

КАБЫШЕВА АЙЖАН РАШИТОВНА

Повышение прочности и износостойкости помольных шаров из сплава ИЧХ15Г4НТ для рудоразмольных шаровых мельниц

6N0712 – «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ

магистерской диссертации на соискание
академической степени магистра
технических наук

Республика Казахстан
Усть-Каменогорск, 2011

Работа выполнена на кафедре «Машиностроение и технология
конструкционных материалов» ВКГТУ им. Д.Серикбаева

Научный руководитель:

- кандидат технических наук, профессор Горбачев Л.А.

Официальные оппоненты:

- кандидат технических наук Муравьев О.П.

Ведущая организация: Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева

Защита состоится « 20 » июня 2011 года в 9.00 часов на заседании
государственной аттестационной комиссии при Восточно-Казахстанском
Государственном Техническом Университете им. Д. Серикбаева по адресу:

070012, г. Усть-Каменогорск, ул. Дзержинского 7/1, 5-2.

т.р. 8-7232-53-65-95.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточно-Казахстанского
Государственного Технического Университета им. Д. Серикбаева

Автореферат разослан 30 мая 2011г.

Секретарь Диссертационного совета Капаева С.Д.

Введение

В настоящее время важное место в экономике занимают отрасли промышленности, непосредственно связанные с добычей и переработкой минеральных видов сырья и топлива. В цементной, горнообогатительной, энергетической и других отраслях одной из основных и весьма распространенных операций является измельчение различных материалов.

Вследствие абразивного действия размалываемого материала, мелющие шары изнашиваются и безвозвратно расходуются в процессе измельчения сырья. Быстрый износ мелющих шаров приводит к значительному росту общих затрат на дробление и измельчение, которые составляют около 60 - 70 % от стоимости переработки сырья. Причем, возникающие потери связаны не только с увеличением потребления мелющих шаров, но и со снижением показателей эффективности работы размольного оборудования в результате частых простоев, а также с ухудшением качества производимой продукции вследствие увеличения содержания железа в конечном продукте.

В связи с этим актуальной является задача повышения стойкости мелющих шаров при сохранении низкого уровня их стоимости. Для ее решения необходим комплексный подход: применение рационального состава сплава и технологии изготовления мелющих шаров.

Стойкость мелющих шаров во многом определяется свойствами выбранного для их изготовления материала. При этом условия эксплуатации предъявляют к мелющим шарам два взаимоисключающих требования по специальным свойствам: высокая износостойкость и вязкость, определяющая ударостойкость шаров. А экономические соображения диктуют необходимость применения относительно недорогих материалов, что требует поиска разумного компромисса.

Данная работа посвящена изучению одного из сплавов типа ИЧХ («Износостойкий чугун хромистый»), предназначенного для изготовления изделий, работающих в условиях ударно – абразивного изнашивания, в том числе и в агрессивных средах.

Методами металлографического исследования, рентгеноструктурного анализа, микрорентгеноспектрального анализа исследованы строение и свойства помольных шаров, изготовленных из износостойкого чугуна ИЧХ15Г4НТ.

Предлагается термическая обработка, позволяющая снизить затраты электроэнергии и времени при изготовлении шаров, повысить их эксплуатационные свойства.

Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, изложенная на 65 страницах и содержит: 27 рисунков, 7 таблиц, список литературы из 45 наименований.

Ключевые слова: Износостойкий чугун, термическая обработка, износостойкость, аустенит, перлит, мартенсит, карбидная эвтектика,

самозакаливание, абразивное изнашивание, деформационное упрочнение, дисперсия, карбиды, математическая модель, ферромагнетики.

Актуальность исследования – постоянная потребность в различных отраслях промышленности в материалах для производства изделий высокого качества, работающих в условиях ударно-абразивного нагружения, в том числе в агрессивных средах (например, мелющие шары и футеровка шаровых мельниц). Решение данной проблемы является актуальной для машиностроительного производства

Цель исследования. Разработка оптимального режима термической обработки и оптимального состава сплава, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики мелющих шаров из сплава ИЧХ15Г4НТ.

Полученные результаты. С использованием комплекса методов исследования – оптическая и электронная микроскопия, новейшее рентгенодифракционное оборудование, энергодисперсионный анализ – исследован вариант низкотемпературной обработки сплава, в результате чего установлено, что предложенный режим, равно как и самозакаливающийся состав сплава ИЧХ15Г4НТ обеспечивают высокие эксплуатационные свойства шаров – износостойкость, в 10-12 раз превышающую износостойкость шаров из стали 65, и отсутствие расколов шаров при работе в мельницах.

Научная новизна работы.

1. Получение уравнения регрессии $Y = 53.125 + 0.125X_1 + 0.375X_2 - 0.625X_3$, позволяющее осуществить прогнозирование развития процесса получения шаров из сплава ИЧХ15Г4НТ.
2. Определение оптимального состава сплава ИЧХ15Г4НТ (2.28 С; 2.32 Мн; 15.6 Cr; 0.3-0.5 Si; 0.4-0.8 Ni; 0.05-0.1 Ti)
3. Полученная по результатам многофакторного эксперимента математическая модель процесса (уравнение регрессии) подтвердила оптимальное сочетание факторов сплава (С; Мн; Cr), полученных экспериментально - демонстрирует ее универсальность – возможность применения для других сплавов.
4. Установлено, что низкотемпературная термическая обработка приводит к образованию ферромагнетиков (FeNi, FeTiO₃, Fe₂Si, FeCr, FeC). Они обеспечивают достаточно высокие магнитные свойства шаров, необходимые для загрузки шаров в мельницу электрическим краном, а также повышают механические свойства шаров за счет их высокой твердости и износостойкости.

Научная значимость исследований. Установлены причины высоких эксплуатационных свойств шаров:

- высокая усталостная ударостойкость обусловлена демпфирующими свойствами остаточного аустенита – он представляет собой запас пластичности – необходимое условие высокой усталостной прочности;

- высокая износостойкость обусловлена образовавшейся структурой – карбидная эвтектика и продукты распада аустенита – вторичные карбиды и

продукты троосто-мартенситного превращения, а также способностью сплава упрочняться в процессе работы в результате мартенситного превращения, протекающего под воздействием ударно-пластической деформации.

Практическая значимость работы: Возможность получать продукцию с высокими эксплуатационными характеристиками со снижением энергозатрат при ее производстве.

Сведения о публикациях. По теме диссертации опубликовано 4 статьи

Основная часть

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулирована цель работы, представлены научная новизна и практическая значимость результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, структура и объем диссертации.

Объект исследования. Сплав ИЧХ15Г4НТ для изделий, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания, в том числе для мелющих шаров.

Направление исследования. Выбор оптимального элементного состава сплава и режима термической обработки с целью получения продукции высокого качества.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА ИЧХ15Г4НТ

Сплав ИЧХ15Г4НТ предназначен для изделий, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания, включая работу в агрессивных средах.

