

Каргін С.Б., Тарасюк Л.І., Бакланський В.М.

ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗЛИВАННЯ ТРУБНИХ МАРОК СТАЛЕЙ

Сучасне виробництво сталі в металургії диктується безперервним посиленням вимог до якості металу. Поряд зі зниженням рівня вмісту шкідливих домішок (сірка, фосфор, газ, кольорові метали) все більша увага приділяється ступеню чистоти сталі по неметалевим включенням (НВ), яка впливає на анізотропію властивостей, поріг холодноламкості, зварюваність, схильність до старіння та тощо.

Конвертерне виробництво має найбільший потенціал в сталеплавильному секторі завдяки надійності і високій економічності. Розвиток технологій виробництва нафтогазопровідних труб є однією з найбільш перспективних і затребуваних галузей в сучасній металургії. Аналіз економічної обстановки провідними фахівцями і вченими показав, що ціна на нафту і газ буде неухильно зростати з кожним роком. Це пов'язано з постійним виснаженням наявних родовищ і високими ресурс та енерговитратами для розробки нових родовищ.

Тому споруда надійних нафтогазових магістралей буде першочерговим завданням металургійних підприємств, які зуміли освоїти сучасні технології виплавки труб 4-го і 5-го покоління, які завжди будуть конкурентно спроможними на ринку.

У роботі проведено огляд світових тенденцій виробництва високоміцних нафтогазопровідних труб великого діаметру в країнах Європи, Японії та Україні. Зроблені висновки про перспективу розвитку технологій в цій галузі для нашої країни.

Користуючись світовими тенденціями, виконано аналіз можливостей виробництва сталі для нафтогазопровідних труб четвертого і п'ятого покоління на маріупольському комбінаті «Ім. Ілліча» (ММКІ), а також аналіз проблем, які можуть виникнути при виплавці цих сталей.

Ключові слова: киснево-конвертерне виробництво, сталь, технологічний цикл, сортамент продукції, машина безперервного лиття заготовок, кристалізатор, неметалічні включення, сляб, якість.

Постановка проблеми. Шлакові включення, що зустрічаються на поверхні безперервно-ливої заготовки та проникаючи всередину металу, є багатофазними, переважно силікатного характеру. У сортових заготовках великі шлакові включення частіше зустрічаються в районі ребр слябу.

Шлакові включення на поверхні безперервно литих заготовок з'являються внаслідок розмиву вогнетривів ківшів, затикування шлаку з проміжного ківшу і з дзеркала кристалізатора, спливання в кристалізаторі продуктів розкислення сталі, коливань рівня металу і тому подібне.

Значна кількість шлакових включень на меніску металу в кристалізаторі може привести до масових проривів твердої оболонки заготовки в зоні вторинного охолодження під кристалізатором.

Основні заходи, що дозволяють знизити забрудненість безперервно литого злитка шлаковими включеннями полягають в наступному: дотримання заданих режимів розкислення сталі; дотримання температурних режимів; застосування ерозійно стійких вогнетривких

Металургія

матеріалів; підтримання постійного рівня металу в проміжному ківші і кристалізаторі; правильний підбір шлак утворюючих сумішей і рівномірна подача їх в кристалізатор.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Характерним дефектом злитку є поверхневі бульбашки у вигляді одиничних або групових пір, порожнин округлої або витягнутої форми. Вони можуть бути результатом газовиділення при затвердінні злитка, при згорянні мастила в кристалізаторі, при використанні вогнетривів і шлак утворюючих сумішей з підвищеною вологістю і тому подібне.

Для зниження дефектів безперервно литої заготовки, пов'язаних з неметалевими включеннями, використається проміжний ківш машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Проміжний ківш, спочатку служив розподільним пристроєм, у міру розвитку безперервного розливання перетворився в рафінувальний агрегат.

