

**Національна академія наук України
Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова**



**Всеукраїнська науково-технічна конференція
«НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ»**

присвячена 80-річчю

**Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова
Національної академії наук України**

**9-10 жовтня
м. Дніпро
2019**

<u>Тематичні напрямки конференції:</u>	<u>стор.</u>
Металургія чавуну та сталі: технології, інновації, якість	- 3
Електрометалургія	- 16
Технології позапічної обробки чавуну та сталі	- 19
Моделювання та оптимізація технологічних процесів	- 28
Автоматизація та сучасні методи контролю металургійних процесів та якості металургійної продукції	- 36
Металознавство та термічна обробка сталі	- 40
Прогресивні технології обробки металу тиском	- 48
Екологічні проблеми чорної металургії	- 50

Металургія чавуну та сталі: технології, інновації, якість**ПРОЕКТ БУДІВНИТСТВА КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХУ НА ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»****І.В. Чернятевич к.т.н.****ТОВ «Метінвест інжиніринг», м. Дніпро**

Наведено інформацію щодо статусу проекту будівництва комплексу з виробництва гарячекатаних рулонів на ПАТ «Запоріжсталь» у складі киснево-конвертерного цеху з ливарно-прокатним модулем, генерального плану об'єкту та характеристик основного технологічного устаткування, включаючи позапічну десульфуріацію чавуну, виплавку сталі у кисневому конвертері з комбінованою продувкою, позапічну обробку сталі на установках піч-ківш та камерному вакууматорі з подальшою розливкою та прокаткою на модулі CSP. Надані відомості по типам газоочисного устаткування.

УДК 669.02/09:669.162.275.2.083.133

РОЗРОБКА КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЛУЖНОЇ ЄМНОСТІ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ В УМОВАХ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ**Н.О. Цюпа, к.т.н., О.С. Скачко, к.т.н., Д.О. Степаненко, к.т.н., І.Р. Снігура****Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м. Дніпро**

Необхідність утилізації накопичених у сховищах вторинних ресурсів, що містять поряд з залізом і флюсовими добавками значну кількість лужних сполук і інших домішок, та використання їх у якості шихтових матеріалів доменної плавки, призвело до збільшення лужного навантаження та, як наслідок, погіршення техніко-економічних показників роботи доменних печей. У зв'язку з цим актуальним питанням є оцінка лужної ємності доменного шлаку при зміні його складу і властивостей, як головного чинника видалення лужних сполук з печі.

Для виконання оперативної прогностичної оцінки вмісту оксидів калію і натрію в шлаковому розплаві в реальних умовах роботи доменних печей при відсутності їх контролю або для заміни дорогих методів контролю вмісту лужних оксидів в доменному шлаку розроблено показник для оцінки фактичних концентрацій лужних оксидів в шлаковому розплаві – лужна ємність. Використання отриманого показника в системах АСУТП і АСУНД дозволить встановити раціональний шлаковий режим процесу ведення доменної плавки для максимального виведення лужних сполук з доменної печі, що забезпечить експлуатаційну надійність агрегату при утилізації вторинних ресурсів не нижче темпу їх накопичення.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України за конкурсним проектом Ф-82 (розпорядження президента України №242/2019-рп).

УДК 669.184.244.66

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЇ ВАННИ З ЧАСТКОВИМ ДОПАЛЕННЯМ ДИМОВИХ ГАЗІВ

А.Г. Чернятевич д.т.н., Л.С. Молчанов к.т.н., В.В. Вакульчук

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

В сучасних виробничих умовах виробництво якісного залізовуглецевого напівпродукту здійснюють з використанням кисневих конвертерів. При цьому існуючі кисневі фурми найбільш передової конструкції не забезпечують: поліпшення теплового балансу плавки, прискорення шлакоутворення та видалення фосфору при підвищеному вмісті вуглецю у ванні; зниження вірогідності утворення настилів на основному та допоміжному технологічному устаткуванні; ефективного нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера; здійснення комбінованої продувки конвертерної ванни протягом всієї компанії конвертера по футерівці.

Представлені результати досліджень, що до підвищення енергоефективності виробництва сталі дозволили визначити раціональні конструкції дуттьових пристроїв для введення кисню при здійсненні комбінованої продувки конвертерної ванни. Встановлено, що найбільш доцільним є використання двоярусних кисневих фурм з дворядними або двоконтурними наконечниками, оснащеними незалежними трактами подавання технологічних газів. Відповідно до результатів високотемпературного моделювання визначена їх переважна ефективність у порівнянні з традиційними конструкціями двоярусних та класичних кисневих фурм.

Відповідно до результатів проведених досліджень, встановлено, що використання кисневих фурм розробленої конструкції у порівнянні з традиційними дозволить підвищити вихід придатного рідкої сталі на 0,15 – 0,30 %; знизити витрату шлакоутворюючих матеріалів (вапно + доломіт) на 2,5 – 3,5 кг/т й скоротити тривалість продувки на 1,0 – 1,5 хв.

УДК 669.184

БАГАТОЯРУСНА ГАЗООХОЛОДЖУВАНА ГАРНІСАЖНА ФУРМА

Є.М. Сігарьов д.т.н., М.М. Недбайло

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Запропонована інноваційна конструкція газохолоджуваної багатоярусної гарнісажної газохолоджуваної фурми із можливістю зміни відстані між ярусами та напрямку витікання бокових азотних струменів, що впливають на напрямок руху відбитого від шлакової ванни газошлакового потоку. Фурма призначена для інтенсифікації «гарячого» ремонту футерівки конвертера у періоди виявлення зон випереджаючого зносу останньої. Бокові сопла зі змінним кутом нахилу надають можливість для перенаправлення зворотнього газошлакового потоку на виявлені «проблемні» зони та відновлення раціонального профілю робочого простору конвертера.

Особливістю запатентованої конструкції газохолоджуваної фурми є можливість швидкої зміни, на визначену розрахунками величину, відстані між наконечником та верхнім блоком бокових сопел. Верхній блок та нижній ярус фурми з'єднані за допомогою різьбового з'єднання з герметизацією температуростійкою прокладкою.

Керування напрямком зворотнього газошлакового потоку, відбитого від шлакової ванни по ходу роздувки останньої понадзвуковими азотними струменями, що витікають з сопел

Лавалю наконечника фурми, здійснюється шляхом зміни положення бокових сопел верхнього блоку відносно сопел Лавалю наконечника фурми у вертикальній площині.

Необхідно відмітити, що за результатами промислового використання двоярусної гарнісажної фурми ознак розмивання нанесеного гарнісажного шлакового шару, у секторах перетину газових потоків з бокових сопел та стін конвертера, не виявлено.

УДК 669.184

ВЗАЄМОДІЯ ПЕРВИННОГО ШЛАКУ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ З ВОГНЕТРИВОМ

Є.М. Сігарьов д.т.н., Ю.В. Байдуж

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Теоретичне обґрунтувані, досліджені та підтвержені в ході високотемпературних досліджень характер впливу та закономірності взаємодії конвертерного шлаку першого періоду продувки конвертерної ванни з поверхніми незахищеного та периклазовуглецевого вогнетриву, захищеного шаром гарнісажного шлакового покриття.

У якості параметра оптимізації при виконанні досліджень було прийнято величину крайового кута змочування, у якості факторів впливу – мас. вміст, % CaO і MgO у шлаку та розмір твердих тугоплавких часток, які моделювали незасвоєні шлаком у цей період конвертерної плавки добавки. За результатами експериментів визначені крайові кути змочування та робота адгезії до вогнетриву шлаків різних хімічних складів, які відповідали шлакам з моменту початку формування первинного до складу шлаку перед проміжним скачуванням з конвертера. Встановлений також характер та закономірності впливу часток незасвоєних шлаком добавок на зміну в'язкості шлаків та адгезію.

Підтверджено, що максимальний рівень адгезії до периклазовуглецевих вогнетривів з різним вмістом вуглецю (від 4 до 20 мас.%) забезпечують кислі шлаки, із незначним ступенем залежності від вмісту вуглецю у вогнетриві. Уточнення залежності адгезії від вмісту вуглецю у периклазовуглецевому вогнетриві, при поступовому переході від кислих до середньоосновних (з основністю понад 2,0) шлаків, дозволило запропонувати заходи для попередження руйнування вогнетриву у перший період конвертерної плавки.

Показано, що найбільший вплив на зміну крайового кута змочування середньоосновного шлаку мають наступні фактори: розміри часток твердих нерозчинених у шлаку добавок (більше 3,0 мм негативно впливають на величину крайового кута змочування вогнетриву); перевищення вмісту оксиду магнію більш ніж 7,5-8,0 %, що призводить до зростання величини крайового кута змочування вогнетриву; підвищення CaO при раціональному вмісті оксидів магнію призводить до зменшення крайового кута змочування.

Для розрахунку раціонального складу первинного та середньоосновного шлаків, з врахуванням розмірів та кількості незасвоєних часток добавок, запропоновані відповідні математичні моделі. Чисельними дослідженнями з використанням моделей встановлено, що з підвищенням вмісту у шлаку MgO понад 14% характер змочування (вплив зростання основності та окисленості) змінюється на протилежний, що співпадає з відомими результатами інших дослідників. Так, при вмісті MgO до 14%, окисленості шлаку 13% та вмісті 30% CaO відповідно, крайовий кут змочування складає 33,7 град, що обумовлює розвинену поверхню контакту шлаку з вогнетривом. З підвищенням вмісту у шлаку MgO до 16-18%, у перший період плавки, при окисленості шлаку 13% та 30% CaO величина крайового кута змочування підвищується до 68,9-71,5 град, що забезпечує погіршення контакту шлаку з вогнетривом та його впливу на руйнування футеровки.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ЦІННОСТІ ОКУСКОВАНИХ ВІДХОДІВ

Сігарьов Є.М. д.т.н., Шумейко В.О., Якунін П.А.

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

У зв'язку із загостренням проблеми дефіциту якісного брухту металургійними підприємствами використовуються не тільки залізородні матеріали з невеликим вмістом заліза, металодобавки у вигляді окускованих пилу, шламів та відходів машинобудівельних підприємств, а й розглядається навіть можливість рециклінгу радіоактивного брухту. У якості ресурсозберігаючої сировини у складі металошихти для сталеплавильного переділу, на сьогодні, можна вважати брикети з відходів металургійної та машинобудівної промисловості, у тому числі з чавунної та сталевий стружки. Сталева стружка відрізняється від інших видів легковагового брухту великою неоднорідністю за твердістю за перетином, наявністю окисних плівок та сторонніх домішок, що дещо ускладнюють утворення щільного та міцного куска при холодному пресуванні брикетів.

До недоліків використання в сталеплавильному процесі брикетів з сталевий стружки з підвищеним вмістом нешкідливих домішок можна віднести: перевитрату вапна на плавку в зв'язку з необхідністю компенсації низької основності неметалевої частини (шлаку) брикетів; підвищений знос периклазовуглецевих вогнетривів при взаємодії з переокисленим кислим шлаком першого періоду конвертерної плавки; можливість переохолодження металевий ванни при швидкому мимовільному руйнуванні брикету з заморожуванням чавуну і підвищенням чаду заліза при вдуванні кисню; винесення дрібної фракції, що обсипається від брикету, з газами, що відходять, при завантаженні брухту тощо. Відсоток виходу рідкого заліза з брикету залежить також від наявності та кількості мастильно-охолоджуючої рідини (МОР) на поверхні стружки.

З метою удосконалення методики визначення металургійної цінності брикетів авторами чинної роботи проведено серію високотемпературних експериментів із застосуванням індукційної тигельної печі ІСТ-016 і газоподібного аргону, в якості захисного середовища для робочого простору, з використанням зразків брикетів зі сталевий стружки з різних марок сталі. На першому етапі експериментів визначали густину кожного зразку брикетів з використанням методу гідростатичного зважування та показник міцності брикетів. На наступному етапі експериментів проводили переплавлення брикетів у індукційній печі.

Отримані результати були опрацьовані з використанням положень теорії металургійних процесів і методик розрахунку матеріально-теплого балансу. Порівнювали розрахункові значення з результатами хімічного аналізу шлаку з метою визначення ступеню завершеності процесів. На наступному етапі, з урахуванням хімічного складу шлаку, сформованого при переплавленні сталевий брухту, уточнювали масу неметалевих включень, що надійшли до шлаку зі складу брикету зі сталевий стружки. При відповідності за показниками густини та міцності досліджених брикетів вимогам ДСТУ 2141-2002 встановлений широкий діапазон забрудненості нешкідливими домішками (від 2,47 до 7,33%).

Досліджено також макроструктуру шлаків, отриманих при переплавленні брикетів у сталь з подальшою оцінкою можливого впливу на динаміку шлакоутворення у початковий період конвертерної плавки.

За результатами експериментів та розрахунків запропоновано удосконалену методику оцінки з введенням інтегрального показника забрудненості брикетів, що призначений для врахування сумарної кількості неметалевих включень, нешкідливих та шкідливих домішок, втрат за рахунок видалення МОР тощо.

УДК 669.184.244.66

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЕРХНЬОЇ ПРОДУВКИ МЕТАЛЕВОЇ ВАННИ В КИСНЕВОМУ КОНВЕРТЕРІ ЧЕРЕЗ КІЛЬЦЕВЕ КОАКСІАЛЬНЕ СОПЛО

Голуб Т.С. канд. техн. наук, с.н.с, Семикін С.І. канд. техн. наук, с.н.с., Дудченко С.О., н.с., Вакульчук В.В., м.н.с.

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

Процес взаємодії високошвидкісного газового струменя окислювача, що витікає з верхньої продувної фурми, при кисневому LD конвертуванні з розплавом є визначальним і вирішальним фактором розвитку і протікання теплових та обмінних процесів. Відомо, що удосконалення дуттьових режимів є одним з високоефективних енерго-ресурсозберігаючих напрямків, що дозволяють досить швидко і без значних фінансових витрат істотно поліпшити техніко-економічні показники виробництва конвертерної сталі. Однак на сьогоднішній день питанню ефективності засвоєння кисню металевим розплавом на протікання основних окислювальних реакцій з його загальної кількості, що подається на плавку, не приділяють належної уваги.

Фізичне моделювання продувки через кільцевий коаксіальний сопловий наконечник (що сприяє зниженню розсіювання потоку) виявило, що струмінь газу, що витікає з нього, по осі поширення володіє більшим у порівнянні з продувкою через одне стандартне сопло динамічним напором, в результаті чого глибше проникає в рідину. У зв'язку з цим у роботі представлені результати високотемпературного дослідження характеру й особливостей продувки металевого розплаву через верхню фурму з кільцевим коаксіальним соплом на базі 60-кг лабораторного конвертера в зіставленні з роботою чотирьох соплового наконечника. На базі безперервного відеозапису швидкісною камерою з частотою 300 кадрів в секунду та реєстрації технологічних показників вивчений характер взаємодії кисневого струменя з рідкою ванною й підтверджені отримані на етапі «холодного» моделювання висновки про більш високий рівень динамічного натиску і глибоке проникнення в розплав струменя при застосуванні дослідного наконечника. Виявлено більш раннє запалення плавки і значне підвищення рівня температури підфурменій області, зареєстрованої пірометром, ймовірно, за рахунок створення в підфурменій області зони інтенсивного допалювання СО до СО₂. Однак глибоке проникнення струменя зумовило більш жорсткий характер продувки з формуванням меншої кількості шлаку, ймовірно, за рахунок меншого надходження оксидів заліза в шлак, ніж на порівняльних плавках. За величиною зниження рівня вуглецю в розплаві в зіставленні з порівняльними плавками при порівнянній кількості поданого кисню встановлено збільшення частки кисню, що витрачається на окислення вуглецю при використанні дослідного наконечника, з відповідним підвищенням швидкості окислення вуглецю за ходом продувки.

УДК 669.184

СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ ВЕРХНІХ ФУРМ У КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ УКРАЇНИ

П. О. Юшкевич, к.т.н.

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

З 80 – х років двадцятого сторіччя і до теперішнього часу найбільшого поширення у киснево-конвертерному виробництві отримали групи процесів, що відносяться до верхньої та комбінованої продувки [1-3]. В цих процесах конвертування металу, на сьогодні насамперед

передбачається застосування одноярусних верхніх фурм, що мають обжену кількість керуючих впливів на перебіг продувки металу та передбачають жорсткі умови до вимог шихтування плавки [1-3].

На сучасному етапі розвитку чорної металургії в киснево-конвертерних цехах України спостерігається ряд ускладнень у забезпеченні умов та стабільності роботи, що пов'язані з [1-3]:

- недостатньою якістю шихти та підвищеним вмістом за S та P у вихідній металошихті;
- перевищенням вартості лому над вартістю чавуну;
- змінними умовами шихтування конвертерної плавки, через коливання складу та температури чавуну;
- відсутністю налагодженого багаторівневого систематизованого сортування металевих брухту;
- незадовільною якістю вапна, дефіцитом плавикового шпату й магнезійних шлакоутворювальних матеріалів;
- відсутністю присадок залізо- і марганцевмісних сировинних добавок (залізородних окатишів, марганцевої руди, агломерату) у ході продувки;
- застосуванням для охолодження перегрітих плавок присадок вапняку й продувки ванни технологічним азотом;
- обмеженим застосуванням ковшової десульфурзації чавуну перед заливання у піч металу та подальшої комбінованої продувки розплаву у конвертерному агрегаті.

Саме тому, застосування одноярусних конструкцій верхніх фурм для продувки металу за таких умов призводить до нестабільної роботи киснево-конвертерних цехів України та негативно впливає на якість металопродукції, що отримується.

Список літератури

1. Чернятевич А. Г. Новые разработки конструкций кислородных фурм и способов продувки ванны 160-т конвертеров ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» / А. Г. Чернятевич, Е. Н. Сигарев, И. В. Чернятеви // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 1. – С. 31-38.
2. Бойченко Б. М. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотський, П. С. Харлашин. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. – 456 с.
3. Чернятевич А. Г. Комбинированная продувка конвертерной ванны кислородом и нейтральным газом / А. Г. Чернятевич, П. О. Юшкевич // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 21 квітня 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 1050-1065.

