

Анализ структурной неоднородности в изделиях из высокопрочного чугуна

Скобло Т.С. д.т.н., проф., Бурцев С.А. ассистент,

Мартыненко Д.А. аспирант

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. П. Василенка)*

Несмотря на различные требования к изделиям различной массы из высокопрочного чугуна дефекты в них подобны. Из проведенного анализа следует, что для обеспечения однородности структуры и свойств, требуется специальный подход к использованию эффективных модификаторов и способов обработки.

Из высокопрочного чугуна изготавливают изделия различной массы и назначения. К ним предъявляют и отличающиеся требования по уровню свойств и структуре металлической матрицы. Так, например, гильзы цилиндров, корпусные детали, изготовленные из высокопрочного чугуна не должны иметь в структуре свободной карбидной фазы. Это определяется тем, что из-за значительных нагрузок при эксплуатации такая структурная составляющая способствует охрупчиванию и выкрашиванию рабочей поверхности. Наоборот, в прокатных валках из высокопрочного чугуна доля карбидной фазы должна быть не менее 15-30%, что обеспечивает их высокую износостойкость. Для снижения склонности такого материала к выкрашиванию в условиях больших удельных давлений (до 3 т/мм²) при эксплуатации производят дополнительное микролегирование малыми добавками карбидообразующих элементов для дробления этой хрупкой структурной составляющей.

Но несмотря на различные требования к изделиям из высокопрочного чугуна дефекты в них подобны это, в первую очередь, структурная неоднородность.

Анализ микроструктуры валков выявил существенную неоднородность, которая заключалась как в неравномерном распределении структурных составляющих, так и в наличии различных форм графитных включений по сечению отливок. Наличие такой неоднородности обусловлено ликвацией химических элементов.

Исследовали равномерность распределения, форму включений графита и выделений карбидной фазы. Распределение графита, близкого по форме и количеству характерно для глубины рабочего слоя 5 мм. Количество графита в зонах без дефектов составляет 14-25%, а карбидной фазы 8-15%. Количество графита, располагающегося преимущественно в зонах "белых пятен" (скопление цементита) в виде цепочек или неправильной - утолщенной пластинчатой формы, незначительно, и вызвано ликвацией элементов. Количество графита в "белых пятнах" не превышает 2-8%, что в 2 раза меньше, чем в бездефектных зонах. Карбидная составляющая "белых пятен" отличается специфическим текстурированным строением, характерным для участков с повышенной скоростью кристаллизации. Количество карбидной фазы в таких зонах достигает 42-70%, что в 2-3 раза больше, чем в зонах с однородной структурой. Учитывая высокую твердость в таких скоплениях включений цементита и вместе с тем хрупкость карбидной фазы, возможно появление трещин при эксплуатации. Области со скоплениями цементита усложняют и механическую обработку (особенно при нарезке калибров) и ухудшают качество поверхности проката.

По уровню свойств карбидная фаза (независимо от области ее выделения: "белые пятна" или вдали от них) практически не отличается. Микротвердость её в зонах структурной неоднородности и вдали от них близка, и составляет Н-50-719-893. Металлическая основа - легированный перлит (Н-50-221-260) с незначительным количеством феррита (Н-50-135-175). Доля немагнитных фаз (остаточного аустенита, графита, неметалл включений) не превышает для исследуемых валков 2% и не меняется по глубине 5-50 мм. Коэрцитивная сила для однородной структуры составила 6,9-7,1 А/см.

Визуальным осмотром установлено, что "белые пятна" отличаются от основного металла специфическим блеском и располагаются как на поверхности

бочки валка, так и на глубине рабочего слоя. Участки с "белыми пятнами" имеют повышенную твердость. Выполненными металлографическими исследованиями и оценкой результатов микрорентгеноспектрального анализа установлено, что она представляет собой скопления смеси эвтектики (ледебурита) и структурно-свободного цементита. Размер таких "белых пятен" составляет от 0,1 до 12 мм и включения кристаллизуются по всему сечению рабочего слоя, начиная от поверхности.

Для выявления причин, вызывающих структурную неоднородность использовали спектральный анализ с малым зондом (пятно не превышало 2 мм). Это позволило оценить распределение химических элементов как в зоне "белых пятен", у границы с ними, так и в участках с однородной структурой.