Проміжні ківші сучасних МБЛЗ забезпечені пристроями, що дозволяють усунути вплив таких джерел забруднення, як вторинне окислювання, ерозія вогнетривів, потрапляння частинок покривного шлаку в потік розплаву і при цьому забезпечити спливання і поглинання неметалічних включень шлаком за рахунок правильної організації руху металу, що виключає появу застійних зон і укорочених шляхів, забезпечити використання додаткових технологічних прийомів - продувки інертними газами, застосування спеціальних кришок і покривних шлаків зі спеціальних флюсів, регулювання температури, проведення розкислення і легування сталі. Для цього необхідно реалізувати наступні заходи [1 - 8]:

- сталь заливають в проміжний ківш через подовжений занурюваний стакан з піддувом інертного газу;
- забезпечення необхідного часу для спливання включень за рахунок збільшення ємності проміжного ківшу;
- вдосконалення геометрії внутрішньої порожнини проміжного ківшу з метою створення оптимальної гідродинаміки потоку рідкої сталі;
- обладнання проміжного ківшу вогнетривкими перегородками для поліпшення в ньому гідродинаміці потоків рідкої сталі;
- з метою гасіння вихрової воронки, що утворюється при вході металу в розливний отвір, використовувати проміжний ківш з вставками вихрегасителями;
- застосування спеціальної вогнетривкої вставки, так званого «турбостопу», що дозволяє істотно гасити енергію падаючої струменя і більш рівномірно розподіляти потоки;
- забезпечення спливання включень шляхом використання зовнішнього джерела підігріву рідкої сталі в проміжному ківші;
- продувка рідкої сталі в проміжному ківші аргоном;
- вакуумування у проміжному ківші МБЛЗ;
- електромагнітне перемішування розплаву в проміжному ківші;
- герметизація проміжного ківшу;
- застосування для футерування робочого шару ківшу високо основних вогнетривких мас;
- регулярне оновлення покривного шлаку в міру насичення його неметалевими включеннями при асиміляції.

Вплив неметалевих включень на механічні властивості сталі визначаються не тільки їхнім хімічним складом і кількістю, але і фізичними властивостями, розмірами, формою і розподілом, а управління цими параметрами істотно впливає на службові властивості сталі для труб високого діаметру.

Найбільш ефективним засобом управління формою включень є модифікуючі обробки сталі кальцієм, яка веде до глобуляризації і подрібнення сульфідних включень, зміни їх хімічного складу і властивостей. Проведеними металографічними дослідженнями

встановлено, що присадка Са модифікує НВ. Включення, що мають глобулярну форму, є алюмінати, оточені шаром з високим вмістом Са і S [9-13].

Мета дослідження. На світовому ринку металу найбільш затребувана продукція труб великого діаметру четвертого і п'ятого покоління. Ці труби використовуються для створення нафтогазових магістралей на об'єктах нафтового виробництва, які працюють в жорстких умовах, в тому числі в умовах знижених температур. Їх виробництво базується на комплексному використанні технології отримання чистих сталей, мікро легованих елементами, що впливають на структурну перекристалізацію сталі в процесі контрольованої прокатки.

Вимоги, що пред'являються до магістральних трубопроводів будуть тільки зростати. Це пов'язано зі збільшенням тиску в газопроводах, а також виробленням нових родовищ, де для доставки газу сталь повинна витримувати найсуворіші умови експлуатації.

Основною концепцією в розробці сучасних високоміцних сталей є забезпечення транспортування великих обсягів газу і нафти на великі відстані в поєднанні з достатньою надійністю, що дозволяє уникнути протяжних тендітних і в'язких розривів.

Незважаючи на світову рецесію в області виробництва сталі і металопродукату, трубна продукція ПрАТ «ММКІ» як і раніше є затребуваною. Це пов'язано як з високими стандартами якості продукції комбінату, так і з наявністю власних сучасних прокатних станів на ряду з трубоелектрозварювальним виробництвом.

Ключовою проблемою цеху в виробництві трубних марок сталі була неможливість ефективного видалення неметалевих включень, що в подальшому призводило до зниження фізико механічних властивостей готового прокату.

