

## Влияние титана и редкоземельных металлов на структуру износостойкого высокохромистого чугуна

*Изучено совместное влияние титана и редкоземельных металлов на структуру износостойкого высокохромистого чугуна 280X20Г4Л. Исследованиями макро- и микроструктуры установлено, что модифицирование чугуна присадками титана и редкоземельных металлов существенно влияет на структуру исходного чугуна. При этом уменьшается ширина и длина первичных дендритов аустенита, измельчается эвтектика. Определены оптимальные количества присадок титана и редкоземельных металлов. Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.*

**Ключевые слова:** износостойкий высокохромистый чугун, макроструктура, микроструктура, модифицирование, первичные дендриты аустенита, редкоземельные металлы, титан

*Studied the combined effect of titanium and rare earth metals on the structure of the wear-resistant high chrome cast iron 280H20G4L. Studies macro-and microstructure found that modifying additives iron titanium and rare earth metals affects the structure of the original cast iron. This reduces the width and length of the primary austenite dendrites, crushed eutectic. The optimum amount of additive titanium and rare earth metals.*

**Keywords:** wear-resistant high chrome cast iron, macrostructure, microstructure, modify, primary austenite dendrites, rare earth metals, titanium.

### Состояние вопроса

Для работы в условиях интенсивного абразивного изнашивания применяют белые износостойкие высокохромистые чугуны (ВХЧ). Высокая стойкость этих чугунов обеспечивается структурой, состоящей из карбидов хрома типа  $(Cr, Fe)_7C_3$ , расположенных в аустенитной, мартенситной или мартенситно-аустенитной матрице. Такая структура в высокой степени отвечает требованиям принципа Шарпи, поэтому высокохромистые чугуны как литейный материал не имеют конкурентов среди сплавов для работы в экстремальных условиях абразивного изнашивания без значительных ударных нагрузок.

На практике используют в основном эвтектические и доэвтектические ВХЧ, поскольку заэвтектические несмотря на большую твердость, имеют высокую хрупкость и плохие технологические свойства. Одним из недостатков доэвтектических чугунов является наличие в структуре значительного количества первичного аустенита, который имеет микротвердость ниже, чем у карбидов и эвтектики, поэтому изнашивается быстрее и ускоряет износ всей детали.

Улучшить структуру износостойких хромистых чугунов можно дополнительным микролегированием и модифицированием [1]. Повысить износостойкость относительно мягких участков аустенита (бывшего аустенита), и таким образом всего сплава, можно упрочнением его мелкодисперсными карбидами или карбонитридами таких элементов как титан, ванадий, ниобий. Из многих элементов, образующих высокотвердые карбиды, наиболее перспективным является титан.

Редкоземельные металлы (РЗМ) довольно широко применяют при производстве высокопрочного чугуна, специальных сталей, особенно коррозион-

нстойких, жаропрочных и жаростойких [2]. К сожалению РЗМ практически не используют при производстве износостойких ВХЧ. Это связано с тем, что, с одной стороны, при модифицировании высокохромистых чугунов редкоземельными металлами эффект влияния на их структуру и свойства не такой заметный, как для некоторых групп специальных сталей и высокопрочного чугуна. С другой стороны, данные по влиянию РЗМ на свойства ВХЧ ограничены и часто противоречивы [1, 2]. Нет однозначных рекомендаций по количеству вводимых добавок РЗМ и технологии ввода их в сплав для конкретных марок износостойких хромистых чугунов. Неправильно выбранная технология модифицирования высокохромистых чугунов добавками РЗМ может привести к отсутствию эффекта улучшения структуры сплавов, или даже ухудшения некоторых свойств.

### Цель исследований

Целью данного исследования является изучение совместного влияния титана и редкоземельных элементов на структуру износостойкого ВХЧ.