По месту кристаллизации "белых пятен" концентрация кремния понижена по сравнению с другими участками и изменяется в пределах 0,68-0,94% (среднее значение – 0,85%, что существенно отличается от по данным плавочного анализа – 1,30%). При этом разброс значений составляет 11,8%. Одновременно повышена в "белых пятнах" и концентрация марганца (0,80-0,90%) – среднее значение – 0,84% (согласно плавочного анализа – 0,62%); хрома (0,7-1,05%) – среднее - 0,81% (больше ~ в 2,4 раза), молибдена (0,44-0,70%) – среднее – 0,59 (больше ~ в 2,1 раза) и понижено содержание никеля (1,73-2,14%) – среднее – 2,04% (в 1,4 раза). Концентрация углерода, определенная по результатам качественного анализа энергодисперсионного анализатора микрорентгеноспектральной установки, позволила установить, что его содержание в ледебурите "белых пятен" несколько меньше, чем в зонах структурно-свободным цементитом на 10%. Кроме того в зонах с ледебуритом повышена концентрация вольфрама – до 1,15%, хотя этот элемент в общем (сплавочном), анализе отсутствует и, вероятно, он попал с шихтой. Если это так, то его появление и влияние на изменение доли карбидной фазы можно отнести к наследственным свойствам. Твердость таких зон составляет 331 НВ.

Отмечена повышенная загрязненность неравномерно распределенными включениями в "белых пятнах". Наличие таких включений в структурно-

свободном цементите приводит к появлению в нем сетки микротрещин.

В зонах, расположенных рядом с "белыми пятнами" картина выглядит иначе. Они отличаются повышенной концентрацией кремния (1,48-2,33%) – среднее 1,96% и никеля (2,17-2,87%) – среднее – 2,46%. Структурно свободный цементит практически отсутствует, что связано с минимальной долей углерода, а в ряде случаев и его отсутствием в такой зоне. Твердость таких зон понижена до – 302-311 НВ.

Содержание карбидообразующих элементов, в зонах с однородной структурой по сравнению с "белыми пятнами", наоборот снижается. Так, средняя концентрация хрома не превышает 0,4% (0,33-0,54%), марганца – 0,60% (0,55-0,68%), а молибдена - 0,2%, что практически соответствует плавочному анализу.

Исследованиями зон без видимой структурной неоднородности показало, что концентрация компонентов отличается от рассмотренных выше случаев ("белые пятна" и граничащие с ней области). В таких участках содержание кремния составляет 1,02-1,42% (среднее 1,25%); марганца 0,59-0,70% (среднее 0,66%), хрома 0,32-0,57% (среднее 0,44%), никеля 2,42-2,89% (среднее – 2,65%); молибдена 0,19-0,43% (среднее – 0,34%). Такая концентрация компонентов (при незначительной ликвации) практически соответствует плавочному анализу исследуемых валков. Твердость в этих зонах, в среднем составляет 321 НВ, в то время как в дефектных зонах она несколько повышена и достигает 330-350 НВ.

В неоднородной структуре с "белыми пятнами" выявлены большие колебания по распределению фосфора и они составляют 0,12-0,37%. В них концентрация углерода в исследуемых зонах существенно, повышается.

Из анализа можно заключить, что структурная неоднородность определяется ликвацией химических элементов. Она не является причиной модифицирования магнийсодержащей присадкой, как это было установлено на ранее исследованных валках отечественных заводов, поскольку не выявлена ликвация Mg, при которой наравне с "белыми пятнами" формируются "черные

пятна" с пластинчатым графитом и повышенной долей этого компонента (до 0,34%).

В валке с дефектом установлено, что концентрация хрома изменялась от 0,21 до 0,66% (в 3,1 раза) при среднем содержании $0,33 \pm 0,13\%$. Наибольший разброс концентраций характерен для кремния (от 0,63 до 1,83% изменяется в 2,9 раза) при плавочном содержании $1,27 \pm 0,20\%$, что оказало влияние на формирование грубой дендритной структуры на глубине рабочего слоя до 50мм с минимальной долей этого компонента.

Модифицирование чугуна магнием изменяет также и форму графитных включений. В зависимости от количества вводимого модификатора формируется шаровидный, компактный и частично пластинчатый графит. Последний образует колонии большой степени изолированности.

В пробах высокопрочного чугуна со значительной структурной неоднородностью содержание химических элементов определяли прицельно – методом локального спектрального анализа после металлографической оценки структуры (табл. 1).

В данном случае можно предположить, что металл плохо раскислен (содержание кислорода в "белых пятнах" достигает 17,03% и выявлены скопления оксидов, а концентрация кремния составляет меньше 0,35%). Механизм формирования структурной неоднородности в прокатных валках можно представить следующим образом. В процессе модифицирования не достигается однородного растворения вводимой присадки. Существуют зоны насыщенные модификатором, где концентрация кремния максимальна 2,33% Si. В рядом расположенных зонах металла, где модификатор не усвоился имело место "переохлаждение", которое способствовало локально быстрой кристаллизации.

