

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ПРИАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

ЛУПАНДИН Георгий Степанович

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ЛИТЫХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

Специальность 05.16.04 - "Литейное производство"
 05.16.02 - "Металлургия черных металлов"

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Мариуполь 1994

Работа выполнена в Приазовском государственном
техническом университете

Научный руководитель -
доктор технических наук, профессор Скребцов А. М.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук, профессор Саенко В. Я.,
- кандидат технических наук Буров С. Д.

Ведущее предприятие - металлургический комбинат
"Азовсталь" (г. Мариуполь).

Защита диссертации состоится "21" декабря
1994 г. в 14³⁰ часов на заседании специализированного
совета (шифр К-068.03.01) при Приазовском
государственном техническом университете по адресу:
341000, г. Мариуполь Донецкой области, пер.
Республики, д. 7, корпус 5., ауд. 5-220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Приазовского государственного технического
университета.

Автореферат разослан "16" ноября 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук,
профессор

Маслов В. А.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00777199 (1)

В. Стефаніка
Україна

Общая характеристика, актуальность работы и степень ее изученности.

Основными задачами промышленности Украины в настоящее время являются удовлетворение потребности народного хозяйства в топливе, сырье и материалах за счет их экономии, снижения расхода проката черных и цветных металлов, улучшения использования вторичных ресурсов.

На ряде предприятий, производящих детали из меди и медных сплавов, образуются вторичные материальные ресурсы, обычно не используемые предприятием повторно (стружка, мелкий скрап и т. д.). Сдаваемые Вторцветмету отходы, как правило, теряют свою марку, поскольку помарочный сбор всего многообразия медных сплавов, поступающих мелкими партиями, нецелесообразен. Использование на месте даже части отходов с сохранением марки сплава, позволит восполнить дефицит цветных металлов, повысит коэффициент использования. Так, потребность во вторичном использовании стружки испытывают многие предприятия электронной промышленности, потребляющие прокат из бескислородной меди марки МОб. Машиностроительные предприятия, потребляющие и частично производящие специальные алюминиевые бронзы, также заинтересованы в максимальном их использовании.

Анализ существующих способов рафинирования меди и алюминиевых бронз, а также данных о качестве получаемых отливок позволил установить, что основными отрицательными свойствами медных сплавов являются повышенная окисляемость их расплавов и склонность к газонасыщению; дефекты отливок из алюминиевых бронз наиболее часто обусловлены пленой и другими оксидными включениями.

Существующие способы производства макроплотных отливок, например, из бескислородной меди, требуют дорогостоящего оборудования - вакуумных печей, обработка расплавов меди и бронз флюсами, продувка газами и сочетание этих способов хотя и позволяют достаточно эффективно очищать расплав от нежелательных примесей, однако качество его может ухудшиться при заполнении литейной формы. Отсутствие единого, комплексного

решения, по мнению ряда ученых, служит причиной отсутствия широкого внедрения многих перспективных технологий рафинирования.

При производстве заготовок из сталей хорошее качество металла обеспечивает применение электрошлаковой технологии, в том числе электрошлакового литья. Однако технологические параметры электрошлакового рафинирования нуждаются в существенных изменениях при переходе к производству цветных металлов. Поэтому актуальной является задача разработки технологии электрошлакового литья заготовок из меди и алюминиевых бронз с использованием отходов, в том числе металлической стружки.

Особое внимание при изучении литературы было уделено анализу реакции окисления углерода в сталеплавильном процессе. Показана необходимость и возможность перенесения принципов организации кипения стали на процесс раскисления меди углеродом при электрошлаковом рафинировании. Определены объекты и задачи по исследованию кинетики реакции раскисления меди.

Цель работы и основные задачи исследования.

С учетом опыта электрошлакового литья стали необходимо разработать и внедрить в промышленность электрошлаковую технологию производства качественных литых заготовок из отходов меди и алюминиевых бронз. В соответствии с поставленной целью исследовали следующие вопросы: физико-химические процессы взаимодействия металла с различными флюсами; технологические параметры рафинирования меди и алюминиевых бронз; кинетика реакции раскисления меди углеродом и аналогия этого процесса с окислением углерода в стали; механизм удаления водорода из кипящей ванны расплава меди; качество металла получаемых отливок.