По технологии, разработанной Запорожским машиностроительным институтом им. А.Чубаря, на АО «Востокмашзавод» (г. Усть-Каменогорск) из этого сплава изготавливались мелющие шары диаметром 80; 100 и 120 мм с термической обработкой после литья по режиму: $920^{\circ}\text{С} \times 5\text{ч} + 400^{\circ}\text{С} \times 3\text{ч}$, общей длительностью процесса до 24 часов. Твердость шаров, обработанных по этому режиму, составляла 50...60 HRC. Необходимая ударная стойкость определялась количеством ударов на копре. Годными считаются шары, выдержавшие 15 ударов. Если после указанного режима термической обработки механические свойства не соответствовали требуемым характеристикам, проводилась вторая, а зачастую и третья термическая обработка.

Такая ситуация, во-первых, обуславливала высокую себестоимость продукции за счет неоправданного перерасхода электроэнергии, затрачиваемой термическими нагревательными устройствами. Во-вторых, выпускаемые АО «Востокмашзавод» по указанной технологии мелющие шары отличались высокой износостойкостью, многократно превышающей износостойкость стальных шаров, но не гарантировали надежной ударной стойкости - важнейшего эксплуатационного параметра мелющих шаров.

Для анализа причин, приводящих к снижению эксплуатационных характеристик мелющих шаров, были проведены исследования структурно-фазовых изменений в сплаве. В ходе работы была отмечена высокая зависимость исходной структуры от соотношения углерода и марганца в сплаве. Вследствие этого была поставлена задача по разработке оптимального режима термической обработки и состава сплава, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики мелющих шаров из сплава ИЧХ.

Для исследования структурно-фазовых изменений в сплаве применялись современные методы исследований; просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ), растровая электронная микроскопия (РЭМ), рентгеноструктурный фазовый анализ (РФА), рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), оптическая микроскопия.

Сплав ИЧХ15Г4НТ в соответствии с ТУ 14-2-882-90 может иметь состав (вес. %): 1,6 – 2,5 С; 2,0 – 4,8 Mn; 15 – 18 Cr; 0,4 – 0,9 Si; 0,5 – 2,5 Ni; до 0,1 Ti; до 0,1 S; до 0,1 P; до 0,1 Ca; Fe (остальное).

Как показали исследования структур литых шаров диаметром 100 мм и 120 мм, распад аустенита в основном зависит от соотношения углерода и марганца в сплаве. На рис.1 графически изображены три основные условные области состояния аустенитного зерна в сплаве после литья в зависимости от соотношения углерода и марганца.

В первой области, соответствующей содержанию углерода в интервале 1,6...1,8% и марганца в интервале 3,0...4,8%, процесс распада аустенита не наблюдался (рис.2.2). Во второй области, соответствующей содержанию углерода 1,8...2,0% и марганца в интервале 1,5...1,7%, распавшегося аустенита относительно мало и количество продуктов распада (троосто-мартенсит + карбиды) в объеме аустенитного зерна колеблется от 1% до 40% (рис.2.2б). В третьей области наблюдается стабильный распад аустенитного зерна (троосто-мартенсит + карбиды) в пределах 40...60% от его объема при содержании углерода и марганца соответственно в пределах 2,0...2,5% и 1,7...2,7% (рис.2.2в).

После литья структура шаров диаметром 100 мм и 120 мм представляет собой дендритные зерна аустенита, окруженные сеткой вырожденной карбидной эвтектики. В литом состоянии структура этого сплава состоит из аустенитной основы, феррита и карбидной эвтектики (рис.2, а). Твердость литых шаров, соответствующих составу первой области, составляет 35...40 HRC, соответственно для второй и третьей области твердость имеет значения 40...45 HRC и 50...55 HRC. Микротвердость аустенитного зерна при этом составляет 5000...5500 МПа, а карбидной эвтектики 10000...12000 МПа.

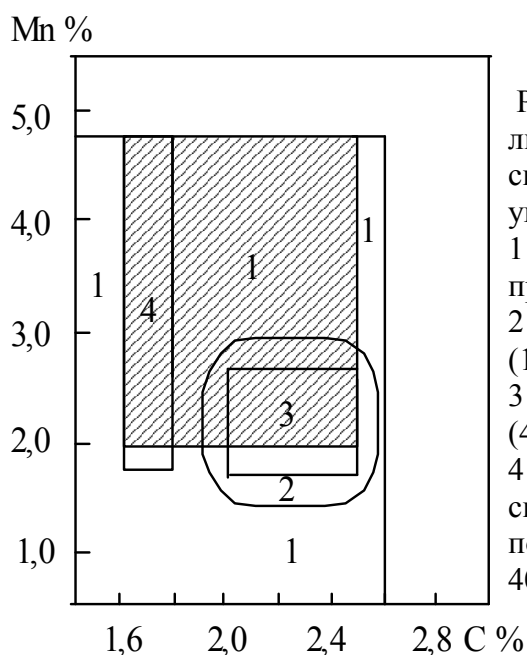


Рис1. Зависимость распада аустенита в литых шарах диаметра 100 мм и 120 мм сплава ИЧХ15Г4НТ от соотношения углерода и марганца
 1 - область, где распад аустенита не происходит Рис
 2 - область, соответствующая распаду (1...40)% аустенита
 3 - область, соответствующая распаду (40...60)% аустенита
 4 - область существования в структуре сплава микроконцентраторов напряжений после термической обработки 920°Сx5ч + 400°Сx3ч

По данным РСМА аустенит содержит 8...10 % хрома; 4...5% марганца; 0,12% титана; 0,4% кремния; 0,1% серы. Легирующие элементы в карбидной эвтектике распределены равномерно, а никель и кремний в ней практически отсутствуют. Карбидная эвтектика содержит до 50% железа и почти 40% хрома, что характерно для карбида типа Me_7C_3 . Данные РФА указывают на то, что эвтектика состоит из карбидов Me_7C_3 .

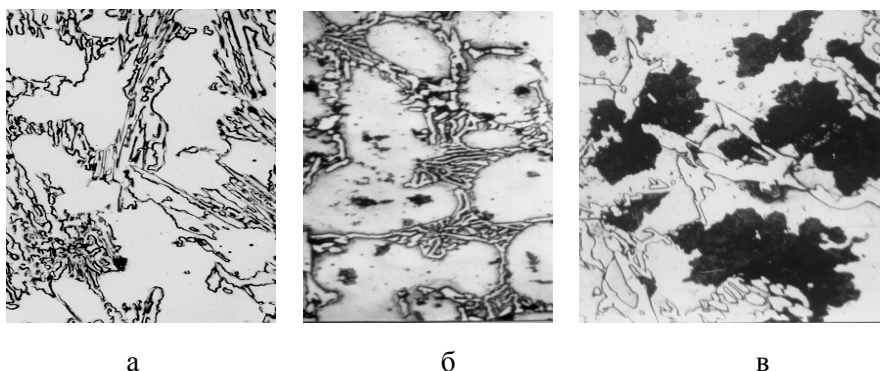


Рис.2. Микроструктура шаров из сплава ИЧХ15Г4НТ после литья, $\times 350$
 а – без распада аустенита (состав первой области); б - с распадом аустенита (состав второй области, распад аустенита меньше 10%); в – с распадом аустенита (состав третьей области, распад аустенита 50% - самозакаливающийся сплав)

Для состава сплава (первая область на рис.1), в котором аустенит после литья остается стабильным, режим обработки $920^{\circ}\text{С} \times 5 \text{ ч} + 400^{\circ}\text{С} \times 3 \text{ ч}$ приводит к полному распаду аустенита (рис.3), что хорошо подтверждается данными РФА и РСМА (рис.4; 5)

