

- технологических маршрутов конвертерного производства железобуглеродистого полупродукта: автореф. дисс. на соискание науч. степени докт. техн. наук: 05.16.02 „Металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов” / Е.Н.Сигарев. – Днепропетровск, 2013. – 531с.
3. Этапы совершенствования конструкций гарнисажных фурм и технологий ошлакования футеровки 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» / Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н., Чернятевич И.В. [и др.] // ОАО Черметинформация. – Бюллетень „Черная металлургия”. – 2012. – №6. – С.55-64.
 4. Пат. 74235 Україна, С21С 5/48. Фурма для нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера / Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Мальцев В.Г.; заявник і патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № у 201203221; заявл. 19.03.12; опубл. 25.10.12, Бюл. №20.
 5. Пат. 103410 Україна, С21С 5/48. Спосіб нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера та фурма для його здійснення / Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Чубіна О.А.; заявник і патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № а 201203224; заявл. 19.03.12; опубл. 10.10.13, Бюл. №19.

Поступила в редколлегию 16.06.2014.

УДК 669.182.001.57

ОГУРЦОВ А.П., д.т.н., професор
ДУШКЕВИЧ Д.І.*, провідний інженер
КОВАЛЬ А.П., аспірантка

Дніпродзержинський державний технічний університет
*ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг”

ПУСК МАШИНИ БЕЗПЕРЕВНОГО РОЗЛИВУ НА ПАТ „АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ”

Вступ. Розливка сталі в сталеплавильному виробництві відіграє суттєву роль. Саме вона багато в чому визначає якість готової металопродукції. Промислове використання в ХХ столітті безперервного розливання сталі стало революцією в металургії, так як така технологія дозволяє довести вихід придатних заготовок практично до 99,9% проти 92% при використанні класичної технології розливки сталі у виливниці при суттєвій економії матеріальних і енергетичних ресурсів, покращення умов праці. Тепер про місце тієї чи іншої держави в світовому рейтингу можна впевнено судити по долі металу, що розлитий на машинах безперервної розливки заготовок (МБЛЗ). Так, наприклад, в Японії цей показник вже досяг 97%, в Україні ж він поки що не перевищив рівня 15%.

Тепер таке положення в металургії України почало змінюватися в кращу сторону. Згідно з перспективними планами передбачається на МБЛЗ розливати до 85% усієї сталі, що в значній мірі забезпечить підвищення виходу придатного металу [1].

У жовтні 2011 року на ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг” була введена в експлуатацію шестиструмова машина безперервного розливу сталі, після розливу сталі на якій отримують квадратну заготовку перерізом 150×150 мм. У лінії МБЛЗ використовується також установка „піч-ківш” (УПК) фірми „Siemens VAI”, яка передбачає наступні види позапічної обробки сталі: продувку металу інертним газом (аргоном, азотом) через донні продувальні блоки сталерозливного ковша для усереднення металу по хімічному складу і температурі, вилучення неметалевих включень; нагрів металу електричною дугою; проведення замірів температури, окисненості і відбір проб металу і шлаку; коригування окисненості і хімічного складу сталі шляхом введення шматкових феросп-

лавів і порошкового дроту з різними наповнювачами; десульфурація і часткова дефосфорація металу.

Установка „піч-ківш” включає в себе наступне основне обладнання і системи: робочий майданчик із вбудованими приміщеннями поста керування, трансформатор; системи газоочистки і пиловловлювання; систему зберігання, зважування, дозування і механізованої подачі сипучих (феросплавів і шлакоутворюючих матеріалів); трайб-апарат для введення в метал алюмінієвого дроту, порошкового дроту з різними наповнювачами; водоохолоджувальне склепіння і механізм його підйому; електродний портал із графітовими електродами (діаметр електрода – 457 мм, довжина – 1800-2200 мм); трансформатор (вторинна напруга – 220-340-350 V, потужність – 26МВА, кількість ступенів напруги – 10); систему для донної продувки інертним газом 1000 нл/хв. (1,0 м³/хв.) і тиском інертного газу на вході не менше 10 бар (1,0 МПа); маніпулятор для замірів температури, окисненості і відбору проб металу; стенди для зберігання електродів, зборки електродів; сталевіз для подачі стального ковша на УПК (рис.1) [1].