Таким образом, на основании выполненных исследований можно заключить, что в прокатных валках из высокопрочного чугуна формирование зон с повышенным содержанием раскислителя и модификатора (кремния) вводимого в ковш, определяет переохлаждение локальных участков при кристаллизации, в результате чего формируется специфическое

текстурированное строение карбидной составляющей в “белых пятнах”.

Локальным спектральным анализом выявлена существенная ликвация элементов (кремния, хрома, углерода и никеля), оказывающая решающую роль в формировании неоднородной структуры.

Точно такие же дефекты структурной неоднородности выявлены и при отливке заготовок для поршневых колец из высокопрочного чугуна. Общее содержание графита в чугуне не зависит от концентрации кремния и никеля. Хром заметно уменьшает, а магний увеличивает его количество. Это объясняется тем, что с повышением содержания хрома возрастает доля карбидной фазы, а увеличение концентрации магния (до 0,1-0,2%) приводит к формированию различных фаз и кристаллизации скоплений пластинчатого графита. Количество шаровидного графита определяется оптимальным содержанием магния (рис. 1.) а также кремния. Пользуясь методом Монте-Карло, на основе полученных корреляционных зависимостей удалось установить, что минимальная доля пластинчатого графита, равна 0,1-0,5% и достигается при содержании магния до 0,1%.

Получены следующие зависимости:

$$\Gamma_{\text{общ}} = 3,01 - 2,6\text{Cr} - 0,48\text{Ni} + 46,7\text{Mg}^2 \quad R = 0,43 \quad (4.1)$$

$$\Pi_2 = 0,14 + 14,1\text{Mg} \quad r = 0,58 \quad (4.2)$$

$$\Pi_2 = 0,07 + 26,7\text{Mg} - 49,4\text{Mg}^2 \quad r = 0,60 \quad (4.3)$$

$$\Pi_2 = -0,35 + 0,62\text{Si} - 15,3\text{Mg} - 65\text{Mg}^2 \quad R = 0,31 \quad (4.4)$$

где Γ – общая доля графита; Π_2 – доля пласт. графита; Π_2 – доля шаровидного графита.

Увеличение доли шаровидного графита до 2% возможно при содержании 1,63-1,98% Si; 0,04-0,08% Mg. Остальную часть графитовой фазы (от общего количества) составляют точечные компактные включения. Оптимальное количество этой формы графита должно находиться в пределах 2,14-4,87%.

В зависимости от формы графита и количества карбидной фазы предел прочности при изгибе находится на уровне 44,3-68,5 кг/мм², при разрыве 33,3-54,0 кг/мм², при сжатии 151,0-184,0 кг/мм², $H_B = 300-390$ ед.

Таблица 1. Результаты локально спектрального анализа высокопрочного чугуна
ЛЗПВ

№ валка	Содержание элементов, %				
	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Ng</i>
1.	1,41	0,51	0,23	0,91	0,070
	1,35	0,44	0,20	0,98	0,018
	1,64	0,48	0,21	0,85	0,046
	1,53	0,44	0,20	0,91	0,027
	1,97	0,46	0,20	1,09	0,037
2.	1,15	0,68	0,21	0,80	0,015
	0,99	0,69	0,23	0,77	0,019
	0,95	0,76	0,28	0,77	0,008
	1,12	0,69	0,22	0,91	0,021
	1,12	0,80	0,26	0,76	0,012
3.	1,29	0,46	0,29	1,36	0,007
	1,16	0,63	0,29	1,41	0,014
	1,13	0,54	0,24	1,26	0,05
	1,13	0,64	0,29	1,26	0,018
	1,21	0,55	0,15	1,36	0,006
4.	1,35	0,51	0,17	1,22	0,042
	1,30	0,51	0,16	1,44	0,015
	1,32	0,52	0,17	1,41	0,013
	1,44	0,52	0,16	1,48	0,07
	0,91	1,12	0,43	1,00	0,011
5.	0,98	0,98	0,48	0,91	0,052
	0,95	0,54	0,21	1,18	0,029
	0,81	0,69	0,61	0,66	0,014
	1,09	0,68	0,19	0,72	0,087
	0,81	0,64	0,49	0,95	0,013
6.	0,98	0,43	0,50	0,91	0,012
	1,21	0,40	0,28	1,09	0,022
	1,13	0,55	0,87	0,87	0,045
	1,16	0,35	0,35	1,12	0,012
	0,89	0,47	0,57	0,84	0,017
7.	1,53	0,44	0,26	1,28	0,016
	1,05	0,60	0,55	1,09	0,017
	1,12	0,59	0,35	1,00	0,0097
	1,26	0,49	0,24	1,41	0,0091
	1,05	0,44	0,19	1,32	0,0067
8.	1,26		0,23	1,99	0,14
	1,11		0,21	1,90	0,25
	1,44		0,26	2,04	0,29
	1,12		0,33	1,86	0,29
	1,11		0,20	1,90	0,14
	1,00		0,25	1,58	0,21
	1,16		0,29	1,90	0,072
	1,07		0,39	1,66	0,17
0,90		0,32	1,68	0,24	