Обоснование теоретической и практической ценности исследований, научная новизна.

Разработаны теоретические и технологические основы получения отливок из бескислородной меди с минимальным содержанием водорода, используя в шихту стружку металла и не применяя вакуумных печей. Используя аналогию с процессом окисления углерода в стали, изучены

закономерности кинетики раскисления меди углеродом при различных содержаниях кислорода в расплаве. Установлено, что интенсивная дегазация расплава происходит при использовании в качестве шихты меди, содержащей 0,10-0,50% мас. кислорода в сочетании с раскислением углеродом под слоем флюса оптимального состава. Изучены влияние химического состава флюса на кинетику массообмена при раскислении меди и степень рафинирования алюминиевых бронз от оксидных включений. Установлено, что при электрошлаковом рафинировании алюминиевых бронз под слоем флюса оптимального состава содержание неметаллических включений снижается в 15-18 раз.

По аналогии с электрошлаковой технологией выплавки стали разработана промышленная технология производства высококачественных отливок из меди и алюминиевых бронз, используя в шихту стружку. Созданы специальные устройства для электрошлакового литья, обеспечивающие получение отливок из рафинированных расплавов цветных сплавов и инструментальных сталей и оптимальные условия кристаллизации металла. Качество получаемых медных отливок позволяет отказаться от вакуумной технологии их производства; отливки из алюминиевых бронз и инструментальной стали могут быть использованы взамен поковок.

Реализация работ в промышленности, внедрение научных разработок.

Технология рафинирования металлического расплава и получения отливок из отходов алюминиевых бронз и меди использована на ряде предприятий. В декабре 1985 года технология внедрена в электронной промышленности для производства отливок взамен заготовок, получаемых в вакуумных литейных печах переплавом проката меди марок МВ и МОб, а также для производства технологической оснастки из отходов инструментальных сталей 9ХС и Р18. В 1994 году разработки использованы МК "Азовсталь" при электрошлаковом переплаве деталей кристаллизаторов МНЛЗ для их повторного использования.

Экономический эффект от внедрения разработок в 1986 году составил 144,0 тыс. рублей (в ценах 1986 г.).

Апробация работы и публикация результатов научных исследований.

Материалы диссертации были доложены на отраслевом научно-техническом совещании "Состояние и перспективы развития электрошлаковой технологии" Минтяжмаша (г.Краматорск, 1980 г.), республиканских научно-технических конференциях "Неметаллические включения и газы в литейных сплавах" (г. Запорожье, 1982 и 1985 гг.), Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение качества фасонных отливок и экономия металла при их производстве" (г. Краматорск, 1984 г.). По материалам диссертации получено 8 авторских свидетельств, опубликовано 8 научно-исследовательских статей.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, включающего 117 наименований отечественных и зарубежных источников, 6 приложений; она изложена на 76 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков и 12 таблиц.

Личный вклад диссертанта в разработку научных результатов.

Разработаны теоретические и технологические основы получения отливок из бескислородной меди с минимальным содержанием водорода. Используя аналогию с процессом окисления углерода в стали, определены закономерности кинетики раскисления меди углеродом при различных содержаниях кислорода в расплаве. Установлено, что интенсивная дегазация расплава меди происходит при использовании в шихте меди, содержащей 0,10-0,50% мас. кислорода в сочетании с раскислением углеродом под флюсом оптимального состава. Изучено влияние химического состава флюса на кинетику массообмена при раскислении меди и рафинирования алюминиевых бронз от неметаллических включений. Установлены параметры процесса раскисления меди, позволяющие осуществить его переход из области диффузионной в кинетическую. Доказана возможность использования низкосортных отходов, в том числе стружки, для получения однократным переплавом высококачественных отливок.

Методология, методы исследования.

Методика исследований была основана на применении математического моделирования и проведении прямых экспериментов. Известно, что именно прямой эксперимент позволяет получать наиболее достоверные результаты и облегчает перенос разработанной технологии в промышленные условия.

