

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова

**I Всеукраїнська науково-технічна конференція
молодих вчених «НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ»**

Тези доповідей

м. Дніпро
2017

Редакційна колегія випуску:

- Бабаченко О. І.** д.т.н., директор ІЧМ НАНУ;
- Вергун О.С.** д.т.н., заступник директора ІЧМ НАНУ;
- Меркулов О.Є.** к.т.н., с.н.с., вчений секретар ІЧМ НАНУ;
- Тогобицька Д. М.** д.т.н., проф., зав. відділу фізико-хімічних проблем металургійних процесів ІЧМ НАНУ;
- Чернятевич А. Г.** д.т.н., проф., зав. відділу фізико-технічних проблем металургії сталі ІЧМ НАНУ;
- Шевченко А. П.** д.т.н., с.н.с., зав. відділу позапічної обробки чавуну ІЧМ НАНУ;
- Муравйова І. Г.** д.т.н., с.н.с., зав. відділу технологічного обладнання та систем управління ІЧМ НАНУ;
- Приходько І. Ю.** д.т.н., с.н.с., зав. відділу обробки металів тиском ІЧМ НАНУ;
- Луценко В. А.** д.т.н., с.н.с, пров. наук. співроб. відділу термічної обробки металу для машинобудування ІЧМ НАНУ;
- Нестеров О. С.** к.т.н., с.н.с. зав. відділу металургії чавуну ІЧМ НАНУ;
- Тубольцев Л. Г.** к.т.н., с.н.с. зав. Відділу прогнозу та інформаційно-технічних досліджень в металургії

ЗМІСТ

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ МОРФОЛОГІЇ ВКЛЮЧЕНЬ ПРИ ХОЛОДНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ	
Е. В. Парусов.....	6
РАФІНУВАННЯ ОКСИДНО-ФТОРИДНИХ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ ВІД СІРКИ ТА ФОСФОРУ	
А. М. Дученко, І. О. Гончаров.....	7
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АГРЕГАТА КІВШ-ПІЧ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВМІСТУ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ В КОНСТРУКЦІЙНІЙ СТАЛІ	
О. В. Жаданос, І. В. Дерев'янка, Д. О. Чайка	8
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ ІНЕРТНИМ ГАЗОМ У СТАЛЕВИПУСКНОМУ КАНАЛІ	
А. А. Похвалітій.....	9
ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИСОКОМІЦНИХ СЕМИДРОТОВИХ АРМАТУРНИХ КАНАТІВ	
Л. В. Сагура, І. М. Чуйко, Е. В. Парусов.....	10
АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗЛИВКИ СТАЛІ НА МБЛЗ З МЕТОЮ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРОРИВІВ МЕТАЛУ ПІД КРИСТАЛІЗАТОРОМ	
Д. О. Мусунов, Є. В. Синегін.....	11
АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ТРИКРИТЕРІЙНОЇ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ	
К. А. Колісник, Л. Т. Бойко.....	12
ЗАЛЕЖНІСТЬ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ ВІД БАГАТСТВА ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШИХТИ	
Ю. К. Лебідь, Г. Ю. Крячко, Н. М. Валуєва.....	13
ПРОГНОЗУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАСВОЄННЯ ЛЕГУЮЧИХ КОМПОНЕНТІВ	
І. Р. Снігура, Д. Н. Тогобицкая.....	14
РОЗРОБКА ТА АДАПТАЦІЯ ПОВНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДО УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА	
А. О. Москалина, О. А. Сохацький.....	15
РІДКОФАЗНЕ СПІКАННЯ СУМІШІ ПОРОШКІВ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ	
К. О. Черноіваненко.....	16
ВПЛИВ ВВЕДЕННЯ ОКСИДІВ КАЛЬЦІЮ, МАГНІЮ ТА ТИТАНУ НА ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ СИСТЕМИ $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	
Г. П. Стовпченко, І. О. Гончаров, Л. О. Лісова, Я. В. Гусєв.....	17
МЕТОДИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ	
І. В. Попов, Л. Т. Бойко.....	18

РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДВОЯРУСНОЇ ФУРМИ ДЛЯ ВЕРХНЬОЇ КИСНЕВОЇ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ	
В. В. Вакульчук.....	19
ДОСЛІДЖЕННЯ НА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ МОДЕЛІ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВПЛИВУ НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НА ШЛАКО-МЕТАЛЕВУ ВАННУ	
С. І. Семикін, А. Г. Чернятевич, Т. С. Голуб, С. О. Дудченко, В. В. Вакульчук.....	20
ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВПЛИВУ НА КОГЕЗИВНУ МІЦНІСТЬ МІЖФАЗНИХ МЕЖ ВКЛЮЧЕННЯ-МАТРИЦЯ СТАЛІ	
С. І. Губенко, І. О. Нікульченко.....	21
МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ НАКОПИЧЕНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ В ТРУБНИХ ТА КОЛІСНИХ ЗАГОТОВКАХ ЗІ ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ «СЛІДІВ» ДЕНДРИТНОЇ СТРУКТУРИ	
К. Г. Дьоміна.....	22
ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДІВ РАФІНУЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ОСНОВНИХ ПРОЦЕСАХ ВИРОБНИЦТВА ЧОРНИХ МЕТАЛІВ	
Л. В. Камкіна, А. П. Мішалкін, Я.С. Сініцин.....	23
ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ 01ЮТ МЕТОДОМ ФІЗИКО- ХІМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	
В. З. Куцова, В. Ю. Камкін, Г.П. Стеценко.....	24
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОХ МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ	
А. А. Конончук, Л. Т. Бойко.....	25
РЕЦИКЛІНГ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ШЛАМОВИХ ВІДХОДІВ ЗМІШАНОГО СКЛАДУ	
Я. В. Мянєвська, К. С. Казаткова.....	26
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ЗАГАРТУВАННЯМ ТА ВИКОРИСТАННЯ СПРЕЙЄРНОГО МЕТОДУ В ТЕРМООБРОБЦІ	
Р. І. Пека.....	27
ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕШП ДЛЯ ОТРИМАННЯ СУЧАСНИХ ВИСОКОМІЦНИХ АНСС СТАЛЕЙ НА ОСНОВІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ	
Г. О. Полішко, Л. О. Лісова, Л. Б. Медовар, Г. П. Стовпченко.....	28
КЛАСТЕРНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВОГО РОЗПЛАВУ	
В. О. Горохова.....	29
ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПЕГМАТИТУ ДЛЯ ПОЗАПІЧНОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ СТАЛІ В УМОВАХ ПАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»	
О. В. Яковицький, А. С. Сальніков, Д. О. Степаненко.....	30
ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ У ВАННІ КОВША ПРИ НАГРІВАННІ СТАЛІ НА УКП	
Г. О. Андрієвський, В. П. Піптюк, С. В. Греков.....	31

МОЖЛИВІСТЬ ЕКОНОМІЇ РОЗКИСЛЮВАЧІВ І ЛЕГУЮЧИХ ДОБАВОК ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ	
А. Денисенко, А. А. Надточій.....	32
СПАДКОВИЙ ВПЛИВ ЯКОСТІ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТИХ ЗАГОТОВОК НА БРАК УЗК ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ	
О. І. Бабаченко, Г. А. Кононенко, О. А. Шпак.....	33
ПІДВИЩЕННЯ ЧАСТКИ ЛОМУ У КОНВЕРТЕРНІЙ ШИХТІ ЗА РАХУНОК ЗБІЛЬШЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВАННИ	
А. П. Мішалкін, Р. О. Назаренко.....	34
АНАЛІЗ РІВНОВАГИ СИСТЕМИ МЕТАЛ-ШЛАК ПРИ КОНВЕРТЕРНОМУ ОТРИМАННІ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОГО ФЕРОМАРГАНЦЮ	
А. Р. Пасічник, А. А. Надточій.....	35
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК УКРАЇНСЬКОГО ТА ЗАКОРДОННОГО ВИРОБНИЦТВА	
О. І. Бабаченко, О. В. Пучиков, О. В. Узлов, Г. А. Кононенко, К. Г. Дьоміна, А. М. Хулін, Ж. А. Дементьєва, О. А. Шпак.....	36
ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРИЯРУСНОЇ ФУРМИ ¹	
П. О. Юшкевич.....	47

УДК 669.017:620.18:621.771.25

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ МОРФОЛОГІЇ ВКЛЮЧЕНЬ ПРИ ХОЛОДНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

Е. В. Парусов, к.т.н., с.н.с.

Інститут чорної металургії НАНУ, м. Дніпро

Показано, що основними видами неметалевих включень (НВ) в гарячекатаному бунтовому прокаті з високовуглецевої сталі є багатокомпонентні силікати і сульфідні, зустрічаються також оксиди кальцію, марганцю, алюмосилікати і оксисульфідні. При холодній деформації (волочинні) прокату, формозміна НВ триває в нових умовах деформації в порівнянні з гарячою прокаткою металу, що обумовлено відмінностями температур, деформуючих зусиль і самого способу деформації. Поведінка НВ під час волочиння пов'язана з рівнем їх пластичності та залежить від температури деформації. При різній пластичності фаз гетерофазних НВ спостерігається їх руйнування уздовж міжфазних границь, інші види НВ руйнуються крихко, а й їх осколки перерозподіляються в напрямку деформації перлітної матриці. На границі розділу включення-матриця концентруються більші напруження, що ускладнює її течію уздовж поверхні розділу з НВ з ростом сумарного обтиску металу. В даному випадку процеси відновлення (рекристалізації) деформованої структури виключаються. У разі, якщо руйнування НВ відбувається на кінцевому етапі деформації, то метал матриці не встигає заповнити простір між осколками включення (виникають порожнечі). З підвищенням ступеня деформації збільшується дисперсність всіх видів НВ. Вільний розвиток деформації матриці поблизу НВ гальмується вже на ранніх стадіях пластичної деформації: спостерігається вигин пластин перлітних колоній, виникають локальні зони концентрації напружень, а також ділянки структури металу з розвиненою неоднорідною деформацією.

УДК 669.184.244.66

РАФІНУВАННЯ ОКСИДНО-ФТОРИДНИХ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ ВІД СІРКИ ТА ФОСФОРУ

А. М. Дученко, І. О. Гончаров, д.т.н.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, м. Київ

Впровадження у виробництві сталевих конструкцій нових холодостійких низьколегованих сталей вимагає розробки відповідних зварювальних матеріалів, які були б здатні забезпечити високий рівень вимог до ударної в'язкості металу шва $KCV_{-20\text{C}} \geq 60$ Дж/см². В світовій практиці при зварюванні відповідальних конструкцій використовують агломеровані флюси. В Україні їх промислове виробництво донедавна було відсутнє. Однією з причин такого стану є відсутність в Україні і висока вартість закордонної якісної за шкідливими домішками сировини. Авторами запропонована і розроблена технологія рафінування шлакового розплаву від шкідливих домішок і на цій основі створена оригінальна технологія виробництва агломерованих флюсів, яка базується на використанні плавлених напівпродуктів.

Робота виконувалася за такими напрямками:

- термодинамічний аналіз хімічних реакцій, які відбуваються при плавленні флюсу;
- дослідження впливу сировинних матеріалів та технологічних факторів виробництва плавлених і агломерованих флюсів на загальний вміст водню у флюсі і вміст дифузійного водню в наплавленому металі;
- високотемпературні термодинамічні дослідження шлакової фази стосовно впливу компонентів легуючої та шлакової основи флюсу, технології його виготовлення на термодинамічну активність кисню;
- дослідження впливу будови та структурнозалежних фізико-хімічних властивостей флюсу на його технологічні властивості;
- дослідження впливу термодинамічної активності кисню в шлаковому розплаві на утворення неметалевих включень, формування мікроструктури і холодостійкість зварних швів.

Визначення активності кисню в шлакових розплавах проводилось з допомогою вимірювання електрорушійної сили гальванічного елемента.

Дослідження структури шлакових розплавів виконували методом рентгенографічного фазового аналізу. Вимірювання в'язкості розплавлених флюсів виконували за допомогою ротаційного віскозиметра.

Термічну десорбцію водню із флюсів і наплавленого металу досліджували хроматографічним методом.

