

THE FEATURES OF CAST IRON TREATMENT WITH BRIQUETED POWDER MODIFIERS IN MANUFACTURING OF FORMING ROLLS

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ЧУГУНА БРИКЕТИРОВАННЫМИ ПОРОШКОВЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Eng. Kurovskiy V. Ya., Prof., Dr. Sc. (Eng.) Bagliuk G. A.,

Institute for Problems of Materials Science, National Academy of Science of Ukraine, Kiev, Ukraine

Abstract: The main features of cast iron modification with briquetted modifiers are considered in the article. The results of investigation and optimization of briquetted siliceous free modifiers composition for secondary treatment of rolls are presented. The influence of processing on structure and mechanical properties of cast iron was studied. It is shown that the processing of melt with powder briquettes can appreciably improve mechanical properties of alloys and decrease modifier consumption as compared with the processing with cast modifiers.

Keywords: CAST IRON, MODIFICATION, POWDER BRIQUETS, FORMING ROLL, BALLING OF GRAPHITE, MELT

1. Введение

Прокатные валки являются основным рабочим инструментом прокатного производства, от которого зависит не только производительность, но и качество поверхности проката. Качество металла прокатных валков и их служебные свойства в значительной степени определяются технологией приготовления жидкого металла и последующей его внепечной обработки. Среди всех видов внепечной обработки наиболее эффективной является технология модифицирования, обеспечивающая преобразование формы графитных включений из пластинчатой в шаровидную, что является основным условием получения высокопрочного чугуна.

Существует более 70-ти способов обработки чугуна, применяющихся в литейном производстве. Большинство из них основано на применении лигатур FeSiMg [1].

Вместе с тем существует ряд изделий из высокопрочного чугуна различных классов и, в первую очередь, чугунных прокатных валков, где применение кремнийсодержащих лигатур является нежелательным или вообще неприемлемым и где необходимо применять технологию обработки расплава чугуна металлическим магнием.

Известны, в частности, методы обработки чугуна, основанные на применении чистого металлического магния: МАР (слитки магния, облицованные керамикой), модифицирование в автоклаве, Mg-кокс процесс (кокс, пропитанный Mg) и модифицирование в конвертере [2].

Технология введения магния в чугун с использованием конвертора является наиболее прогрессивной, однако масса одновременно обрабатываемого чугуна не превышает 5÷8 т и не подходит для одномоментной обработки больших масс металла (до 35 т). При производстве такого массивного литья как чугунные прокатные валки для получения в них шаровидного графита наибольшее применение нашла технология ввода в жидкий чугун чушкового магния при помощи стальных баллонов-испарителей. Ее использование при модифицировании больших масс металла сопровождается значительным расходом магния, который достигает 4,5 кг/т. Главным недостатком этой технологии является большая трудоемкость при изготовлении баллонов, а также значительный пироэффект и дымовыделение. Часть валков отбеливается из чугуна модифицированного низкопроцентными лигатурами магния на основе ферросилиция. Однако такие модификаторы успешно могут использоваться только при отливке валков сортопрокатных станов из половинчатого чугуна с перлитно-графито-карбидной структурой. Для крупных валков листопрокатных станов из отбеленного чугуна, имеющих перлитно-карбидную структуру рабочего слоя, применение магниевых лигатур на основе кремния нецелесообразно, так как высокое содержание в них кремния является причиной снижения отбеливаемости чугуна и появления в структуре рабочего слоя валков графитных включений. Использование их нецелесообразно также в связи с

трудностями использования в шихте возврата валков с высоким содержанием кремния, внесенным в их сердцевину при "полупромывке" кремнистым серым чугуном. Модифицирование лигатурами также сопровождается пироэффектом и дымовыделением.

Целью настоящей работы была разработка и оптимизация технологии обработки расплава валковых чугунов брикетированными безкремнистыми порошковыми модификаторами и изучение их воздействия на структуру и свойства полученных валков.

2. Экспериментальная часть.

Проблему использования безкремнистых сфероидизирующих графит модификаторов и улучшения экологических условий модифицирования при производстве прокатных валков решали путем применения разработанных в Институте проблем материаловедения НАН Украины брикетированных порошковых модификаторов на основе порошков железа, меди и магния.

