целью данной работы было изучение комплексного легирования хромом и титаном на неметаллические включения в белых чугунах.

Материалы и методики исследований

Для исследований были получены низкохромистые белые чугуны, микролегированные титаном (табл. 1). Количество титана варьировали в интервале 0,01–0,20%, хрома – 1,17–5,63%. Анализ неметаллических включений проводили металлографическим методом на микроскопе «Neofot-21».

Таблиця 1 – Хімічний склад низькохромистих чугунов, мікролегированих титаном

№ п/п	Содержание элементов, % (по массе)							
	C	Si	Mn	Cr	Ti	Fe	S	P
1	3,13	2,2	0,62	1,17	0,01	92,805	0,025	0,04
2	3,13	2,3	0,64	5,63	0,01	88,234	0,026	0,03
3	3,14	2,2	0,62	5,03	0,20	88,733	0,027	0,05
4	3,14	2,3	0,62	3,40	0,01	90,456	0,024	0,05
5	3,14	2,3	0,63	3,10	0,105	90,660	0,025	0,04
6	3,12	2,2	0,60	5,33	0,105	88,580	0,025	0,04
7	3,13	2,2	0,62	3,94	0,07	89,976	0,024	0,04

Для количественных исследований неметаллических включений построена симплексная решетка по плану Шеффе, для чего использовали схему, представленную на рис. 1.

По плану Шеффе возможно построение модели следующего вида:

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (1)$$

где Y – свойство материала; β – коэффициент регрессии; x – количество материала в сплаве.

Коэффициенты регрессии определяли по формулам:

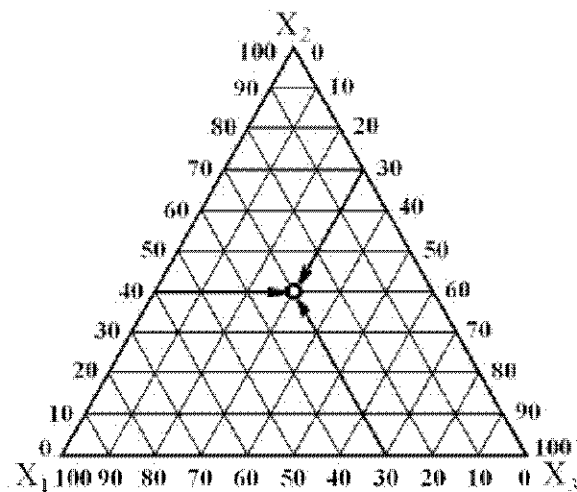
$$\beta_1 = \xi_1, \quad (2)$$

$$\beta_{ij} = 4\xi_{ij} - 2\xi_i - 2\xi_j, \quad (3)$$

где ξ_i , ξ_j , ξ_{123} – результаты опытов в точках симплексных решеток.

Теория и анализ полученных результатов

Металлографические исследования показали, что в серии плавов с 0,01 % Ti в образцах с минимальным содержанием хрома (1,17 %) в отдельных участках шлифа остается до 0,5 % графита (рис. 2, а). Выявлены два вида неметаллических включений: сульфиды Fe-Mn и оксиды (рис. 2, б). При общем количестве включений 0,52 % основную их часть составляют шпинели. При изучении влияния хрома [7] и аналогичном его содержании в чугуне графит не выявлен, что свидетельствует о снижении карбидообразующего воздействия хрома в присутствии титана.


Рис. 1. Ключ симплексной решетки

В отливках чугуна с 1,26 % хрома, кроме оксидов и сульфидов, присутствуют сложные оксисульфидные соединения (рис. 2, в), однако число оксидных включений остается преобладающим и их общее количество остается примерно на том же уровне (0,54 %). С дальнейшим увеличением количества хрома в чугуне до 1,37 % в опытных отливках появляются хромистые шпинели (рис. 2, з). Общее количество включений снизилось до 0,25 %, преобладающее количество оксидов сохраняется, при этом включения более крупные.

