

- ки и непрерывной разливки / Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. – М.: Теплотехника, 2008. – 528с.
4. Поволоцкий Д.Я. Внепечная обработка стали / Поволоцкий Д.Я., Кудрин В.А., Вишкарев А.Ф. – М.: МИСИС, 1995. – 256с.

Надійшла до редколегії 29.03.2013.

УДК 621.746.27

ПОНОМАР О.С., магістр
ОГУРЦОВ А.П., д.т.н., професор

Дніпродзержинський державний технічний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ НА ВАТ „ДНІПРОВСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ”

Вступ. У статті освітлено етапи впровадження і удосконалення технології безперервного розливання сталі, що включають реконструкцію проміжного ковша, підбір вогнетривких матеріалів підвищеної стійкості і високотехнологічних утеплювальних сумішей для захисту дзеркала металу в проміжному ковші. Підвищення продуктивності МБЛЗ можливо також за рахунок збільшення середньої швидкості витяжки заготовки і за рахунок частки плавки, що відливаються методом «плавка на плавку» з підвищенням кількості плавки в одній серії. Впровадження вказаних заходів дозволило довести серійність з використанням одного промковша на блюмовій МБЛЗ до 16 плавки, а на сортовій МБЛЗ – до 35 плавки.

Постановка задачі. Збільшення серійності плавки та вдосконалення технології безперервного розливання сталі.

Результати роботи. Максимальна продуктивність МБЛЗ забезпечується у режимі «плавка на плавку». Кількість плавки у серії визначається роботою устаткування МБЛЗ (промковша, кристалізатора, вторинного охолодження й ін.) і організацією роботи в системі конвертер – піч-ківш – МБЛЗ.

Збільшення продуктивності МБЛЗ і виходу придатної заготовки може бути досягнуто головним чином при більшій серійності розливання з можливим збільшенням тривалості експлуатації кожного проміжного ковша. Основна обмежна ланка – стійкість робочого шару футеровки ковша, а також працездатність стопорів – моноблоків і стаканів дозаторів, тобто підтримка режиму дозування впродовж усього циклу розливання. Зростання продуктивності МБЛЗ забезпечено у результаті підвищення швидкості витягування заготовок, збільшення числа плавки, що розливаються в серії, підвищення експлуатаційної надійності устаткування.

Перевага розливання сталі довгими серіями – зростання продуктивності МБЛЗ при одночасному збільшенні показника виходу придатної безперервнолитої заготовки до 98,5-99%, що на 5-6% більше, ніж при розливанні серіями по 4 плавки. Таке збільшення виходу придатного відповідає економії витрати енергії в середньому на 17,7-35,4 кг умовного палива на тонну розливої сталі.

Розглядаючи досвід вітчизняних заводів на прикладі ДМКД, можна прийти до незадовільних висновків порівняно з закордонним досвідом. Виявлено недоліки вітчизняної практики у способі розливки «плавка на плавку» та проаналізовано існуюче положення на підставі статистичної обробки плавки.

Було проаналізовано вплив кількості металу, що обрізають в серії, на вихід придатного. Результати представлені на рис.1.



Рисунок 1 – Залежність відсотку обрізі від кількості плавок в серії

Відповідно крива описується рівнянням:

$$y = 3,7264 \cdot x^{-1,0058}, R^2 = 0,9329, \quad (1)$$

де x – кількість плавок в серії, шт.; y – відсоток обрізі, %.

Коефіцієнти кореляційного відхилення дуже близькі до одиниці, що свідчить про високу достовірність отриманої інформації.

Аналіз встановив, що підвищення плавок в серії призводить до зменшення кількості обрізі, тим самим веде до збільшення продуктивності машини та збільшення виходу придатного. Відповідно до цього досліджено вплив кількості плавок в серії на вихід придатного (рис.2).