При проведении лабораторных исследований было установлено, что растворимость брикетов существенно зависит от их состава [3]. Железо по сравнению с медью является более тугоплавкой составляющей с температурой плавления выше, чем температура плавления жидкого чугуна, тогда как медь плавится при существенно более низкой температуре. В связи с этим, время растворения Fe-Cu-Mg брикетов существенно меньше, чем Fe-Mg брикетов. Скорость растворения брикетированных модификаторов зависит также от их формы и температуры обрабатываемого металла. Опытные плавки проводили на чугуне следующего состава: С – 3,27; Si – 1,86; Mg – 0,68; Cr – 0,12; Ni – 0,33; P – 0,12; S – 0,03 (% масс.).

Результаты исследований растворимости брикетированных модификаторов в чугуне данного состава приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы брикеты в виде втулок растворяются слишком быстро и при ковшевом модифицировании большая часть магния угорает в момент контакта брикетов с первыми порциями горячего металла. Цилиндрические брикеты растворяются слишком долго. Наиболее пригодными для ковшевого модифицирования являются брикеты плиточной формы.

Процесс растворения брикетов состоит из следующих стадий:

- 1) намораживание металла на поверхность брикетов;
- 2) прогрев брикетов;
- 3) спекание материала брикетов и плавление легкоплавких добавок;
- 4) растворение замороженного слоя;
- 5) растворение тугоплавкой основы.

Испарение магния начинается со второй стадии и заканчивается на четвертой. В отличие от Fe-Cu-Mg брикетов, при растворении Fe-Mg брикетов происходит спекание металлической основы в пористый каркас, который может

Таблица 1

Зависимость растворимости Fe-Mg и Fe-Cu-Mg брикетов в чугунах от их состава и формы

№	Форма и размеры брикетов (мм)	Состав брикетов, % (масс.)			t^0 чугуна, °C	Пористость брикетов, %	Время растворения, с
		Mg	Fe	Cu			
1	Втулка Ø25×15; h=25	8	92	-	1350	20	2-5
		8	92	-	1450	20	1-2
2	Плитка 100×100×10	8	92	-	1350	20	40-60
		8	92	-	1450	20	10-15
		8	42	50	1350	20	10-15
		8	42	50	1450	20	7-10
3	Цилиндр Ø100; h=50	8	92	-	1350	20	100-120
		8	92	-	1450	20	20-25
		8	42	50	1350	20	30-40
		8	42	50	1450	20	12-15

оставаться в жидком чугунах после испарения из него магния длительное время, особенно при низких температурах. Образование металлического каркаса не происходит, если брикет содержит более 40 % меди. В этом случае частицы железного порошка разъединены частицами меди и магния, а поэтому быстрее растворяются в жидком чугунах. Сильное влияние на растворимость брикетов оказывает температура модифицируемого металла. Это влияние более значительно проявляется при применении Fe-Mg брикетов, имеющих более тугоплавкую основу. При температурах 1450 °C и выше практически отсутствуют 1-я и 4-я стадии процесса растворения брикетов, а 2-я, 3-я и 5-я существенно ускоряются.

Поскольку с увеличением пористости снижается плотность брикетов, ухудшается их механическая прочность и увеличивается возможность всплытия в жидком металле, при изготовлении брикетов целесообразно стремиться к повышенной их плотности [4]. На рис.1 приведена зависимость плотности и пористости от давления прессования.

Влияние пористости на растворимость брикетов носит экстремальный характер (рис.2). Время растворения брикетов снижается при уменьшении пористости ниже 12 % и увеличивается при пористости выше 18 %.

Для определения оптимального содержания магния в брикетах в качестве факторов оптимизации использовали наличие пирозффекта и дымовыделения, а также степень усвоения магния, которую рассчитывали по следующей зависимости:

$$A = \frac{Mg_{\text{вб}} + 0,76(S_i - S_e)}{Mg_{\text{вб}}} \times 100$$

где: A – степень усвоения магния, %; S_i, S_e – содержание серы в металле до и после модифицирования, масс.%; $Mg_{\text{вб}}$ – остаточное содержание магния в чугунах, масс.%; 0,76 – соотношение атомных весов магния и серы.

Поскольку растворимость брикетов с магнием сильно зависит от температуры, то и оптимальное содержание магния в брикетах определяется температурой обрабатываемого металла.

Было установлено, что при вводе брикетов в жидкий чугун пирозффект и дымовыделение наблюдались: при температуре 1300 °C и содержании магния более 15%; при температуре 1400 °C и содержании магния более 10 %; при 1500 °C и содержании магния более 5 %. Из приведенных на рис. 3 данных видно, что медь при наличии ее в составе брикетов, повышая растворимость брикетов, способствует повышению степени усвоения магния.

