

Анотация

Сергиенко О. С., Бялик Г. А.

Влияние горячего изостатического прессования на структуру и механические свойства жаропрочных никелевых сплавов

Приведены характеристика жаропрочных сплавов на основе никеля и теория процесса горячего изостатического прессования (ГИП), возможности его применения, влияния на структуру и механические свойства сплавов, а также пример удаления дефектов в литых образцах

Ключевые слова

никелевый сплав, дефект, горячее изостатическое прессование, структура, механические свойства

Summary

Sergiienko O., Bialik G.

The influence of hot isostatic pressing on the structure and mechanical properties of nickel heatproof alloys

The article contains basic properties of nickel heatproof alloys, principles of hot isostatic pressing (HIP), possibilities of its usage, its influence on alloys' structure and mechanical properties and an example of defect removal in sample casting.

Keywords

nickel alloy, defect, hot isostatic pressing, structure, mechanical properties

Поступила 26.05.10

УДК 621.745:669.143

И. А. Куркострига, О. В. Соценко

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Влияние состава шихты на форму графита в сортопрокатных валках*

Исследовано влияние состава шихты с различным соотношением компонентов на твердость и форму графита в отливках сортопрокатных валков из высокопрочного чугуна с невыраженным отбелом. Использование в составе шихты лома валков с пластинчатым и шаровидным графитом при высоком перегреве расплава в печи не снижает степени компактности шаровидного графита в валках.

Ключевые слова: шихтовые материалы, прокатные валки, высокопрочный чугун, шаровидный графит, фактор формы, компьютерный анализ, фрактальная структура

Постановка проблемы. Современный этап развития машиностроения, в том числе и литейного производства, характеризуется все более широким применением вторичных ресурсов. Вследствие отсутствия централизованных поставок шихтовых материалов, вызванного сокращением выпуска литейных чугунов и повышением их стоимости, снижено качество исходного сырья для производства

отливок и заготовок [1]. Многие предприятия, в том числе вальцелитейные заводы, вынуждены использовать шихтовые материалы со значительными отклонениями по содержанию химических элементов и особенно вредных деглобуляризирующих примесей. Поэтому требования заказчиков валковой продукции к свойствам и структуре металла валков часто не могут быть удовлетворены в полной мере. Даже

* По материалам VI Международной научно-практической конференции «ЛИТЬЕ-2010», состоявшейся 21-23 апреля 2010 г. в Запорожье

небольшие отклонения в химсоставе сплавов часто влекут за собой существенное ухудшение эксплуатационных свойств отливок, появление различных видов брака, в частности по несоответствию формы графита ТУ в валках из отбеленного чугуна с шаровидной формой графита (ЧШГ). Разработка научных и технологических основ производства литых заготовок с заданными свойствами, а также качественного расплава с использованием в шихте вторичных ресурсов и некондиционного лома отливок собственного производства является актуальной задачей.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [2] исследовано образование центров графитизации в расплаве промышленного ЧШГ различного химического состава, выплавленного из разной шихты. Исследования показали, что центрами кристаллизации графита в расплаве чугуна служат неметаллические включения типа окисульфидов или силикатов, а попадающие в него из шихты и модификаторов и не растворившиеся в расплаве включения или микровключения графита, образовавшиеся под воздействием факторов, графитизирующих чугун. По результатам проведенных исследований [3] установлено, что сферолиты графита в чугуне могут формироваться до тех пор, пока действует эффект модифицирования магнийсодержащими лигатурами. Именно в этот период рекомендуется проводить инокулирующее модифицирование.

Одной из определяющих характеристик структуры высокопрочного чугуна считают [4] высокие значения коэффициента формы графита K_{ϕ} , принятого в практике как мера степени приближения графитных включений к идеальной сфероидальной форме. Эта характеристика в полуавтоматическом режиме определяется различными компьютерными программами или специализированными анализаторами микроструктуры. В частности, на количественном анализаторе «Квантимет-720» K_{ϕ} рассчитывается по соотношению между площадью отдельного включения графита и периметром условного круга с равновеликой включением площадью. О чувствительности метода свидетельствуют результаты исследования влияния толщины стенки отливки на форму графита. Показано, что с увеличением толщины стенки отливки из высокопрочного чугуна K_{ϕ} снижается от 0,82 до 0,55.

