

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

МОРСЬЕГО САКЕР Освальдо Хорхе

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ
СТАЛИ И ЧУГУНА НА ОСНОВЕ
МЕТАЛЛИЗОВАННОГО СЫРЬЯ
ИЗ КОНЦЕНТРАТА «САНТЬЯГО»**

Специальность 05.16.02 — «Металлургия черных металлов»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



00814798 (.)

Работа выполнена в Д
политехническом институте.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ИВАНОВ А. И.

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент
САФЬЯНЦ С. М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
АНДРОНОВ В. Н.,
кандидат технических наук,
ПАХОМОВ И. А.

Ведущее предприятие - Донецкий металлургический завод.

Защита состоится "3" нояб 1993 года в 10⁰⁰ часов
в аудитории 353 пятого учебного корпуса на заседании специализи-
рованного совета Д 068.20.01 при Донецком политехническом инсти-
туте (340000, г. Донецк, ул. Артема, 58).

С диссертацией можно познакомиться в библиотеке Донецкого
политехнического института.

Автореферат разослан "21" нояб 1993 года.

Ученый секретарь
специализированного совета Д 068.20.01,
доктор технических наук, профессор

ЯРОШЕВСКИЙ С. Л.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В основных направлениях экономического и социального развития Республики Куба намечена большая программа развития народного хозяйства, предусматривающая дальнейший рост продукции машиностроения, и в первую очередь, запасных деталей для сахарных заводов, горно-металлургической промышленности, сельскохозяйственной техники, транспорта. Общий объем производства литейных сплавов будет превышать 160 тысяч тонн/год.

В настоящее время перед литейщиками Кубы стоят проблемы организации производства и освоения отливок новых видов, повышения качества и надежности литых деталей, расширения использования в литейном производстве местных материалов и ресурсов.

В литейном производстве практически не применяют традиционные специальные дорогостоящие методы внепечной обработки металла (вакуумирование, продувку инертными газами, обработку металлов синтетическими шлаками и т. д.), которые широко используются в металлургии. Это объясняется тем, что разливка жидкого металла из печи производится ковшами малой емкости и нежеланием литейщиков усложнять технологию получения чугуна и стали. При этом высокое качество отливок не достигается, что приводит к повышению их металлоемкости.

С ростом требований к качеству отливок все более актуальным становится использование металлизированного сырья вместо скрапа для выплавки качественных литейных сплавов, вследствие повышенной чистоты по вредным примесям и примесям цветных металлов, возможность организации маломасштабного производства с использованием железорудного концентрата "САНТЬЯГО" и древесного угля, полученного из отходов от сахарного производства.

Сказанное определяет актуальность исследования влияния первородной шихты, произведенной на базе местных ресурсов, на структуру, механические свойства и служебные характеристики литейных сплавов.

Цель работы. Получение и исследование стали и чугуна с использованием металлизированного сырья на базе железорудного концентрата "САНТЬЯГО" и древесного угля с целью улучшения их качества.

В соответствии с целью работы решались следующие задачи:

- изучение комплексных характеристик железорудного концентрата "САНТЬЯГО" и получение металлизированного сырья, отвечающего требованиям металлургического производства;

- изучение влияния первородной шихты и легирующих элементов на механические свойства и износостойкость стали, при помощи регрессионного анализа и косвенных методов исследования (металлографического, рентгенографического, оценка служебных свойств);

- промышленное освоение технологии выплавки стальных литых деталей на основе металлизированного сырья из концентрата "САНТЬЯГО";

- получение литейного чугуна в индукционной печи при применении в шихте металлизированного материала и стального лома, и исследование его характеристик;

Научная новизна. Проведены комплексные исследования железорудного концентрата "САНТЬЯГО". Доказана возможность получения в полупромышленных условиях металлизированного сырья на базе кубинских железорудных и топливных ресурсов, отвечающего металлургическим требованиям. Оработана методика и осуществлена серия опытных плавок сталей на основе металлизированного сырья из концентрата "САНТЬЯГО". Получены регрессионные уравнения связи между химическим составом и ударной вязкостью, относительной износостойкостью. На основании математической обработки разработана технология выплавки легированной стали на основе металлизированного сырья из концентрата "САНТЬЯГО" в заводских условиях. Определено влияние этого металлизированного сырья на структуру, механические свойства и эксплуатационные характеристики стали. Доказана возможность получения синтетического чугуна со значительно улучшенными эксплуатационными свойствами на основе металлизированного сырья.

Практическая ценность. Предложена технологическая схема производства металлизированного сырья на базе железорудного концентрата "САНТЬЯГО". Доказана возможность получения литейных сплавов с улучшенными эксплуатационными свойствами, с использованием кубинских ресурсов. Результаты проведенных исследований будут использоваться при разработке и освоении новых видов отливок в литейном производстве Республики Куба.

Апробация работы. Отдельные положения работы доложены на:

- научно-технической конференции "Научно-исследовательского центра черной металлургии, Никаро, Куба, 1990 год;

- расширенном заседании кафедры " Промышленная теплоэнергетика " Донецкого политехнического института, 1993 год.