Применительно к условиям получения модифицированного чугуна в промышленных условиях была установлена целесообразность применения брикетов с содержанием магния не более 10 %.

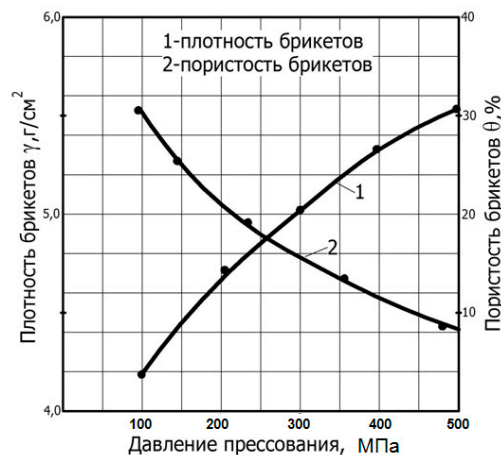


Рис.1. Влияние давления прессования на плотность и пористость Fe-Mg брикетов

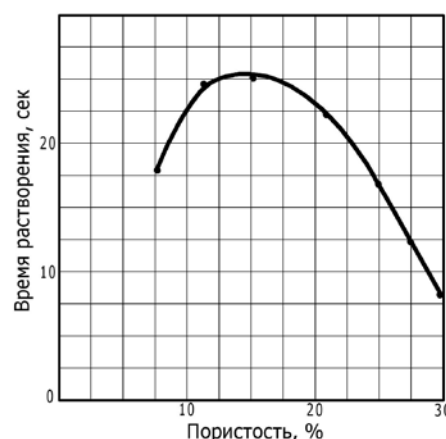


Рис.2. Влияние пористости Fe-Mg брикетов на их растворимость в жидком чугунах

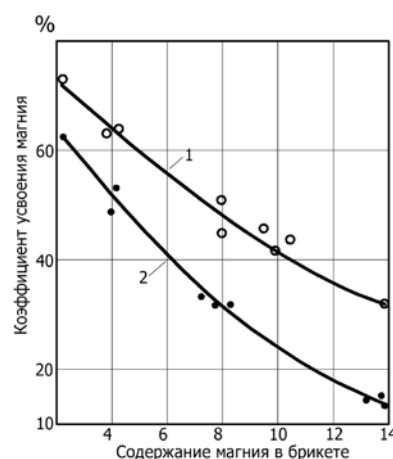


Рис.3. Зависимость степени усвоения магния чугуном от его содержания в брикетах: 1 – Fe-Cu-Mg; 2 – Fe-Mg брикеты

По мере увеличения количества меди в брикете не только повышается степень усвоения магния, но и обеспечиваются необходимые условия для повышения эффективности модифицирования (ускоряется растворение брикетов; обеспечивается возможность понижения температуры обрабатываемого металла, а следовательно и пирозффекта). При изготовлении брикетов изменение содержания в них меди не вызывает никаких затруднений и, в отличие от применения ее в лигатурах, необходимая концентрация в брикете (как и магния) обеспечивается с высокой точностью. При использовании Cu-Mg брикетов достигаются лучшие показатели процесса модифицирования, чем при применении Fe-Mg брикетов. Однако, в связи с

удорожанием брикетов по мере повышения содержания в них меди, необходимая ее концентрация в брикете в значительной степени определяется экономическими возможностями потребителя и целесообразностью наличия меди в чугуне. Применительно к условиям вальцелитейного производства, где для отливки валков используются как нелегированные, так и легированные никелем и медью чугуны, был выбран такой состав брикетов с медью, при использовании которого в нелегированный отбеленный чугун валков исполнения ЛШ переходило бы не более 0,4 % меди, а в валки из половинчатых хромоникелевого (СШХН) и хромоникельмедистого (СШХНД) чугунов – до 1,4 %.

При освоении процесса модифицирования было установлено, что для эффективного усвоения магния необходимо исключить попадание струи горячего металла на брикеты в начальный период заполнения ковша. Это достигается укладкой их в месте, противоположном месту падения струи чугуна на дно ковша. Брикеты желательно прикрыть слоем металлических материалов (обрезки листовой стали, кузнечная высека, стружка от валков) в количестве 30-40 кг на ковш емкостью 15 т.

При использовании в качестве материала прикрытия измельченной стружки от валков повышается коэффициент усвоения магния в чугуне. Кроме этого, стружка выступает в качестве суспендирующей добавки, наряду с порошком железа, входящего в состав брикетов.