УДК: 669.094.22: 669.26: 544.3

ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДУ ХРОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ СУМІШЕЙ CH₄ - CO₂ І CH₄ - H₂O

Гришин А.М., к.т.н., Щеглова І.С., к.х.н., Надточий А.А., к.т.н., Зикін Є.С.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

В останні роки інтенсивно розвивається застосування вуглеводневих газів у різних технологічних схемах в металургії. Значною мірою це стосується метану. Введення "сирого" метану в високотемпературний металургійний агрегат ініціює різні перетворення, які часто складно комплексно аналізувати. Розробка фізико-хімічної моделі використання метану в процесах твердофазного відновлення сировини, що містить сполуки хрому, дозволить розробити технологічні основи отримання багатоконпонентних губчастих лігатур.

Відомо, що CH_4 на каталітичній поверхні конвертується водяною парою (або CO_2 , O_2), що є основним методом виробництва водню і синтез-газу (суміш CO і H_2 у різних співвідношеннях). Отриманий таким чином газ може використовуватися в процесах газового або комплексного відновлення оксидів. Разом з цим метан успішно диспропорціонує на твердих поверхнях вже в низькотемпературній області: $\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$. Розвиток даної реакції може супроводжуватися захаращенням поверхні сажистим вуглецем, що блокує реакційну поверхню і гальмує процес в цілому. Використання суміші CH_4 - H_2O сприяє газифікації сажистого вуглецю і внаслідок цього - прискоренню процесу. Конверсія метану може здійснюватися також киснем оксиду (парціальне окислення метану - ПОМ), що формально можна розглядати як пряме відновлення оксиду метаном. Дуже ймовірно, що механізм такого процесу включає глибоке окислення метану до CO_2 і H_2O киснем каталізатора (гратковим або адсорбованим) на першій стадії $\text{CH}_4 + 4\text{O}_{\text{кат.}} = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ і участь продуктів в подальшій паровій і вуглецевокислотній конверсії метану. Однак термодинамічну ймовірність такого процесу оцінити складно.

Нами виконано термодинамічне моделювання процесу відновлення оксиду хрому парометановою сумішшю в залежності від температури і складу системи. Результати свідчать про перебіг процесу за різними схемами, залежно від температури: до початку відновлення Cr_2O_3 і більш високій. При цьому має місце екстремуми деяких компонентів рівноважної газової фази, що вимагає детального аналізу. Можна припустити, що відновлення оксиду хрому сумішшю CH_4 - H_2O реалізується через послідовний механізм ПОМ, а пікове значення вмісту водяної пари можна пояснити співвідношенням констант рівноваги окремих перетворень, зокрема парової конверсії метану та газифікації вуглецю водяною парою і т. ін.

При частковій заміні CH_4 на вуглець процес зберігає зазначені особливості, але в області більш високих температур. Відновлення інших оксидів призводить до виникнення екстремумів. Переміщення концентраційного піку водяної пари в більш високотемпературну область може бути обумовлено відмінностями в «активності» вуглецю, внесеного з шихтою і того, що утворився при розпаді метану, а також ПОМ киснем оксиду. Таке припущення ґрунтується на практично тотожних результатах моделювання двох варіантів процесу. Певні відмінності мають місце при варіюванні частки вуглецю і оксиду хрому.

УДК 669.184.244.66

ВПЛИВ ЗБІЛЬШЕННЯ ЧАСТКИ РІДКОГО ЧАВУНУ НА ОСОБЛИВОСТІ ТА ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ

А.П. Мішалкін к.т.н., В.Ю. Камкін аспірант, К.Т. Коваленко - ст. гр. МЕ03-14м

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Сучасні умови «існування» киснево-конвертерного процесу характеризуються неконтрольованим зростанням цін на сировину, енергоресурси та металевий брухт. Якість останнього постійно знижується. Це в умовах виплавки сталі в агрегатах підвищеної тоннажності (> 300т) значно затрудняє організацію стабільного ведення плавки, особливо, при отриманні якісних марок сталі. Забезпечити виробництво сталі якісним металобрухтом в необхідній кількості досить важко, навіть при використанні селективного методу відбору металобрухту. Перспективним напрямком досліджень щодо удосконалення киснево-конвертерного процесу в реальних умовах є фізико-хімічне обґрунтування раціонального способу зі збільшеною часткою чавуну, що на перший погляд здається регресивним.

Показано, що при збільшенні в металошихті конверторної плавки частки рідкого чавуну, недоліки використання охолоджувачів (металобрухту, прокатної окалини, вапна та інш.), що використовуються в класичній схемі киснево-конвертерного процесу стають його перевагами.

У схемі спрощеного розрахунку теплового боку дослідних плавок враховувались зміна фізичної теплоти рідкого чавуну, теплоти екзотермічних реакцій окислення домішок чавуну, що витрачається на нагрівання, плавлення та доведення температури охолоджувачів до 1600°C. Розрахунки теплового балансу досліджуваних плавок виконано для співвідношень металевий брухт/чавун, в % як 75/25; 80/20; 90/10.

Наведено алгоритм раціонального ведення процесу з підвищеною часткою чавуну, що включає дворазове охолодження рідкого металу при відповідних вмістах вуглецю та температурі металу. Обґрунтовано вибір охолоджувачів плавки на основі матеріалів природної ресурсної бази ЧМ України, що містять CaO, CaCO₃, MgO, SiO₂, Al₂O₃ та Fe_xO_y, а також шлакоутворюючих матеріалів цільового призначення на основі ряду техногенних відходів металургійного та інших виробництв. Перевагою застосування залізної руди або її концентрату є можливість їх присадки по тракту сипучих матеріалів в будь-який момент продувки для прискорення як процесу утворення основного шлаку так і для охолодження плавки.

При проведенні дослідних плавок на моделі конвертера з верхньою кисневою продувкою на поверхню ванни після підняття температури ванни вище 1530-1550°C присаджували послідовно дослідні шлакоутворюючі суміші за їх функціональним призначенням. Уточнено фізико-хімічні особливості процесу виплавки сталі з підвищеною часткою рідкого чавуну.

Експериментально встановлено, що при частці рідкого чавуну в металошихті конвертерної плавки, яка становить більше 90% необхідно збільшувати як кількість охолоджувачів так і кількість присадок. Це дозволяє отримати задану температуру металу на випуску металу в ківш.

Слід відзначити, що найбільш ефективно технологія зі збільшеною часткою чавуну може бути реалізована в конверторі з комбінованим дуттям з проведенням на завершальній стадії плавки продувки конвертерної ванни аргоном для досягнення вмісту вуглецю в металі на рівні ~0,03-0,06%. Вирішено проблему дефіциту лому, зменшено питому витрату кисню; досягнуто зниження вмісту у сталі шкідливих домішок, підвищення ступені десульфурації та виходу придатного по залізу. Доцільно при збільшенні частки рідкого чавуну підвищувати температури металу на випуску плавки. Це дозволить при позапічній обробці сталі, маючи відповідний запас фізичної теплоти металу, суттєво скоротити час його електронагріву на УКП, зменшити негативний вплив теплових потоків від високотемпературної дуги на стійкість вогнетривів шлакового поясу та питому витрату електродної маси графітованих електродів.

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОДУВЦІ В КОВШІ ЧЕРЕЗ ДОННІ ДУТТЬОВІ ПРИСТРОЇ

В.О. Рубан аспірант

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Одним з найбільш ефективних напрямів підвищення якості та властивостей металопродукції масового призначення і ресурсозбереження в металургії є позапічна обробка металу. Дотримання встановлених режимів продувки, які в свою чергу значно впливають на формування барботаژної зони, при позапічній обробці сталі на установці «ківш-піч», є дійовим засобом зниження матеріало- та енергоємності сталі.

З метою вибору розміщення донних дуттьових пристроїв та інтенсивності продувки, на «холодній» моделі 250 т ковша, виконані дослідження впливу параметрів продувки на формування барботаژної зони, оголення дзеркала металу.

Результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця. Вплив витрат газу і товщини шлаку на відносну площу оголення дзеркала металу

Товщина шлаку, мм	Відносна площа оголення дзеркала металу при витратах газу (л/хв)		
	100	400	800
200	1%	22%	80%
220	1%	21%	77%
240	1%	20%	73%

Встановлено, що товщина шлаку не суттєво впливає на відносну площу оголення металу порівняно з витратами газу. При рафінуючій продувці (100 л/хв.) зміна товщини шлаку на оголення дзеркала металу не впливає, тоді як при продувці 400 і 800 л/хв. площа дзеркала металу оголюється приблизно на 20-22% та 73-80% відповідно, в залежності від товщини шлаку. Відмічено, що при використанні продувних блоків розташованих на периферії шлак зосереджується в протилежній стороні ковша від їх розміщення. Особливістю продувки через два продувних блока є утворення застійної зони. Методом статистичного аналізу отримані рівняння, які дають змогу визначити основні принципи формування барботажної зони і її впливу на шар шлаку при продувці через продувні блоки. Загальний вигляд рівняння, який дозволяє розрахувати відносну площу оголення дзеркала металу, наведено нижче:

$$S = 1,12 \cdot 10^{-4} \times q^{1,9} \times h_{\text{шл}}^{-0,49}, \%$$

де q – витрати газу, л/хв;

h – товщина шлаку, мм;

S – відносна площа оголення дзеркала металу, %.

За результатами розрахунку процесу видалення неметалевих включень встановлено, що відсоток видалених неметалевих включень зростає з 9 до 26 % при збільшенні витрати нейтрального газу зі 100 до 800 л/хв.

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗКИСЛЕННЯ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВОГО РОЗПЛАВУ ЗАЛИШКОВИМ ВУГЛЕЦЕМ

А.А. Похвалітій, к.т.н.

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Наведено результати високотемпературних досліджень розкислення залізовуглецевого розплаву залишковим вуглецем під час випуску зі сталеплавильного агрегату. Характеристика устаткування і методика проведення лабораторних досліджень представлена в роботі [1].

Дослідження проводили в 2 етапи. На першому етапі забезпечили вдування аргону у високовуглецевий розплав для визначення раціональних режимів продувки з мінімальним кутом розкриття ГМП (α). Встановлено, що найбільший вплив на процеси, які відбуваються у ГМП, має ступінь його організації. Обробка розплаву аргонном у однокамерному каналі, оснащеному 4-х сопловим блоком ($Q_{g,1} = 0,05$ м³/хв. на одне сопло), не дала позитивних результатів внаслідок збільшення α до 10-15°

Вигар вуглецю, внаслідок зменшення захисної дії аргону, склав $\Delta C = 0,99\%$.

При використанні двокамерного каналу, оснащеного 2-х сопловим продувним блоком з $Q_{g,1} = 0,1$ м³/хв. і кутом розкриття потоку $\alpha = 5-7^\circ$ зменшення концентрації вуглецю у розплаві склало 0,53%. Найбільш раціональний режим обробки розплаву отримано при $Q_{g,1} = 0,05$ м³/хв. (з кутом розкриття $\alpha = 1-3^\circ$) у двокамерному каналі ($\Delta C = 0,04\%$). При випуску розплаву без

обробки аргоном вигар вуглецю склав $\Delta C = 0,14\%$, що підтверджує актуальність захисту металевго потоку від впливу кисню атмосфери шляхом підвищення ступеню організації та формування захисної газової оболонки.

На другому етапі дослідження проводили обробку аргоном нерозкисленого низьковуглецевого розплаву з вмістом $Mn < 0,05\%$ та слідами Si. Використовували двокамерний сталевипускний канал, обладнаний 4-х сопловим продувним блоком.

Після обробки розплаву аргоном ($Q_{g,1} = 0,05 \text{ м}^3/\text{хв.}$) зменшення концентрації вуглецю склало 0,014-0,023%. Вміст алюмінію після розкислення (в пробах з обробкою розплаву аргоном у всіх експериментах) був підвищений у середньому на 0,02%, що свідчить про зменшення вигару алюмінію та реалізації вуглецевого розкислення.

Підтверджено, що при збільшенні початкового вмісту вуглецю у розплаві частка видаленого кисню збільшується. Так, при обробці розплаву з початковим вмістом вуглецю $[C] = 0,033-0,050\%$ частка видаленого кисню становила 12-19% (відн.), а зменшення вигару алюмінію – 14-20% відповідно.

ЛІТЕРАТУРА

1. High-temperature modeling of hot metal tapping from the converter with argon supply to the tap hole cavity // A.A. Pohvalatyi, A.D. Kulik, E.N. Sigarev, K.I. Chubin, M.A. Kascheev, A.N. Stoyanov / Metallurgical and Mining Industry. – 2017. – №5. – P. 46-50.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРЯМОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗА З ТИТАНОМАГНЕТИТОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ

Юнес Разаз, аспірант, Грищенко С.Г., д.т.н., проф., Лобода П.И., д.т.н., проф.

НТУУ "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського", м. Київ

В доповіді повідомляється про проведення лабораторних випробувань можливості застосування технології прямого відновлення заліза ITmk3 для відновлювально-теплової обробки залізо-титанових концентратів і концентратів магнетитових руд різних родовищ.

Технологія ITmk3, розроблена японською компанією "Kobe Steel, Ltd", заснована на процесі твердофазного відновлення оксидів заліза в рудно-флюсо-вугільних окатишах, вуглецюванні, плавленні і злитті часток відновленого заліза при температурі до 1450°C, відділенні металу від шлаку з утворенням металевих гранул при охолодженні. Процес здійснюється в кільцевій печі з подиною, що обертається; шлак остаточно відділяється від чавуну після кінцевої стадії охолодження поза піччю. Після відділення порожньої породи від заліза, на виході утворюються металеві гранули - "нагетси", ступінь металізації яких складає 100%; вміст вуглецю досягається до 2,5-4,0%; зміст інших елементів (включаючи кремній) знаходиться нижче 0,4%.

Характерною особливістю процесу ITmk3 є те, що увесь процес відбувається в окремому окатиші. Склад цього окатиша підбирається так, щоб процес повністю завершився впродовж встановленого часу реакції (8-12 мін) і був досягнутий заданий хімічний склад продукції. Внутрішня атмосфера печі забезпечує необхідний нагрів і підтримує відновне середовище навколо окатиша.

У доповіді приведені характеристики сировинних матеріалів, які використовувалися при проведенні досліджень в камерній печі лабораторії Nisshin (Японія). З суміші залізо-титанових концентратів і залізородних концентратів були виготовлені рудно-флюсо-вугільні окатиші при різних співвідношеннях заліза і вуглецю в окатишах (Fe/C), які потім відновлювалися в камерній печі в різних температурно-часових умовах.

Випробування з використанням тільки залізо-титанового концентрату показали, що при збереженні постійної основності шлаку ($B = 0,8$), співвідношення змісту заліза і вуглецю в окатишах Fe/C змінювалося таким чином: Fe/C=3,4; 3,6; 3,8 (доля вуглецю в окатишах в межах від 16,35% до 14,90%). В ході цих випробувань спостерігалось утворення незначної кількості нагетсів, а плавлення шлаку і розділення відновленого заліза і шлаку не спостерігалось взагалі із-за високої температури плавлення шлаку, яка обумовлена головним чином високим вмістом в шлаку TiO₂.

Змішування залізо-титанового концентрату з магнетитовими концентратами дозволяє підвищити зміст заліза загального в суміші і понизити температуру плавлення шлаку. В результаті усіх випробувань з сумішшю залізо-титанового концентрату і залізородного концентрату (65% Fe) з часткою залізо-титанового концентрату 20%, 30% і 50%, утворювалися нагетси хорошої якості. Проте при 50%-співвідношенні концентратів в суміші, утворення шлаку склало 428 кг/тону нагетсів. При такій кількості шлаку технологічний процес може бути ускладнений. Тому разом з використанням якісного залізородного концентрату, частка залізо-титанового концентрату в суміші рекомендується не більше 40%.

РАЗВИТИЕ БАЗЫ ДАННЫХ «ШЛАК» ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ШОС СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Степаненко Д. А., Тогобицкая Д. Н., Белькова А. И.,
Цюпа Н. А., Снигура И.Р.**

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАНУ, Днепр, Украина

Созданная в Институте черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины (ИЧМ НАНУ) база экспериментальных физико-химических данных о свойствах шлаковых расплавов «Шлак» [1, 2] ориентирована на удовлетворение информационных нужд теоретической и прикладной металлургии [2] и в течение более 20 лет находится в стадии постоянной эксплуатации, усовершенствования и активного пополнения новыми экспериментальными данными.

База данных использует ИПС, разработанную на языке программирования C#. Для создания баз данных используется программа, обрабатывающую входную информацию на основе паспорта данных, который состоит из трех блоков, характеризующих условия эксперимента. После ввода информации в базу, программа позволяет выполнять индексацию текстовых полей для дальнейшего использования поиска релевантных документов.

Непосредственно ИПС позволяет просматривать содержимое базы, находить релевантные документы по иерархическим запросам и выгружать найденную информацию в файлы Excel. Программы для завершительной обработки полученной из базы информации позволяют визуализировать фактографические данные, выполнять различные виды анализа.

В целом база данных «Шлак» содержит информацию о свойствах различных металлургических шлаков и оксидных систем. База данных избавляет исследователя от необходимости проводить длительные, трудоемкие и дорогостоящие эксперименты, ускоряет поиск необходимой информации, а также позволяет провести путем вычислительного эксперимента выбор составов оксидных материалов с необходимым уровнем свойств в требуемом температурном интервале.

С целью развития научных основ о структуре шлаковых расплавов и использования полученных новых знаний для разработки и выбора рационального состава шлаков стелеплавильного производства (шлаков ЭШП и ШОС) усовершенствованы прогнозные модели для их оперативной оценки на основе накопленных данных в базе данных «Шлак», а также разработаны алгоритмические и программные средства для генерации тройных диаграмм технологических свойств оксидных систем (рис. 1).

