

УДК 669.182

В.Г. Герасименко¹, канд. техн. наук, доц., ст. наук. співр., e-mail: 4124086@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4207-7316>**Є.В. Синегін²**, канд. техн. наук, доц., доц., e-mail: sinegin.ev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9983-3971>**Л.С. Молчанов¹**, канд. техн. наук, зав. відділу, e-mail: metall729321@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6139-5956>**В.Я. Перерва²**, канд. техн. наук, доц., доц., e-mail: V-Pererva@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0665-6812>**С.В. Суховецький²**, аспірант, e-mail: bonsao12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3033-8582>¹Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Дніпро, Україна)²Національна металургійна академія України (Дніпро, Україна)

Концептуальні технологічні рішення з виробництва дрібносоротної продукції з безперервнолитих заготовок

У статті розглянуто технологічні особливості переведення металургійних підприємств, орієнтованих на випуск дрібносоротної і дротяної металопродукції, на безперервне розливання і ключові фактори, такі як переріз заготовки, вибір місця розташування машини безперервного лиття заготовок, схеми передачі безперервнолитих заготовок до дрібносоротних і дрових станів. Розглянуто передумови переведення виробництва на безперервне розливання сталі і завдання, вирішення яких необхідне для його здійснення, зокрема організація потоків металу в проковші, дозування сталі на ділянці «промківш – кристалізатор», застосування кристалізаторів зі змінною конусністю, способи і режими вторинного охолодження безперервнолитих заготовок та ін. Також розглянуто сучасні методи зовнішніх динамічних впливів на метал в передкристалізаційний період, зокрема електромагнітне перемішування рідкої фази безперервнолитої заготовки і технологію «м'якого» обтиску. Описано особливості розливання блюмових заготовок і заготовок з флокеночутливих марок сталі, заходи щодо попередження утворення дефектів безперервнолитої заготовки. Як одне з невід'ємних умов застосування машин безперервного розливання сталі, детально розглянуто методи позапічної обробки сталі для підготовки її до безперервного розливання. Особливу увагу приділено обробці сталі на установках ківш-піч і вакууматорах, зокрема вибору конкретних способів обробки залежно від сортаменту виробленої сталі і розв'язуваних ними технологічних задач. Розглянуто переваги та перспективи поєднання процесів безперервного лиття заготовок з обробкою металу тиском (прокаткою), а також завдання та проблеми, що виникають перед інженерами при їх здійсненні. Зокрема, поряд з традиційною технологією виробництва прокату розглянуто технології «гарячого посаду» і прямої прокатки.

Ключові слова: безперервне розливання сталі, дрібносоротна заготовка, довгомірний прокат, позапічна обробка.

Актуальність. В останні десятиліття структура попиту на металопродукції й вимоги до них зазнають істотних змін. Конкурентоздатність чорних металів буде значною мірою визначатися рівнем технології на всіх переділах. У галузі чорної металургії України нагромадилася низка проблем, нерозв'язаність яких істотно знижує ефективність виробництва металопродукції. Насамперед це високі витрати, пов'язані зі значною енерго- і матеріалоємністю, значними витратами праці, тривалістю загального циклу металургійного переділу від завантаження сировини до одержання готової металопродукції. Загострюються економічні й соціальні проблеми.

Кардинальне рішення завдання скорочення витрат при виробництві конкурентоздатної металопродукції можливо шляхом застосування винятково новітніх технологій, передусім на переділі сталь-прокат. В основі схеми виробництва готового прокату з вихідної литої заготовки передбачається сполучення

безперервного розливання з агрегатами деформації. При цьому необхідна розробка процесів одержання литих заготовок, що максимально наближаються за розмірами і властивостями до готового прокату із забезпеченням поліпшених службових характеристик при мінімальному обтисненні.

Підприємства чорної металургії України входять до групи найбільших постачальників сортової металопродукції на світовий ринок. В Україні діють 39 сортових станів, з яких 25 випускають дрібносоротну продукцію, а інші – крупносоротну металопродукцію [1]. В останні десятиліття на деяких металургійних заводах проводиться технічне переозброєння сталеплавильного виробництва з переходом з розливання в злитки на безперервне розливання й паралельне впровадження агрегатів позапічної обробки сталі.

У цей час рівень розвитку сталеплавильного виробництва визначається рівнем впровадження на металургійних підприємствах безперервного розли-

вання й методів позапічної обробки. За останні двадцять років частка безперервного розливання виросла з 17,5 до 54,0 % від загального обсягу виробництва сталі в Україні. Сьогодні жоден сталеплавильний цех, що споруджують «з нуля» або реконструюють, не запускають в роботу без технології безперервного розливання й позапічної обробки сталі.

Ріст потужностей з виробництва безперервнолитого металу, що супроводжується вдосконалюванням технології й модернізацією технологічних засобів й агрегатів на всіх стадіях переділу, проходить шляхом будівництва нових і реконструкції діючих установок.

Розвитку й тотальному використанню методу безперервного розливання сортової заготовки сприяли наступні досягнення [3–4]:

- підвищення продуктивності машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) за рахунок збільшення кількості струмків (до 6–8) і швидкості витягування заготовки;

- кардинальне поліпшення якості безперервнолитої заготовки за рахунок впровадження різних видів позапічної обробки (агрегатів «ківш-піч», установок доведення сталі, вакууматорів), а також завдяки автоматизації процесу розливання й оптимізації експлуатаційних показників витратних вогнетривких матеріалів;

- освоєння технології безперервного розливання сортової заготовки з використанням захисту сталі від вторинного окислення й електромагнітного перемішування в кристалізаторі для одержання бездефектних безперервнолитих заготовок;

- створення й конструктивне оформлення концепції універсальних високоефективних модулів, що поєднують високопродуктивний агрегат (потужну дугу сталеплавильну піч або конвертер), агрегат для комплексного доведення сталі в ковші («ківш-піч»), високопродуктивну багатострумкову МБЛЗ і дрібно- або середньосортного прокатного стану. За кордоном уже протягом десятків років розглядаються питання зв'язування в єдиний комплекс сталеплавильного виробництва, розливання на МБЛЗ і прокатних станів.

