

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

САВЄНКОВ ЮРІЙ ДМИТРОВИЧ

УДК 621.74.047:669.3(043)

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ СХЕМИ
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА
І РОЗЛИВАННЯ МІДІ ВОГНЕВОГО РАФІНУВАННЯ**

**Спеціальність 05.16.02 - “Металургія чорних і кольорових металів
та спеціальних сплавів”**

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Донецьк - 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донецькому державному науково-дослідному і проєктному інституті кольорових металів Міністерства промислової політики України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
СМІРНОВ Олександр Миколайович,
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (м. Донецьк), завідувач кафедри «Металургія сталі».

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
МАНЯК Микола Олександрович,
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (м. Донецьк), завідувач кафедри «Кольорова металургія й конструкційні матеріали»;

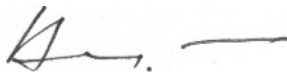
доктор технічних наук, професор
ЧЕРВОНИЙ Іван Федорович,
Запорізька державна інженерна академія (м. Запоріжжя), завідувач кафедри «Металургія кольорових металів».

Захист відбудеться «25» листопада 2010 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.01 Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м.Донецьк, вул. Артема, 58, I навч. корпус, малий актовий зал.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, II навч. корпус.

Автореферат розісланий «22» жовтня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 11.052.01, д.т.н., проф.



О.В. Яковченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз тенденцій виробництва й споживання мідної продукції показує, що українські підприємства, які працюють в цьому сегменті ринку, використовують в якості вихідної сировини металевий брухт, якість якого значно поступається світовим аналогам. Це, у сукупності з експортною спрямованістю галузі, змушує вітчизняних виробників, основним з яких є ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів» (ВАТ «АЗОКМ»), усе більше використовувати можливості внутрішнього ринку за рахунок освоєння нових видів продукції й удосконалювати виробничий процес із метою підвищення конкурентоспроможності на ринку світовому.

Одним з етапів виробництва мідної продукції, що значною мірою впливає на економічні аспекти стійкості підприємства, є переведення рідкого розплаву у тверду заготовку. Від раціональної організації цього процесу багато в чому залежить як вихід придатного, так і якість отриманого металу. Підвищення якості й зниження вартості заготовки можливо за рахунок детального вивчення процесів кристалізації й формування дефектів у кристалізаторі. При цьому важливу роль відіграють властивості розплаву міді вогневого рафінування, які до цього часу недостатньо вивчені. Це особливо актуально для України, у якій мідь вогневого рафінування виробляється з низькоякісного брухту, кількість домішок у якому змінюється від плавки до плавки.

Вирішення важливого науково-технічного завдання щодо теоретичного обґрунтування вибору раціональних параметрів і вдосконалення технології процесу напівбезперервного розливання міді вогневого рафінування дозволить підвищити якість заготовок і поліпшити умови їхнього формування. Це також забезпечить ресурсозберігаючий ефект при отриманні продукції на машинах напівбезперервного лиття заготовок (МНБЛЗ) і стане основою для створення ефективних вітчизняних комплексів для отримання мідної продукції. Виконані в дисертації дослідження спрямовані на рішення поставленої задачі, що свідчить про актуальність теми.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Питання, розглянуті в дисертаційній роботі, відповідають Державній програмі розвитку гірничо-металургійного комплексу України на період до 2011 року, Програмі науково-технічного розвитку Донецької області на період до 2020 року (постанова обласної Ради від 22.03.2002 р., номер 3/ 25-656) і Державній програмі енергозбереження. Матеріали дисертаційної роботи являють собою узагальнення наукових і практичних результатів, отриманих автором у 2004 - 2009 р.р. при розробці технічних завдань по модернізації ВАТ «АЗОКМ», відпрацьовуванні технологічних регламентів окремих етапів виплавки й розливання міді, а також науково-дослідної роботи, виконаної за господарським договором разом з Донецьким національним технічним університетом, у якій автор був керівником (№ держ. реєстрації 0109U004085).

Мета й завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є теоретичне обґрунтування параметрів і вдосконалення технології напівбезперервного розливання міді вогневого рафінування, спрямоване на підвищення якості заготовок, поліпшення умов їх формування й забезпечення ресурсозберігаючого ефекту при отриманні продукції за рахунок вибору раціональних режимів гойдання й параметрів конусності кристалізатора.

Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені наступні основні завдання:

- розробити методики й на їхній основі вивчити властивості міді вогневого рафінування, такі як в'язкість і поверхневий натяг, які визначають процеси лиття й формування дефектів мідної заготовки;
- вивчити механізми формування тріщин, слідів гойдання й газованості в мідних заготівках, що розливаються на МНБЛЗ;
- установити характер впливу режимів гойдання кристалізатора МНБЛЗ на процеси твердіння мідної заготовки і її якість;
- шляхом математичного моделювання процесу твердіння й усадки мідної заготовки визначити раціональну конусність стінок кристалізатора МНБЛЗ, що забезпечить зменшення тріщин у заготівках з міді вогневого рафінування;
- удосконалити конструкцію кристалізатора МНБЛЗ і технологічний процес напівбезперервного розливання міді вогневого рафінування, виконати їх дослідно-промислове освоєння й впровадження у виробництво.

Об'єкт дослідження. Процеси твердіння міді вогневого рафінування в кристалізаторі МНБЛЗ.

Предмет дослідження. Властивості міді вогневого рафінування й методи їхнього визначення. Процес формування заготовок у кристалізаторі МНБЛЗ. Теплофізичні й технологічні особливості формування дефектів мідної заготовки.

Методи дослідження. Дослідження виконані з урахуванням основних положень теорії кристалізації металів. При виконанні роботи використані лабораторні дослідження в'язкості, поверхневого натягу й питомого електроопору міді вогневого рафінування, математичне моделювання процесів розливання й твердіння заготовки з використанням ЕОМ, методи математичної статистики для обробки результатів експерименту, способи отримання заготовки на МНБЛЗ.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше встановлена залежність в'язкості розплаву міді вогневого рафінування від хімічного складу й температури.

Показано, що з ростом температури в'язкість розплаву міді вогневого рафінування знижується. Також відзначено, що V_i і N_i незначно підвищують в'язкість, а Sb , As , Pb і P знижують в'язкість розплавів міді. Найбільше впливає на в'язкість розплаву міді розчинений у ній кисень. При його вмісті в ра-

фінованій міді марки МЗ на рівні 0,05% при температурі 1180°C динамічна в'язкість розплаву становить 0,0051 Па·с, що на 0,0005 Па·с вище, ніж у катодної міді.

Отримані залежності в'язкості розплаву міді вогневого рафінування від хімічного складу й температури використані при математичному моделюванні процесів розливання й твердіння мідних злитків.

