

Слынько Г.И.¹,
Гончаров В.Н.²

¹ Украинский государственный университет железнодорожного транспорта,

г. Харьков, Украина,

² Запорожский национальный технический университет
г. Запорожье, Украина

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА КАРБИДНУЮ ФАЗУ И МАТРИЦУ ЧУГУНА

УДК 669.15-196

Показано, что на эксплуатационные свойства чугунных деталей существенное влияние оказывают карбидная составляющая и матрица чугуна. Приведены результаты исследований влияния термической обработки на состав карбидной фазы легированных чугунов, используемых для производства крупных отливок, применяемых в металлургии. Установлено, что термическая обработка в интервале температур 300...600°C не вносит существенных изменений в состав карбидной фазы относительно литого состояния, однако приближает его состояние Fe и C к стехиометрическому составу, что повышает его стабильность при эксплуатации

Ключевые слова: легированный чугун, литое состояние, термообработка, карбидная фаза, матрица, структурные составляющие, распределение хрома и никеля, структурные изменения.

Постановка задачи. Изделия из чугуна находят широкое применение в металлургии и машиностроении. Чугун используется, как для производства крупных отливок, так и мелких деталей [1]. Достаточно часто в народном хозяйстве используются детали из чугуна структура рабочего слоя, которых состоит из двух основных составляющих: монокристаллов цементита и металлической матрицы. Доля компактного графита в них минимальна. Регулируя необходимый состав и содержания компонентов при изготовлении изделий из чугунов, возможно получать детали с заданным уровнем эксплуатационных характеристик.

При производстве крупных отливок важную роль имеют возникающие напряжения, которые могут способствовать повреждаемости рабочей поверхности. Существенно их снизить возможно термической обработкой в интервале температур ниже фазовых превращений. Поэтому представляет интерес оценить влияние параметров обработки на стабильность карбидной фазы в чугунах используемых для производства массивных деталей.

Анализ исследований и публикаций. Карбидная фаза, являясь одной из основных структурных составляющих отбеленного поверхностного слоя чугунных деталей, оказывает существенное влияние на их эксплуатационные свойства. Свойства карбидной фазы определяются многими факторами, среди которых можно выделить: влияние легирующих элементов, замещающих атомы железа и углерода, способность элементов изменять растворимость углерода, связывать углерод в прочные карбиды. Также среди факторов, способствующих образованию карбидов в чугуне, отмечают повышенную скорость охлаждения отливок при их производстве, недостаточное модифицирование, соответствующий углеродный эквивалент, выходящий за пределы оптимальных значений, и термическую обработку [2].

В работах [3,4] посвященных изучению распределения хрома и никеля (содержание хрома - 0,6...1%; никеля - 2,8...4,56%) между фазами белого износостойкого чугуна, применяемого для изготовления крупных отливок, показано, что хром в большей мере сосредоточен в карбидной фазе, распределение его зависит от многих условий: массы отливки, температуры заливаемого металла, скорости охлаждения при кристаллизации.

Причем, содержание хрома в карбидной фазе будет более высоким в отливках, охлаждавшихся медленнее. Различие в содержании хрома в фазах возрастает с увеличением общего содержания его в металле. Так как хром имеет большое сродство к углероду, то он находится, в основном, в карбидной фазе, где его концентрация в 4...5 раз выше, чем в остальной матрице. В то же время, концентрация никеля в карбидах в 3 раза меньше, чем в металлической матрице. Во всем исследованном интервале концентраций величина коэффициента распределения никеля K_{Ni} (отношение его доли в карбидах к содержанию в матрице), примерно, составляет 0,3.

При исследовании структурных составляющих было обнаружено, что в чугунах с содержанием никеля 2,8%, его концентрация в феррите выше, чем в других структурных составляющих; в чугунах с 3,4% и 3,7% верхний бейнит имел никеля больше, чем троостит; в чугунах $\approx 4,56\% Ni$.