При дослідженні зварних швів використовували методи оптичної та електронної мікроскопії, хімічного та газового аналізу.

На основі проведеного термодинамічного аналізу реакцій, які протікають в газополуменевій і електродуговій печі при плавленні флюсу встановлено, що для видалення сірки розплаву необхідні окислювальні умови ведення плавки, а для дефосфорації – глибоко відновлювальні й наведення металевої фази на дні печі.

На основі досліджень термодинамічної активності кисню в модельних шлаках визначено область складів флюсів, які забезпечують обмежену термодинамічну активність кисню в шлаковому розплаві. Визначено вплив на неї легуючої основи флюсу: розкислювачів і інших феросплавів, науково обгрунтовано мінімально доцільну кількість феросплавів у складі агломерованого флюсу. Досліджено вплив складу флюсу на вміст неметалевих включень в металі шва, формування структур і холодостійкість металу шва.

УДК 669.14.294.014:004.9

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ АГРЕГАТА КІВШ-ПІЧ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВМІСТУ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ В КОНСТРУКЦІЙНІЙ СТАЛІ¹

Жаданос О.В.¹ (к.т.н.), Дерев'янка І.В.¹ (к.т.н.), Чайка Д.О.²

1 - Національна металургійна академія України (м. Дніпро)

2 - ООО МЗ «Дніпросталь» (м. Дніпро)

Вступ. Постійне збільшення вимог до якості сталей, що виплавляються, обумовлює широке впровадження позапічної обробки. Одним з основних агрегатів позапічної обробки є установка ківш-піч (УКП), яка призначена для десульфурації, легування, розкислення металу і підігріву його перед наступними технологічними операціями. При цьому необхідно забезпечити стабільний регламентований хімічний склад металу при раціональній витраті легуючих матеріалів. Так як хімічний склад металу в процесі позапічної обробки стали контролюється шляхом періодичних вимірів, доцільно прогнозувати його за допомогою математичних моделей.

Метою данної роботи була розробка математичної моделі прогнозування вмісту легуючих елементів в конструкційних сталях при обробці розплаву на УКП.

Розробка математичної моделі. Для розкислення і легування конструкційної сталі для залізничних коліс (ГОСТ 10791-2011) використовуються наступні матеріали: феросиліцій ФС65, феросилікомарганець МнС17 і вуглець. З метою побудови математичних моделей на УКП проведено промислові експерименти, під час яких контролювалися наступні параметри: маса металу в ковші (160-170 т); початковий вміст Si, Mn, C в металі перед обробкою в УКП; маса ФС65, МнС17, C, що вводяться під час обробки - $m_{\text{ФС65}}$, $m_{\text{МнС17}}$, m_{C} ; вміст в сталі Si, Mn, C по закінченню обробки на УКП; зміна вмісту в металі Si, Mn, C - $\Delta[\text{Si}]$, $\Delta[\text{Mn}]$, $\Delta[\text{C}]$. Отримані данні апроксимовані лінійними регресійними рівняннями, похибка яких задовольняє вимогам до якості прогнозування:

$$\Delta[\text{Si}] = 3 \cdot 10^{-4} \cdot m_{\text{ФС65}} + 7 \cdot 10^{-5} \cdot m_{\text{МнС17}} + 0,021 \quad (r^2 = 0,73); \quad (1)$$

$$\Delta[\text{Mn}] = 9 \cdot 10^{-4} \cdot m_{\text{МнС17}} + 0,0105 \quad (r^2 = 0,81) \quad (2); \quad \Delta[\text{C}] = 4 \cdot 10^{-4} \cdot m_{\text{C}} + 0,0218 \quad (r^2 = 0,73) \quad (3)$$

Для реалізації отриманих моделей в складі АСУ ТП, розроблено структурну схему автоматизованої інформаційної системи УКП.

Висновки. Отримані в роботі регресійні моделі дозволяють прогнозувати вміст Si, Mn і C в конструкційній сталі під час обробки в агрегаті ківш-піч. Розроблено структурну схему автоматизованої інформаційної системи для реалізації в складі АСУ ТП позапічної обробки сталі, основне призначення якої полягає у видачі оператору на пульт управління інформації про поточний вміст C, Si, Mn в металі по ходу його обробки на УКП і рекомендацій з кількості C, МнС17, ФС65, які необхідно ввести у розплав.

¹ This publication is the result of the project implementation: TEMPUS CERES Centers of Excellence for young RESEARCHERS, reg. no. 544137-TEMPUS-1-2013-1-SK-TEMPUS-JPHES

УДК 669.184; 669.046

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ ІНЕРТНИМ ГАЗОМ У СТАЛЕВИПУСКНОМУ КАНАЛІ

А.А. Похвалітий

Дніпровський державний технічний університет, м.Кам'янське

Виконано низькотемпературне і високотемпературне моделювання випуску розплаву з конвертера з обробкою інертним газом у сталевипускному каналі. Розглянутий механізм обробки металу в струмені аргоном і доведена можливість реалізації вуглецевого розкислення сталі за рахунок залишкового вуглецю. Застосування двокамерної льотки дозволяє обробляти розплав необхідною кількістю газу з мінімальним розбризуванням газометалевого потоку без значного збільшення тривалості випуску плавки. Розроблена математична модель, яка дозволяє визначати вплив геометричних параметрів льотки і видаткових характеристик інертного газу на ефективність обробки розплаву. Отримані експериментальні дані обробки розплаву інертним газом, згідно з якими при витраті інертного газу 0,9-1,1 м³/т сталі окисленість знижується на 12-20%(відн.) при початковому вмісті вуглецю 0,050-0,037%, і кінцевому – 0,036-0,025%. У розглянутому діапазоні концентрацій зниження вугару елемента-розкислювача (Al) досягає 20%(відн.). Підтверджена закономірність, що при збільшенні початкового вмісту вуглецю його розкислювальна здатність зростає.

УДК 621.771.25.04:669.141.24

ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИСОКОМІЦНИХ СЕМИДРОТОВИХ АРМАТУРНИХ КАНАТІВ

Л. В. Сагура, к.т.н., І. М. Чуйко, к.т.н., кер. Е. В. Парусов, к.т.н.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАНУ, м. Дніпро

Наведено особливості технології переробки бунтового прокату марки С86D за скороченою енерго- та ресурсозберігаючою схемою виробництва.

Прокат діаметром 8,0; 10,0 і 11,0 мм зі сталі С86D (хімічний склад сталі згідно EN 16120-2:2011) переробляли в холоднодеформований дріт діаметром 3,1 (3,25); 4,1 (4,25) і 5,0 (5,25) мм. Сталь, на відміну від кращих європейських аналогів, виготовлялась без застосування додаткового вводу карбідоутворюючих елементів (V та/або Cr). Необхідні показники міцності і пластичності бунтового прокату досягнуто згідно з інноваційними підходами до режимів деформаційно-термічної обробки металу у потоці швидкісного дрібносоротно-дротового стану 320/150. Визначення тимчасового опору дроту показала його повну відповідність нормативним вимогам.

Необхідно зазначити, що при максимальному ступені сумарного обтиску $\sim 86\%$ в структурі дроту не спостерігається масового дроблення пластин цементиту, а в фериті фіксується розвинена коміркова субструктура з високою щільністю дислокацій, які переважно розташовані поблизу міжфазної поверхні розділу ферит-цементит.

Процес переробки бунтового прокату в дріт характеризувався високою стабільністю волочіння, поверхня металу мала сіро-матовий відтінок, що свідчило про гарне захоплення технологічного мастила перед зоною деформації (монолітною волокою) і відсутність відхилень від діючих схем переробки на метизному підприємстві.

Звивку дротів в арматурні канати діаметром 9,3; 12,5 і 15,2 мм виконували на бугельній канатній машині SRK (1+6)×1120, з подальшим стабілізуючим відпуском під навантаженням $0,7\sigma_b$ при температурах 370...390 °С. Результати випробувань механічних властивостей арматурних канатів показали, що вони повністю відповідають вимогам не тільки ГОСТ 13840-68, а й зарубіжних стандартів (EN 10138-3: 2005, BS 5896: 1980, ASTM A 416M-05).

Виготовлені арматурні канати можна ранжувати за класами міцності наступним чином: канат діаметром 9,3 мм – клас міцності 1860 МПа, канат діаметром 12,5 мм – клас міцності 1860 МПа, канат діаметром 15,2 мм – 1770 МПа.

Результати проведених досліджень показали, що в даний час в промислових умовах реалізовані не всі можливі шляхи підвищення початкової міцності сталей перлітного класу, які не містять додаткових легуючих елементів. Відмова від введення дефіцитних легуючих елементів, а також екологічно шкідливої термічної обробки патентування при переробці бунтового прокату в дріт дозволяє досягти істотного ресурсо- та енергозбереження і підвищити конкурентоспроможність такої продукції на ринку.

УДК 669.18

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗЛИВКИ СТАЛІ НА МБЛЗ З МЕТОЮ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРОРИВІВ МЕТАЛУ ПІД КРИСТАЛІЗАТОРОМ

Д. О. Мусунов, Є. В. Синегін к.т.н.

Національна металургійна академія України

Процес розливки сталі на МБЛЗ наразі є одним з найбільш автоматизованих процесів сталеплавильного виробництва. У той самий час виникнення незначних неконтрольованих відхилень у процесі розливання може спричинити до порушення умов формування твердої кірки в кристалізаторі і, як наслідок виникнення прориву. Такими відхиленнями можуть бути нерівномірність подачі шлакоутворюючої суміші в кристалізатор та її неоднорідний хімічний і фракційний склад, недосить точне центрування струменя металу відносно кристалізатора тощо. Це певною мірою ускладнює прогнозування аварійної ситуації і, відповідно, скорочує час на реагування для її запобігання.

Більшість дослідників, що займалися вивченням причин утворення проривів та створенням систем щодо їх попередження схильні поділяти прориви на чотири основні групи: 1) прориви через неправильне охолодження заготовки в кристалізаторі; 2) прориви через підвисання заготовки в кристалізаторі; 3) прориви через скупчення шлаку біля меніску; 4) стартові прориви. Незважаючи на те, що кожній з наведених груп проривів властиві свої характерні причини утворення, можна виділити основні ознаки, які вказують на можливість прориву не залежно від його типу ще до моменту його утворення. Такими ознаками зокрема є локальні зміни теплового потоку через гільзу кристалізатора до охолоджуючої води, зусилля витягування заготовки, хімічний склад металу та ін.

Авторами роботи за допомогою методів статистичного аналізу паспортів розливання сталі на МБЛЗ визначено найбільш значущі фактори, які за достатній до оперативного реагування час дозволяють з високою вірогідністю спрогнозувати утворення прориву під кристалізатором. Визначені фактори було покладено в основу створення циклічного алгоритму для прогнозування проривів металу під кристалізатором. Достовірність прогнозу може бути суттєво підвищена шляхом нескладної модернізації обладнання.

УДК 519.8

АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ТРИКРИТЕРІЙНОЇ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ

К.А.Колісник – студентка гр. ПС-13-1
Науковий керівник – доц.. Бойко Л.Т.
кафедра обчислювальної математики та математичної кібернетики
факультет прикладної математики

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

Для задач багатокритерійної оптимізації характерною проблемою (ресою) є невизначеність цілей. Ця проблема зумовлена тим, що цілі можуть визначати критерії різної природи: фізичного, технічного, економічного та іншого змісту. Оскільки (як правило) кожна цільова функція є оптимальною у своїй точці області допустимих розв'язків, то дуже важливо забезпечити раціональний компроміс заданих цілей [1].

Алгоритм пошуку раціонального компромісу містить такі кроки:

- 1) виключити з області допустимих розв'язків заздалегідь неприйнятні варіанти розв'язків;
- 2) використати прийоми та методи зведення багатоцільової задачі до задачі оптимізації з одним критерієм;
- 3) розв'язати однокритерійну задачу оптимізації.

Розроблена програма (мовою C#), яка дозволяє розв'язувати сформульовану задачу.

Робота програми перевірялася на тестовому прикладі трикритерійної задачі оптимізації.