2. Вперше встановлено вплив поверхневого натягу розплаву міді вогневого рафінування на механізм формування слідів гойдання на поверхні напівбезперервної мідної заготовки.

Показано, що утворення слідів гойдання на поверхні мідної заготовки починається при русі кристалізатора вгору. У цьому випадку верхня частина затверділої кірки прилипає до кристалізатора й переміщується разом з ним. Мідний розплав проникає в зазор між кіркою, що відірвалася й основною кіркою і формує вторинний меніск. При наступному русі кристалізатора вниз кірка, що відірвалася, доганяє основну й зварюється з нею, утворюючи слід гойдання. Глибина сліду гойдання залежить як від параметрів гойдання кристалізатора, так і від поверхневого натягу мідного розплаву. Чим вище поверхневий натяг, тим більше глибина сліду гойдання.

Установлено, що найбільше поверхнево активним елементом у розплаві міді є розчинений у ній кисень. При його вмісті в рафінованій міді марки МЗ на рівні 0,05% при температурі 1180°C поверхневий натяг розплаву становить 1180 мН/м, що на 50 мН/м·нище, ніж у катодної міді.

Відзначено, що наявність раціональної частоти гойдання (7-25 гойд/хв для швидкостей розливання 6-15 м/год) пов'язане з міжфазним натягом в області вторинного меніска і пояснюється тим, що сліди гойдання утворюються при порушенні балансу поверхневого натягу, що регулює форму вторинного меніска. При цьому враховані вперше отримані залежності поверхневого натягу розплаву міді вогневого рафінування від хімічного складу й температури.

На підставі отриманих даних запропоновані раціональні параметри гойдання, які дозволяють зменшити глибину слідів гойдання на поверхні заготовки.

3. Отримали подальший розвиток уявлення про механізм впливу конусності кристалізатора на тріщиноутворення мідної заготовки.

Встановлено, що недостатня конусність внутрішньої порожнини кристалізатора (0-0,1%) погіршує тепловий потік по лінії розділу кристалізатор - заготовка, що приводить до утворення більш тонкої (на 20-25%), нерівномірної й, отже, неміцної оболонки. Гідростатичний тиск впливає на тонкі ділянки кірки й викликає появу розтягуючих напружень. При цьому виникають «подовжні» і «поперечні» поверхневі й підповерхневі тріщини. Надлишкова конусність (більше 0,8%) приводить до збільшеного тертя між заготовкою й

кристалізатором, що викликає розтягуючі осьові напруження, які сприяють утворенню поперечних тріщин.

Встановлено, що ефективний відвід тепла в кристалізаторі може бути досягнутий при доданні його внутрішній порожнині конусності, що враховує усадку заготовки. Величина оптимальної конусності залежить від швидкості розливання, властивостей розплаву, перетину заготовки й змінюється по висоті кристалізатора. Наприклад, при розливанні круглих мідних заготовок (200-220 мм зі швидкістю лиття 0,15-0,175 м/хв в зоні безпосереднього контакту затверділої скоринки зі стінкою кристалізатора й у зоні теплопередачі через повітряний зазор, що утворився, конусність повинна становити 0,69-0,83%, а у верхній зоні зняття теплоти перегріву конусність може бути прийнята рівною 0,13-0,28%.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення мають запропоновані й впроваджені режими осциляції кристалізатора й рекомендації з вибору конусності кристалізатора МНБЛЗ, що значно впливає на якість заготовки й стійкість обладнання МНБЛЗ. Рекомендований діапазон частоти гойдання кристалізатора для швидкостей розливання 6-15 м/год складає 7-25 гойд/хв, що забезпечує відстань між слідами гойдання 10-15 мм. У результаті впровадження в умовах ливарно-прокатного цеху ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів» для міксерів МНБЛЗ №1 і №2 запропонованих у дисертаційній роботі рекомендацій щодо режимів гойдання був отриманий крок між слідами гойдання в діапазоні 10-15 мм, що є раціональним з погляду можливої міцності скоринки.

Також практичне значення мають рекомендовані параметри кристалізаторів МНБЛЗ, впроваджені в умовах ливарно-прокатного цеху ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів». При розливанні прямокутних заготовок перетином 200-220 мм х 600-610 мм у для нижньої частини кристалізатора конусність повинна становити 0,24-0,48%, а у верхній (до 20 см від меніска) - 0,72-0,96% з урахуванням попередження можливого заклинювання зливка (або ушкодження внутрішньої поверхні кристалізатора) при максимальній швидкості лиття.

При розливанні круглих заготовок \varnothing 200-220 мм на швидкостях лиття 9-10,5 м/год (у мідний кристалізатор висотою 360 мм і товщиною стінки 15 мм без втулки з різними конусами (2 мм, 2,5 мм, 3 мм) у зоні безпосереднього контакту затверділої скоринки зі стінкою кристалізатора й у зоні теплопередачі через повітряний зазор, що утворився, конусність повинна становити 0,69-0,83%, а у верхній зоні зняття теплоти перегріву конусність може бути прийнята рівною 0,13-0,28%.

Крім цього, оскільки метал повинен по можливості мати мінімальні втрати тепла на ділянці руху від печі до МНБЛЗ, і мінімально контактувати з киснем і воднем повітря, а також для швидкого зливу міді з печі її оснастили двома лініями закритих транспортувальних жолобів, у яких за допомогою

регулювання роботи газових пальників, підбора необхідних футерувальних матеріалів створені всі умови для позапвчної обробки розплав. Для запобігання насичення міді газами встановлено обмеження щодо вмісту СО у жо-лобах, що повинне складати 2,5-3,5%.

У результаті впровадження в умовах МНБЛЗ №1 і №2 ливарно-прокатного цеху ВАТ «АЗОКМ» запропонованих у дисертаційній роботі рекомендацій з вибору режимів осциляції для діапазону швидкостей розливання 6-23 м/год і вибору конусності кристалізаторів вихід придатного при виробництві круглих злитків збільшився на 0,4%, а при виробництві прямокутних злитків - на 0,3% (за рахунок зниження відбраковування по тріщинах і газованості). Фактичний річний економічний ефект від впроваджених заходів склав 1080768,8 грн (частка автора 40% або 432307 грн).

Удосконалена технологія отримання заготовок на МНБЛЗ дозволила успішно розливати мідь, отриману в печі вогневого рафінування ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів» з вітчизняної сировини, що дозволило отримати значний ресурсозберігаючий ефект за рахунок утилізації низькоякісного металобрухту.