Неравномерное распределение никеля, возникающее при кристаллизации влияет на характер превращений аустенита в твердом состоянии. Обычно превращение начинается в участках, обедненных никелем, так как устойчивость аустенита здесь более низкая. В чугунах с содержанием 2,8...3,7% Ni превращение осуществляется при температурах перлитной области, а в чугунах - 3,9...4,6% Ni – промежуточной.

Важное место в технологии производства изделий из чугуна занимает термическая обработка, оказывающая существенное влияние как на металлическую матрицу, так и на дробление и поведение карбидной фазы.

Исследованиями [3] показано, что изотермический отжиг отбеленного чугуна приводит к увеличению содержания хрома в цементите, при этом, чем выше температура и продолжительнее время обработки, тем больше хрома концентрируется в карбидной фазе.

В работе [5] исследовали влияние длительности нагрева на структурные изменения, происходящие в цементите легированного половинчатого чугуна промышленной выплавки (3,0%С; 2,0% Si; 4,7% Mn; 2,4% Cr; 0,66% Cu; 0,1%P и 0,038%S). Продукты распада аустенита в исходном чугуна - бейнит с небольшим количеством остаточного аустенита. Образцы отжигали при 500,600,700, 800 и 900°C с выдержкой 5,10,25 и 50 ч. Показано, что при увеличении выдержки участки твердого раствора в цементите выявляются на большей глубине и их размер возрастает. Структурные изменения, происходящие в цементите, приводят к снижению микротвердости. С повышением температуры отжига, время, необходимое для появления первых частиц твердого раствора в цементите уменьшается.

Имеющиеся в литературе сведения о влиянии химического состава и способов обработки на карбидную фазу и матрицу чугуна часто противоречивы, так как касаются исследованных материалов с различным химическим составом.

Цель работы: изучить влияние термической обработки на состав карбидной фазы легированных чугунов, используемых для производства крупных отливок, применяемых в металлургии.

Изложение основного материала. При выполнении работы исследовали чугуны, химический состав, которых приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследованных чугунов

Условная маркировка чугуна	Содержание элементов, мас.%, ост Fe				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
1	2,75	0,45	0,59	0,70	3,70
2	2,74	0,42	0,56	0,71	3,90
3	2,70	0,42	0,71	0,67	4,20

Примечание: содержание серы в исследованных чугунах в пределах 0,09-0,1%, фосфора – 0,47-0,49%.

Данные по влиянию термической обработки (низкотемпературного отжига при температуре 300, 400 и 600°C) на количество и состав карбидной фазы представлены в табл. 2, 3 и 4. В представленных таблицах в числителе дана характеристика отбеленного слоя отливки чугуна на глубине 5мм, в знаменателе на – 20мм.

Таблица 2

Общее количество карбидной фазы в структуре исследованных чугунов

Состояние чугуна	Количество карбидной фазы в структуре чугуна, %		
	Условная маркировка чугуна		
	1	2	3
Литое состояние	20,10	19,16	18,84
	20,16	15,44	15,25
Отжиг при температуре 300°C	20,14	19,19	18,87
	20,26	15,49	15,26
Отжиг при температуре 400°C	20,35	21,47	21,63
	21,22	17,37	18,37
Отжиг при температуре 600°C	22,48	26,35	22,03
	22,31	21,18	18,77

Таблица 3

Состав карбидной фазы исследованных чугунов

Состояние чугуна	Количество карбидной фазы в структуре чугуна, %		
	Условная маркировка чугуна		
	1	2	3
Литое состояние	<u>Fe1,45C</u>	<u>Fe1,48C</u>	<u>Fe1,95C</u>
	Fe1,75C	Fe2,9C	Fe2,8C
Отжиг при температуре 300°C	<u>Fe1,4C</u>	<u>Fe1,5C</u>	<u>Fe1,98C</u>
	Fe1,8C	Fe 3 C	Fe2,8C
Отжиг при температуре 400°C	<u>Fe1,5C</u>	<u>Fe1,6C</u>	<u>Fe1,5C</u>
	Fe2,3C	Fe 3 C	Fe2,3C
Отжиг при температуре 600°C	<u>Fe1,6C</u>	<u>Fe1,9C</u>	<u>Fe1,6C</u>
	Fe2,9C	Fe2,5C	Fe2,7C

Анализируя содержание элементов, входящих в состав чугуна (табл.1) видно, что основное влияние на количество карбидной фазы, как в литом, так и в термообработанном состоянии оказывает никель. С увеличением его содержания с 3,7 до 3,9 и 4,2% количество карбидной фазы в отливках чугуна на глубине 5мм уменьшается с 20,4 до 19,16 и 18,84%, а на глубине 20мм – с 20,16 до 15,44 и 15,25%.

