

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НАНОМОДИФИКАТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУННЫХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ

Применение наномодификаторов для модифицирования чугуна при производстве мелющих шаров позволяет повысить их твердость и износостойкость за счет увеличения отбеленного слоя и измельчения структуры.

Ключевые слова: мелющие шары, наномодифицирование, износ, чугун, эксплуатационные свойства, брикет-модификаторы.

Застосування наномодифікаторів для модифікування чавуну при виробництві куль, що мелють, дозволяє підвищити їх твердість і зносостійкість за рахунок збільшення вибіленого шару і подрібнення структури.

Application nanomodifikatorov for modifying the production of pig iron grinding balls can improve their hardness and wear resistance due to increase in bleached layers and structure refinement.

Постановка и анализ проблемы

Масштаб применения мелющих тел очень широк. Тела мелющие - это основной элемент в процессе измельчения материалов при производстве цемента, при извлечении концентрата для производства многих металлов, таких как железо, медь, золото, цинк, свинец, никель, титан и т.д. Стоит отметить, что производство мелющих тел требует серьёзного подхода к технологии производства и качеству используемого сырья.

Изнашивание шаров - чрезвычайно сложный процесс, зависящий от многих факторов: свойств сплава, из которого изготовлены шары, их размеров, абразивных свойств измельчаемого материала, его крупности и крупности продукта, способа измельчения (сухое или с водой), агрессивности среды (кислая, щелочная), ее температуры, присутствия в ней поверхностно-активных веществ, скоростного режима мельницы (каскадный, водопадный) и др.

Основная характеристика шаров – это высочайшая прочность, которая необходима для измельчения довольно твердых материалов. Также важной характеристикой изделия является ударостойкость, в установках часто происходят плотные контакты. Мелющие шары должны иметь гладкую поверхность, поскольку они постоянно находятся в движении и взаимодействии с измельчаемым материалом. Необходима износостойкость, которая обеспечивает длительное применение шаров без потери ими эксплуатационных свойств. Важно, чтобы поверхность была равномерно твердой, тогда все ее части будут изнашиваться пропорционально друг другу.

Согласно стандартам и применяемым правилам мелющие шары должны быть устойчивыми к расколу, сохранять форму при интенсивных внешних воздействиях, иметь повышенную устойчивость к истиранию и высокую твердость. Только в этом случае гарантировано качественное измельчение материалов и производство конкурентоспособной продукции с использованием мелющих тел.

С целью повышения твердости, удара – и износостойкости чугуновых мелющих шаров используют легирование и модифицирование чугуна. Легирование такими элементами как хром, никель, молибден позволяет значительно повысить требуемые эксплуатационные свойства шаров. Однако такие легирующие элементы являются дорогостоящими, поэтому были проведены исследования по модифицированию чугуна различными наномодификаторами.

Цель работы

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности модифицирования чугуна наномодификаторами для повышения эксплуатационных свойств шаров и разработка технологии модифицирования чугуна.

Изложение основного материала исследования

Наномодификатор эффективно влияет на кристаллизацию не только графитовой фазы, но и на фосфидную эвтектику, на первичное зерно чугуна и на неметаллические включения, активизируя последние как дополнительные гетерогенные центры графитизации. Наномодифицирование влияет как на жидкий, так и на кристаллизирующийся чугун независимо от его предистории. Важнейшей особенностью наномодифицирования является его низкая чувствительность к значительным колебаниям химического состава расплава чугуна и к способам плавки, а также подавление проявления «наследственности» шихтовых материалов в структуре чугуновой отливки. Также наномодифицирование противодействует явлению увядания инокулирующего эффекта в процессе выдержки расплава в ковше перед заливкой формы, что увеличивает технологический цикл живучести расплава чугуна. Наномодифицирование повышает прочностные свойства чугуна на 2-3 марки, способствует устранению усадочных явлений, полной перлитизации матрицы чугуна [1,2].

Проведенный литературный обзор по использованию наномодификаторов для улучшения свойств чугуна, способствовал к проведению производственного исследования.

Исследования проводили с применением наномодификаторов в виде брикетов (рис.1).

Первый опыт модифицирования проводили внутриформенно, но учитывая, что заливка кокилей происходит на кокильной машине карусельного типа с подвижными формами, то введение модификатора в

каждую форму является нецелесообразным. Кроме того, при модифицировании в форме брикет растворяется дольше и модификатор распределяется не равномерно. Потому при проведении второго опыта было принято решение вводить модификатор непосредственно в ковш «сэндвич - процессом» (рис.2).

В таблице 1 приведены основные параметры брикетов, которые были разработаны в лабораторных условиях КМФ НМетАУ специально для опытов.

Составы брикетов №2,3,4 оптимизированы по результатам литературного обзора, а состав №5 разработан экспериментально с целью анализа улучшения формы графита (SiMg) и структуры матрицы (Ti).