При таком процессе модифицирования необходимое количество брикетов определяется в зависимости от содержания серы в обрабатываемом чугуне. Так, при содержании серы 0,01 % расход брикетов должен составлять 1,45 % от обрабатываемого металла и увеличивается на 0,25 % на каждые 0,01 % серы сверх 0,01 %. Для определения содержания магния в чугуне после обработки брикетированными модификаторами были рассчитаны номограммы, в которых учитывалось сразу несколько факторов, влияющих на конечное содержание магния (рис. 4 и 5).

Исследование структуры чугуна валков отлитых по обычной технологии и обработанных Fe-Cu-Mg брикетами показало, что в последнем случае размер графитных включений уменьшается примерно в 1,5 раза, увеличивается степень сфероидальности графита. Кроме того, за счет влияния меди и увеличения скорости кристаллизации чугуна, заметно снижается аномальность перлита, повышается его дисперсность и микротвердость (до 4,2 ГПа против 2,7-2,9 ГПа для обычного перлита). Структура опытных валков и валков серийного производства приведена на рис. 6.

Эксплуатационные испытания прокатных валков, отлитых с использованием Fe-Cu-Mg брикетов показали, что их стойкость на 15-20% выше стойкости валков серийного производства.

Таким образом, результаты исследований показали, что при модифицировании больших масс металла применение магнийсодержащих брикетов из металлических порошков вместо металлического магния и кремниймагниевого лигатур обеспечивает высокую эффективность результатов сфероидизирующей обработки и улучшение экологических условий производства.

Накопленный опыт по ковшевому модифицированию валковых чугунов порошковыми брикетированными модификаторами позволил провести аналогичную работу и по внутриформенному модифицированию валковых чугунов.

Внутриформенное модифицирование имеет ряд преимуществ по сравнению с лигатурным способом: высокое усвоение магния и меньший расход брикетов, меньшая продолжительность технологического процесса, практическое отсутствие видимого пироэффекта и дымовыделения.

Вследствие особенностей валковой формы (вертикальное расположение отливки, сложная сифонная литниковая система с тангенциальным подводом металла)

Таблица 2
Результаты опытных плавов с использованием модифицирующих брикетов

Состав брикетов, % (масс.)	Кол-во стружки, %	Расход брикетов, %	t^0 чугуна, °C	Содержание магния в чугуне, %	Степень усвоения магния, %	Фактор формы графита	Прочность чугуна, σ_B , МПа
Mg – 8 Cu – 50 Fe – 42	-	2,0	1400	0,035	32	0,65	827
	-	2,0	1420	0,030	28	0,68	848
	-	2,0	1450	0,025	25	0,65	760
	-	2,0	1480	-	-	-	-
	1,0	2,0	1420	0,04	34,5	0,65	846
	1,0	2,0	1450	0,035	32	0,68	882
	1,0	2,0	1480	0,03	28	0,64	861
Cu – 90 Mg – 10	-	1,5	1400	0,04	37	0,60	824
	-	1,5	1420	0,035	33,5	0,62	826
	-	1,5	1450	0,03	30	0,55	807
	1,0	1,5	1420	0,045	40	0,65	863
	1,0	1,5	1450	0,04	37	0,69	879
	1,0	1,5	1480	0,035	35	0,60	851
	-	-	-	-	-	-	-

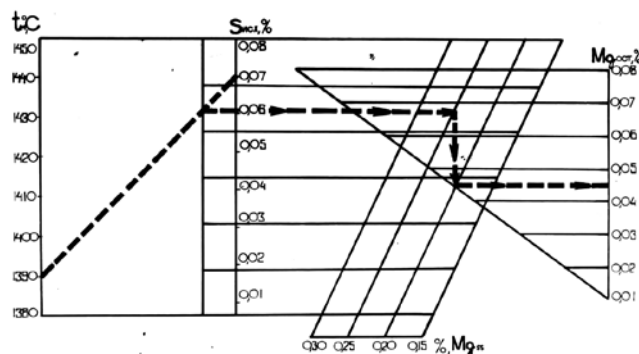


Рис. 4. Номограмма для определения содержания остаточного магния в чугуне при ковшевом модифицировании Fe-Cu-Mg брикетами