По материалам диссертации опубликовано четыре статьи.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и общих выводов. Общий объем работы - 155 страниц, 34 рисунка и 21 таблица. Список литературы из 149 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен теоретический анализ по изучению влияния случайных и постоянных примесей элементов цветных металлов, неметаллических включений и содержания газов на свойства железоуглеродистых сплавов. Установлено, что качество и служебные свойства металла определяются не только обычным химическим составом, но и характеристиками более глубоких свойств: содержанием неметаллических включений и их типом, количеством газов и микропримесей цветных металлов.

В ряде исследовательских работ убедительно показано, что применение первородной шихты позволяет снизить содержание примесей цветных металлов и улучшить технологические и эксплуатационные свойства сплавов.

Во второй главе проведен обзор литературных источников, посвященных процессам получения металлургического сырья, охарактеризован железорудный концентрат "САНТЯГО" и приведены результаты получения металлургического сырья.

На основании анализа литературных источников, и учитывая необходимость создания маломасштабного производства с использованием кубинских железорудных и энергетических ресурсов, обеспечение металлургическим сырьем мелких потребителей, нами была предложена технология производства тяжеловесного металлургического сырья твердым восстановителем в туннельной проходной печи, обладающая следующими преимуществами: полученный продукт имеет плотность до 5 г/см^3 , не подвержен вторичному окислению и не пирофорен.

Важным фактором, определяющим возможности развития процессов прямого восстановления, является наличие ресурсов легкообогатимого и чистого по вредным и цветным примесям железорудного сырья. Характеристики железорудного концентрата "САНТЯГО" приведены в таблице 1. Анализом эквивалентного магнетита установлено, что со-

держание магнетита составляет 70.86%.

Таблица 1.

Химический состав железорудного концентрата "САНТЬЯГО"

№ п/п :	Химический состав	Количество, %
1.	Fe _{общий}	69.51
2.	FeO	28.39
3.	SiO ₂	0.83
4.	CaO	0.42
5.	MgO	0.33
6.	Al ₂ O ₃	0.66
7.	S	0.02
8.	P ₂ O ₅	0.01
9.	MnO	0.34
10.	Cr ₂ O ₃	0.016
11.	NiO	0.032
12.	TiO ₂	0.10
13.	ZnO	0.006
14.	PbO	0.0072
15.	CoO	0.038
16.	V ₂ O ₅	0.0016
17.	SnO	0.0003
18.	Na ₂ O + K ₂ O	0.069

Петрографические исследования концентрата магнетитовых руд показали, что основная масса представлена рудными компонентами в виде зерен оксидов белого цвета с микротвердостью 400 кгс/мм². Эти зерна представляют собой магнетит неправильной формы. Средний размер зерна равен 0.09 мм. За счет измельчения руды количество свободных зерен магнетита составило примерно 85%. Остальная масса концентрата (примерно 15%) представлена зернами кварца серого цвета. Средний размер равен 0.153 мм.

Термогравиметрический анализ, проведенный при помощи термоа-

нализатора GD1024AV SETERAM, показал, что по мере роста температуры начинается первая трансформация, обусловленная поверхностным окислением зерн, при переходе иона Fe^{2+} в Fe^{3+} . На кривой ATD проявляется экзотермическое воздействие с выраженным пиком при $370-375^{\circ}C$, который сопровождается на кривой ATG ростом массы, который продолжается до $1000^{\circ}C$. На этой кривой ясно виден маленький пик при $585^{\circ}C$, соответствующий оксидной трансформации магнетита. При температуре от 600 до $950^{\circ}C$ наблюдается значительный эффект, максимально выраженный при $700^{\circ}C$, соответствующий глубокому окислению зерен магнетита и приводящий через полиформные необратимые превращения к гематиту.

При исследовании концентрата на электронном микроскопе с микрозондом JEOL модель JSM-800, с анализатором LINK AN-10000, Установлено, что концентрат представляет собой достаточно однородные частицы магнетита. Содержание железа 70.53% в магнетитовой фазе, выраженного как Fe_3O_4 , соответствует 97.47% .

Исследование размягчения и расплавления концентрата производилось на установке LECO, на которой достигается максимальная температура $1650^{\circ}C$. Установлено, что температура размягчения равна $1585^{\circ}C$, температура расплавления равна $1593^{\circ}C$.

Процесс получения металлизированного сырья был проведен методом твердофазного восстановления рудугольных заготовок в туннельной проходной печи, обогреваемой продуктами горения природного газа, сжигаемого с коэффициентом расхода воздуха равным $0.5-0.5$. При производстве рудугольных заготовок восстановителями могут служить любые виды низкосортного твердого топлива, эффективность которого возрастает по мере снижения в нем концентраций S. В качестве твердого восстановителя применялся древесный уголь, полученный с использованием отходов от сахарного производства. Содержание нелетучего углерода 72.32% .

В качестве шихты для производства металлизированного сырья использовали следующие материалы: 79% концентрата "САНТЯГО", 20% древесного угля, 1% бентонита, Отношение $C/Fe = 0.262$.