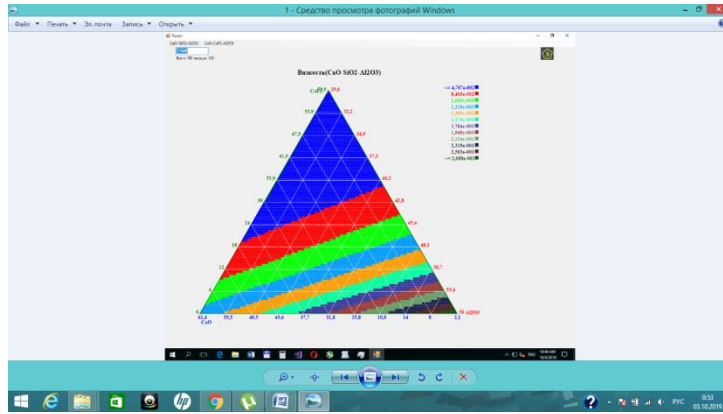


Рисунок 1 – Диаграмма вязкости тройной системы CaO-Al₂O₃-SiO₂ при 1500°C

Список литературных источников

1. Приходько Э. В. Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем / Э. В. Приходько, Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько, Д. А. Степаненко // Днепропетровск: «Пороги», 2013. – 344с.

Тогобицкая Д. Н. Создание баз физических данных о свойствах шлаковых расплавов, в рамках банка данных «Металлургия», создание, развитие, перспектива / Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Ю.М. Лихачев //Сб. VII Всесоюзной конференции. – Челябинск. – 1990. – Т.3. – Ч.2

УДК 669.184.244.66:669.184.235 (477)

СУЧАСНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИРОБНИЦТВА ЯКІСНОГО ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВОГО НАПІВПРОДУКТУ В СИРОВИННИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

О.С.Вергун, д.т.н., с.н.с., А.Г. Чернятевич, д.т.н., зав.від., О.С.Нестеров, к.т.н., зав. від., О.Л.Чайка, к.т.н., зав. лаб., Д.Н.Тогобицька, д.т.н., зав.від., В.Г.Кисляков, к.т.н., зав. від., Л.С.Молчанов, к.т.н.

Інститут чорної металургії НАН України, м Дніпро

Сучасний технологічний маршрут виробництва якісного залізовуглецевого напівпродукту передбачає виплавку чавуну в доменних печах з орієнтацією на максимальну продуктивність без обмежень за хімічним складом кінцевого продукту. Подальшу позапічної десульфуріацію чавуну, яка може бути реалізована відповідно до однієї з трьох застосовуваних у світовій практиці схем знесірчення чавуну: KR процес; моноінжекція металевого магнію; коінжекція сумішей на основі магнію і вапна. Процес отримання високоякісного залізовуглецевого напівпродукту може здійснюватися при цьому за двома принципово можливим технологіям: дуплекс процес переробки - послідовне рафінування чавуну в двох конвертерах і процес виплавки в одному конвертері.

Аналіз енерговитрат на різних стадіях металургійного виробництва свідчить про те, що найбільшу кількість енергоносіїв споживає аглодоменне виробництво. Основним завданням в технологічному ланцюгу виробництва стали «доменна піч - кисневий конвертер» є створення сприятливих умов для ресурсо- та енергозбереження.

Залучення в аглодоменне виробництво відходів металургійного виробництва, а також часткова заміна природного газу пиловугільним паливом і зниження вимог до хімічного складу чавуну дають підставу істотного зниження витрат на виробництво чавуну.

Аналіз застосування в процесі виплавки чавуну з частковою заміною коксу пиловугільним паливом і частковою заміною первородного сировини відходами металургійного

виробництва в комплексі з підвищенням продуктивності доменної печі показав, що може мати місце збільшення вмісту в чавуні небажаних для подальшого конвертерного переділу домішок сірки і фосфору, а також зниження температури чавуну.

При виборі варіанту технології десульфурації чавуну необхідно враховувати умови реалізації технології і витрати на її здійснення. Порівняльний аналіз витрат на десульфурацію чавуну різними реагентами і способами свідчить про те, що розроблена Інститутом чорної металургії технологія десульфурації чавуну дисперговані магнієм, що інжектуються в розплав через фурму занурення, супроводжується високим ступенем використання магнію, найменшими втратами металу і температури в процесі обробки, а також мінімальним витратою реагенту на обробку.

Для вирішення завдання видалення фосфору з металу в кисневих конвертерах була розроблена двоконтурна фурма принципово нової конструкції, що забезпечена системою незалежного підведення основного і додаткового кисню, що регулюється з можливістю заміни його на азот в потрібні періоди плавки.

Фурма такої конструкції дозволяє формування на поверхні ванни високоосновного активного залізного шлаку. Наявність такого шлаку в комплексі з відносно низькою температурою металу (близько 1400 °С) дозволяє навіть при високому вмісті вуглецю в металі (до 2%) здійснювати процес дефосфорування металевих розплавів.

Створення наскрізної технології виробництва якісної конкурентоспроможної металопродукції в сучасних умовах ставить завдання оптимізації багатоланкового ланцюга отримання металу. У вирішенні зазначеної задачі значна роль належить розробці інформаційно-моделюючої системи аналізу та прийняття рішень для вибору оптимальної схеми технології, яка дозволить в залежності від умов виплавки металу і вимог до якості готової сталі рекомендувати найбільш економічний варіант технології виробництва.

Інформаційною основою, що забезпечує рішення зазначеного завдання, є бази даних фундаментальної, технологічної та нормативно-довідкової спрямованості. Єдина методологія створення моделей по переділах за модульним принципом дозволяють забезпечити їх нарощування в процесі розвитку алгоритмів і здійснити генерацію моделей металургійних процесів в єдину наскрізну модель з метою організації оптимальної схеми виробництва металу заданої якості при мінімальних енергетичних і сировинних витратах.

Електрометалургія

УДК 621.791.75

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КЕРОВАНОГО ПЕРЕНЕСЕННЯ ШЛЯХОМ
МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР НА ТОРЦІ СТРИЧКОВОГО
ЕЛЕКТРОДА**

О.В. Лаврова, к.т.н., доц., О.М. Корлюченко, інструктор ПАТ «МЕТІНВЕСТ»

**Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний
університет», м. Маріуполь, ММК імені ІЛПЧА, м. Маріуполь**

В результаті розрахунку визначена залежність зміни розподілу температури в вильоті стрічкового електрода. Проблема формоутворення зварювальної ванни при наплавленні під флюсом стрічковим електродом залежить від розподілу теплової енергії по ширині шва, що впливає на якість наплавлених виробів.

Для визначення оптимальних параметрів плавлення електродного металу необхідно визначити їх залежність від часу утворення краплі електродного металу. З огляду на складність експериментального визначення параметрів краплеутворення, доцільніше отримати ці умови на основі аналітичних залежностей.

Метал краплі на торці електрода під час горіння дуги знаходиться під дією сил, основними з яких є поверхневий натяг, електродинамічна сила, створювана зварювальним струмом, сила тяжіння, реактивна сила, яка викликається тиском газових потоків і парів металу, тиск потоків заряджених частинок.

Отримано залежність, що дозволяє наближено описати розподіл температури на вильоті електрода:

$$T(x,t) = T_{пл} \exp\left(-\frac{\eta_3 UI}{\lambda S T_{пл}}\right) x \cdot \exp\left(\frac{\eta_3 UI}{\lambda S T_{пл}} \left(\frac{\eta_3 UI}{\lambda S T_{пл}} a - V\right) t\right)$$

где $T(x,t)$ – температура електрода в точці x в момент часу t , °С;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу електрода, Дж/м·с;

a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с;

$T_{пл}$ – температура плавлення, °С;

$\eta = 0,2$;

S – перетин електрода, м²;

V – швидкість подачі електрода, м/с.

На торці плавкого електрода накопичується рідкий метал. Радіус кривизни поверхні рідкого металу безперервно змінюється. Відомо, що надмірний тиск в рідині, що створюється поверхневим натягінням, максимальний при мінімальному радіусі кривизни. Тобто максимальний тиск, обумовлений силами поверхневого натягіння, виникає в той момент, коли рідка частина металу закінчується півсферою. Електродинамічна сила долає силу поверхневого натягіння, утворюється шийка, розплавлений метал видавлюється в краплю і відокремлюється з торця електрода. Однак тривалість перебування розплавленого металу на торці електрода до певного моменту призводить до значного перегріву металу, що в ряді випадків небажано.

У процесі плавлення стрічкового електрода крапля переміщується разом з дугою і накопичує теплову енергію, переносячи її в зварювальну ванну в момент короткого замикання.

Результати розрахунку показали, що не має сенсу розглядати характер розподілу температурного поля після 0,1 сек, тому що температура електрода в точці x в момент часу 0,12 сек досягає більше 2000 °С для Св08А і більше 4000 °С для стрічкового електрода X18Н10Т.

Таким чином, при плавленні стрічкового електрода обсяг рідкого металу необхідний для формування краплі, утворюється в залежності від теплофізичних властивостей матеріалу

стрічки і параметрів режиму наплавлення в інтервалі часу 0,01 - 0,1 с. Це означає, що для визначення оптимального режиму примусового перенесення електродного металу при наплавленні під флюсом стрічковим електродом необхідно досліджувати діапазон частот коливань торця стрічкового електрода 10 - 100 Гц.

НОВЫЕ УГЛЕРОДИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОДНОЙ МАССЫ И ВЫПЛАВКИ МАРГАНЦЕВЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

Чаплыгин Д.В., инж., Грищенко С.Г., д.т.н., проф., Овчарук А.Н., д.т.н., проф.

Центр управления проектами «Трансрудмет» и НМетАУ

Самообжигающиеся электроды являются наиболее важным конструктивным элементом высокоомощных рудовосстановительных электропечей, от их надежной работы зависят технико-экономические показатели выплавки ферросплавов. Надежность работы электродов, в свою очередь, зависит как от режимов эксплуатации, так и от физико-механических характеристик электродной массы, в частности, от термической стойкости.

В докладе сообщается об исследовании и усовершенствовании технологической схемы производства электродной массы в условиях цеха электродной массы Никопольского завода ферросплавов. Несмотря на снижение качества исходного сырья, используемого для изготовления электродных масс, технология позволяет обеспечить надежную безаварийную эксплуатацию самообжигающихся электродов больших сечений (2800×650 и диаметром 2000 мм). Показано, что использование в шихте искусственного графита и графитсодержащих материалов значительно улучшает ее качество и позволяет повысить теплопроводность и снизить удельное электрическое сопротивление.

Разработаны, изготовлены опытные (5-10 тонн) и промышленные (70-350 тонн) партии электродных масс с удельным электросопротивлением менее 80 мкОм·м и механической прочностью на разрыв более 2,2 МПа. Результаты испытаний этих масс в промышленных печах ферросплавных заводов в течение 2-4 месяцев положительные.

Предложенная схема использования феррогаза для прокалики антрацита позволит повысить степень утилизации вторичных энергоресурсов, снизить потребление электроэнергии.

В докладе приведены результаты исследований металлургических свойств специальных высокорекреакционных углеродистых восстановителей, производимых Ясиновским коксохимическим заводом и применяемых для выплавки ферросиликомарганца на Никопольском заводе ферросплавов. Показано, что прочность кусков опытного и обычного восстановителей в исходной крупности колеблется от 233 до 320 кГ/образец, при этом прочность проб опытного кокса на 3,4% выше базовых образцов

Значения удельного электрического сопротивления (УЭС), измеренные для всех образцов кокса в классе крупности 6-3 мм, колебались в пределах от 1,05 до 2,10 Ом·м. УЭС опытного кокса составляет в среднем 1,34 Ом·м по сравнению со средним УЭС 1,10 Ом·м для обычного кокса из углей Донецкого бассейна. Т.е. среднее значение удельного электросопротивления проб опытного специального восстановителя выше на 11,6% по сравнению с базовыми образцами. Опытный восстановитель имеет также лучшие показатели реакционной способности (горючести).

Таким образом, выполненный комплекс исследований показал более высокие свойства опытного специального восстановителя производства Ясиновского коксохимического завода по сравнению со стандартным коксом-орешком. В условиях Никопольского завода ферросплавов освоена технология выплавки ферросиликомарганца с использованием новых видов высокорекреакционных восстановителей, характеризуемая более высокой степенью извлечения марганца в сплав при снижении энергозатрат по сравнению с применением обычного кокса-орешка.

УДК 621.746.5:533.9

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАЛИВКИ В НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЕЙНО-ПЛАЗМЕННОМ МЕТОДЕ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОЛОСЫ

В.П. Лихошва д.т.н, А.В. Шматко, Л.М. Клименко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

В условиях нынешних объёмов мирового производства оборудования, которое работает в условиях износа, требуются материалы с высоким сопротивлением термомеханической усталости и повышенным сроком эксплуатации. Одним из вариантов решения проблемы является использование биметаллических изделий, комплекс свойств которых объединяет как конструкционные, так и износостойкие свойства (согласно используемым материалам). Непрерывный литейно-плазменный метод изготовления биметаллических конструкций позволяет получать биметаллические полосы, которые используются для повышения износостойкости ковшей и кузовов горнодобывающей и землеройной техники.

Принцип работы способа заключается в предварительном подогреве заготовки до температур, необходимых для диффузионного соединения с последующей заливкой жидким расплавом на обработанную поверхность и охлаждением конструкции в кристаллизаторе. Заливка расплава на подложку происходит в два этапа:

1. Старт: начальное свободное заполнение внутренней полости жидким металлом без движения заготовки;

2. Рабочий режим: заполнение свободного объёма, который образуется по мере передвижения биметаллической конструкции в процессе работы (характеризуется постоянным расходом жидкого металла в зависимости от линейной скорости движения заготовки и габаритных размеров наплавляемого слоя).

Ранее проводились исследования первого этапа заливки (старт), где было установлено, что при проведении процесса без предварительного нагрева заготовки невозможно получить диффузионное соединение на границе «сталь-чугун». Для обеспечения соединения подложки с заливаемым расплавом необходим предварительный нагрев до температур $T_n > 800$ °С. Выбрана оптимальная конструкция заливочного устройства с наличием зоны, уменьшающей расстояние от участка обработки заготовки плазменным источником до области первичного контакта с жидким расплавом. [1]

Путем численного моделирования на основе полученных данных было проведено исследование процесса заливки на втором этапе. Рабочий режим представляет собой стационарный процесс, в котором тепловые потери исследуемой системы являются постоянными.

Определены зоны наибольших тепловых потерь, которые являются причиной преждевременной кристаллизации металла в заливочном устройстве, что в свою очередь приводит в аварийной ситуации и остановке процесса заливки. Проанализированы причины и реализованы методы уменьшения тепловых потерь применительно к существующей конструкции. Определены оптимальные размеры отверстия для подачи расплава в заливочное устройство, температура заливки жидкого металла, толщина теплоизоляционного слоя между кристаллизатором и заливочным устройством и скорость подачи заготовки, которые обеспечивают стабильное проведение процесса.

Список литературы

1. Шматко А.В. Численное имитационное моделирование теплового поля в процессе получения биметаллической полосы по литейно-плазменной технологии. / А.В.Шматко, В.П. Лихошва, А.П.Шатрава, Е.А. Рейталь // Процессы литья. -2018 .-№6. –С 45-52.

Технології позапічної обробки чавуну та сталі

УДК 669.17.046.517В:669.046.52.003.12

КРИТЕРІЇ ТА МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСВОЄННЯ ЛЕГУЮЧИХ ТА РАФІНУЮЧИХ ДОБАВОК ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ

І. Р. Снігура м.н.с., Д. М. Тогобицька д.т.н., проф., В.П. Піптюк к.т.н., С.В. Греков н.с.

Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

У світовій практиці нагальним питанням сьогодення є генерація та розробка інноваційних технологічних рішень з метою підвищення якості металопродукції, розширення експлуатаційних можливостей сталей та сплавів спеціального призначення, що супроводжується раціональним використанням енергетичних і сировинних запасів та задовільнить невпинно зростаючі потреби споживачів. Виробництво високоякісних та високочистих марок сталей по вмісту шкідливих домішок (сірки та фосфору), доведенню по хімічному складу методами введення спеціальних рафінуючих, модифікуючих, легуючих добавок, шлакоутворюючих сумішей (ШУС) найбільш ефективно досягається на етапі її позапічної обробки на установці ківш-піч (УКП). Технологічний контроль комплексу фізико-хімічних властивостей сталі методами математичного моделювання та розробкою критеріїв якості являється важливою ланкою в сталеплавильному та ливарному виробництві, оскільки кінетика реакцій та ступінь гетерогенності фізико-хімічної системи лімітуються температурою, швидкістю плавлення, густиною компонентів, що взаємодіють. Для успішного протікання реакцій між металом та шлаком, і направлено формування необхідних їх властивостей при виробництві високолегованих та спеціальних сталей і сплавів важливе значення мають оперативні прогностичні моделі, які у реальному часі описують систему «метал-шлак-добавка» та інтегровані в АСУТП. Раніше нами були розроблені моделі для прогнозування температур плавлення та кристалізації, густини однокомпонентних розплавів, залізовуглецевих, хромонікелевих сталей, жароміцних нікелевих сплавів, алюмінієвих та магнієвих сплавів з високою точністю прогнозу та урахуванням їх індивідуальних особливостей, на основі експериментальних даних, шляхом математичного моделювання з урахуванням параметрів міжатомної взаємодії, які характеризують хімічний і структурний стан досліджуваних систем. Моделі пройшли апробацію шляхом співставлення з широко відомим зарубіжним спеціалізованим комп'ютерним комплексом JMatPro за сприяння вчених Падерборнського університету (Німеччина), що підтвердило їх адекватність для прийняття рішень по управлінню температурним режимом плавки. Слід зазначити, що для вибірки даних температур плавлення і кристалізації жароміцних нікелевих сплавів спостерігається значна неузгодженість розрахунків з використанням програми JMatPro на відміну від запропонованих моделей на основі оригінальної концепції спрямованого хімічного зв'язку.

Розроблена макросхема наскрізного алгоритму прогнозування складу кінцевих продуктів плавки при їх ковшовій доводці. На прикладі сталі 09Г2С для умов ДМК на основі узгоджених даних методами матеріального балансу виконаний аналіз розподілу елементів Si та Mn при ковшовій обробці. Виявлена подібність параметрів впливу на розподіл як кремнію так і марганцю, що пов'язане з їх близькістю по будові кластерів однокомпонентних розплавів – мікронеоднорідністю. У результаті проведеного аналізу отримано адекватні моделі для основних термодинамічних функцій розподілу Si і Mn в залежності від інтегральних параметрів хімічного складу сталі, шлаку та добавок, які характеризують їх хімічну активність у вигляді: L_{Si} , $L_{Mn} = f$ (вхідні параметри металу, шлаку, добавок та технології). У якості критерію вибору раціональної легуючої та рафінуючої добавки запропоновано – ρ_l , який дозволяє структурувати однокомпонентні металеві розплави та вибрати на основі виявлених

закономірностей найбільш вдалий хімічний склад добавок. Результати досліджень рекомендуються до використання в промислових умовах з метою науково-обґрунтованого вибору легуючих добавок і спрямованого формування кінцевого продукту, що забезпечить зниження енергетичних витрат за допомогою інтеграції розроблених моделей в АСУТП сталеплавильного виробництва.