Якщо питання стикування сталеплавильного виробництва з МБЛЗ вирішені загалом на досить високому технологічному рівні, то питання стикування в комплексі «МБЛЗ – прокатний стан» перебувають ще у стадії опрацювання. Особливо багато питань виникає з реалізації комплексу «МБЛЗ – сортопрокатний стан» й насамперед – «МБЛЗ – дрібносортопрокатний стан».

Наявні сьогодні схеми стикування (прив'язки) МБЛЗ із сортопрокатним станом показують, що ще не знайдено технологічні рішення, що дозволяють повністю використати тепло, яке міститься в заготовках на виході з МБЛЗ. Реалізація запропонованих технічних рішень дозволяє використати не більше 25 % енергії, яка міститься у сортової заготовці на виході з МБЛЗ [5].

Сполучення безперервного лиття з обробкою тиском (прокаткою) являє собою досить складну інженерну проблему.

Відомі різні способи прив'язки, що дозволяють заощаджувати енергію: «гарячий посад» або пряма

прокатка. І, якщо узгодження роботи системи «слябова МБЛЗ – прокатний стан» або «крупносортна МБЛЗ (блюм) – прокатний стан» вирішується без особливих складнощів, то узгодження роботи системи «сортова МБЛЗ – дрібносортний стан» має свої особливості. При цьому виникають певні труднощі при виборі раціональної схеми переведення сталеплавильного виробництва на безперервне розливання, що також може викликати необхідність реконструкції прокатного виробництва підприємства, що виробляє дрібносортну або дротову металопродукцію.

Стан питання. Перехід на безперервне розливання з розливання в зливки вимагає вирішення наступних завдань [6–8]:

- вибір оптимального перерізу безперервнолитої заготовки;

- обґрунтування типу й кількості МБЛЗ;

- вибір місця розташування відділення безперервного розливання сталі;

- узгодження роботи сталеплавильних агрегатів відділення безперервного розливання й прокатних станів;

- обґрунтування технології безперервного розливання сталі й устаткування з урахуванням марочного сортаменту підприємства;

- обґрунтування технології позапічної обробки сталі й устаткування з урахуванням марочного сортаменту підприємства;

- уточнення спеціалізації випуску металопродукції прокатними станами;

- обґрунтування схеми передачі дрібносортової заготовки до нагрівальних печей прокатного стану (прив'язки МБЛЗ до прокатного стану);

- визначення необхідного ступеня реконструкції прокатних станів і вирішення питання подальшої експлуатації блюмінгів і заготовочних станів.

Тому, далі будуть детально проаналізовано найважливіші завдання переведення сталеплавильного виробництва на виробництво дрібносортних заготовок для одержання дрібносортової або дротової металопродукції, а також довгомірного прокату, схеми передачі сортової заготовки до нагрівальних печей прокатного стану (прив'язки МБЛЗ до прокатного стану, вибір раціональних технологій позапічної обробки й безперервного розливання залежно від марочного сортаменту сталі, а також устаткування, необхідного при розливанні на МБЛЗ для одержання дрібносортової заготовки).

З урахуванням призначення сортової заготовки можна умовно розділити на дві групи. В I групу входять заготовки з вуглецевої, легованої й високолегованої сталі, які використають для виробництва сортового прокату з контролем макроструктури. Його застосовують у машинобудуванні й автомобілебудуванні. До II групи відносяться заготовки з вуглецевої і низьколегованої сталі, які прокочують без контролю макроструктури, металопродукція у вигляді періодичного профілю, куточків, двотаврів, дроту та ін., призначених для будівельної продукції [9].

Для забезпечення високої якості сортової заготовки у світі все більшого поширення одержує схема

подачі металу з промківша в кристалізатор системою «стопор-моноблок» – «стакан-дозатор» – «заглибний стакан». При цьому струмінь між сталерозливним і проміжним ковшами захищається спеціально встановлюваною захисною трубою. Переваги такої технологічної схеми розливання:

- забезпечення високого ступеня захисту сталі від вторинного окислювання на всьому шляху її руху від сталерозливного ковша до кристалізатора;

- оперативне регулювання витрати сталі зміною положення стопора-моноблока;

- істотне збільшення діаметра стакана-дозатора й часу заростання його внутрішньої порожнини до гранично припустимої величини;

- можливість вдування аргону безпосередньо в струмінь сталі, що витікає в кристалізатор;

- підведення струменя сталі під рівень металу в кристалізаторі, що запобігає його бурлінню на границі розділу фаз;

- застосування спеціальних шлакоутворюючих сумішей, що підвищують якість поверхні заготовки тощо.

Застосування зазначеної схеми дозволяє виробникам досягати високих якісних показників за всіма видами заготовок.

При розливанні легованих і спеціальних марок сталей збільшується переріз сортової заготовки (блюми) для подальшої прокатки. При цьому при прокатці забезпечується витяжка щонайменше 10 і спеціальні прийоми пророблення структури, які дозволяють гарантувати необхідну якість прокату.

Розливання на МБЛЗ блювів має деякі свої особливості. Загальні тенденції розвитку процесів безперервного розливання сталі на блювових МБЛЗ у світі наступні [3, 4]:

- підвищення продуктивності МБЛЗ за рахунок реконструкції вже існуючих машин і створення нових високоефективних комплексів (річна продуктивність одного струмка для блювових МБЛЗ повинна становити щонайменше 200 тис. т на рік);

- удосконалення системи підготовки сталі до безперервного розливання й узгодження роботи сталеплавильних агрегатів МБЛЗ шляхом використання сучасних агрегатів типу «ківш-піч», а також вакуумування;

- розвиток функціональних можливостей промківша – підвищення його експлуатаційних показників (стійкість) і можливостей з доведення сталі (рафінування й регулювання температури);

- розробка системи заходів для запобігання забрудненню сталі в промківші (емульгування з покритими шлаками) і в ході переливу в кристалізатор (вторинне окислення);

- застосування вертикального кристалізатора, а також повністю вертикальних МБЛЗ для одержання високоякісної заготовки;

- впровадження нових конструкцій кристалізаторів і механізмів хитання кристалізаторів з гідроприводом;

- використання електромагнітного перемішування на декількох рівнях уздовж заготовки;

- продувка металу аргонном у промківші й через стопор-моноблок;

- забезпечення ефективного захисту сталі від вторинного окислення на ділянці «сталерозливний ківш – промківш»;

- створення оптимальних умов для роботи кристалізатора шляхом підведення сталі під рівень за допомогою заглибних глухонних стаканів з бічними отворами, автоматичного контролю й підтримки рівня металу в кристалізаторі, контролю поверхні стінок кристалізатора впродовж руху заготовки тощо;

- застосування методу «м'якого» обтиснення заготовки з рідкою серцевиною з метою пригнічення осьової пористості й ліквідації;

- підвищення ступеня автоматизації роботи МБЛЗ із включенням у єдину систему всіх параметрів рідкої сталі, умов охолодження сталі в кристалізаторі й зоні вторинного охолодження за наявності зворотного зв'язку.