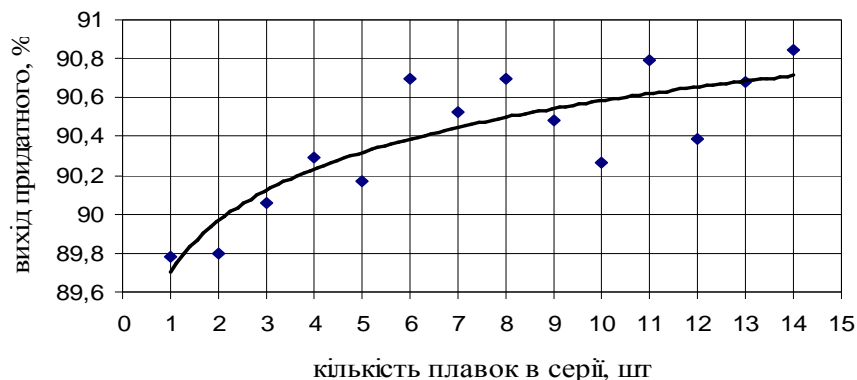


Рисунок 2 – Залежність виходу придатного від кількості плавок в серії

Характер залежності є ступеневим, що говорить про те, що вихід придатного змінюється за законами степеня. Крива описується рівнянням:

$$y = 89,701 \cdot x^{0,0043}, R^2 = 0,7316, \quad (2)$$

де x – кількість плавок в серії, шт.; y – вихід придатного, %.

Показник – вихід придатного, був розрахований для кожної плавки і взятий як середнє арифметичне по кожній серії.

Узгодження роботи конвертора й МБЛЗ проводиться через агрегат «під-ківш» (ПК), що відіграє роль буфера, згладжуючи коливання тривалості циклів виплавки й розливання сталі. За рахунок електрообігрівання можна практично необмежений час витримувати в ковші метал, підготовлений до розливання. Слід зазначити, що в лінії агрегатів конвертер – ПК – МБЛЗ ритм процесу визначається тривалістю безперервного розливання плавки. Стабілізація умов безперервного розливання дозволить збільшити кількість плавок у серії до рівня, обумовленого технологічними можливостями МБЛЗ

(до 20 і більше плавок). Це створює умови для розливання всієї сталі, виплавленої в цеху на МБЛЗ.

Збільшення показника серійності призводить до збільшення не лише виходу придатного, але й до збільшення продуктивності за рахунок скорочення часу на підготовку машини безперервного лиття заготовок до наступної серії (рис.3).



Рисунок 3 – Залежність відсотка підготовчих операцій від кількості плавок в серії

Крива описується рівнянням:

$$y = 48,993 \cdot x^{-0,8209}, \quad R^2 = 0,9952, \quad (3)$$

де x – кількість плавок в серії, шт.; y – відсоток підготовчих операцій, %.

28 січня 2011 року у конвертерному цеху Дніпровського металургійного комбінату ім. Ф.Е.Дзержинського було запущено МБЛЗ №3. Після введення її до експлуатації на комбінаті одночасно в роботі можуть експлуатуватися три машини безперервного лиття заготівки:

- МБЛЗ №1 – потужність 1,4-1,7 млн. т/р;
- МНЛЗ №2 – потужність до 0,7 млн. т/р;
- МБЛЗ №3 – потужність 1,4-1,7 млн. т/р.

Таким чином, продуктивність відділення безперервної розливки сталі комбінату може складати від 3,5 до 4,1 млн. т/р. Максимальне виробництво конвертерного цеху за умови експлуатації 2-х конвертерів та установки «під-ковш» може досягати до 4,2 млн. т/р. Доля безперервної розливки може досягати від 83 до 97% від загального обсягу виробленої сталі.

Реконструкція конвертерного цеху зі спорудженням сортової МБЛЗ №3 дозволила:

- збільшити продуктивність відділення безперервної розливки сталі;
- збільшити на 25% у структурі виробництва частку безперервнолитої заготівки за рахунок відповідного зменшення частки злитків;
- у цілому знизити експлуатаційні витрати у прокатній переробці;
- знизити у відповідності до комплексної програми з охорони навколишнього середовища кількість шкідливих викидів в атмосферу за рахунок вилучення з експлуатації нагрівальних колодязів для нагрівання злитків.

Упродовж усього періоду експлуатації машин безперервного лиття проводилися спроби по збільшенню їх продуктивності шляхом підвищення серійності, модернізації існуючого устаткування і підбору високоякісних вогнетривких і шлакотворних матеріалів.