Данный процесс осуществлялся при 1150-1200°C. Длительность восстановления характеризовалась временными затратами на движение теплового потока от поверхности к центру заготовки, имеющей данную температуру. Установлено, что время металлизации составляет 4 часа при диаметре 80мм. Металлизацию заготовки проводили по следующим температурным режимам:

Номер зоны	"0"	"1"	"2"	"3"
Температура, °C	650 - 750	1000 - 1100	1150 - 1200	1200 - 1100

Восстановление по такому режиму нагрева отвечает условию равномерного прогрева заготовок, так как температура первой зоны позволяет заготовкам, попадающим во вторую зону иметь минимальную разницу температур поверхности-центра, что препятствует растрескиванию заготовок, создает благоприятные условия для завершения реакции восстановления в центре заготовки за счет увеличения времени выдержки материала при высоких температурах. При температуре на выходе третьей зоны 1100°C обеспечивается выравнивание температуры достаточной для завершения процесса.

Проведен сравнительный анализ трех металлизированных материалов: железорудного концентрата "САНТЯГО", "ТМС" и окатышей СЭМК. В таблице 2 приведены химические и физические характеристики металлизированных материалов. Анализ показал, что металлизированное сырье "САНТЯГО" и окатыши СЭМК имеют низкое содержание серы и фосфора и примесей цветных металлов. "САНТЯГО" и "ТМС" обладают высокой плотностью по сравнению с окатышами СЭМК.

Петрографическим исследованием установлено, что микроструктура металлизированного сырья из концентрата "САНТЯГО" представлена металлическим железом и силикатной связкой. В меньшем количестве присутствует вустит, который находится в центре участков металлического железа.

В третьей главе излагаются результаты по выплавке стали на основе металлизированного сырья. Особый интерес представляет выявление возможного влияния использования металлизированного сырья на свойства и качество износостойкой стали для литых деталей, работающих в тяжелых условиях.

С целью повышения качества и надежности литейных сталей, идущих на изготовление деталей ответственного назначения,

Характеристики металлизированных материалов

Показатели	: Сантьяго	: ТМС	: ОЭМК
Fe общ., %	89.5	90.0	90.66
Fe мет., %	81.33	83.4	83.17
Степень металлизации, %	90.8	92.6	91.73
Эффект. степень метал-ции, %	96.8	99.8	106.13
SiO ₂	3.0	2.1	4.2
Al ₂ O ₃	0.83	1.6	0.9
CaO	0.34	0.7	0.6
MgO	0.29	0.1	-
MnO	-	0.28	-
FeO	10.72	8.67	9.76
O ₂	2.48	2.01	2.26
S	0.014	0.16	0.01
P	0.01	0.01	0.026
C	1.08	1.2	2.4
Zn	0.00014	0.0009	0.0009
Sn	0.0003	0.0004	0.0004
Pb	0.0043	0.0017	0.0017
Основность :	0.16	0.22	0.11
Гранулометрический состав, %			
10- 16 мм	-	-	87.28
Плотность, г/см ³	3.7	4.0	2.45

была поставлена задача разработать износостойкую сталь на основе металлизированного сырья из концентрата "САНТЬЯГО".

С целью выбора литой стали с оптимальными свойствами износостойкости и пластичности проведена серия плавки сталей на основе 100% металлизированного сырья в лабораторных условиях. Технологический процесс плавки осуществлялся с непрерывной загрузкой шихты. Непрерывную загрузку губчатого железа "САНТЬЯГО" начинали только при образовании жидкой ванны, которая достигается при наличии 30% шихтовых материалов. После получения жидкой ванны на ее поверхности, со скоростью 30 кг/мин подавалась оставшаяся

часть губчатого железа. Скорость присадки металлургического сырья регулировалась таким образом, чтобы печь в нормальном режиме работала при полной мощности трансформатора. В дальнейшем скорость загрузки регулировали в зависимости от температуры металла, замеряемой через определенные интервалы времени таким образом, чтобы в конце присадки шихты металл был нагрет примерно на 1600°C . Температура выпуска при достижении заданного состава металла была $1580-1600^{\circ}\text{C}$.

Поскольку в металлургическом сырье присутствуют углерод и кислород, при продвижении фронта расплавления отдельных кусков материалов они высвобождаются в оплавленной кромке куска одновременно. Благодаря этому, процесс обезуглероживания можно переместить из фазы окисления непосредственно в фазу расплавления. Длительность плавки в среднем составляла 3,8-4 часа.

Плавки на металлургическом сырье характеризовались достаточно низким уровнем содержания в металле фосфора. При плавке металлургического сырья из концентрата "САНТЯГО" с большим удельным весом, заготовки погружаются в жидкую ванну, и процесс плавления происходит в объеме металла. Пустая порода содержится в оксидной форме. Фосфор участвует в образовании шлака, который всплывает на поверхность ванны, не успев перейти в металл, за счет малого времени контакта. Пониженное содержание S в шихте обеспечивало проведение плавки под одним шлаком.