Сучасний комплекс позапічної обробки сталі і МБЛЗ конвертерного цеху ПрАТ «ММКІ», поставлений компанією Primetals Technologies, дозволяє досягати найвищої якості в виплавці і розливанні трубних марок сталі. З аналізу роботи комплексу слідує, що найбільш вимогливою до вмісту шкідливих домішок є марка, сталі 10Г2ФБ, яка є аналогом марки сталі для великого діаметру четвертого покоління Х70. Виробництво в умовах комбінату високоякісних трубних марок сталі мікролегованих Ti, V і Nb вимагає жорсткого дотримання технології їх позапічної обробки і розливання. Трубна продукція цеху відповідає найвищим європейським стандартам якості.

Основний матеріал дослідження. Сталь Х80 відрізняється від сталі Х70 великим вмістом Mo, Nb, Ti, Cu і Ni, а також іншим режимом конвертерної плавки, крім того вимоги до сталі Х80 по НВ і шкідливих домішок вищі.

Під час інтенсивної продувки металеві ванни інертним газом є швидке видалення неметалевих включень за рахунок інтенсивного їх укрупнення. Видалення НВ зі сталі в шлак може здійснюватися за рахунок флотації суспензії спливаючими бульбашками і прискореного укрупнення їх в потоках, що утворюються. Рафінуючи продування доцільно здійснювати в режимі дрібних бульбашок, рівномірно розподілених за обсягом розплаву.

Іншою важливою умовою швидкого видалення зі сталі твердих частинок (продуктів розкислення) є зустрічі з рідкими включеннями. При зустрічі твердої частинки з рідким включенням перша створює підвищений тиск на межі розділу і забезпечує його швидкий прорив, а друга швидко розтікається після утворення периметра змочування.

Ймовірність прикріплення бульбашки до твердої частинки складається з трьох етапів: потоншення плівки, прорив плівки і її стабілізація.

Встановлено [3], що для здійснення останніх 2-х етапів ймовірність стоншення плівки порівнянна з можливістю прикріплення міхура до неметалевого включення. У свою чергу, ймовірність прикріплення включення зростає при зменшенні розміру бульбашки і збільшення розміру частинок, що описується рівнянням Нав'є - Стокса. Це рівняння може бути

застосовано для позовжнього симетричного і асиметричного потоків бульбашок з числом Рейнольда. $Re < 400$ [5, 6].

Результати розрахунків ефективності видалення неметалевих включень за рівнянням $\varepsilon = (1 - e^{-K\tau})100$, де τ - час перебування НВ в області рідкої ванни проміжного ківшу, що продувається; K – константа, яка залежить від швидкості витікання газу в одиниці площі, температур сталі і газу в газорідному потоці та діаметру бульбашки.