Модифицирование расплава проводили в специально изготовленном ”ковше“ с перегородкой вместимостью до 20 кг и последующей заливкой в единичный кокиль.

Модифицирование шаров проводилось разными модификаторами: №1 - не модифицировали; №2 – брикетом состава 2; №3 – брикетом состава 3; №4 – брикетом состава 4; №5 - комплексным брикетом состава 5.

В результате металлографического исследования установлено, что в сечении пробы №4 имеет место усадочная пористость, в остальных исследуемых пробах №1,2,3,5 наблюдаются усадочные раковины вытянутой формы (рис.3). Размер усадочной пористости и усадочных раковин составляет:

№1 - 11,0x22,0 мм; №2- 9,0x23,0 мм; №3 - 7,0x20,0 мм; №4 - 0,5x0,5 - 4,0x4,0 мм; №5- 10,0x18,0 мм

Глубина залегания усадочной раковины в пробах составляет: №2 - 22,0 мм №3 - 40,0 мм №1 - 23,0 мм №5 - 35,0 мм. В пробах №1 и №2 усадочная раковина имеет выход на поверхность.

Металлографическое исследование показало, что во всех исследуемых шарах в поверхности наблюдается отбеленный слой. Глубина отбеленного слоя в поверхности исследуемых проб не одинаковая и составляет: в пробе №1 - 0,75-2,0мм №2 - 0,90-4,50мм №3 - 5,0-11,0мм №4 - 0-1,65мм №5 - 0,70-2,70мм.

Во всех исследуемых пробах кроме отбеленного слоя имеют место включение пластинчатого графита прямолинейной формы (ПГф1). Длина включений графита во всех исследованных пробах составляет 30-60 - 60-120 мкм (ПГд45-ПГд90).

Металлическая матрица в поверхности всех исследуемых шаров в отбеленном слое состоит из ледебурита и цементита. В остальном сечении структура металла всех исследуемых проб состоит из перлита, ледебурита и цементита (рис. 4). В пробе №3, в осевой части, количество перлитной составляющей несколько меньше, чем в остальных исследуемых пробах.

Результаты спектрального и контрольного анализа приведены в таблице 2. Твердость опытных шаров показана в таблице 3.

Анализ проведенных экспериментов показал, что при модифицировании чугунных мелющих шаров брикет - наномодификатором с TiCN приводит к измельчению структуры сплава, а именно карбидной сетки и металлической основы (рис. 5).

Таким образом, можно сделать вывод, что по всем показателям (твердость, величина отбела, структура и др.) эффективнее всего проводить модифицирование металла с помощью брикетов на основе карбонитрида титана (TiCN) - что приводит к увеличению твердости мелющих шаров на 42,7%, увеличению толщины отбеленного слоя в 3 - 6,6 раза.

Выводы:

1. Введение наномодификатора TiCN в чугун дает наилучшие результаты в создании прочной структуры мелющих шаров. Толщина отбеленного слоя достигает 11,0 мм по всей поверхности шара. Такая толщина отбеленного слоя на поверхности шара повышает ее твердость, что существенно влияет также на ударо- и абразивную стойкость. Перлитная составляющая в сечении шара создает пластичную основу, которая способствует демпфирующей и прочностной характеристикам мелющих шаров.

2. Вводить наномодификатор целесообразнее в виде брикета «сэндвич – процессом».

3. Применение мелющих чугунных шаров, отливаемых по новой технологии в условиях ЛКПЧ ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», сделают более дешевой продукцию (готовый концентрат) на РЗФ-1 и РЗФ-2 НКГОКа за счет уменьшения их расходного коэффициента в шаровых мельницах на 2 и 3 стадиях помола.



Рисунок 1 – Брикеты наномодификаторов

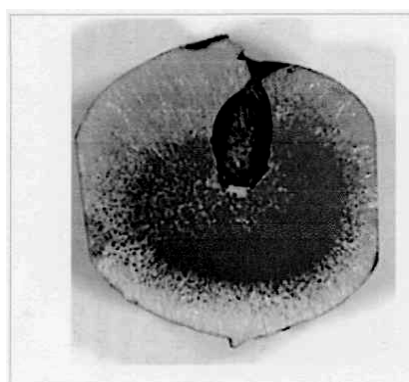


Рисунок 2 – Введение модификатора «сэндвич – процессом»

Таблица 1

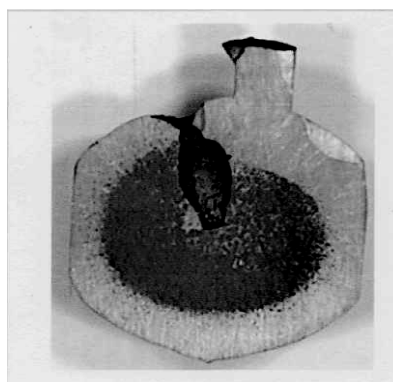
Основные параметры брикетов наномодификаторов