Химический состав меди определяли по ГОСТ 9717-75 для спектрального анализа. Содержание кислорода более 0,01% мас. определяли по ГОСТ 13938-77, а менее 0,01% мас. - методом восстановительного плавления в вакууме на приборе типа С-911М. Склонность меди к "водородной болезни" проверяли испытаниями на перегиб по ГОСТ 13813-80. Анализ содержания легирующих компонентов алюминиевых бронз производили в соответствии с требованиями ГОСТ 493-79. Пределы прочности и текучести, а также относительное удлинение определяли на пятикратных образцах $\varnothing 6$ мм при +20°C по ГОСТ 1497-77, твердость - по ГОСТ 9012-78, ударную вязкость по ГОСТ 9454-78 на образцах с круглым надрезом.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ МЕДИ

При разработке технологических параметров электрошлакового рафинирования меди как аналогию использовали процесс кипения сталеплавильной ванны. Плавки металла производили на электрошлаковой установке ЭСП-01 в тигле емкостью 15 кг с применением нерасходуемого электрода и шихты с содержанием кислорода 0,012, 0,064, 0,126, 0,370 и 0,542% мас. Химический состав флюсов приведен в табл. 1. Для каждого флюса экспериментально определяли максимально допустимую температуру перегрева $t_{ст}$, позволяющую сохранять его стабильный состав в входе плавки меди.

Первую серию плавки с применением всего диапазона флюсов проводили в магнетитовом тигле, при отсутствии контакта меди и флюса с графитом. На каждую плавку расходовали 5 кг шихты и 3 кг флюса. Фиксировали изменение содержания кислорода в меди во времени.

Вторую серию плавов проводили аналогично, но в графитовом тигле и после расплавления меди на поверхность флюса в избытке подавали графитовый порошок. Кипение расплава не наблюдали.

В результате анализа полученных данных и построения кинетических кривых реакции раскисления меди углеродом было установлено следующее. Динамическое равновесие между металлом и шлаком (при отсутствии углерода) наступает через 12-15 мин. Величины термодинамических коэффициентов распределения кислорода (L) для опробованных флюсов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав флюсов, использованных для исследования процесса рафинирования меди, значения рабочих температур и коэффициент распределения кислорода

№ п/п	Содержание компонента, % мас.			Температура стабильности флюса (± ст.) °C	$L = \frac{(O)}{[O]}$
	Фторид кальция	Криолит	Другие		
1	75	-	25 BaCl ₂	1420	0,82
2	75	-	25 NaF	1350	0,96
3	75	25	-	1300	0,93
4	50	50	-	1270	1,78
5	25	75	-	1250	1,84
6	-	75	25 CaO	1320	1,83
7	60	30	10 MgF ₂	1350	1,99
8	60	30	10 Al ₂ O ₃	1350	1,96
9	60	30	10 BaCl ₂	1320	1,56

При раскислении меди углеродом в присутствии флюса лимитирующей стадией процесса является диффузия кислорода, кинетические уравнения для всех опробованных вариантов имели первый порядок. Максимальные скорости

раскисления характерны для высоких исходных содержаний кислорода и зависят от величины L . Последний факт указывает на значительную долю участия в реакции раскисления процессов в объеме флюса.

Полученные результаты использовали для интенсификации процесса раскисления. В новой серии плавков применяли только флюсы, способные растворять не менее 0,05-0,20% мас. углерода. Использовали также графитовый тигель специально разработанной конструкции с развитой поверхностью донной части. Улучшение условий массообмена позволило наблюдать при плавке меди, содержащей более 0,126% мас. кислорода (под флюсами N 7 и N 8 по табл. 1) активное газовыделение. По ходу плавки регистрировали содержание в меди не только кислорода, но и водорода.

Обработка и анализ полученных данных позволили установить минимальное "критическое" содержание кислорода в меди, обеспечивающее кипение расплава. Такие же "критические" значения характерны для углерода при выплавке стали, где, в отличие от настоящей работы, лимитирующей стадией является массоперенос углерода. Отмечено значительное (ниже равновесного) снижение содержания водорода в "кипящей" меди. Аналогичное явление для азота наблюдали М. Я. Меджибожский и другие исследователи при кипении стали.