УДК 669.746.58

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПРОДУВЦІ РОЗПЛАВУ У СТАЛЕРОЗЛИВНОМУ КОВШІ

Н.А. Арендач, Л.С. Молчанов к.т.н., Є.В. Синегін к.т.н.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Продувка металу інертними газами є обов'язковою складовою виробництва сталей на сучасних металургійних підприємствах. Вона застосовується як складова технологічного циклу виробництва якісного металу в кисневих конвертерах з комбінованою продувкою, при доведенні металу на установці ківш-піч і при вакуумуванні та як самостійна операція з позапічного рафінування металургійних розплавів. Операція продувки металу інертними газами значно впливає на фізико-хімічні процеси, що протікають у рідкому металевому розплаві, сприяє видаленню неметалевих включень, газів та збільшенню однорідності розплаву за хімічним складом та температурою.

З метою визначення впливу конструктивних параметрів донного продувального блоку на ефективність масообмінних процесів в ванні сталерозливного ковша було проведено низькотемпературне моделювання процесу гомогенізації металевого розплаву при продувці нейтральним газом. У якості цільової функції, що визначає ефективність зазначеного процесу було прийнято час гомогенізації.

За результатами моделювання встановлена автомодельність безрозмірного часу гомогенізації рідини при продуванні через донний блок при характерному розмірі прохідного перерізу понад 1 мм. Визначено, що найбільш ефективною конструкцією бульбоутворювача в складі донного пристрою для продування розплавів є використання матеріалів неорієнтованої пористості. Їх використання дозволяє отримати стабільний стовп дрібних бульбашок, за рахунок чого час гомогенізації скорочується на 14 %.

УДК 669.18.046.516

УДОСКОНАЛЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ЛЕГУВАННЯ РОЗПЛАВІВ В УМОВАХ СУЧАСНОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Р.П. Андрюхін, Л.С. Молчанов к.т.н., Є.В. Синегін к.т.н.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Легування металу є обов'язковою складовою виробництва сталей на сучасних металургійних підприємствах. Вона застосовується як складова технологічного циклу виробництва якісного металу в кисневих конвертерах, при доведенні металу на установці ківш-піч і при вакуумуванні.

Процес виробництва сталі базується на окисленні надлишкового вмісту домішок. Це досягається за рахунок введення у розплав окислювачів (газоподібного кисню або твердих окислювачів – залізорудних або марганець рудних матеріалів). Наприкінці плавки загальний

вміст кисню в сталі складається з розчиненого в розплаві кисню та зі зв'язаного у складі оксидних включень, що не встигли виділитися з розплавом.

В сучасних умовах процес легування здійснюють поетапно. Близько 30-50 % легуючих елементів вводиться в сталь на стадії виплавки у формі оксидних з'єднань. Близько 30-40% легуючих вводиться у сталь на етапі випуску з плавильного агрегату після розкислення. Остаточне корегування хімічного складу рідкої сталі здійснюється за рахунок обробки на УКП порошковим дротом.

З метою підвищення ресурсо- та енергоощадності процесу легування сталі запропоновано здійснювати процес легування сталі у виливниці за рахунок введення легуючих у передкристалізаційний період.

УДК 669.162

ДО МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ПЕРЕМІШУВАННЯ ВАННИ ПРИ КОВШОВОМУ РАФІНУВАННІ РОЗПЛАВІВ

Є.М. Сігарьов д.т.н., В.В. Гуменний

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Незважаючи на значну кількість робіт, що присвячені темі перемішування ванни, на сьогодні недостатньо даних відносно питання яка саме частка енергії, що надходить у ванну йде на перемішування останньої, а яка – дисипує. З метою оцінки потужності перемішування розплаву та величину дисипації енергії авторами чисельних досліджень пропонується використання, в основному, різноманітних емпіричних виразів. Різнманітність обумовлена врахуванням притаманних конкретній системі (або агрегату) умов впровадження газових, газопорошкових струменів, утворення пазирів різних форм та розмірів, їх спливання до поверхні ванни тощо. В той же час, використання запропонованих виразів для умов перемішування розплаву у ковші з врахуванням інтегрованого впливу газових струменів та пазирів, що спливають до поверхні ванни, потребує зваженого підходу. Авторами досліджень враховані витрати газу, температура та маса розплаву, глибина вводу газу у ванну, але результати в одному випадку відносяться до потужності перемішування, а у іншому – до дисипованої енергії, що ускладнює порівняння результатів розрахунків. Практично у всіх виразах не враховуються розміри пазирів, які утворюються при руйнуванні газових струменів, або утворюються в результаті реакцій. Це пов'язано із припущенням, що утворені пазирі мають приблизно один розмір. Тобто не враховуються умови їх подрібнення, ізотермічного розширення пазирів неасимільованого ванною газу-носію, зміна загальної реакційної поверхні пазирів за різних умов їх утворення та форм.

За результатами експериментів з дослідження гідрогазодинаміки ванни у ковші, з використанням для вдування газів та реагентів крізь сопла обертової заглибної фурми встановлено, що найкраще диспергування та розосередження по об'єму утворених газових пазирів забезпечується при швидкості обертання, яка не перевищує $2,17 \text{ сек}^{-1}$, при питомих витратах газу до $0,018 \text{ м}^3/\text{хв}$. При подальшому підвищенні швидкості обертання фурми і питомої витрати газу інтенсивність утворення крупних пазирів превалює над силами дроблення і до поверхні ванни спливають крупні грибоподібні пазирі, що в реальних умовах обробки може призводити до зниження ступеню засвоєння реагенту. В той же час, об'єм зон, вільних від порошку (т. зв. «мертві» зони), при використанні обертової фурми із двома соплами не перевищував 10-15% від загального об'єму ванни. Для умов використання стаціонарної фурми з одним та двома соплами цей показник становив 40-55%. Але розподіл порошкоподібного реагенту по об'єму ванни у значній мірі залежить від інтенсивності перемішування.

Як встановлено авторами цієї доповіді, з підвищенням числа обертів заглибної фурми газонасиченість ванни зменшується (з переходом до «канального» режиму та обмеженням розмірів барботажної зони). Це впливає як на потужність перемішування, так і на всі процеси, які супроводжують продування ванни газом. Подрібнення газових пузирів у ванні відбувається як в ламінарному, так і в турбулентному потоці за рахунок взаємодії між суцільною та дисперсною фазами. Переміщення занурених у ванну газових або газопорошкових струменів при використанні обертової фурми вносить свій вклад у зміну співвідношення між інерційними та силами поверхневого натягу. Для врахування обертання заглибної фурми необхідним є визначення кількості дисипованої енергії газового струменя, яка залежить від довжини струменя та швидкості обертання фурми. Як встановлено, при використанні двохсоплової заглибної фурми із соплами, що розташовані під кутом 90° до вісі фурми, довжина струменів зменшується відповідно підвищенню швидкості обертання фурми з 0,22 м (при 0,5 об/сек) до 0,12 м (при 1,5 об/сек).

У чинному дослідженні запропоновано методику визначення потужності перемішування розплаву у ковші із врахуванням зміни розмірів, кількості, швидкості спливання пузирів як функції швидкості обертання заглибної фурми.

Визначено, що кількість дисипованої енергії струменя пропорційна розмірам барботажної зони та зростає із підвищенням швидкості обертання фурми. Для збільшення потужності перемішування рідкої ванни необхідною умовою є підвищення розміру пузирів, що може негативно вплинути на ступінь засвоєння реагентів на видалення домішок при ковшовому рафінуванні чавуну. Шляхом до підвищення інтенсивності перемішування може бути комбіноване використання механічного перемішування із додатковим диспергуванням газових об'ємів при обертанні фурми. За таких умов слід очікувати підвищення інтенсивності масообмінних процесів у ковшовій ванні.

УДК 669.162

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ МАСООБМІНУ МІЖ ШЛАКОМ ТА КОВШОВОЮ ВАННОЮ В УМОВАХ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОДУВКИ

Є.М. Сігарьов д.т.н., Т.В. Соболев

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Вміст корольків заліза у ковшових шлаках, які скачують з поверхні ванни після завершення рафінування розплавів, у значному ступені визначає питомі витрати на реалізацію технології. Утримання заліза у вигляді корольків різної форми та фракції в об'ємі шлаку, маса якого по ходу десульфурації за коінжекційною технологією (наприклад, установка десульфурації конвертерного цеху ПАТ «ДМК»), за оцінками авторів доповіді, подвоюється, призводить до прямих втрат переробного чавуну.

Методика дослідження відібраних для аналізу шлако-металевих об'ємів (надалі – шлак), зформованих по ходу вдування суміші на основі вапна та магнію (із співвідношенням СаО до Mg для різних ковшів від 2,3:1 до 5,2:1), складалася з наступних кроків. Відібрані проби шлаку подрібнювали з відділенням шлаку від металевої частини. Металева частина (корольки заліза) з застосуванням комплекту лабораторних сит розділялася на фракції <0,5; 0,5...1,0; 1,0...2,5; 2,5...5,0; 5,0...10,0 та >10 мм.

Визначено, що співвідношення характерних груп за діаметрами корольків складає: 0,5...2,5 мм – 10...16%; 6...8 мм - 10...20%; >10мм – 30...45%. Після розподілу металевих корольків за фракціями з визначенням їх вагової кількості, визначали хімічний склад кожної фракції (вміст вуглецю, фосфору та сірки).

Підтверджено, як і у попередніх та дослідженнях інших авторів, що шлак, який утворюється під час десульфурації чавуну вдуванням суміші магнею та вапна, в більшості випадків складається із невикористаного вапна, графіту, корольків заліза та залишків міксерного шлаку. Встановлені втрати чавуну із додатково утвореним шлаком, в досліджений період, склали 1,89...2,64 кг/т чавуну.

Встановлено, що вміст сірки в корольках заліза при використанні суміші CaO з магнеєм, в цілому є підвищеним у порівнянні з використанням технології вдування магнею без добавок.

Запропонований вираз для визначення впливу діаметру корольків на остаточний вміст сірки в останніх для умов коінжекційної технології вдування суміші на УДЧ конвертерного цеху ПАТ «ДМК».

Спадковість механізму десульфурації, механізмів потрапляння крапель чавуну до шлаку та протікання масообмінних процесів між шлаком та ковшовою ванною, закономірності видалення поверхнево активної сірки з корольків під час знаходження та їх переміщення у рідкій шлаковій ванні, підтверджується трендом на зменшення вмісту сірки у корольках зі збільшенням діаметру останніх.

УДК 669.162

ОСОБЛИВОСТІ ХВИЛЕУТВОРЕННЯ У КОВШІ З ЗАГЛИБНОЮ ОБЕРТОВОЮ ФУРМОЮ

Є.М. Сігарьов д.т.н., Д.С. Кочмола

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Визначення закономірностей та особливостей формування хвиль на поверхні покривного шлаку при вдуванні газу крізь сопла заглибних стаціонарних та обертової фурми проведено з використанням методики повного факторного експерименту на холодній моделі великовантажного заливального ковшу. Для моделювання металевого розплаву використовували воду (20⁰C), газу-носію (X₁) – компресорне повітря, а для моделювання шару покривного шлаку, що формується по ходу вдування вглиб ванни суміші реагентів (вапна та магнею) – шар синтетичного моторного масла (товщиною 6...30 мм, (X₂)). Використовували одно- та двосоплові наконечники заглибних фурм з циліндровими соплами діаметром 0,0013 та 0,001 мм відповідно. Швидкість обертання наконечника заглибної фурми навколо вертикальної вісі (X₃) змінювали в межах від 0 до 240 об/хв.

У якості висхідних даних для моделювання використано результати використання коінжекційної технології ковшової десульфурації конвертерного цеху ПАТ «ДМК». Досліджено вплив питомих витрат та коливань тиску газу-носію, рівня наповнення ковшів розплавом, рівня шлаку, конструкції наконечника заглибної фурми, швидкості її обертання та глибини занурення у ванну на амплітуду коливань та висоту «буруна» на поверхні ванни.

Після переведення до натуральних значень отримані математичні моделі для визначення впливу досліджених факторів.

Отримані математичні моделі для визначення залежності висоти «буруна» (H) на поверхні ванни від факторів впливу. Так, до прикладу, для односоплової заглибної фурми у діапазоні швидкості її обертання від 120 до 240 об/хвил.:

$$H_1 = 1.3888 - 0.00044 \cdot X_1 - 0.1178 \cdot X_2 - 0.0628 \cdot X_3 + 0.00001 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.00158 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.2425 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0.00148 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Для 2-х соплової фурми відповідно:

$$H_2 = 0.858 + 0.0041 \cdot X_1 - 0.0413 \cdot X_2 + 0.167 \cdot X_3 - 0.001 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.00072 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.000625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

За результатами обробки отриманих експериментальних даних визначені умови організації раціонального дуттьового режиму для вдування суміші реагентів углиб ванни, відхилення від якого сприяє викиданню шлакометалевої маси за межі ковшу, формуванню «пробивного» режиму продувки ванни, призводить до збільшення амплітуди коливань та висоти «буруна» на її поверхні.

Для забезпечення раціональних режимів ковшової десульфурзації переробного чавуну, зменшення питомих витрат магнію та підвищення ступеня використання останнього в умовах коінжекції реагентів доцільним можна вважати:

1. Максимізацію розосередження зон вдування реагентів у ванну, збільшення об'єму барботажних зон, у тому числі шляхом обертання наконечника заглибної фурми навколо вертикальної осі.

2. Забезпечення максимально можливих, у даних умовах витрат газу-носія та суміші реагентів, рівня покривного шлаку та його рідкорухомості.

УДК 669

ЗАСТОСУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У ПРОМІЖНОМУ КОВШІ МБЛЗ

Суховецький С.В., Синегін Є.В. к.т.н.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Відомо, що неметалеві включення в твердій сталі призводять до суттєвого зменшення її механічних властивостей та у деяких випадках корозійної стійкості. Наразі відомі такі методи видалення неметалевих включень, як продувка газами, модифікування для покращення їх коагуляції та коалесценції, електромагнітне перемішування та ін. Японськими вченими було запропоновано спосіб видалення неметалевих включень у прийомній камері проміжного ковша за допомогою відцентрових сил, які створюються електромагнітною мішалкою. Цей спосіб, однак, суттєво збільшує собівартість процесу розливки за рахунок додаткового обладнання та зміни конструкції промковша.

У той же час створення відцентрових сил у розливній камері можливе іншими дешевшими методами. Зокрема запропоновано використовувати кінетичну енергію струменя сталі, що витікає зі сталерозливного ковша. Для найбільш ефективного її використання підведення металу в промківш необхідно здійснювати тангенціально під рівень металу, а захисну трубу розташовувати не уздовж осі камери, а біля її стінки. Тоді струмінь металу буде спрямовуватися уздовж стінок, ініціюючи обертальний рух рідини у прийомній камері. Неметалеві включення при цьому рухатимуться у напрямку осі камери.

Для підтвердження ефективності запропонованого методу було розроблено план досліджень. На першому етапі методом фізичного моделювання необхідно визначити швидкість обертання рідини, необхідну для видалення НВ певних розмірів. Тим же методом на другому етапі необхідно визначити умови підведення струменя для досягнення визначеної на першому етапі швидкості. На останньому етапі досліджень необхідно якомога точніше зімітувати процес розливання сталі на прозорій моделі промковша для визначення резидентного часу перебування металу у розливальній камері та ефективності видалення неметалевих включень запропонованим методом.

УДК: 669.162.267.642.669.721

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПОВЕРХНЕВИХ ХВИЛЬ ПРИ ІНЖЕКЦІЙНОМУ РАФІНУВАННІ РОЗПЛАВУ В КОВШІ

Шевченко С.А., к.т.н.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України

Інтенсифікація процесів ковшового рафінування передільного чавуну інжекційними способами обмежена бурхливістю процесу хвилеутворення на поверхні ванни, крайня ступінь якого призводить до виплеску розплаву з ковша. Тому, в даній роботі представлені результати теоретичних і експериментальних досліджень динаміки хвиль на відкритій поверхні розплаву в ковші при обробці його інжекційним способом через фурму що занурюється. За основу був узятий процес рафінування чавуну зернистим магнієм. Метою роботи було оцінити вплив на динаміку процесу хвилеутворення ключових факторів, їх значимість і взаємозв'язок між собою.

Основними можливими джерелами збудження верхнього шару рідкої ванни можуть бути наступні процеси: зхлопування бульбашок на поверхні, коливання фурми, відрив бульбашок у прифурменій зоні, спливання бульбашок, гідродинамічні потоки в об'ємі рідкої ванни та ін., що мають різні амплітудно-частотні характеристики.

Для проведення теоретичних досліджень була розроблена математична модель, де принципово важливим припущенням було представлення об'єму рідкого розплаву у вигляді шару що коливається, на зразок маятника, що знаходиться в одній системі з генератором коливань. Така постановка не розкриває повністю процес взаємодії, проте на загальному фізичному рівні показує важливі деталі розвитку руху коливальної системи що розглядається.

Додатково були проведені експериментальні дослідження на холодній моделі коливань вільно підвішеного сталевого стрижня що занурений у рідину в посудині що хитається. Довжина маятника була обрана таким чином, щоб частота його власних коливань у рідині, що знаходиться у стані спокою, була свідомо менше, або знаходилась в середині діапазону частот коливань посудини, що задається.