Отжиг при температуре 300°C практически не изменяет количество карбидной фазы в исследованных слоях относительно литого состояния.

Дальнейшее повышение температуры отжига приводит к монотонному повышению общего количества карбидной фазы как в поверхностном слое до 20,35%, 21,47 и 21,63% при 400°C и до 22,48, 26,35 и 22,03% при 500°C, так и в внутреннем до 19,22, 17,37, 18,37% при 400°C и до 19,31, 21,18 и 18,77% при 600°C. Это связано с распадом игольчатой структуры матрица на карбидо-ферритную смесь, а также распадом остаточного аустенита (рис. 1).

Анализируя формулу цементита (табл. 2) исследованных чугунов в литом состоянии, можно видеть, что он обеднен железом, причем в поверхностном слое сильнее, чем в переходной зоне (кроме образцов с содержанием никеля 4,2%). Применение термической обработки обогащает карбидную фазу железом и обедняет никелем, приближая формулу карбида к стехиометрическому составу(Fe₃C).

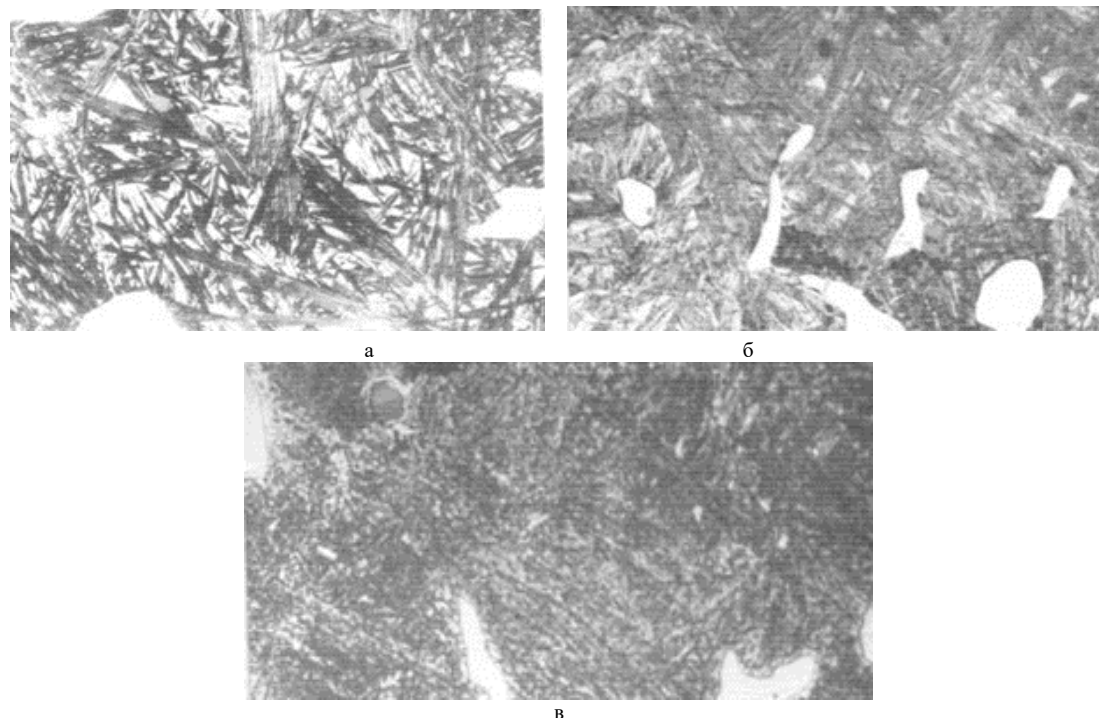


Рис. 1 – Микроструктура рабочего слоя исследованного чугуна (условный номер плавки 1) в литом и термообработанном состоянии $\times 800$
 а – литое состояние; б – после отжига 300°C, в – после отжига 600°C