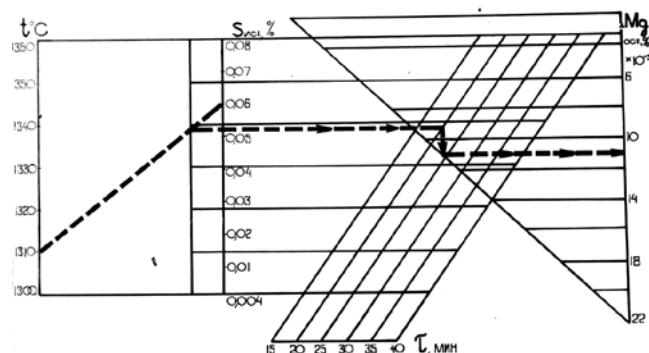


Рис. 5 Номограмма для определения потерь магния при выдержке чугуна

отсутствует возможность размещения реакционной камеры по ходу литникового канала. Поэтому реакционная камера должна располагаться в нижней части полости формы или отсутствовать. При проведении экспериментов исследовали 3 варианта расположения брикетов в валковой форме:

- 1) в технологическом приливе под нижней шейкой и литниковым ходом, отделенные от них легкоплавкой перегородкой (количество брикетов – 1,0 % от массы отливки);
- 2) в нижней шейке под литниковым ходом, отделенные от него легкоплавкой перегородкой (количество брикетов – 0,5 %);
- 3) в нижней шейке в виде цилиндрической стопки, образуя зазор между стенкой формы и стопкой брикетов (количество брикетов – 1% от массы отливки).

Испытания показали, что варианты 1 и 2 не пригодны, поскольку брикеты не успевают раствориться за время заливки (20÷25с). В первом случае растворение брикетов начинается только после заполнения значительной части формы металлом, после чего брикеты постепенно всплывают в избыточную часть отливки, где и заканчивается их растворение. Структура чугуна в данном случае соответствует серому модифицированному чугуну (рис.7, а). Во втором случае

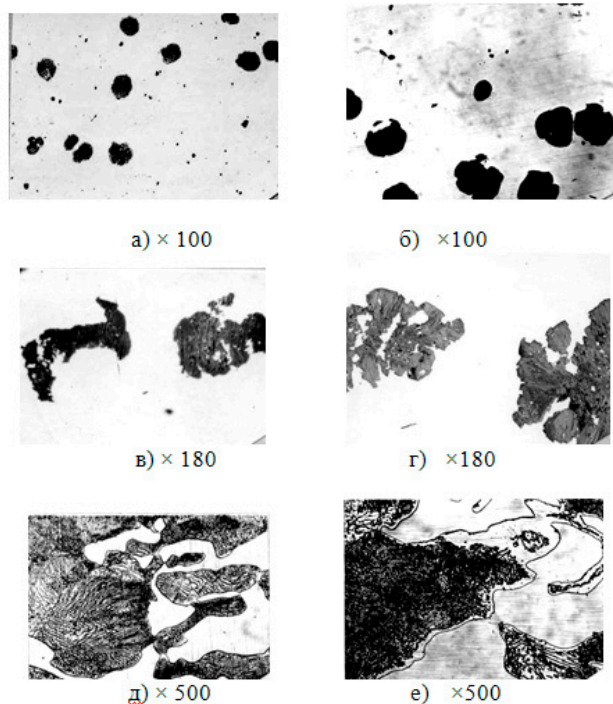


Рис. 6. Структура чугуна валков, отлитых с использованием Fe-Cu-Mg брикетов (а, в, д) и валков серийного производства (б, г, е) в бочках (а, б, д, е) и шейках (в, г)

условия растворения брикетов несколько лучше, однако растворение брикетов происходило неполностью (очевидно вследствие сильного захламляющего влияния брикетов). Макроструктура нижней шейки была белой, форма графита близка к шаровидной (рис. 7, б), однако структура верхней шейки оставалась серой.

Результаты этих экспериментов показали, что при использовании брикетов для внутриформенного модифицирования необходимо обеспечить хорошую растворимость брикетов (в течение периода заливки). Этого можно достичь за счет применения в составе брикетов меди и CaF_2 , а также расположения брикетов в виде цилиндрической стопки таким образом, чтобы боковая поверхность ее непрерывно омывалась вращающимся жидким металлом. При этом, растворяющаяся боковая поверхность стопки брикетов все время взаимодействует со свежими порциями горячего металла, что обеспечивает равномерное распределение растворенного модификатора в объеме отливки. На рис. 7, в показана структура чугуна шеек валков, полученных при использовании разработанного способа.