На основі розрахунково-аналітичних і експериментальних досліджень коливань маятників розглянута система, що складається з шару рідини і фурми. Встановлено, що крім власних частот цих елементів, система має ще дві власні величини. З огляду на те, що маса розплаву значно більша за масу фурми або іншого збудника частота, що є близькою до резонансної частоти ванни, практично визначає поведінку системи при її збудженні. Тобто система відгукується тільки на ті збудження, у яких частота близька до власної частоти рідкої ванни. Це важливий результат говорить про те, що в практичній діяльності необхідно знати резонансні частоти рідкої ванни, фурменого пристрою і всіх інших джерел коливань, відповідно з цим, намагатися гасити амплітуду з цією небезпечною частотою. Це можна робити, як конструктивно, так і технологічно, змінюючи режими продувки. Однак необхідно вказати, що спектр частот коливань в прифурменій зоні досить широкий і, природно, містить у собі небезпечні низькі частоти.

УДК 669.162.63

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОЗАПІЧНОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ

Шевченко А.П., д.т.н., проф., Маначин І.О., к.т.н.

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

На металургійних комбінатах України (як і в зарубіжній практиці) застосовують 2 типу технологій ковшевої десульфурації чавуну - коінжекція меленої вапна в суміші з магнієм і моноінжекція зернистого магнію (без разубоживаючих добавок). Застосовувані технології коінжекції сумішей вапна з магнієм характеризуються істотними витратами дуже якісної вапна і магнію, що в підсумку супроводжується вельми значними витратами - більше 5-6 дол./т чавуну. У зв'язку з викладеним Інститутом чорної металургії (ІЧМ, м. Дніпро) виконується комплекс досліджень і розробок, спрямованих на поліпшення техніко-економічних показників процесів десульфурації чавуну як моноінжекцією магнію, так і з використанням вапна.

Дослідженнями ІЧМ (в основі в промислових умовах) було показано, що при моноінжекції магнію, основними параметрами забезпечення швидкого й економічного знесірчення чавуну є:

1. Фракційного-дисперсний склад зернистого магнію.
2. Концентрація магнію, що інжектирується, в газі в зоні закінчення двофазного потоку з каналу фурми в розплав чавуну.
3. Витрата інжектуючого газу і його швидкість на виході з фурми.
4. Стан і рівень диспергування з фурми двофазного потоку в зоні його взаємодії з розплавом.

Український процес десульфурації чавуну зернистим магнієм (без разубожуючих добавок) стійко залишається найменш витратним і найбільш ефективним в порівнянні з іншими технологіями. Останні розробки показали, що основними параметрами підвищення ефективності процесу моноінжекцією зернистого магнію є максимальна концентрація магнію і його парціальний тиск в зоні закінчення потоку з фурми і масообміну з розплавом. У реалізованому в даний час процесі моноінжекції магнію концентрація магнію в газі доведена до 23-28 кг/м³. Це дозволяє забезпечувати фактичний вміст магнію в чавуні більше ніж рівноважне. Це виключає протікання процесів повернення сірки в чавун після десульфурації. При цьому забезпечується можливість подальшого насичення чавуну магнієм за рахунок того, що $[Mg]_{\text{насичений}} > [Mg]_{\text{факт}}$. Знесірчений чавун після моноінжекції магнію і скачування шлаку зливають в конвертер і частину розливають на машинах для отримання широкого сортаменту металопродукції. При дотриманні всіх операцій підготовки чавуну до конвертації вміст сірки в готовій сталі виходить практично такий ж, як і при інших технологіях десульфурації. У ряді випадків при десульфурації магнієм проводиться коригування фізико-хімічних властивостей ковшового шлаку добавками 1-1,5 кг/чавуну, матеріалами з відходів виробництва вапна або іншими недефіцитними добавками в ківш.

При вдуванні порошкоподібних реагентів, в т.ч. меленого вапна і сумішей на її основі, обстановка в прифурменній зоні відрізняється від процесу вдування зернистого магнію, так як дуже маленькі частинки вапна (в основі менше 0,1 мм) не в змозі потрапити в розплав і відбувається як би періодичне накопичення порошку, який некеровано відривається і спливає в розплаві.

У таких несприятливих умовах необхідно організувати дроблення великих скупчень реагентів в прифурменній зоні і забезпечити узгодження процесів подачі обезсірковуючу реагенту і "свіжих" порцій чавуну в масообмінних зон.

Вирішення першого завдання було вирішено 2-ма варіантами:

1 - вдування вапна природним газом.

2 - введення до складу суміші 5-10% кальцинованої соди (Na_2CO_3).

В обох випадках додаткове газо- і пароутворення сприяє розриву і дробленню скупчень порошку в прифурменній зоні. Перевірка наведених пропозицій на промислових ковшах різного типорозміру показала, що добавка соди при вдуванні вапна (5-10% в суміші) збільшує ступінь десульфурації чавуну на 10-17 % абсолютних. Застосування природного газу замість осушених повітря або азоту для вдування вапна також підвищує ефективність десульфурації на 10-25%.

Чергове вдосконалення технології десульфурації чавуну реагентами на основі CaO реалізовано за рахунок принципів змін в термодинаміці за рахунок переведення зі старої схеми взаємодії CaO за участю Si чавуну, на взаємодію CaO з Al , мщо вводиться ззовні. Реалізація нової схеми супроводжується збільшенням зміни енергії Гіббса (в температурних умовах ковшового рафінування чавуну) практично в 3 рази. Це зумовлює більш сприятливі умови для видалення сірки з чавуну. Продувки чавуну вапном в доменних ковшах з попередніми введенням алюмінію (0,5-0,6 кг / т чавуну) підтвердили ефективність застосування Al як при вдуванні осушеним повітрям, так і при вдуванні природним газом. За результатами промислових продувок чавуну в 110-тонних ковшах показано, що введення в чавун алюмінію збільшує ступінь десульфурації в середньому вдвічі, а введення Al і із застосуванням природного газу ступінь десульфурації зростає з 20 до 70%.

Спільне застосування всіх запропонованих удосконалень (попередній введення Al , вдування вапна з добавкою соди і застосування природного газу в якості несучого) істотно збільшує обезсірковуючу здатність технології з дуже низьким вмістом сірки (аж до $\leq 0,002-0,005\%$) і зменшити витрату реагенту. З урахуванням фактично отриманих результатів можна прогнозувати, що питома витрата реагентів буде менше на в середньому на 50-60% в порівнянні з отриманими на Алчевському меткомбінаті.

Наведені удосконалення процесів десульфурації чавуну різними реагентами дозволяють істотно поліпшити економіку процесів і їх конкурентоспроможність.

Моделювання та оптимізація технологічних процесів

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ СТВОРЕННІ АСК ТП ГАЗОВІДВІДНИМИ ТРАКТАМИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ КОНВЕРТЕРІВ

**Пірогов О. Ю., Кривонос А. І., докт. тех. наук, професор,
Криволапов О. Е., Пироженко А.А.**

Державне підприємство «Український науково-технічний центр металургійної промисловості «Енергосталь », м. Харків

За останні 12 років державне підприємство «УкрНТЦ «Енергосталь» (далі Центр) розробив, виготовив, поставив та впровадив в експлуатацію на 6-ти металургійних комбінатах України та країн СНД 19 газовідвідних трактів конвертерів (ГВТ К) ємністю від 160 до 320 тонн з «мокрою» газоочисткою, які не поступаються за своїми експлуатаційними характеристиками аналогічній продукції провідних зарубіжних фірм.

Для відпрацювання програмно-алгоритмічного забезпечення АСК ТП ГВТ К на стендах розробника в штатних ситуаціях і з урахуванням можливих несправностей в Центрі розроблена і використовується математична модель процесів в ГВТ К, що дозволяє підвищити якість програмного забезпечення АСК ТП ГВТ К і скоротити час адаптації програмного забезпечення під конкретні умови при пусконаладжувальних роботах у Замовника.

На базі математичної моделі процесів ГВТ К для навчання і періодичного тренування операторів котла ГВТ К розроблений дослідний зразок «тренажера оператора котла», реалізований на двох ПЕОМ, з використанням штатного програмного забезпечення АСК ТП ГВТ К.

УДК 519.6

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ОДНОВИМІРНОГО КВАЗІЛІНІЙНОГО РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ

**І.В. Попов, студент групи ПС-18м-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**

Розглядається нескінченний суцільний сталевий циліндр радіуса R . В області циліндра досліджується температурне поле $T(x, y, z, t)$, яке припускається симетричним відносно осі Oz . У початковий момент часу $t = 0$ бокова поверхня циліндра миттєво охолоджується до деякої температури, потрібно визначити розподілення температури $T(r, t)$ усередині циліндра у будь-який момент часу $t > 0$.

Типовою в теплофізичних дослідженнях є ситуація, коли теплофізичні властивості середовища залежать не лише від x, y, z, t , але й від температури T , у цьому випадку отримуємо квазілінійне рівняння теплопровідності:

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(rk(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right) + f(r,t,T), \quad (t > 0; 0 < r < R) \quad (1)$$

Тут T – температура, яка залежить від просторової координати x та часу t , k – коефіцієнт теплопровідності тіла, c – питома теплоємність, ρ – густина середовища, $f(x, y, T)$ – відома функція, яка описує щільність теплових джерел у циліндрі.

Розв'язок диференціального рівняння (1) повинен задовольняти такі додаткові умови.
Початкова умова:

$$T(x,0) = f_1(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (2)$$

де $f_1(x)$ – відома функція на відрізку $0 \leq x \leq 1$ при $t = 0$.

Дві крайові умови:

$$T(1,t) = f_2(t), \quad 0 \leq t \leq t_{\max}. \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right|_{x=0} = f_3(t). \quad (4)$$

Тут $f_2(t)$, $f_3(t)$ – відомі функції на відрізку $0 \leq t \leq t_{\max}$.

При наближеному розв'язуванні задачі на комп'ютері виникає проблема похибок округлення. Для зниження впливу похибок округлення на точність наближеного розв'язку проводиться перехід до безрозмірних змінних. Перехід до безрозмірних змінних починається з вибору значень, на які треба масштабувати. Були обрані масштабні множники та був зроблений перехід до безрозмірних змінних для температури, просторової координати, часової координати та для теплофізичних коефіцієнтів.

Теплофізичні коефіцієнти сталі залежать від температури, але ця залежність встановлюється лише експериментально. Для того щоб отримати значення фізичних властивостей сталі за будь-якої температури, методом МНК були отримані залежності густини, температуропровідності та теплоємності від температури у аналітичному вигляді, ці залежності були використані для знаходження безрозмірних коефіцієнтів фізичних властивостей сталі.

Задача (1) – (4) розв'язується методом сіток з використанням явного шаблону. Для чисельної реалізації алгоритму методу сіток розроблена комп'ютерна програма, яка написана мовою C# в середовищі візуальної розробки програм MS Visual Studio 2017. Робота програми перевірена на тестовому прикладі, результати очікувані.

УДК 669-154.002.5.6

ДО ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАНКУ ДАНИХ «МЕТАЛУРГІЯ»

Ю.М. Лихачов

Інститут чорної металургії НАН України, м Дніпро

Створені в Інституті чорної металургії (ІЧМ НАНУ) бази даних про шлакових розплавах функціонують і розвиваються протягом тривалого часу (з 1987 р.). Ведення баз даних ґрунтується на ідеологічній основі сімейства АСПИД [1].

Програмне забезпечення банку даних «Металургія» пройшло шлях функціонування від ЄС ЕОМ до персональних комп'ютерів останнього покоління. При цьому для кожного з них доводилося розробляти свій програмний комплекс. Кожне покоління ЕОМ змушувало змінювати прикладні програми з метою адаптації в новому середовищі і поглиблювати і розширювати можливості сервісу роботи користувачів.

Персональні комп'ютери кардинально змінили можливості системного забезпечення так і скорочення термінів розробки прикладних програм. Розвиток нових мов програмування (C #) і нових засобів налагодження, що істотно дозволило виконувати розробки малими силами.

Для створення банку даних «Металургія» була запропонована концепція зберігання інформації близькою до оригіналу, що дозволило створювати ретроспективні бази і не міняти вид збережених документів.

Для фактографічних даних документа питання про формалізацію опису дещо ускладнений, що пов'язано як з ретроспективою їх створення, так і з кодуванням деяких

характеристик. Деякі одиниці виміру описувалися по-різному (наприклад, Сі - Па. С, СГС-пуаз). У зв'язку з цим виникає необхідність програмної реалізувати таких особливостей і виводити результати пошуку в одних одиницях. Для цього необхідно створювати мета інформацію, що зберігається в базі.

Оскільки користувачі часто зберігають свою інформацію в різних типах файлів. Для введення в базу в програмі «Create Base» використовується формалізована структура в файлах Word. Тому для стикування із засобами створення бази необхідно в кожному випадку розробляти програмні засоби по формалізації і конвертації з файлу користувача в файли Word.

Література

1. Про паспортизації експериментальних даних для банку даних "Металургія" / Д.Н.Тогобіцкая, Г.І.Жмойдін, Е.В.Приходько [и др.] // Вісті вузів. Чорна металургія. -1988.- №8.-С.136-139.

УДК 621.771.06

ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПРОКАТКИ У ШЕСТИКЛІТЬОВІЙ ГРУПІ

Вереньов В.В., д.т.н., Подобєдов М.І., к.т.н.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ

Уперше розроблена комп'ютерна модель динаміки заповнення, прокатки й звільнення половою шестиклітьової групи. Рівняння в кліті, лінії привода й полоси записані в абсолютних величинах. Реалізовано алгоритм транспортного запізнювання переносу товщини полоси між клітьями. За допомогою моделі встановлені закономірності формування міжклітьових натягів і товщини полоси в зазначених режимах і залежно від відхилення товщини $\pm\Delta H_0$ й температури $\pm\Delta T^\circ C$ полоси на вході в групу, швидкості прокатки $\pm\Delta v$. Одержано кількісні співвідношення.

Комп'ютерна програма призначена також для інформаційної підтримки безперервної прокатки. Наприклад, через затримку подачі розкату його температура зменшилася на $\Delta T^\circ C$ у той час як група налагоджена на номінальну температуру $T_n^\circ C$. При $\delta T = \Delta T^\circ C / T_n^\circ C = -1\%$ міжклітьові натяги збільшуються в 1,2 – 2,3 рази (залежно від проміжку) щодо номінальних натягів. У цей же час відносна різнотовщинність $\delta h = \Delta h / h$ готової полоси товщиною h зменшується в 3 рази. За допомогою програми розраховується новий деформаційно-швидкісний режим, на підставі якого вносять відповідні коректури. Збільшення температури полоси викликає зменшення натягів і збільшення відносної різнотовщинності, що також може бути скореговане. Подібні залежності отримано для відхилень товщини $\pm\Delta H_0$.

Різний ефект дають сполучення двох збурювань $\pm\Delta T^\circ C$ и $\pm\Delta H_0$. Так при сполученні $-\Delta T^\circ C$ и $-\Delta H_0$ або $-\Delta T^\circ C$ и $+\Delta H_0$ різнотовщинність полоси збільшується, у той час як натяги стають помітно меншими в порівнянні з варіантами $+\Delta T^\circ C$ и $+\Delta H_0$ або $+\Delta T^\circ C$ и $-\Delta H_0$, коли натяги істотно збільшуються а різнотовщинність зменшується. У загальному випадку можливо таке сполучення чисельних значень $-\Delta T^\circ C$ и $+\Delta H_0$, при яких різнотовщинність відсутня, тобто дія одного збурювання парирується дією іншого.

Таким чином, якщо відомі кількісні збурювання $\Delta T^\circ C$ и ΔH_0 на вході в безперервну групу, то за допомогою розробленої комп'ютерної моделі можна корегувати режим прокатки й домагатися зменшення міжклітьових натягів щоб уникнути обриву полоси або підвищення точності прокату.

УДК 621.771.06

РОЗВИТОК ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ШИРОКОПОЛОСНИХ СТАНАХ

Вереньов В.В., д.т.н.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ

В останні два десятиліття в ІЧМ велися активні дослідно-промислові виміри й теоретичні дослідження вібродинамічних процесів в обладнанні клітей широкополосних станів гарячої прокатки. Це дозволило встановити ряд нових закономірностей, розробити інші комп'ютерні моделі й розширити дослідження.

1. Уперше обґрунтовано й знайшов розвиток новий напрямок - застосування параметрів перехідних процесів з метою діагностики технічного стану обладнання й стабільності процесу прокатки. Запропоновано й перевірено: - нову діагностичну ознаку - час запізнювання реакції ділянок лінії головного приводу на ударне навантаження на валки; - три коефіцієнти варіації (динаміки, статички і їхнього відношення) для діагностики устаткування й процесу прокатки.

2. Встановлена й обґрунтована емпірична кореляційна залежність максимального динамічного навантаження від статичного моменту. На цій основі розроблено метод моніторингу максимальних динамічних навантажень у лініях приводу клітей і програма їхнього статистичного моделювання.

3. Розроблено математичну модель динамічної взаємодії шестиклітьової безперервної групи при заповненні, прокатці й звільненні її полозою. Відмінність моделі полягає в тому, що рівняння пружних коливань у кліті, лінії приводу й полозі записані в абсолютних величинах. Також реалізований алгоритм транспортного запізнювання переносу товщини полоси між клітями. Встановлено особливості формування міжклітьових натягів і відхилень товщини полоси.

4. Математична й комп'ютерна моделі прокатки зварного з'єднання на полосовому стані холодної прокатки дозволили досліджувати вплив параметрів шва, технології й устаткування на динамічні навантаження й вести пошук раціональних режимів прокатки.

5. За допомогою нової математичної моделі розкрита динаміка перехідних процесів в осях і зубчастих зачепленнях редуктора. Модель призначена також для діагностичних досліджень.

6. Проведено дослідні прокатки, що показали високу ефективність зменшення ударних навантажень при захваті валками слябів з фігурною передньою кромкою.

ФОРМОЗМІНА МЕТАЛУ В ЧОРНОВИХ ЗАКРИТИХ БАЛКОВИХ КАЛІБРАХ

Д.В.Сталінський д.т.н., проф., О.С. Рудюк к.т.н., В.С. Медведєв д.т.н.

ДП «Український науково-технічний центр металургійної промисловості
«Енергосталь», м. Харків

Е.В. Базарова

Східно-український національний університет ім. Даля, м. Северодонецьк

Наведено теоретичні дослідження формозміни металу в чорнових балкових калібрах яке здійснено методом скінченних елементів з використанням програмного комплексу SIMULIA/ABAQUS.

Розроблено математичні моделі розрахунку висотної деформації відкритих і закритих фланців на основі трьох серій теоретичних експериментів на моделях прокатки двотаврових заготовок зі сталі Ст3 при температурі 1100°C.