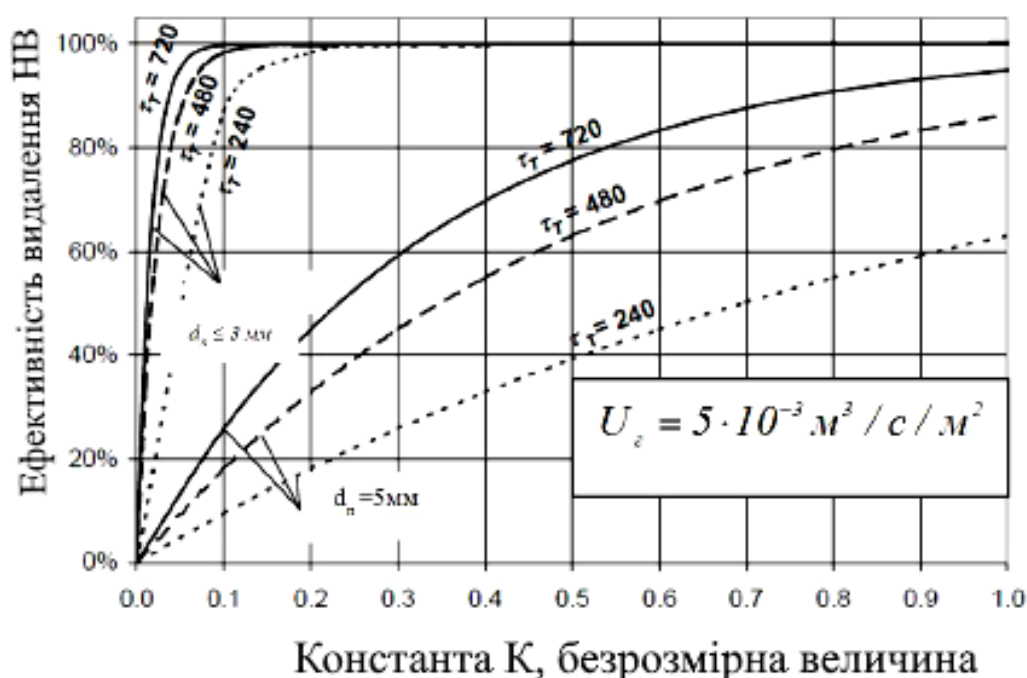


Рисунок – Вплив розміру бульбашки, обсягу області, що продувається і резидентного часу в проміжному ківшу на ефективність видалення неметалевих включень.

Для неметалічних частинок діаметром 40 мкм, як показано на рисунку, висока ефективність видалення неметалевих включень для бульбашок газу діаметром d_n менше чи дорівнює 3 мм практично не залежить від довжини області, що продувається газом, і часу перебування металу в проміжному ківші в діапазоні 240-720 секунд. У той же час для бульбашок газу розміром більше 5 мм обсяг області, що продувається і час перебування в ній рідкого металу істотно впливають на ефективність видалення включень.

В роботі [6] на модельних експериментах також було показано, що для високої ефективності видалення неметалевих включень (>80 %) розміром менше 60 мкм необхідно використовувати бульбашки газу розміром менше 3 мм.

У промислових умовах продування сталі аргонем в дрібнодисперсному режимі викликає певні технічні труднощі, обумовлені, перш за все, виготовленням продувних блоків з відповідною пористістю. Як правило, матеріал, з якого виготовлений продувний блок, не змочується рідкої сталлю. У дослідженнях [14-15], проведених на холодних і гарячих моделях при подачі газу через матеріал, що не змочується, показано, що бульбашка, яка виходить, розширюється на поверхні вогнетривкового матеріалу. Це ускладнює можливість контролю розмірів бульбашок, що утворюються, оскільки через отвір виходить міхур, який вже сформувався. Також існує можливість з'єднання бульбашок при їхньому відділенні від поверхні продувного блоку. При цьому бульбашковий режим продувки формується при досить малій витраті продувається газу. Характерною особливістю такого режиму продувки є утворення окремих бульбашок безпосередньо перед отворами для подачі газу. Зі збільшенням

Металургія

витрати вдувного газу спочатку збільшується частота утворення бульбашок, які зберігали колишній постійний обсяг. Надалі зберігається постійна частота утворення бульбашок, але збільшується їх обсяг.

Продувальні блоки забезпечували стабільну газопроникність протягом усього періоду експлуатації і можливість оперативного корегування величини витрати газу при продувці в діапазоні від 6 до 16 л/хв.

Порівняльний аналіз ефективності трансформації характеру перемішування сталі в проміжному ківші при наявності продувних балок на кількість і склад неметалевих включень в безперервно литих слябах і готовому прокаті досліджували шляхом розливання 8 дослідно-промислових серій (6-10 плавок в кожній) на МБЛЗ №1. В ході досліджень розлиті серії для низьковуглецевих, над низьковуглецевих і трубних марок сталі.

Для оцінки стану поверхні з досвідчених і порівняльних слябів відбиралися зразки (по кутах і серединах граней). Оцінку виконували після видалення окалини шляхом травлення в 50 % розчині соляної кислоти при 70 °С за методикою інституту ЦНДІ Чермет. Узагальнюючи результати оцінки якості поверхні досвідчених і порівняльних зразків, слід зазначити наявність явно виражених «слідів» осциляції з кроком, відповідним режиму хитання кристалізатора (близько 5 мм) і глибиною канавки до 0,9-1,0 мм, що відповідає 0 балу відповідно до вищевказаної методикою для обох випадків. Тим часом видимих істотних відмінностей між зразками з досвідчених і порівняльних злитків відзначено не було.