В чугуне, содержащем 1,74 % Cr, обнаружили сульфиды Fe-Mn (рис. 2, д, е), оксиды типа шпинелей $MnO \cdot Cr_2O_3$ и небольшое количество соединений титана. Общее количество включений 0,31 % с преобладающим содержанием сульфидов. В чугуне, содержащем 3,75 % Cr, выявили небольшое количество сульфидов компактной формы ~ 0,22 %. При содержании 5,63 % хрома в чугуне присутствовали точечные включения простых и сложных оксидных включений, а также небольшое количество сульфидов.

Важным фактором, определяющим влияние неметаллических включений на свойства отливок, является их распределение в структуре чугуна. Установлено, что в основном они находятся внутри зерен перлита или цементита (рис. 3), что благоприятно с точки зрения механических свойств, т. к. обычно включения охрупчивают границы перлитных колоний.

В серии плавов с содержанием титана 0,2 % можно отметить увеличение общего количества включений (рис. 4), однако их содержание остается незначительным в пределах 0,60–1,20 %.

При содержании хрома 1,48... 2,02 % в чугунах опытных плавов количество неметаллических включений составляло 0,6–1,2 %, а их состав был разнообразнее, чем в предыдущей серии чугунов: оксиды и оксисульфиды (рис. 5, а), сульфиды (рис. 5, б), силикаты, нитриды и карбонитриды титана (рис. 5, в). Морфология включений определяется их природой. В чугуне, содержащем 2,55 % Cr, выявлено множество крупных сульфидов разной морфологии (рис. 5, з), сульфидные эвтектики (рис. 5, д), а также оксисульфиды (рис. 5, е). При дальнейшем увеличении в чугуне количества хрома до 3,01... 5,03 % общая загрязненность включениями уменьшается, при этом они мелкие, имеют компактную форму и равномерно распределены внутри зерен.

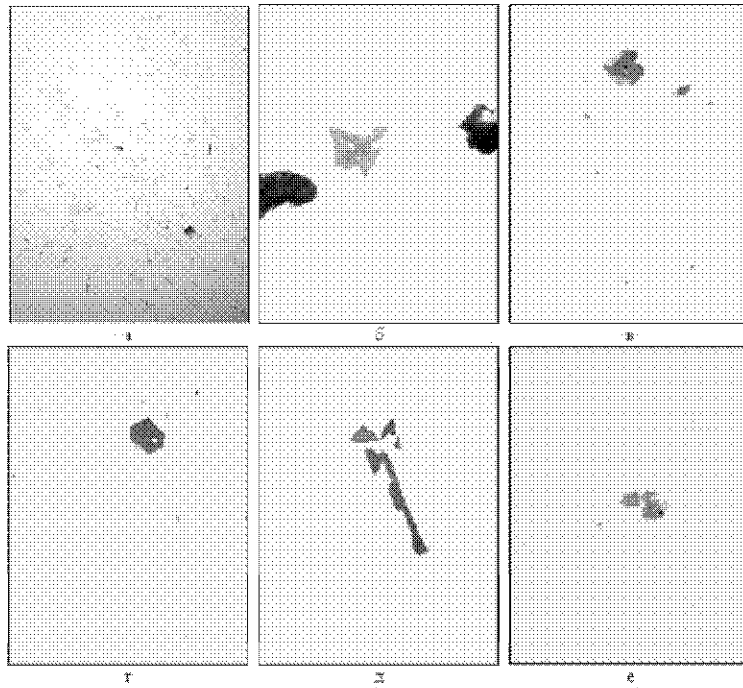


Рис. 2. Графит (а) и неметаллические включения в чугунах, содержащих 1,17 % Cr (а, б); 1,26 % Cr (в); 1,37 % Cr (г); 1,74 % Cr (д, е); а – $\times 150$, остальные $\times 600$