Комплекс представлених технологій дозволив освоїти виробництво мідної продукції по наступних варіантах:

- виробництво продукції з мідного брухту лудженого (60% від зібраних брухтів - марки АП-1);
- виробництво продукції з мідного брухту лудженого (марки АП-1) і бронзового брухту.

Перший варіант передбачає збільшення споживання природного газу й кисню, однак дозволяє за рахунок утилізації дешевої сировини отримувати при виробництві листа економію в розмірі 2905 грн/т, при виробництві прутка 3813 грн/т у порівнянні з базовим варіантом.

Другий варіант дозволяє отримувати при виробництві листа економію в розмірі 2920 грн/т, прутка - 3691 грн/т, катанки 3161 грн/т у порівнянні з базовим варіантом.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи отримані автором самостійно. Зокрема, отримані дані про вплив хімічного складу на поверхневий натяг і в'язкість міді вогневого рафінування, запропонований механізм формування слідів гоїдання на поверхні мідної заготовки й вивчений вплив конусності кристалізатора МНБЛЗ на виникнення поверхневих тріщин. Конкретний особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, даний у вигляді коротких анотацій після вказання їх номерів у списку опублікованих робіт з теми дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення й результати дисертації обговорені: на 3-й міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології в металургії стали: ХХІ век» (м.Донецьк, 31 жовтня - 2 листопада 2006 р.); засіданнях Ради директорів

Українського науково-виробничого концерну «Укркольормет» (м.Бровари, 27-28 березня 2007 г., м. Новомосковськ, 25-26 вересня 2008 г.); науково-практичному семінарі кафедри «Металургія сталі» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (2010 р.); засіданні науково-технічної ради Донецького державного науково-дослідного і проектного інституту кольорових металів (2010 р.).

Результати досліджень, представлені в дисертаційній роботі, включені в роботу «Розробка та впровадження способів і технологій фізико-хімічної обробки, розливання міді та її сплавів, отриманих з відходів, і виготовлення з них деформованих профілів та напівфабрикатів», що відзначена Державною премією України в галузі науки й техніки (Указ Президента України від 1 грудня 2008 року №1121/2008).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових працях, у тому числі в 7 статтях наукових журналів, 4 статтях збірників наукових праць, 1 монографії. З них 8 статей опубліковані в фахових наукових виданнях, включених до переліку ВАК України.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 109 найменувань. Повний обсяг дисертації - 171 сторінка, загальний обсяг - 139 сторінок. У розділах дисертації 53 рисунки (у тому числі 3 на окремих сторінках) і 13 таблиць (у тому числі 1 на окремих сторінках).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ «Аналіз сучасних тенденцій у виробництві міді у світі й Україні». На підставі огляду науково-технічної літератури проведений аналіз сучасних способів отримання мідної продукції різного призначення, а також оцінка якості зливків, отриманих на МНБЛЗ. У результаті виконаного аналізу показано, що для України найбільш ефективним методом є виробництво міді вогневого рафінування із вторинної сировини, оскільки цей метод дозволяє забезпечити достатній рівень якості технічної міді.

Поряд із цим, показано, що одним з основних етапів забезпечення якості продукції з рафінованої міді є розливання металу на МНБЛЗ, якими оснащено діюче виробництво. Характерною рисою розливання й твердіння міді є її висока теплопровідність, що обумовлює вкрай швидке формування твердої скоринки в кристалізаторі. Відповідно швидке формування твердої скоринки може супроводжуватися певними поверхневими й під поверхневими дефектами (заливини, складчастість, сліди гоїдання, тріщини та ін.). При цьому для забезпечення необхідного рівня якості заготовки варто враховувати вплив фізичних і ливарних властивостей міді вогневого рафінування, а також технологічних і конструктивних параметрів розливання на формування дефектів продукції. До таких параметрів варто віднести, газонасиченість роз-

плаву міді, режими гойдання кристалізатора й конусність його стінок, які значною мірою залежать від таких властивостей міді вогневого рафінування, як в'язкість і поверхневий натяг.

У зв'язку з відсутністю в Україні досвіду розливання рафінованої міді дане питання в цей час недостатнє вивчено, тому є актуальним дослідження впливу таких властивостей міді вогневого рафінування, як в'язкість і поверхневий натяг, на формування тріщин і слідів гойдання напівбезперервною заготовки.

Другий розділ «Дослідження властивостей рідкої рафінованої міді в лабораторних умовах». Формування поверхневих дефектів і слідів гойдання для злиwkів, що розливаються, у значній мірі залежить від фізичних і ливарних властивостей міді. Інформація про ці властивості рафінованої міді у взаємозв'язку зі вмістом супутніх домішок у літературі відсутня, що обумовило проведення відповідних досліджень.

Для експериментального дослідження в'язкості рідкої міді в інтервалі температур розливання використовували відомий метод крутильних коливань тигля з розплавом. Із цією метою вдосконалена експериментальна установка (рис.1) і розроблена методика для визначення в'язкості міді вогневого рафінування.

Конструкція віскозиметра, що працює по методу загасаючих крутильних коливань тигля з розплавом, була вдосконалена за рахунок використання розробленого реєстраційного блоку. Це дозволило максимально знизити трудомісткість проведення експериментів, а також підвищити точність експериментів. У роботі досліджували в'язкість 8 марок міді вогневого рафінування виробництва ВАТ «АЗОКМ» з різним вмістом домішок. У результаті експериментів по визначенню залежності в'язкості розплавів різних марок (η , Па·с) від температури (T , К) були отримані наступні залежності:

$$\eta_{M3} = 6,016 \cdot 10^{-5} \exp\left(\frac{6448}{T}\right); \quad (1)$$

$$\eta_{M3p} = 1,414 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{5170}{T}\right); \quad (2)$$

$$\eta_{M2} = 1,546 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{4990}{T}\right); \quad (3)$$

$$\eta_{M2p} = 2,256 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{4389}{T}\right); \quad (4)$$

$$\eta_{Cu-FRTP} = 2,654 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{4124}{T}\right); \quad (5)$$

$$\eta_{Cu-DLP} = 3,652 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{3628}{T}\right); \quad (6)$$

$$\eta_{Cu-DHP} = 5,832 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{2907}{T}\right); \quad (7)$$

$$\eta_{E-Cu57} = 5,529 \cdot 10^{-4} \exp\left(\frac{3010}{T}\right). \quad (8)$$