Оцінку забрудненості сталі здійснювали на полірованих шліфах з використанням мікроскопа «Axiovert-200» в світлому, темному і DIC полях при збільшенні $\times 100$ по ГОСТ1778-70 і ASTM E45-97 (метод найгірших полів). Зразки для досліджень відбиралися з готової продукції (листової сталі, прокатої з сляба до товщини 25 мм). Встановлено, що за більшістю показників отримані для порівняльного і досвідченого металу результати досить близькі між собою. Найбільші відмінності спостерігаються в показнику «точкові включення». Як показали спостереження, вони в переважній більшості мають округлу або овальну форму.

Розміри таких неметалічних включень, як правило, не перевищували 50-55 мкм. При цьому максимальний бал для досвідчених і порівняльних слябів дорівнює 2. Однак в досвідчених слябах кількість великих поодиноких включень (1,5 балу і вище) на 10-25 % нижче. Кількість поодиноких великих неметалевих включень зростає при розливанні сталей з наднизьким вмістом вуглецю. При цьому різниця в кількості включень в дослідному і порівняльному металі досягала 20-25 % при вдування через продувний блок аргону з витратою 10-12 л/хв.

При більш високих витратах аргону (наприклад, 15-16 л/хв) спостерігається інтенсивне нуртування металу і шлаку в зоні виходу бульбашок аргону, що обумовлює додаткове забруднення сталі в проміжному ківші.

Згідно з отриманими даними при інтенсивному бурлінні в дослідному металі спостерігається деяке збільшення кількості великих неметалевих включень (бал 2 і бал 2,5). Цей факт слід розглядати як свідчення того, що вдування аргону в проміжному ківшу має бути обмежена певними витратами, які не викликає бурління.

Аналізуючи причини наявності або виявлення великих неметалевих включень у відібраних пробах слід, перш за все, прийняти до уваги той факт, що вони мають переважно округлу форму. Ці включення являють собою оксисульфідні конгломерати, що включають такі елементи як кремній, алюміній, кальцій, сірка, кисень і інші. Це можна розглядати як свідчення того, що неметалеві включення є частинками захопленого в перемішування шлаку або конгломератами злиплих між собою частинок оксидів (продуктів розкислення і вторинного окислення) і сульфідів.

ВИСНОВКИ

У статті проведено аналіз світової тенденції і технологій виробництва сталі для нафтогазопровідних труб великого діаметру четвертого і п'ятого покоління. Лідируючими за якості виробництва цих сталей є країни Європи і Японії.

Підприємства України мають ряд проблем, що заважають їм вийти на світовий рівень виробництва цих марок сталі:

- 1) погана якість сировини;
- 2) фізичний і моральний знос обладнання;
- 3) слабо розвинена позапічна обробка металу;
- 4) застаріле проектування цеху і внутрішньої цеховий логістиці, що не дозволяє провести модернізацію (наприклад, майданчики цеху не дозволяють встановити сучасні агрегати позапічної обробки сталі);

- 5) недосконала логістика всередині комбінату що не дозволяє використовувати деякі сучасні агрегати і засоби (наприклад, кут поворотів залізничного полотна на більшості підприємств країни не дозволяє використовувати чавуновозі міксерного типу).

Застосування проміжного ківшу з повно профільними перегородками дозволяє знизити вміст включень всіх типів (в першу чергу розміром більше 20 мкм), яка зменшилася в 1,8 - 2,2 рази. Видалення зі сталі більш дрібних включень (менше 20 мкм) досягаються шляхом створення за перегородкою проміжного ківшу суцільний завіси з бульбашок аргону, що подається через пористий блок.