Від якості металу, що подається у відділення безперервного розливання, значною мірою залежить хід процесу розливання і якості безперервнолитих заготовок. Тому до якості підготовки металу, призначеного для розливання на МБЛЗ, висувають високі вимоги [7, 8].

При розширенні марочного сортаменту одержання сортової заготовки (з контролем макроструктури) необхідно внести деякі технологічні доповнення, зокрема, у конструкції проміжного ковша.

У цілому, потрібно виділити наступні загальні конструктивні підходи з оптимізації потоків металу в рідкій ванні промківша:

- застосування металопримачів спеціальної геометричної форми, що забезпечують гальмування струменя, що витікає зі сталерозливного ковша ("turbostop" або "pailtrand");

- використання спеціальних порогів і перегородок, що забезпечують спрямований рух потоків сталі від металопримача до стакана-дозатора;

- установка фільтраційних перегородок, що забезпечують спрямований рух потоків рідкої сталі й уловлювання неметалевих включень [товщина перегородки $\delta = (2,5-3,0)$ від діаметру отворів (50–60 мм), кут нахилу отворів 20–45°];

- забезпечення промківша продувними блоками, які забезпечують вдування аргону, що сприяє флотації неметалевих включень і видаленню водню (розроблені математичні моделі) [10–11].

На додаток до технології вакуумування розроблено технологію рафінування флокеночутливої рідкої сталі від водню, що включає змінну продувку аргонном у розливних секціях проміжного ковша в бульбашковому режимі через пористі блоки або новий режим відновлення основних шлаків. Використання даної технології дозволяє забезпечити вміст водню у флокеночутливій сталі до 2 ppm – тобто тієї межі, до якої службові властивості сталі високі як наслідок відсутності флокенів, виключити відбраковування готової металопродукції за результатами ультразвукового контролю й підвищити стійкість проміжних ковшів МБЛЗ в 1,4 рази [10–11].

При переході з рідкого стану у твердий, сталь, як відомо, піддається усадці, тобто зменшенню об'єму, що погіршує контакт поверхні заготовки з кристалізатором.

У верхній частині гільзи кристалізатора контакт твердої кірки зі стінками максимальний, оскільки вона ще недостатньо міцна, щоб витримати феростатичний тиск. Надалі впродовж руху заготовки, внаслідок усадки, між гільзою й скоринкою утвориться газовий зазор, що негативно впливає на інтенсивність охолодження заготовки. Зниження теплового потоку в кристалізаторі може призвести до підплавлення кірки рідким металом, що призведе до її прориву на виході з кристалізатора.

Для того щоб максимально врахувати вплив усадки на формування кірки заготовки останнім часом використовують гільзи кристалізатора з так званим «параболічним» профілем внутрішньої порожнини, що дозволяє мінімізувати величину газового зазору, особливо в нижній частині гільзи. Особливо ця технологія актуальна при високопродуктивному розливанні сталі (зі швидкостями 5–7 м/хв), оскільки час перебування металу, а, отже, і товщина твердої оболонки, за високих швидкостей значно менше, ніж за звичайної технології безперервного розливання. Параболічний профіль внутрішньої порожнини гільзи кристалізатора, вочевидь, не може бути універсальним, оскільки він розраховується за усередненими параметрами для певних груп марок сталі й швидкостей витягування заготовки, оскільки величина усадки за однакових умов охолодження змінюється залежно від хімічного складу сплаву.

При використанні гільз параболічного профілю для лиття заготовок на високопродуктивних МБЛЗ необхідне корегування параметрів розливання навіть у межі групи сталі, оскільки зменшення товщини кірки внаслідок зниження часу перебування металу в кристалізаторі вимагає корегування таких параметрів, як висота рівня металу в кристалізаторі, швидкість розливання та ін.

З розширенням марочного сортаменту, а саме, при контролі макроструктури, металурги зіштовхуються часто не лише з поверхневими дефектами, але й із внутрішніми, такими, як осьова (центральна) пористість, а також «осьова хімічна неоднорідність» або «осьова ліквіація». На подальшу переробку допускаються сортові заготовки з дефектом осьова пористість не більше 2 балів, а осьова хімічна неоднорідність або осьова ліквіація не більше 3 балів.

Способами й заходами щодо запобігання розглянутих внутрішніх дефектів безперервнолитих заготовок є:

1. Зменшення перегріву сталі в промковші.
2. Забезпечення більшої температурної однорідності сталі по довжині й висоті промковша.
3. Зниження вмісту сірки й фосфору в сталі. Сумарний вміст сірки й фосфору за науково-технічною документацією (НТД) становить 0,040 %. Бажано, на МБЛЗ подавати метал із сумарним вмістом сірки й фосфору не більше 0,025–0,030 %.
4. Дотримання температурно-швидкісного режиму розливання сталі.
5. Підготовка металу до розливання відповідно до вимог технологічної інструкції по виплавці, позапічній обробці на дану марку сталі.

6. Дотримання заданих швидкостей розливання залежно від температури сталі й режимів у зоні вторинного охолодження (ЗВО).

Застосування технології «Хард» – обприскування поверхні заготовок більшим обсягом води у верхніх зонах охолодження з метою зниження температури поверхні заготовки до 700 °С і нижче, а також для її підтримки в цьому діапазоні. Дана технологія передбачає зміну конструкції форсунок, їхньої конфігурації у верхніх зонах ЗВО МБЛЗ.