Висотну деформацію фланців оцінювали безрозмірними параметрами: коефіцієнтами висотної деформації полиці $\eta_H = H/H'$, відкритого $\eta_{ho} = h_o/h'_o$ і закритого $\eta_{hz} = h_z/h'_z$ фланців. Абсолютні значення деформацій висоти полиць, відкритих і закритих фланців: $\Delta H = H - H'$, $\Delta h_o = h'_o - h_o$, $\Delta h_z = h'_z - h_z$. Тут H і H' – висота полиці, h_o і h'_o – висота відкритого фланця, h_z і h'_z – висота закритого фланця (розміри зі штрихом для заготовки після прокатки). Деформацію по товщині елементів профілю характеризували такими безрозмірними параметрами: $\eta_d = d/d'$ – коефіцієнт обтиснення стінки по товщині, $\eta_{t_o} = t_o/t'_o$ і $\eta_{t_z} = t_z/t'_z$ – коефіцієнти бічного обтиснення відкритого і закритого фланців відповідно, $\eta_t = 0,5(\eta_{t_o} + \eta_{t_z})$ – середній по всьому калібру коефіцієнт бічного обтиснення відкритих і закритих фланців. Тут d і d' – товщина стінки, t_o і t'_o – середня товщина відкритого фланця, t_z і t'_z – середня товщина закритого фланця.

Границі варіювання безрозмірних параметрів прокатки, що активно впливають на висотну деформацію полиць і фланців, складала: $1,373 \leq \eta_d \leq 2,371$, $1,000 \leq \eta_t \leq 1,305$, $1,37 \leq B/d \leq 6,73$ та $0,69 \leq B/H \leq 2,34$.

Теоретичний аналіз формозміни металу дозволив оцінити вплив основних технологічних факторів прокатки – розподілу обтиснень за елементами профілю і форми профілю на зміну висоти фланців двотаврової заготовки. В результаті аналізу розподілу переміщень в поперечних перерізах профілю побудовано графічні залежності висотної деформації полиць і фланців від коефіцієнту обтиснення стінки η_d , коефіцієнту бічного обтиснення фланців η_t , ширини стінки B профілю.

Отримано математичну модель формозміни металу у вигляді наступних рівнянь регресії:

$$\eta_H = 0,3437 + 0,2671 \cdot \eta_d + 0,2117 \cdot \eta_t - 0,2365 \cdot (B/d) + 0,7231 \cdot (B/H),$$

$$\eta_{ho} = 0,7300 - 0,1151 \cdot \eta_d + 0,0572 \cdot \eta_t - 0,1341 \cdot (B/d) + 0,4290 \cdot (B/H),$$

$$\eta_{hz} = 0,1229 + 0,0403 \cdot \eta_d + 0,5085 \cdot \eta_t - 0,2139 \cdot (B/d) + 0,6476 \cdot (B/H).$$

Отримані регресійні рівняння рекомендується використовувати на практиці при розробці робочих калібрувань валків.

УДК 669.18

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗВЕСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ УКРАИНЫ

Л.В. Камкина д.т.н., А.П. Мешалкин к.т.н., Н.А. Колбин к.т.н., Я.В. Мянговская

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

Неконтролируемое увеличение стоимости энергоресурсов и материалов сырьевой базы, снижение их качества и экологические проблемы основных металлургических процессов характеризуют современное состояние черной металлургии Украины. Очевидно, что эти факторы и ряд других определяют направления поиска, физико-химическое обоснование и разработку рациональных технических решений, которые обеспечат в сложившихся условиях создание наиболее эффективных по удельным затратам энергетических ресурсов, рациональных по сбалансированному использованию природного сырья и эффективных с точки зрения решения экологических проблем современных технологий.

Анализ основных причин снижения производства выплавки чугуна и стали свидетельствует о том, что в силу ряда объективных и субъективных факторов эта тенденция усиливается, даже при наличии еще достаточно значимой сырьевой баз и становится все более устойчивой. По нашему мнению, к этому привело значительное снижение потребности в стали на внутреннем рынке при увеличении потока металлопродукции из-за рубежа, усиление конкурентной борьбы за сбыт металлопродукции на внешних рынках и невозможность прогнозирования цен, как на сырье, так и на энергоносители. Поэтому в этих условиях, дальнейшему развитию и стабильному функционированию сталеплавильного производства, да и всей отрасли в целом, может способствовать также использование «регрессивных» на первый взгляд технических решений, которые еще в недалеком прошлом в ходе эволюционного развития определяли основные направления развития и совершенствования металлургических процессов.

Приведены результаты научно-исследовательских работ, в которых задачи, поставленные рядом металлургических комбинатов, решены с использованием «регрессивных» технологических решений. Так для условий постоянного повышения поставщиками цен на железорудный агломерат рациональным техническим приемом является увеличение доли железной руды собственных карьеров в шихте доменной плавки. При отсутствии в структуре завода – производителя агломерационной фабрики – производство на фабриках поставщика агломерата на основе железных руд собственных карьеров. Для решения проблемы дефицита стального лома – обоснование и разработка рациональной схемы кислородно-конвертерной плавки с повышенной долей жидкого чугуна при использовании ряда охладителей плавки.

Учитывая комплексный характер стоящей перед металлургами Украины проблемы, важной, актуальной в современных условиях задачей, от решения которой зависит эффективность металлургического производства в целом, является обоснованное вовлечение в основные технологические процессы производства чугуна, стали и ферросплавов техногенных отходов собственного и ряда других производств. Наиболее рациональным представляется применение шлакообразующих смесей различного функционального назначения на основе техногенных отходов металлургического и других происхождений, которые могут быть получены в условиях их совместной тепловой обработки.

Таким образом, в условиях усиления влияния на результаты работы металлургических предприятий экономических факторов металлургии должны решать задачи, направленные на поиск путей позволяющих снизить себестоимость продукции и, соответственно, увеличить уровень ее производства с целью укрепления своего положения на внешних рынках сбыта

металлопродукції. Определенный положительный вклад «регрессивных» на первый взгляд технологических решений, разработанных на более ранних стадиях развития металлургического производства очевиден и является экономически оправданным в современных условиях развития металлургических технологий.

УДК 621.746.047

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗВИТКУ УСАДОЧНИХ ДЕФЕКТІВ ПРИ РОЗЛИВАННІ СТАЛІ НА МНБЛЗ

О.П. Верзілов к.т.н., Ю.Ю. Куліш, Д.І. Гойда

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України

Однією з основних проблем напівбезперервного розливання сталі є вихід придатного, величина якого менше в порівнянні з технологією безперервного лиття і залежить від усадочних процесів в головній частині заготовки, які отримують істотний розвиток на завершальній стадії кристалізації. У свою чергу величина і глибина поширення усадочної раковини в значній мірі залежить від умов тепловідведення в кристалізаторі.

Дослідження впливу інтенсивності охолодження заготовки в кристалізаторі, а також підживлення головної її частини свіжими порціями розплаву на процес формування усадочної раковини виробляли на фізичній моделі МНБЛЗ з використанням парафіну в якості модельної речовини. Встановлено, що найменшу глибину усадочна раковина має при витраті води на охолодження кристалізатора 2,25 л/хв і лінійно збільшується до 4,5 л/хв. Подальше збільшення глибини усадочної раковини при витратах води до 14 л/хв носить складний криволінійний характер, що, мабуть, пов'язано з формуванням газового зазору між коринкою модельної речовини і стінкою гільзи кристалізатора лабораторної установки. Причому при витраті охолоджуючої води 4,5-9 л/хв глибина усадочної раковини збільшується всього лише на 1-1,5 мм (до 1,5%) і цей діапазон можна вважати оптимальним з точки зору часу кристалізації і формування головної частини заготовки. Доливка розплаву у всіх випадках позитивно впливає на якість напівбезперервнолитого злитка.

УДК 621.791.9

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ, ТЕПЛОВИХ, ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПЕРЕНЕСЕНЬ В ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ВАННІ

Лихошва А.В.¹, Кривцун І.В.¹, Глухенький О.І.², Бондар О.І.²

1 - Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (м. Київ)

2 - Інститут електродинаміки НАН України (м. Київ)

З літературних джерел відомо, що існує достатня кількість розроблених математичних моделей дії концентрованих джерел енергії на метал, в тому числі, що зварюється. Проте вони не охоплюють усі існуючі проблеми в зварювальному виробництві та деякі особливості певних технологій, тому вимагають їх удосконалення і подальшого розвитку.

На даний час також перспективне використання стандартних пакетів прикладних програм, які дозволяють чисельно реалізувати деякі моделі, однак їх використання передбачає адаптацію до певного технологічного процесу. Актуальним методом комп'ютерних досліджень є мультифізичне моделювання, яке надає можливість отримання комплексного і широкого розгляду явищ та процесів для об'єктів які вивчаються.

За допомогою сучасного програмного пакету COMSOL Multiphysics проведено моделювання фізичних процесів контактного точкового зварювання пластин зі сталі S-235JR, яке реалізоване чисельними методами кінцевих елементів. Дана трьохвимірною задачею розв'язувалась з використанням властивостей осової симетрії, яка витікає із даних технологічних умов.

Сформульована математична модель передбачає розв'язок даної спряженої задачі із залученням трьох модулів. На першому етапі потрібно отримати оцінку розподілу щільності струму та визначити розподіл напруженості електричного та магнітного полів в об'ємі зварювальної ванни. Задача вирішена відносно розподілу потенціалу електромагнітного поля (з початковими та граничними умовами).

На другому етапі визначено тепловий стан в пластинах, на які діє плазмовий потік. В моделі враховані умови фазових переходів плавлення та випаровування.

Далі на основі рівнянь гідродинаміки розрахована швидкість руху металу у зварювальній ванні. Розрахунки проведені з урахуванням впливу ефекту Марангоні.

Отримані дані відображають досліджені диференціальні електродинамічні характеристики зварювального процесу, а саме: векторні електричний і магнітний потенціал, магнітну індукцію, напруженість електричного та магнітного полів, та сили Лоренца.

Розрахунки теплового поля у пластинах дозволяють оцінити характер впливу енергетичних характеристик електродинамічного процесу на плавлення металу, та формування ванни розплаву (розміри і глибину проплавлення).

На базі гідродинамічних розрахунків одержано поле швидкостей руху рідкого металу у зварювальній ванні, та вплив характеру переміщення розплаву на її формування.

Отримана модель дозволяє прогнозувати і вносити зміни в електродинамічні, теплові та гідродинамічні процеси в зоні контактного точкового зварювання, і управляти ними.

Автоматизація та сучасні методи контролю металургійних процесів та якості металургійної продукції

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УЗГОДЖЕНОГО КЕРУВАННЯ РОЗКРОЄМ ПРОКАТУ НА БЕЗПЕРЕРВНИХ СОРТОВИХ ПРОКАТНИХ СТАНАХ

М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Підвищення ефективності прокатного виробництва шляхом удосконалення методів та системи узгодженого керування розкромом в умовах виробництва мірного прокату, дозволяє скоротити втрати металопрокату і енергоресурсів при його виробництві.

Наведено результати аналізу процесу автоматизованого управління розкромом в умовах виробництва мірного стрижневого прокату. В результаті виконаного аналізу виробництва заготовок і стрижневого металопрокату встановлено, що одним з найважливіших факторів, що забезпечують економію прокату чорних металів шляхом мінімізації наднормативних відходів виробництва, є їх ефективний розкрій. При кожній операції розкромом виникають втрати пов'язані з одного боку з забезпеченням продуктивності стану, а з іншого із забезпеченням максимального виходу мірної продукції. Показано, що втрати металу виникають як через похибки розкромом на заготовочному стані ($\pm 150\text{мм}$) так і при розкрої пакетів прутків, що викликано некротними довжин прутків заданій довжині стрижня і взаємним поздовжнім зміщенням прутків у пакеті, через нестабільність їх гальмування при укладанні на холодильник. Коливання довжини прутків визначаються двома складовими, перша з яких пов'язана з коливаннями довжини заготовок і коефіцієнта витяжки, а друга - з коливаннями поточної швидкості прокатки.

Встановлено загальні закономірності, що забезпечують оптимальний розкрій довгомірного прокату на різних стадіях виробництва стрижневого прокату. Визначено, що для мінімізації наднормативних втрат придатного металу при розкрої, в умовах масового виробництва мірного стрижневого прокату, і збільшення виробництва мірного прокату необхідна реалізація взаємопов'язаного управління комплексом операцій його виробництва, яке повинно враховувати особливості технологічного процесу і обладнання прокатного стану.

Показано, що вибір критерію при узгодженому керуванні розкромом прокату на безперервних сортових прокатних станах визначається техніко-економічними показниками виробництва прокату. Основними критеріями є: мінімальні очікувані втрати, віднесені до однієї прокатної штанги безперервно заготовочного стану для прокатки певного профілерозміру дрібносортового прокату, що забезпечує максимальний вихід мірних стрижнів при максимальній довжині прутка такого прокату.

Запропонований метод настройки швидкісного режиму прокатки, в якому узгоджена зміна частоти обертання валків чорнової групи сигналом від регулятора петлі, є ефективною для зниження розкиду перетину розкату на виході з останньої кліти чорнової групи та швидкості прокату на виході з останньої чистової кліти безперервного сортового стану.

Розроблено спосіб розкромом прокату на дрібносортовому стані, який забезпечує видачу прутків на холодильник з довжинами кратними мірному стрижню не залежно від геометричних параметрів початкової заготовки [1]. Втрати придатного металу в обрізь при такому розкрої в гіршому випадку становлять максимум одну мірну довжину готового прокату з заготовки, при цьому вихід мірної продукції буде найбільшим.

Розроблено спосіб управління процесом гальмування прутків, який дозволяє в поєднанні з автоматизованою системою розкромом металопрокату на безперервному дрібносортовому стані зменшити кількість обрізків і збільшити вихід мірної продукції.

Істотною перевагою системи, крім мінімізації розкиду передніх торців прутків, є спрощена функціональна схема, в порівнянні з існуючими аналогами [2].

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. №107908, МПК В21В 37/70 Спосіб управління розкромом прокату на безперервному дрібно сортному стані // Потап О.Е., Егоров А.П., Кузьменко М.Ю., Бешта О.С., Куваєв В.Н., О.О Бойко.; Опубл. 25.02.2015г. Бюл. №4.
2. Пат. №107536, МПК (2015.01) В21В 43/00 Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортного стану // Потап О.Ю., Егоров О.П., Кузьменко М.Ю., Бешта О.С., Куваєв В.М., Політов І.В.; Опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1

УДК 62.519

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ-ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА БАЗІ MATLAB/SIMULINK ТА SCADA-ПАКЕТУ

М.О. Рибальченко к.т.н., В.І. Головка д.т.н., В.В. Бурчак

Національна металургійна академія України, м.Дніпро

Сучасна автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) представляє собою складний програмно-апаратний комплекс, який містить велику кількість компонентів польових пристроїв і датчиків, контролерів, станцій операторів, інформаційних серверів і т. п. Розробка АСУ сучасних технологічних процесів - складна і відповідальна задача, рішення якої проводиться в кілька етапів: від складання математичної моделі до проектування людино-машинного інтерфейсу.

Метою роботи є створення комплексу-тренажеру для дослідження роботи автоматизованих систем управління технологічними процесами. Програмно-навчальний комплекс-тренажер вирішує такі завдання: демонстрація можливостей SCADA-систем; передача даних з програмного пакета математичного моделювання Simulink в SCADA-систему і навпаки; оперативна обчислювальна обробка даних, що надійшли, представлення інформації в зручному для подальшої обробки вигляді, робота в режимі реального часу.

У роботі в якості SCADA пакету обраний TRACE MODE, який має повну підтримку технології обміну даними OPC. Як пакет візуального моделювання обраний Matlab / Simulink. Як OPC сервер обраний сервер OPC CoDeSys. Для програмної реалізації алгоритмів керування на мовах програмування промислових контролерів вибрано PC-емулятор ПЛК SP PLCWinNT.

У разі необхідності кожен з елементів системи може бути замінений на фізичний прототип. Що в свою чергу розширює межі використання тренажера.

Оскільки система може працювати з моделлю, а не тільки з реальним об'єктом, систему можна використовувати для моделювання позаштатних ситуацій, і відповідно оцінювати дії оператора в даних ситуаціях. Оскільки всі дії відбуваються в контрольованому середовищі без ризику для життя і здоров'я, а також без фінансових витрат, такий тренажер може допомогти оперативному персоналу на етапі налаштування АСУ ТП, а також з метою навчання.

Крім того, система, що розроблюється, безумовно, буде дуже корисна в навчальному процесі за освітніми програмами, що передбачають вивчення дисциплін, пов'язаних з проектуванням АСУ ТП, оскільки вона дозволяє освоїти основні принципи побудови SCADA-систем, навчитися самостійно створювати проекти з управління технологічними процесами в SCADA-пакеті.

УДК 669.1.013(477)

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВДУВАННЯ ПОРОШКОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ В МЕТАЛУРГІЙНІ РОЗПЛАВИ І АГРЕГАТИ

Р. Д. Куземко¹, к.т.н., доцент, П.С. Харлашин¹, д.т.н., проф, В.В. Калінчак², д-р ф-м.н., проф, О.С. Черненко², к.ф-м.н., доцент

¹Приазовський державний технічний університет, г. Мариуполь

²Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

Щоб правильно вибрати стратегію наукових досліджень, необхідно використовувати фундаментальні закони природознавства і застосовувати їх в наукомістких технологіях металургійного виробництва.

У Приазовському державному технічному університеті (м.Мариуполь) і Одеському національному університеті розроблені програмні комплекси (більш 25), які можна застосовувати для моделювання складних процесів в доменних печах, кисневих конвертерах, установках для позапічної обробки чавуну і сталі, електросталеплавильному виробництві, установках для очищення газу та ін. В кожному програмному комплексі спільно вирішуються від 40 до 60 рівнянь руху, енергії, кінетики горіння та цілого ряду замикаючих співвідношень, що дозволяють моделювати складні процеси, які забезпечують інтенсифікацію енерго- і ресурсозбереження та підвищення якості металу при подачі технологічних порошків в металургійні агрегати та розплави. В комплексах враховано біля 40 факторів та фізичних впливів на процеси в транспортних пилопроводах, форсунках, соплах, до- і надзвукових газопорошкових струменях, а також на процеси горіння різних марок вугілля у фурменому вогнищі доменної печі і факельному торкретуванні футеровки кисневих конвертерів. Можна розраховувати течії потоків, де концентрація порошку буде знаходитись на рівні від 2 до 300 кг/м³. З такою глибиною опрацювання чисельні розрахунки газодисперсних потоків в металургії ще ніколи не проводилися.

