П.А. Плохих¹, канд. техн. наук, доцент, e-mail: plokhikh_p_a@pstu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-5703-2105>

М.А. Вожол², провідний інженер відділу вогнетривів та теплотехніки, e-mail: nik.tayger@gmail.com

Ю.В. Хавалиць¹, наук. співр., e-mail: uliya1981havalic@gmail.com

П.А. Плохих², майстер киснево-конвертерного цеху, e-mail: plokhikh1774@gmail.com

¹ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (Маріуполь, Україна)

²Приватне акціонерне товариство «Металургійний комбінат «Азовсталь» (Маріуполь, Україна)

Умови служби футеровки сталерозливних ковшів і вимоги, пропоновані до вогнетривких матеріалів

В останні десятиріччя у вітчизняній та закордонній металургії розвиваються прогресивні нові напрями позапічної обробки сталі в ковшах (ковшова металургія) та безперервне розливання на машинах безперервного лиття заготовок, що забезпечує високий рівень якості сталі. Ковшова металургія включає способи продувки сталі інертними газами, порошками, вакуумування, дегазації, десульфурації, видалення вуглецю, дефосфорацію, розкислення, а також легування. Крім того, широко використовують процеси вакуумно-кисневого рафінування, азотно-кисневого зневуглецювання, вакуумно-дугового переплаву, електрошлакового переплаву, циркуляційного вакуумування. Всі ці операції проводять в спеціальних агрегатах комплексної обробки сталі.

Впровадження ковшової металургії перетворює сталерозливні ковші в реактори, які служать не тільки для транспортування та розливання сталі, але і для освоєння нових технологій, включаючи рафінування, легування, розкислення, дегазацію і отримання високоякісних сталей з заданими спеціальними властивостями. В ковшах-реакторах змінюються умови служби вогнетривкої футеровки, збільшується тривалість перебування металу в ковші з урахуванням часу його вторинної позапічної обробки, виникає необхідність підвищення температури сталі під час випуску із сталеплавильного агрегата або за рахунок підігріву в ковші. Все це, безумовно, впливає на знос футеровки та сприяє зниженню стійкості, тому вимоги до складу, якості ковшових вогнетривів зростають. З урахуванням хімічного складу сталей, способів вторинної обробки вибирають вогнетриви та види футеровки.

У виборі ковшових вогнетривів переважають загальні тенденції використання основних, нейтральних, безкисневих та композиційних матеріалів. Особливо широко використовують більш стійкі периклазові, високоглиноземисті вогнетриви та їх модифікації.

Застосування периклазовапняних, вапняковопериклазових (доломітових) вогнетривів дозволяє знизити економічні витрати при підвищенні зносостійкості в 1,5 рази. Використання периклазовуглецевих виробів в ковшах для машин безперервного лиття заготовок дозволяє підвищити стійкість футеровки до 50–100 наливів та знизити питомі витрати вогнетривів до 4–5 кг/т сталі.

До вогнетривів нового покоління відносять синтез-системи на базі оксидів, оксидно-безкисневих та безкисневих матеріалів.

Вогнетривкі системи $MgO-CaO-ZrO_2-Al_2O_3-C$ включають периклазні (MgO), периклазовапнякові ($MgO-CaO$), вапняковопериклазні ($CaO-MgO$), периклазовапняковоцирконієві ($MgO-CaO-ZrO_2$), вапняні (CaO), шпінельні (74 % Al_2O_3 , 23 % CaO), периклазошпінельні ($MgO-Al_2O_3$), шпінель-корундові ($Al_2O_3-MgO-C$) з добавками легуючого вуглецю або без вуглецю (графіту), периклазовуглецеві ($MgO-C$), периклазошпінельвуглецеві ($MgO-Al_2O_3-C$) та ін. В ковшовій металургії їх застосування розширюється, але з урахуванням порівняно високої вартості поки що вказані вогнетриви використовують в якості добавок, як зв'язок в окремих елементах конструкції, покриттях, обмазках, пропитках.