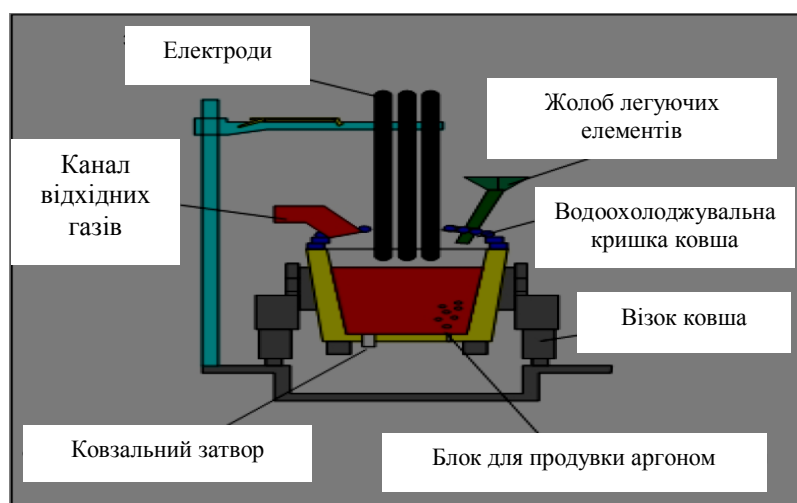


Рисунок 1 – Схема УПК

Постановка задачі. Дати характеристику та послідовність усім способам позапічної обробки сталі на УПК та простежити за процесом розливу сталі на МБЛЗ.

Результати роботи. Позапічна обробка на УПК відбувається, як правило, в такому порядку: усереднена продувка, нагрів металу: вапно шматкове (сумарні витрати до 1 т порціями по 0,3-0,4 т); плавиковий шпат (за необхідністю порцією до 0,1 т); відбір проб металу, замір температури і окисненості; коригування температури і хімічного складу; феросплави (сумарні витрати до 1 т порціями по 0,1-0,4 т); вугілля, коксик (шматковий, порції до 0,3т) або дріт з порошковим наповнювачем; вуглець (порції до 500м); коригування окисненості сталі: алюміній (чушка, гранули) або алюмінієвий дріт, або алюмінієвмісні матеріали.

Введення порошкового дроту з кальцієвмісними наповнювачами проводиться з метою десульфурації металу і отримання алюмінатних неметалевих включень глобулярної форми (модифікування сталі) з метою покращення умов розливу на МБЛЗ. В ківші з металом, що потребує вилучення сірки або модифікування, після проведення усередненої продувки металу проводиться замір температури і відбір проби металу. Після отримання результатів хімічного аналізу проводиться коригування хімічного складу металу. Введення порошкового дроту на УПК проводиться по закінченні коригування окисненості, хімічного складу металу і наступного електронагріву. Уся потрібна кількість дроту вводиться відразу повністю. Необхідно враховувати, що введення порошкового дроту в кількості 1,0 кг/т знижує температуру металу на 10-15⁰С. Під час введення порошкового дроту витрати аргону повинні скла-

дати від 80-100 л/хв. (0,08-0,10 м³/хв.) на кожний продувальний блок, без оголення дзеркала металу („м’яка продувка”), при цьому інтенсивність перемішування сталі повинна забезпечувати мінімальне хвилювання металу.

Шлак перед введенням порошкового дроту повинен бути рідкорухомим. Введення дроту здійснюється із швидкістю, наведеною в табл.1 [2].

Таблиця 1

Температура металу в ковші на момент подачі дроту ,С	Швидкість введення порошкового дроту, м/хв.
1550	180
1555	185
1560	190
1565	196
1570	202
1575	209
1580	216
1585	223
1590	231
1595	240
1600	249
1605	259
1610	270
1615	282
1620	294

Продувка металу інертним газом після закінчення введення порошкового дроту і перед видачею плавки на МБЛЗ повинна проводитися не більше 7 хв. з витратами аргону від 100 до 150 нл/хв. (0,10-0,15 м³/хв.) на кожний продувальний блок, без оголення дзеркала і мінімальним хвилюванням металу. Необхідно враховувати, що електронагрів на УПК, проведений після введення порошкового дроту, а також тривала (більше 7 хв.) продувка металу інертним газом після введення дроту призводять до зниження засвоєння вмісту кальцію в готовому металі. При обробці сталі дротом із SiCa необхідно враховувати підвищення вмісту кремнію, що вноситься із SiCa, так як при обробці сталей дротом із AlCa необхідно враховувати внесений алюміній.