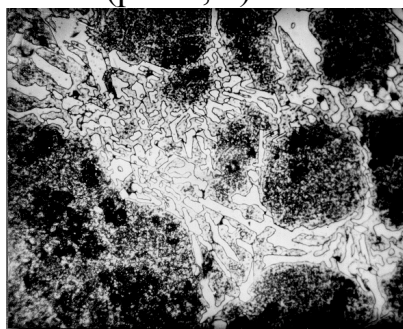


Рис.3. Микроструктура шаров из сплава ИЧХ15Г4НТ после термической обработки $920^{\circ}\text{С} \times 5 \text{ ч} + 400^{\circ}\text{С} \times 3 \text{ ч}$, $\times 350$

Процесс распада аустенита характеризуется выделением вторичных карбидов и $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением, в результате которого формируется сорбитная структура матрицы с микротвердостью до 7500 МПа, при этом твердость шаров лежит в пределах 50...54 HRC. Наблюдаемое смещение пика (211) ОЦК-железа в сторону уменьшения межплоскостных расстояний (рис.4) свидетельствует об обеднении исходного твердого раствора легирующими элементами за счет выделения вторичных карбидов Me_7C_3 и легированного цементита Me_3C , что подтверждается появлением соответствующих пиков на дифрактограмме.

Кроме того, методом РЭМ и РСМА было выявлено образование по границам карбидной эвтектики крупных игольчатых карбидов титана TiC размером до 4 мкм (рис.5, а; б). Наличие таких карбидов в приграничной зоне эвтектического аустенита и карбидной эвтектики, являющихся резкими структурными концентраторами, отрицательно влияет на усталостную прочность сплава. При рассмотрении поверхностей изломов шаров методом РЭМ, разрушенных после 800... 1600 часов работы в мельницах, было выявлено их

ямочное строение, причем рост ямок отрыва начинался на границе раздела частица-матрица и в фокусе такой ямки наблюдались ложа от частиц игольчатой формы.

Было также отмечено, что при снижении содержания углерода в сплаве (менее 1,8%), образование карбидов TiC не происходит, но образование второй фазы идет по границам дендритных зерен аустенита, причем в этом случае механизм $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения мартенситный (рис. 5, в).

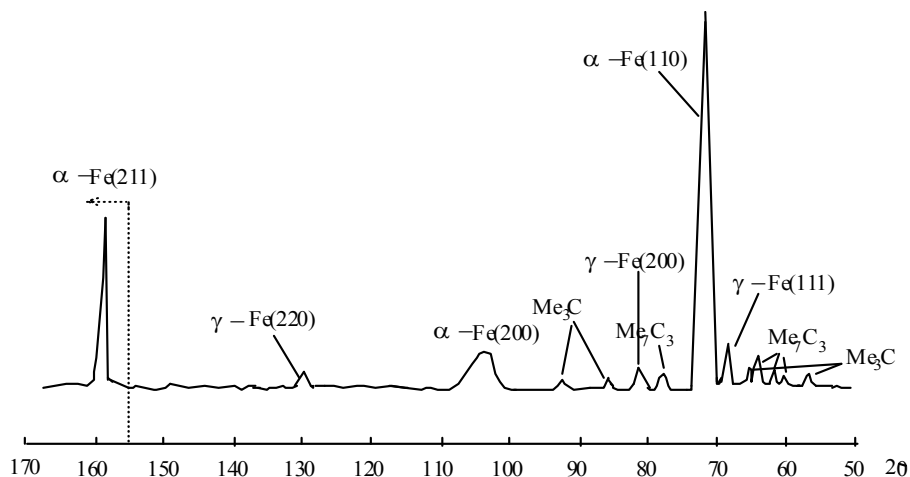
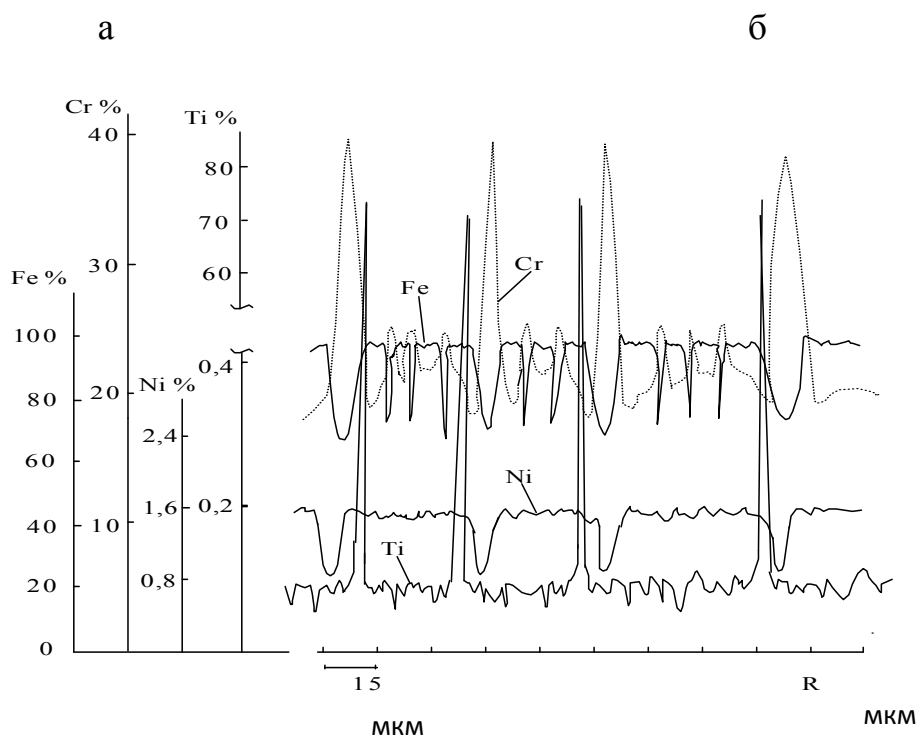
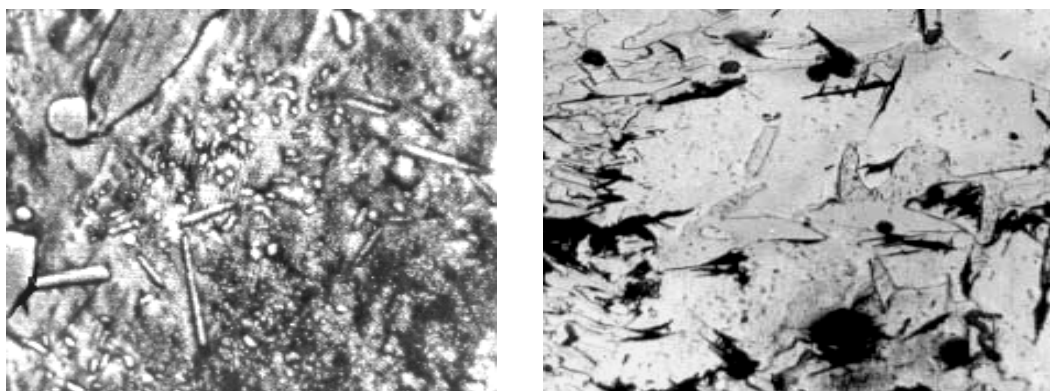


Рис.4. Рентгеновская дифрактограмма сплава ИЧХ15Г4НТ после термобработки $920^{\circ}\text{C} \times 5\text{ч} + 400^{\circ}\text{C} \times 3\text{ч}$.