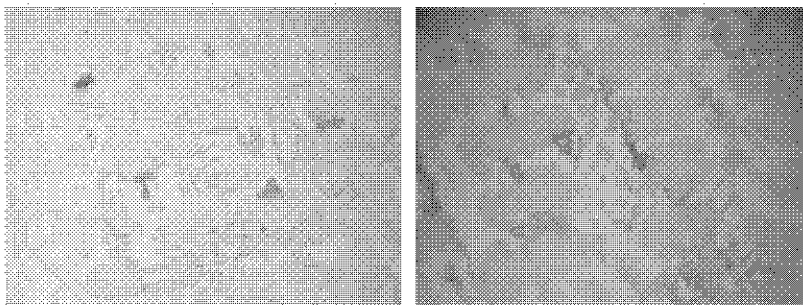


Рис. 3. Распределение неметаллических включений в структуре экспериментальных чугунов (титан 0,01%); $\times 600$

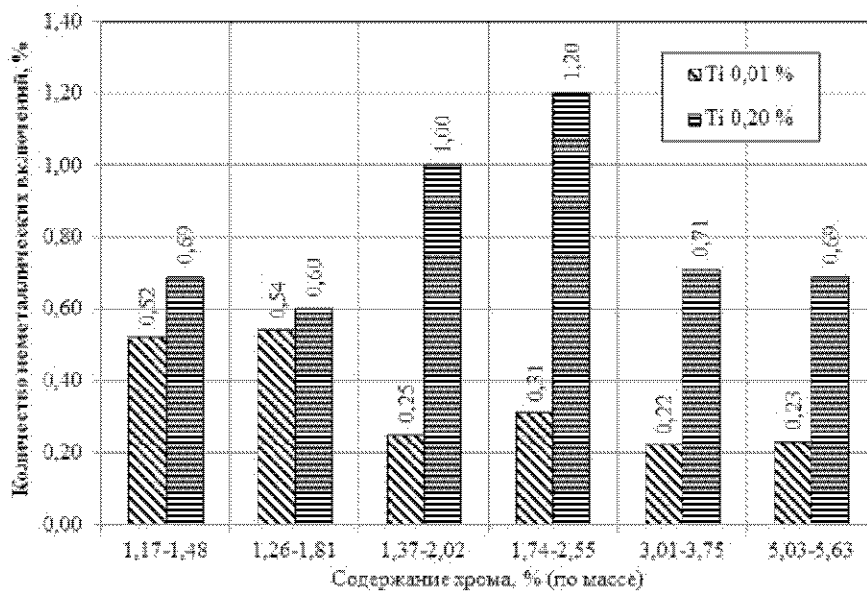


Рис. 4. Содержание неметаллических включений в опытных чугунах

Исследование качественного состава неметаллических включений показало, что при увеличении в чугунах содержания титана и хрома возрастает не только общее количество включений, но также проявляется большее разнообразие их видов (рис. 6).

В результате математической обработки экспериментальных данных по влиянию комплексного легирования на неметаллические включения получены коэффициенты регрессии (табл. 2). Это позволило построить симплексную решетку, характеризующую влияние химического состава чугуна на количественные характеристики включений (рис. 7).

Поля с недопустимым уровнем количества неметаллических включений не выделены, так как увеличение их числа происходило за счет образования упрочняющих фаз и не являлось отрицательным фактором.

В результате изучения количества и распределения неметаллических включений в опытных чугунах установлено, что применяемый легирующий комплекс Cr + Ti позволяет получать минимальное количество неметаллических включений в структуре отливки. При этом хром практически отсутствовал в оксидных включениях, что свидетельствует о его присутствии в твердом растворе и карбидах и подтверждает его максимально полное усвоение.