Відповідно до умов служби до ковшових вогнетривів пред'являють високі вимоги за теплофізичними властивостями. Вогнетриви для робочого шару футеровки повинні володіти високими температурами вогнетривкості, розм'якшення під навантаженням, мати достатньо міцнісні характеристики при високій температурі. Бути щільними, термостійкими, шлакоутримуючими, володіти максимальною усадкою, постійністю об'єму, точністю розмірів. В зв'язку з різноманітними умовами служби та багатьма вимогами до вибору ковшового припасу підходять диференційовано з урахуванням властивостей вогнетривів, особливостей конструкції та призначення ковша.

З урахуванням всього вищесказаного, в конвертерному цеху ПрАТ «МК «Азовсталь» розроблено ряд заходів, які дозволили підвищити експлуатаційні характеристики та стійкість футеровки сталерозливних ковшів, знизити витрати на вогнетривкі матеріали на 7,7 % та отримати значний економічний ефект.

Ключові слова: вогнетрив, позапічна обробка, сталерозливний ківш, стійкість, розливання.

Вступ. В останні десятиліття у вітчизняній і закордонній металургії розвиваються прогресивні нові напрями позапічної обробки сталі в ковшах (ковшова металургія) і безперервне розливання на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) [1, 2]. Різні види позапічної вторинної обробки й доведення сталі безпосередньо в ковші або спеціальних установках з наступним безперервним розливанням на МБЛЗ забезпечують високий рівень якості сталей. Частка позапічної обробки й безперервного розливання в загальному обсязі виробництва сталі безупинно зростає. У передових промислових країнах частка безперервного розливання становить більше 90 %. Безперервне розливання забезпечує вихід придатного металу на рівні 96–98 %.

Постановка проблеми. Сталь, що виплавляється у конвертерах, електродугових, індукційних і мартенівських печах, зазнає позапічної обробки з метою підвищення її якості [3, 4]. Ковшова металургія включає способи продувки сталі інертними газами, порошками, вакуумування, дегазації, десульфурації, зневуглецювання, дефосфорації, розкислення й легування [5]. Для різних хімічних складів сталей використовують різноманітні металургійні процеси обробки, зокрема, при виробництві низьколегованих сталей проводять десульфурацію, легування, застосовують доведення шляхом вдмухування інертних газів, порошків (TN-Процес). При виробництві конструкційних, інструментальних сталей застосовують вакуумну дегазацію металу із продувкою аргонном (VAD-Процес). Вакуумно-кисневе зневуглецювання використовують при виробництві високолегованих нержавіючих і жаростійких сталей (VOD-Процес). В умовах типу пічківш піддають обробці метал шляхом вакуумної дегазації, зневуглецювання, легування із застосуванням електродугового або індукційного перемішування з метою одержання низьковуглецевих сталей (процеси ASEA-SKF, FINKL, LF, STEIN, HEEURTEY). У ковшовій металургії також широко використовують процеси вакуумно-кисневого рафінування (VOR), азотно-кисневого зневуглецювання (AOD), вакуумно-дугового переплаву (VAR), електрошлакового переплаву (ESR), циркуляційного вакуумування (RH). Комплексну позапічну обробку, включаючи продувку інертними газами, порошковими реагентами, вакуумування, електропідігрівання й електромагнітне перемішування, проводять у спеціальних агрегатах комплексної обробки сталі (АКОС) [6].

Аналіз останніх публікацій. Успішне проведення комплексної позапічної обробки, а саме продувки інертними газами, порошковими реагентами, вакуумування і таке інше, можливо лише при застосуванні відповідної якості вогнетривів для футеровки сталерозливних ковшів, в яких передбачається ця

обробка. В умовах традиційної металургії доведення, рафінування й інші металургійні процеси проводять у плавильних агрегатах. При цьому сталерозливні ковші служать для приймання, транспортування й розливання в виливниці або на МБЛЗ. Для футеровки ковшів використовують штучні шамотні цегли або монолітні кварцеглинисті маси. Шамотні футеровки служать 10–19 плавов, питома витрата вогнетривів становить 5–12 кг/т сталі. Монолітні футеровки із кремнеземистих мас мають стійкість 10–20 плавов, питома витрата їх досягає 2–4 кг/т. Традиційні футеровки мають істотні недоліки, у тому числі порівняно низьку стійкість, високу теплопровідність, значні теплові втрати, великий обсяг ручної праці. У таких сталерозливних ковшах з урахуванням введення в них легуючих і продувки інертним газом стійкість алюмосилікатних і кремнеземистих цегл, а також кислих набивних і пескометних мас може бути збільшена за рахунок добавок (Al_2O_3 , Cr_2O_3) у вогнетрив. Традиційні склади вогнетривів, способи виготовлення футеровок не відповідають сучасним вимогам ковшової металургії й не забезпечують одержання сталі високої якості.