Испытания на ударную стойкость данных шаров показали, что при уменьшении содержания углерода в сплаве от 1,8% и до 1,6%, соответственно уменьшается количество ударов, выдержанных шарами (до 5...8 ударов), что непосредственно связывается с наличием крупных мартенситных игл по границам дендритных зерен.

Таким образом, преждевременное разрушение помольных шаров (3%...5% от загрузки мельниц), прошедших термическую обработку по режиму $920^{\circ}\text{C} \times 5\text{ч} + 400^{\circ}\text{C} \times 3\text{ч}$, объясняется наличием в структуре шаров крупных микроконцентраторов напряжений (карбидов TiC или мартенситных игл), выделившихся по границам карбидной эвтектики и распавшегося аустенитного зерна. На фоне отсутствия в матрице остаточного аустенита, демпфирующего возникающие в процессе работы напряжения, шары с такой структурой не могут выдерживать длительные ударно-усталостные нагрузки.

Комплекс выполненных исследований – ударная вязкость, твердость и износостойкость образцов из вариантов различных составов сплавов позволил выйти на оптимальный состав (область 3 на рис. 1): 2.2-2.5 C; 1.7-2.7 Mn; 0.3-0.5 Si; 15-18 Cr; 0.4-0.8 Ni; 0.05-0.1 Ti; Fe (остальное).



В

Рис. 5. Микроструктура шаров с микроконцентраторами напряжений в сплаве ИЧХ15Г4НТ после термической обработки $920^{\circ}\text{C} \times \text{ч} + 400^{\circ}\text{C} \times 3 \text{ч}$

а - растровая электронная микрофотография (карбиды TiC) (РЭМ), $\times 2500$

б - микрофотография структуры сплава с содержанием марганца и углерода соответственно в пределах (1,8...2,0)% и (1,6...1,8)% (иглы мартенсита, область 4 на рис. 1), $\times 400$

в - данные РСМА по распределению легирующих элементов с участка микроструктуры, фрагмент которого представлен выше (рис. 5, а)

В данной работе рассматривается возможность получения более рациональной технологии. Был исследован режим термической обработки со снижением температуры с 920°C до 650°C по схеме: нагрев печи вместе с образцами до 650°C – выдержка 6 часов – охлаждение вместе с печью

Для исследования структуры и свойств образцов в инженерной лаборатории «ИРГЕТАС» выполнен энергодисперсионный анализ на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV производства компании «JEOL Ltd.»

(Япония) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy компании «OXFORD Instruments Analytical Limited» (Великобритания) и рентгенодифракционный анализ на дифрактометре X'Pert PRO производства компании «PANalitical» (Голландия).

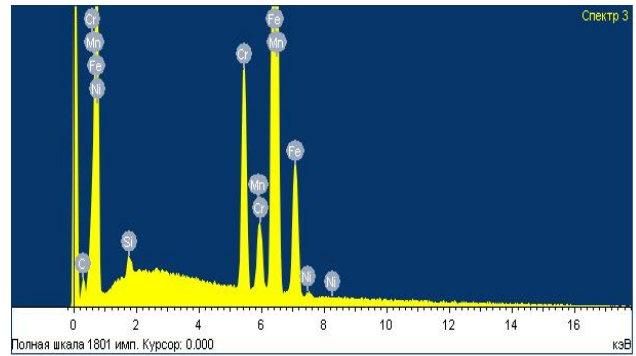
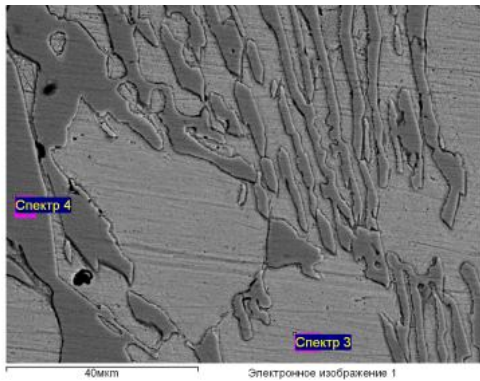
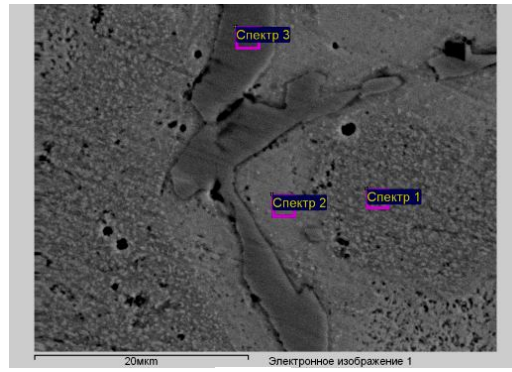
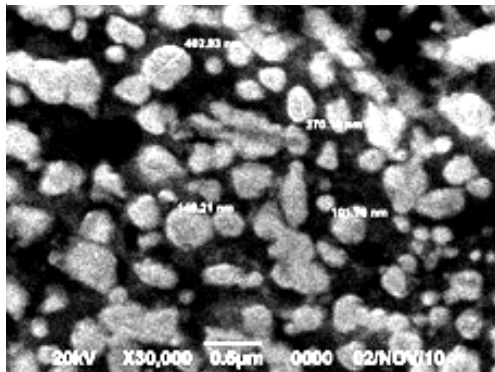


Рис.6. Растровая электронная микроскопия сплава ИЧХ15Г4НТ без термообработки а- электронная фотография б- элементный состав карбидной эвтектики (и интенсивность)

Спектр	В стег.	C	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Игор
Спектр 3	Да	4.31	0.52	10.63	2.99	80.98	0.58	100.00	
Спектр 4	Да	11.27	2.54	0.07	42.94	3.60	39.58	100.00	
Макс.		11.27	2.54	0.52	42.94	3.60	80.98	0.58	
Мин.		4.31	2.54	0.07	10.63	2.99	39.58	0.58	