У роботі було проведено аналіз проблем, які заважають комбінату «ім. Ілліча» стабільно отримувати якісну сталь категорії міцності Х70. Впровадження мікролегування бором дозволить значно поліпшити показники і якість продукції, що випускається.

Видалення НВ зі сталі в шлак може здійснюватися за рахунок флотації суспензії.

Рафінуючи продування доцільно здійснювати в режимі дрібних бульбашок, рівномірно розподілених за обсягом розплаву.

Умовою швидкого видалення зі сталі твердих частинок (продуктів розкислення) є їх зустрічі з рідкими включеннями.

Для неметалічних частинок діаметром 40 мкм, як показано на рисунку, висока ефективність видалення неметалевих включень для бульбашок газу діаметром менше чи дорівнює 3 мм практично не залежить від довжини області, що продувається газом, і часу перебування металу в проміжному ківші в діапазоні 240-720 секунд.

У той же час для бульбашок газу розміром більше 5 мм обсяг області, що продувається і час перебування в ній рідкого металу істотно впливають на ефективність видалення включень.

Зразки для досліджень відбиралися з готової продукції (листової сталі, прокатаної з слябу до товщини 25 мм).

При оцінці забрудненості сталі встановлено, що за більшістю показників, які отримані для порівняльного і досвідченого металу, результати досить близькі між собою. Найбільші відмінності спостерігаються в показнику «точкові включення». Як показали спостереження, вони в переважній більшості мають округлу або овальну форму.

Кількість поодиноких великих неметалевих включень зростає при розливанні сталей з наднизьким вмістом вуглецю. Різниця в кількості включень в дослідному і порівняльному металі досягала 20-25 % при вдування через продувний блок аргону з витратою 10-12 л/хв.

При високих витратах аргону (наприклад, 15-16 л/хв) спостерігається інтенсивне бурління в дослідному металі та спостерігається деяке збільшення кількості великих неметалевих включень (бал 2 і бал 2,5).

При інтенсивному бурлінні вдування аргону в проміжному ківшу має бути обмежено певними витратами, які не викликають бурління рідкого металу.

Металургія

Великі неметалеві включення у відібраних пробах мають переважно округлу форму. Ці включення являють собою оксисульфідні конгломерати, що включають такі елементи як кремній, алюміній, кальцій, сірка, кисень і інші.

Список використаних джерел

1. Bakolas Th., Neutjens J., Cantinieaux P., Harlet Ph. Development of high strength for line pipe applications in a wide strip mill (from API X60 to X85) // Proceedings of the 3rd International Pipeline Technology Conference, Brugge, Belgium, May 21-24, 2000. P. 247-263.
2. Barthel H., Hammerer W., Suppaner M. Segment Purging Plugs for Steel Treatment in Ladles // Taikabutsu – Refractories. 1998. 50. No3. – P.128-136.
3. Bleck W., Massip A., Meyer L., Muschenborn W. How to Improve Mechanical Properties of High Strength Steels for the Automotive Industry. Proceeding of Int. Conf. of technology and application of HSLA steels. 1983. Philadelphia. P. 337-344.
4. C. M. Spinelli, eni g&p division/ L.Prandi, eni g&p division/ 7th Pipeline Technology Conference 2012 – High Grade Steel Pipeline for Long Distance Projects at Intermediate Pressure D Tech, 6, 1990, P. 1131-1138.
5. Davies R.M., Taylor G. The Mechanics of Large Bubbles Rising through Extended Liquids and through Liquids in Tubes // Proceeding the Royal of Society A. 1950. Vol. 200. № 1002. February. – P.375 – 390.
6. Dobby G.S., Finch G.H. Particle size dependence in flotation derived from a fundamental model of the capture process // International Journal of Mineral Processing. 1987. № 21. – P.241 – 260.
7. Taira T., Tsukada K., Kobayashi Y., Tanimura M., Inagaki H., and Seki N. HIC and SSC Resistance of Line Pipes for Sour Gas Service Development of Line Pipes for Sour Gas Service // Nippon Kokan Technical Report Overseas. 1981. No. 31. P. 1-13.
8. Tassot P. Innovative concepts for steel ladle porous plugs // Millenium Steel. 2006. – P.111-115.
9. Tassot P., Reichert N. Ways of Improving Steel Quality in the Tundish // Revue de Metallurgie. – 107. – 2010. - Pp.175-185.
10. Wang M. X., He L. X. Effect of boron on structure and properties of low carbon bainitic steels // ISIJ International. 2002. Vol. 42. Supplement. P. 38 –46.
11. Yogeshwar Sahai, Toshihiko Emi. Tundish Technology for clean steel production / The Ohio State University, USA; Institute of research of Iron and Steel, Jangsu/ Sha – Steel, China. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2008. – 329 p.
12. Gladman T. // Int. Conf.Clean Steel4.The Institute of Materials. London. 1992. P. 3-24.
13. Gladman T. Dulieu D., Me Ivor I. D. // Proceedings Microalloying 75, Union Carbide Corp. New York. 1977. P. 32-55.
14. Gray J. M. Alloy design options and compositional trends for HSLA line pipe // Proceedings of the International Conference “Microalloying ‘88” held in Chicago, Illinois, USA. September 24-30, 1988. P. 61-66.
15. Hillenbrand H.G., Heckmann C.J., Niederhoff K.A./ EUROPIPE GmbH, Ratingen, Germany/ X80 line pipe for large-diameter high strength pipelines.