Досвід експлуатації МБЛЗ показав, що основною перешкодою до збільшення серійності була невисока стійкість проміжного ковша, секцій вторинного охолодження, якість використовуваних утеплювальних і шлакотворних сумішей проміжного ковша.

На підставі цього намічено комплекс заходів для усунення вищезгаданих недоліків, які проводилися за наступними напрямками.

Вдосконалення конструкції проміжних ковшів. Проектна конструкція проміжного ковша з цегляним футеруванням надійно забезпечувала розливання серій до 8 плавок, проте при подальшій спробі збільшення серійності температура металевого кожуха проміжного ковша після розливання 9-ої плавки в серії в районі задньої стінки досягала 350°C. Нерівномірна температура футерування проміжного ковша призводила до деформації металевого кожуха, порушення цілісності футерування і проникнення до кожуха рідкого металу через зношене футерування з подальшим прогаром броні промковша [1].

Для усунення вказаних недоліків конструкція промковша була модифікована шляхом виконання з боку задньої стінки футерованого виступу розміром 120x2000x1200 мм. Це забезпечило підвищення товщини робочого шару задньої стінки проміжного ковша в два рази і таким чином дозволило збільшити планову стійкість футерування до 14 плавок та відповідно понизити питомі витрати на вогнетриви і зменшити утворення відходів на 2-3 кг/т в порівнянні з розливанням сталі в ковші проектної конструкції.

Підбір вогнетривів проміжного ковша. Футерування проміжних ковшів для МБЛЗ № 1 і 3 виконують з вогнетривких жаростійких бетонів марок Criterium 80 PE (виробництво фірми "Візувіус") і Ceralit Cast AL 58007 (виробництво фірми "Кераліт"). З метою підвищення продуктивності і збільшення тривалості розливання в 2011 р. на сортових МБЛЗ № 1 і 3 провели випробування і впровадили в технологію підготовки проміжних ковшів трисекційні захисні плити марки КПБ-90 № 53; 54; 55 (виробництво ТОВ "Фематек-Україна"). За рахунок їх застосування збільшено тривалість розливання до 36 годин і більше. [2] Фізико-хімічні показники захисних плит марки КПБ-90 представлено в табл.1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники захисних плит марки КПБ-90

Показники	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	Після випалу при T=500°C		
			об'ємна густина, г/см ³	міцність на стискання в холодному стані, Н/мм ²	відкрита пористість, %
Повинна бути	не менше 88	не менше 0,9	не менше 3,0	не менше 20	не менше 18

Крім того, після проведення випробувань сухої торкрет-маси марки PN-TDL-MS41 і металопримачів марки PN-T39-х-ДМКД (виробництво ТОВ "Пуянг-Керамет") отримані позитивні результати – максимальна стійкість склала 27 плавок при тривалості розливання 40 годин.

Підбір шлакотворних і утеплювальних сумішей промковша. Для утеплення металу в промковші нині використовують теплоізолюючі суміші ТІС-2-М (МБЛЗ № 1 і 3) (табл.2) і ТІС-2 (МБЛЗ № 2) (табл.3) виробництва фірми "Техмет" (Донецьк, Україна), що дозволяють розливати до 30 плавок в серії на МБЛЗ № 1, № 3 і понад 20 плавок – на МБЛЗ № 2 [3].

Таблиця 2 – Хімічний склад суміші ТІС-2-М

Марка суміші	Масова частка, %						
	С	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	$\frac{(CaO + MgO)}{SiO_2}$
ТІС-2-М	15-20	28-33	15-20	10-15	н.б. 5	н.б. 3	3,0-3,5

Таблиця 3 – Хімічний склад суміші ТІС-2

Марка суміші	Масова частка, %						$\frac{(\text{CaO} + \text{MgO})}{\text{SiO}_2}$
	C	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	
ТІС-2	25-30	20-25	8-12	15-20	н.б. 5	н.б. 3	1,4-1,8

Динаміку середньої серійності розливання плавок на шестиструмкових МБЛЗ наведено на рис.4.