а

б

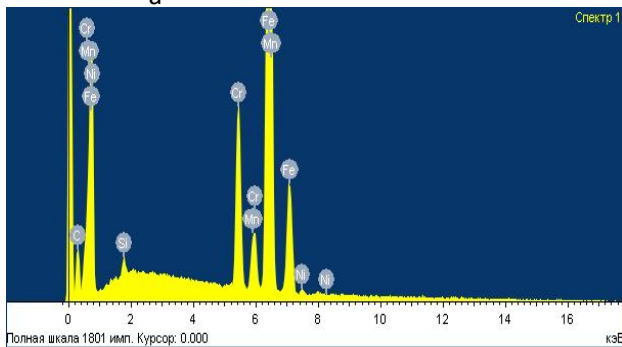


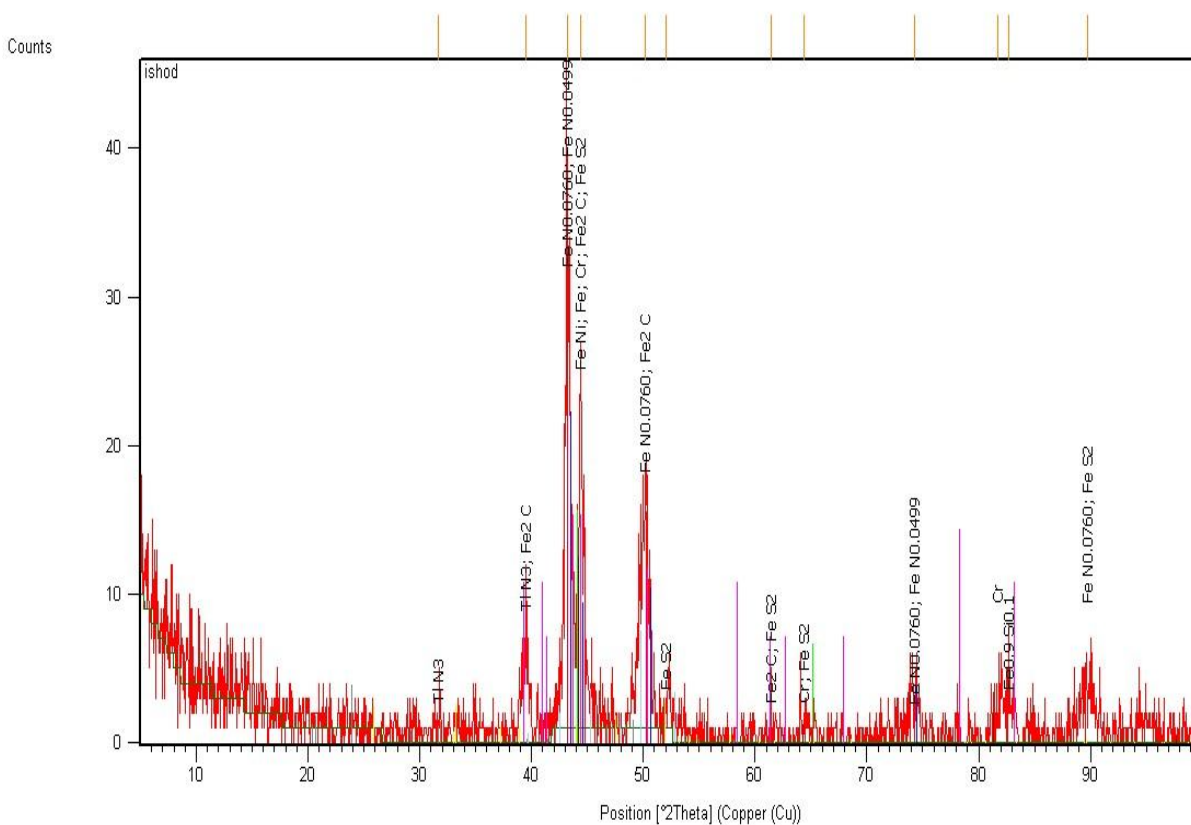
Рис. 7. Растровая электронная микроскопия сплава ИЧХ15Г4НТ после термической обработки 650⁰ С x 6 ч; а- мелкодисперсные карбиды распада аустенита (спектр 1); б- электронная фотография; в- элементный состав распада аустенита (и интенсивность)

Спектр	В стег.	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Игор
Спектр 1	Да		0.65	10.99	3.61	83.90	0.86	100.00
Спектр 2	Да		0.66	8.50	4.12	86.04	0.69	100.00
Спектр 3	Да	1.87		42.22	4.20	51.71		100.00
Макс.		1.87	0.66	42.22	4.20	86.04	0.86	
Мин.		1.87	0.65	8.50	3.61	51.71	0.69	

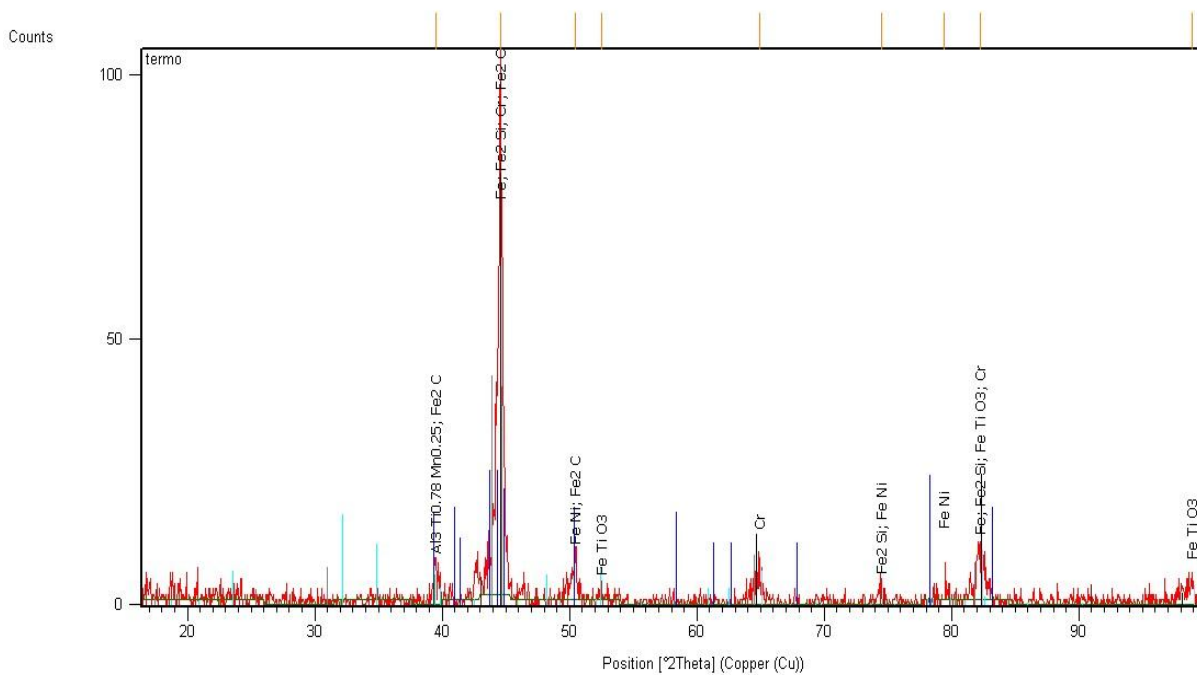
Установлен структурный состав сплава ИЧХ15Г4НТ после литья – аустенитная матрица с карбидной эвтектикой. Аустенит кроме железа содержит примерно 10% Cr, 3% Mn, 0.5% Si, 0.58% Ni; карбидная эвтектика содержит 43% Cr, 3.6 Mn% и около 40% Fe, что характерно для карбидного типа Me_7C_3 . До настоящих исследований считалось, что матрица сплава после литья представляет собой цементит.

Анализ магнитности исследуемых образцов показал, что магнитные свойства образцов термически обработанных резко повысились. Было предположено, что это произошло за счет образования при термической обработке ферромагнетиков. Известно, что типичными ферромагнетиками являются Fe, Co, Ni, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, а также соединения ферромагнитных материалов с неферромагнитными: Fe_3Al , Ni_3Mn , $ZnCMn_3$ и др.