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF CASTING PIPE STEEL GRADES

Modern steel production in metallurgy is dictated by the continuous tightening of requirements for metal quality. Along with the reduction in the level of harmful impurities (sulfur, phosphorus, gases, non-ferrous metals), increasing attention is paid to the degree of purity of steel in terms of non-metallic inclusions (NIM), which affects the anisotropy of properties, the threshold of cold brittleness, weldability, susceptibility to aging, etc.

Converter production has the greatest potential in the steelmaking sector due to its reliability and high cost-effectiveness. The development of technologies for the production of oil and gas pipelines is one of the most promising and sought-after industries in modern metallurgy. Analysis of the economic situation by leading specialists and scientists has shown that the price of oil and gas will steadily increase every year. This is due to the constant depletion of existing deposits and high resource and energy costs for the development of new deposits.

Therefore, the construction of reliable oil and gas pipelines will be the primary task of metallurgical enterprises that have managed to master modern technologies for smelting pipes of the 4th and 5th generations, which will always be competitive in the market.

The paper reviews global trends in the production of high-strength large-diameter oil and gas pipelines in European countries, Japan and Ukraine. Conclusions are drawn about the prospects for the development of technologies in this area for our country.

Using global trends, an analysis of the possibilities of producing steel for oil and gas pipelines of the fourth and fifth generations at the Mariupol Ilyich Steel Plant (MMKI) was performed, as well as an analysis of problems that may arise during the smelting of these steels.

Keywords: oxygen-converter production, steel, technological cycle, product range, continuous casting machine, mold, non-metallic inclusions, slab, quality.

Стаття надійшла 30.05.2025р.

УДК 669.162.22

doi.org/10.31498/2522-9990292025330252

Черевко О.О., Щербаков С.В.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО КЕРУВАННЯ КОНВЕРТЕРНОЮ ПЛАВКОЮ

У статті розглянуто проблеми підвищення ефективності конвертерного виробництва сталі шляхом впровадження автоматизованих систем з динамічним керуванням, що ґрунтуються на безперервному отриманні та обробці інформації про параметри технологічного процесу.

Проаналізовано існуючі підходи до математичного моделювання конвертерних процесів. Наведено можливості практичного застосування статичних та динамічних моделей, що використовуються для розрахунку шихти та матеріального балансу плавки, описують кінетику процесів, зокрема, швидкість знеуглецювання та зміну температури. Показано, що поєднання статичних і динамічних моделей дозволяє створити комплексну систему керування, здатну здійснювати автоматичне ведення технологічного процесу.