В работе [5] дан обзор предыстории методов по количественной оценке формы графита в модифицированных чугунах, включая их различные варианты [6]. Автор работы [5] предлагает метод идентификации графитных включений в чугунах на основе фрактального анализа изображений, который в последние годы все больше привлекает внимание материаловедов и литейщиков [7-9]. Результаты метода могут быть использованы для определения взаимосвязи структуры и свойств графитизированных чугунов.

Анализ известных публикаций и производственной практики показывает, что для получения ка-

чественных расплавов при производстве отливок из ЧШГ в условиях дефицита шихтовых материалов необходимо решение ряда технологических и научных проблем. К их числу относятся:

- подбор рациональных составов шихтовых материалов с удовлетворительной наследственностью для обеспечения необходимой структуры отливок из ЧШГ;

- оптимизация термовременных режимов плавки для нивелирования негативных наследственных свойств шихтовых материалов и эффективного модифицирования чугуна;

- разработка доступных и объективных методов автоматизированной оценки структуры металла и формы графита как одной из определяющих характеристик эффективности всего технологического процесса производства отливок из ЧШГ.

Цель работы. Исследование влияния состава шихты с различным соотношением компонентов на твердость и форму графита в отливках сортопрокатных валков из ЧШГ с невыраженным отбелом исполнения СШХН.

Методика проведения исследования. В ходе эксперимента были отлиты три опытно-промышленных валка с максимально приближенными массогабаритными параметрами и химическим составом чугуна (табл. 1), но с использованием разной шихты:

- валок № 1 – исполнения СШХН-47 (47-55 HSD), с размерами бочки \varnothing 580x800 мм при использовании в шихте лома бракованных валков по несоответствию формы графита ТУ в количестве 85 % от массы шихты с повышенным содержанием примесей свинца и сурьмы;

- валок № 2 – исполнения СШХН-47 (47-55 HSD), с размерами бочки \varnothing 580x800 мм при использовании в шихте лома валков СПХН в количестве 72 % от массы шихты с высоким содержанием серы (0,065 %) и доведением ее содержания до 0,009 % десульфурацией магнием в количестве 16 кг при 1360 °С;

- валок № 3 – исполнения СШХН-50 (50-62 HSD), с размерами бочки \varnothing 530x800 мм при использовании в шихте лома валков СШХН в количестве 65 % от массы чистой шихты.

В качестве остальных компонентов металлозавалки использовали остаток чугуна от предыдущей плавки и чушковый чугун. Отходы производства (стружку, литники и скрап) не применяли. Температура нагрева расплава в печах – 1450-1460 °С с выдержкой перед выпуском 15-20 мин. Модифицирование расплава и заливку форм производили при температуре металла 1380 и 1330 °С соответственно.

Таблица 1

Химический состав и твердость опытных прокатных валков

Номер валка	Массовая доля элементов, %								Твердость, HSD		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mg	н/б	н/т	в/т
1	3,04	1,51	0,66	0,20	0,006	0,42	1,06	0,060	53	46	41
2	3,18	1,57	0,61	0,19	0,006	0,42	1,14	0,078	52	45	44
3	3,10	1,60	0,62	0,12	0,007	0,42	1,02	0,057	53	49	36

Примечание: н/б – нижняя часть бочки валка; н/т и в/т – нижний и верхний тrefы валка по положению в форме при заливке

Валки отливали в кокили с футеровкой. Магний вводили в расплав с использованием «колоколов» из расчета 2,7 кг/т. При каждой операции модифицирования и десульфурации в ковши вводили плавленый шпат и соду по 1 % от массы расплава для дополнительного удаления серы из расплава и наведения жидкоподвижного шлака.

Для оценки влияния состава шихты проведено исследование микроструктуры и формы графита в чугунах рабочего слоя нижней части бочки, а также нижнего и верхнего тремов валков. Для количественной оценки различных индивидуальных и обобщенных характеристик графитных включений в этих зонах использовали компьютерную программу ImageJ (Freeware). Эта программа – бесплатный инструмент для обработки цифровых изображений [10, 11]. Она может работать либо онлайн-апплета, либо в виде загружаемого приложения на любом компьютере с Java 1.4 или более поздней версией виртуальной машины.