Розроблений алгоритм та його програмну реалізацію планується використати для розв'язування реальної задачі [2].

1.Згуровський М.З. Основи системного аналізу/ М.З.Згуровський, Н.Д.Панкратова. К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 504 с.

2.Бойко Л.Т. Розробка математичної моделі задачі оптимізації складу шихти доменної плавки та метод її розв'язування/ Л.Т. Бойко, Д.М. Тогобицька, А.І. Белькова, К.А. Колісник // XIV міжнародна науково-практична конференція «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (MPZIS-2016). Тези доповідей. 16-18 листопада 2016р. Дніпро, Україна, с.22-23.

УДК 669.162

ЗАЛЕЖНІСТЬ ІНТЕНСИВНОСТІ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ ВІД БАГАТСТВА ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШИХТИ

Ю. К. Лебідь, Г. Ю. Крячко к.т.н., Н. М. Валусьва к.ф.н.

**ПАО “Дніпровський металургійний комбінат”
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське**

Перехід на вдування пиловугільного палива в горн доменної печі суттєво підвищив вимоги до якості залізорудної шихти і організації доменного процесу. На погляд фахівців із Західної Європи ефективна заміна коксу вугільним пилом з витратою 200 кг/т чавуну і вище можлива при збереженні умови: вихід шлаку + ПВП < 470 кг/т чавуну. Для доменного виробництва України характерне використання, в основному, вітчизняної залізорудної сировини, що відрізняється зниженим вмістом заліза в порівнянні з імпортованою до Західної Європи.

Багатство залізом доменної шихти, як і будь-який фактор, що впливає на хід доменної плавки, може впливати на процес як з позитивним, так і з від’ємним ефектом. Беззаперечний позитивний ефект, пов’язаний із зменшенням виходу шлаку, має подвійне пояснення. По-перше, зменшення шлакового розплаву у міжкускових пустотах коксу покращує газопроникність шару, по-друге, зменшується шар шлаку, що накопичується перед випуском, внаслідок зменшується дія підпору розплавів на фурмові вогнища, що також сприяє покращенню газопроникності фурменої зони.

На доменній печі об’ємом 1500 м³ ПАО “ДМК” досліджували негативний вплив збагачення шихти залізом і відповідно зменшення виходу шлаку на газопроникність стовпа шихти та інтенсивність плавки. Було встановлено, що зниження витрат коксу, обумовлене застосуванням більш багаті залізом шихти, супроводжувалося зростанням рудного навантаження, зниженням газопроникності стовпа шихти і, відповідно, інтенсивності плавки за сумарним вугляцем. Із зменшенням виходу шлаку на кожні “–” 10 кг/т чавуну рудне навантаження зростало приблизно на 1,8%, тоді як газопроникність погіршувалася лише на 0,8 % (відн.). Розроблено заходи щодо запобігання зменшення інтенсивності плавки в умовах використання більш якісної шихти.

УДК 669.02/09.001.8:669.14.003.12

ПРОГНОЗУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАСВОЄННЯ ЛЕГУЮЧИХ КОМПОНЕНТІВ

І. Р. Снігура аспірант, **Д. Н. Тогобицкая** д.т.н., проф.
Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

На порядку денному в металургійній промисловості стоїть питання підвищення якості існуючих марок сталей та сплавів і розробка нових в умовах постійного зростання вимог до їх властивостей при експлуатації в готовому металопродукті та раціонального використання сировинних та енергетичних ресурсів.

Одним із ефективних способів підвищення якості сплаву являється прогнозування комплексу його фізико-хімічних властивостей (температура ліквідус і солідус, густина, мікронеоднорідність, в'язкість, поверхневий натяг, електропровідність та інші), що дозволить провести оцінку засвоєння добавок, які вводять у металевий розплав.

На основі експериментальних даних, шляхом математичного моделювання з урахуванням параметрів міжатомної взаємодії, які характеризують хімічний і структурний стан досліджуваних систем, раніше нами були розроблені моделі для прогнозування температур ліквідус та солідус як однокомпонентних розплавів, так і залізовуглецевих сталей з широкою областю застосування, жароміцних нікелевих сплавів, алюмінієвих та магнієвих сплавів з високою точністю прогнозу та урахуванням їх індивідуальних особливостей.

Опираючись на вище згаданий досвід застосування концепції спрямованого хімічного зв'язку розглянута можливість прогнозування наступної по важливості складової комплексу фізико-хімічних властивостей – густини, зокрема для жароміцних нікелевих сплавів. Аналіз взаємозв'язків параметрів міжатомної взаємодії з густиною дозволив встановити найбільш вагомий параметр, такий як $\text{tg}\alpha_\gamma$ – середньозважений параметр констант легируючої підсистеми γ -зміцнювачів твердого розчину (Mo, W, Re, Ta, Ru), який характеризує зміну радіуса йона при зміні його заряду. Слід відмітити, що на підвищення густини та збереження тривалої високотемпературної експлуатації продукції з жароміцних нікелевих сплавів, серед γ -зміцнювачів твердого розчину найбільше впливає Re, що спричинює його широке застосування при легуванні ЖНС. Оскільки розплав це хімічно єдина система, додатково враховані такі параметри, як середньостатистична між'ядерна відстань $d_{\text{общ}}$ і $Z_{\text{общ}}^y$ - зарядовий стан загальної системи відповідного сплаву. Таким чином між властивостями металевих розплавів та фізико-хімічними параметрами концепції Приходько Е. В. існує тісний взаємозв'язок. Моделі на основі параметрів міжатомної взаємодії дозволяють з високим ступенем точності прогнозувати властивості металевих розплавів $R^2 \geq 0.85$.

Отримані результати з низьким рівнем розбіжності між експериментальними і розрахунковими даними, дозволяють вважати, що запропоновані фізико-хімічні критерії доцільно використовувати для прогнозування густини в якості модельних параметрів. Адекватність розробленої моделі була підтверджена результатами екзаменування її на незалежних даних, які не ввійшли в початкову вибірку.

Таким, чином, в результаті проведених досліджень розроблена регресійна модель для прогнозування густини жароміцних нікелевих сплавів, яка враховує параметри як відповідної марки сплаву так і підсистеми легируючих зміцнювачів γ -твердого розчину та може бути інтегрована в системах АСУ ТП для оперативного управління.

Подальше поповнення бази експериментальними даними про властивості металевих розплавів «Банку даних «Металургія» дозволить удосконалити прогнозні моделі і оптимізувати умови технологічних процесів виробництва для отримання якісної металопродукції з поліпшеними структурними характеристиками та надати оцінку засвоєння легируючих компонентів.

УДК 669.162.267.4.083.133:621.311.16.004.18

РОЗРОБКА ТА АДАПТАЦІЯ ПОВНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДО УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА

**А. О. Москалина, аспірант,
науковий керівник к.т.н. О. А. Сохацький
Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова, м. Дніпро**

На сучасному етапі розвитку металургійної промисловості України актуальним питанням є економія енергетичних ресурсів, яка може бути досягнута шляхом розробки і вдосконалення енергетичних методів розрахунку і прогнозу технологічних режимів роботи доменних печей та їх реалізації на виробництві при використанні різних видів палива.

Енергетичні методи розрахунку ґрунтуються на енергетичних балансах технологічних процесів, виробництв, підприємств і є необхідною інформаційною базою, яка забезпечує наукову підтримку вибору керуючих рішень по створенню сучасної системи управління енергією при виробництві металу.

Методика складання універсального енергетичного балансу ґрунтується на базі трьох початків термодинаміки і придатна для аналізу будь-яких процесів. Ця методика отримала назву *повного енергетичного балансу*, оскільки дозволяє врахувати всі види енергії, включаючи хімічну енергію палива, сировини і матеріалів в прибутковій частині, а також продуктів та відходів процесу – у видатковій. Повний енергетичний баланс дозволяє оцінити ступінь енергоефективності та вибрати шляхи зменшення енергоємності продукції.

Стосовно до доменного виробництва розроблена методика складання універсального енергетичного балансу, яка включає в себе спільний розрахунок і розгляд матеріального, теплового та ексергетичних балансів (мал. 1). Матеріальний баланс розраховується по системі обліку В. П. Іжевського, теплової – за теплоенергетичної моделі І. Д. Семікіна, ексергетичний – є розвитком праць А. В. Бородуліна і В. С. Степанова.

Виконана реалізація, модернізація та синтез матеріального балансу по системі обліку В. П. Іжевського, теплоенергетичного балансу І. Д. Семікіна та ексергетичного балансу в середовищі Excel.

Матеріальний, теплоенергетичний та ексергетичний баланси модернізовано шляхом додавання розрахункових блоків, що враховують можливість вдування сумішей пиловугільного палива (ПВП) різного хімічного складу і можливістю виконання спільного взаємопов'язаного обліку матеріальних, теплоенергетичних та ексергетичних потоків у доменній печі.

Адаптація повного енергетичного балансу до умов застосування пиловугільного палива виконана на прикладі роботи ДП №3 ПАТ «МК «Азовсталь» для визначення і прогнозування її технологічних параметрів при освоєнні ПВП і досягнення необхідних техніко-економічних показників.

Отримані результати розрахунків технологічних режимів роботи печі використані в якості рекомендацій щодо вибору режиму роботи на ДП №3 ПАТ «МК «Азовсталь» після її реконструкції для досягнення необхідних техніко-економічних показників.

Зіставлення техніко-економічних показників, ексергетичних та екологічних показників при переході на роботу з природного газу на вдування ПВП виявило, що:

- продуктивність печі зростає на 300-600 т чавуну/добу за рахунок збільшення надходження кисню в піч;
- витрата коксу зменшиться на $85 \div 160$ кг/т чавуну за рахунок вдування ПВП;
- термодинамічна досконалість доменного процесу збільшиться на $\sim 1 \div 2\%$;
- технологічний ККД збільшиться на $\sim 1 \div 2\%$;
- узагальнений ККД виробництва чавуну збільшиться на $\sim 1 \div 2\%$;
- показники екологічності, ресурсоємності та коефіцієнту екологічності незначно покращаться.

УДК 621.762

РІДКОФАЗНЕ СПІКАННЯ СУМІШІ ПОРОШКІВ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ**К. О. Черноіваненко, к.т.н.****Національна металургійна академія України, м. Дніпро**

Визначені закономірності фазових і структурних перетворень при дифузійному вирівнюванні концентрації вуглецю в спресованій порошкової суміші. В якості вихідного матеріалу для спікання використовували суміш двох порошків з концентрацією легуючих елементів, що відповідає концентрації в стандартних швидкорізальних сталях, але відрізняються вмістом вуглецю. В першій складовій суміші концентрація вуглецю не перевищує 0,1 мас. %, в другій – вміст вуглецю відповідає евтектичній концентрації (3,5...4,2 мас. %). Співвідношення порошків двох типів обирається таким чином, щоб забезпечити кінцеву концентрацію вуглецю в спеченому сплаві на рівні стандартної для обраної марки сталі. Спікання суміші порошків при температурі вище плавлення евтектики ($\gamma + M_6C + M_3C$) призводить до плавлення високовуглецевої складової суміші, що забезпечує утворення 25...35 об. % рідкої фази. В процесі витримки під час спікання за рахунок дифузійних процесів здійснюється вирівнювання концентрації вуглецю в суміші, що дозволяє отримати готовий спечений швидкорізальний сплав зі стандартним хімічним складом.

Використання суміші порошків забезпечує рідкофазне спікання швидкорізальних сталей при відносно низьких температурах для даного класу сталей за рахунок більш легкоплавкої складової – високовуглецевого сплаву, а також виключає технологічну операцію – відпал для вирівнювання складу розпиленого порошку через наявність не менше 65% низьковуглецевої складової. Наявність рідкої фази при спіканні посилює взаємну дифузію легуючих елементів, що значно скорочує тривалість процесу та дозволяє отримати безпористу заготовку. Наведені фактори призводить до значного зниження енерговитрат при виробництві порошкової швидкорізальної сталі за запропонованою технологією. У результаті рідкофазного спікання можливо отримати щільну структуру з рівномірним розподілом карбідних включень, що не потребує подальшого відпалу для зняття напруги.