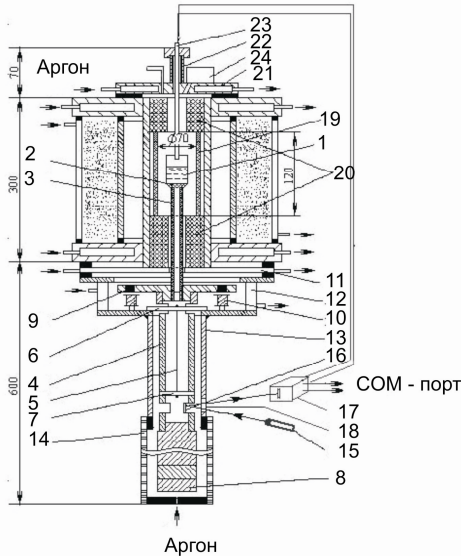


Рис. 1. Схема вдосконаленої експериментальної установки для визначення в'язкості металевих розплавів:

1 - графітовий тигель; 2 - підставка тигля; 3 - алундова трубка; 4 - коливальний циліндр; 5 - сталева нитка; 6 - верхній палець підвісу; 7 - нижній палець підвісу; 8 - вантажі; 9 - магнітний диск; 10 - електромагніти, 11 - екран; 12 - кожух; 13 - захисна трубка; 14 - скляна трубка; 15 - джерело когерентного випромінювання (лазер); 16 - дзеркальце; 17 - ресстраційний блок; 18 - віконце; 19 - радіальний екран; 20 - торцеві екрани; 21 - кришка; 22 - ущільнювальна втулка; 23 - термопара ПР30/6; 24 - пристрій введення добавок

Для оцінки впливу домішок на в'язкість міді провели статистичну обробку експериментальних даних по в'язкості різних марок міді вогневого рафінування. У результаті отримали наступну залежність динамічної в'язкості розплаву міді при 1140°C від вмісту в ній домішок:

$$\eta_{1140^{\circ}\text{C}} = 0,0045 + 0,0034 \cdot [\%Bi] - 0,0011 \cdot [\%Sb] - 0,0020 \cdot [\%As] + 0,0021 \cdot [\%Ni] - 0,062 \cdot [\%Pb] + 0,083 \cdot [\%O] - 0,0043 \cdot [\%P], \quad (9)$$

де $\eta_{1140^{\circ}\text{C}}$ - динамічна в'язкість розплаву міді при 1140 °С, Па·с;
 $[\%Bi]$, $[\%Sb]$, ... - вміст домішок у розплаві міді, % (мас.).

Встановлено, що на величину в'язкості розплаву міді вогневого рафінування істотно впливає тільки розчинений у ньому кисень (при його вмісті в рафінованій міді марки МЗ на рівні 0,05% при температурі 1180°C динамічна в'язкість розплаву становить 0,0051 Па·с, що на 0,0005 Па·с вище, ніж у катодної міді).

Такі елементи як Bi і Ni незначно підвищують в'язкість, а Sb, As, Pb і P знижують в'язкість розплавів міді. Для кожної дослідженої марки рафінованої міді встановлені залежності в'язкості від температури, які використані при математичному моделюванні процесів розливання й твердіння мідних злитків.

Для визначення величини поверхневого натягу розплавів міді вогневого рафінування використовували відомий метод лежачої краплі.

На рис.2 представлена схема установки. Вона складається з печі опору 1, оптичної лави 2, пристосування для кріплення і юстировки підложки 3. Графітовий нагрівач 4 кріпиться до струмопідводів 5. Струмопідводами є два мідних водоохолоджуємих фланці, ізольовані один від одного тефлоновою прокладкою. Водоохолоджуємих кожух з нагрівачем і фланцями переміщається по рейках, відкриваючи доступ до підложки й пристосування для її кріплення. Підложка щільно посаджена в сталевій трубі 6. За допомогою гвинтів 7 проводиться перевірка площини підложки. Через сільфон і сальникове ущільнення інший кінець сталевій труби виводиться із пічного простору. Тут же через вакуумне ущільнення вводиться термопара 8. Гарячий спай термопари перебуває поруч із краплею 9, що підвищує точність температурних вимірів. Для експериментів використовували циліндричні зразки міді діаметром 18 мм і висотою 15 мм.

З метою отримання інформації про залежність поверхневого натягу від температури для марок міді вогневого рафінування досліджували по п'ять зразків кожної марки. Показано, що величина поверхневого натягу може мінятися в значному діапазоні для різних марок рафінованої міді (рис.3).

У результаті статистичної обробки експериментальних даних величини поверхневого натягу отримали наступне рівняння впливу домішкових компонентів:

$$\begin{aligned} \sigma_{1160^{\circ}\text{C}} = & 1235 - 0,23 \cdot [\%Bi] - 2,03 \cdot [\%Sb] - \\ & - 0,88 \cdot [\%As] - 12,67 \cdot [\%O] - 0,47 \cdot [\%P], \end{aligned} \quad (10)$$

де $\sigma_{1160^{\circ}\text{C}}$ - поверхневий натяг розплаву міді при 1160°C, мН/м;
 $[\%Bi]$, $[\%Sb]$, ... - вміст домішок у розплаві міді, % (мас.).

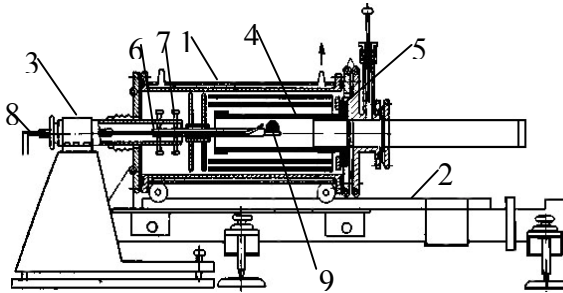


Рис.2. Схема установки по визначенню поверхневого й міжфазного натягу металевих розплавів методом лежачої краплі

Встановлено, що найбільш поверхово активним елементом у розплаві міді є розчинений у ній кисень. При його вмісті в рафінованій міді марки МЗ на рівні 0,05% при температурі 1180°C поверхневий натяг розплаву становить 1180 мН/м, що на 50 мН/м-с нище, ніж у катодної міді.

Для розвитку уявлень, що пояснюють процес формування меніска мідного зливка, було виконано ряд експериментів з оцінки змочування розплаву міді вогневого рафінування поверхні кристалізатора. В якості покриттів були прийняті найбільш уживані на практиці матеріали: графіт, нікель і хром.

Експерименти щодо оцінки змочування розплавів міді показали, що на холодній поверхні при високій швидкості охолодження мідь погано її змочує незалежністю від матеріалу напилювання. Це дозволило в подальших дослідженнях використовувати найбільше технологічне для умов ВАТ «АЗОКМ» покриття - хромове.

З використанням отриманих даних про поверхневий натяг міді вогневого рафінування й змочування нею покриття кристалізатора був виконаний аналіз механізму формування слідів гойдання на поверхні заготовки в кристалізаторі, пов'язаних з його зворотно-поступальним рухом.