Впровадження ковшової металургії перетворює сталерозливні ковші в реактори, які служать не тільки для транспортування й розливання сталі, але й для освоєння нових технологій, включаючи рафінування (вакуумування), легування, розкислення, дегазацію й одержання високоякісних сталей із заданими спеціальними властивостями. У ковшах-реакторах змінюються умови служби вогнетривкої футеровки. Збільшується тривалість перебування металу в ковші з урахуванням часу його вторинної позапічної обробки, виникає необхідність підвищення температури сталі на випуску зі сталеплавильного агрегата або за рахунок підігріву в ковші.

Технологічні процеси в ковшах інтенсифікуються за рахунок застосування кисню, вакуумування, організації перемішування при продувці газами, порошками, спеціальними мішалками й електромагнітними пристроями. Активізуються фізико-хімічні процеси взаємодії між рідким металом, кладкою й основними плавильними й синтетичними шлаками. Усе це впливає на зношування футеровки й сприяє зниженню стійкості. У зв'язку з ускладненням технологічних процесів вимоги до складу, якості ковшових вогнетривів зростають. З урахуванням хімічного складу сталей, способів вторинної обробки вибирають вогнетриви й види футеровок [7, 8]. При виборі вогнетривів для агрегатів позапічної обробки сталі необхідно враховувати безпеку технології, складність фізико-хімічних процесів і їх термодинамічний аналіз, дотримуватися закону відповідності термодинамічних рівнів навколишнього середовища й вогнетривів, а також враховувати

екологічні вимоги й заводські витрати на вихідні матеріали, виготовлення й енергію.

У виборі ковшових вогнетривів переважають загальні тенденції використання основних, нейтральних, безкисневих і композиційних матеріалів. Особливо широко використовуються більш стійкі периклазові, високоглиноземисті вогнетриви і їх модифікації. Високоглиноземисті вогнетриви порівняно дорогі, тому в сучасній ковшевій металургії відбувається орієнтація на основні вогнетриви з використанням периклазу, доломіту й на різні композиційні матеріали з легуючими й армуючими компонентами. Застосування периклазовапнякових, вапняковопериклазових (доломітових) вогнетривів дозволяє знизити економічні витрати при підвищенні зносостійкості в 1,5 рази. Розширюється застосування вуглецевмісних вогнетривів як більш шлако- і металотермостійких при високотемпературних умовах служби. Використання периклазовуглецевих виробів у ковшах для МБЛЗ дозволяє підвищити стійкість футеровок до 50–100 наливів і знизити питому витрату вогнетривів до 4–5 кг/т сталі. Сучасний науково-технічний прогрес у технології вогнетривів для ковшів-реакторів пов'язаний з використанням природної сировини (доломітів, магнезитів, бокситів, олівінів, крейди, корунду, графіту та ін.), а також з розширенням застосування штучних матеріалів і продуктів збагачення на основі оксидних і безкисневих з'єднань.

До вогнетривів нового покоління відносять синтез-системи на базі оксидів, оксидно-безкисневих і безкисневих матеріалів. Вогнетриви системи $\text{MgO-CaO-ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ включають периклазні (MgO), периклазовапнякові (MgO-CaO), вапняковопериклазні (CaO-MgO), периклазо-вапняковоцирконієві (MgO-CaO-ZrO_2), вапняні (CaO), шпінельні (74 % Al_2O_3 , 23 % CaO), периклазошпінельні ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$), шпінелькорундові ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$) з добавками легуючого вуглецю або без вуглецю (графіту), периклазовуглецеві (MgO-C), периклазошпінельвуглецеві ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$) та ін.