УДК 669.187

ВПЛИВ ВВЕДЕННЯ ОКСИДІВ КАЛЬЦІЮ, МАГНІЮ ТА ТИТАНУ НА ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ СИСТЕМИ $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Г.П. Стовпченко^{1,2}, І.О. Гончаров¹, Л.О. Лісова¹, Я.В. Гусєв¹

¹ Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, Київ; ²ПП Елмет-Рол

Одним з пріоритетних напрямків розвитку електрошлакових технологій є збільшення маси злитків. Для виплавки великогазового злитка все частіше використовують короткі рухомі кристалізатори замість громіздких стаціонарних. Виникає необхідність зміни властивостей шлаків, щоб забезпечити формування гладкої кірки злитку при його витягуванні, а також високу і стабільну якість металу, що особливо складно для високолегованих сталей, які містять легко окисні елементи (наприклад Ti, Al).

Для формування гарної поверхні злитків в рухомих кристалізаторах потрібні «довгі» шлаки, що мають великий інтервал твердіння. Такі властивості можуть бути отримані введенням до складу шлаків ЕШП кислих оксидів, перш за все SiO_2 . Такі шлаки добре зарекомендували себе при ЕШП вуглецевих та легованих сталей без титану та алюмінію. Однак для сталей і сплавів, що містять титан та алюміній цей шлях є непридатним через розвиток процесу відновлення кремнію в метал. При цьому оксиди титану і алюмінію переходять в шлак, різко змінюючи його властивості.

Виникає необхідність розробки нових складів шлаків, які забезпечили б збереження легкоокисних елементів в металі та мали необхідні фізико-хімічні характеристики для довготривалої виплавки в рухомому кристалізаторі.

Першим шлаком ЕШП був чистий кальцій фтористий, який використовується і зараз як основа і головний компонент фторидних та оксидно-фторидних шлаків ЕШП. Шлак, що містить не менше 90 % CaF_2 (АНФ-1П) характеризується мінімальним окисним потенціалом, тому отримав широке застосування при переплаві сплавів, що містять легкоокисні елементи, як титан та алюміній. Недоліками такого шлаку є його великі електропровідність і екологічна шкідливість і вузький інтервал кристалізації (у чистого компонента він практично відсутній), що веде до незадовільного формування поверхні злитка при його використанні.

Однак фтористий кальцій і сьогодні є одним із основних компонентів шлаків ЕШП, оскільки він здатен зменшувати в'язкість оксидних розплавів і підвищувати їх електропровідність.

Найбільш бажаними при ЕШП є «довгі» шлаки, які характеризуються низькими значеннями в'язкості та незначною її зміною при підвищенні температури. Вони дають можливість в широких межах варіювати тепловим процесом плавки. Також при низьких значеннях в'язкості відбувається кращий масопереніс в шлаковій ванні, в результаті перемішування.

В статті показані результати фізико-хімічних досліджень (в'язкість, електропровідність та температура плавлення) шлакової системи 70 % CaF_2 – 30 % Al_2O_3 з додаванням CaO , MgO та TiO_2 .

Найнижчі значення в'язкості отримані при додаванні 17 % MgO , а при введенні 17 % CaO - найвищі значення електропровідності.

Підвищення вмісту MgO та CaO в шлакових системах $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(MgO, CaO)}$ приводить до зниження температури плавлення та розширення температурного інтервалу. Збільшення вмісту TiO_2 до 10 % при вмісті CaO та MgO 17 % зменшує електропровідність шлакових розплавів.

Визначені оптимальні межі компонентного складу шлаку для переплаву сталей з легкоокисними елементами. Розроблені технічні умови ТУ У 20.5-05416923-110:2014 на флюс марки АНФ-38.

УДК 004.9

МЕТОДИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ

І. В. Попов, студент групи ПС-14-1
науковий керівник: Бойко Л.Т. к.ф.-м.н., доц.

кафедра обчислювальної математики та математичної кібернетики
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

Візуалізація даних - це наочне представлення масивів різної інформації. Візуальна інформація краще сприймається і дозволяє швидко і ефективно донести до глядача потрібні думки та ідеї.

Очевидно, що людина по своїй природі схильна обробляти саме візуальну інформацію, і цьому є багато прикладів. Якщо книжка ілюстрована, то вона стає більш цікавою, більш привабливою (особливо для дітей). Презентація доповіді – це метод візуалізації, який дуже полегшує сприйняття цієї інформації, про яку йде мова у доповіді. Навіть інтернет у широкому його розумінні – це візуалізація величезної кількості інформації та подій, що відбуваються у житті людства. Оскільки інтернет має величезне значення для кожної людини, питання візуалізації даних є дуже актуальним на даний час.

Важливим є дослідження процесів сприйняття людиною візуальної інформації. Відомо, що зорова система людини в змозі одночасно обробляти безліч візуальних сигналів. В ході спеціального експерименту встановлено, що людина здатна виявити всього один темний піксель в матриці 500×500 білих пікселів менше ніж за 1 с; при цьому зображення змінювалися кожну секунду, демонструючи можливість аналізувати 15 млн пікселів за хвилину. Відповідно до результатів цього експерименту, структура пам'яті людини містить іконічну, короткочасну (робочу) і довготривалу пам'ять. Кожна з них може бути посилена різними способами візуалізації.

Існує велика кількість типів візуалізації. Звичайне візуальне уявлення кількісної інформації в схематичній формі. До цієї групи можна віднести всім відомі кругові та лінійні діаграми, гістограми і спектрограми, таблиці і різні точкові графіки. Дані при візуалізації можуть бути перетворені у форму, яка посилює сприйняття і аналіз цієї інформації. Наприклад, карта і полярний графік, часова лінія і графік з паралельними осями, діаграма Ейлера.

Концептуальна візуалізація дозволяє розробляти складні концепції, ідеї і плани за допомогою концептуальних карт, діаграм Ганта, графів з мінімальним шляхом та інших подібних видів діаграм.

Стратегічна візуалізація переводить у візуальну форму різні дані про аспекти роботи організацій. Це всілякі діаграми продуктивності, життєвого циклу і графіки структур організацій.

Графічно організувати структурну інформацію за допомогою пірамід, дерев і карт даних допоможе метафорична візуалізація, яскравим прикладом якої є карта метро.

Комбінована візуалізація дозволяє об'єднати кілька складних графіків в одну схему, як в карті з прогнозом погоди.

Методи візуалізації даних удосконалюються із ростом науково-технічного прогресу, із удосконаленням обчислювальної техніки. За допомогою засобів візуалізації підтримуються важливі задачі бізнесу. У зв'язку з цим стає помітним перехід засобів візуалізації на більш якісний рівень, який характеризується появою абсолютно нових засобів візуалізації і поглядів на їх функції. Серед основних сучасних тенденцій в області візуалізації є розробка складних видів діаграм, підвищення рівня взаємодії візуалізації з користувачем, збільшення розмірів і складності структур даних, які використовуються у візуалізації.

УДК 669.184.244

**РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДВОЯРУСНОЇ ФУРМИ
ДЛЯ ВЕРХНЬОЇ КИСНЕВОЇ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ**

В. В. Вакульчук, м.н.с. (під керівництвом проф., д.т.н. Чернятевича А.Г.)

Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

В умовах, коли продувка конвертерної ванни супроводжується посиленням виносом дрібних крапель металу та шлаку попередити заметалювання стовбура фурми та горловини конвертера можливо при використанні двоярусної фурми, яка забезпечує створення над реакційною зоною взаємодії основних надзвукових кисневих струменів із конвертерною ванною своєрідної газової завіси із додаткового дозвукового кисневого дугтя, яке перешкоджає попаданню на стовбур фурми та горловину конвертера крапель металу, які виносяться зустрічним потоком газів, що відводяться.

На основі даних високотемпературного моделювання, здійснених рінженерних розрахунків, вввлізу дослідно-промислових кампаній плавок на 160-т конвертерах запропонована до промислового впровадження раціональна конструкція двоярусної фурми із розділеним кисневим потоком.

УДК 669.184.244.66

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІЙ МОДЕЛІ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВПЛИВУ НИЗЬКОВОЛЬТНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НА ШЛАКО-МЕТАЛЕВУ ВАННУ

**С. І. Семикін к.т.н., с.н.с., А.Г. Чернятевич д.т.н., проф.,с.н.с.,
Т. С. Голуб к.т.н., н.с., С. О. Дудченко н.с., В. В. Вакульчук м.н.с.**

Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

Проведені шляхом гарячого моделювання дослідження реакції й поведінки шлако-металевої ванни при підведенні низьковольтного потенціалу дозволили отримати наступні нові наукові дані. Реєстрація зміни тиску кисню перед соплами при незмінному фіксованому його значенні дозволила встановити момент підйому шлаку до наконечника фурми, а величина додаткового приросту тиску - глибину занурення фурми в шлак, що особливо яскраво проявляється в разі підведення негативної полярності до фурми.

Виявлено значний перепад зареєстрованих температур по ходу всієї продувки плавки між високотемпературною зоною та зоною, що її оточує, що на початку продувки відповідає температурі первинної реакційної зони, а в основний період продувки відображає процес допалювання СО до СО₂ при розкритті «свищів», наповнених СО.

Періодичне відключення низьковольтного потенціалу виявило, що реакція шлако-металевої ванни на включення / відключення залежить від періоду продувки плавки. Включення й відключення потенціалу в період окислення кремнію характеризується значним підйомом та спадом температури. У період початку окислення вуглецю включення викликає енергійний підйом шлаку з відновленням рівня температури та з більш інертною реакцією на відключення потенціалу.

Покадровий аналіз отриманого відео матеріалу дозволив встановити, що найменшим рівнем яскравості, а значить й найбільшою запиленістю, характеризуються плавки без впливів, а найменшою запиленістю й меншим рівнем виносу шлако-металевих крапель - плавки з підведенням низьковольтного потенціалу негативної полярності.

УДК 669.14.018.295:620.192

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВПЛИВУ НА КОГЕЗИВНУ МІЦНІСТЬ МІЖФАЗНИХ МЕЖ ВКЛЮЧЕННЯ-МАТРИЦЯ СТАЛІ

С.І.Губенко, І.О. Нікульченко

Відомо, що неметалеві включення є причиною утворення дефектів зміцненого шару під час лазерної обробки [1, 2]. Встановлено також, що попередня лазерна дія чинить вплив на поведінку неметалевих включень під час пластичної деформації в умовах навантаження під час експлуатації [1]. Метою роботи є виявлення впливу режиму лазерної дії на механізм та параметри утворення мікроруйнувань уздовж міжфазних меж включення-матриця сталі під час деформації при підвищених температурах.

Поблизу усіх видів включень після лазерної дії та механічного навантаження спостерігали локалізацію деформації, яка привела до утворення мікроруйнувань. Відомо, що для багатьох включень при розтягненні характерно утворення порожнин (в'язких тріщин) шляхом розшарування уздовж міжфазних меж включення-матриця [1]: оксидів в сталях 08Ю, 08кп, 08Х, деяких сульфідів і сульфідних евтектик в сталях НБ-57, ШХ15, 08Ю. У той же час для включень оксидів, нітриду та карбонітрицу титану в сталі 08Т, силікатів в сталі 08Ю більш характерно утворення крихких тріщин в їх тілі. Після пластичної деформації без попередньої лазерної обробки поблизу включень Al_2O_3 , $MnO \cdot Al_2O_3$, залізо-марганцевих сульфідів виникли порожнини, що представляють собою в'язкі тріщини. За наявності залізо-марганцевих силікатів незалежно від ступеня їх пластичності в них виникали крихкі тріщини. При температурах плавлення легкоплавких сульфідних евтектик в сталі формувалися заповнені розплавом порожнини, від яких розвивались тріщини.

Лазерна дія привела до своєрідної поведінки меж включення-матриця під час гарячої деформації. В їхній поведінці спостерігаються два процеси, а саме просковзування і крихке розшарування. Таке сполучення процесів обумовлено швидкісним лазерним зміцненням меж включення-матриця, що проявляється у стримуванні просковзування та зародженні мікроруйнувань шляхом крихкої декогезії міжфазних меж, що призводить до затруднення формування в'язких тріщин, а після накоплення напружень в межах в результаті деформаційного зміцнення – до зміни утворення мікроруйнувань поблизу включень. Лазерна дія привела до формування міжфазних меж включення-матриця, що мають підвищену стійкість до деформуєчих високотемпературних дій, а також спроможних ефективно розсіювати енергію, що підводиться зовні, в момент піка напружень за допомогою пластичної релаксації в результаті просковзування.