Программа может отображать, редактировать, анализировать, обрабатывать, сохранять, распечатывать 8-, 16- и 32-битные изображения, читать многие форматы изображений, включая TIFF, GIF, JPEG, BMP, PNG, PGM, DICOM, FITS, RAW и др. Она является многопоточной и одновременно может выполнять такие операции, как чтение файла изображения параллельно с другими операциями обработки.

Для загрузки в программу изображений исследуемых объектов использовали микрофотографии нетравленных шлифов, предварительно переведенных из серых полутонов в одноцветные черно-белые изображения. Эти изображения последовательно загружали в программу ImageJ, преобразовывали в 8-битовый формат, бинаризовали и в результате получали контурную копию исходного изображения.

Фактор формы F_1 отдельных графитных включений и их группировок в полях оцифрованных микрофотографий, выполненных при постоянном увеличении, оценивался в полуавтоматическом режиме по формуле

$$F_1 = 4\pi S/P^2,$$

где S – площадь графитного включения; P – периметр включения.

Для решения вопроса о случайном или неслучайном различии средних значений F_{1cp} разных зон валков при неизвестных генеральных дисперсиях, то есть проверки нуль-гипотезы $H_0: F_{1cp,i} = F_{1cp,j}$ использовали t -отношение Стьюдента [12]. Такая проверка различия средних значений фактора формы графитных включений для опытных валков, отлитых с разным

составом шихты, позволяет оценить статистическую значимость влияния шихты на форму графита.

Результаты исследования и их обсуждение. Исследования чугуна опытно-промышленных валков показали, что валки № 1, 2, 3 по структуре и твердости рабочего слоя, нижнего (н/т) и верхнего (в/т) тремов соответствуют требованиям ТУ У 27.1-26524137-1291:2007. Установлено, что спад твердости в рабочем слое находится в пределах 2-3 HSD на всех валках, что характерно для валков СШХН, отлитых ранее.

Строение графитных включений в чугунах бочек, нижнего и верхнего тремов валков представлено на рис. 1.

Скриншоты последовательных стадий обработки электронных изображений структуры в программе ImageJ представлены на рис. 2. В качестве примера количественной оценки различных параметров графитных включений выбран файл с оцифрованной микрофотографией графита в чугунах бочки валка № 3 (рис. 1, е).

Основные стадии обработки микроструктуры и соответствующие им команды в программе ImageJ выполняли в следующей последовательности:

- открывали файл микроструктуры для преобразований и анализа File => Open... (рис. 2, а);
- конвертировали изображение в 8-битовый формат Image => Type => 8-bit (рис. 2, б);
- бинаризовали изображение Process => Binary => Make Binary (рис. 2, в, г);
- переходили в меню анализа частиц графита Analyze => Analyze Particles => (рис. 2, д);