У вогнетриви системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-SiC}$ входять високоглиноземисті ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$), корундові ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 90\%$), корундовуглецеві ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$), муллітокорундові ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$), муллітокорундовуглецеві ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$), муллітовий ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$), муллітовуглецеві ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\text{-C}$) та ін.

У вогнетриви системи $\text{SiO}_2\text{-SiC-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-C}$ включають кварцові (> 97 % SiO_2), висококремнеземисті (> 93 % SiO_2), кремнеземисті (80–93 % SiO_2), кремнеземкарбідкремніні (SiO_2SiC), корундоцирконні ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$), цирконні (> 50 % ZrO_2 , > 25 % SiO_2), цирконвуглецеві (35 % ZrO_2 , 5–20 % C), цирконвміщуючі (> 30 % ZrO_2 , > 30 % SiO_2) та ін.

При впровадженні позапічної обробки сталей зростає потреба в ковшевих вогнетривах на основі розглянутих оксидів, а також їх модифікацій, що містять вуглець. Безкисневі (боридні, вуглецеві, карбідні, нітридні, силіцидні), оксидно-безкисневі (оксидокарбідні, оксидонітридні, силіконні та ін.) вогнетриви являють собою з'єднання елементів III–VI груп періодичної системи Д.І. Менделєєва. У ковшевій металургії їх застосування розширюється, але з обліком порівняно

високої вартості поки зазначені вогнетриви використовують як добавки, зв'язування в окремих елементах конструкцій, покриттях, обмазках, просоченнях.

Уся справа в тому, що умови служби ковшових вогнетривів дуже відрізняються залежно від технології виплавки й доведення сталі, від марочного складу сталі й шлаку, способів розливання, призначення ковшів (тільки – для розливання, позапічної обробки, для безперервного розливання). Навіть в одному ковші для окремих елементів умови служби неоднакові, наприклад, зношування футеровки по висоті ковша збільшується в міру наближення до днища.

У процесі наповнення, витримки, випуску, позапічної обробки вогнетриви піддаються впливу мінливих високих температур сталі й шлаків, різким тепловим ударам, хімічному впливу розплавів металу, шлаків і продуктів розкислення.

Інтенсивність зношування й стійкість футеровки змінюються в широких межах і залежать від спільного впливу таких факторів, як хімічний склад сталей, шлаків, хіміко-мінералогічний склад і властивості вогнетривів, температура розплаву й футеровки, маса розплаву, тривалість перебування розплаву в ковші, від способу позапічної обробки, організаційних режимів експлуатації ковшів та ін.

Теплова робота футеровки ковшів відбувається в умовах періодично мінливих температурних режимів з більшими амплітудами коливань залежно від сталеплавильного агрегата, позапічної обробки, технології розливання, марочного складу сталей та інших факторів. Температура сталі в ковші змінюється в інтервалі 1530–1700 °C і більше.

Перед розливанням ковші попередньо розігрівають до 900–1100 °C і в процесі експлуатації не допускають зниження температури футеровки нижче 800–900 °C шляхом підігріву пальниками, використанням футерованих кришок. Стійкість футеровки в умовах гарячої експлуатації ковшів на вітчизняних заводах досягає 40–80 плавов, а за закордонними відомостями – до 140 плавов [9, 11].

Після зливу сталі при охолодженні футеровки на повітрі, струменем повітря, за допомогою води або повітряно-водяної емульсії перепад температур між футеровкою і охолоджуючим середовищем досягає значних величин 1400–1500 °C. Зовнішній температурний напір формує в робочому шарі футеровки внутрішню температурну нерівномірність (різницю), яка супроводжується виникненням термічних напружень різного знаку (розтягувальні, стискаючі). Для вогнетривких матеріалів особливо небезпечні розтягувальні напруження, які приводять до розтріскування футеровки. Таким чином, на етапах наповнення й охолодження футеровка ковшів піддається періодичним інтенсивним тепловим ударам, що сприяють її руйнуванню. При цьому, чим вище температура сталі, що розливається, тем інтенсивніше зношування футеровки шляхом відриву (розтріскування), тим більше активізується вплив інших руйнуючих факторів, зростає корозія вогнетривів при хімічній взаємодії компонентів складу усередині шарів, між шарами, а також зі сталлю й шлаками: підвищується рідкотекучість

сталі й шлаку, зростає при цьому ерозія футеровки й насичення її поверхневих шарів товщиною 1–3 мм шлаками: ошлакована футеровка стає чутливою до розтріскування при теплових ударах.