Для установления зависимости между механическими свойствами сталей, выплавленных на основе металлургического сырья из концентрата "САНТЯГО" и химическим составом был использован метод регрессионного анализа результатов исследования опытных сплавов. На основании опыта и анализа литературных данных были определены следующие пределы изменения основных элементов: C - 0,25 - 0,50%, Si - 0,7-1,4%, Mn - 0,8-1,6%, Cr - 0,5-1,5%, V - 0,1-0,5%. В результате статической обработки полученных следующих уравнения регрессии.

Для ударной вязкости :

$$Y_1 = -69,774 + 1774,39 \text{ Si} - 864,02 \text{ C}^2 - 713,39 \text{ Si}^2 - 53,79 \text{ Mn}^2$$

Для относительной износостойкости :

$$Y_2 = -0,2702 + 18,04 \text{ C} - 5,015 \text{ Mn} + 0,333 \text{ Cr} + 10,28 \text{ V} - \\ - 23,18 \text{ C}^2 + 1,952 \text{ Mn}^2 - 14,43 \text{ V}^2.$$

Кроме того была решена задача определения зависимости ударной вязкости и износостойкости от параметров, определяемых при испытании образцов на растяжение. Получены следующие уравнения регрессии.

Для ударной вязкости :

$$Y_1 = - 9399.5 - 1.278 \sigma_b + 27.534 \sigma_T + 91.029 \psi - 0.0197 \sigma_T^2 - 0.941 \psi^2.$$

Для относительной износостойкости :

$$Y_2 = 148.53 + 0.349 \sigma_b - 0.0002 \sigma_T^2 + 0.0004 \psi^2.$$

Проверка адекватности полученной модели экспериментальным данным (расчет коэффициентов корреляции факторов с откликом, остаточной дисперсии, совокупного коэффициента корреляции, среднего квадрата регрессии, критерий Фишера) подтвердила значимость всех полученных уравнений регрессии.

Для проверки полученных результатов в промышленных условиях проводились серии плавки на рядовых конструкционных сталях, выплавленных из металлизированного сырья из концентрата "САНТЬЯГО", и для сравнения на стальном ломе (базовая плавка), легированных Cr и V в указанных пределах.

Для проведения опытно-промышленных плавок была использована электро-дуговая сталеплавильная печь ДСП-0.5 с трансформатором мощностью 800 кВА и напряжением на нижней стороне от 32 до 180 В, автоматическим регулятором мощности дуги и механизмом наклона. Стены и подина печи футерованы магнезитовым кирпичом, свод-хромомагнезитовым.

В процессе расплавления под электроды забрасывали известь и плавиковый шпат. Известь присаживали в количествах, требуемых для поддержания основности шлака равной 1.3-1.8 и минимального содержания FeO в нем. Шлак раскисляли порошком электродного боя и силикокальция.

Раскисление металла в печи проводили комбинированно ферромарганцем и ферросилицием, а в ковше - Al в количестве 0.5кг/тонну стали. Перед окончанием плавки(за 20-30 мин) добавляли феррохром и феррованадий в хорошо нагретый металл под раскисленный шлак для получения 0.5% Cr и 0.1% V в готовой стали. Готовую сталь разли-

вали при 1560 - 1580⁰ С. Результаты опытно-промышленных плавок представлены в таблице 3. Из полученных сталей были отлиты направляющие башмаки шахтных подъемников.

Служебные свойства стали зависят не только от содержания легирующих и вредных примесей, регламентируемых стандартами, но и от примесей цветных металлов. Как видно из таблицы 4, в стали, выплавленной на основе металлизированного сырья из концентрата "САНТЬЯГО", сумма микропримесей цветных металлов ниже, чем в стали, выплавленной из стального лома. В таблице 5 приведены результаты анализа концентрации газов в жидком металле.

Исследованием макроструктуры выявлено, что отливки из опытной стали имеют плотную, мелкозернистую структуру, отсутствует четкая дифференциация по зонам, нет пузырей и усадочной раковины.

При исследовании неметаллических включений обнаружено, что они в базовой стали расположены по границе зерен. Часть оксидов находится внутри сульфидов, поэтому при визуальном микроскопическом анализе наблюдаются оксисульфиды. В опытной стали количество оксисульфидов незначительное. Это обусловлено, очевидно, небольшой концентрацией серы в металле (в 2 раза меньше, чем в обычной плавке). Металлографические исследования опытной стали показали, что сталь загрязнена главным образом сульфидами ванадия и марганца. Наблюдается небольшое количество кристаллов нитридов ванадия. Результаты анализа представлены в таблице 6.

По результатам исследований был выбран оптимальный режим термической обработки башмаков:

1. Отжиг при 880⁰ С в течение 2 часов с последующим охлаждением с печью.

2. Закалка при 880⁰С в течение 1.5 часа, с последующим душированием водой в течение 100 сек рабочей поверхности, а затем за счет внутреннего тепла происходил самоспуск примерно до 600⁰С.

Микроструктура рабочей поверхности отлитой из опытной стали детали представляет собой сорбит отпуска с твердостью по HRC = 36 - 38, то есть рабочая поверхность имеет наиболее оптимальную микроструктуру.

Таблица 3

Основные показатели опытно-промышленных плавков.