При русі кристалізатора вгору й заготовки вниз на поверхні кристалізатора утворюється й наростає новий пояс твердої скоринки. Ріст скоринки триває й при русі кристалізатора вниз. На ділянці випередження ця скоринка «доганяє» основний твердий каркас і зварюється з ним. При цьому глибина слідів гойдання залежить від ефективності стикування твердої скоринки основного каркаса й твердої скоринки нового пояса.

Якщо пояс твердої скоринки не стикується із твердим каркасом, то в силу поганого змочування міді на поверхні заготовки утвориться поперечна канавка глибиною 0,8-1,2 мм. Якщо ж пояс твердої скоринки впирається у твердий каркас і як би продовжує рух разом із кристалізатором, то може відбутися деформація вершин твердого каркаса, при якій він загинається всередину.

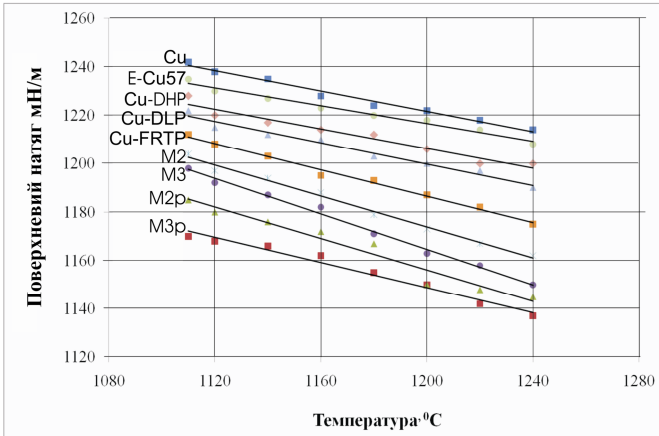


Рис.3. Залежність поверхневого натягу різних марок міді вогневого рафінування від температури

У цьому випадку глибина сліду гойдання також збільшується. Показано, що глибина слідів гойдання в значній мірі залежить від амплітуди й частоти гойдання кристалізатора. При цьому певна корекція повинна бути виконана в частині обліку величини поверхневого натягу металу (залежно від марки міді). Встановлено, що більший міжфазний натяг приводить до більш глибоких і широких слідів гойдання на поверхні заготовки.

Третій розділ «Дослідження характеру твердіння мідних зливків, отримуваних на машинах напівбезперервного розливання». Проведено дослідження факторів, що впливають на процеси кристалізації мідної заготовки. Особливістю твердіння мідної заготовки, що розливається на МНБЛЗ, є те, що процес переходу рідкої фази у тверду завершується безпосередньо в кристалізаторі, а глибина рідкої лунки, як правило, не перевищує 300-350 мм. Така висока швидкість твердіння пояснюється вкрай високою теплопровідністю міді. При цьому лімітуючою ланкою, що перешкоджає високому рівню переносу тепла, може стати зазор між поверхнею зливка й внутрішньою поверхнею заготовки. Відповідно з погляду забезпечення високої інтенсивності відводу тепла представляється доцільним додання внутрішній порожнині кристалізатора такої форми, яка б урахувала явище усадки зливка. Вибір конусності кристалізаторів для отримання круглої й прямокутної заготовки здійснювався за допомогою математичної моделі, що описує процеси відводу тепла й твердіння.

У результаті аналізу даних математичного моделювання процесу твердіння прямокутної заготовки для підвищення ефективності роботи кристалізатора запропоновано внутрішню поверхню кристалізатора виконувати з

урахуванням поправки на природну усадку литого зливка, тобто зі змінної по висоті конусністю робочого профіля по стінках кристалізатора. Установлено, що у верхній частині кристалізатора (не нижче 200 мм від дзеркала металу) конусність може бути прийнята на рівні 0, 72-0,96%, а в нижній частині - на рівні 0, 24-0,48%. При цьому більші значення відносяться до вузьких граней зливка. Зниження конусності в нижній частині кристалізатора пояснюється зменшенням величини усадки в цій частині зливка й прагненням запобігти його заклинюванню.

У ході чисельного експерименту також були змодельовані варіанти розливання круглих мідних зливків (200-220 мм на швидкостях лиття 9-10,5 м/год (з гоїданням кристалізатора) у мідний кристалізатор висотою 360 мм і товщиною стінки 15 мм із різними конусами (2 мм, 2,5 мм, 3 мм). При цьому для зниження тріщиноутворення в зоні безпосереднього контакту затверділої скоринки зі стінкою кристалізатора й у зоні теплопередачі через повітряний зазор, що утворився, раціональна конусність повинна становити 0,69-0,83% (2,5-3мм), а в нижній зоні конусність може бути прийнята рівною 0,13-0,28% (0,5-1мм).

Четвертий розділ *«Розробка ресурсозберігаючої системи технологій виробництва й розливання рафінованої міді в умовах ВАТ «АЗОКМ»*. Відпрацювання наукових положень і висновків, отриманих у ході лабораторних досліджень і математичного моделювання процесу кристалізації мідної заготовки, була проведена в умовах ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів».

У промислових умовах були проведені випробування мідних кристалізаторів зі змінною по висоті конусністю, параметри яких були розраховані за допомогою математичної моделі (розділ 3), що використовує отримані дані про властивості міді вогневого рафінування. Показано, що для кристалізатора зі змінною конусністю якість поверхні мідних круглих заготовок діаметром 220 мм перевершує заготовки, відлиті в мідний кристалізатор традиційної конструкції (без конусності). У цілому ж кількість подовжніх і поперечних тріщин при використанні кристалізатора нової конструкції (подвійна конусність) зменшилася в 4-6 разів у порівнянні із кристалізатором традиційної конструкції.

Відповідно до виконаного аналізу реальних параметрів гоїдання кристалізатора МНБЛЗ в умовах ливарно-прокатного цеху для міксерів №1 і №2 були запропоновані раціональні амплітудно-частотні параметри гоїдання кристалізаторів. В якості основних критеріїв вибору параметрів гоїдання кристалізатора були прийняті глибина й відстань між слідами гоїдань (крок). Ці режими гоїдання були розраховані для діапазону швидкостей розливання 6-15 м/год. Крок між слідами гоїдання був прийнятий у діапазоні 10-15 мм із урахуванням забезпечення необхідної міцності скоринки. При цьому хід кристалізатора склав 10 мм.