### Методика исследований

В качестве исходного чугуна использовали ВХЧ следующего химического состава, %: 2,8 С; 0,8 Si; 4,3 Mn; 20,5 Cr;  $\leq 0,05$  S;  $\leq 0,05$  P. Чугун выплавляли в индукционной печи ИСТ-006 с кислой футеровкой. Разливку расплава осуществляли фракционно. Титан вводили в виде ферротитана ФТи35 в тигель печи в конце плавки, предварительно раскислив сплав 0,2 % алюминия. РЗМ в виде лигатуры Мц50Ж3 с содержанием 45-50 % Ce, 20-30 % La, 10-15 % Nd вводили в тигель печи непосредственно перед выпуском металла. Всего заливали 4 порции металла: исходную и обработанные РЗМ в количествах 0,1, 0,2 и 0,5 % по расчету. Содержание титана не изменялось и составляло 0,15-0,2 % (для порций 2-4). Образцы заливали

в сухие, окрашенные дистен-силиманитовой краской, песчано-глинистые формы при температурах 1380-1400 °С.

Для исследования структуры использовали образцы, вырезанные из центральной части литых призматических образцов размерами 100×30×20 мм. Шлифы для анализа микроструктуры изготавливали по стандартной методике, травление производили 4 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Металлографическое исследование шлифов осуществляли в центральной части, поскольку в этом месте сплав имеет более грубую структуру и более развит дендритный рисунок. Микроструктуру изучали на микроскопе Neophot 21, а также на растрово-электронном микроскопе РЭМ 106и, на этом же микроскопе изучали локальный химсостав отдельных фаз.

### Основные результаты

Исследованиями макроструктуры установлено, что в образцах, не модифицированных РЗМ, в центральной части есть зона размерами приблизительно 5×15 мм, которая соответствует зоне равноосных кристаллов (рис. 1). В модифицированных образцах эта зона практически отсутствует.

Присадки в чугун титана совместно с РЗМ заметно измельчают структуру исходного ВХЧ (рис. 2). В центральной части образцов значительно уменьшается ширина и особенно длина дендритов первичного аустенита. Очевидно, церий и его соединения, образовавшиеся перед кристаллизацией сплава, откладываются как поверхностно-активные вещества на границе растущих дендритов аустенита, ограничивая их рост. Кроме этого, в сплаве, содержащем 0,1 % РЗМ эвтектика  $\gamma + (Cr, Fe)_7C_3$  имеет более мелкодисперсное строение.

Титан образует карбиды и карбонитриды, которые расположены в основном в аустенитной матрице и на границах фаз матрица-карбид (рис. 3а). В карбидах хрома их значительно меньше. Учитывая соответствие типов кристаллических решеток они могут выступать центрами кристаллизации аустенита, и, таким образом, инокулировать расплав.

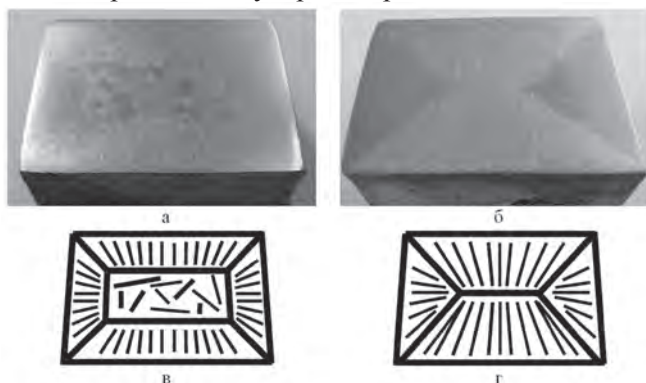


Рис. 1. Макроструктура (а, б) и схема кристаллизации (в, г) хромомарганцевого чугуна 280X20Г4Л не модифицированного (а, в) и модифицированного присадками титана и РЗМ (б, г)

В тоже время тугоплавкие частички TiC или Ti(C,N), которые образовались до кристаллизации основной массы расплава, находясь на границе зерен,

могут эффективно противостоять росту фаз, измельчать их и способствовать эффекту модифицирования чугуна. По данным некоторых работ [1, 3] карбиды титана также могут выступать зародышами для образования первичных шестигранных карбидов хрома  $(Cr, Fe)_7C_3$ , и измельчать их.