Перед введенням порошкового або алюмінієвого дроту необхідно перевірити стан спрямовуючої труби на трайб-апараті і у випадку необхідності зробити її заміну (якщо нижня частина спрямовуючої труби згоріла (стала коротшою). При короткій спрямовуючій трубі частина дроту кладеться на шлак, не

потрапляючи в метал. Коригування при необхідності вмісту вуглецю в металі відбувається введенням вуглецевмісного порошкового дроту або вугіллям (коксиком). Присадка 15 кг на ківш вуглецевмісного дроту вводить 0,01% вуглецю. Максимальне науглецювання металу вуглецевим дротом допускається на величину не більше 0,05%. Витрати порошкового дроту діаметром 13-16 мм для коригування хімічного складу сталі наведено в табл.2 ,3.

Таблиця 2 – Рекомендовані витрати порошкового дроту діаметром 13 мм

Елемент (матеріал), що вводиться	Величина коригування, %					
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Вуглець (графіт), м	150	240	360	480	600	720
Кремній (ФС75), м	150	240	360	480	600	720
Марганець (ФМн70), м	30	60	90	120	150	180

Таблиця 3 – Рекомендовані витрати порошкового дроту діаметром 16 мм

Елемент (матеріал), що вводиться	Величина коригування, %					
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Вуглець (графіт), м	108	174	264	354	444	528
Кремній (ФС75), м	93	150	225	300	375	450
Марганець (ФМн70), м	20	40	60	80	101	121

Кінцеве коригування температури металу в сталерозливному ковші перед передачею на МБЛЗ здійснюється на установці позапічної обробки сталі.

На ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг” були проведені дослідні плавки з розливом сталі на МБЛЗ. Після виплавки металу в конвертері випуск металу в ківш проводився при температурі 1709⁰С (по ТК № 41690 – 1710⁰С), при цьому замір окисненості металу в конвертері склав 1682 ppm. Тривалість випуску склала 4 хв. 22 сек., обробку металу в ковші проводили продувкою аргоном на протязі усього випуску з втратами газу 1,5 м³/хв.

Температура металу в сталерозливному ковші після випуску склала 1680⁰С (по ТК № 41630 – 1645⁰С), при цьому замір окисненості металу в ковші склав 24,6 ppm (по ТІ не більше 45 ppm). Розкислення металу проводилося в сталерозливному ковші. Витрати розкислювачів і алюмінію на плавку наведено в табл.4.

Угар легуючих елементів, що вносяться феросплавами (без урахування легуючих елементів SiCa дротом, так як відсутні дані фактичної ваги, метражу і діаметру дроту, а також нетехнологічність їх введення в ківш – на дзеркало металу) наведено в табл.5.

Таблиця 4

Витрати розкислювачів, кг /пл			
FeMn	FeSi	Al	SiCa дріт
900	200	338	60

Таблиця 5

Х/с готової сталі, %	C	Mn	Si	Al
№ 254383	0,22	0,65	0,126	0,19
розкислювали на:	0,22	0,65	0,13	0,26
Угар	7,1	6,9	3,1	26,9

Хронометраж операцій: видача плавки в розливне відділення 19:49; накриття кришкою 4 хв. (19:53); перестановка із сталевозу на лафет 5 хв. (19:58); доставка від КЦ до ВБРС 17 хв. (20:15); намагання зняти кришку 6 хв. (20:21); постановка на стенд 7 хв. (20:28); підготовка промковша 7 хв. (20:35); поворот стенда, підготовка і початок розливу 6 хв. (20:41); всього від видачі до початку розливу 52 хв. (по ТК № 4 – 50 хв). Розлив сталі проводився без заміру температури в сталерозливному ковші після транспортування (не змогли зняти кришку), бо заклинило електроди. В ході розливу сталі відкрито струмки № 1, 3, 5. Розлив зупинено на струмку №1 по механічній частині – впирання заготовки на виході із вторинної зони охолодження, на струмку № 3 – з причини викривлення заготовки на виході із тягнучо-правильної машини, на струмку № 5 – через затримку з відділенням головки затравки.

Загальна довжина відливої заготовки з урахуванням залишеної в струмках складає до 50 м (розрахункова вага до 9 т). Залишок металу в промковші в кількості 25 т переведено в скрап. Залишок металу в сталерозливному ковші склав 62 т. Його відправлено в цех і перелито в міксер для подальшого використання.