Таким чином, досліджено вплив лазерної обробки на механізм формування мікроруйнувань на межах включення-матриця під час пластичної деформації ряду сталей. Показано, що вона сприяє підвищенню когезійної міцності цих меж в залежності від енергії і часу імпульсу та температури і швидкості деформації.

УДК 620.18: 621.771.22

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ НАКОПИЧЕНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ В ТРУБНИХ ТА КОЛІСНИХ ЗАГОТОВКАХ ЗІ ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ «СЛІДІВ» ДЕНДРИТНОЇ СТРУКТУРИ

К. Г. Дьоміна, к.т.н.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро

Встановлено, що хімічна неоднорідність кремнію та марганцю, яка утворилася при кристалізації в результаті дендритної ліквідації цих елементів, являє собою так звані «сліди» дендритної структури в мікроструктурі прокату. Вона є природною структурної складовою вуглецевих і низьколегованих сталей, яка залишається незмінною протягом усього циклу виробництва металопрокату.

На цій підставі було розроблено метод визначення ступеня накопиченої деформації трубних і колісних заготовок зі зміни щільності «слідів» дендритної структури. Цей метод дозволяє оцінити пророблення структури в будь-якому місці перерізу металопродукції.

При деформації безперервнолитої заготовки перерізом 335×400 мм на трубну заготовку (круг $\varnothing 250$ та $\varnothing 180$ мм) кратність витяжки становить 2,73 і 5,26. Розрахунки зміни щільності «слідів» дендритної структури показали, що, в середньому, по перерізу трубних заготовок даний показник підвищується в 2,84 і 5,35 рази відповідно. Відносна похибка запропонованого методу не перевищує 5 %. З урахуванням особливостей твердіння безперервнолитої заготовки та режиму обтиснень на трубозаготівельному стані визначено як змінюється пророблення металу по перерізу трубних заготовок. Найбільш проробленими є поверхневі шари, в яких щільність «слідів» дендритної структури максимальна. З наближенням до центральних шарів її величина зменшується, що свідчить про погіршення пророблення, тобто дані шари металу не зазнають деформацію стиску, а лише витягуються в напрямку прокатки.

При деформації безперервнолитої заготовки $\varnothing 450$ мм в процесі виробництва залізничних коліс $\varnothing 957$ мм з плоскоконічним диском і $\varnothing 927$ мм з С-подібним диском максимальний ступінь накопиченої деформації досягається після операцій кування та штампування. Його величина, отримана розрахунковим шляхом, становить 85 і 92 % та 87 і 98 % для ободів і дисків коліс $\varnothing 957$ мм та $\varnothing 927$ мм відповідно.

Відносна зміна щільності «слідів» дендритної структури в суцільнокатаних колесах двох типів змінюється наступним чином: в зразках ободів коліс (до місця їх переходу в диск) даний параметр досягає максимальних значень ~ 85 % і добре узгоджується з величиною накопиченої деформації, отриманої розрахунковим шляхом. У зразках дисків цей параметр знижується до 50 і 70 % для коліс $\varnothing 927$ та $\varnothing 957$ мм відповідно (різниця в 20 % пояснюється різною товщиною дисків досліджених коліс). У зразках маточин, вирізаних поблизу поверхні, на яку напресовується залізнична ось, відносна зміна щільності «слідів» дендритної структури досягає ~ 45 %. Далі, як в маточинах, так і в ободах коліс виникає зона, де метал не відчуває особливої деформації стиску, а лише витікає, заповнюючи центральну порожнину штампа. Відносна зміна щільності дендритної структури в цій зоні зменшується до ~ 30 %. У зоні, розташованій біля переходу маточини в диск, також як і в місці переходу обода в диск, дендрити витягуються в радіальному напрямку, а під дією стискаючих напруг вони ущільнюються на 35 і 70% відповідно.

Таким чином, даний показник (відносна зміна щільності «слідів» дендритної структури) повністю відображає вид деформації та дозволяє визначити глибину проробки металу по перерізу металопродукції. Запропонований метод може бути використаний в промислових умовах для оптимізації режимів виробництва різних видів прокату зі складними схемами деформування.

УДК 669.046.581

ОБГРУНТУВАННЯ СКЛАДІВ РАФІНУЮЧИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ОСНОВНИХ ПРОЦЕСАХ ВИРОБНИЦТВА ЧОРНИХ МЕТАЛІВ

Л. В. Камкіна д.т.н., проф., А. П. Мішалкін к.т.н., доц.,
Я.С. Сініцин, аспірант
Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Інтенсивне зростання продуктивності сталеплавильних агрегатів в умовах практичної відсутності ефективних маловідходних технологій і способів утилізації відходів призвів до швидкого неконтрольованого накопичення техногенних відходів (шламів і пилу газоочисних споруд) і вторинних немінучих відходів виплавки чавуну і сталі (шлаків). Основним об'єктом їх утилізації була будівельна індустрія. Надалі, розвиток процесів утилізації техногенних відходів металургійного виробництва відбувався в напрямку створення технічних рішень по їх поверненню в основне виробництво на основі мінімізації витрат на їх підготовку: використання пилу, шламів, прокатної окалини та інших залізовмісних відходів металургійного походження в агломераційному процесі; застосування матеріалів, отриманих шляхом спільної теплової обробки кускового вапна і сталеплавильного шлаку (залізофлюс), що забезпечують раннє наведення основного шлаку в киснево-конвертерному процесі та ін. Досягнуті результати підтвердили можливість використання техногенних відходів без зниження якості металопродукції, що ініціювало проведення подальших досліджень з розробки теоретичних і практичних основ їх рециклінгу в металургійне виробництво. Ефекти їх використання, в основному, виявлялися в заміні традиційно використовуваних матеріалів і підвищення техніко-економічних показників процесів. Слід зазначити, що існуючі способи обробки техногенних відходів перед їх використанням в металургійних процесах не передбачають досить повного використання комплексу корисних вихідних і, придбаних в процесі підготовки, властивостей - вторинної енергії, нової сировини і зменшення навантаження на навколишнє середовище. Це не дозволяє в достатній мірі розширити їх функціональні можливості і значно збільшити ступінь їх раціональної утилізації в металургійних процесах.

Обґрунтування раціонального компонентного і хімічного складу вихідної суміші з матеріалів-відходів, що впливає на вибір способу їх підготовки, визначається кінцевою метою використання нового матеріалу. Так, кількісне співвідношення компонентів-відходів оксидної частини суміші перед її тепловою обробкою визначається необхідністю отримання шлакового розплаву з необхідними властивостями (модуль основності, в'язкість, температура плавлення, окислювальний потенціал і ін.), виходячи з вибору їх призначення. З фізико-хімічного боку вибір компонентів вихідної суміші і їх співвідношення, необхідного для отримання нового матеріалу з прогнозованим призначенням, визначається термодинамічними передумовами і кінетичними умовами проведення їх теплової обробки.

В якості компонентів - відходів металургійного походження найбільш доцільне використання наступних матеріалів: як джерело FeO - пил і шлами газоочисних споруд сталеплавильного виробництва; як джерело CaO - дрібнодисперсний пил газоочисних споруд виробництва вапна; як джерело MnO, Al₂O₃ - шлаки виробництва металевого марганцю і феромарганцю. При введенні в вихідну оксидну суміш матеріалу рослинного походження як джерела піровуглецю і вторинних енергоресурсів, найбільш раціональним способом обробки є спільна тепла обробка. Залежно від функціонального призначення одержуваних реагентів, необхідно обґрунтувати кількість введеного в вихідну суміш вуглецьвмісного матеріалу, виходячи з умов теплової обробки і з урахуванням тієї частини, яка, крім піролізних газів, що утворюються, може бути використана в якості альтернативного палива в тепловому агрегаті з заданим окислювальним потенціалом. Зміна вмісту вуглецю в матеріалах цільового призначення розширює спектр їх функціонального призначення: розкислення і навуглецювання сталі (80-90% C); дефосфорація, знесірчання (4-8%). З урахуванням фізико-хімічних перетворень встановлюються необхідні (прогнозовані) технологічні властивості нового матеріалу.

УДК 669.15-194:046.516

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ 01ЮТ МЕТОДОМ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В. З. Куцова д.т.н., проф.
В. Ю. Камкін, аспірант, Г.П. Стеценко, аспірант

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Прогрес світового автомобілебудування ставить перед виробниками автомобільної сталі завдання зменшення маси автомобіля, зниження витрат на його виробництво, підвищення ступеня безпеки при експлуатації транспортного засобу. Найбільш широке застосування для вказаних цілей знаходять низьколеговані сталі з традиційними механізмами зміцнення (подрібнення зерна, дисперсійне твердіння і твердо розчинне зміцнення), а також перспективні ультранизьковуглецеві сталі (IF-сталі), де міцність забезпечується присутністю таких фаз, як карбіди, нітриди, карбонітриди. Робота спрямована на вирішення актуальної проблеми сьогодення організації в Україні виробництва ультранизьковуглецевої сталі типу 01ЮТ, 01ЮТА та тонкого листа з них с підвищеним комплексом механічних властивостей, який використовується для виготовлення методом холодної штамповки деталей конструкцій вантажних автомобілей підвищеної прохідності.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії компонентів в рідкому стані та процеси структуроутворення і формування властивостей ультранизьковуглецевої сталі (вміст вуглецю менше 0,005%) у вихідному литому і гарячекатаному стані з наступною інтенсивною пластичною деформацією.

Предметом дослідження є закономірності взаємодії компонентів та домішок в рідкому стані, формування мікроструктури, тонкої структури, текстури, механічних властивостей тонколистових сталей 01ЮТА, 01ЮТ в залежності від деформаційних режимів прокатки, та інтенсивної пластичної деформації.

Звичайні методи статистичного аналізу не завжди точно визначають зв'язки між складом і властивостями багатокомпонентних сплавів. Залучення методології фізико-хімічного моделювання являє собою якісно інший підхід до проблеми прогнозування та управління властивостями сплавів. Розроблена в ІЧМ НАНУ фізико-хімічна модель структури сплавів базується на використанні рівнянь системи неполяризованих іонних радіусів (СНІР) для обчислення параметрів, поєднанням яких можна охарактеризувати властивості розплаву як хімічно єдиного цілого при будь-якому числі компонентів в системі і різних співвідношень між їх концентраціями.

Для визначення інтегральних параметрів методом фізико-хімічного моделювання і оптимізації складу дослідної сталі 01ЮТ підготовлена база розрахункових складів сталі 01ЮТ та 01Ю. Проаналізовано 150 складів сталі. Для дослідження впливу елементів модифікаторів, а також основних легуючих компонентів розрахований ряд параметрів, що характеризують стан сплаву в цілому (Z_u , $tg\alpha$, d , ρ_l). Для оцінки впливу концентрації легуючих і модифікуючих елементів розраховані вищевказані параметри для п'ятнадцяти сплавів в рамках варіювання окремого елемента. Інтегральні параметри (ρ_l , d , Z_u , $tg\alpha$) характеризують стан системи в цілому і в кінцевому рахунку обумовлюють зміну властивостей сплаву. Концентраційний інтервал модифікуючих елементів, встановлений за розрахунковими даними, повинен забезпечувати оптимальний комплекс властивостей сплаву.

УДК 519.6

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОХ МЕТОДІВ
РОЗВ'ЯЗУВАННЯ СИСТЕМ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ**

**А. А. Конончук, студентка групи ПС-14-1
науковий керівник: Бойко Л. Т., к.ф.-м.н., доц.**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

При моделюванні та оптимізації реальних процесів часто виникає задача пошуку розв'язку систем нелінійних рівнянь (СНР).

До розв'язування СНР застосовують, як правило, ітераційні методи. Розглянуто два найбільш поширених ітераційних методи: метод Ньютона та його модифікація.