РЗМ эффективно связывают серу и кислород в ВХЧ и находятся в составе сульфидов и окисульфидов (рис. 3) преимущественно сферической формы (на электронном снимке – белые включения), других соединений РЗМ не выявлено. Окисульфиды РЗМ равномерно распределены в структуре, их количество растет с увеличением общего содержания РЗМ в сплаве. Кроме того, встречаются включения, в которых сульфид РЗМ находится рядом с карбонитридом титана (рис. 3б) (сульфид находится внутри карбонитрида). Локальным точечным химанализом (табл. 1) установлено, что точка 2 – это окисульфид РЗМ (рис. 3б), расположенный в карбонитриде титана (точка 3 на рис. 3б), однако и в сульфиде и в карбиде есть и титан и РЗМ (La, Ce). Учитывая высокое сродство титана к сере, можно предположить, что это окискарбосульфид сложного химического состава. Исследованиями структуры травленных образцов при больших увеличениях на оптическом, а также на сканирующем электронном микроскопе установлено, что в составе дендритов аустенита модифицированных РЗМ и титаном чугунов обнаруживаются мелкие частички размерами 1-4 мкм (рис. 4б).

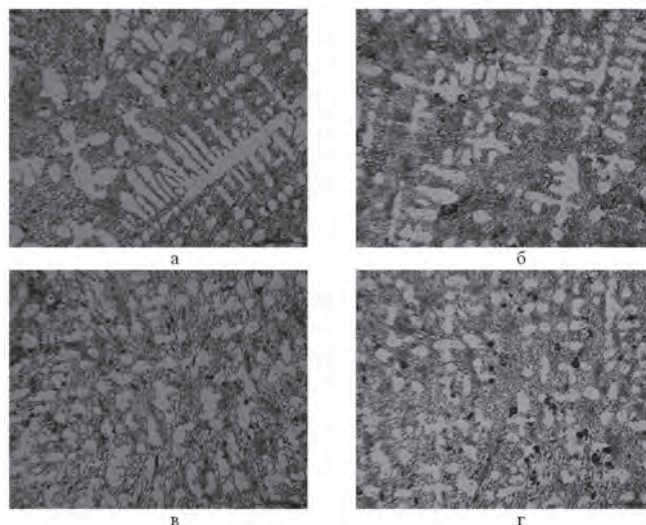


Рис. 2. Микроструктура хромомарганцевого чугуна 280X20Г4Л в зависимости от присадки титана и РЗМ (x 100), %: а – 0,0 РЗМ, 0,0 Тi; б – 0,1 РЗМ, 0,2 Тi; в – 0,2 РЗМ, 0,15 Тi; г – 0,5 РЗМ, 0,15 Тi

Наибольшее количество таких включений обнаружено в сплавах с содержанием РЗМ 0,2 и 0,5 %. По-видимому, это мелкодисперсные карбиды хрома типа  $(Cr, Fe, Mn)_7C_3$  (рис. 4), не входящие в состав эвтектики. Об этом подтверждают данные локального точечного химанализа (рис. 4, табл. 2). Вероятнее всего, мелкие включения карбидов, обнаруженные в модифицированном сплаве, образовались в процессе кристаллизации на очень мелких частичках РЗМ или их соединений, т.е. эти соединения являются дополнительными центрами кристаллизации. К подобным

Таблица 1. Химический состав хромомарганцевого чугуна (к рис. 3б)

Инд. точки	Содержание химических элементов в точке, %										
	Si	Mn	Cr	Ti	P	S	Ce	La	Nd	Pr	Fe
1	0,33	3,91	3,79	0	0,09	0,04	0	0	0	0	91,84
2	0,02	0,65	4,81	24,85	0,18	3,53	24,21	34,40	4,62	0,46	2,25
3	0,24	0,38	4,82	54,93	0,22	0,05	2,84	30,61	0	0	5,90
4	0,19	0,81	13,54	0,87	0,13	3,80	27,26	13,51	14,28	11,36	14,23
5	0,08	3,14	56,21	0	0,13	0,17	0	0	0	0	40,27

Таблица 2. Химический состав хромомарганцевого чугуна (к рис. 4)

Инд. точки	Содержание химических элементов в точке, %										
	Si	Mn	Cr	Ti	P	S	Ce	La	Nd	Pr	Fe
Рис. 4в	0,18	3,57	47,57	0	0,15	0,01	0	0	0	0	48,52
Рис. 4г	0,13	4,17	33,53	0	0,11	0,10	0	0	0	0	61,96

выводам пришли авторы статьи [4], однако они не анализировали природу и химсостав этих частиц.