Таблица 4

Влияние термической обработки на содержание элементов в карбидной фазе чугуна, %

Состояние чугуна	Элемент, входящий в состав карбидной фазы	Содержание элемента, мас.%		
		Условная маркировка чугуна		
		1	2	3
Литое состояние	Fe	16,42	15,78	15,80
		16,86	13,78	12,50
	Mn	0,27	0,14	0,37
		0,30	0,20	0,36
	Cr	0,33	0,30	0,20
		0,35	0,28	0,22
	Ni	0,47	0,53	0,61
		0,46	0,37	0,42
	C (связанный)	2,59	2,41	1,86
		2,19	0,81	1,65
C(свободный)	0,16	0,33	0,84	
	0,56	1,93	1,05	
C (общий)	2,75	2,74	2,70	

Отжиг температуры 300 ⁰ С	Fe	<u>16,72</u> <u>16,10</u>	<u>14,53</u> <u>12,71</u>	<u>15,80</u> <u>12,70</u>
	Mn	<u>0,24</u> <u>0,29</u>	<u>0,198</u> <u>0,21</u>	<u>0,25</u> <u>0,33</u>
	Cr	<u>0,33</u> <u>0,38</u>	<u>0,27</u> <u>0,27</u>	<u>0,19</u> <u>0,20</u>
	Ni	<u>0,46</u> <u>0,52</u>	<u>0,53</u> <u>0,33</u>	<u>0,52</u> <u>0,42</u>
	С (связанный)	<u>2,59</u> <u>2,17</u>	<u>2,57</u> <u>0,97</u>	<u>1,96</u> <u>1,60</u>
	С (свободный)	<u>0,16</u> <u>0,58</u>	<u>0,16</u> <u>1,77</u>	<u>0,74</u> <u>1,1</u>
	С (общий)	<u>2,75</u>	<u>2,74</u>	<u>2,70</u>
	Отжиг температуры 400 ⁰ С	Fe	<u>16,5</u> <u>16,5</u>	<u>17,95</u> <u>15,39</u>
Mn		<u>0,30</u> <u>0,35</u>	<u>0,15</u> <u>0,14</u>	<u>0,31</u> <u>0,44</u>
Cr		<u>0,32</u> <u>0,32</u>	<u>0,28</u> <u>0,29</u>	<u>0,19</u> <u>0,23</u>
Ni		<u>0,58</u> <u>0,44</u>	<u>0,54</u> <u>0,41</u>	<u>0,63</u> <u>0,47</u>
С (связанный)		<u>2,65</u> <u>1,61</u>	<u>2,55</u> <u>1,14</u>	<u>1,70</u> <u>1,53</u>
С (свободный)		<u>0,10</u> <u>1,14</u>	<u>0,19</u> <u>1,60</u>	<u>1,00</u> <u>1,17</u>
С (общий)		<u>2,75</u>	<u>2,74</u>	<u>2,70</u>
Отжиг температуры 600 ⁰ С		Fe	<u>18,63</u> <u>16,3</u>	<u>22,47</u> <u>18,78</u>
	Mn	<u>0,28</u> <u>0,31</u>	<u>0,29</u> <u>0,21</u>	<u>0,19</u> <u>0,43</u>
	Cr	<u>0,34</u> <u>0,33</u>	<u>0,31</u> <u>0,36</u>	<u>0,25</u> <u>0,21</u>
	Ni	<u>0,54</u> <u>0,40</u>	<u>0,63</u> <u>0,61</u>	<u>0,54</u> <u>0,47</u>
	С (связанный)	<u>2,59</u> <u>1,97</u>	<u>2,64</u> <u>1,22</u>	<u>2,15</u> <u>1,16</u>
	С (свободный)	<u>0,06</u> <u>0,78</u>	<u>0,10</u> <u>1,52</u>	<u>0,55</u> <u>1,53</u>
	С (общий)	<u>2,65</u>	<u>2,74</u>	<u>2,70</u>