У період витримки й розливання великий вплив на стійкість футеровки в ковшах має хімічний склад сталі й шлаку, а також їх фізичний стан (температура, в'язкість). Найбільш агресивними шлаками є ті, які містять оксиди марганцю й заліза (MnO , FeO). Кількість оксиду марганцю досягає 8–13 %, а оксиду заліза – 15–20 %. Оксиди утворюють низькотемпературні евтектики із кремнеземом, глиноземом футеровки з низькою температурою плавлення, розчиняючи вогнетрив. Наявність оксиду кальцію (CaO) у шлаках сприяє розчиненню вогнетриву.

Зменшення вмісту оксидів заліза й основності шлаку знижує реакційну здатність стосовно напівкислої й шамотної футеровки. Але підвищення основності шлаку веде до збільшення рідкотекучості й, отже, до насичення шлаками поверхневого шару, що сприяє зношуванню. Активність хімічного реагування шлаку з футеровкою за ходом процесу розливання послабляється зі зниженням температури, тому що шлак стає більш густим. Однак координуюча дія шлаку на розм'якшену футеровку зберігається, і зношування футеровки до днища ковша збільшується.

В умовах наповнення, розливання, коливань при транспортуванні ковшів рух металу й шлаків викликає ерозію футеровки, що особливо проявляється при продувці ковшів нейтральними газами й при вакуумуванні сталі. У наповнених ковшах футеровка зазнає феростатичного тиску сталі й шлаку, що інтенсифікує проникнення розплавів у тріщини, шви, пори вогнетривів і сприяє зношуванню. У період розливання й охолодження ковшів склад і властивості вогнетривів футеровки безпосередньо впливають на зношування. Так, схильність вогнетривів до настилоутворення, відповідні температурні умови призводять до налипання розплаву на футеровку, до затягування сталерозливних стаканів. Механічне або термічне видалення настилів приводить до механічного зношування футеровки. Якщо розчинення, роз'їдання футеровки зменшує товщину стінок і збільшує ємність, то утворення настилів і розбухання кладки внаслідок її просочування (насичення) розплавом, навпаки, зменшує й корисну ємність ковша й початкові робочі властивості вогнетривів. Швидкість охолодження сталі й шлаку у ковшах при розливанні повинна бути такою, щоб забезпечити рідкотекучість розплаву з мінімальним настилоутворенням. Зношування футеровки перебуває в прямій залежності від тривалості перебування сталі й шлаку у ковші, яка залежить від часу наповнення, витримки металу в ковші, позапічної обробки, способу розливання й коливається в межах від 30 до 300 хвилин. Рациональне прискорення на всіх етапах сприяє зниженню зношування футеровки. Тривалість перебування розплавів особливо позначається на зношуванні футеровки в ковшах великої ємності.

Найбільш уразливими вузлами футеровки є стопорні пристрої, сталерозливні стакани, гніздові цегли,

кладка шлакового поясу, днище й нижня частина ковша, а також ділянка, у яку вдаряє струмінь при випуску сталі в ківш (бойова частина). Вважається, що нижні ряди футеровки зношуються приблизно в три рази швидше, ніж верхні. Стійкість футеровки оцінюють зношуванням нижньої частини ковша.

Умови служби вогнетривів ще більш важкі в ковшах для позапічної обробки, у яких застосовують продувку інертними газами, вдмухування порошкоподібних реагентів, обробку синтетичними шлаками, вакуумування, підігрів в ковші.

Відповідно до умов служби до ковшових вогнетривів пред'являються високі вимоги щодо теплофізичних і робочих властивостей. Вогнетриви для робочого шару футеровки повинні мати високі температури вогнетривкості, розм'якшення під навантаженням, мати достатні міцнісні характеристики при високій температурі, бути щільними, термостійкими, шлакостійкими, мати мінімальну усадку, сталість обсягу, точність розмірів. У зв'язку з відмінностями умов служби й багатьма вимогами до вибору ковшового припасу підходять диференційовано з урахуванням властивостей вогнетривів, особливостей конструкції й призначення ковшів.