Широкє застосування комплексів дозволить буквально на роки скоротити час впровадження високих технологій в металургії.

УДК 669.184.42.001.57

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕОРІЇ І ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗОПОРШКОВОЇ РОЗДУВКИ ШЛАКУ В КИСНЕВОМУ КОНВЕРТЕРІ

Р. Д. Куземко¹, к.т.н., доцент, В.В. Калінчак², д-р ф-м.н., проф., В.С. Козловцев³, директор з виробництва ММК ім. Ілліча, В.О. Сінельников¹, к.т.н.

¹Приазовський державний технічний університет, м. Мариуполь

²Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

³ЧАО «ММК ім. Ілліча»

Собівартість сталі істотно залежить від стійкості футеровки кисневих конвертерів. На комбінатах деяких країн світу стійкість футеровки конвертерів в кілька разів вище, ніж на українських меткомбінатах. Використовуючи систему многопараметричних рівнянь розроблені методи розрахунку раздувки шлаку в конвертерах. Програмний комплекс включає спільне рішення близько 40 рівнянь, а розрахунки ведуться з урахуванням ударно-хвильової структури надзвукових газопорошкових нерозрахованих струменів, концентрації порошку перед сопловим блоком фурми, температури газу в порожнині конвертера, приєднання шлаку до надзвукового струменя. Облік реально існуючих факторів дозволяє

більш точно розрахувати середньомасову швидкість, щільність, температуру, імпульс і потужність в будь-якому довільному перерізі струменя, а так само глибину проникнення газопорошкового струменя в розплав і діаметр лунки. Розроблені методи, які дозволяють підвищити імпульс витікаючого струменів майже в 1,5 рази і збільшення потужності цих струменів в 2,5-3 рази.

Збільшення стійкості футеровки конвертерів дозволяє вирішити й іншу, не менш важливу проблему - за рахунок скорочення шкідливих викидів знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище, що особливо важливо для комбінату ПрАТ МК «Азовсталь», де шлакові відвали знаходяться на березі Азовського моря.

Металознавство та термічна обробка сталі

УДК 669.112.227.1[669.15-194]:669-158

ВПЛИВ КІНЕТИКИ РОЗПАДУ АУСТЕНІТУ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ НА ОСОБЛИВОСТІ ПРОТІКАННЯ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ ОХОЛОДЖЕННІ

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

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

Побудовано структурні діаграми перетворень аустеніту при безперервному охолодженні високовуглецевих сталей С80D, С86D і С92D (EN ISO 16120-2:2011) та узагальнено отримані дані з метою встановлення припустимих швидкостей безперервного повітряного охолодження та температури початку охолодження ($t_{\text{по}}$, °C), при яких забезпечується рівномірний розподіл структурних складових у поперечному перерізі гарячекатаного бунтового прокату. Кінетика розпаду аустеніту сталі С86D на відміну від сталей С80D та С92D в інтервалі швидкостей безперервного охолодження 228...19 °C/c характеризується наявністю області бейнітного перетворення, яке зумовлене більш високою температурою аустенізації (~ на 60...70 °C) та підвищеним вмістом марганцю (~ на 0,14 %). Зростання верхньої критичної швидкості охолодження для сталі С86D ~ на 67 % у порівнянні зі сталлю С80D пов'язане з протіканням у міжкритичному інтервалі швидкостей охолодження бейнітного перетворення. Досліджено вплив швидкості безперервного охолодження на абсолютну зміну температури початку і завершення дифузійного розпаду аустеніту сталей С80D, С86D та С92D. Встановлено, що для досліджуваних сталей в інтервалі швидкостей безперервного охолодження (0,10...14 °C/c) температура завершення розпаду аустеніту перевищує температуру початку його розпаду. З метою отримання рівномірно розподіленої структури сорбітоподібного перліту (ГОСТ 8233-56) по перерізу бунтового прокату з високовуглецевих сталей швидкість безперервного повітряного охолодження повинна складати не менше 14 °C/c.

Показано, що для сталі С86D в інтервалі швидкостей безперервного охолодження 0,1...20 °C/c просліджується вплив підвищеної стійкості аустеніту на температуру початку перлітного перетворення ($t_{\text{пп}}$, °C). Загальний інтервал швидкостей безперервного охолодження для досліджуваних сталей можна умовно розділити на наступні складові: 1) 0,1...20 °C/c – переважний вплив стійкості аустеніту на температуру початку перлітного перетворення; 2) 20...35 °C/c – переважний вплив ступеню переохолодження, при якому стійкість аустеніту не чинить істотного впливу на температуру початку перлітного перетворення.

Встановлено вплив хімічного складу високовуглецевої сталі та стійкості аустеніту на принципову зміну кінетики перетворень аустеніту при безперервному охолодженні. Так, якщо для сталей С80D та С92D охолодження зі швидкістю 35 °C/c до температур не нижче 200 °C є цілком припустимим, то при охолодженні сталі С86D при швидкостях ≥ 19 °C/c у структурі прокату буде утворюватися бейніт, який є неприпустимою структурною складовою згідно з вимогами відповідних стандартів. На відміну від сталей С80D і С92D охолодження сталі С86D слід проводити із застосуванням ступінчастого охолодження в інтервалі температур від $t_{\text{по}}$ до ($t_{\text{пп}} - 20...25$ °C) зі швидкістю не менше 14 °C/c з подальшою квазіізотермічною витримкою та наступним охолодженням до температур ~ 200...180 °C.

УДК 620.194.22

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРЕС-КОРОЗИЙНОГО РОЗТРИСКУВАННЯ ТРУБНОЇ СТАЛІ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПРОКАТКИ 09Г2СФ В УМОВАХ КАТОДНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ

Ниркова Л.І., к.х.н., Лисовий П.Е., Мельничук С.Л.

Представлено результати досліджень корозійного розтріскування від напруження (КРН) трубної сталі контрольованої прокатки 09Г2СФ в модельному ґрунтовому електроліті (рН 8,2) в нормованому ДСТУ 4219 діапазоні захисних потенціалів (поляризаційних) від -0,85 В до -1,15 В відносно мідносльфатного електроду порівняння (м.с.е.), що відповідає від -0,75 В до -1,05 В відносно хлорсрібного електроду порівняння (х.с.е.). Застосовували комплексну методику, розроблену в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, яка включає метод поляризаційних кривих з різною швидкістю сканування потенціалу, метод деформації з повільною швидкістю, аналіз морфології зламів зразків та визначення коефіцієнтів деградації властивостей (границі міцності, відносного подовження та відносного звуження зразків після руйнування).

З аналізу отриманих результатів можна виділити три області потенціалів, в яких досліджуєма сталь перебуває у нерівноважному електрохімічному стані та механізм КРН сталі змінюється в залежності від наведеного захисного потенціалу. При цьому слід відзначити, що коефіцієнт зміни граници міцності у всій області потенціалів змінюється мало, від 16 % до 24 %, більш суттєвою є зміна в'язких властивостей.

В області потенціалів, більш позитивних ніж -0,85 В (х.с.е.), процес стрес-корозійного розтріскування перебігає виключно за механізмом локального анодного розчинення, що підтверджується характером руйнування та морфологією зламів зразків. Для зразків властиве в'язке руйнування, що характеризується суттєвим утягуванням навколо лінії розриву. Коефіцієнт деградації відносного подовження становить близько 5 %.

За потенціалів більш негативних ніж -1,0 В (х.с.е.) механізм стрес-корозійного розтріскування визначається водневим окрихченням. Лінія руйнування зразків ламана, в області, що прилягає до місця розриву, наявні мілкі тріщини. В морфології зламу превалює крихка складова, коефіцієнт деградації відносного подовження, який є характеристикою ступеню зміни в'язких властивостей, зростає від 4 % до 14%.

В області потенціалів від -0,85 до -1,0 В стрес-корозійне розтріскування перебігає за змішаним механізмом. У фрактограмі зламів зразків присутні як в'язка, так і крихка складові, їх співвідношення змінюється залежно від зміни потенціалу. Для цих умов властива немонотонна зміна коефіцієнту деградації відносного подовження від 4 % до 14%.

Таким чином, в залежності від механізму стрес-корозійного розтріскування, швидкість розвитку цього процесу може відрізнятися.

Результати досліджень доцільно застосовувати в комплексі робіт з діагностики магістральних трубопроводів для попереднього визначення областей потенціалів, в яких швидкість розвитку процесу КРН може бути різною. Це дозволить розробити підходи до оптимізування електрохімічного захисту.

УДК 621.791:620.193

КОРОЗИЙНА СТІЙКІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ ТРУБНОЇ СТАЛІ, ВИКОНАНИХ ЗВАРЮВАННЯМ СТРУМАМИ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ

Ниркова Л.І., к.х.н., Прокопчук С.Л., Мельничук С.Л.

Представлені результати досліджень корозійної стійкості в умовах сумісної дії корозійно-активного середовища та постійної деформації низьколегованої трубної сталі 17Г1СУ та зварного з'єднання, виконаного струмами високої частоти (СВЧ). Зварювання

виконували згідно з існуючою технологією виготовлення СВЧ-труб (ТУ-1303-006.3-593377520-2003). Досліджено електрохімічні властивості цих з'єднань.

Відомо, що зварні труби з низьколегованої сталі характеризуються, низькою собівартістю, стабільністю розмірів, можливістю виготовлення труб різного типорозміру порівняно з цільнотягнутими. Однак, внаслідок структурної, механічної та електрохімічної гетерогенності для таких зварних з'єднань властиве зниження стійкості проти корозійно-механічного руйнування, що впливає на ресурс безпечної експлуатації трубопроводу у цілому. У 90 % випадків причиною стає корозія, що найчастіше проявляється в зоні зварного з'єднання.

Попереднє оцінювання властивостей основного металу та області зварного шва у розчині 3 % NaCl, виконана методами потенціометрії та поляризаційних кривих, продемонструвало незначно більшу активність зварного шва. Так, потенціал корозії області зварного шва близько на 15 мВ більш від'ємний, ніж основного металу, але з часом має тенденцію до стабілізації. Граничний дифузійний струм в області зварного шва майже в 4 рази більше, ніж основного металу ($0,05 \text{ мА/м}^2$ і $0,19 \text{ мА/м}^2$, відповідно). Оскільки в умовах вільного доступу кисню у водних розчинах корозія перебігає з дифузійним контролем, така різниця струмів може сприяти прискоренню корозійного процесу в цій області, що потребує підвищеної уваги.

Результати тривалих корозійно-механічних випробувань у 3 % NaCl показали, що впродовж 1000 годин контакту поверхні з розчином локальних ушкоджень у вигляді пітингів та корозійних виразок не виявлено. Корозію ідентифіковано як суцільну нерівномірну, вид корозійних ушкоджень – корозійні плями. Швидкість суцільної корозії зварного з'єднання сталі 17Г1СУ у ненапруженому стані впродовж всього часу експонування у середовищі близько на 30-36 % вище, ніж основного металу. При навантаженні зразків до рівня $0,95\sigma_T$ ($0,95$ від границі текучості основного металу) швидкість суцільної корозії зростає в 4-5 разів: від $0,07 \text{ мм/рік}$ (у ненапруженому стані) до $0,2 \text{ мм/рік}$ (у напруженому стані) – для основного металу, від $0,11 \text{ мм/рік}$ до $0,20 \text{ мм/рік}$ – для зварного з'єднання, відповідно.

На основі аналізу отриманих результатів висловлено припущення, що область зварного шва є більш чутливою до корозійного та корозійно-механічного руйнування при контакті з середовищем. Для отримання більш повної інформації щодо корозійної стійкості зварного з'єднання в умовах експлуатації доцільно дослідити його схильність стрес-корозійного розтріскування при катодному захисті.

Таким чином, отримання даних щодо корозійних властивостей СВЧ-труб сприятиме поліпшенню їх якості та підвищенню роботоздатності і надійності експлуатації зварних з'єднань цих труб.

УДК: 621.771.294:629.4.001.86

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД ВИЗНАЧЕННЯ ВТОМНОЇ ВИТРИВАЛОСТІ ВІСЕЙ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Сафронова О.А., Подольський Р.В.

Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

Втомна витривалість залізничних вісей до сьогоднішнього дня залишається дуже актуальною темою. Конструкція, розрахунки експлуатаційного навантаження та методики випробування вісей розроблялися протягом тривалого часу, зараз основні технічні вимоги закріплені в різних стандартах. Через постійне підвищення вимог до експлуатаційних властивостей та безпеки високошвидкісних поїздів ці норми постійно уточнюються. Особливої уваги потребує поліпшення втомних властивостей залізничних вісей [1, 6].

В даний час методика проектування і розрахунку втомних властивостей вісей визначені європейськими стандартами EN 13103 и EN13104 [2, 3]. Деформація вигину вісі розраховується по навантажувальним силам - вертикальним (вага вагона і навантаження), горизонтальним (з кривих, перехресть і сил гальмування) [4, 5]. З згинальних моментів можна розрахувати напруження у всіх поперечних перетинах вісі. Розрахункові напруження повинні бути менше допустимого, яке визначається як границя втоми вісі поділеної на коефіцієнт безпеки.

Повномасштабне випробування реальної вісі - це дуже дорогий метод, більш дешевими та зручними є лабораторні випробування на зразках, але завжди залишається деяка невелика частина невизначеності отриманих результатів. Також є невеликі відмінності між випробувальними лабораторіями [6]. Але проведення втомних випробувань є обов'язковим для забезпечення надійності вісей для високошвидкісної поїздів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Knothe, Klaus: August Wöhler (1818-1914) Dauerfestigkeit und Langzeitverhalten – Western und heute. – *ZEVrail Glasers Annalen*, Jg.127, 2003, Nr.8, August, S. 384 – 386.
2. EN13103 – Railway application – Wheelsets and bogies - Non-powered axles – Design method
3. EN13104:March 2009 – Railway application – Wheelsets and bogies - Powered axles – Design method
4. EN13261: March 2009 – Railway application – Wheelsets and bogies - Axles - Product requirements
5. EN13260: March 2009 – Railway application – Wheelsets and bogies - Wheelsets - Product requirements
6. Fatigue tests of railway axles [Електронний ресурс] / M.Novosad, R. Fajkoš, B. Řeha, R. Řezníček // *Procedia Engineering*. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705810002432#!>.

УДК 669.1.017:669.15-194.2:621.785

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛЕЙ ЗІ ЗМІШАНОЮ СТРУКТУРОЮ

Т.М.Голубенко к.т.н., В.А.Луценко, д.т.н., с.н.с.

Інститут чорної металургії НАН України, м. Дніпро

Термічна обробка використовується для надання металовиробам необхідних якісних показників: міцності, пластичності, твердості тощо. Сортовий прокат для переробки у металовироби необхідних розмірів повинен мати низькі параметри твердості та високу пластичність. Для цього на металургійних і машинобудівних підприємствах використовують знеміцнюючу термічну обробку (пом'якшувальний, сфероїдизований відпал) у підкритичних температурах $\sim A_1 - 20...30^\circ\text{C}$ з тривалою ізотермічною витримкою. Відомо, що структурні перетворення при термічній обробці починаються з фаз, які мають меншу термодинамічну стабільність: мартенсит та бейніт. Тому отримати сфероїдизовану структуру в сталях перлітного класу значно складніше, що вимагає тривалішого часу. Дослідженнями встановлено, що у сталях з ферито-перліто-бейнітною структурою в процесі відпалу при зниженій температурі ($A_1 - 70...150^\circ\text{C}$) структурні перетворення здебільшого відбуваються в бейніті, що підтверджує зниження його мікротвердості. В той час мікротвердість перліту

мала початкові або близькі до них значення. Тому рекомендовано для скорочення режиму термічної обробки сталей з ферито-перліто-бейнітною структурою забезпечити більшу кількість бейніту. Встановлено, що після нагрівання до підвищених температур велике аустенітне зерно сприяє збільшенню стійкості переохолодженого аустеніту, а при подальшому безперервному охолодженні та ізотермічній витримці в бейнітній області перешкоджає утворенню перлітної структури. При подальшому нагріванні до температури ($A_1 - 70...100^\circ\text{C}$) відбувається розпад бейніту з утворенням сорбіту відпуску, що в підсумку забезпечує досягнення необхідних значень властивостей: низької твердості та високої пластичності.

Для середньовуглецевих сталей, легованих хромом, молібденом і ванадієм після гарячої прокатки збільшення швидкості охолодження (на повітрі) у 1,5 рази дозволяє отримати структуру, що складається з не менше $\sim 75\%$ бейніту, $\sim 20\%$ фериту, решта – перліт (хромомолібденова сталь) або мартенсит (хромомолібденованадієва сталь). Для низьковуглецевих кремнемарганцевих сталей підвищення швидкості охолодження приводить до отримання структури, що складається з не менше $\sim 35\%$ бейніту, $\sim 60\%$ фериту, решта – перліт. У отриманій структурі при подальшій знеміцнюючій обробці (пом'якшувальний відпал), завдяки більшій кількості метастабільних фазових складових, структурні перетворення відбуваються при нижчих температурах та потребують меншої тривалості витримки. Отже, отримання після прокатки несприятливої для деформаційної обробки структури дозволяє прискорити проміжну термічну обробку, за рахунок чого знизити енергетичні витрати, та забезпечує високу пластичність сталі перед деформацією.

На основі проведених досліджень запропоновані скорочені режими знеміцнюючої термічної обробки для низько- та середньовуглецевих легованих сталей різноманітного призначення.

УДК 621.785.001.63

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ УПРОЧНЯЮЩИХ ОБРАБОТОК С УЧЕТОМ ЭВОЛЮЦИИ СПЛАВОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.П. Чейлях д.т.н., проф., Я.А. Чейлях к.т.н.