Порівнювалися методи за такими характеристиками: умови застосування методів; умови збіжності та швидкість збіжності; об'єм обчислювальних витрат для досягнення потрібної точності наближеного розв'язку.

Розроблена програма (мовою C#), яка реалізує алгоритми двох вказаних ітераційних методів.

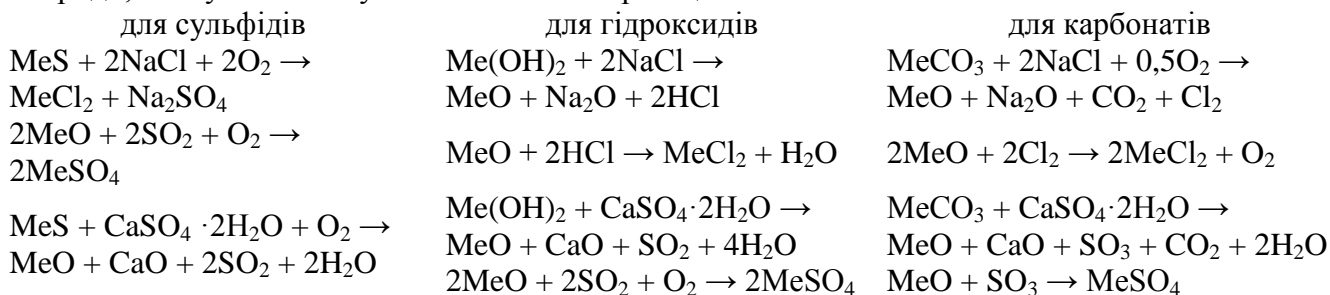
Порівнювання методів проводилося на конкретних тестових прикладах систем двох нелінійних рівнянь. В прикладах було також задано початкове наближення та точність.

УДК 669.054.83

РЕЦИКЛІНГ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ШЛАМОВИХ ВІДХОДІВ ЗМІШАНОГО СКЛАДУ**Мяновська Я.В., к.т.н., доц. Казаткова К.С., магістр****НМетАУ, м. Дніпро**

Шлам змішаного складу утворюється при очищенні гальванічних стічних вод реагентними, електрокоагуляційними та електрофлотаційними методами. Гальванічні шлами є пастоподібною масою, що характеризується складністю і нестабільністю складу, від темно-сірого до темно-коричневого кольору, щільністю 1,16-1,24 г/см³ і вологістю від 60 до 85 %, рН = 3,2-7,9. До складу гальванічних шламів разом з малотоксичними з'єднаннями заліза і кальцію входять з'єднання важких металів. Виходячи з технологічних циклів різних гальванічних виробництв (лінія цинкування, нікелювання, хромування та ін.), основними інгредієнтами шламів є важкі метали (мг/кг): цинк - 100-5740, нікель - 2-200, хром - 50-5020, свинець - 137-600, мідь - 500-5600, кобальт - 8-30, кадмій - близько 54, ртуть - близько 0,01, залізо - близько 1100.

Форма їх знаходження в складі гальванічних відходів та близькість їх хімічних властивостей вимагають застосування спеціальних хімічних методів виділення. Одним з напрямків переробки гальванічних шламів є вилуговування іонів важких металів за допомогою сірчаної кислоти. Перехід сульфідів, гідроксидів і карбонатів металів в водорозчинні сульфати і хлориди, описується наступними хімічними реакціями:



Для утилізації гальванічного шламу з отриманням важких металів може бути використана наступна технологічна схема.

1. Змішування гальванічного шламу з NaCl та CaSO₄·2H₂O в співвідношенні 1:1.
2. Подрібнення отриманої суміші (механохімічна активація) в кульовому млині до розміру 0,5-5 мкм.
3. Термічна обробка в при температурі 550-600 °С для утворення водорозчинних з'єднань металів, у вигляді хлоридів або сульфатів.
4. Вилуговування спека при рН≤3 при температурі 40-50°С протягом 4-6 годин (можливе використання стічної води власного виробництва).
5. Фільтрація розчину від осаду.
6. Витяг металів з отриманого розчину методом електрофлотації (застосування методу обумовлено його ефективністю). Як піноутворювач і збирач при флотаційному добуванні металів можна використовувати ПАР аніонного типу (сульфонол) в кількості 5 мг/л.
7. Сушка і прожарювання флотоконцентрату з отриманням металевого порошку.

Таким чином, практична реалізація технологій регенерації іонів важких металів, що містяться в гальванічних шламах, осадах стічних вод підприємств допоможе вирішити екологічну проблему забруднення довкілля і підвищити економічність виробництва.

УДК 669.621

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ЗАГАРТУВАННЯМ ТА ВИКОРИСТАННЯ СПРЕЙЄРНОГО МЕТОДУ В ТЕРМООБРОБЦІ

Пека Р.І., бакалавр

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро

Однією з найважливіших проблем сучасного машинобудування є надання металам, що використовуються в процесі виробництва, необхідних властивостей в залежності від поставленої задачі. Одним з методів рішення цієї задачі є термічна обробка металів.

Технічні аспекти охолодження при загартовуванні були розглянуті Кобаско Н.І. [1]. Було встановлено, що закалку деталей складної циліндричної форми краще проводити в умовах інтенсивного охолодження таким чином, щоб число $Bi > 18$ і не залежало від діаметру циліндра.

Жукова Т.Д., Беяшина Н.І. та Сосновський П.В. [2] досліджували зміну властивостей загартовувального середовища УЗСП-1 в процесі експлуатації. Встановлено, що в процесі експлуатації при зберіганні концентрації охолоджувальна здатність розчину зберігається.

Адамова Н.А. [3] запропонувала універсальну розрахунково-експериментальну методику розробки режимів регламентованого загартування деталей у воді.

Кондратов В.М. та Леванов В.В. [4] розглянули можливість використання спреєрного методу в термообробці. Вони встановили, що спреєрний метод має охолоджувальну здатність близьку до охолоджувальної здатності масла лише до температури поверхні 250°C .

Особливості спреєрного методу охолодження в термообробці досліджувались Кондратовим В.М. і Будриним Д.В. також в [5]. В роботі був застосований спреєрний метод в якості засобу управління швидкостями охолодження при загартовуванні.

Термічна обробка загартовуванням активно вивчається та вдосконалюється. Спреєрний метод має великі перспективи у застосуванні завдяки можливостям управління швидкостями охолодження та своїми перевагами, що включають можливість зміни тиску, витрати води, величину та напрямлення струй до поверхні виробу.

Список використаної літератури:

1. Кобаско Н.И. Технологические аспекты охлаждения при закалке (обзор) / Кобаско Н.И. // *Материаловедение и термическая обработка металлов*. - 1999. - № 4. – С. 2-8.
2. Жукова Т.Д. Изменение свойств закалочной среды УЗСП-1 в процессе эксплуатации // Жукова Т.Д., Беяшина Н.И., Сосновский П.В // *Материаловедение и термическая обработка металлов*. - 1999. - № 4. – С. 14-15.
3. Адамова Н.А. Регламентированная закалка в воде крупных стальных изделий / Адамова Н.А. // *Материаловедение и термическая обработка металлов*. - 1999. - № 4. – С. 29-30.
4. Кондратов В.М. О возможности использования спреєрного метода при термообработке / Кондратов В.М., Леванов В.В. // *Труды кировского сельскохозяйственного института. Механизация*. – 1970. – Т. 22. – Вып. 50. – С. 99-106.
5. Будрин Д.В. Особенности спреєрного метода охлаждения при термообработке / Д.В. Будрин, В.М. Кондратов // *Известия высших учебных заведений. Сер. Черная металлургия*. - 1964. - № 11. – С. 168-173.

УДК 669.15*24*26-194.003.12

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕШП ДЛЯ ОТРИМАННЯ СУЧАСНИХ ВИСОКОМІЦНИХ АНСС СТАЛЕЙ НА ОСНОВІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Полішко Г. О., Лісова Л. О., Медовар Л. Б., Стовпченко Г. П.

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ

Останнім часом з'явилися високоміцні АНСС сталі (Advanced High Strength Steel) маловідомі і практично не виробляються в Україні. Сьогодні розроблені надлегкі високоміцні сталі, які мають навіть кращі, ніж у титанових сплавів співвідношення питомої міцності і пластичності. Це сталі леговані 10% і більше відсотками алюмінію і марганцю. Особливістю АНСС сталі є і те, що вони стійкі до перегріву при зварюванні, в т.ч. електрошлакового, що дозволило закордоном повернути ЕШП в будівництво. Сьогодні багато зарубіжних виробників промислово виробляють різні АНСС сталі, перш за все для автолиста та інших деталей автомобілів.

Найкраща якість такого металу може бути досягнута методами спеціальної електрметалургії. Власний досвід електрошлакової виплавки сталі з 3% алюмінію свідчить про перспективу використання ЕШП для виробництва таких сталей.

У зв'язку з цим нами проведено термодинамічні розрахунки взаємозв'язку в складній системі «шлак-метал» з урахуванням умов електрошлакового переплаву високоміцних сталей (АНСС) в захисній атмосфері для обґрунтування придатності шлаків різних систем ($\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ - CaO-SiO_2 - MgO ; $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ - CaO-SiO_2 ; $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ - CaO - MgO .) для плавки різних видів АНСС сталей. Виконали розрахунки для трьох типів сталей з різним компонентним складом і вмістом вуглецю - низьковуглецевих (0,17% с) середньолегованих (Mn - 5%, Al- 1, 5%); середньовуглецевих (0,66% С) високолегованих (Mn - 19%, Al- 5%); і високовуглецевих (1,30% С) високолегованих марок (Mn - 17%, Al- 5%). Отримано рівноважний вміст компонентів в металі, шлаку і газовій фазі при температурі 1600 °С. Показано, що навіть при низькому вмісту SiO_2 в шлаку відбувається активний перехід кремнію в сталь. Вміст кремнію в металі залишається в межах норми тільки при використанні шлаку без SiO_2 . При використанні шлаків систем $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ - CaO-SiO_2 - MgO ; $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ - CaO-SiO_2 помічено окислення алюмінію і випаровування його у вигляді AlF (g). При використанні шлаків з високим вмістом CaF_2 відбувалося випаровування фтористого кальцію у газову фазу. Таким чином, показано, що при перепаву високоміцних сталей типу АНСС необхідно використовувати шлаки без оксиду кремнію і з високим вмістом глинозему, що дозволить контролювати вміст алюмінію, марганцю та кремнію в металі. Переважним є використання малофторидних або безфторидних складів шлаків, випаровування яких забруднює навколишнє середовище.

КЛАСТЕРНА МОДЕЛЬ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВОГО РОЗПЛАВУ

В. О. Горохова

Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

Розглянуто можливість використання кластерної моделі залізовуглецевого розплаву для пояснення механізму поведінки кислороду і азоту в процесі киснево-конвертерної плавки.

Результати проведених металографічних досліджень миттєво заморожених частинок залізовуглецевого розплаву підтверджують принципову можливість використання гіпотези про кластерний характер розплаву. Проведений аналіз показує також, що такі елементи як вуглець, марганець і кремній розташовуються переважно в твердій зоні впорядкованого розташування атомів, а сірка, фосфор, кисень і азот - уразупорядкованій зоні між твердими кластерами металу.

Структурну модель кластера представимо схематично у вигляді кулі з кристалічною структурою, на поверхні якого розташовується разупорядкована зона, яка містить: оксиди заліза, сполуки азоту, сірки і фосфору з залізом, неметалеві включення.

З використанням співвідношення об'єму кластера до його поверхні діаметр кластера у вигляді кулі складе:

$$D_{\text{кл}} = 6 V/S = 6 (2R_{\text{Fe}})^3 * k_S / (\eta_{\text{O}_2} / \eta_{\text{Fe}}) (2R_{\text{O}_2})^2 \quad (1)$$

Співвідношення частки кластерів $\Phi_{\text{кл}}$ і енергетичнопоослабленою зоною $\Phi_{\text{раз}}$ можна представити у вигляді: $\Phi_{\text{кл}} / \Phi_{\text{раз}} = M_{\text{кл}} / M_{\text{раз}}$. З урахуванням прийнятих позначень діаметр кластера складе:

$$(D_{\text{кл}}) = \frac{6 * (2R_{\text{Fe}})^3 * m_{\text{O}_2} * k_S}{K_T * m_{\text{Fe}} * [\text{O}]_p * (2R_{\text{O}_2})^2} \quad (2)$$

де $[\text{O}]_p$ – рівноважний вміст кисню в розплаві при заданому вуглеці.