N :	Параметры	:	Базовая	:	Опытная N 1	:	Опытная N 2
1.	Химический состав, %						
	углерод		0.30		0.35		0.29
	кремний		1.01		0.81		0.73
	марганец		1.00		0.84		0.66
	хром		0.54		0.57		0.59
	ванадий		0.07		0.08		0.10
	сера		0.026		0.012		0.010
	фосфор		0.032		0.015		0.018
2.	Длительность плавки, ч		4.3		4.0		4.1
3.	Расход эл. энергии кВт. ч/т		595		621		620
4.	Выход годного, %		93.4		89.8		90.1

Таблица 4

Содержание примесей цветных металлов в базовой и опытной сталях

ПЛАВКИ	Содержание элементов, мас. %					
	Cu	Sn	Sb	Pb	Zn	As
Базовая	0.25	0.0033	0.0021	0.0018	0.0017	0.005
Опытная	0.01	0.0001	0.0008	0.0002	0.0009	0.001

Таблица 5

Содержание газов в базовой и опытной сталях

ПЛАВКИ	Содержание газов, %		
	кислород	азот	водород
Базовая	0.008	0.006	0.0004
Опытная	0.006	0.005	0.0002

Таблица 6.

Содержание неметаллических включений в сталях

	Количество неметаллических включений			
	оксидов	сульфидов	силикатов	Общая загрязненность
Базовая	0.0198	0.0404	0.0032	0.0634
Опытная 1	0.0102	0.0114	0.0115	0.0331
Опытная 2	0.0099	0.0134	0.0255	0.0487

Механические свойства в значительной степени отражают эксплуатационные характеристики отливков. Образцы для механических испытаний вырезали из пробных брусков, а для определения ударной вязкости непосредственно из тела башмака. Полученные результаты механических испытаний представлены в таблице 7.

Таблица 7

Механические свойства опытно-промышленных сталей.

ПЛАВКИ	Механические свойства					
	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, МДж/м ²	НВ
Базовая	305	575	10.0	19.0	377	195
Опытная 1	340	340	11.5	21.0	403	251
Опытная 2	318	360	11.0	21.0	406	243

Результаты рентгенографических исследований базовой и опытной стали, проведенных на рентгеновском аппарате ДРОН-3, показали, что в обеих сталях обнаруживается лишь фаза α -Fe. Плотность дислокации в стали на базе стального лома в 106 раз выше, чем в опытной стали. Размеры блоков мозаики сталей, выплавленных на основе металлизированного сырья, значительно больше, а плотность дислокации меньше, чем у сталей, выплавленных из лома, что, как известно, ведет к увеличению пластичности сталей.

Электронно-микроскопический анализ поверхности разрушения стали позволил установить следующие закономерности: разрушение металла в основном имеет вязкий характер, типа конусчашечка с зарождением микротрещин при ударном разрушении по границе раздела карбид-матрица.

В результате сравнительных испытаний опытных и базовых башмаков установлено, что опытные башмаки имеют высокую эксплуатационную стойкость, в 2.5 - 3 раза выше, чем базовые (таблица 8).

Таблица 8

Результаты опытно-промышленных испытаний.

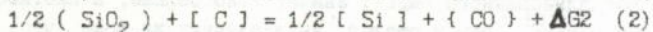
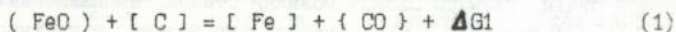
Место испытаний	Базовая партия		Опытная партия	
	Отработанные: сутки	Количество: ходок	Отработанные: сутки	Количество: ходок
Подъемник ствол	34	3965	102	12202
Грузолюдный лифт	32	4793	89	13486

Произведенный технико-экономический расчет показал, что при использовании стали, выплавленной на основе металлизированного сырья дает экономию примерно 21 тысячу рублей в год по ценам 1991 года.

В четвертой главе анализируется перспективность технологий получения литейного чугуна.

Значительные перспективы для упрощения технологии получения высокопрочных чугунов открывает применение первородной шихты. Использование ее при выплавке чугуновых отливок наиболее целесообразно для замены дорогой части шихты - чушкового чугуна.

Для выбора оптимального режима плавки провели анализ химических реакций, протекающих при плавлении губчатого железа после расплавления шихты и перегрева расплава. В расплаве протекают процессы восстановления оксидов железа и кремния углеродом по реакциям :



Термодинамический анализ реакций позволил выявить, что при увеличении температуры жидкого металла увеличивается термодинамическая вероятность протекания процессов восстановления Fe и Si, следовательно наиболее благоприятный интервал температуры перегрева - 1550-1570°C при плавке чугуна и в металлургическом отношении для полного протекания реакции восстановления Fe на FeO.

Опытные плавки проводили в индукционной печи ИСТ-0.06 с магнезитовой футеровкой. Были проведены три серии плавов, в которых содержание металлизированного материала варьировалось на трех уровнях: 40, 60 и 100% от веса шихты. В качестве науглероживателя применяли электродный бой с содержанием S 0.03%. Содержание Si и Mn регулировали вводом ферросилиция и ферромарганца.