Запропоновані конструкційні й технологічні параметри дозволили стабілізувати роботу МНБЛЗ і підвищити їх продуктивність у середньому в 1, 5-2,0 рази за рахунок збільшення швидкості розливання. У результаті виданих за підсумками проведених досліджень рекомендацій із забезпечення раціональних конусності й режимів гойдання кристалізатора вихід придатного збільшився на 0,4 % при виробництві круглих злитків і на 0,3% при виробництві прямокутних злитків. Фактичний економічний ефект у цьому випадку склав 1080768,8 грн. на рік (частка автора становить 40% або 432307 грн на рік).

Поряд із цими дослідженнями, відповідно до рекомендацій по забезпеченню раціональних властивостей мідного розплаву й мінімального вмісту в ньому газів, наведеними в розділі 2, були запропоновані й впроваджені заходи, що дозволили поєднати розливання міді на ливарно-прокатному модулі і МНБЛЗ для круглих і плоских заготовок із металу однієї плавки. Оскільки метал повинен по можливості мати мінімальні втрати тепла на ділянці руху від печі до МНБЛЗ, і мінімально контактувати з киснем і воднем повітря її дообладнали двома лініями закритих транспортувальних жолобів. У транспортувальному жолобі за допомогою регулювання роботи газових пальників, підбору необхідних футерувальних матеріалів створені необхідні умови для мінімізації негативних факторів впливу на розплав. Для запобігання насичення міді газами встановлене обмеження по вмісту СО у жолобах, що повинне відповідати рівню 2,5-3,5%. Це дозволяє зменшити ураженість заготовок газованістю.

Розроблена схема виробництва й розливання рафінованої міді в цілому забезпечила ефективне виробництво металопродукції, що має високий експортний потенціал.

У результаті впровадження заходів щодо зміни технологічних і конструктивних параметрів розливання, що враховують досліджені властивості міді вогневого рафінування, ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів» отримав можливість робити рідкий метал з вітчизняного брухту. При цьому за рахунок утилізації низькоякісного брухту досягнутий ресурсозберігаючий ефект у розмірі 2920 грн/т готової продукції (листа).

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішене актуальне науково-технічне завдання по теоретичному обґрунтуванню раціональних параметрів гойдання й конусності кристалізатора, удосконаленню технології процесу напівбезперервного розливання міді вогневого рафінування, підвищенню якості заготовок (знижена кількість поздовжніх і поперечних тріщин, зменшена глибина слідів гойдання й газованість заготовок), поліпшенню умови їхнього формування й забезпеченню ресурсозберігаючого ефекту при отриманні продукції.

Основні наукові й практичні результати роботи:

1. Виконаний аналіз умов виробництва мідної продукції показує, що для українських підприємств найбільш ефективним методом є виробництво міді із вторинної сировини методом вогневого рафінування, що дозволяє забезпечити достатній рівень якості технічної міді (вміст міді не менше 99,5% і мінімальний вміст шкідливих домішок). Однак застосування такої технології в Україні ускладнене низькою якістю вітчизняного металобрухту - якість отримуваної при розливанні продукції не відповідає світовим аналогам. Показано, що забезпечення необхідного рівня якості розливої заготовки значною мірою залежить як від властивостей міді вогневого рафінування, так і від технологічних і конструктивних параметрів розливання, які в цей час недостатньо вивчені.

2. За допомогою вдосконаленої експериментальної установки проведено дослідження в'язкості ряду марок міді вогневого рафінування виробництва ВАТ "АЗОКМ". Встановлено, що на в'язкість розплаву міді вогневого рафінування істотно впливає тільки розчинений у ньому кисень. При його вмісті в рафінованій міді марки МЗ на рівні 0,05% при температурі 1180°C динамічна в'язкість розплаву становить 0,0051 Па·с, що на 0,0005 Па·с вище, ніж у катодної міді. Для кожної дослідженої марки міді встановлені залежності в'язкості від температури, які були використані при математичному моделюванні процесів розливання і твердіння мідних заготовок.

3. За допомогою методу лежачої краплі досліджений поверхневий натяг ряду марок міді вогневого рафінування виробництва ВАТ "АЗОКМ". Встановлено, що найбільш поверхово активним елементом у розплаві міді є розчинений у ній кисень. При його вмісті в рафінованій міді марки МЗ на рівні 0,05% при температурі 1180°C поверхневий натяг розплаву становить 1180 мН/м, що на 50 мН/м нище, ніж у катодної міді. Встановлено, що для отримання якісної заготовки необхідна така організація процесу передачі міді на розливання, при якій уже після зливу з печі можливе проведення коректування хімічного складу й температури розплаву.

4. Проведені експерименти показали, що при високій швидкості охолодження розплаву міді вона погано змочує поверхню підложки, що імітує стінку водоохолоджуваного кристалізатора, поза залежністю від виду напильювання (графіт, нікель, хром). Встановлений факт дозволив у дослідженнях використовувати найбільш технологічне для умов ВАТ «АЗОКМ» покриття - хромове.

5. Проведений з урахуванням отриманих даних про поверхневий натяг міді вогневого рафінування аналіз механізму утворення слідів гойдання на поверхні мідної заготовки показав, що сліди гойдання утворюються при порушенні балансу міжфазного натягу, що регулює форму меніска. Цим пояснюється наявність раціональної частоти гойдань кристалізатора. Ця частота визначається її відношенням до швидкості розливання й міжфазним натягом

між металом і захисним шаром. У ході промислових випробувань, проведених в умовах ливарно-прокатного цеху ВАТ «АЗОКМ» для міксерів МНБЛЗ №1 і №2 і дефектів, що утворюються в процесі лиття, були розраховані раціональні режими гойдання кристалізаторів. Це режими, які в діапазоні швидкостей розливання 6-15 м/год дозволяють отримувати крок між слідами гойдання в діапазоні 10-15 мм, що знижує ймовірність утворення тріщин.

6. Створено математичні моделі формування напівбезперервної заготовки прямокутного й круглого перетину. При цьому враховано, що для зниження ймовірності утворення тріщин внутрішня поверхня кристалізатора повинна бути виконана з урахуванням природної усадки литого зливка, тобто мати змінну по висоті конусність профілю кристалізатора. У результаті чисельного експерименту для зниження ймовірності утворення тріщин рекомендовані наступні параметри кристалізатора перетином 200-210 x 600 - 610 мм: для нижньої частини кристалізатора конусність повинна становити 0,24-0,48%, а у верхній (до 20 см від меніска) - 0,72-0,96%. Для круглого зливка діаметром 200-220 мм у зоні безпосереднього контакту затверділої скоринки зі стінкою кристалізатора й у зоні теплопередачі через повітряний зазор, що утворився, конусність повинна становити 0,69-0,83%, а у верхній зоні зняття теплоти перегріву конусність може бути прийнята рівною 0,13-0,28%.