Нова концепція охолодження «Хард» у сполученні з новими рішеннями в конструкції форсунок для розпилення водоповітряної суміші дозволяють здійснити надзвичайно інтенсивне охолодження або «М'яке Охолодження» залежно від сортаменту сталі й перерізів заготовки. Перевагами цих технологій є підвищення продуктивності, зниження інвестицій і робочих витрат, а також поліпшення показників роботи МБЛЗ й якості заготовок.

7. Застосування зовнішніх фізичних впливів на заготовку, що твердіє, особливо в кристалізаторі для одержання дрібносортих заготовок.

Застосування електромагнітного перемішування (ЕМП) у кристалізаторі забезпечує підвищення якості поверхні й коркової зони безперервнолитої заготовки, запобігаючи при цьому можливому перегріву металу під кристалізатором, оскільки відбувається пригнічення хвильових процесів, що розвиваються на поверхні металу в кристалізаторі через динамічні впливи, пов'язані з рухом потоків металу.

8. Застосування методу «М'якого обтиснення заготовки».

Безперервнолита заготовка піддається додатковому обтисненню (на кілька міліметрів) у нижній частині ЗВО, де частка рідкої фази становить 30–50 %.

Оскільки положення фази завершення кристалізації неможливо виміряти прямим методом, умови розливання й параметри налаштування для відповідного режиму «М'якого обтиснення» визначаються емпіричним шляхом і за можливості точно витримуються на постійному рівні для кожної серії плавок. Особливо важко домогтися необхідного рівня точності для заготовок малого перерізу. Зазвичай, для сортових заготовок величина обтиснення становить не більше 8–10 мм, при 2–3 парах валків для обтиснення.

У цей час сталеплавильне виробництво складно уявити без позапічної обробки, при цьому численні металургійні завдання, які колись вирішували на стадії основної плавки, перенесені в агрегати для позапічної обробки, розроблені спеціально для вирішення певних завдань, з урахуванням особливостей плавильного й розливного устаткування.

У технології позапічної обробки можна виділити два напрями: процеси на базі агрегату конвертерного типу й ковшові процеси, а також за типом середовища обробки: при звичайному атмосферному тиску або під вакуумом.

До теперішнього часу створено багато (близько 30) способів позапічної обробки сталі [12]. З огляду на значне різноманіття технологічних можливостей, габаритів, вартості, продуктивності різних видів агрегатів,

першорядного значення набуває вибір устаткування, яке найбільше відповідає розв'язуваним технологічним завданням.

На вибір процесу позапічної обробки впливають наступні фактори: сортамент оброблюваної сталі й вимоги до її якості, наявність енергоносіїв і ресурсу часу для виконання обробки, організація вантажопотоків, наявне сталеплавильне устаткування, геометрія сталерозливного ковша, спосіб розливання, маса плавки, вільний цеховий простір, екологічні вимоги [13].

Зараз темп видачі плавки із кисневих конвертерів (КК) та з сучасних дугових сталеплавильних печей (ДСП) приблизно однаковий, а тривалість позапічної обробки більшості сталей не повинна перевищувати 45 хв для синхронізації всіх стадій процесу виплавки сталі.

У сучасній технологічній схемі виробництва позапічна обробка починається вже на випуску сталі з сталеплавильного агрегату й закінчується в проміжному ковші (ПК) МБЛЗ. Для її здійснення розробле-

но велику кількість пристроїв й агрегатів. На практиці широко використовуються агрегати ківш-піч (АКП), агрегати доведення сталі (АДС), вакууматори різних типів, системи дозування ваги, трайб-апарати, що класифікують за числом здійснюваних на них технологічних операцій, тобто за їхньою функціональністю (таблиця) [13]. У кожного з наведених агрегатів є цільова функція, позначена «+ +», здійснення якої на інших агрегатах неможливо. Головною відмінністю АКП [14] є використання дуги змінного струму для підігріву плавки в ковші. В АДС звичайно використовують верхню фурму для продувки плавки газами або для вдування в метал порошоків різного складу. Порівняння функцій АКП й АДС показує, що на АДС можлива реалізація більшого, ніж на АКП, числа технологічних операцій. Але наявність верхньої фурми не дозволяє використати на АДС електродугове нагрівання. Сполучення АКП й АДС в одному комплексі забезпечує найбільше число операцій позапічної обробки. Саме тому в останні роки в експлуатацію

Функціональність агрегатів позапічної обробки сталі

Операція	Типи агрегатів					
	на випуску	АКП	АДС	комплекс АКП-АДС	ПК МБЛЗ	вакууматор
Введення кускових матеріалів на поверхню розподілу «розплав – газ»:						
• на струмінь металу	++	-	-	-	+	-
• на дзеркало металу	+	+	+	+	+	+
Уведення матеріалів углиб металу:						
• в порошковому дроті	-	+	+	+	+	+
• вдування в потоці газу (інжекція)	-	+	++	++	+/-	-
Змішування з розплавом:						
• синтетичних шлаків	+	-	+	+	-	-
• рідкої лігатури	+	-	+	+	+	-
Продувка активними газами	-	-	+	+	-	+
Вакуумування	-	-	-	-	+/-	++
Перемішування:						
• газами	+	+	+	+	+	+
• електромагнітне	-	+	-	+	+	-
• кондуктивне	-	+	-	+	+	-
Нагрів:						
• дугою постійного або змінного струму	-	++	-	++	+	-
• хімічний	-	-	+	+	-	+
Фільтрація	-	-	-	-	+	-
Функціональність, умовний бал	6	8	9	13	8	7

вводиться усе більше так званих «двостендових агрегатів ківш-піч» – комплексів АКП-ДС, у яких крім електродугового нагрівання виробляється продувка плавки через верхню фурму й інжекція в метал порошкоподібних матеріалів, найчастіше через другу кришку із центральним отвором.

Можливість ефективно нагріти плавку в сталерозливному ковші є безсумнівним досягненням сучасної позапічної обробки сталі. Практично 100 % оснащення агрегатами ківш-піч нових і реконструйованих сталеплавильних цехів підтверджує їхню ефективність [14].