Электродный бой во всех плавках давали на дно тигля в завалку. В опытных плавках 2 и 3 загрузку металлизированного сырья начали, когда в печи был расплавлен стальной лом и образована жидкая ванна порциями до 1.5 кг при температуре 1520°C. При использовании 100% металлизированного сырья для ускорения расплавления применяли графитовый стержень и загрузку осуществляли порциями до 1 кг в предварительно образованную 20% шихтой жидкую ванну.

После расплавления и перегрева расплава до 1570°C с выдержкой при этой температуре 10-15 мин, охладили расплав в печи до 1460°C и вводили ФС-75 и ФМН5. При такой температуре скачивали шлак и разлили металл.

В таблице 9 приведены результаты опытных плавов. Анализ химического состава полученных чугунов показал, что применение металлизированного сырья из концентрата "САНТЬЯГО" практически не влияет на содержание основных компонентов чугуна (C, Si, Mn), однако с увеличением доли первородной шихты от 0 до 100 % содержание примесей в чугуне снижается : от 0.17 до 0.01% Cr, от 0.14 до

0.03% Ni, от 0.143 до 0.025% S и от 0.045 до 0.016% P. Выход годового снижается примерно на 5 % при увеличении доли металлургического сырья в шихте.

На рис. 1 представлен график зависимости угара C, Si и Mn от температуры, при которой вводился ФС-75 и ФМн5. Из графика видно, что минимальный угар Si и Mn наблюдается при вводе ферросплавов в расплав после перегрева до 1570°C и охлаждения его до 1460°C. Угар C при этом, напротив, увеличивается, так как возрастает содержание FeO и Fe, при температуре ниже 1500°C восстанавливается Si и Mn, а выше 1500°C углеродом.

Температура шихты, нагреваемой индукционным способом, увеличивается, пока подводимая мощность превышает мощность тепловых потерь, возрастающих с ростом температуры, поэтому достижимая температура определяется, главным образом, величиной подводимой мощности, то есть, чем выше питающая мощность и частота печи, а

Таблица 9
Результаты экспериментальных плавов чугуна.

N : Состав п/п: шихты	Химический состав чугуна, вес, в %							Выход : годно- : го, %
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	
1. 85% ЛК-4 5% стального лома 10% чугунного лома	3.45	1.72	0.85	0.17	0.14	0.043	0.045	95.3
2. 40% "Сантья- яго" 60% лома	3.30	1.94	0.81	0.05	0.08	0.030	0.027	93.4
3. 60% "Сантья- яго" 40% лома	3.80	2.02	0.76	0.01	0.03	0.028	0.021	91.8
4. 100% "Сантьяго"	3.70	2.04 ^c	0.84	0.01	0.03	0.025	0.016	90.4

также, чем крупнее куски металлizedованного материала в шихте, тем большая мощность индуцируется в садке, тем быстрее можно нагреть и расплавить шихту. На рис. 2 показана зависимость температуры шихты и подводимой мощности от длительности плавления при выплавке металлizedованного сырья.

Во всех плавках расход электроэнергии на расплавление шихты определяли при 1500°C металла. Средний удельный расход электроэнергии составил 754 кВт. ч/т. Зависимость среднего расхода электроэнергии на одну тонну выплавленного чугуна от доли металлizedованного сырья в шихте приведена на рис. 3.

В результате определения содержания микропримесей цветных металлов и газов обнаружено, что по ряду таких элементов, как Cu, Sb, Pb, Sn, As, при увеличении доли первородной шихты, чугун становится существенно более чистым. Содержание газов в жидком металле уменьшается с увеличением количества металлizedованного сырья в шихте.

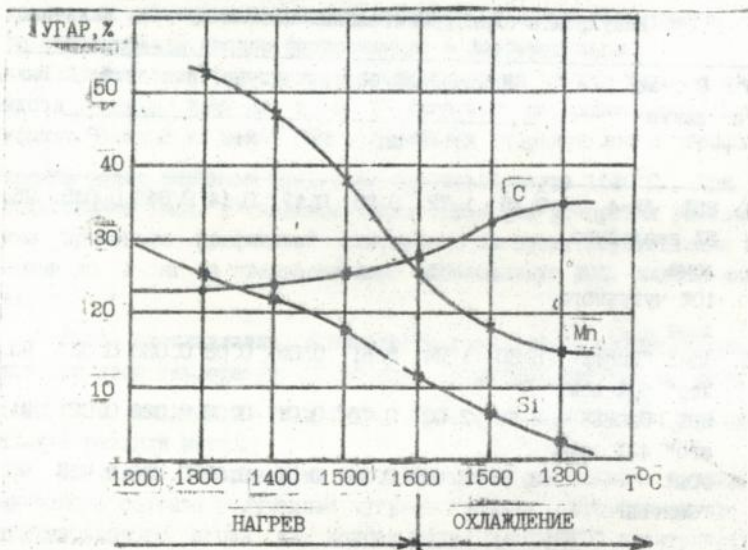


Рис. 1. Зависимость угара углерода, кремния и марганца от температуры.