Ще раз треба констатувати, що сталерозливний ківш в сучасних технологічних процесах сталеплавильного підприємства є важливим металургійним агрегатом.

З впровадженням новітніх технологічних прийомів щодо позапічної обробки сталі функції сталерозливного ковша значно зросли. Природно, зросли і вимоги, що пред'являються до якості вогнетривів та умови їх експлуатації.

Крім підвищення якості показників вогнетривів для футеровки сталерозливного ковша, на підприємствах все більше уваги приділяють поліпшенню технологічних умов експлуатації футеровки сталерозливних ковшів, тому що на відміну від конвертерів, футеровка сталерозливних ковшів знаходиться в більш жорстких умовах експлуатації. Під поліпшенням технологічних умов експлуатації ковшів слід розуміти визначення і моніторинг основних факторів, що впливають на експлуатаційні властивості вогнетривів (і, як наслідок, стійкісні показники ковшів) з метою їх стабілізації.

Одним з важливих факторів, що впливає на стійкість футеровки ковшів в процесі їх експлуатації, є обертаємість ковшів. Під обертаємістю ковша розуміють кількість ковшів за окремий період часу (розлитих плавов за добу). У свою чергу висока обертаємість ковшів дозволяє експлуатувати футеровку в більш стабільних умовах (при високих температурах), уникаючи температурних перепадів та термоударів для вогнетриву.

Мета роботи. Виходячи з вищенаведеного, співробітниками Металургійного Комбінату (МК) «АЗОВ-СТАЛЬ» розроблено програму (програмне забезпечення), що визначала оптимальну кількість ковшів для забезпечення виробництва за добу під заданий виробничий план.

Метод дослідження. Основним алгоритмом програми була циклограма терміна всіх технологічних процесів експлуатації футеровки ковшів.

Викладення основного матеріалу. З метою поліпшення технологічних умов експлуатації футеровки сталерозливних ковшів співробітниками МК «АЗОВ-СТАЛЬ» проаналізовано всі технологічні процеси, а саме:

- злив з конвертера;
- позапічну обробку;
- розливання сталі;
- обслуговування ковша, з урахуванням загального парку ковшів.

Крім того, до заходів щодо підвищення обертаємості ковшів слід віднести також скорочення терміну обслуговування елементів футеровки сталь-ковшів, а саме:

- заміну вогнетривких виробів (плити, стакани) шибєрної кераміки – за рахунок впровадження сучасних шибєрних затворів типу «книжка»;
- заміну вогнетривких виробів (продувка пробки) продувкою кераміки – за рахунок впровадження сучасних продувних систем типу «IPV»;
- виконання гарячих відновних ремонтів футеровки – за рахунок впровадження технології напівсухого торкретування.

Слід відзначити, що в умовах нестабільного завантаження цеху та неритмічного виробництва, пов'язаного із замовленнями, в окремі періоди виникають проблеми наступного характеру: необхідно терміново знизити кількість ковшів в роботі та вивести їх в гарячий резерв, поставивши на стенд розігріву з метою підтримки теплового стану футеровки. В такі періоди відзначалися підвищені витрати енергоносіїв (природного газу, повітря та електроенергії).