Для более подробного анализа процесса раскисления были использованы схема распределения кислорода в присутствующих средах и соответствующие кинетические уравнения для границ фаз, приведенные на рис. 1. Математическое преобразование системы этих уравнений, а также введение ряда допущений позволило получить формулу для расчета эффективного коэффициента массопередачи кислорода из металла в газовую фазу:

$$\beta = \frac{\Delta m}{F \cdot C_M \cdot \Delta \tau} \quad (1)$$

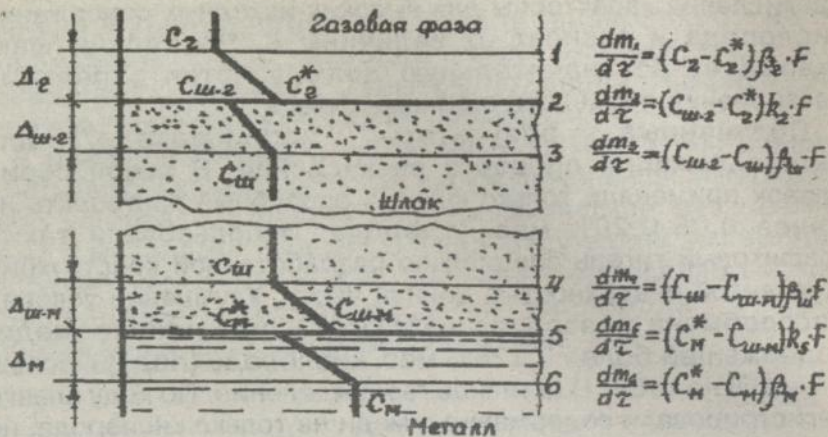


Рис. 1. Схема распределения концентраций кислорода в газовой, шлаковой и металлической фазах, пограничных слоях, а также соответствующие уравнения величин массопереноса кислорода.

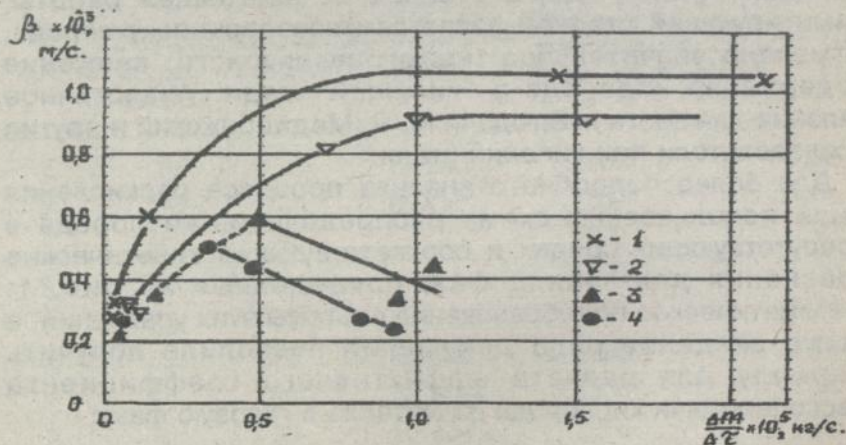


Рис. 2. Влияние величины массопотока кислорода на эффективный коэффициент его массопередачи в процессе диффузионного раскисления меди под флюсами:

1- 60% CaF_2 -30% Na_3AlF_6 -10% Al_2O_3 ; 2 - 60% CaF_2 -30% Na_3AlF_6 - 10% MgF_2 ; 3-75% CaF_2 - 25% NaF ; 4-75% CaF_2 -25 BaCl_2 .

где β - эффективный коэффициент массопередачи кислорода, м/с;

$\frac{\Delta m}{\Delta \tau}$

- величина массопотока кислорода, кг/с;

F - площадь поверхности раздела металл-шлак, м²;

C_m - текущая концентрация кислорода в меди, кг/м³.

Полученное уравнение (1) справедливо для описания процесса переноса из газовой фазы через шлак для различных процессов выплавки металлов, в том числе и стали. На рис. 2 показаны кривые для четырех характерных плавов, иллюстрирующие зависимость эффективного коэффициента массопередачи кислорода от интенсивности массопотока. Горизонтальные участки на кривых плавов 1 и 2 при $\frac{\Delta m}{\Delta \tau}$ более 10^{-5} кг/с на коэффициент массопередачи кислорода. Это свидетельствует о переходе реакции в режим с лимитирующей стадией от внешней к внутренней массопередаче. Обсуждаемые участки соответствуют использованию шихты с содержанием кислорода более 0,10-0,15% мас. Удовлетворительная степень дегазации расплава из-за выделения газообразных продуктов раскисления, как показали расчеты, возможна при интенсивности из образования более 0,3 л/кг.мин. и наблюдается в разработанном способе при величине коэффициента массопередачи углерода не менее $5,47 \cdot 10^{-4}$ м/с. Согласно расчетам, наличие графита на поверхности шлака и выделение продуктов раскисления создают защитную среду с давлением паров воды не более 130 Па.