Для проверки этого предположения в лаборатории ИРГЕТАС (ВКГТУ им. Д. Серикбаева) на дифрактометре новейшей модификации XPert PRO PANanalytical (Голландия) были записаны дифрактограммы исходного образца и после термической обработки (Рис. 8, а,б). Параметры съемки: диапазон угла дифракции - $42 \div 150^\circ$, размер шага $0,05^\circ$, скорость $0,05^\circ/\text{сек.}$, $U = 40 \text{ кВ}$, $I = 40 \text{ мА}$; излучатель медь.



a



б

Рис. 8. Рентгеновская дифрактограмма сплава ИЧХ15Г4НТ

а- исходное состояние; б - после термической обработки

Исследование дифрактограмм в исходном состоянии и после термической обработки показало, что исходная структура сплава ИЧХ15Г4НТ состоит из множества мелкодисперсных намагниченных областей – доменов (рис. 8, а).

После термической обработки структура сплава превращается в один большой домен и происходит образование новых соединений-фаз (рис. 8, б) с повышенной магнитностью (FeNi , FeTiO_3 , Fe_2Si , FeCr , FeC).

Для уточнения этого состава был выполнен трехфакторный эксперимент. В качестве факторов принято процентное содержание углерода, марганца и хрома как элементов, наиболее влияющих на стабильность аустенита и карбидообразование, а в качестве функции отклика – твердость HRC. После обработки результатов матрицы планирования получена зависимость:

$$Y = 53.125 + 0.125X_1 + 0.375X_2 - 0.625X_3 \quad (1),$$

где Y - функция отклика;

X_1 ; X_2 ; X_3 – кодированное значение факторов (углерод, марганец, хром соответственно).

Анализ зависимости (1) позволил получить оптимальное значение факторов (вес.%): 2.28 C; 2.32 Mn; 15.6 Cr, что вполне согласуется с результатами экспериментов.

Состав ИЧХ15Г4НТ в соответствии с ТУ	Оптимальный состав ИЧХ15Г4НТ (экспериментальный, область 3 рис. 1)	Оптимальное расчетное значение по формуле (1)
1,6-2,5 С	2.2-2.5С	2.28С
2,0-4,8 Mn	1.7-2.7Mn	2.32Mn
15-18 Cr	15-18Cr	15.6Cr
0.4-0.9 Si	0.3-0.5Si	
0.5-2.5Ni	0.4-0.8Ni	
0,05-0,1 Ti	0,05-0,1 Ti	

Самым эффективным из всех рассмотренных вариантов оказался этот сплав:

- исключается дорогостоящая, длительная комплексная термическая обработка, которая оказалась совершенно ненужной;

- непосредственно после литья шары из самозакаливающегося сплава имеют готовое товарное состояние с высокими эксплуатационными характеристиками, намного превосходящими характеристики шаров после высокотемпературной обработки – практическое отсутствие разброса твердости (HRC = 52-55), увеличение износостойкости в процессе эксплуатации и полное отсутствие расколов;

- шары из этого сплава при испытаниях на ударном копре выдерживали более 100 ударов без следов разрушения (при требуемых 15).

Для проверки эффективности полученных результатов были проведены промышленные испытания мелющих шаров на Семипалатинском (СЦЗ) и Усть-Каменогорском (УКЦЗ) цементных заводах (по 60 тонн на каждом заводе). Оценка эксплуатационных свойств шаров велась в сравнении с эксплуатационными свойствами мелющих шаров из стали 65. Анализ свойств шаров велся периодически, при остановке контрольных мельниц через каждые 300 часов работы совместно со специалистами выше названных предприятий. Проводился контроль за расколами шаров, за их износом по весовому методу (усредненный вес 30 шаров), а также выполнялся металлографический анализ структуры по сечению шара и РФА поверхности.

Промышленные испытания показали полное отсутствие расколов на протяжении всей рабочей компании. Износостойкость шаров в 8...10 раз превысила износостойкость стальных шаров, причем специалистами СЦЗ и УКЦЗ, контролирующими ход испытаний, было отмечено повышение износостойкости шаров из самозакаливающегося сплава в процессе работы.

Анализ причин такого явления позволил выявить неординарное поведение этого сплава в процессе циклических ударных нагрузок, что позволяет отнести его к метастабильным аустенитным сплавам, тем более, что по

содержанию углерода он ближе к легированным сталям – оно незначительно превышает значение 2.14% (см. состав сплава).

Действительно, структурно-фазовый анализ уже после работы 300 часов показал увеличение доли распавшегося аустенита вследствие мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в поверхностном слое. С увеличением времени работы шаров в мельницах происходит дальнейший рост доли распавшегося аустенита.

Исследования методом ПЭМ двухступенчатых реплик с извлечением и последующего фазового электронографического анализа показали, что деформационное старение связано с выделением карбидов $Me_{23}C_6$ и коагуляцией карбидов Me_7C_3 по границам фронта троосто-мартенситного превращения (рис.9).

Эти процессы приводят к обеднению матрицы карбидообразующими элементами и, как следствие, к образованию мартенсита деформации.

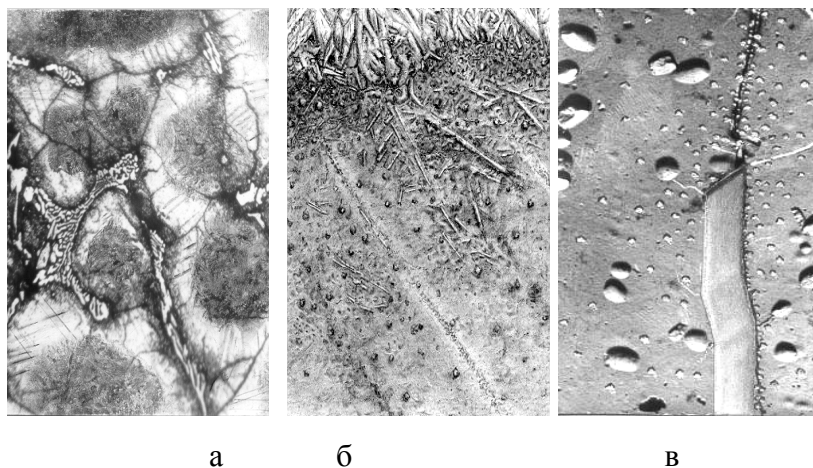


Рис.9 Микроструктура шаров диаметра 100 мм из самозакаливающегося сплава ИЧХ после 600 ч наработки

а - $\times 300$; б- электронная микрофотография (РЭМ), $\times 4000$;

в- углеродная реплика с карбидными выделениями и зарождающимися пластинами мартенсита вызванного деформационным старением сплава, $\times 14000$

На рис.9, б хорошо видно зарождение новых игл мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в таких локальных зонах, причем в некоторых случаях выделение пластин мартенсита идет вдоль линии сдвига (рис.9, в). Процесс выделения пластин мартенсита локально упрочняет данную область и препятствует дальнейшему сосредоточению в ней деформации. По такой схеме в пластическую деформацию вовлекаются и затем упрочняются соседние участки материала. Последовательный ход процесса упрочнения в метастабильном остаточном аустените самозакаливающегося сплава ИЧХ обеспечивает реализацию высоких уровней прочности, пластичности и износостойкости при ударно-абразивном износе.

Заключение

1. Исследованы структурно-фазовые изменения в сплаве ИЧХ15Г4НТ под действием различных термообработок и их влияние на механические свойства сплава.

2. Показана нецелесообразность применения высокотемпературной обработки $920^{\circ}\text{C} \times 5\text{ч} + 400^{\circ}\text{C} \times 3\text{ч}$.