7. Рекомендації щодо вдосконалення конструкції й режимів гойдання кристалізаторів МНБЛЗ для розливання міді вогневого рафінування використані при виробництві круглої й прямокутної заготовки в умовах ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів». В результаті отриманий економічний ефект склав 1080768,8 грн. на рік (частка автора становить 40 % або 432307 грн на рік).

8. У зв'язку з тим, що метал повинен за можливістю мати мінімальні втрати тепла на ділянці руху від печі до МНБЛЗ, і мінімально контактувати з киснем і воднем повітря, а також для швидкого зливу міді з печі її оснастили двома лініями закритих транспортувальних жолобів, у яких за допомогою регулювання роботи газових пальників, підбора необхідних футерувальних матеріалів створені всі умови для позапічної обробки розплаву. Для запобігання насичення міді газами встановлене обмеження по вмісту CO у жолобах, що повинне складати 2,5-3,5%.

9. Розроблена в результаті впровадження заходів щодо зміни технологічних і конструктивних параметрів розливання, що враховують досліджені властивості міді вогневого рафінування, схема транспортування й розливання рафінованої міді в цілому забезпечила ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів» можливість виробництва рідкого металу з вітчизняного брухту. При цьому за рахунок утилізації низькоякісного брухту досягнуто ресурсозберігаючий ефект у розмірі 2920 грн/т готової продукції (листа).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Рафинированная медь Украины / [Савенков Ю.Д., Дубоделов Ю.Д., Шпаковский В.А., Кожанов В.А., Штепан Е.В.]- Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2008.- 176 с.
2. Исследование процесса формирования прямоугольного слитка при полунепрерывной разливке меди / Ю.Д.Савенков, С.В.Гридин, Е.В.Штепан, В.Е.Ухин, А.В.Кравченко, А.П.Верзилов // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер., Металургія.- 2009.- №11(159).– С.253-261.
3. Савенков Ю.Д. Рафинирование меди - инновационный путь повышения уровня производства в условиях ОАО «АЗОЦМ» / Ю.Д.Савенков, Д.В.Спиридонов // Металл и литье Украины.- 2009.- №1-2.- С.33-36.
4. Смирнов А.Н. Особенности полунепрерывной разливки медных заготовок и оптимизация режимов осцилляции / А.Н.Смирнов, О.В.Антыкуз, Ю.Д.Савенков // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер., Металургія.- 2009.- №11(159).– С.144-153.
5. Исследование вязкости расплавов меди огневого рафинирования на усовершенствованном вискозиметре с автоматической регистрацией данных / А.Н.Смирнов, Ю.Д.Савенков, М.В.Епишев, В.В.Бурлака // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер., Металургія.- 2009.- №11(159).– С.206-214.
6. Дослідження явищ усадки при формуванні мідних зливків / С.В.Гридин, Д.В.Спиридонов, Ю.Д.Савенков, А.Н.Смірнов // Металознавство та обробка металів.- 2009.- №2.- С.35-39.
7. Разработка параметров затвердевания и конструкции кристаллизаторов для круглых непрерывнолитых слитков из меди / А.Н.Смирнов, С.В.Гридин, Д.В. Спиридонов, Ю.Д.Савенков // Металлургическая и горно-рудная промышленность.- 2008.- №6.-С. 72-75.
8. Состояние и прогнозные перспективы сырьевой базы вторичной цветной металлургии Украины (обзор) / Ю.Д. Савенков, В.А. Кожанов, Н.Е. Кваченюк, В.А. Попов, П.С. Шинкаренко // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер., Металургія.- 2007.- №9.– С.3-11.
9. Кожанов В.А. Термодинамические предпосылки прецизионного огневого рафинирования меди из лома и отходов / В.А. Кожанов, Ю.Д. Савенков, В.А. Шпаковский // Металл и литье Украины.- 2007.- №8.- С.34-37.
10. Кожанов В.А. Исследования возможности глубокого огневого рафинирования лома и отходов меди / В.А. Кожанов, Ю.Д. Савенков, В.А. Шпаковский // Металл и литье Украины.- 2007.- №3.- С.45-47.
11. Кваченюк Н.Е. Технологический процесс производства медной кантани / Н.Е.Кваченюк, Н.С.Шинкаренко, Ю.Д.Савенков // Металл.- 2007.-№7 (91).- С.58-59.
12. Кваченюк Н.Е. Комплекс огневого рафинирования меди / Н.Е.Кваченюк, Н.С.Шинкаренко, Ю.Д.Савенков // Металл.- 2007.-№3 (87).- С.50-53.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1] - Розроблена технологія виробництва мідної продукції в умовах ВАТ «АЗОКМ». [2] - За допомогою математичної моделі твердіння мідної заготовки, що враховує вивчені властивості рафінованої міді, отримані раціональні значення конусності кристалізатора для отримання прямокутної заготовки. [3] - Розроблена раціональна схема отримання мідної продукції в умовах ВАТ «АЗОКМ». [4] - Виконані промислові дослідження з вивчення механізму формування й вибору режимів гойдання МНБЛЗ. [5] - Виконані дослідження в'язкості міді вогневого рафінування виробництва ВАТ «АЗОКМ». [6] - Виконані дослідження в'язкості міді вогневого рафінування виробництва ВАТ «АЗОКМ». [7] - За допомогою математичної моделі твердіння мідної заготовки отримані раціональні значення конусності кристалізатора для отримання прямокутної заготовки. [8] - Досліджений вплив якості мідного брухту на параметри процесу вогневого рафінування міді. [9] - Вдосконалена технологія вогневого рафінування міді. [10] - Виконані дослідження впливу якості сировини на якість мідної продукції. [11] - Розроблена вдосконалена технологія виробництва мідної катанки. [12] - Розроблена раціональна схема отримання мідної продукції в умовах ВАТ «АЗОКМ».

АНОТАЦІЯ**Савенков Ю.Д. Вдосконалення інтегрованої схеми ресурсозберігаючих технологій для виробництва і розливання міді вогневого рафінування. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 - Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2010.

Вирішено актуальну науково-технічну задачу щодо теоретичного обґрунтування вибору раціональних параметрів конусності і гойдання кристалізатора і вдосконалення технології процесу напівбезперервного розливання міді вогневого рафінування, які дозволили підвищити якість заготовок (знижити кількість подовжніх і поперечних тріщин, зменшити глибину слідів гойдання і газованість заготовки), покращити умови їх формування і забезпечили енергозберігаючий ефект при отриманні продукції. Для цього вперше вивчено властивості міді вогневого рафінування, які використані при математичному моделюванні та при обґрунтуванні механізму гойдання кристалізатора. На основі теоретичних досліджень розроблено заходи щодо вдосконалення технології і параметрів процесу розливання міді вогневого рафінування на машинах напівбезперервного лиття заготовки. Для умов ливарно-прокатного

цеху ВАТ «Артемівський завод по обробці кольорових металів» виконані й впроваджені рекомендації щодо режимів осциляції та конструктивних параметрів кристалізатора, що дозволило підвищити якість заготовки та впровадити ресурсозберігаючу схему виробництва міді вогневого рафінування з брухту низької якості.