Заміри температури сталі в проміжному ковші склали: 1554⁰С, 1577⁰С, 1569⁰С (по ТІ 1540-1555⁰С). Рівень металу в кристалізаторі склав 100 мм від верху зрізу. Діаметр стакан-дозатора проміжного ковша – 18 мм. Швидкість початку розливу склав 2,5 м/хв. Подальший розлив проводили із швидкістю 2 м/хв. (по ТІ при розливі відкритим струменем 2,43-3,43 м/хв.). Рівень занурення стакану в метал склав 18 мм. Витрати води на охолодження кристалізаторів – 2000 л/хв. (по ТІ 2100л/хв.). Витрати мастила, що подається в кристалізатор – 150 мл (по ТІ до 150 мл). Перепади температури Δ Т води первинного охолодження – 6⁰С (по ТІ не більше 10⁰С). Після розливу сталі марки СтЗнс на МБЛЗ відібрана проба, розлив проводився по третьому струмку. Швидкість початку розливу склала 2,5 м/хв. Витрати води на охолодження кристалізатора – 2000л/хв. При візуальному огляді на поверхні проби видимих дефектів немає. З доставленої проби виготовлено поперечний макротемплет і зразок для спектрального аналізу. Спектральний аналіз проведено в трьох точках: біля поверхні, на ¼ діагоналі і в осьовій зоні. Макроструктура металу проби досліджувалась методом глибокого травлення і оцінювалася за чотирибальними шкалами.

В осьовій зоні проби спостерігаються дефекти усадочного походження – осьові тріщини і пористість, що оцінюються 3 і 4 балами відповідно. Тріщини і ліквацийні

смужки спостерігаються у вигляді одиничних дефектів і не перевищують 1 бал. Кіркова зона по периметру дослідної проби нерівномірна. Глибина її змінюється в межах 1,0-11,0 мм; зона стовбчастих кристалів складає 30,0-55,0 мм; зона рівновісних кристалів – 15,0-25,0 мм (табл.6).

Таблиця 6

№ плавки	Грані	Розміри кристалізаційних зон, мм		
		кіркова	стовбчастих кристалів	рівновісних кристалів
254383	1	4,0-11,0	35,0-40,0	20,0-25,0
	2	1,0-4,0	40,0-55,0	23,0-25,0
	3	1,0-10,0	30,0-45,0	20,0-23,0
	4	1,0-10,0	35,0-45,0	15,0-17,0

Крім того, на глибині 1,0-41,0 мм від поверхні проби спостерігаються грубі газові бульбашки із шириною розкриття 1,0-2,0 мм. Довжина дефектів складає 3,0-11,0 мм. В порожнині окремих дефектів проглядаються неметалеві включення. Дані про характеристику макроструктури наведено в табл.7.

Таблиця 7

№ плавки	Характеристика макроструктури, бал					
	Осьова пористість (ОП)	Осьова хімічна неоднорідність, збагачення домішками (ОХНА)	Тріщини осьової зони (ТО)	Тріщини і ліквідаційні смужки, перпендикулярні граням, і кутові (ТПГУ)	Точкова неоднорідність (ТН)	Позаосьова хімічна неоднорідність (світла смуга)
254383	4	0,5	3	1	1,5	0

Висновки по розливу сталі.

1. Глибина кіркової зони проби сталі марки Ст 3нс пл. 254383 неоднакова, що свідчить про нерівномірність охолодження по периметру заготовки.

2. В осьовій зоні проби є дефекти усадочного походження – осьові тріщини і пористість, що оцінюються 3 і 4 балами відповідно по ДСТУ 4061-2001.

3. В макроструктурі металу заготовки мають місце грубі газові бульбашки, причиною утворення яких згідно із „Сучасним атласом дефектів безперервнолитої заготовки” могло послужити недостатнє розкислення сталі, високий вміст газів або волога шлакоутворюючої суміші. Масова доля вуглецю в металі дослідної проби вища від допустимого значення для сталі марки Ст3нс за ДСТУ2651:2005/ГОСТ380-2005. Ліквідація марганцю, кремнію, сірки, фосфору від поверхні до центру дуже незначна.