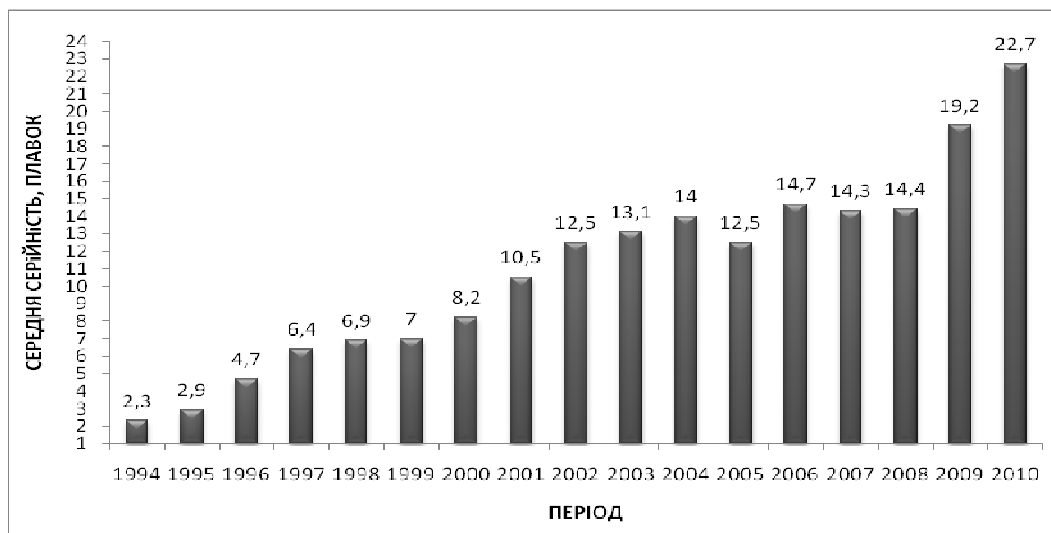


Рисунок 4 – Динаміка зростання середньої серійності плавок на шестиструмковій МБЛЗ

Паралельно з удосконаленнями конструкції окремих вузлів МБЛЗ проведено велику роботу по збільшенню маси плавки. Зростання маси плавки забезпечено реалізацією комплексу робіт по оптимізації шихтовки плавки і збільшенню об'єму сталерозливних ковшів, вантажопідйомності кранового устаткування.

Динаміку збільшення середньої маси плавки наведено на рис.5.

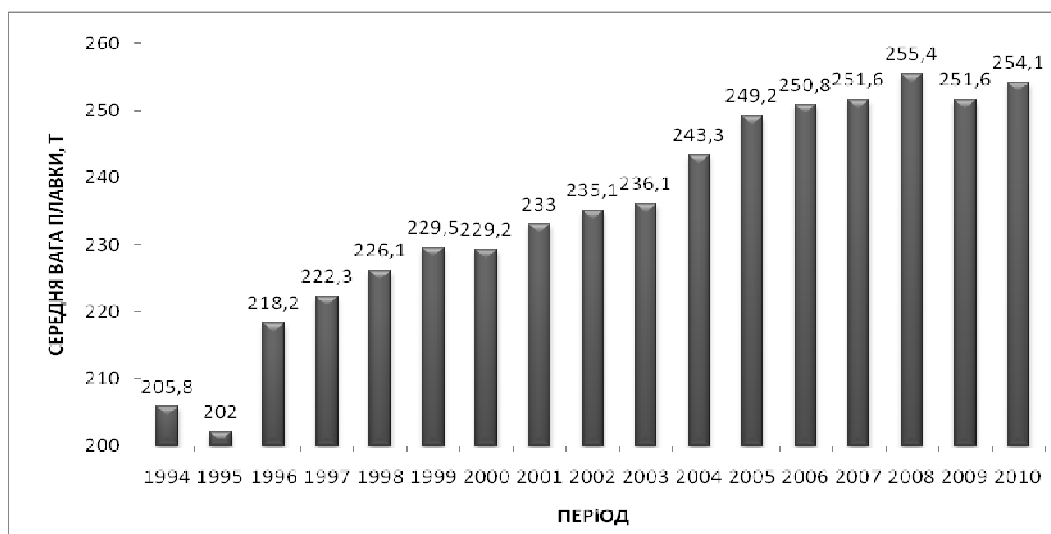


Рисунок 5 – Динаміка збільшення середньої маси плавки

Деяке зниження маси плавки на МБЛЗ в 2009-2010 роках пояснюється світовими кризовими процесами в чорній металургії в цей період.