Окончательные выводы о потенциальных возможностях процесса электрошлакового рафинирования, кинетике раскисления меди и технологических параметрах, обеспечивающих их интенсификацию, были сделаны после анализа результатов завершающей серии плавов. При этом использовали ранее полученные данные для вычисления величины энергии активации по уравнению Аррениуса:

$$E = \frac{R \cdot \ln \frac{K_2}{K_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (2)$$

где E - энергия активации процесса, кдж/моль;

R - универсальная газовая постоянная, кдж/моль.К;

K_1 и K_2 - величины массопотоков кислорода при температурах T_1 и T_2 соответственно, кг/с.

В табл. 2 приведены результаты экспериментов и вычислений, позволяющие заключить, что переход реакции раскисления из диффузионной в кинетическую область возможен и позволяет организовать кипение расплава, способствующего активной дегазации жидкой меди.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО РАФИНИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ БРОНЗ

Исследование влияния технологических параметров электрошлакового рафинирования на качество алюминиевых бронз производили на 10 различных солевых композициях, в том числе на флюсах, показавших положительные результаты при рафинировании меди.

Для работы применяли бронзу марки Бр.АЖНМц 9-4-4-1, как содержащую наиболее характерные для алюминиевых бронз легирующие добавки.

Для выполнения экспериментальных плавов на лабораторной электрошлаковой установке использовали расходоуемые электроды. Их получали заливкой металла индукционной выплавки в горизонтальную чугунную изложницу, которая давала возможность изготавливать отливки сечением 25x60 мм, длиной 850 мм. Как показали исследования, горизонтальная отливки обеспечивает равномерное распределение ликвидирующих легирующих компонентов бронзы (особенно алюминия) по длине расходоуемого электрода.

Сравнение качества полученных слитков и технико-экономических показателей рафинирования позволило определить оптимальные составы рафинирующих флюсов и приступить к изучению влияния ряда технологических параметров рафинирования на качество металла, выплавляемого в промышленных объемах. Эффективность наличия защитной газовой среды, влияние рабочего напряжения и коэффициента заполнения кристаллизатора исследовали на слитках $\varnothing 250$ мм, массой до 300 кг. Как показали результаты определения концентрации водорода в металле и величины угара легирующих компонентов бронзы, наличие или отсутствие защиты шлаковой ванны аргоном,

Таблица 2

Результаты экспериментов и вычисления величин энергии активации процесса раскисления меди

№ п/п	Содержание кислорода в шихте, % мас.	Номер опыта по табл. I	Температура К		Величина массопотока, $\times 10^{-5}$ кг/с		Энергия активации, кДж/моль
			T_1	T_2	При температуре T_1	При температуре T_2	
1	0,012	7	1350	1410	0,35	0,42	74,79
2	0,064	7	1350	1400	1,00	1,58	172,28
3	0,126	7	1350	1400	1,80	5,96	453,36
4	0,370	7	1350	1410	14,00	44,24	477,82
5	0,542	7	1350	1400	20,19	70,46	472,25
6	0,370	1	1420	1470	6,00	6,78	49,86
7	0,370	4	1270	1330	9,90	12,57	90,67
8	0,370	8	1350	1400	5,65	16,95	458,05

величина напряжения и коэффициент заполнения кристаллизатора практически не оказывают влияния на качество металла, содержание неметаллических включений неизменно снижается в 15-18 раз, величина угара остается неизменной. Решающую роль в защите шлаковой ванны от атмосферы играет применение криолитсодержащих флюсов, которое выделяют летучие фториды. Применение разработанных флюсов дало возможность получить высококачественные слитки сечением 420x500 мм и массой до 1 т. Изготовление ступенчатой поковки из такого слитка с величиной улова до 10 и ее исследование не обнаружили по сравнению с литым металлом заметного улучшения механических свойств рафинированной бронзы марки Бр.АЖНМц 9-4-4-1. Испытания производили после закалки с 900°C в воду и отпуска при 650°C в течение 2 часов. Отличительной особенностью полученной поковки является отсутствие традиционной для бронзы открытой индукционной плавки (ОИП) анизотропии механических свойств.