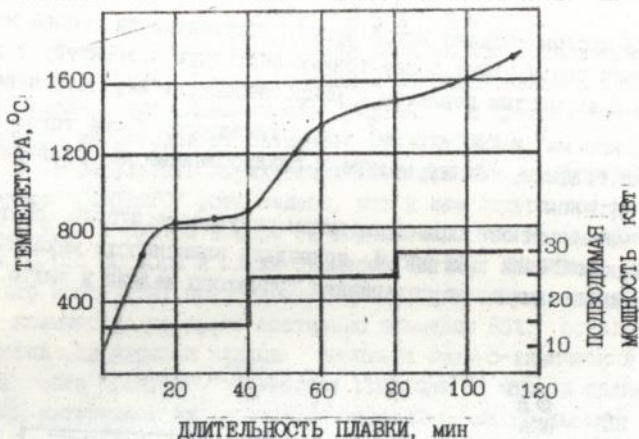


Рис. 2. Зависимость температуры шихты от длительности плавки.

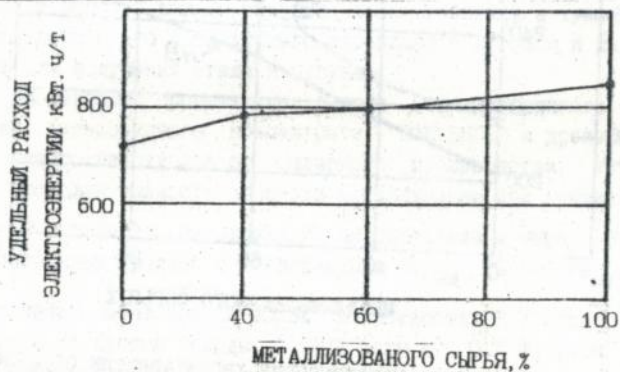


Рис. 3. Зависимость удельного расхода электроэнергии от доли металлизированого сырья в шихте.

Оценка микроструктуры базового и опытного чугуна показывает, что литой базовый чугун имеет выделения графита, характерные для обычного серого чугуна. Микроструктура металлической основы представляет собой пластинчатый перлит, микротвердость перлита

равна 233 кгс/мм^2 Однако литой чугун, полученный на основе металлизированного сырья, имеет более тонкую перлитную структуру с пластинчатым и зернистым перлитом, с микротвердостью зернистого перлита - 212 кгс/мм^2 и 240 кгс/мм^2 - пластинчатого. Кроме того, видны пластинки графита, более мелкие и раздробленные по сравнению с базовым чугуном.

По механическим характеристикам полученные чугуны соответствуют маркам СЧ-20. На рис. 4. приведена зависимость механических характеристик чугуна от содержания губчатого железа в шихте.

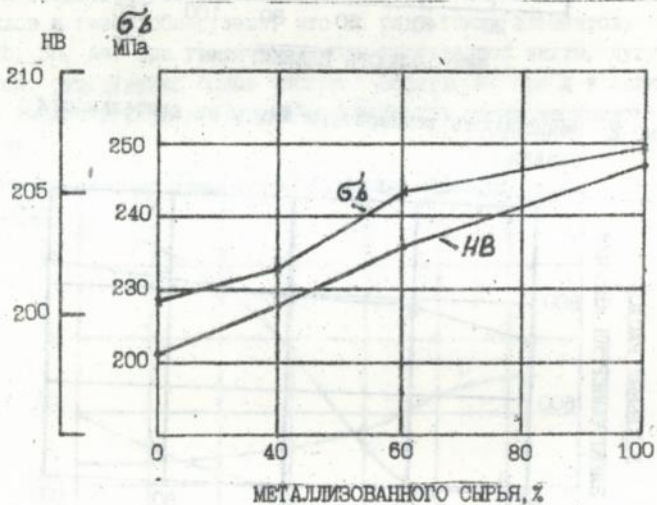


Рис 4. Зависимость механических характеристик от содержания металлизированного сырья "САНТЬЯГО" в шихте.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана и исследована комплексная технология получения стали и чугуна с использованием металлизованного сырья на основе железорудного концентрата "САНТЯГО" и древесного угля, полученного из отходов от сахарного производства.

2. В результате комплексных исследований железорудного концентрата "САНТЯГО" установлено, что в нем содержится 69.51% железа, 2.25% пустой породы (в том числе 0.83% кремнезема), 0.02% серы, 0.01% фосфора и следы примесей цветных металлов. Установлено, что концентрат представляет собой однородные частицы магнетита, количество которого составило примерно 85%, остальная масса представлена зернами кварца. Комплекс физико-химических свойств концентрата "САНТЯГО" позволяет утверждать, что он является пригодным материалом для получения металлизованного сырья.

3. Учитывая необходимость создания маломасштабного производства с использованием кубинских железорудных и энергетических ресурсов для обеспечения металлом мелких потребителей, нами была предложена технология производства тяжеловесного металлизованного сырья с использованием твердого восстановителя в туннельной проходной печи и его последующего переплава в дуговой и индукционной печах для получения стали и чугуна.