Наименование брикетов для модифицирования соответствующих шаров	Состав шихты для брикетов, %							Свойства и параметры брикетов					
	Дисперсная чугунная стружка	наноматериалы				Органическое связующее	вода	Прочность, мПа	термопрочность, мПа	плотность, 10^3 кг/м^3	Диаметр, мм	Высота, мм	Масса, к
		TiCN	Al	SiMg	Ti								
№2	50	-	-	45	-	5	8	48	18	3,9	30	25	45 - 50
№3	50	-	5	-	40	5	8	35	13	4,2			
№4	50	40	5	-	-	5	8	26	3	3,2			
№5	50	-	-	20	25	5	8	30	8	3,8			



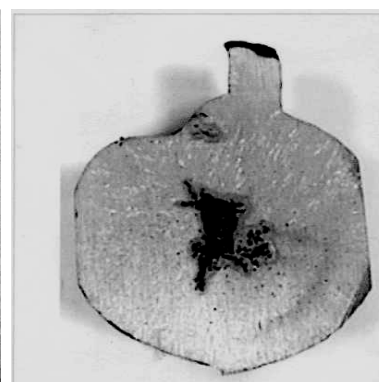
1:1,5

1



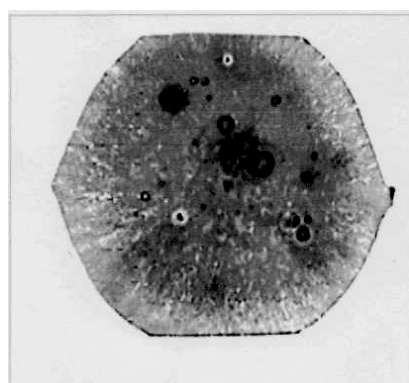
1:1,5

2



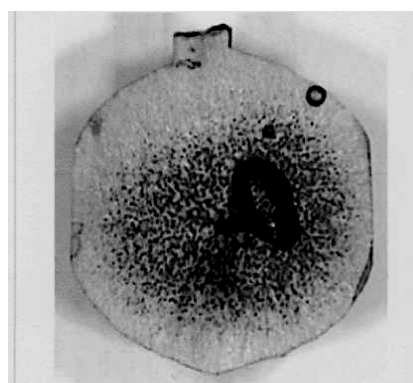
1:1,5

3



1:1,5

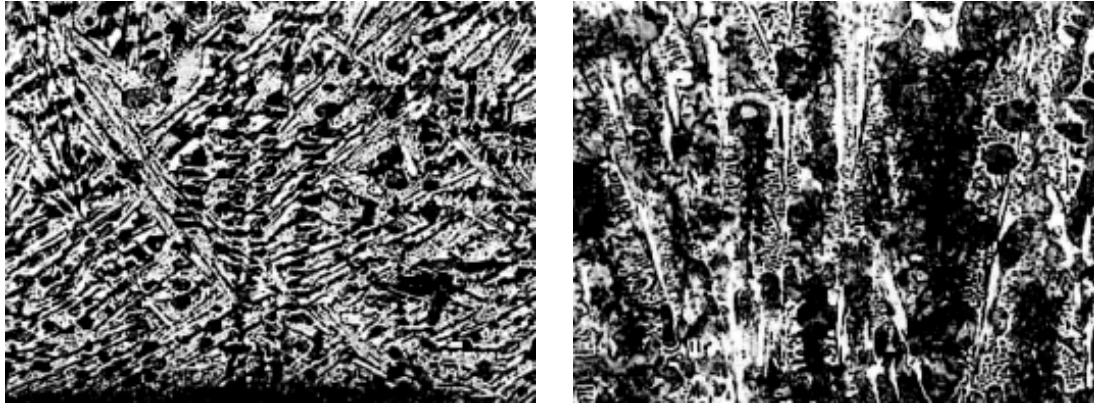
4



1:1,5

5

Рисунок 3 – Макроструктура металла шаров №1, 2, 3, 4, 5 соответственно



а x100

б x100

Рисунок 4 - Микроструктура металла шарів на поверхності (а) і в осевом сеченні (б)