Положительные результаты исследования качества отливок, полученных из рафинированного расплава в условиях последовательно-направленной кристаллизации в водоохлаждаемом кристаллизаторе, позволили приступить к разработке принципиально новой промышленной технологии производства высококачественных отливок.

РАЗРАБОТКА И ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК ИЗ МЕДИ И АЛЮМИНИЕВЫХ БРОНЗ

Основной задачей при разработке технологии производства высококачественных отливок являлось получение рафинированного расплава из стружки, сохранение его свойств при заливке в форму и обеспечение оптимальных условий кристаллизации отливки.

Применительно к отливкам из меди исходили из требований, предъявляемых к отливкам из этого металла для нужд электронной промышленности (высокая плотность, электропроводность, отсутствие "водородной болезни" и т.

д.). В результате анализа известных способов производства литья и специфики электрошлакового рафинирования была создана принципиально новая технология получения фасонных отливок. Отличительной особенностью технологии является нагрев графитовой формы по ходу плавки, генерация в полости формы инертной атмосферы и создание условий для замедленной направленной кристаллизации отливки. Последний фактор способствует дополнительной дегазации меди и обеспечивает качество получаемых отливок на уровне бескислородной меди марки МОБ.

Разработанная технология рафинирования, ее высокая эффективность позволили перейти к изучению возможности применения в качестве шихты низкосортных отходов, а именно стружки. Повышенная окисленность такой шихты обусловлена ее развитой поверхностью. Однако этот же фактор оказывает и положительное влияние на степень рафинирования в связи с резким возрастанием приведенной поверхности металла. Причем повышенная окисленность стружки, особенно после ее сушки, способствует активной дегазации медного расплава при его раскислении.

Параметры технологии электрошлакового переплава в тигле емкостью 300 кг рассчитывали по уравнению теплового баланса. В расчете задавали величину установочной мощности трансформатора электрошлаковой печи и теплофизические характеристики переплавляемого металла. Расчетная скорость плавления для медной и бронзовой стружек составила 288 кг/час. Минимальное время выдержки расплава алюминиевой бронзы, для необходимой степени рафинирования, рассчитывали по приведенной поверхности:

$$S = \frac{D_{\text{В}}^2}{V_{\text{пл}}} + \frac{D_{\text{В}}^2 \cdot h_{\text{М}} \cdot F}{V_{\text{м}}} + \frac{\tau}{h_{\text{М}}}, \quad (3)$$

где S - приведенная поверхность, с/см;

$D_{\text{В}}$ - приведенный диаметр плавильного тигля, см;

$V_{\text{пл}}$ - объемная скорость плавления, см³/с;

$h_{\text{М}}$ - глубина металлической ванны, см;

F - удельная поверхность шихты, см²/см³;

τ - время выдержки металла под флюсом, с.

Таблица 3

Химический состав медных отливок, получаемых по разработанной технологии рафинирования и литья, % x 10³.

Анализируемый металл	Cu	Bi	Ni	As	Fe	Sb	S	P	Pb	O ₂	Zn	Sn
Исходная медь	99610	1,0	2,0	1,2	2,5	1,2	1,2	1,5	2,1	282	2,6	2,0
Электрошлаковая отливка	99985	0,8-1,0	1,0-1,9	0,8-1,2	1,2-3,0	0,8-1,4	1,0-1,6	0,8-1,1	15-23	0,45-1,2	0,8-1,5	1,2-2,0
		0,9	1,6	1,0	2,0	1,2	1,2	1,0	2,0	0,85	1,1	1,8
Медь марки МО6 по ГОСТ 859-78	не менее 99970	не более										
	99970	1,0	2,0	2,0	4,0	2,0	3,0	2,0	3,0	1,0	3,0	2,0

Примечание. В числителе приведены экстремальные значения, в знаменателе - среднее арифметическое содержание по 5 исследованным отливкам.