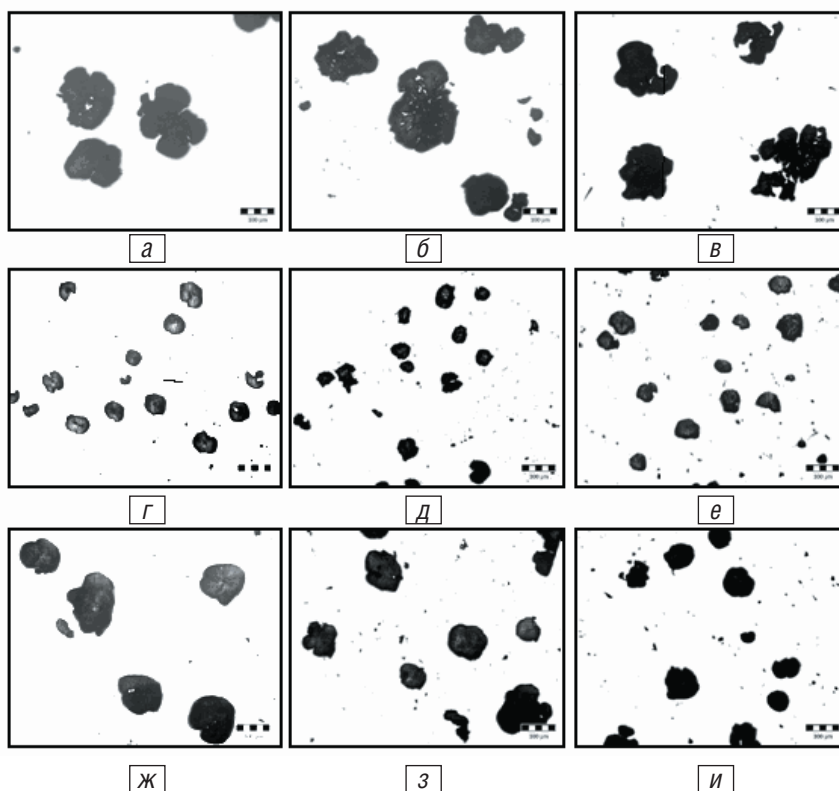
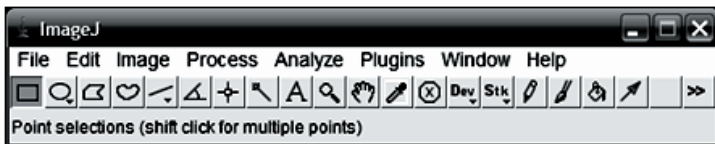
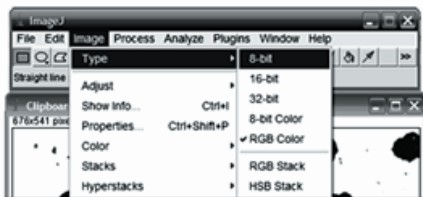


Рис. 1. Структура графитных включений в чугунах валков № 1 (а, г, ж), 2 (б, д, з) и 3 (в, е, и). Микроструктуры а, б, в – соответствуют верхним тремам; г, д, е – нижней части бочки; ж, з, и – нижним тремам валков



а



б



в

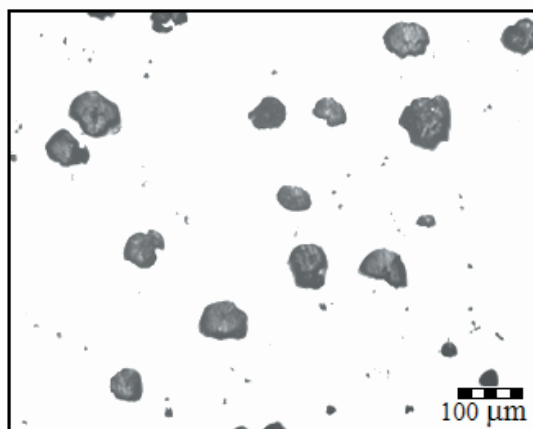


г

д

е

Рис. 2. Интерфейс программы (а) и скриншоты (б-е) последовательных стадий обработки микроструктуры чугуна



а



б

Рис. 3. Исходная микроструктура графита в чугуне бочки валька № 3 (а) и его контурные изображения (б)

– в открывшейся вкладке (рис. 2, е) задавали параметры для анализа: ограничение на минимальную площадь анализируемых частиц (Size), интервал учитываемых значений фактора формы (Circularity) и трансформирование изображения в контурное (Outlines);

– после подтверждения заданных параметров микроструктуры графита на дисплей выводились контурные изображения исследуемых включений с нумерацией для последующей идентификации их с индивидуальными количественными оценками в результирующем файле (рис. 3, б);

– задавали параметры файла с результатами анализа (Results) перед их сохранением (качество изображения в формате JPEG, расширение файла таблицы xls и др.) File => Options;

– для сохранения файла результатов Results указывали соответствующую папку и выполняли команды: Files => Save as Text. В результате числовые значения заданного перечня характеристик микроструктуры графита автоматически заносились в таблицу (рис. 4);

– для сохранения обобщающего файла (рис. 5) результатов анализа (Summary) определяли соответствующую папку и выполняли команды File => Save As.