3. Установлено, что режим низкотемпературной обработки $650^{\circ}\text{C} \times 6\text{ч}$ для сплава ИЧХ15Г4НТ позволяет получать мелющие шары с высокими эксплуатационными свойствами, при резком снижении энергозатрат.

4. Шары предлагаемого состава и технологии сплава ИЧХ15Г4НТ по своим эксплуатационным свойствам относятся к четвертой группе твердости.

5. Предложен и апробирован самозакаливающийся состав сплава ИЧХ(2.28 С; 2.32 Мn; 15.6 Cr; 0.3-0.5 Si; 0.4-0.8 Ni; 0.05-0.1 Ti), который без дополнительных термических обработок непосредственно после литья обеспечивает получение мелющих шаров с высокими эксплуатационными свойствами. Одним из них является гарантия полного отсутствия расколов – показатель, который пока что не может гарантировать ни одна из фирм, выпускающих подобную продукцию.

6. Показано, что высокие эксплуатационные свойства мелющих шаров обусловлены демпфирующими свойствами остаточного метастабильного аустенита, что обеспечивает исключительно высокую усталостную ударостойкость, а также выявленной способностью этого сплава упрочняться в процессе работы в результате мартенситного превращения, протекающего под воздействием пластической деформации.

7. Анализ промышленных испытаний мелющих шаров из самозакаливающегося сплава ИЧХ позволяет рекомендовать его для производства широкого спектра деталей машин и оборудования, работающих в условиях больших динамических нагрузок, требующих высокую ударно-усталостную прочность и износостойкость.

8. Математический анализ - многофакторный эксперимент - однозначно подтвердил достоверность результатов, полученных экспериментально. Полученная математическая модель фактически является универсальной и применима к анализу технологии сплавов других составов.

9. Энергодисперсионный и рентгенодифракционный анализы позволили уточнить элементный и фазовый состав аустенитной матрицы и карбидной эвтектики. При этом представилось возможным объяснить причину повышения магнитности шаров (необходимое свойство при загрузке шаров в мельницы электромагнитным краном) - образованием новых соединений-фаз с повышенной магнитностью (FeNi , FeTiO_3 , Fe_2Si , FeCr , FeC).

10. Показано, что шары из самозакаливающегося сплава и после низкотемпературной обработки имеют практически одинаковые высокие эксплуатационные свойства. Это означает, что при выходе элементного состава

при выплавке за пределы самозакаливающегося, можно получать продукцию высокого качества.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения

Экономический эффект от внедрения ИЧХ15Г4НТ в машиностроительное производство составляет 37 512 000тг. в год для одного среднего предприятия, выпускающего 2313т шаров в год.

Разработка рекомендаций и исходных по конкретному использованию результатов

Результаты исследований могут быть использованы в машиностроительном производстве при содержании 2.28 С; 2.32 Mn; 15.6 Cr; 0.3-0.5 Si; 0.4-0.8 Ni; 0.05-0.1 Ti.

Список научных трудов

1. Кабышева А.Р., Горбачев Л.А. Термоциклическая обработка (ТЦО) износостойкого чугуна ИЧХ15Г4НТ // Сборник трудов 10-й Республиканской студенческой научно-технической конференции «Творчество молодых –инновационному развитию Казахстана»- Усть-Каменогорск, 2010г., 99-100 с
2. Горбачев Л.А., Русин Ю.Г., Кабышева А.Р. Повышение эксплуатационных свойств помольных шаров из сплава ИЧХ15Г4НТ: материалы Международной Интернет-конференции «Альянс наук: ученый - ученому» (25-26.02.2011г.) / Л.А. Горбачев, Ю.Г. Русин, А.Р. Кабышева. – Днепрпетровск, 2011. С. 62-72.
3. Кабышева А.Р., Горбачев Л.А. Химический состав сплава ИЧХ15Г4НТ и его влияние на эксплуатационные свойства помольных шаров // Сборник трудов 11-й Республиканской студенческой научно-технической конференции «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана»- Усть-Каменогорск, 2011г., С 89-90
4. Горбачев Л.А, Влияние низкотемпературной термической обработки на структуру и свойства сплава ИЧХ15Г4НТ// Л.А. Горбачев, А.Р. Кабышева // Вестник ВКТУ.-2011.-№ 1.- С.3- 6

КАБЫШЕВА АЙЖАН РАШИТОВНА

Кен астық басатын диірмендер үшін ИЧХ15Г4НТ-дан ұсататын шарлардың беріктіктер және тұрақты тоздырғыштар жоғарлатуы

Түйіндеме

Диссертацияның құрылымы және жұмыс көлемі кіріспеден, 5 бөлімнен, нәтижеден, баяндалған 65 беттен және: 27 сурет, 7 кесте, 45 әдебиет тізімінен тұрады.

Маңызды сөздер : Үйкеліске шыдамды шойын, қыздыру өңдеу, тұрақты тоздырғыш, аустенит, перлит, мартенсит, карбид эвтектика.

Зерттеулер өзектілік - екпінді-түрпілі жүктеулірге шарттарда жұмыс істейтін биік сапа бұйымдар өндіріс үшін материалдарда, өнеркәсіпте, әр түрлі салаларда тұрақты қажеттік, агрессивті орталарда сол санда (мысалы, шар сияқты диірмендердің) ұсататын шарлары және футерлеуі. Осы мәселелер шешім машина жасау өндірісі үшін көкейкесті мәселе болып отыр.

Зерттеулер мақсаты. ИЧХ15Г4НТ балқымадан ұсататын шарлардың балқыманың, қамтамасыз ететін биік қолдану кезіндегі мінездеменің қыздыру өңдеудің және ұтымды құрамының ұтымды тәртіппен әзірлеу.

Алған нәтижелер. Зерттеуден әдістерден кешеннен қолдануымен - оптикалық және электрондық микроскопия, өте жаңа рентгенодифракциялық жабдық, энергодисперсионлық талдау -, не нәтижеде не қойылған балқыманың төмен температуралы өңдеулері вариант зерттеған ұсынған тәртіп, қалай тең және балқыманың өздігінен шындалатын құрамы шарлардың биік қолдану кезіндегі қасиеттері ИЧХ15Г4НТ қамтамасыз етіп жатыр - тұрақты тоздырғыш, шарлардан тұрақты тоздырғыштан 10-12 рет артық 65 бастады, және диірмендерде жұмыста шарлардың бөлінулердің жоқтығы.

Жұмыстар ғылыми жаңалық. 1. Регрессия теңдеу процесс математикалық үлгі көп фактор тәжірибе нәтижелер бойынша алған (С балқыманың факторлардың ұтымды тіркесі растады ; Mn ; Cr), алған эксперименталды - оның әмбебаптық көрсетіп жатыр - басқа балқымалар үшін қолданулар мүмкіндігі. 2. Қойылған, не төмен температуралы қыздыру өңдеу ферромагнетиктердің білімге алып келіп жатыр. Олар шарлардың жеткілікті биік магнитті қасиеттерін қамтамасыз етеді, қажетті электр қранға диірменге шарлар жүктеу үшін олардың биік қаттылықтарының және тұрақты тоздырғыштарының есептің артына шарлардың механикалық қасиеттері жоғарылатып жатыр.