Переваги технології з нагріванням плавки в ковші трифазною дугою змінного струму обговорювалися багаторазово. Існують теоретичні передумови підвищення ефективності нагрівання при використанні дуги постійного струму: збільшення енергетичної ефективності нагрівання, зменшення теплового навантаження на відкриту футеровку стін ковша, додаткове перемішування плавки за рахунок протікання електричного струму через ванну та ін. Ці переваги дозволять нагрівати плавку в ковші зі швидкістю до 7 °С/хв, у той час як швидкість нагрівання на сучасних АКП не перевищує 4–5 °С/хв. Але зусилля закордонних розробників устаткування зі створення ефективного в промислових умовах АКП постійного струму поки не увінчалися успіхом.

Застосування АКП у сполученні з МБЛЗ сприяє значному поліпшенню сталі, забезпеченню оптимального температурного режиму розливання, підвищенню кількості плавки, що розливають серійно, і може бути рекомендоване у всіх цехах з безперервним розливанням незалежно від сортаменту продукції.

Масовий випуск багатьох відповідальних марок сталі (нержавіючих, рейкових, підшипникових, електротехнічних, автолиста), характерний для сучасних металургійних заводів, вимагає обов'язкового застосування вакуумної дегазації.

Відмінні риси вакуумних установок [15, 16]:

- швидке зневуглицьовування до рівня 15 ppm;
- можливість обробки плавки з різним початковим вмістом вуглецю;
- гнучкість використання легуючих, можливість застосування дешевих високовуглецевих матеріалів;
- можливість хімічного підігріву розплаву;
- низький кінцевий вміст розчинених газів;
- підвищена чистота сталі за неметалевими вclusions;
- одержання точного хімічного складу сталі з вузькими допусками.

Із всіх відомих агрегатів позапічного вакуумування рідкої сталі найбільш переконливо перевірку часом пройшли ковшові й рециркуляційні вакууматори.

Переваги і недоліки обох типів вакууматорів визначаються характером взаємодії металу з розрідженим простором: у ковшових вакууматорах обробці піддається одночасно вся маса плавки, що перебуває в ковші й вкрита шаром шлаку, у рециркуляційних – незначна частина металу, що циркулює через спеціальну вакуум-камеру.

Безперервна жорсткість вимог до якості металу й обмежені можливості керування фізико-хімічними

умовами протікання процесів у сталеплавильних агрегатах, усе більше численні металургійні завдання, які колись вирішували на стадії основної плавки, переносять на позапічну обробку із використанням АДС і АКП.

Агрегат АКП – це комплекс тісно взаємозалежних технологічних й енергетичних параметрів. Основними параметрами, що визначають роботу АКП, є [14]:

- хімічний склад рафінуючого шлаку;
- товщина шару шлаку на дзеркалі металу;
- довжина дуги;
- співвідношення потужності, що підводиться, до площі дзеркала металу;
- швидкість нагрівання металу;
- інтенсивність перемішування й гідродинаміка ванни.

Для здійснення рафінування металу на ковші-печі однією з основних умов є відсікання на випуску з плавильного агрегату пічного окисленого шлаку (або його видалення), високотемпературна експлуатація футерівки сталерозливних ковшів і наведення рафінуючого шлаку.

Виробництво сталі із заданими вузькими межами за хімічним складом в плавильному агрегаті практично неможливе через нестабільність засвоєння феросплавів і безлічі неконтрольованих факторів, що змінюються. Виробництво таких сталей на АКП є звичайною практикою.

При випуску плавки зі сталеплавильного агрегату істотні коливання температури. Так, більшість технологічних інструкцій з виробництва сталі регламентують випуск металу в інтервалі температур 20°, у той час як для розливання на МБЛЗ, особливо серіями, температура металу в ковші регламентується в інтервалі не більше 10 °С, а найчастіше й 5 °С.

Відома неоднорідність металу за температурою й хімічним складом при випуску сталі в сталерозливний ківш. Перемішування металу на АКП протягом досить тривалого часу (40–60 хв) сприяє усередненню температури й хімічного складу сталі по ходу процесу. АКП має технологічні й економічні переваги в порівнянні з іншими способами – обробкою сталі шлаками на випуску (рідкі, тверді шлакоутворюючі суміші (ТШС), самоплавкі) на АДС тощо.

У кожному із процесів ковшового вакуумування металу вільна поверхня борта повинна бути вище в порівнянні зі звичайним ковшем для запобігання викидам металу при продувці ванни киснем або інертним газом [15]. Необхідна висота вільної поверхні борта повинна бути тим більше, чим більше інтенсивність подачі газів, ступінь окисленості металу, інтенсивність перемішування й нагрівання, ступінь розрідження. Залежно від процесу, що здійснюється, вона повинна перебувати в межах від 800 до 1500 мм. У результаті збільшення висота борта, маса й вартість вакуумного ковша в порівнянні зі звичайним, приблизно на 20 % більше. При неможливості змінити габарити ковша необхідно зменшувати масу оброблюваної плавки з відповідною втратою продуктивності.

Рециркуляційне вакуумування підрозділяється на порційне і циркуляційне (процеси DH і RH) [15, 16].

Порційне й циркуляційне вакуумування досить близькі за технічною суттю й результатами і тривалий час конкурували між собою, однак у міру поліпшення якості вогнетривів і підвищення стійкості футерівки перевага всі частіше віддавалася циркуляційному вакуумуванню.

Результати його експлуатації показали однозначну перевагу циркуляційного вакуумування при обробці особливо низьковуглецевої сталі, наприклад, автолиста. На думку низки авторитетних закордонних фахівців, порційне вакуумування дає кращі результати при обробці флокеночутливих марок сталі. Тому, надалі доцільно відновити зіставлення двох типів вакууматорів на різних марках сталі. При цьому слід зазначити, що всі порівняльні оцінки характеристик циркуляційного вакуумування стосовно інших способів справедливі й для порційного вакуумування.

Традиційно машини безперервного розливання розміщали в сталеплавильних цехах, розташованих на більших відстанях від прокатних. Це робило практично неможливим застосування прямої прокатки й «гарячого всада». Закордонний досвід освоєння процесів прямої прокатки й «гарячого всада» безперервнолитих заготовок свідчить про доцільність будівництва МБЛЗ у безпосередній близькості від прокатного стану, навіть за рахунок їхнього віддалення від сталеплавильних агрегатів на відстань до 600 метрів [6, 7].