Средние значения фактора формы F_{1cp} и дисперсии σ^2 для n включений в чугуне различных частей опытных валков приведены в табл. 2. Расчетные t_p и табличные $t_{0,95}$ значения t -отношения для доверительной вероятности 0,95 представлены в табл. 3.

Отсутствие статистически значимого различия средних значений фактора формы графита в попарно выбранных для сравнения комбинациях опытных

Results				
File	Edit	Font		
	Area	Mean	Perim.	Circ.
1	2197	233.876	188.309	0.779
2	2960	251.037	228.108	0.715
3	3576	252.290	242.794	0.762
4	1542	255	158.510	0.771
5	1160	247.746	144.853	0.695
6	1901	254.195	180.894	0.730
7	1173	251.087	139.782	0.754
8	321	249.439	75.012	0.717
9	1899	251.777	186.652	0.685
10	2421	252.367	195.338	0.797
11	2172	253.122	204.794	0.651
12	2599	253.038	202.167	0.799
13	343	255	69.355	0.896
14	1496	253.125	147.882	0.860
15	516	255	88.063	0.836

Рис. 4. Скриншот фрагмента электронной таблицы с результатами анализа

Slice	Count	Total Area	Average Size	Area Fraction	Mean	Mode	Perim.	Major	Minor	Angle	Circ.
Вал-3б.bmp	15	26276.000	1751.733	7.2	251.207	255	163.502	51.047	40.111	113.330	0.763

Рис. 5. Скриншот обобщающей электронной таблицы с результатами компьютерного анализа графитных включений в чугуна нижней части бочки вала № 3

Таблица 2

Оценки формы графита опытных валков

Номер вала	Низ бочки			Нижний трэф			Верхний трэф		
	n	F_{1cp}	σ^2	n	F_{1cp}	σ^2	n	F_{1cp}	σ^2
1	13	0,75	0,013	6	0,73	0,004	3	0,61	0,025
2	15	0,69	0,015	8	0,66	0,012	9	0,66	0,013
3	15	0,76	0,005	7	0,69	0,020	4	0,38	0,040

Таблица 3

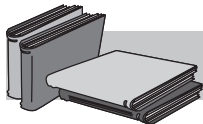
Расчетные и табличные значения t -отношения для пар валков

Номера валков	Низ бочки				Нижний трэф				Верхний трэф			
	$n_i - n_j$	t_p	$t_{0,95}$	H_0	$n_i - n_j$	t_p	$t_{0,95}$	H_0	$n_i - n_j$	t_p	$t_{0,95}$	H_0
1-3	13-15	0,28	2,06	+	6-7	0,64	2,20	+	3-4	1,64	2,57	+
1-2	13-15	1,47	2,06	+	6-8	0,84	2,18	+	3-9	0,60	2,23	+
2-3	15-15	2,09	2,04	-	8-7	0,46	2,16	+	9-4	3,41	2,20	-

валков 1-3, 1-2, 2-3, то есть подтверждение гипотезы H_0 ($t_p < t_{0,95}$) обозначено знаком «+». Наличие такого различия, то есть отклонение нуль-гипотезы H_0 обозначено знаком «-». Такое различие подтверждается только для чугуна бочек и верхних трэфов валков № 2 и 3. Для нижнего трефа этой пары валков различие средних значений фактора формы графита не подтвердилось.

Выводы

В условиях дефицита качественных шихтовых материалов использование 85%-ного лома бракованных валков СШХН и 70%-ного лома валков СПХН при перегреве чугуна в печи до 1450-1460 °С обеспечивает растворение графитных включений в шихтовых материалах и позволяет отливать валки исполнения СШХН-47 в соответствии с требованиями ТУ и достаточно высокими значениями фактора формы графита в бочках ($F_1 = 0,70-0,75$) и трефах ($F_1 = 0,40-0,60$).