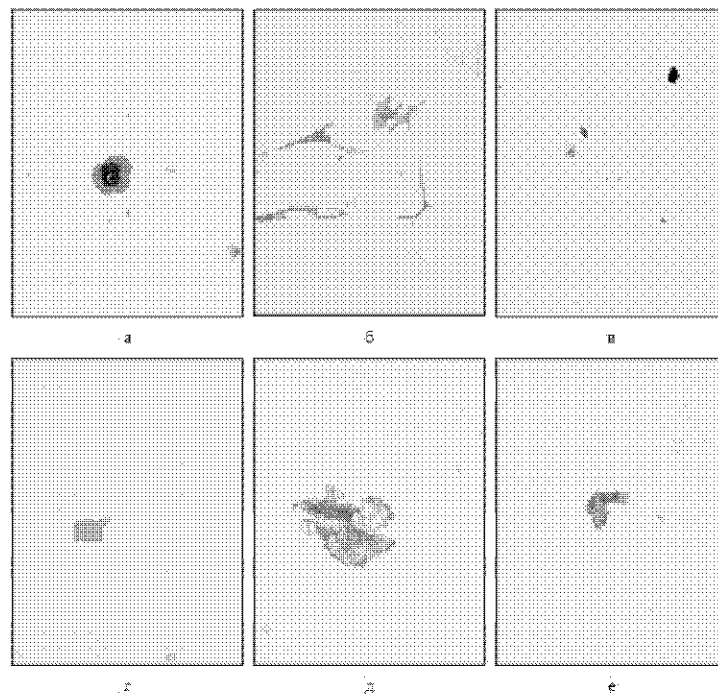


Рис. 5. Неметаллические включения в чугунах с различным содержанием хрома; $\times 600$

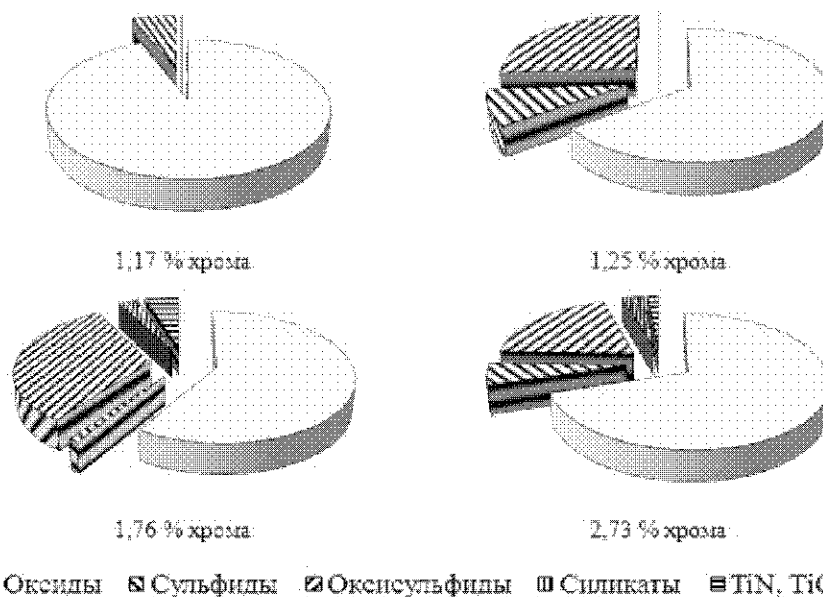


Рис. 6. Качественный состав неметаллических включений в экспериментальных отливках

Таблица 2 – Результаты определения количества неметаллических включений и расчета коэффициентов регрессии

№ сплава	Функция отклика, $N_{вкл.}, \%$	Коэффициенты регрессии для расчетного уравнения	
		β	значения
1	0,52	β_1	0,52
2	0,23	β_2	0,23
3	0,69	β_3	0,69
4	0,20	β_{12}	-0,70
5	0,67	β_{13}	0,26
6	0,35	β_{23}	-0,44
7	1,10	β_{123}	19,38