В структуре реальных промышленных отливок, даже эвтектических составов, рядом с эвтектическими участками вследствие отклонений по химическому составу, ликвации и т.п. обычно содержится значительное количество первичных дендритов аустенита. Эти участки структуры имеют более низкую микротвердость и в процессе эксплуатации детали изнашиваются в первую очередь, ускоряя этим износ всей поверхности детали. Поэтому упрочнение первичных дендритов аустенита мелкодисперсными твердыми карбидами и карбонитридами способствует повышению абразивной износостойкости металла отливки.

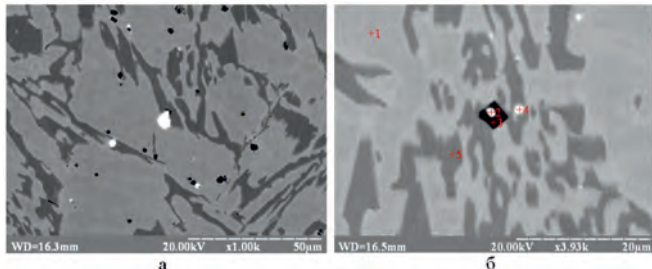


Рис. 3. Микроструктура хромомарганцевого чугуна 280Х20Г4Л, содержащего присадки титана и РЗМ  $\times 1000$  (а) и  $\times 4000$  (б)

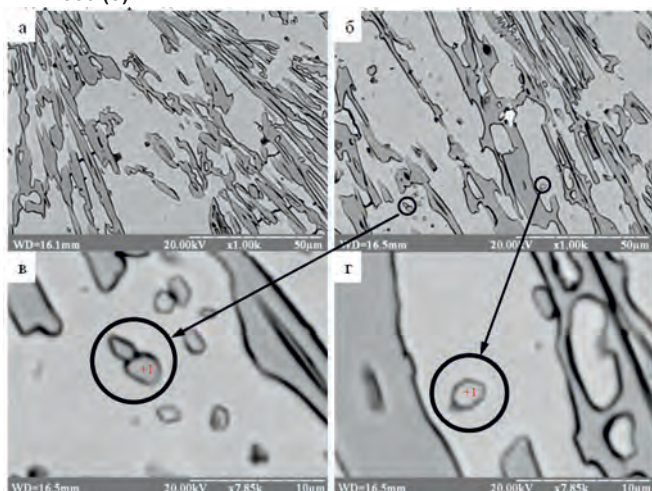


Рис. 4 Микроструктура хромомарганцевого чугуна 280Х20Г4Л в исходном состоянии (а), модифицированного присадками 0,15 % титана и 0,2 % РЗМ (б), и включения карбидов (в, г)

**Выводы**

1. Модифицирование высокохромистого чугуна (хромомарганцевого) присадками титана и РЗМ существенно влияет на структуру сплава. При этом уменьшается ширина и длина первичных дендритов аустенита, измельчается эвтектика.

2. В чугуне, обработанном РЗМ, в дендритах аустенита присутствуют дисперсные хромистые карбиды, которые повышают микротвердость первичного аустенита (с 3,2 до 4,2 ГПа). Упрочнение аустенита мелкодисперсными твердыми карбидами и карбонитридами способствует повышению абразивной износостойкости металла отливки.

3. Для улучшения структуры, нейтрализации влияния вредных примесей, высокохромистые (хромомарганцевые) чугуны целесообразно во время выпуска из плавильного агрегата дополнительно обрабатывать присадками титана в количествах 0,15-0,2 % и РЗМ в количествах 0,15-0,25 % по расчету.

**Библиографический список**

1. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. – М.: Машиностроение, 2010. – 280 с.
2. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я.Е. Гольштейн, В.Г. Мизин. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
3. Effect of titanium on the morphology of primary M7C3 carbides in hypereutectic high chromium white iron / Xiaojun Wu, Jiandong Xing, Hanguang Fu, Xiaohui Zhi // Materials Science and Engineering A. – 2007. – Vol. 457. - P. 180-185.
4. Modification of Fe-Cr-C alloys using mischmetal / K. Peev, M. Radulovic, M. Fiset // Journal of materials science letters. – 1994. – № 13. – P. 112-114.

Поступила 10.04.2013