Ключові слова: мідь вогневого рафінування, напівбезперервнолита заготовка, міксер, кристалізатор, сліди гойдання, тріщини.

АННОТАЦІЯ

Савенков Ю.Д. Совершенствование интегрированной схемы ресурсосберегающих технологий для производства и разлива меди огневого рафинирования. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - Metallurgy черных и цветных металлов и специальных сплавов. - ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2010.

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача по теоретическому обоснованию выбора рациональных параметров конусности и качания кристаллизатора и усовершенствованию технологии процесса полунепрерывной разлива меди огневого рафинирования, которые позволили повысить качество заготовок (снизить количество продольных и поперечных трещин, уменьшить глубину следов качания и газированность заготовки), улучшить условия их формирования и обеспечили ресурсосберегающий эффект при получении продукции.

Для этого с помощью созданных лабораторных установок и отработанных методик исследованы вязкость и поверхностное натяжение меди огневого рафинирования. Показано, что с ростом температуры вязкость расплава меди огневого рафинирования снижается. Наиболее сильное влияние на вязкость расплава меди оказывает растворенный в ней кислород. При его содержании в рафинированной меди марки МЗ на уровне 0,05% при температуре 1180°C динамическая вязкость расплава составляет 0,0051 Па·с, что на 0,0005 Па·с выше, чем у катодной меди.

Исследовано поверхностное натяжение ряда марок меди огневого рафинирования производства ОАО "АЗОЦМ". Установлено, что наиболее поверхностно активным элементом в расплаве меди является растворенный в ней кислород. При его содержании в рафинированной меди марки МЗ на уровне 0,05% при температуре 1180°C поверхностное натяжение расплава составляет 1180 мН/м, что на 50 мН/м·с ниже, чем у катодной меди.

С учетом полученных данных о поверхностном натяжении меди огневого рафинирования проведен анализ механизма образования следов качания

на поверхности медной заготовки. Показано, что образование следов качания на поверхности медной заготовки начинается при движении кристаллизатора вверх. В этом случае верхняя часть затвердевшей корки прилипает к кристаллизатору и перемещается вместе с ним. Медный расплав проникает в зазор между оторвавшейся и основной коркой и формирует вторичный мениск. При последующем движении кристаллизатора вниз оторвавшаяся корка догоняет основную и сваривается с нею, образуя след качания. Глубина следа качания зависит как от параметров качания кристаллизатора, так и от поверхностного натяжения медного расплава. Этим объясняется наличие рациональной частоты качаний кристаллизатора. Эта частота определяется ее отношением к скорости разливки и межфазным натяжением между металлом и защитным слоем. В ходе промышленных испытаний, проведенных в условиях литейно-прокатного цеха ОАО «АЗОЦМ» для миксеров МПНЛЗ №1 и №2 и дефектов, образующихся в процессе литья, были рассчитаны рациональные режимы качания кристаллизаторов. Это режимы, которые в диапазоне скоростей разливки 6-15 м/час позволяют получать шаг между следами качания должен быть в диапазоне 10-15 мм, что снижает вероятность образования трещин.

С использованием математических моделей формирования полунепрерывнолитой заготовки прямоугольного и круглого сечения для снижения вероятности образования трещин рекомендованы следующие параметры кристаллизатора сечением 208x610 мм: для нижней части кристаллизатора конусность должна составлять $0,24\% \pm 0,48\%$, а в верхней (до 20 см от мениска) – $0,72\% \pm 0,96\%$. Для круглого слитка диаметром 220 мм в зоне непосредственного контакта затвердевшей корочки со стенкой кристаллизатора и в зоне теплопередачи через образовавшийся воздушный зазор конусность должна составлять $0,69\% \pm 0,83\%$, а в верхней зоне снятия теплоты перегрева конусность может быть принята равной $0,13\% \pm 0,28\%$. При этом учтено, что внутренняя поверхность кристаллизатора должна быть выполнена с учетом поправки на естественную усадку литого слитка, т.е. иметь переменную по высоте конусность профиля кристаллизатора.

В результате внедренных в условиях ОАО «Артемовский завод по обработке цветных металлов» рекомендаций по обеспечению рациональных конусности и режимов качания кристаллизатора выход годного увеличился на 0,4 % при производстве круглых слитков и на 0,3% при производстве прямоугольных слитков. Фактический экономический эффект в этом случае составил 1080768,8 грн. в год (доля автора составляет 40 % или 432307 грн в год).

Также в соответствии с рекомендациями по обеспечению рациональных свойств медного расплава и минимального содержания в нем газов для предотвращения насыщения меди газами установлено ограничение по содержанию СО в желобах, которое должно соответствовать 2,5-3,5%.

Разработанная схема транспортировки и разливки рафинированной меди в целом обеспечила ОАО «Артемовский завод по обработке цветных металлов» возможность производства жидкого металла из отечественного лома. При этом за счет утилизации низкокачественного лома достигнут ресурсосберегающий эффект в размере 2920 грн/т готовой продукции (листа).

Ключевые слова: медь огневого рафинирования, полунепрерывнолитая заготовка, миксер, кристаллизатор, следы качания, трещины.

ABSTRACT

Savenkov Yu.D. Improvement of integrated scheme of the resource-saving technologies for fire-refined copper producing and casting. - Manuscript.

Thesis for competition on a candidate degree in material science and engineering scientific on specialization in 05.16.02 - Metallurgy of ferrous and non-ferrous metals and special alloys. – SHSU «Donetsk National Technical University», Donetsk, 2010.

Urgent scientific and technical problem on the theoretical grounds for choosing rational parameters of mold taper and oscillation and improved process technologies semicontinuous casting fire-refined copper, which allowed to improve the ingots quality (reducing the number of longitudinal and transverse cracks, reduce the depth of oscillation marks and ingot gasing), to improve conditions their formation and provide energy-saving effect in obtaining products. In this case properties of refined copper was studied.

Recommendations in relation to the improvement of technology and parameters of process of fire-refined copper casting on the machines of the semicontinuous casting are developed.

Properties of refined copper are used for a mathematical design and at the ground of mechanism of mold oscillation. This investigations for «AZOCM» conditions was used.

Keywords: fire-refined copper, semicontinuous casted ingot, mixer, mold, oscillation marks, cracks.