Таблица 4

Среднее значение угара легирующих элементов бронзы марки Бр.АЖНМц 9-4-4-1 и ее физико-механических свойств в отливках, изготовленных по разработанной технологии.

Анализируемый металл	Угар легирующих компонентов, % мас.				Физико-механические свойства					
	Al	Fe	Ni	Mn	σ ₀₂ МПа	σ _в МПа	δ ₅ %	KCU кДж/м ²	НВ МПа	R _{кг/м³}
Электрошлаковая отливка	0,32	0,06	0,01	0,11	549	687	18	451	1982	7660
Требования к литейным формам (не менее)	-	-	-	-	274	635	18	294	-	-

Примечание. Приведены средние арифметические данные по 5 отливкам.

Для электрошлаковой печи с графитовым тиглем емкостью 300 кг рабочий ток составил 3500 ампер при напряжении 60 В и диаметре нерасходуемого электрода 150 мм; время выдержки расплава - не менее 15 минут.

Разработанные технологические процессы рафинирования расплава позволяют использовать шихту низкого качества, это подтверждается результатами определения химического состава и физико-механических свойств литого металла (табл. 3 и 4). Качество получаемых отливок остается практически неизменным при использовании стружки и обычной шихты. При условии соблюдения помарочного сбора отходов подготовка шихты заключается в ее прокатке для удаления влаги, масел и эмульсии; при этом значительно упрощается процесс ее передела в отливки.

На основании проведенных исследований была разработана соответствующая техническая, технологическая и конструкторская документация, созданы опытные и промышленные установки для производства отливок из меди, алюминиевых бронз и инструментальной стали. Внедрение разработанной технологии требует незначительной реконструкции существующего оборудования литейных цехов и позволяет использовать при производстве основной продукции вторичные материальные ресурсы. При этом затраты на реконструкцию и производство литья с избытком окупаются за счет разницы в стоимости свежих шихтовых материалов и отходов.

Экономический эффект от внедрения разработанной технологии в 1986 году составил 144,0 тыс. рублей (в ценах 1986 г.).

ВЫВОДЫ

1. Разработана принципиально новая электрошлаковая технология производства высококачественных литых заготовок из отходов меди и алюминиевых бронз.

2. Исследовано влияние ряда солевых систем на эффективность процесса электрошлакового рафинирования меди, определены оптимальные составы флюсов, обеспечивающие максимальную дегазацию меди при ее раскислении углеродом.

3. В результате проведенных исследований кинетики

раскисления меди установлено, что применение в качестве шихты меди, содержащей более 0,10-0,15% мас. кислорода в сочетании с раскислением углеродом под слоем криолитсодержащих флюсов оптимального состава, позволяет удалить 98-99% кислорода и обеспечить кипение расплава, что способствует его активной дегазации. Согласно произведенным расчетам кипение дает эффект дегазации меди продуктами раскисления, который аналогичен продувке жидкой меди инертным газом с интенсивностью 0,3 л/кг.мин.

4. На основании опытных данных рассчитаны величины эффективных коэффициентов массопереноса кислорода при раскислении меди углеродом. Анализ характера и причин изменения коэффициента массопереноса кислорода позволил установить параметры этого процесса и возможность перехода его из области диффузионной в кинетическую при содержании кислорода в шихте более 0,10-0,15% мас.

5. Согласно экспериментальным данным при рафинировании предварительно окисленной меди под флюсами систем $\text{CaF}_2\text{-Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_3\text{AlF}_6\text{-MgF}_2$, поступлению в металл водорода препятствует создание над поверхностью шлака защитной атмосферы с парциальным давлением паров воды не более 0,13 КПа.

6. Изучено влияние технологических параметров электрошлакового рафинирования алюминиевых бронз под флюсами 10 различных составов. Установлено, что максимальная очистка расплава от неметаллических включений (в 15-18 раз) достигается в случае применения флюсов системы $\text{CaF}_2\text{-Na}_3\text{AlF}_6$ с добавками оксида алюминия или фторида магния.

7. Уровень механических свойств рафинирования литой алюминиевой бронзы в слитках, получаемых в медных водоохлаждаемых кристаллизаторах сечением до 420x500 мм, соответствует требованиям, предъявляемым к поковкам из бронзы индукционной выплавки.