Наявні в цей час схеми стикування МБЛЗ із сортопрокатним станом показують, що ще не знайдено технологічні рішення, що дозволяють повністю використати тепло, наявне в заготовках на виході з МБЛЗ. Реалізація запропонованих технічних рішень дозволяє використати не більше 25 % енергії, наявної у сортовій заготовці на виході з МБЛЗ.

Сполучення безперервного лиття з обробкою тиском (прокаткою) являє собою досить складну інженерну задачу. Основними перешкодами в сполученні технологічних процесів лиття й прокатки є:

– невідповідність продуктивності МБЛЗ і прокатного стану;

– невідповідність (приблизно на порядок) максимальної швидкості лиття заготовок і необхідної швидкості початку прокатки;

– проблема збереження тепла заготовки, що повільно рухається.

На більшості металургійних підприємств України дотепер працюють старі дрібносортні й дотові стани, де одним зі слабких місць є малий переріз вихідної заготовки (від 80×80 мм до 105×105 мм). При стикуванні МБЛЗ з дрібносортним станом можливе застосування заготовок перерізом 130×130 мм. Як показав досвід міні-заводів, якість заготовок дозволяє одержувати прокат діаметром перерізу до 40 мм [18].

Однак при використанні важких заготовок необхідне збільшення кінцевої швидкості прокатки. Якщо не збільшувати кінцеву швидкість, то початкова швидкість буде занадто низькою, що призведе до швидкого зношування валків на лінії чорнових клітей, а також несприятливого температурного поля в металі під час прокатки. Звичайні швидкості прокатки на старих станах, що становлять від 50 до 60 м/с, можна збільшити вдвічі, оскільки сучасні чистові блоки працюють на швидкості 100–120 м/с. Це призведе до зменшення вдвічі кількості клітей при збереженні погодинної продуктивності стану. Класичний чотирьохклітьовий дотовий стан старого зразка перетворюється, таким чином, у двоклітьовий. Виробничий процес між МБЛЗ і сортовим прокатним станом представлено на рис. 1.

Дослідженнями технології виробництва сортового прокату з безперервнолитої заготовки квадрат 130 й 150 мм встановлено, що пряме сполучення МБЛЗ із прокатним станом практично неможливо через різницю швидкостей безперервного розливання й чорнової групи стану. У випадку порізки заготовок буде спостерігатися низька продуктивність стану через великий цикл. Проведені розрахунки підтверджують непридатність даного варіанта для промислового впровадження [6, 17, 18].

Сполучення із проміжною піччю для безперервнолитої заготовки квадрат 130 й 150 мм знайшло широке

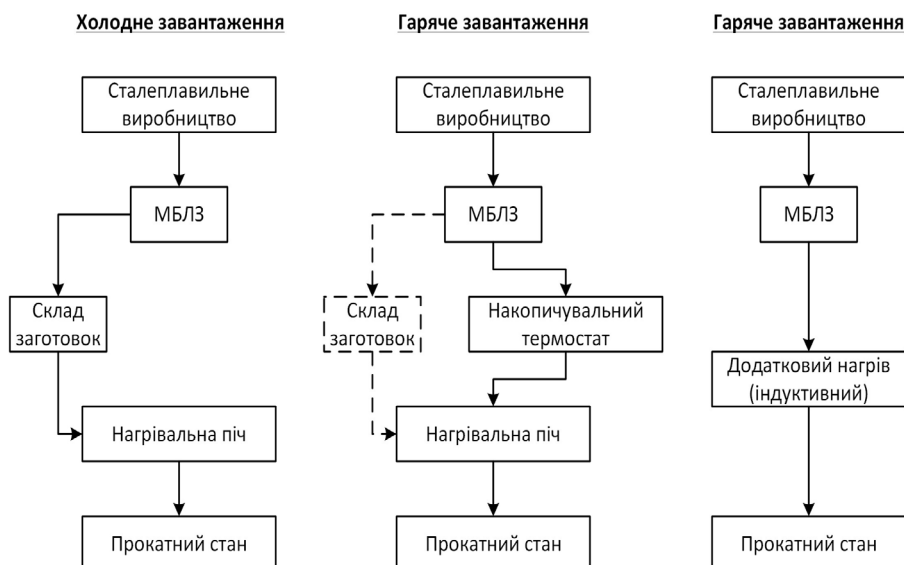


Рис. 1. Виробничий процес між МБЛЗ і прокатним станом

застосування за кордоном. Виконані розрахунки показують, що ця схема технологічно здійсненна, однак, призводить до значних втрат енергії, оскільки необхідно практично повне остигання заготовки і її подальше нагрівання. Навіть застосування проміжного термостата із зустрічним потоком заготовок, що остигають і нагріваються, доводить використання енергії не більш, ніж до 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 % [5, 6].

Пропонована технологія стикування МБЛЗ із 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 до 0,3 мм [6, 19].

Варто мати на увазі, що нагрівання металу під прокатку, особливо з «холодного всада», супроводжується високотемпературним окислюванням сталі і її поверхневим знеуглецьовуванням. Для визначення втрат металу за рахунок окислювання необхідно знати товщину її шару, яка залежить від температури й тривалості окислювання, хімічного складу металу, газового середовища й інших факторів.

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

Очевидно, вигідне використання підігрітої до температури прокатки безперервнолитої заготовки (сполучення із проміжною піччю або проміжним термостатом). Через скорочення часу нагрівання різко зменшується окислювання 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 литої 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.

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 із температурою 850 °С у високотемпературні печі для підігріву й на стан для прокатки.

Ефективність нової технології розрахована в порівнянні із традиційною на: розміщення МБЛЗ у ста-

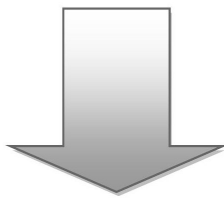
Технологічні етапи	
Блюм	Сортова заготовка
Порівняно проста доводка сталі в ковші	Комплексна позапічна обробка металу
Безперервна розливка на блюмовій МБЛЗ	Безперервна розливка на швидкісній сортової МБЛЗ
Контроль якості поверхні	
Видалення поверхневих дефектів (зачистка тощо)	
Нагрів перед прокаткою	
Прокатка до перерізу сортової заготовки	
Охолодження заготовки	
Контроль якості поверхні	
Видалення поверхневих дефектів (зачистка тощо)	
Нагрів перед прокаткою	
Прокатка до готової продукції	
Залишковий контроль якості продукції	
Маркування, пакування, відвантаження	Нагрів перед прокаткою
	Прокатка до готової продукції
	Залишковий контроль якості продукції
	Маркування, пакування, відвантаження

Рис. 2. Порівняльна схема технологічного ланцюжка одержання довгомірної металопродукції безперервнолитих блюмів і сортової заготовки

леплавильному 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 [6, 19].