Таблиця 2

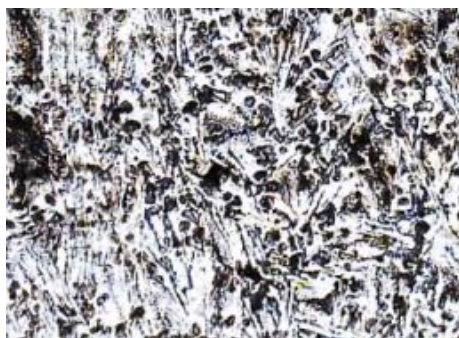
Химический состав металла мелющих шаров

№ пробы	Массовая доля элементов, %								
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti
1 (не мод. шар)	3,84	0,33	1,09	0,016	0,064	0,101	0,021	0,020	0,011
2 (Ti)	3,82	0,32	1,07	0,017	0,067	0,099	0,021	0,020	0,012
3 (TiCN)	3,56	0,32	1,04	0,018	0,084	0,072	0,031	0,027	0,016
4 (SiMg)	3,78	0,33	1,08	0,020	0,065	0,100	0,020	0,020	0,012
5 (комплекс)	3,79	0,32	1,07	0,017	0,069	0,097	0,022	0,020	0,012
Требования ТТ 090 – 008: 2008									
	3,4	0,6	0,88	До 0,10	0,22	–	–	–	–
	–	–	–		0,28	–	–	–	–
	3,8	0,8	1,1						

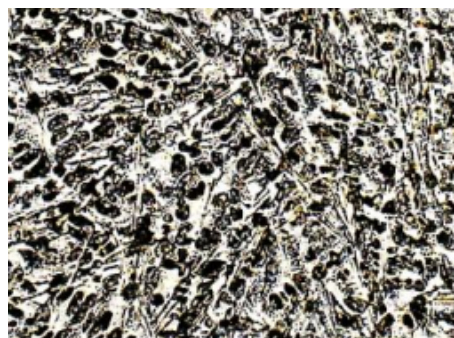
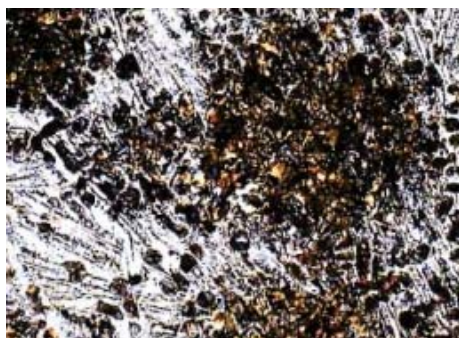
Таблиця 3

Твердость исследуемых мелющих шаров по сечению шара

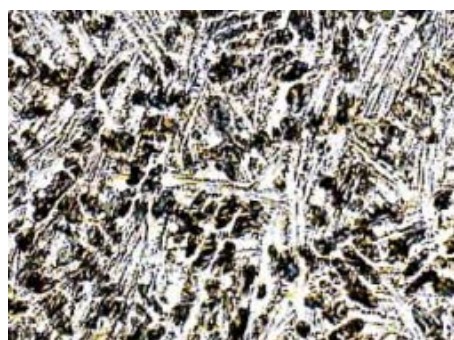
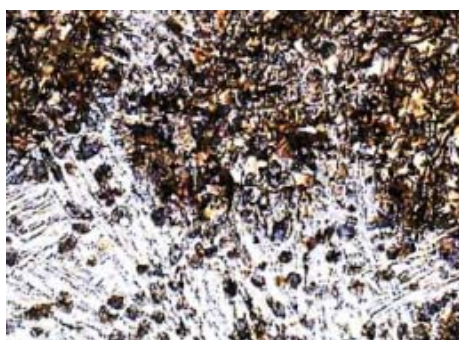
№ пробы	Твердость, HRC		
	У поверхности	На S радиуса	В центре
1 (не мод. шар)	44,0	39,5	38,0
2 (SiMg)	56,0	55,0	53,0
3 (Ti)	60,0	55,5	53,0
4 (TiCN)	61,0	59,5	58,0
5 (комплекс)	59,5	58,0	56,0



поверхностный слой образца, увеличение x50



середина образца, увеличение x50



центр образца, увеличение x50

а

б

Рисунок 5 – Микроструктура по сечению не модифицированного (а) и модифицированного (б) шара

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов С.В. Фуллереновая природа жидкого чугуна – основа технологии наномодифицирования / Труды седьмого съезда литейщиков России / Т1. Общие вопросы. Черные и цветные сплавы: Новосибирск 23-27 мая 2005 г. – Новосибирск: Изд. Дом «Историческое наследие Сибири», -2005. – С.101-108.
2. Давыдов С.В. Наномодификатор как инструмент генной инженерии структурного состояния расплава чугуна // Машиностроение. 2008. - №6. – С. 6 – 13.
3. Сусло Н.В. Использование брикет – модификаторов для модифицирования чугунных мелющих шаров с целью повышения их износостойкости // «Университетская наука- 2009» на базе Приазовского государственного технического университета. г. Мариуполь.
4. Калинин В.Т., Сусло Н.В. Технологические особенности производства литых шаров повышенного качества // Вісник КТУ, випуск 23, 2009г.