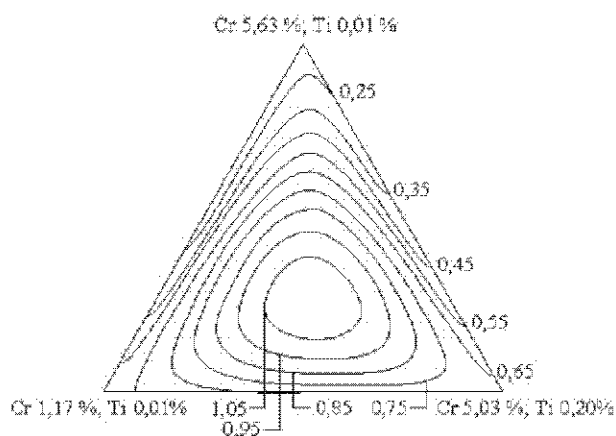


Рис. 7. Количество неметаллических включений в структуре опытного чугуна, %

Установлено, что количество титана и хрома оказывает влияние на качественный состав и распределение неметаллических включений. При содержании титана 0,01 % большинство включений находились внутри зерен перлита, что благоприятно с точки зрения механических свойств.

При содержании титана 0,20 % количество неметаллических включений в чугуне возрастает, они имеют компактную форму и более равномерно распре-

лены внутри структурных составляющих. В то же время в чугуне выявлено большее качественное разнообразие неметаллических включений [8].

Выводы

Применение комплексного легирования белых чугунов хромом и титаном позволяет регулировать качественный состав, количество и распределение неметаллических включений в структурных составляющих. Показана возможность получения минимального количества неметаллических включений в структуре чугуновых отливок, что благоприятно с точки зрения литейных, механических и эксплуатационных свойств белых чугунов.

Список литературы

1. Гуляев Б. Б. Физико-химические основы синтеза сплавов / Б. Б. Гуляев – Л. : Из-во Ленинградского университета. – 1980. – 192 с.
2. Пикунов М. В. Плавка металлов. Кристаллизация сплавов. Затвердевание отливок / М. В. Пикунов. – М. : МИСИС, 1997. – 376 с.
3. Леви Л. И. Литейные сплавы / Л. И. Леви, С. К. Кантеник. – М. : Высшая школа, 1967. – 433 с.
4. Бельченко Г. И. Неметаллические включения и качество стали / Г. И. Бельченко, С. И. Губенко. – К. : Техника, 1980. – 168 с.
5. Губенко С. И. Неметаллические включения в стали / С. И. Губенко, В. В. Парусов, И. В. Дервянченко. – Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2005. – 536 с.
6. Гиршович Н. Г. Чугунное литье / Н. Г. Гиршович. – М. : Металлургиздат, 1949. – 562 с.
7. Шаповалова О. М. Влияние хрома на формирование графита в чугуне / О. М. Шаповалова, М. О. Матвеева // Металлознавство та термічна обробка металів. – 2004. – № 4. – С. 24–30.
8. Матвеева М. О. Влияние хрома и титана на неметаллические включения в экономнолегированном чугуне для прокаточных опок / М. О. Матвеева, С. И. Губенко // Неметалеві вкраплення і гази в ливарних сплавах : зб. наук. праць XII Міжнародної науково-практичної конференції, 22–25 вересня 2009 р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. – С. 94–96.

Одержано 09.10.2012

Матвеева М.О., Губенко С.І. Вплив комплексного легування хромом і титаном на неметалеві включення в білих чавунах

Вивчений якісний склад, кількість та розподіл неметалевих вкраплень у структурних складових виливків з білого чавуну, що комплексно легований хромом та титаном. Показана можливість отримання мінімальної кількості включень у структурі чавунів, що є сприятливим з точки зору ливарних, механічних та експлуатаційних властивостей виливків.

Ключові слова: лиття, білий чавун, виливок, легування, неметалеві вкраплення, структура, властивість.

Matveeva M., Gubenko S. Influence of complex alloying with chromium and titanium on non-metallic inclusions in white cast irons

Quality structure, quantity and distribution of non-metallic inclusions in structural components of white cast irons alloying by complex of chromium and titanium were investigated. It was shown the possibility of minimum quantity guarantee of non-metallic inclusions in structure of cast irons that is favourable for casting, mechanical and service properties of cast article.

Key words: casting, white cast irons, cast article, alloying, non-metallic inclusions, structure, properties.