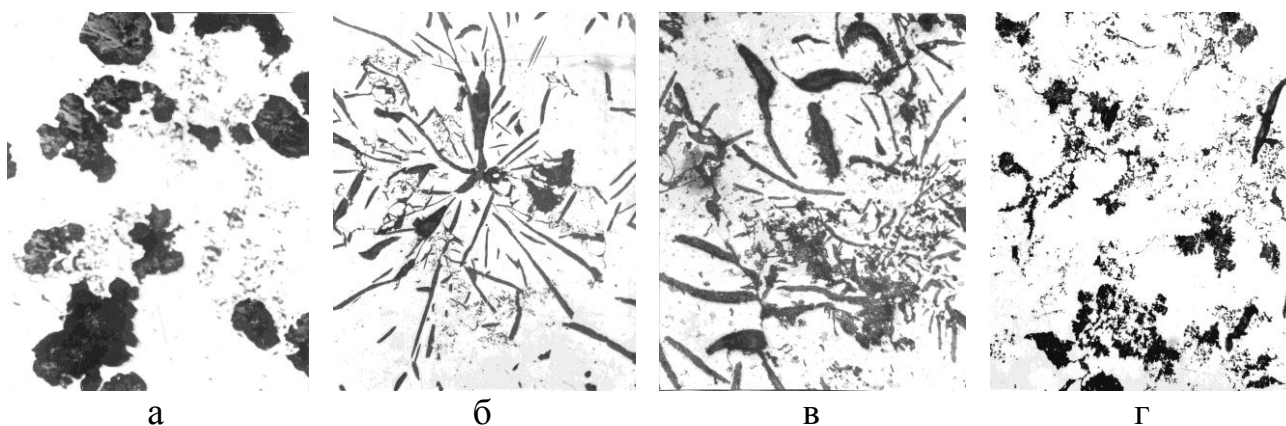


Рис 1. Форма графита в чугунах валков с различным содержанием магния: а – 0,14%; б – 0,25%; в – 0,23%; г – 0,1%

Анализ химического состава, твердости и области применения валков из чугуна с шаровидным графитом производства различных предприятий показал следующее:

- содержание углерода находится в пределах 2,9-3,37;
- в зависимости от назначения валков содержание кремния должно находиться в пределах от 1,0 до 2,3%;
- для обеспечения заданных свойств необходимо использовать, легированные хромом (0-1,2%), никелем (1,5-4,5%), молибденом (0,5-1,5);
- остаточное содержание магния составляет 0,05%;

Сопоставление валков производства различных отечественных заводов и зарубежного опыта позволяет наметить ряд мероприятий, которые необходимо осуществить для улучшения качества и обеспечения более широкого использования валков из высокопрочного чугуна:

- разработать оптимальные состав чугуна и режимы их термической обработки, удовлетворяющие конкретным требованиям условий эксплуатации;
- применить комплексное легирование для обеспечения заданных свойств с учетом назначения валков;
- стабилизировать содержание кремния путём ограничения его концентрации 1,2%;
- ограничить содержание фосфора до 0,15%;

Из проведенного анализа следует, что для обеспечения однородных свойств требуется специальный подход к использованию эффективного модификатора и способа обработки независимо от толщины стенки и массы отливки.

В настоящее время существует ряд модификаторов, которые совместно с магнием используются для модифицирования и содержат *Ba*, *Ca*, *Sr*. Они неоднократно доказали свою эффективность при производстве высокопрочного чугуна. Такой комплексный модификатор обеспечивает эффект модифицирования в период до 30 мин, т.е. позволяет осуществлять более длительную выдержку металла в ковше, что важно при производстве мелких деталей с последовательной заливкой форм.

Анотація

Аналіз структурної неоднорідності у виробах з високоміцного чавуну

Скобло Т.С., Бурцев С.О., Мартиненко Д.О.

Не дивлячись на різні вимоги до виробів з високоміцного чавуну дефекти в них подібні. З проведеного аналізу виходить, що для забезпечення однорідних структури і властивостей, потрібний спеціальний підхід до використання ефективних модифікаторів і способів обробки.

Abstract

Analysis of structural heterogeneity is in wares from visokomicnogo cast-iron

Skoblo T.S., Burtsev S.A., Martynenko D.A.

In spite of different requirements to the wares of different mass from vysokoprochnogo cast-iron defects in them are similar. It ensues from the conducted analysis, that for homogenisation structure and properties, the special going is required near the use of effective modifiers and methods of treatment.