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 новою – 0,3 мм.

Збільшення перерізу заготовки можливо потребуватиме установки додаткових клітей на лініях чорнових і проміжних клітей, що не вплине на початкову швидкість прокатки й погодинну продуктивність стану. Для дрібносортих 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 (не менш 6–10) [5, 6, 17].

Значно підвищити якість сортової заготовки можна при перекаті безперервнолитих блюмів. Однак, ця технологія пов'язана з певними додатковими витратами

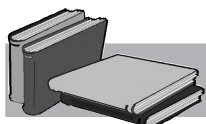
енергії й зниженням виходу придатного. Наприклад, вихід придатного прокату при переході з блюма великого перерізу на сортову заготовку може бути збільшений у середньому на 3–4 %. Порівняльну схему технологічного ланцюжка одержання довгомірної металопродукції безперервнолитих блюмів і сортової заготовки показано на рис. 2.

Таким чином, завдяки останнім досягненням в області безперервного розливання, створено всі необхідні передумови для виробництва сортової заготовки в сталеплавильних цехах з високою одиничною потужністю основних агрегатів. Це досягається шляхом

використання багатострумкових МБЛЗ із високою швидкістю розливання заготовки поряд із застосуванням агрегатів позапічної обробки сталі типу АКП, вакууматорів, АДС та ін.

Висновки

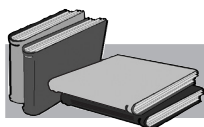
Розглянуто технологічні особливості вибору раціональних схем переведення металургійних підприємств, орієнтованих на випуск дрібносортової і дріткової металопродукції на безперервне розливання сталі.



ЛІТЕРАТУРА

1. Антипов В.Г., Тимофеев С.В., Нестеров Д.К. и др. Прокатные станы. Справочник в 3-х томах. Том 1 и 2. М.: Металлургия, 1992. 428 с.
2. 2020. World Steel in Figures. URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f7982217-cfde-4fdc-8ba0-795ed807f513/World%20Steel%20in%20Figures%202020i.pdf>
3. Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л. и др. Процессы непрерывной разливки: Монография. Донецк: ДонГТУ, ООО «Лебедь», 2000. 371 с.
4. Смирнов А.Н., Куберский С.В. и др. Непрерывная разливка сортовых заготовок. Монография. Донецк: Цифровая типография, 2012. 417 с.
5. Свейновский У. Привязка УНПС к мелкосортным и проволочным станам. МРТ, 1993. С. 56–62.
6. Герасименко В.Г., Молчанов Л.С. Направления развития производства мелкосортных заготовок для получения длиннономерного проката. *Сборник научных трудов ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. 2018. Вып. 32. С. 259–274.
7. Герасименко В.Г., Бойченко Б.М., Перерва В.Я., Чайка Д.В. Технологические особенности выбора рациональных схем перевода металлургических комбинатов, ориентированных на выпуск мелкосортной металлопродукции, на непрерывную разливку стали. *Теория и практика металлургии*. 2011. № 5–6. С. 44–47.
8. Герасименко В.Г., Синегин Е.В., Молчанов Л.С., Мусунов Д.А. Совмещение непрерывной разливки с обработкой давлением при производстве мелкосортного проката. *Литье 2014. Материалы X Международной научно-практической конференции. Запорожье, 27–29 мая 2014. Запорожье 2014*. С. 305–307.
9. Кан Ю.Е., Лейтес А.В. Производство непрерывнолитых сортовых заготовок различного назначения. *Сталь*. 1993. № 1. С. 24–29.
10. Пат. на корисну модель. Україна. № 90886. МПК В21D 11/00. Спосіб рафінування флокеночутливої рідкої сталі від водню / Бойченко С.Б., Пройдак Ю.С., Синегін Є.В.; заявл. 27.01.2014; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11. 4 с.
11. Пат. на корисну модель. Україна. № 90970. МПК В21D 11/00. Спосіб безперервної розливки флокеночутливих сталей / Бойченко С.Б., Пройдак Ю.С., Синегін Є.В.; заявл. 17.02.2014; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11. 4 с.
12. Величко А.Г. Внепечная обработка стали. Днепропетровск: Системные технологии, 2005. 199 с.
13. Кац Я.Я. Состояние и перспективы развития внепечной обработки стали в России. *Металлургия*. 2006. № 2. С. 49–55.
14. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Павлюченко И.А., Болотов В.Ю. Ковш-печь – современный агрегат для получения стали. Донецк: Норд-Пресс, 2008. 473 с.
15. Протасов А.В., Майоров А.И., Комолов И.В. Рациональный выбор оборудования для внепечной обработки стали в современном сталеплавильном цехе. *Бюллетень «Черная металлургия»*. 2006. № 2. С. 58–63.
16. Reisinger P., Flobholzer H., Schrade C. Current Status of Secondary Steelmaking Applications. *Proceedings of the 1st International Steelmaking Conference, Austria, Linz, May 25–27, 1998. Paper No. 41*.
17. Визингер Х., Хишманнер Ф. Горячий посад слябов и прямая прокатка. *Черные металлы*. 1984. № 22. С. 38–43.
18. Хаук А. Модернизация действующих проволочных прокатных станков. МРТ, 1994. С. 122–128.
19. Францевич И.Н., Войтович Р.Ф., Лавренко В.А. Высокотемпературное окисление металлов и сплавов. М.: Гостехиздат, 1963. 323 с.