Произведена промышленная партия металлизованного сырья на основе железорудного концентрата "САНТЯГО" и древесного угля, полученного из отходов от сахарного производства. Установлено, что продолжительность процесса металлизации при температуре 1150-1200°C и диаметре заготовки 80 мм составила 4 часа. Получен металлизованный продукт с содержанием $Fe_{\text{общ}} - 89.5\%$, $Fe_{\text{мет}} - 81.33\%$, со степенью металлизации 90.8% и плотностью 3.7 г/см³, с содержанием 4.6% пустой породы, 0.014% серы и 0.01% фосфора.

Следовательно, металлизованное сырье, полученное на базе кубинских железорудных и топливных материалов удовлетворяет требованиям металлургического производства.

4. В лабораторных условиях проведены серии опытных плавов с использованием в шихте 100% металлизованного сырья "САНТЯГО" для выбора стали с оптимальными свойствами износостойкости и пластичности. Установлена зависимость между эксплуатационными свойствами сталей и их химическим составом при помощи регрессионного анализа результатов проведенных плавов. Решена задача оптимального соче-

тания химического состава стали и свойств пластичности и износостойкости. Кроме того, определено, что удельная вязкость исследуемых сталей имеет регрессионную связь с пределами прочности, текучести и с относительным сужением и не зависит от относительного удлинения. Относительная износостойкость имеет регрессионную связь лишь с пределом прочности и относительным сужением.

5. В опытно-промышленных условиях проведены плавки конструкционных сталей, выплавленных из металлизированного сырья и для сравнения - из обычных шихтовых материалов, микролегированных ванадием. Выявлено, что при использовании первородной шихты получены отливки более плотные, без пор и пузырей с небольшой усадочной раковинной. Неметаллические включения в опытной стали расположены более равномерно и мелкодисперсно. Содержание оксидов, сульфидов и силикатов (в сумме) составило 0.04 против 0.063 в базовой стали. Получены опытные стали с улучшенными пластическими свойствами вследствие снижения содержания примесей цветных металлов до 0.0001%, серы до 0.012%, фосфора до 0.018%. Содержание водорода и азота в опытной стали составило 0.0002% и 0.005% соответственно против 0.0004% и 0.006% в базовой стали. Определено, что опытные стали имеют большие размеры блоков мозаики и меньшую плотность дислокации, чем базовые стали. По результатам механических испытаний установлено, что применение первородной шихты способствует значительному улучшению механических свойств стали. В опытной стали пределы прочности и текучести а также, ударная вязкость на 10-15% выше, чем в базовой стали.

При сравнительных испытаниях базовых и опытных направляющих башмаков установлено, что стойкость опытных башмаков в 2.5 - 3 раза выше стойкости базовых. Экономия при использовании предлагаемой технологии составляет 21 тысячу рублей в год по ценам 1991 г.

6. Экспериментально установлено, что присутствие в шихте металлизированного сырья не затрудняет процесс плавки чугуна в индукционной печи. Термодинамическим анализом установлено, что наиболее благоприятным температурным интервалом перегрева расплава является 1550-1570⁰С, с последующим охлаждением до 1450⁰С.

Расход электроэнергии зависит от доли металлизированного сырья в шихте, по мере его увеличения возрастает удельный расход элект-

розэнергии и составляет в среднем 754 кВт.ч/т.

Выход годного металла снизился примерно на 5% при увеличении количества металлургического материала в шихте до 100%.

7. Доказано, что при увеличении металлургического сырья в шихте значительного уменьшается количество вредных примесей и газов в чугуне. Металлографическим анализом показано, что литой опытный чугун имеет более тонкую структуру с пластинчатым и зернистым перлитом, чем базовый чугун. При увеличении количества металлургического сырья в шихте до 100% возросли твердость чугуна от 197 до 212 НВ и предел прочности на растяжение от 227 до 249 МПа.

8. В результате проведенных исследований выявлена целесообразность применения металлургического сырья из концентрата "САНТЬЯГО" для выплавки стали, предназначенной для изготовления деталей, работающих в тяжелых условиях, а также эффективность его применения в качестве исходного материала для производства отливок из высококачественного чугуна.

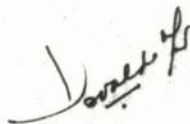
Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих работах:

1. Garcia L., Figueredo O., Morciego O. y otros. Consideraciones sobre la utilizacion de los minerales magnetiticos del yacimiento Hierro Santiago en la siderurgia cubana // Revista Metalurgia CENIM. - 1990. - No.2. - p. 92-105.

2. Пономарев Л.Л., Иванов А.И., Морсьего О. и другие. Кинетические особенности восстановления оксидов железа твердым углеродом / ДПИ. - Донецк. - 1991. - Деп. в Черметинформации 30.12.91, No. 5838. - 8с.

3. Пономарев Л.Л., Иванов А.И., Морсьего О. и другие. Исследование процесса восстановления рудоугольных брикетов при различных температурах / ДПИ. - Донецк. - 1991. - Деп. в Черметинформации 30.12.91, No. 5840. - 7с.

4. Пономарев Л.Л., Иванов А.И., Морсьего О. и другие. Исследование кинетики процесса твердофазного восстановления рудоугольных брикетов / ДПИ. - Донецк. - 1991. - Деп. в Черметинформации 30.12.91, No. 5839. - 13с.



AB 27.686

AB 27.686