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

Работа посвящена обобщению исследований по реализации нового подхода к проектированию инновационных упрочняющих обработок сплавов разного функционального применения на основе учета и управления эволюцией фазово-структурного состояния при эксплуатации.

В предлагаемом подходе в основу положен принцип управляемой фазово-структурной эволюции на стадиях испытаний и эксплуатации, обеспечивающей самоулучшение микроструктуры и, как результат, свойств непосредственно под действием самой эксплуатационной среды. Эта эволюция реализуется благодаря «запрограммированному» изначально или управляемому (оптимальному) развитию деформационных, в ряде случаев термо-деформационных фазовых превращений при испытаниях, либо эксплуатации (ДФПИ, ТДФПИ): мартенситных $\gamma \rightarrow \alpha'$; $\gamma \rightarrow \epsilon'$; $\gamma \rightarrow \alpha' \rightarrow \epsilon'$ превращений (ДМПИ); динамического деформационного старения (ДДС); трансформации составов и структуры дисперсионно упрочняющих фаз и др. Эти превращения сопровождаются эффектами самоупрочнения, саморелаксации микронапряжений в связи с образованием мартенсита деформации и выделения дисперсных частиц твердых фаз, самоадаптации к условиям эксплуатации, поглощением части энергии благодаря саорганизации фазово-структурного состояния.

Получение метастабільних состояний аустенита возможно в любых фазово-структурных модификациях: основная γ -фаза; вторая фаза; первичный, эвтектический, остаточный ($A_{ост}$); вторичный или реверсированный; пресыщенный; порошковый в сталях,

чугунах, наплавленному металле, порошкових сплавах. Для цього необхідно використовувати всі можливі механізми стабілізації та дестабілізації аустенита, чтобы рационально управляти ДФПІ (ТДФПІ, ДМПІ, ДДС і др.) при розробці нових і удосконаленні традиційних способів і упрочнюючих технологій.

Возможна реалізація чисто структурних превращень (TWIP – пластичність, викликана подвійником), еволюція яких при експлуатації із початку повинна бути управляемою не тільки легированим, але і за допомогою обробок. Реалізація ДМПІ або TWIP-ефекта при оптимальній еволюції сплаву при випробуваннях властивостей, забезпечує досягнення аномально високого комплексу міцності ($\sigma_b=1600-2000$ МПа), пластичності ($\delta=15-25$ %), ударної в'язкості ($KCU=1,0-1,6$ МДж/м²) в конструкційних сталях, підвищеної (в 1,5-4 рази) зносостійкості сталей і чугунів.

Новий напрям в проектуванні упрочнюючих обробок – використання принципу гетерогенізації аустенита для реалізації наступних мартенситних превращень при охолодженні і ДМПІ, на основі якого створені нові способи і технології закалки сталей і чугунів. Створені способи ХТО (цементация, нітроцементация, швидке термоциклічне ціанірування з нагрівом ТВЧ і др.) в поєднанні з оригінальними способами термічної обробки (закалка з диференціальних температур, ВТЦО, НТЦО, плазмова обробка і др.), забезпечують формування градієнтних структур з диференціацією кількості $A_{ост}$ і ступеня його метастабільності по глибині шару з урахуванням наступної еволюції фазово-структурного стану в процесі експлуатації.

УДК: 669.017: 621.774: 621.771.2.001.57: 005

ЗІСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКИ ПРОРОБЛЮВАНІСТІ СТРУКТУРИ СТАЛІ 09Г2С В ПРОЦЕСІ ПОЗДОВЖНЬОЇ ПРОКАТКИ ТРУБНОЇ ЗАГОТОВКИ Ø 250 ММ

Я. В. Фролов¹, проф., д.т.н., К. Г. Дьоміна², к.т.н., В. В. Андрєєв¹, к.т.н.

¹ Національна металургійна академія України, м. Дніпро

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

Для всебічного, глибокого аналізу напружено-деформованого стану та встановлення прямого впливу гарячої деформації на мікроструктуру сталі визначена її структурна складова – хімічна неоднорідність, що успадковується від дендритної ліквідації кремнію та марганцю, не зазнає ні фазових, ні структурних перетворень на мікрорівні та в повній мірі здатна відобразити процес деформації і течії металу. На властивості спадкової хімічної неоднорідності залишатися практично постійною в кількісному відношенні при подальшій температурній і деформаційній дії, незважаючи на значну тривалість процесу нагріву і витримки при високих температурах, але при цьому змінювати свою форму і розміри, засновано розроблений в Інституті чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України метод оцінки деформованого стану металу зі зміни параметрів колишньої дендритної структури.

Для розвитку цього методу виконано аналіз напружено-деформованого стану, який сформувався під час прокатки в останньому, круглому, калібрі кліті 900 трубозаготівельного стану 900 / 750 – 3, і зіставлення результатів математичного моделювання з оцінкою пророблюваності структури трубної заготовки Ø 250 мм.

Результати математичного моделювання та металографічного аналізу показали хорошу збіжність. На підставі отриманих результатів визначено зони активної і пасивної деформації та їх розташування в напрямку ½ вертикальної осі поперечного перерізу дослідженої заготовки. Глибина зони прилипання становить 12,5 мм, зона інтенсивної пластичної

деформації зосереджена на відстані 50 – 112,5 мм від центру заготовки, центральні шари заготовки є зоною пасивної деформації.

Вперше показано, що зміна зсувного напруження τ_{zx} повністю відображає характер зміни коефіцієнта пророблюваності структури K великосортного прокату. При дослідженні впливу деформаційної дії на мікроструктуру сталі використання її структурної складової – хімічної неоднорідності, що успадковується від дендритної ліквіації кремнію та марганцю, – дозволяє виконати не тільки кількісну оцінку інтенсивності та локалізації деформації, але і якісно судити про зміну напруження зсуву по перерізу заготовки.

Подальші дослідження в даному напрямку дозволять розширити теоретичні уявлення про формування напружено-деформованого стану металу в високих осередках деформації при прокатці та стати підставою для розробки практичних рекомендацій щодо вдосконалення технології виробництва великосортного прокату.

УДК 669.14.017: 620.18: 665-15-194.2

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ВІДПУСКУ НА ПАРАМЕТРИ ТОНКОЇ СТРУКТУРИ, НАПРУЖЕННЯ І ТВЕРДІСТЬ СТАЛІ 25X2M1Ф

С.В.Бобирь, д.т.н., Г.В. Левченко, д.т.н., А.Ю. Борисенко, к.т.н., Н.О. Куцева, к.т.н., Д.В. Лошкарєв

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

Наведено результати досліджень про вплив режимів відпуску на параметри тонкої структури, напруження і твердість сталі 25X2M1Ф. Показано, що вторинна твердість сталі 25X2M1Ф, відпущеної при температурі 550 °С, максимальна після 5 год. відпускання і обумовлена найменшими розмірами блоків кристалічної решітки (рис. 1). Встановлено, що на початкових стадіях розпаду пересиченого твердого α -розчину загартованої сталі 25X2M1Ф при температурі 550 °С відбувається зростання параметрів кристалічної решітки (рис. 2). Протягом наступного часу відпускання (9 год.) зв'язаність кристалічних решіток зазначених фаз порушується, через відділення карбідних частинок від α -фази і параметр α -фази зменшується.

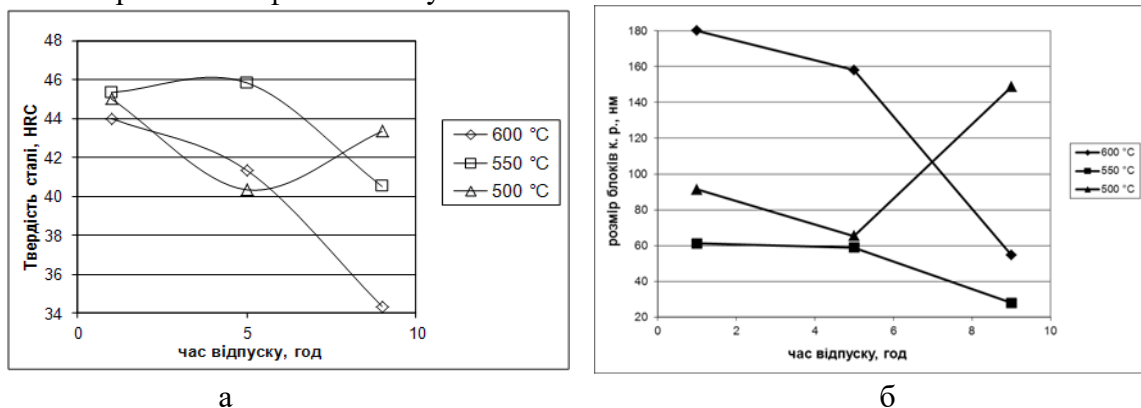


Рис. 1. Залежність твердості (а) та розміру блоків кристалічної решітки (б) сталі 25X2M1Ф після нормалізації при 950°С від температури і часу відпускання

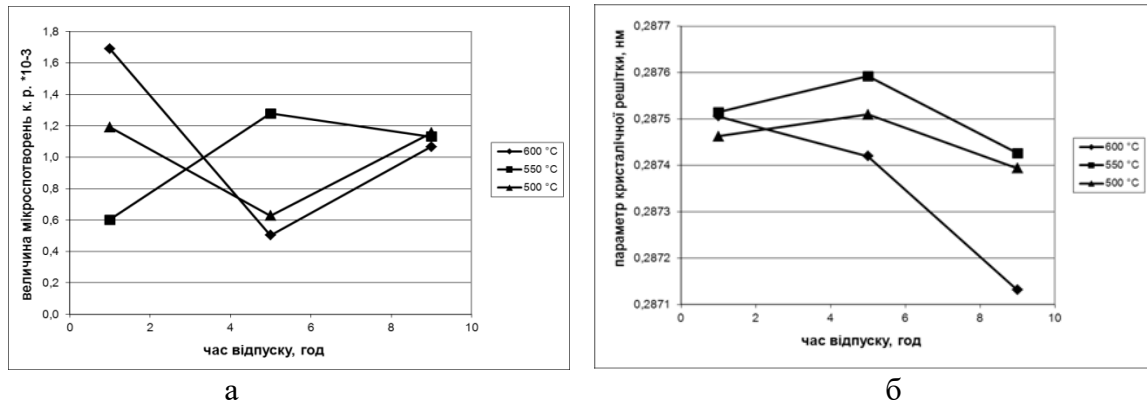


Рис. 2. Зміна величини мікрощотворень (а) і параметра кристалічної решітки (б) при відпусканні сталі 25X2M1Ф

Таким чином виявлено, що на крихкість та твердість сталі 25X2M1Ф при відпусканні головний вплив мають не гартівні, а вторинні напруження - когерентні (визначені розміром блоків кристалічної решітки) і дисперсійні (визначаються величиною мікрощотворень кристалічної решітки).

Прогресивні технології обробки металу тиском

УДК.621.746.047

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ПРИВ'ЯЗКИ МБЛЗ ДО ДРІБНОСОРТНИХ ТА ДРОТОВИХ СТАНІВ

В.Г.Герасименко¹⁾, к.т.н., с.н.с., Є.В. Синегін²⁾, к.т.н., доцент, Л.С.Молчанов¹⁾, к.т.н., с.н.с., В.Я. Перерва²⁾, к.т.н., доцент

¹⁾ Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, м Дніпро

²⁾ Національна металургійна академія України, м.Дніпро

В роботі розглянуто технологічні особливості переходу металургійних підприємств, орієнтованих на випуск дрібносоротної і дротової металопродукції, на безперервну розливу. Зокрема розглянуті: переріз заготовки, вибір місця розташування МБЛЗ, схеми передачі безперервнолитих заготовок до дрібносортних і дротових станів.

Дослідженнями технології виробництва сортового прокату з безперервнолитою заготовки квадрат 130 і 150 мм встановлено, що пряме сполучення МБЛЗ з прокатним станом практично неможливо через різницю швидкостей безперервного розливання й чорнової групи стану. У випадку різання заготовок буде спостерігатися низька продуктивність стану через великий цикл. Проведені розрахунки підтверджують непридатність даного варіанта для промислового впровадження.

Сполучення із проміжною піччю для безперервнолитої заготовки квадрат 130 й 150 мм знайшло широке застосування за кордоном. Виконані розрахунки показують, що ця схема технологічно здійсненна, однак, призводить до значних втрат енергії, оскільки необхідне практично повне остигання заготовки та її подальше нагрівання. Навіть застосування проміжного термостата із зустрічним потоком що остигають і заготовок, які нагріваються, доводить використання енергії не більш, ніж на 25%.

Найбільш ефективний варіант стикування МБЛЗ із прокатним станом при застосуванні безперервнолитої заготовки квадрат 130 й 150 мм з вуглецевистих і низьколегованих марок сталі, у якому застосовується комплекс устаткування, в основі якого лежить піч-термостат для заготовки довжиною 120 м. Даний спосіб стикування дозволяє скоротити витрату енергії на нагрівання заготовки щонайменше на 53 %.

Розглянута технологія стикування МБЛЗ з прокатним станом забезпечить економію металу за рахунок зниження товщини шару окалини до 0,4-0,73 мм (у середньому 1,1 % від маси заготовки), поліпшить його якість за рахунок зменшення глибини знеуглецьованого шару з 1,1 мм до 0,3 мм.

Високотемпературне окислювання сталі супроводжується знеуглецьовуванням поверхневого шару. Це призводить до значного погіршення механічних властивостей: зниження твердості, межі утоми, здатності до загартування, збільшує схильність до гартівних тріщин, до розшарування, жолобленню при обробці тиском. Глибина знеуглецьованого шару залежить від умов окислювання (температури, тривалості нагрівання тощо).

Вочевидь, вигідне використання підігрітої до температури прокатки безперервнолитої заготовки (сполучення із проміжною піччю або проміжним термостатом). Через скорочення часу нагрівання різко зменшується утворення окалини й, що не менш важливо, знижується величина знеуглецьованого шару.

Основний результат прив'язок МБЛЗ до прокатного стану – економія теплової енергії, оскільки для подальшого процесу використовується тепло безперервнолитої заготовки. Крім того, є й інші переваги: економія металу за рахунок зменшення вигару в печах, скорочення складського господарства сталеплавильного й прокатного цехів, зменшення шкідливих

викидів у навколишнє середовище, зменшення капітальних витрат на будівництво нагрівальних печей.

Розглянута технологія передбачає транспортування рідкої сталі в ковші зі сталеплавильного цеху, розливання на МБЛЗ, розміщених у сортопрокатному цеху, виявлення дефектів у потоці в гарячому стані й подачу гарячих заготовок з температурою 850 °С у високотемпературні печі для підігріву й на стан для прокатки.

Ефективність нової технології розрахована в порівнянні з традиційною на: розміщення МБЛЗ у сталеплавильному цеху, охолодження литих заготовок після розливання, доставка їх до прокатного цеху в холодному стані, холодний посад у нагрівальну піч і нагрівання до необхідної температури прокатки.

При нагріванні гарячого посаду істотно знижується витрата тепла на нагрівання металу, у той час як втрати тепла (потужність холостого ходу) і коефіцієнт використання тепла, які значною мірою залежать від факторів, пов'язаних з конструкцією печі змінюються мало.

Утворення окалини при нагріванні є джерелом втрат придатного металу. На утворення окалини впливає температура нагрівання, тривалість перебування металу за високих температур, швидкість нагрівання. За базовою технологією (холодний посад) товщина шару окалини становить 0,6 мм або 1,9 % від маси заготовки.

Пропонована технологія гарячого посаду заготовок забезпечує зниження товщини шару окалини до 0,3-0,4 мм або в середньому до 1,1 % від маси заготовки.

Поряд зі зниженням окислювання металу зменшення тривалості перебування металу в печі забезпечить зменшення глибини знеуглецьованого шару, що за базовою технологією становить 1,1 мм, а за нової – 0,3 мм.

Збільшення перерізу заготовки, можливо, вимагатиме установки додаткових клітей на лініях чорнових і проміжних клітей, що не вплине на початкову швидкість прокатки й погодинну продуктивність стану. Для дрібносортних і дротових станів переріз вихідної заготовки можна збільшити орієнтовно до 150×150 мм. Вибір оптимального перерізу вимагає аналізу розмірного й марочного сортаменту металопродукції комбінату з урахуванням необхідних коефіцієнтів витяжки (щонайменше 6-10).

Екологічні проблеми чорної металургії

УДК 622.788.32:621.777.06

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ
ВАЛКОВОГО ПРЕСА****К.В. Баюл к.т.н, С.В. Ващенко к.т.н, А.Ю. Худяков к.т.н., Е.Б. Прокудіна****Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України****Н.О. Солодка к.т.н.****Український державний хіміко-технологічний університет**

Скорочення ресурсної бази підприємств енергетичної, хімічної та металургійної галузей промисловості вимагає впровадження ресурсозберігаючих технологій і обладнання для їх реалізації. Одним з напрямків раціонального використання дрібнофракційних сировинних матеріалів, в тому числі техногенного походження, які потребують окускування для використання в технологічних переділах є метод брикетування. В якості основного агрегату технологічних ліній брикетування широке застосування знайшли валкові преси. В даний час існує проблема, яка полягає в тому, що сучасні засоби проектування машин і агрегатів не дозволяють в повній мірі врахувати всіх особливостей проектування валкових пресів, тому створення раціональної конструкції даного типу обладнання ведеться шляхом послідовних наближень, ґрунтуючись на практичному досвіді розробників.

Виконано аналіз та узагальнення основних завдань структурно-параметричного синтезу та аналізу з метою формування підходу їх застосування до вирішення завдання пошуку раціональних компоувальних і конструктивних рішень валкових пресів для брикетування дрібнофракційних сировинних матеріалів. Сформована структура і узагальнена схема системи моделювання для розв'язання задачі синтезу раціональної конструкції валкового преса. На конкретних прикладах показані можливі варіанти застосування методів структурно-параметричного синтезу до проектування преса в цілому, а також окремих його вузлів і деталей. Сформульовано напрямки подальших досліджень по створенню ефективного інструменту для пошуку раціональних конструктивних рішень валкових пресів і оптимізації їх експлуатаційних, технологічних і технічних характеристик. Практична реалізація запропонованого в роботі системного підходу дозволить упорядкувати і спростити пошук раціональних конструктивних рішень пресів, знизити витрати часу і ресурсів на проектування.