Надійшла 12.04.2021



REFERENCES

1. Antipov, V.G., Timofeyev, S.V., Nesterov, D.K. et al. (1992). Rolling mills. Reference book in 3 volumes. Vol. 1 and 2. Moscow: Metallurgiya, 428 p. [in Russian].
2. 2020. World Steel in Figures. URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f7982217-cfde-4fdc-8ba0-795ed807f513/World%20Steel%2520in%2520Figures%25202020i.pdf>
3. Smirnov, A.N., Pilyushenko, V.L. et al. (2000). Processes of continuous casting. Monograph. Donetsk: DonGTU LLC "Lebed", 371 p. [in Russian].
4. Smirnov, A.N., Kuberskiy, S.V. et al. (2012). Continuous casting of billets. Donetsk: Digital Printing House, 417 p. [in Russian].
5. Sveynovskiy, U. (1993). Binding of the continuous casting machine to small-section and wire mills. Metallurgical Plants and Technology, pp. 56–62 [in Russian].
6. Gerasimenko, V.G., Molchanov, L.S. (2018). Directions of development of production of billets for long-length rolling. *Proceedings of "Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy"*, Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of NASU, iss. 32, pp. 259–274 [in Russian].
7. Gerasimenko, V.G., Boychenko, B.M., Pererva, V.Y., Chayka, D.V. (2011). Technological features of the choice of rational schemes for the transfer of metallurgical plants, focused on the production of other steel products, for continuous casting of steel. *Theory and practice of metallurgy*, no. 5–6, pp. 44–47 [in Russian].
8. Gerasimenko, V.G., Sinegin, Ye.V., Molchanov, L.S., Musunov, D.A. (2014). Combination of continuous casting with pressure treatment in the production of small-section rolled products. Proceedings of "Casting Metallurgy 2014". Zaporozh'e, 27–29 may 2014, pp. 305–307 [in Russian].
9. Kan, Yu.Ye, Leytes, A.V. (1993). Production of castfree billets for various purposes. *Steel*, no. 1, pp. 24–29 [in Russian].
10. Boychenko, S.B., Proydak, Yu.S., Synehin, Ye.V. (2014). Method of hydrogen refining flake susceptible molten steel. Patent of Ukraine on the model no. 90886, IPC B21D 11/00, zaiavl. 27.01.2014, opubl. 10.06.2014, Biul. no. 11, 4 p. [in Ukrainian].
11. Boychenko, S.B., Proydak, Yu.S., Synehin, Ye.V. (2014). Method for continuous casting flake susceptible steels. Patent of Ukraine on the model no. 90970, IPC B21D 11/00, zaiavl. 17.02.2014, opubl. 10.06.2014, Biul. no. 11, 4 p. [in Ukrainian].
12. Velychko, A.H. (2005). Out-of-furnace steel treatment. Dnepropetrovsk: Sistemnye tekhnologii, 199 p. [in Russian].
13. Kats, Ya.Ya. (2006). State and prospects of development of post-processing of steel in Russia. *Metallurgist*, no. 2, pp. 49–55 [in Russian].
14. Dyudkin, D.A., Kisilenko, V.V., Pavlyuchenko, I.A., Bolotov, V.Yu. (2008). Ladle furnace – a modern unit for steel production. Donetsk: Nord-Press, 473 p. [in Russian].
15. Protasov, A.V., Mayorov, A.I., Komolov, I.V. (2006). Rational choice of equipment for steel treatment in a modern steelmaking shop. *Bulletin "Ferrous metallurgy" (Byulleten' «Chernaya metallurgiya»)*, no. 2, pp. 58–63 [in Russian].
16. Reisinger, P., Flobholzer, H., Schrade, C. (1998). Current Status of Secondary Steelmaking Applications. Proceedings of the 1st International Steelmaking Conference, Austria, Linz, May 25–27, Paper No. 41.
17. Vizinger, H., Khishmanner, F. (1984). Slabs hot charging and straight rolling. *Ferrous metals*, no. 22, pp. 38–43 [in Russian].
18. Hauck, A. (1994). Modernization of operating wire rolling mills. Metallurgical Plants and Technology, pp. 122–128 [in Russian].
19. Frantsevich, I.N., Voytovich, R.F., Lavrenko, V.A. (1963). High-temperature oxidation of metals and alloys. Moscow: Gostekhizdat, 323 p. [in Russian].

Recieved 12.04.2021

Summary

V.H. Herasymenko¹, PhD (Engin.), Associate Professor, Senior Researcher, e-mail: 4124086@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4207-7316>

Ye.V. Synehin², PhD (Engin.), Associate Professor, Assistant Professor, e-mail: sinegin.ev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9983-3971>

L.S. Molchanov¹, PhD (Engin.), Head of Department, e-mail: metall729321@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6139-5956>

V.Ya. Pererva², PhD (Engin.), Associate Professor, Assistant Professor, e-mail: V-Pererva@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0665-6812>

S.V. Sukhovetskyi², PhD Student, e-mail: bonsao12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3033-8582> q

¹*Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine (Dnipro, Ukraine)*

²*National Metallurgy Academy of Ukraine (Dnipro, Ukraine)*

Conceptual technological solutions for the production of small-section products from continuously cast billets

The article discusses the technological features of the introduction of continuous casting at the metallurgical enterprises focused on the production of small-section and wire metal products and key factors such as the billet cross-section, the choice of the location of the continuous casting machine, schemes for transferring continuously cast billets to the small-section and wire mills. The prerequisites for the introduction of continuous casting and tasks, the solution of which is necessary for its implementation, in particular, the organization of metal flows in a tundish, the dosing of steel from tundish to mold, the use of molds with variable cross-section, methods and modes of secondary cooling of continuously cast billets, etc. are described. Modern methods of external dynamic effects on the metal in the precrystallization period, in particular, electromagnetic stirring of the liquid phase of a continuously cast billet and the technology of "soft" reduction are described. The features of casting blooms and billets from flock-susceptible steel grades, measures to prevent the formation of defects in continuously cast billets are described. As one of the essential conditions for the use of continuous casting machines, the methods of secondary metallurgy to prepare steel for continuous casting are considered in detail. Particular attention is paid to the processing of steel in ladle-furnace unit and vacuum degassers, in particular, the choice of specific processing methods depending on the range of steel produced and the technological problems they solve. The advantages and prospects of combining the processes of continuous casting of billets with metal forming (rolling) are considered, as well as the tasks and problems that arise before engineers in their implementation. In particular, along with the traditional technology for the production of rolled products, the technologies of "hot charging" and direct rolling are considered.

Keywords

Continuous casting of steel, small-section billet, long products, secondary metallurgy.