Співвідношення K_T / k_S може характеризувати фактичну кількість атомів кисню на поверхні кластера ($K_T / k_S = \eta_{\text{ф}} / \eta_{\text{O}_2} = K_{\text{эф}}$) та визначати ефективність конкретної технології по можливості досягнення рівноважного стану кисню (азоту) в залізовуглецевих расплавах.

Вираз (2) показує, що збільшення вмісту кисню в процесі киснево-конвертерної плавки, яке одночасно пов'язано зі зменшенням вмісту вуглецю і підвищенням температури розплаву, та зі зменшенням розміру твердого кластера заліза.

З практичної точки зору, використовувати отриману інформацію можна для виявлення умов видалення газів з залізовуглецевого розплаву, а також для вивчення екологічних параметрів киснево-конвертерної плавки.

Наведені дані підтверджують припущення ряду авторів, що угруповання кластерів змінюються зі зміною температури, і пояснюють причину збільшення гомогенності розплаву при збільшенні його температури.

УДК 669.17.046.517

ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПЕГМАТИТУ ДЛЯ ПОЗАПІЧНОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ СТАЛІ В УМОВАХ ПАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

Яковицький О. В.¹ Сальніков А. С.¹ к.т.н., Степаненко Д. О.² к.т.н.

¹ПАТ «Дніпроспецсталь», м. Запоріжжя,

²Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро.

Використання плавикового шпату в складі суміші твердих шлакоутворюючих матеріалів (ТШМ) при позапичній обробці сталі обґрунтовано необхідністю скорочення тривалості формування рафінувального шлаку і забезпечення його комплексом властивостей (в'язкістю, поверхневим натягом та ін.) для здійснення ефективної десульфурзації металу в ковші.

Діюча на ПАТ «Дніпроспецсталь» наскрізна технологічна схема виробництва електросталі широкого марочного сортаменту включає наступні етапи: виплавку металу-напівпродукту в ДСП-60 з випуском його в сталерозливних ківш і з присадкою навуглицювання, комплексних розкислювачів, суміші ТШМ-1 (вапно + плавиковий шпат); практично повне скачування сформованого в ковші шлаку; подальшу обробку металу на установці піч-ківш (УПК-60) з присадкою в ківш розкислювачів, ТШМ-2 (вапно + плавиковий шпат), легуючих при дотриманні розроблених параметрів рафінування сталі. Метал, що пройшов обробку на УПК піддається дегазації в ковші в вакууматорі камерного типу з подальшою розливкою у виливниці на злитки масою 4,6 і 6,0 т.

Особливістю і одним з основних недоліків діючої технології виробництва електросталі є застосування при обробці металу-напівпродукту в складі ТШМ-1 і ТШМ-2 імпортного, дорогого і небезпечного в екологічному сенсі матеріалу – плавикового шпату (CaF₂).

З огляду на зарубіжний досвід застосування в складі сумішей ТШМ для позапичної десульфурзації сталі матеріалів, що містять натрій, фахівцями ПАТ «Дніпроспецсталь» спільно з вченими Національної металургійної академії України розроблена концепція застосування в складі суміші ТШМ природного лужного алюмосилікату - пегматиту Єлісеєвського родовища (Приазов'я, Запорізька обл.). Дослідні плавки з пегматитом проводили за чинною на ПАТ «Дніпроспецсталь» наскрізною технологічною схемою. Практично на всіх досвідчених плавках стали різного марочного складу використовували ТШМ-1 (вапно + пегматит + плавиковий шпат), а при обробці сталі на УПК (4 плавки) застосовували суміш ТШМ-2 (вапно + пегматит).

Як впливає з результатів дослідного і здавального контролю неметалевих включень, ідентифікованих за стандартом ASTM-E45 (метод А), метал, отриманий по дослідній технології, характеризується практично повною відсутністю силікатів, низькими балами забрудненості сульфідами, оксидами, глобулами і за результатами здавального контролю повністю відповідає вимогам нормативно-технологічної документації.

За результатами дослідних плавок з заміною повністю або на 50...80% імпортованого плавикового шпату вітчизняною мінеральною сировиною (пегматитом) визначена техніко-економічна ефективність розробленої технології, що забезпечує зниження собівартості сталі. При цьому розріджуючий ефект лужних з'єднань сприяв ефективній реалізації сіркопоглинальної здатності ковшового рафінувального шлаку в порівнянні зі шлаком стандартного складу.

Робота виконана під керівництвом акад. НАН України, д.т.н., проф. М. І. Гасика та д.т.н., проф. Д. М. Тогобицької.

УДК 669.17.046

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ У ВАННІ КОВША ПРИ НАГРІВАННІ СТАЛІ НА УКП

Г. О. Андрієвський м.н.с., В. П. Піптюк к.т.н. с.н.с., С. В. Греков н.с.

Институт чорної металургії НАН України, м. Дніпро

З метою вивчення розподілу теплових потоків металу у ванні в процесі його нагрівання на установці ківш-піч (УКП) фірми "Danieli" у ковші ємністю 60 т з посиленням футеровки в бійній частині і визначення характеру термічного впливу на вогнетривку футерівку ковша проведено відповідне чисельне дослідження. Досліджували вплив режимів продувки металу аргоном (витрата газу в межах 25-200 л / хв), вихідної температури (перед нагріванням) металу (в межах 1650-1710 ° С) і варіантів розташування продувної фурми в днищі ковша по відношенню до основи посилення футерівки в бійній частині і електродів модулю нагріву УКП. Варіанти розташування продувної фурми: на 0,54 радіусу днища ковша і з кутом відліку, починаючи з середини основи бійної частини по колу через кожні 20 °.

Визначено значущий вплив розташування донної продувної фурми в ковші на розподіл теплових потоків у ванні в процесі нагрівання металу. Крім того, встановлено вплив зазначеного чинника на протяжність і площу локальних теплових зон, що виходять на футеровку робочої поверхні стінок ковша з підвищеною (на 5-10 ° С) температурою металу в порівнянні з переважаючими значеннями температури металу в ванні. У розглянутих межах режимів нагріву і продувки ванни не встановлено впливу величини вихідної температури металу (перед нагріванням) і інтенсивності продування ванни аргоном на змінення характеру розподілу теплових потоків у ванні.

Результати досліджень в числі інших факторів впливу використані при обґрунтуванні раціонального розташування донної продувної фурми в розглянутому ковші. Експериментальний сталерозливний ківш зі змінним розташуванням фурми проходить дослідно-промислово перевірку в умовах ПАТ "Дніпроспецсталь".

УДК 669.18:669.141.241

МОЖЛИВІСТЬ ЕКОНОМІЇ РОЗКИСЛЮВАЧІВ І ЛЕГУЮЧИХ ДОБАВОК ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Денисенко А., Надточій А. А. к.т.н.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Найважливішою стадією виробництва сталі, що в значній мірі визначає її якість, є процеси розкислювання і легування. Відповідно до сталої технології виплавки високовуглецевої сталі марки 70 ці процеси проводять в сталерозливних ковшах у процесі випуску металу з ДСП, а доведення до заданого хімічного складу - при позапічній обробці. Основними задачами, що розв'язуються при позапічній обробці сталі, є доведення сталі до заданого ступеня розкисленості і попадання в задані ДСТУ або ТУ межі за хімічним складом, причому бажано отримання хімічного складу по цих елементах ближче до нижньої межі. Проведений статистичний аналіз масиву плавок високовуглецевої сталі марки 70 та порівняння фактичних (виробничих) і рівноважних (розрахункових) концентрацій вуглецю, марганцю і кремнію в сталі. Вміст цих елементів входять у необхідні норми (ДСТУ), але до рівноважного вмісту наближається тільки вміст марганцю. Проведений розрахунок активностей компонентів металевої системи. Активність компонентів металевої системи змінюється по ходу позапічної обробки металу. Для кінцевого складу сталі, що йде на розливання МБЛЗ, активності елементів знаходяться в межах: для марганцю з вмістом 0,55-0,7% $a_{Mn} = 0,7-1$; для кремнію з вмістом 0,15-0,23 $a_{Si} = 0,14-0,2$; для вуглецю з вмістом 0,55-0,85 $a_C = 0,5-1,2$; для алюмінію з вмістом 0,00125-0,003 $a_{Al} = 0,002-0,004$. Статистична обробка виробничих даних масивів плавок високовуглецевої сталі показала, що ступінь засвоєння марганцю по ходу позапічної обробки коливається в широких межах 65-95%, ступінь засвоєння кремнію - 35-70%, а вуглецю - 55-90%. Таким чином, угар вуглецю, кремнію і марганцю по ходу обробки коливається в широких межах і це підтверджує, що для отримання сталі з вмістом елементів в досить вузьких межах необхідні відомості про окисленість кожної конкретної плавки. Запропонована методика розрахунку кількості елементів-розкислювачів, в основу якої встановлена інформація про окисленість початкового металу. Використовуючи представлену методику розрахунку кількості розкислювачів для доведення рідкої сталі до заданого хімічного складу, розраховали масу елементів-розкислювачів і порівняли з фактичними даними масового виробництва високовуглецевої сталі. Порівняння показало достатню збіговність розрахункових і фактичних даних.

УДК: 620.17:656.003.12

СПАДКОВИЙ ВПЛИВ ЯКОСТІ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТИХ ЗАГОТОВОК НА БРАК УЗК ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ

Бабаченко О.І. д.т.н., Кононенко Г.А. к.т.н., Шпак О.А.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м Дніпро

У зв'язку з тим, що при виробництві на ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» залізничних осей за EN 13261:2009+A1:2010:E спостерігається підвищена кількість браку при УЗК, для виявлення причин його виникнення був виконаний наскрізний контроль технології виробництва залізничних осей з НЛЗ Ø 470 мм пл. №№ 10268, 10269 і 10270 (одна серія). Мета роботи - визначити можливість виробництва якісних залізничних осей з безперервнолитої заготовки, в макроструктурі яких відзначається наявність ліквацийних плям (центральна область Ø 210-230 мм) і мікропористості небракувального рівня.

Прокат пл. №№ +10268,10269 і 10270 здійснювався з поділом на партії по струмках. В результаті контролю температури в 5-ти точках по перерізу заготовки за допомогою зачеканених термопар встановлено, що температура в середині заготовок відповідає заданій. Термічну обробку заготовок осей пл. №№ +10268,10269 і 10270 здійснювали відповідно до прийнятої технології. Механічні властивості осей, рівень вмісту неметалевих включень відповідають вимогам EN 13261:2009+A1:2010:E.

В результаті оцінки макроструктури в перетинах заготовок і готових виробів досліджуваних плавок за ОСТ 14-1-235-91 було виявлено наявність яскраво вираженої неоднорідної макроструктури (область розмірами 110-100 мм) в центральній частині на поздовжніх і поперечних перетинах.

Мікроструктура оцінювалася за EN 13261:2009+A1:2010:E і ISO 643:2003 (вимоги НТД - зерно не крупніше 5,0 бала), на осях-пробах пл.№№ +10268,10269 і 10270, вона відповідало 6,5-7,0 балу.

При проведенні УЗК в радіальному напрямку осей виявлені внутрішні дефекти, амплітуда ехо-сигналу яких дорівнює або перевищує амплітуду, отриману на стандартному дефекті Ø 3 мм на тій же глибині.

При аналізі макроструктури осей, вибракуваних за результатами УЗК було виявлено наявність вираженої неоднорідності макроструктури - ліквацийна зона, наявність дрібних пір і несучільностей в центральній частині, що є причиною незадовільних результатів УЗК. При дослідженні мікроструктури в центральних областях осей, відбракуваних за результатами УЗК, виявлена структура з усадковими порами і скупченнями силікатних і сульфідних включень.