ЛИТЕРАТУРА

- Болдин А. Н., Михайлов Д. П. Особенности получения высокопрочного чугуна из вторичных ресурсов // Литейн. пр-во. – 2009. – № 7. – С. 5-8.
- Кульбовский И. К., Поддубный А. Н., Богданов Р. А. Влияние наследственности шихты на формирование центров кристаллизации в расплаве промышленного чугуна // Вестник Брянского государственного университета. – 2008. – № 2 (18). – С. 5-11.
- Макаренко К. В., Иващенко Ю. М. Инокулирующее модифицирование чугуна с шаровидным графитом // Ползуновский альманах. – 2007. – № 1-2. – С. 107-109.
- Александров Н. Н. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – перспективный конструкционный материал XXI века // Материалы в арматуростроении. – 2008. – № 2 (53). – С. 72-74.
- Макаренко К. В. Идентификация графитных включений в чугунах // Литейн. пр-во. – 2009. – № 4. – С. 2-4.
- Соценко О. В. Оценка компактности включений графита в высокопрочном чугуна // Там же. – 1982. – № 6. – С. 5-7.
- Соценко О. В. О фрактальной структуре шаровидного графита в высокопрочном чугуна // Теория и практика металлургии. – 2006. – № 4-5. – С. 133-135.
- Соценко О. В. Компьютерная DLA-модель формирования шаровидного графита в высокопрочном чугуна // Металл и литье Украины. – 2009. – № 9. – С. 3-9.
- Соценко О. В. Фрактальна структура кулястого графіту у високоміцному чавуні (огляд) // Металознавство та обробка металів. – 2009. – № 3. – С. 18-24.
- Image J. Image Processing and Analysis in Java. – Режим доступа: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.
- Image J. 1.43m. Processing and Analysis in Java. – Режим доступа: http://portablevv07.ucoz.ru/news/imagej_143m/2009-12-09-1637.
- Белай Г. Е., Дембовский В. В., Соценко О. В. Организация металлургического эксперимента / Под ред. В. В. Дембовского. – М.: Металлургия, 1993. – 256 с.

Анотація

Куркострига І. О., Соценко О. В.

Вплив складу шихти на форму графіту в сортопрокатних валках

Досліджено вплив складу шихти з різним співвідношенням компонентів на твердість і форму графіту у виливках сортопрокатних валків з високоміцного чавуну з невираженим вибілом. Використання у складі шихти лому валків з пластинчастим і кулястим графітом при високому перегріві розплаву в печі не знижує ступеня компактності кулястого графіту у валках.

Ключові слова

шихтові матеріали, прокатні валки, високоміцний чавун, кулястий графіт, фактор форми, комп'ютерний аналіз, фрактальна структура

Summary

Kurkostriga I., Sotsenko O.

Effect of charge makeup on the shape of graphite in section rolling

The effect of the mixture fusion with different ratios of components on the hardness and shape of graphite in the casting rolls from ductile iron with unexpressed chill is tested. Using a mixture of scrap rolls with lamellar and spheroidal graphite at high overheating of the melt in the furnace does not reduce the degree of compactness in the spheroidal graphite in rolls.

Keywords

charge materials, shaping rolls, ductile iron castings, spherical graphite, form factor, computer analysis, fractal structure

Поступила 09.06.10

УДК 669.054.8

С. В. Куберский

Донбасский государственный технический университет, Алчевск

Эффективность дугового глубинного восстановления полезных примесей вторичных материалов в металлические расплавы

Дана оценка эффективности насыщения металла полезными примесями из отходов металлургического производства и вторичных материалов с использованием их дугового глубинного восстановления (ДГВ) в металлические расплавы.

Ключевые слова: переработка отходов, дуговое глубинное восстановление, шлак, шлам, марганец, кремний, раскисление, легирование

Одним из основных показателей, определяющих конкурентоспособность отечественной металлопродукции на внутреннем и мировом рынках, является ее себестоимость и качество.

Снижение затрат на производство чугуна и стали может быть достигнуто в результате уменьшения расхода энергоносителей и сырьевых материалов, используемых в качестве шихты, а также полной или

частичной замены традиционного сырья (особенно руд и концентратов) отходами производства или вторичными материалами.

Наиболее энергозатратным звеном в технологической цепочке получения черных металлов является производство раскислителей, легирующих и рафинирующих материалов, основную долю которых составляют различные ферросплавы.