Велика увага приділяється якості безперервно литої заготовки. З удосконаленням технології розливання сталі на блюмовій МБЛЗ неухильно відбувалося зниження браку. Якщо в початковий період впровадження безперервного розливання кількість браку на МБЛЗ складала 5,3-7,6 кг/т відливої сталі, то після 2000 р. кількість браку вже не перевищувала значення 2 кг/т з поступовим досягненням в 2007 р. величини в 1,3 кг/т і стабілізації на цьому рівні в подальші періоди.

Макроструктура трубних заготовок діаметром 150-270 мм, отриманих з безперервнолитою металу, повністю відповідає вимогам ГСТУ 3-009-2000.

Для поліпшення макроструктури безперервнолитої заготовки заплановано придбання і введення в дію обладнання електромагнітного перемішування на МБЛЗ № 1 і 3, що дозволить відливати на них трубну заготовку діаметром до 210 мм. На МБЛЗ № 2 проводять дослідження впливу вібрації на якість безперервнолитою металу (отримані перші позитивні результати). Також фахівці ВАТ "ДМКД" планують вивчити вплив газоімпульсного перемішування на якість макроструктури заготовки на МБЛЗ № 1.

Висновки. Статистичним дослідженням доведено високу ефективність метода «плавка на плавку» – з ростом кількості плавок в серії кількість придатного та продуктивність МБЛЗ зростають відповідно до закону ступеня. Отримані рівняння залежності цих показників від кількості плавок у серії рекомендовано для налагодження розливки з високим показником серійності.

За майже дворічний досвід експлуатації семиструмкової сортової МБЛЗ проведено комплекс заходів по вдосконаленню технології і збільшенню серійності плавок. Підбір високоосновної утеплювальної суміші для захисту дзеркала металу в промковші дозволив значно зменшити знос футерування в районі шлакового пояса і забезпечити серійність у кількості 25-27 плавок в серії. Крім того, виконано реконструкцію окремих проміжних ковшів шляхом збільшення їх висоти. Це дозволило за рахунок періодичної зміни рівня металу в промковші під час розливання, з одного боку, розосередити по висоті зношувану частину футерування і скоротити в цілому її знос по товщині, з іншого – підвищити рівень металу в промковші, за рахунок чого дещо збільшити швидкість витягування заготовок, скоротивши тим самим тривалість розливання плавки і усієї серії в цілому, що дало можливість за аналогічний час розлити більшу кількість плавок. Серійність на реконструйованих промковшах доведена до 30-35 плавок.

ЛІТЕРАТУРА

1. 50 лет непрерывной разливке стали в Украине: зб. наук. праць за матеріалами конф., 4-5 листопа. 2010 р. / наук. ред. проф. Дюнкін Д.А., проф., д.т.н. Смірнова А.Н. – Донецьк нац. техн. університет, 2010 р. – С.138-146.
2. Залкінд И.Я. Огнеупоры и шлаки в металлургии / Залкінд И.Я., Троянкін Ю.В. – М.: Металлург, 1963. – 460с.
3. Опыт использования универсальных теплоизолирующих смесей для промежуточного ковша / [А.П.Кривенко, А.Н.Легченков, Ю.В.Климов и др.] // Сталь. – 2007. – № 11. – С.13-16.
4. Повышение эксплуатационного ресурса металлоприемника и футеровки промковша 6-тиструйной сортовой МБЛЗ / [Смирнов А.Н., Подкорытов А.Л., Климов В.Г. и др.] // Сталь. – 2009. – №11. – С.23-27.
5. Дюдкин Д.А. Регулирование разливки на МНЛЗ / Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. // Металл и литье Украины. – 2009. – № 3-4. – С.3-6.

Надійшла до редколегії 29.03.2013.