Анализ содержания элементов в карбидной фазе показывает, что в литом состоянии с увеличением концентрации никеля количество связанного углерода в отбеленном поверхностном слое уменьшается с 2,59% при 3,70%Ni, а доля свободного – возрастает соответственно с 0,16 до 0,84%. При этом, количество никеля в карбидной фазе повышается с 0,47 до 0,61%. Термическая обработка в интервале температур 300...600⁰С не вносит существенных изменений в состав карбидной фазы (содержание Mn, Cr, Ni) относительно литого состояния, повышая только содержание железа с 16,42 и 15,8 % (для чугуна с 3,7 и 4,2% Ni), до 18,63% при отжиге 600⁰С.

Выводы. Установлено, что термическая обработка в интервале температур 300...600°C не вносит существенных изменений в состав карбидной фазы относительно литого состояния, повышая только содержание железа и, приближая формулу цементита, к стехиометрическому составу (Fe_3C). Доля карбидной фазы в поверхностном отбеленном слое увеличивается на 4...6% за счет распада игольчатой структуры матрицы на карбидо-ферритную смесь.

Литература:

1. Парфенов В.Д. Структура, свойства и применение чугунов: Учебное пособие. – М.: МГУПС (МИИТ), 2016. – 53 с.
2. Шерман А.Д. Чугун / А.Д. Шерман, А.А. Жуков, Е.В. Абдуев и др. под ред. А.Д. Шермана и А.А. Жукова. – 1-е изд. М.: Metallurgiya, 1991 – 576 с.
3. Лев И.Е. О распределении хрома между фазами в белом чугуне / И.Е. Лев // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. – 1957. – №12. – С.49-52
4. Кривошеев А.Е. Распределение никеля и хрома в высокотвердом валковом чугуне / А.Е. Кривошеев, И.Е. Лев, Ю.К. Бунина // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1967. – №2. – С.152-156
5. Калинина Л.Т. Структурные изменения, происходящие в цементите легированного чугуна при нагреве / Л.Т. Калинина, Маюрников В.В., Н.И. Ивченкова // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka. – 1982. – №4. – С.44-45

Summary

Slynko G.I., Goncharov V.N. Effect of chemical composition and methods of processing on carbide phase and the matrix cast iron

Carbide component and cast iron matrix have a significant effect on the operational properties of cast iron parts.

The results of investigations of the effect the heat treatment on the composition of the carbide phase alloyed cast iron used for the production of large castings used in metallurgy are given.

Heat treatment in the range of temperatures from 300° to 600°C does not significantly change the composition of the carbide phase relative to the cast state, however, it approximates its state of Fe and C to the stoichiometric composition, which increases its stability during operation

Keywords: *alloyed cast iron, as-cast condition, heat treat process, carbide phase, matrix, structural components, distribution of chromium and nickel, structural changes.*

References

1. Parfenov V.D. Struktura, svoystva i primeneniye chugunov: Uchebnoye posobiye. – М. : MGUPS (МИИТ), 2016. - 53 p.
2. Sherman A. D. Chugun /A.D. Sherman, A.A. Zhukov, Ye.V. Abduev i dr. pod red. A.D. Shermana i A.A. Zhukova. – 1-ye izd. M.: Metallurgiya, 1991– 576 p.
3. Lev I.Ye. O raspredelenii khroma mezhdru fazami v belom chugune / I.Ye. Lev // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. – 1957. – №12. – p.49-52
4. Krivosheyev A.Ye. Raspredeleniye nikelya i khroma v vysokotverdom valkovom chugune/A.Ye. Krivosheyev, I.Ye. Lev, YU.K. Bunina//Izv.vuzov.Chernaya metallurgiya. – 1967. – №2. – S.152-156
5. Kalinina L.T. Strukturnyye izmeneniya, proiskhodyashchiye v tsementite legirovannogo chuguna pri nagreve/L.T. Kalinina, Mayurnikov V.V., N.I. Ivchenkova// Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka. – 1982. – №4. – S.44-45