Висновки

Результатом проведеної роботи було підвищення обертаємості сталерозливних ковшів на 40 %, тобто з 2,8 до 4,0 плавки за добу, а по деяким ковшам цей показник сягав 4,5 плавки за добу. Разом з іншими заходами щодо стабілізації роботи ковшів, стійкість футеровки сталерозливних ковшів була збільшена з 90 до 100 плавок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патон Б.Е. Мировые тенденции развития сталеплавильного производства в XXI веке. *Труды Международной конференции «Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке»*. М.: Металлургия. 1994. Т. 2. С. 160–165.
2. Лякишев Н.П. Некоторые тенденции в развитии сталеплавильного производства. *Труды I конгресса сталеплавильщиков*. М.: АО «Черметинформация», 1993. С. 12–14.
3. Мельник С.Г., Носоченко О.В., Харахулах В.С. и др. Внепечная обработка конвертерной стали. *Сталь*. 1993. № 7. С. 22–26.
4. Мельник С.Г., Носоченко О.В., Брызгунов К.А. и др. Комплексная внепечная обработка стали, выплавляемой в большегрузных конвертерах. I Конгресс сталеплавильщиков: Сб. трудов. М.: АО «Черметинформация», 1993. С. 198–200.
5. Найдек В.П. Повышение эффективности металлургических технологий внепечной обработки металлургических расплавов. *Материалы международной н.-т. конференции «Производство стали в XXI веке. Прогноз, процессы, технология, экология»*. К.: КПИ, 2000. С. 16–25.
6. Карклит А.К., Орлов В.А., Соколов А.Н. Огнеупоры для вакуумных металлургических агрегатов. М.: Металлургия, 1982. 144 с.
7. Очагова И.Г. Периклазоуглеродистые огнеупоры для футеровки кислородных конвертеров, дуговых печей и агрегатов внепечной обработки стали / И.Г. Очагова (реферат). *Новости черной металлургии за рубежом*. 1995. № 1. С. 137–149.
8. Великин Б.А. Карклит А.К., Колпаков С.В. и др. Футеровка сталеразливочных ковшей. М.: Металлургия, 1990. 248 с.
9. Рябов В.В., Чалышев Г.С., Чумарин Б.А. Эффективность применения известковопериклазовых огнеупоров в футеровке сталеразливочных ковшей. *Труды IV конгресса сталеплавильщиков*. Москва, 7–10 октября 1996.
10. Нагорный А.П. и др. Применение безобжиговых периклазоуглеродистых изделий в элементах футеровки 350-тонных сталеразливочных ковшей. *Огнеупоры и техническая керамика*. 1998. № 2. С. 37–39.
11. Стариков В.С., Темлянцев М.В., Стариков В.В. Огнеупоры и футеровка в ковшевой металлургии. Учебное пособие для вузов. М.: МИСИМ, 2003. 328 с.

Надійшла 24.06.2021

REFERENCES

1. Paton, B.E. (1994). Global trends in the development of steel production in the XXI century. *Proceedings of the International conference "Ferrous metallurgy of Russia and the CIS countries in the XXI century"*. Moscow: Metallurgiya, vol. 2, pp. 160–165 [in Russian].
2. Lyakishev, N.P. (1993). Some trends in the development of steel production. *Proceedings of the I Congress of Steel Smelters*. Moscow: JSC "Chermetinformatsiya", pp. 12–14 [in Russian].
3. Mel'nik, S.G., Nosochenko, O.V., Kharakhulakh, V.S. et al. (1993). Out-of-furnace treatment of converter steel. *Steel*, no. 7, pp. 22–26 [in Russian].
4. Mel'nik, S.G., Nosochenko, O.V., Bryzgunov, K.A. et al. (1993). Complex out-of-furnace treatment of steel smelted in heavy-duty converters. *I Congress of Steel Smelters: Proceedings*. Moscow: JSC "Chermetinformatsiya", pp. 198–200 [in Russian].
5. Naydek, V.P. (2000). Increasing the efficiency of metallurgical technologies for out-of-furnace processing of metallurgical melts. Conference "Steel production in the XXI century. Forecast, processes, technology, ecology". Kyiv: KPI, pp. 16–25 [in Russian].
6. Karklit, A.K., Orlov, V.A., Sokolov, A.N. (1982). Refractories for vacuum metallurgical units. Moscow: Metallurgiya, 144 p. [in Russian].
7. Ochagova, I.G. (1995). Periclase-carbon refractories for lining oxygen converters, arc furnaces and out-of-furnace steel processing units / I.G. Ochagova (abstract). *News of ferrous metallurgy abroad*, no. 1, pp. 137–149 [in Russian].
8. Velikin, B.A., Karklit, A.K., Kolpakov, S.V. et al. (1990). Lining of steel-pouring ladles. Moscow: Metallurgiya, 248 p. [in Russian].
9. Ryabov, V.V., Chalyshev, G.S., Chumarin, B.A. (1996). The effectiveness of the use of lime-periclase refractories in the lining of steel-pouring ladles. *Proceedings of the IV Congress of Steel Smelters*. Moscow, October 7–10 [in Russian].
10. Nagorny, A.P., Kravchenko, A.I., Il'in, V.V. et al. (1998). Application of non-fired periclase-carbon products in lining elements of 350-ton steel-pouring ladles. *Refractories and technical ceramics*, no. 2, pp. 37–39 [in Russian].
11. Starikov, V.S., Temlyantsev, M.V., Starikov, V.V. (2003). Refractories and lining in ladle metallurgy. Textbook for universities. Moscow: MISIM, 328 p. [in Russian].