8. Разработаны оригинальные устройства для получения высококачественных отливок из рафинированных расплавов меди и алюминиевых бронз. Устройство для производства медных отливок позволяет осуществить замедленную

направленную кристаллизацию отливок, что способствует дополнительной дегазации меди, устранению усадочной раковины. Устройство для производства отливок из алюминиевых бронз обеспечивает ускоренную кристаллизацию отливки и эффективный обогрев ее прибыльной части.

9. Установлено, что качество рафинированной меди соответствует требованиям ГОСТ 859-78 к бескислородной меди марки Моб, а получаемые отливки могут быть использованы взамен отливок вакуумной технологии производства. Отливки из алюминиевых бронз могут быть применены взамен поковок и штамповок.

10. В результате проведенных исследований впервые доказана возможность использования для производства высококачественных отливок из меди и алюминиевых бронз шихты низкого качества, а именно отходов, в том числе стружки. Результаты разработок отражены в технической, технологической и конструкторской документации.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Электрошлаковый переплав алюминиевой бронзы / Аравин Б.П., Ключко В.И., Лупандин Г.С. и др. // Вопросы судостроения.

Металлургия. - 1981. - N30. - С. 26-31.

2. Лупандин Г. С. Технология производства литых заготовок из бронзовой стружки // Информационный листок ВИМИ. - 1982. - N 82 - 0906. - С.2.

3. Лупандин Г.С. Технологический процесс получения фасонного литья из бескислородной меди // Информационный листок ВИМИ. 1983. - N 83 - 1291. - С.2.

4. Получение качественных заготовок из бронзовой стружки с применением электрошлаковой технологии / Папуш А.Г., Лупандин Г.С., Ребров Л.В. и др. // Сб. Электрошлаковый переплав специальных сталей, чугуна и цветных металлов. - N 10-18-13. Краматорск: Изд-во ЦНИИЭИТяжмаш. 1981. - С.4-8.

5. А.с. 1178107 СССР. МКИ С22С 1/06. Флюс для электрошлакового переплава.

6. А.с. 1228498 СССР. МКИ С22В 9/18. Установка для электрошлакового литья.

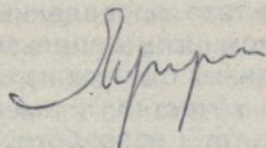
7. А.с. 1249946 СССР. МКИ С22В 9/18. Способ электрошлакового переплава меди.

8. А.с. 1287605 СССР. МКИ С22В 9/18. Устройство для получения фасонных электрошлаковых отливок.

9. А.с. 1387469 СССР. МКИ С22В 9/18. Плавильная емкость для накопления жидкого электрошлакового металла.

10. А.с. 1405326 СССР. МКИ С22В 9/18. Способ получения электрошлаковых отливок.

11. А.с. 1419157 СССР. МКИ С22С 1/06. Флюс для электрошлакового переплава.



Lupandin G.S. The Development of the Electroslag Technology for High Quality Casting Using the Industrial Waste Products.

The dissertation for Master's Degree (M. of Sc.), specialities 05.16.04 - Foundry, 05.16.02 - Iron and Steel Production, Azov Technical State University, Mariupol, 1994.

The dissertation contents the theoretical and experimental kinetic investigations of the deoxidization of copper during the electroslag remelting under the different fluxes as well as the results of bronze purification. The optimum parameters of the purification are defined, the new electroslag technology of casting using the low quality industrial waste products is applied at the manufacturing.

Лупандин Г.С. Разработка электрошлаковой технологии производства высококачественных литых заготовок с использованием отходов производства.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 - литейное производство, 05.16.02 - металлургия черных металлов, Приазовский гос. техн. ун-т, Мариуполь, 1994.

Диссертация содержит теоретические и экспериментальные исследования кинетики раскисления меди при электрошлаковом переплаве под различными флюсами, результаты исследований процесса рафинирования бронз. Определены оптимальные параметры рафинирования, разработана и внедрена новая электрошлаковая технология производства литых заготовок из низкосортных отходов.

Ключові слова:

электрошлаковый переплав, литво, відходи, мідь.

AB31.334

AB 31.334