В подальшому була підготована для розливу сталі на МБЛЗ плавка № 254610 – друга плавка. Хронометраж операцій: видача плавки в розливне відділення 11:55 – 1657⁰С; накриття кришкою 3 хв. (11:58); перестановка із сталевозу на лафет 7 хв. (12:05); доставка від КЦ до МБЛЗ 7 хв. (12:12); установка на сталевіз УПК 5 хв. (12:17); зняття кришки 4 хв. (12:21); обробка аргоном 22 хв. (12:43) від 1652⁰С до 1625⁰С; накриття кришкою 7 хв. (12:50); постановка на стенд 6 хв. (12:56); постановка промковша 2 хв. (12:58); установка захисної труби 2 хв. (13:00); початок розливу 13:00 – 1568⁰С; всього від видачі до початку розливу – 65 хв.

Обробка аргоном. Забір t в ковші № 1: 1652.4⁰С – 12.23 хв. (ML) 97.50 ppm; аргон включений 12.25 хв.; забір t в ковші № 2: 1639⁰С – 12.28 хв. (ML) 63.3 ppm; присаджено в ківш 1 мішок Al плюшок, 1 моток SiCa; забір t в ковші № 3: 1634⁰С – 12.32 хв. (ML) 56.4 ppm; забір t в ковші: 1631.3⁰С – 12.37 хв.; присаджено в ківш: 1 моток SiCa, 4 мішка TiC; проба: 12.41 хв.; забір t в ковші: 1625⁰С – 12.42 хв. 33.3 ppm, 6 мішків TiC; закриття аргону: 12.42 хв. Чиста вага металу до початку розливу згідно з показами вагів склала ~107,5 т. У результаті розливу частина металу залишилася в стальковші, проміжному ковші і струмках МБЛЗ. Залишок металу в стальковші в кількості ~74,5 т (за

останніми показами ваг) зливо в чавуновізні ковші і потім в міксер. Таким чином, загальні втрати металу склали ~33т. Також на плавку було витрачено 909 кг феромарганцю, 312 кг феросиліцію, 260 кг алюмінію і 200 кг вугілля.

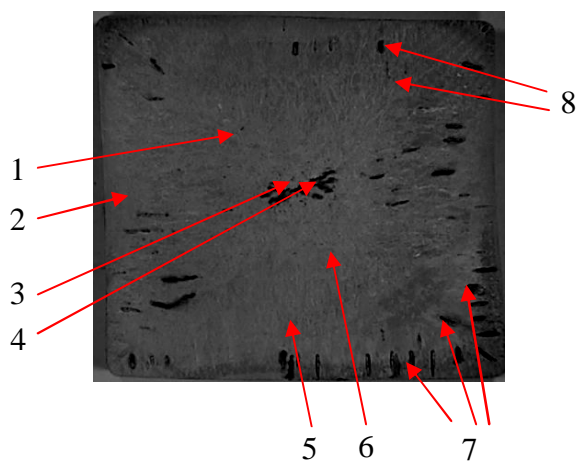
Результати металографічного дослідження в результаті освоєння технології виробництва катанки із безперервнолитої заготовки в умовах ДС 150-1 і ДДС 250/150. На дослідження доставлено вісім проб, відібраних від безперервнолитих заготовок сталі марки СтЗнс пл.254610. Сім проб відібрано від семи заготовок, розлитих на струмку № 3, одна проба – від заготовки, розливої на струмку №б. Швидкість початку розливу складала 2,6 м/хв. (по ТІ при розливі відкритим струмком 2-3,43 м /хв.). Витрати води на охолодження кристалізатора – 2100л/хв. З усіх доставлених проб виготовлено поперечні макротемплети. Макроструктура металу досліджених проб виявлялась методом глибокого травлення і оцінювалась за чотирибальною шкалою ДСТУ 4061-2001. В осьовій зоні усіх дослідних проб мають місце внутрішні дефекти заготовок, що являють собою в пробах №№ 1, 8 осьові тріщини, а в пробах №№ 5, 7 – осьову пористість. Усі виявлені дефекти осьової зони перевищують 3-й бал за ДСТУ 4061-2001. Тріщини і ліквацийні смужки спостерігаються в пробах №№ 1, 8 і перевищують 2 бал за ДСТУ 4061 -001. Кіркова зона по периметру усіх дослідних проб нерівномірна. Глибина її змінюється від 0 до 26 мм. Зона стовбчастих кристалів складає 20-52 мм. Зона рівновісних кристалів складає 12-37 мм.