Зерттеулердің ғылыми маңыздылығы. Шарлардың биік қолдану кезіндегі қасиеттердің себептер қойылған :

- биік шаршаған соққыға шыдамды қалдық аустениттің демперленетін қасиеттермен мерзімді - ол өзі әсемділіктер қоры ұсынып жатыр - биік шаршаған беріктіктер қажетті шарт;

- биік тұрақты тоздырғыш пайда болған құрылыммен мерзімді - аустениттің ыдыраттының карбид эвтектика және өнімдері - троосто-мартенсит айналулар екінші карбидтер және өнімдер екпінді-майысқақ деформациялардың әсердің астына ағатын мартенсит айналуларға нәтижеде жұмыстарға процессте мықтылатын балқыманың қабілеттілікпен.

Жұмыстар жаттығу маңыздылық : алу Мүмкіндік оның өндірісте энергошығындар төмендетумен биік қолдану кезіндегі мінездемелермен өнімді.

Жариялаулар туралы мәліметтер. Диссертация тақырып бойынша 4 мақалалар жариялаған

Зерттеулер объект. Екпінді-түрпілі тоздыруға шарттарда жұмыс істейтін бұйымдар ИЧХ15Г4НТ үшін балқыма, астық басатын ұсататын шарлар үшін сол санда.

Зерттеулер бағыт. Биік сападан өнімнен алудан мақсатпен қыздыру өңдеулер балқыманың және тәртіптің ұтымды элементтік құрамның таңдау.

ДИССЕРТАЦИЯ ТАҚЫРЫБЫ БОЙЫНША ЖАРИЯЛАНҒАН ЖҰМЫСТАРДЫҢ ТІЗІМІ

1. Кабышева А.Р., Горбачев Л.А. «Үйкеліске шыдамды шойынның ИЧХ15Г4НТ-ның термоциклдық өңдеуі» // Студенттер, магистранттар, аспиранттар және жас ғалымдардың X Республикалық ғылыми-техникалық конференциясы , Өскемен, 2010г.
2. Горбачев Л.А., Кабышева А.Р Русин Ю.Г.,. ИЧХ15Г4НТ балқымадан ұсататын шарлардың қолдану кезіндегі қасиеттердің жоғарылатуы : «Халықаралық ғылымдардың Одағы Интернет-Конференциялар материалдар» (25-26.02.2011г.) // Л.А. Горбачев,. Ю.Г Русин, А.Р Кабышева. - Днепропетровск 2011
3. Кабышева А.Р., Горбачев Л.А «Химия құрамы ИЧХ15Г4НТ және оның ұсататын шарларға қолдану кезіндегі қасиеттерге өңдеуі» // Студенттер, магистранттар, аспиранттар және жас ғалымдардың X Республикалық ғылыми-техникалық конференциясы Өскемен, 2011г.
4. ИЧХ15Г4НТ// Горбачев Л.А «Төмен температуралы қыздыру балқыма құрылымға және қасиеттерге өңдеуі». Горбачев Л.А, Кабышева А.Р., ШҚМТУ.- Хабаршы 2011.-№ 1.

KABYSHEVA AIZHAN RASHITOVNA

Increased strength and durability of grinding balls made of alloy ICHH15G4NT for ore ball mills

Annotation

The theses consists of an introduction, 5 chapters, a conclusion, 65 text pages and contains 27 drawings, 7 tables, a list of biography with 45 titles.

Main concepts: Antiwear cast iron, the thermal cultivation, wear resistance, austenite, perlite, martensite, carbide eutectic, hardening.

The actual investigation - the constant demand in different branches industry in materials for production articles high quality, working in conditions shock-abrasive loadings, in that number in aggressive environment (for example, milling the ball and liner of spherical mills). The decision given problem be actual for machine-building production

The aim of investigation. The elaboration of optimal regime the thermal the cultivation and optimal composition floating, ensuring the high operational characteristic milling balls from floating ICHH15G4NT.

Obtained the results. With utilization complex methods investigation - the optic and electronic microscopy, new the X-ray diffraction the equipment, EDX analysis - exploring versions cold cultivation floating, in result that installed, what suggested the regime, no less than self-hardening the composition of floating ICHH15G4NT provide high operational proports balls - wear resistance, in 10-12 time exceeding the wear resistance of balls from 65 steel, and the absence of splits balls by job in mills.

The scientific the novelty of work.

1. Getting the regression equation $Y = 53.125 + 0.125X_1 + 0.375X_2 - 0.625X_3$ allows you to make prediction of the process of obtaining balls alloy ICHH15G4NT.
2. Determining the optimal composition of the alloy ICHH15G4NT (2.28 C; 2.32 Mn; 15.6 Cr; 0.3-0.5 Si; 0.4-0.8 Ni; 0.05-0.1 Ti)
3. Obtained by multivariable experimental mathematical model (regression equation) has confirmed an optimal combination of factors alloy (C; Mn; Cr), obtained experimentally - demonstrates its versatility - the possibility of applying for other alloys.
4. Established that the low-temperature thermal treatment leads to the formation of ferromagnetic (FeNi, FeTiO₃, Fe₂Si, FeCr, FeC). They provide a sufficiently high

magnetic properties of balls needed to boot the ball into the mill electric crane, as well as increase the mechanical properties of the balls due to their high hardness and wear resistance

Scientific Value: Installed the cause high operational qualities : The balls of high fatigue shock stability caused to damping qualities residual austenite – they represents itself stock of toughness - necessary condition of high fatigue durability; The - high wear resistance caused formed structure - the carbide eutectic and products of disintegration austenite - the second carbide and products of troost-martensitic transformation, and also faculty floating hardened in process work in result martensitic transformations, streaming under influence shock-plastic strains.

Practical Value of Research: Possibility to obtain production with high operational characteristics with fall energy costs by her production.

The information of publications. On to the subject to thesis published 4 article

The object of investigation. The floating ICHH15G4NT. for articles, working in conditions shock-abrasive deterioration, in that number for milling balls.

The direction of investigation. The choice of optimal element composition floating and regime thermal cultivation with aim receipt production high quality.

THE LIST OF THE PUBLISHED ARTICLES BY THE THESIS'S TOPIC

1. Kabysheva A.R, Gorbachev L.A. Thermal cycling treatment (TCT), wear-resistant iron ICHH15G4NT // Proceedings of the 10 th Republican Student Scientific Conference "Creation of young and innovative development of Kazakhstan - Ust-Kamenogorsk, 2010.
2. Gorbachev LA, Rusin, U.G, A.R Kabysheva Improving operational properties of grinding balls made of alloy ICHH15G4NT: Proceedings of the International Internet Conference "Alliance of Science: the scientist - the scientist" (25-26.02.2011g.) / L.A Gorbachev, U.G Rusin, A.R Kabysheva. - Dnepropetrovsk, 2011.
3. Kabysheva A.R, Gorbachev L.A. Chemical composition of the alloy ICHH15G4NT and its impact on the operational properties of grinding balls // Proceedings of the 11 th Republican Student Scientific Conference "Creation of young and innovative development of Kazakhstan - Ust-Kamenogorsk, 2011.
4. Gorbachev L.A., Effect of low-temperature heat treatment on structure and properties of the alloy ICHH15G4NT / L.A Gorbachev, A.R Kabysheva Vestnik VKTU.-2011 .- № 1 .