Поділ по струмках і заготівлях в балансових плавках показав, що брак УЗК осей з досліджуваних плавок був найбільше виявлений на струмку № 4. Для простежуваності розташування внутрішніх дефектів осей, що виявляються при проведенні УЗК, рекомендується в подальшому здійснювати аналіз заготовок осей за належністю до порядкового номеру струмка і порядкового номеру заготовки в струмку.

УДК 669.162.68

ПІДВИЩЕННЯ ЧАСТКИ ЛОМУ У КОНВЕРТЕРНІЙ ШИХТІ ЗА РАХУНОК ЗБІЛЬШЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВАННИ

А. П. Мішалкін к.т.н., доц., Назаренко Р.О. ст. гр. МЕ03-13

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

З позиції енергоефективності та ресурсозбереження найбільш перспективними є технології, що включають попередній нагрів брухту в порожнині конвертера перед заливкою чавуну і збільшення ступеня допалювання монооксиду вуглецю в порожнині конвертера.

Доцільними є реалізація способу виробництва сталі, при підвищенні вуглецевого потенціалу розплаву, який продувається киснем, що в підсумку забезпечить прихід теплової енергії, достатньої для істотного збільшення частки брухту в металошихти.

Проста в своїй сутності на перший погляд ідея, потребує проведення досліджень по обґрунтуванню найбільш раціональних параметрів запропонованого технологічного рішення, а саме: дутьового і шлакового режимів плавки; встановлення кінетичних особливостей основних реакцій в умовах розчинення - окислення вуглецю; визначення найбільш раціональних співвідношень між швидкостями розчинення та окислення вуглецевмісного матеріалу та ін.

Встановлено, що істотне збільшення частки брухту може бути досягнуто за однакової кількості швидкостей розчинення вуглецю з зовнішнього джерела і окислення вуглецю киснем дуття. Це забезпечить достатню і необхідну кількість теплової енергії для нагріву, плавлення додаткової кількості брухту і проведення стандартних технологічних операцій рафінування. Регулювання вуглецевого потенціалу ванни досягається за рахунок збільшення поверхні розчинення вуглецю і вибору газу.

УДК 669.168.046.5

АНАЛІЗ РІВНОВАГИ СИСТЕМИ МЕТАЛ-ШЛАК ПРИ КОНВЕРТЕРНОМУ ОТРИМАННІ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОГО ФЕРОМАРГАНЦЮ

Пасічник А.Р., Надточій А.А. к.т.н.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Можливості управління окислювальним періодом процесу, за рахунок регулювання окисного потенціалу газової суміші, що підводиться, а також інтенсифікації відновлювальних взаємодій шляхом енергійного перемішування компонентів конвертерної ванни нейтральним газом, визначають перспективність їх застосування не тільки для виробництва спеціальних сталей, а й для отримання рафінованих сортів феросплавів і сплавів. Особливості протікання процесу прямої конвертації вуглецевого феромарганцю, з метою отримання середньовуглецевого феромарганцю [1], визначили необхідність випробування технології силікотермічного відновлення оксидів марганцю з шлаку в конвертері з донним дуттям. З метою з'ясування принципової можливості використання конвертера з донним дуттям для отримання середньовуглецевого феромарганцю проведений аналіз рівноваги системи метал-шлак-газ отримання середньовуглецевого феромарганцю з використанням термодинамічних баз даних "HSC Chemistry 5.1".

Після розплавлення 950 кг MnC17 і нагріву його до температури 1620-1630 °С заливався в нагрітий конвертер, на подіну якого, завантажувалось вапно в кількості 20 кг/т. З метою підігріву металеві ванни здійснювали продування конвертера киснем з інтенсивністю 1 м³/т·хв і природним газом 7-10% від витрати кисню. На цьому етапі розрахунок рівноваги показав існування в шлаковій системі CaO·SiO₂, 3CaO·2SiO₂, 2CaO·SiO₂, 2MnO·SiO₂, SiO₂, MnO, MnO·SiO₂, 3CaO·SiO₅. В металічній системі зниження кремнію з 16,05 % до 15,32%.

Після нагріву металу до 1680 °С переходили на продування аргонем з одночасним завантаженням 800 кг офлюсованого агломерату складу, % мас.: Mn - 33,9; SiO₂ – 14,8; CaO – 28,3. За цей період температура металеві ванни конвертера знижувалося до 1330 °С. На цьому етапі розрахунку в металічній фазі спостерігався зріст вмісту марганцю з 67,88 % до 79,45 % та зниження вмісту кремнію з 15,32 % до 6,2 %.

Потім, для підігріву розплаву, переходили на кисневе продування. В цей період метал розігрівся до температури 1620 °С. Після розігрівання сплаву знову переходили на продування нейтральним газом з присадкою 25 кг/т вапна і 650 кг офлюсованого агломерату. При цьому температура знизилася до значень 1300-1320 °С. На кінцевому етапі розрахунку рівноваги отриманий шлак в кількості 1153 кг складу, мас. %: 30,07 CaO·SiO₂, 17,33 3CaO·2SiO₂, 15,17 2CaO·Al₂O₃·SiO₂, 7,46 2CaO·SiO₂, 3,83 2MnO·SiO₂, 7,43 CaO·MgO·SiO₂, 6,41 SiO₂, 4,48 MgO·SiO₂, 3,53 MnO, 1,34 MnO·SiO₂, 1,81 3CaO·MgO·2SiO₂, 0,376 3CaO·SiO₅, 0,57 MgO, 0,107 CaO, 0,008 CaO·MgO. Хімічний склад кінцевого середньовуглецевого феромарганцю, мас. %: 83,8 Mn, 13,78 Fe, 0,7 Si, 1,28 C, 0,43 P, 0,01 S. Кількість феромарганцю, що отримали в результаті розрахунку, 1277 кг. Опитні плавки отримання середньовуглецевого феромарганцю в конвертері з донним дуттям докладно описані в роботі [2]. Таким чином, розрахункові дані підтверджують можливість отримання середньовуглецевого феромарганцю конвертерним методом з високим вмістом марганцю.

Література:

1. Рафинирование ферромарганца продувкой газообразным кислородом / В.Г. Мизин, В.И. Хобот, Ю.А. Данилович и др. – Сталь. – 1983. - №5. – С. 12-15.
2. Величко А. Г. Силікотермічний метод получения среднеуглеродистого ферромарганца в конвертере с донным дутьем / А. Г.Величко, Ду Юньшен, А. В. Лысаков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. - №3. – С. 23-25.

УДК 620.18:621.771.26:621.785.001.5

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК УКРАЇНСЬКОГО ТА ЗАКОРДОННОГО ВИРОБНИЦТВА

**О. І. Бабаченко д.т.н., О. В. Пучиков, О. В. Узлов к.т.н., Г. А. Кононенко к.т.н.,
К. Г. Дьоміна к.т.н., А. М. Хулін к.т.н., Ж. А. Дементьєва, О. А. Шпак**

Інститут чорної металургії НАН України, м Дніпро

В даний час на залізницях України в порівнянні з 1990-ми роками минулого століття спостерігається збільшення осьового навантаження рухомого складу від 23,5 до 30 тс, швидкості руху поїздів від 75 до 140 км / год і збільшення твердості коліс від 270-290 до 330-340 НВ. Ці фактори, а також недостатньо високий рівень механічних властивостей залізничних рейок привели до збільшення швидкості їх зносу і появи контактно-втомних пошкоджень. Порівняння якості вітчизняних рейок із зарубіжними зразками показує лідерство останніх.

Для високої ефективності експлуатації рейок на залізничних дорогах України необхідно підвищення їх якості, надійності та експлуатаційної стійкості. Якість рейок, їх ресурс напруцювання пропущеного тоннажу і безпека руху залізничного транспорту залежать від рівня вимог нормативної документації, а також фактичного рівня механічних властивостей і структурного стану рейок.

Аналіз вітчизняного (ДСТУ 4344: 2004) і зарубіжних (ГОСТ Р 51685-2013, EN 13674-1-2011) стандартів показав, що вимоги до механічних властивостей рейок, які визначаються при випробуваннях на розтяг, практично однакові для всіх розглянутих стандартів. Однак у вимогах до твердості головки рейки є істотні відмінності.

Вимоги ДСТУ 4344 до твердості рейок «вищої» категорії на поверхні кочення (374-401 НВ) поступаються вимогам ГОСТ Р 51685-2013 (405-409 НВ для рейок ОТ370ИК і ДТ370ИК) і EN 13674-1: 2011 (390-440 НВ для рейок R400HT). Крім того, максимальна глибина, на якій визначається твердість згідно ДСТУ 4344, складає 11 мм і рівень твердості в цій точці для рейок «вищої» категорії повинен становити не менше 321 НВ. У той час як ГОСТ Р 51685-2013 регламентує максимальну глибину виміру твердості в головці рейки 22 мм і рівень твердості в цій точці - не менше 352 НВ для рейок ОТ370ИК і ДТ370ИК, а EN 13674-1: 2011 - глибину 20 мм з твердістю більше 370 НВ.

Це говорить про те, що термічно зміцнений шар в зарубіжних рейках володіє більш високою твердістю і більшою товщиною, ніж в рейках українського виробництва, цим можна пояснити їх підвищений ресурс експлуатації.

Крім аналізу українського та зарубіжних стандартів були також проведені дослідження мікроструктури і твердості по перетину рейки виробництва ПАТ «МК«Азовсталь» в термічно обробленому стані. Був використаний повнопрофільний зразок рейки, який за геометричними параметрами класифікований як рейка типу Р65.

За рівнем значень твердості, які визначаються згідно з ДСТУ 4344 на поверхні катання і глибинах 5, 11 мм, досліджуваний виріб є рейкою вищої категорії (ДСТУ 4344: 2004). Однак при цьому ця рейка за своїми показниками твердості на глибині 11 мм (323НВ) не відповідає мінімальним значенням навіть для рейок R350, ОТ350, ДТ350, до яких пред'являється найменший рівень твердості серед термозміцнюваних рейок за EN 13674-1-2011 і ГОСТ Р 51685- 2013 ($\geq 340\text{НВ}$, $\geq 341\text{НВ}$ відповідно).

Мікроструктура рейки в цілому відповідає вимогам ДСТУ 4344: 2004. Слід зазначити, що на поверхні катання виявлені області продуктів бездифузійного перетворення, які виявляються лише при великих збільшеннях (X800). Це говорить про неоднорідність мікроструктури металу в цій точці. В інших точках мікроструктура не містить продуктів бездифузійного перетворення і представляє собою тонко диференційний перліт, що повністю відповідає вимогам ДСТУ 4344: 2004.

УДК 669.184

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРИЯРУСНОЇ ФУРМИ¹

Юшкевич П.О. асп.

Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

У період інтенсивного обезулерожування конвертерної ванни при розташуванні рівня спіненого шлаку нижче торця головки триярусної фурми відеозйомкою фіксувався вихід з певною частотою з меж реакційної зони взаємодії понадзвукових кисневих струменів з металевим розплавом макробульбашок СО з допалюванням СО до СО₂ звуковими кисневими струменями при безпосередньому впливі створюваних факелів допалювання на поверхню шлаку.

Подальше підвищення рівня спіненого шлаку до розташування верхнього соплового блоку супроводжувалось продувкою конвертерної ванни у режимі повністю заглиблених у спінену шлакометалеву емульсію звукових кисневих струменів, стікаючих з верхнього соплового блоку. В цих умовах відбувалось зародження в межах вторинних реакційних зон об'ємів СО, послідує їх збільшення та спливання утвореної макробульбашки, допалювання в ній СО до СО₂, супроводжується первинно зростанням висоти спіненого слою шлаку в окофурменій зоні з послідуєчим її зниженням після виходу та руйнування макробульбашки на поверхні шлаку. В цьому випадку, високотемпературні газоподібні продукти реакції допалювання $CO + \frac{1}{2}O_2 = CO_2$ передають тепло оточуючій макробульбашку оболонці шлакометалевої емульсії, котра в більш перегрітому до більшвисокої температури стані виноситься на поверхню ванни та бере участь у процесі передачі тепла від допалювання через шлак до металевої ванни.