Висновки по розливу сталі.

1. Глибина кіркової зони біля поверхні усіх дослідних проб безперервнолитих заготовок сталі марки Ст Знс пл. 254610 однакова, що свідчить про нерівномірне охолодження по периметру заготовки.

2. В осьовій зоні усіх проб мають місце дефекти – осьові тріщини і пористість, що не перевищують 3 бали за ДСТУ 4061-2001.

3. У макроструктурі металу усіх заготовок мають місце газові бульбашки (підкіркові канали), причиною утворення яких згідно із „Сучасним атласом дефектів безперервнолитої заготовки” могло бути недостатнє розкислення сталі, високий вміст газів або неякісна (волога) шлакоутворююча суміш (рис.2-5).



- 1 - точкова неоднорідність (ТН); 2 - кіркова зона;
- 3 - осьова пористість, газові бульбашки;
- 4 - тріщини осьової зони (ТО);
- 5 - зона стовбчастих кристалів;
- 6 - зона рівновісних кристалів; 7 - газові бульбашки;
- 8 - тріщини і ліквацийні смужки, перпендикулярні граням (ПГТУ)

Рисунок 2 – Макроструктура безперервнолитої заготовки

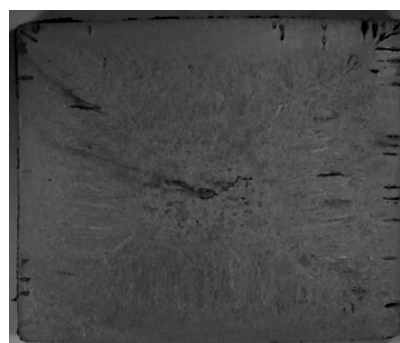


Рисунок 3 – Макроструктура металу безперервнолитої заготовки 150 сталі марки СтЗнс пл. 254610 (№ 1)

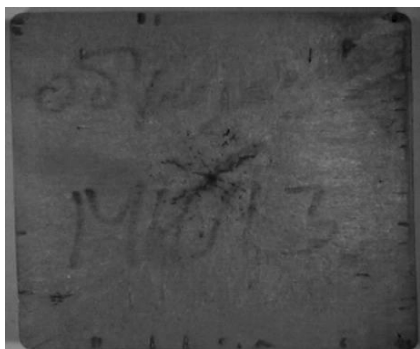


Рисунок 4 – Макроструктура металу безперервнолитої заготовки 150 сталі марки СтЗнс пл. 254610 (№ 8)

Осьова пористість



Рисунок 5 – Макроструктура металу безперервнолитої заготовки 150 сталі марки СтЗнс пл. 254610 (№ 5)

Висновки. Макроструктура першої плавки була поганою, бо було допущено низку порушень технології та недотримання деяких пунктів технологічної інструкції; так необхідно: проведення геодезії і налагодження механічного обладнання струмків, введення в експлуатацію майстерні по ремонту кристалізаторів (після 2-х дослідних плавок 4 кристалізатора потрібно ремонтувати), а також стенда кантовки промковша на ділянці підготовки. Також відзначено наступні невідповідності технології виплавки даної марки сталі: продувка плавки проводилась без скачування шлаку; невідповідність вимогам ТІ (тривалість випуску металу в сталерозливний ківш склала 2 хв. 27сек. (по ТІ 3-7 хв.)); температура металу в сталерозливному ковші склала 1652°C , що на 7°C вище від верхньої регламентованої межі (по ТК – $1630-1645^{\circ}\text{C}$); а також низькі витрати алюмінію в ківш для коригування окисненості металу, яка склала 260 кг/пл. (згідно з розрахунком Multi Lab III для отримання окисненості металу в ковші не більше 45 ppm витрати алюмінію повинні складати 286 кг/пл.).

Макроструктура другої плавки, розлитої на МБЛЗ, має менше недоліків – від плавки до плавки макроструктура заготовок стає кращою. Технологія розливу сталі на МБЛЗ вдосконалюється і для усунення недоліків якості заготовок необхідно враховувати їх і намагатися ліквідувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Огурцов А.П. Непрерывное литье стали / А.П.Огурцов, А.В.Гресс. – Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 675с.
2. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов / Кудрин В.А. –М.: Изд-во АСТ. – 2003. – 528с.

Надійшла до редколегії 20.07.2014.