По сравнению со структурой чугуна валков серийного производства (рис. 7, г) существенно улучшается форма графита (фактор формы графита составляет 0,75-0,85 против 0,4-0,6 у валков серийного производства). Такой эффект достигается благодаря тому, что взаимодействие расплава с магнием происходит непосредственно в момент заливки и он не успевает испариться до момента затвердевания отливки, а также вследствие эффекта суспендирования железным порошком брикетов. Расход брикетов при осуществлении данного способа модифицирования составляет 0,6÷0,3 % от массы отливки.

В то же время, недостатком разработанного способа является более высокая твердость шеек валков по сравнению с валками серийного производства, что является следствием карбидостабилизирующего действия магния, поэтому, для смягчения шеек рекомендуется во внутреннюю полость брикетов закладывать дисперсный графитизирующий модификатор – ферросилиций или силикобарий. Действие графитизирующего модификатора начинается в момент, когда большая часть формы уже заполнена металлом, поэтому он распределяется в центральной части отливки (сердцевине бочки и шейки) и оказывает на них графитизирующее влияние.

Поскольку при растворении брикетов и взаимодействии с магнием температура металла существенно снижается, то она должна быть повышена по сравнению с обычной. Рекомендуемая температура

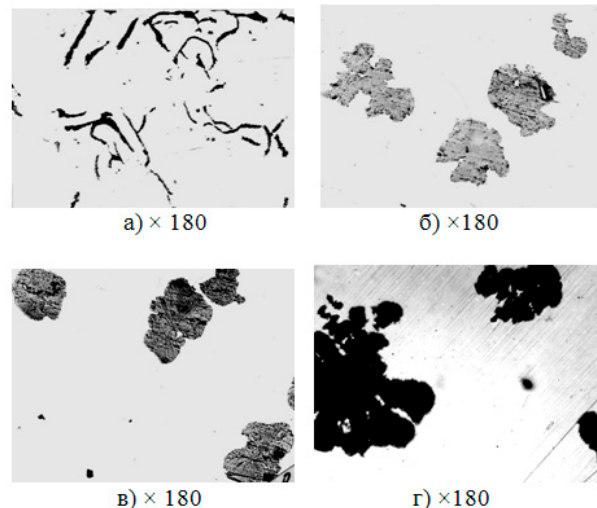


Рис. 7 Структура чугуна шеек валков, отлитых с использованием внутриформенного модифицирования Fe-Cu-Mg брикетами (а, б, в) и валков серийного производства (г, д)

заливки чугуна в формы составляет $1360\pm 1400^\circ\text{C}$, причем нижний предел предназначен для модифицирования чугуна с предварительным обессериванием металла кремне-магнелийской лигатурой, а верхний – без нее.

3. Заключение

В результате проведенных исследований были разработаны и оптимизированы составы безкремнистых брикетированных модификаторов для внепечной обработки расплавов чугунов прокатных валков. Разработана и апробирована в промышленных условиях технология обработки брикетированными порошковыми модификаторами больших масс металла (до 35 т). Проведено исследование растворимости Fe-Cu-Mg брикетов в жидком чугуне. Показано, что повышение температуры металла с 1350 до 1450°C приводит к сокращению времени их растворения в 2-4 раза. Влияние пористости на растворимость брикетов носит экстремальный характер. Изучено влияние обработки брикетами на структурообразование и механические свойства чугуна.

Результаты испытаний показывают, что валки, полученные с использованием внутриформенного модифицирования, имеют физико-механические свойства на 20-40% выше, чем у валков серийного производства. По сравнению с лигатурным способом применения магниевых брикетов их расход снижается в 3-4 раза.

4. Литература

1. Рябчиков И. В. История развития производства модификаторов и основные требования к ним // Сб. докладов «Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей». – Челябинск, 2006. – С. 4÷14.
2. Жучков В. И., Шешуков О. Ю., Лозовая Е. Ю., Маршук Л. А. Современные методы ввода модификаторов в расплавы чугуна и стали // Сб. докладов «Модифицирование как эффективный метод повышения качества чугунов и сталей». – Челябинск, 2006. – С. 52÷59.
3. Куровский В. Я., Баглюк Г. А., Шинский О. Й. Влияние компонентного состава на параметры пресування на властивості брикетованих модифікаторів // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк, 2009. Вип. 25, ч. II. – С. 128÷133.
4. Баглюк Г. А., Куровский В. Я., Шинский О. Й. Влияние режимов пресування порошковых модифікаторів на кінетику їх розчинення в розплаві чавуну // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2010. – № 59. – С. 27÷30.