Received 24.06.2021

Summary

P.A. Plokhikh¹, PhD (Engin.), Associate Professor,
e-mail: plokhikh_p_a@pstu.edu, <https://orcid.org/0000-0002-5703-2105>
M.A. Vozhol², Leading engineer of the department of refractories and heat engineering, e-mail: nik.tayger@gmail.com
Yu.V. Khavalits¹, Researcher, e-mail: uliya1981havalic@gmail.com
P.A. Plokhikh², Master of the basic oxygen furnace shop,
e-mail: plokhikh1774@gmail.com

¹*SHEI "Pryazovskyi State Technical University" (Mariupol, Ukraine)*

²*Private Joint Stock Company "Azovstal Iron & Steel Works" (Mariupol, Ukraine)*

Service conditions of steel-pouring ladle lining and conditions for refractory materials

In recent decades, domestic and foreign metallurgy has been developing progressive new areas of out-of-furnace processing of steel in ladles (ladle metallurgy) and continuous casting of machines for continuous casting of billets, which provides a high level of steel quality. Bucket metallurgy includes methods of purging steel with inert gases, powders, vacuuming, degassing, desulfurization, carbon removal, dephosphorization, deoxidation, and alloying. In addition, the processes of vacuum-oxygen refining, nitric-oxygen decarburization, vacuum-arc remelting, electroslog remelting, circulating vacuum are widely used. All these operations are carried out in special units of complex steel processing.

The introduction of ladle metallurgy turns steel ladles into reactors that serve not only for transporting and casting steel, but also for the development of new technologies, including refining, alloying, deoxidation, degassing and production of high

quality steels with specified special properties. In reactor ladles, the service conditions of refractory lining change, the duration of metal in the ladle increases taking into account the time of its secondary out-of-furnace processing, there is a need to increase the steel temperature during release from the steelmaking unit or by heating in the ladle. All this, of course affects the wear of the lining and reduces the stability, so the requirements for the composition, quality of bucket refractories are growing. Taking into account the chemical composition of steels, methods of secondary processing choose refractories and types of linings.

The choice of ladle refractories is dominated by general trends in the use of basic, neutral, oxygen-free and composite materials. More stable periclase, high-alumina refractories and their modifications are especially widely used.

The use of periclase-limestone, limestone-periclase (dolomite) refractories allows to reduce economic costs while increasing wear resistance by 1.5 times. The use of periclase-carbon products in ladles for machines of continuous casting of blanks allows to increase the stability of the lining to 50–100 pours and reduce the specific consumption of refractories to 4–5 kg/t of steel.

The refractories of the new generation include synthesis systems based on oxides, oxide-oxygen-free and oxygen-free materials.

Refractory systems $\text{MgO-CaO-ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ include periclase (MgO), periclase-limestone (MgO-CaO), limestone-periclase (CaO-MgO), periclase-lime-zirconium (MgO-CaO-ZrO_2), limestone (CaO), spinel (74 % Al_2O_3 , 23 % CaO), periclase-spinel ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$), spinelcorundum ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-C}$) with the addition of carbon alloying or without carbon (graphite), periclase-carbon (MgO-C), periclase-spinel-carbon ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-C}$) et al.

In ladle metallurgy, their use is expanding, but given the relatively high cost so far, these refractories are used as additives, bonds in individual structural elements, coatings, coatings, impregnations.

In accordance with the conditions of service to ladle refractories have high requirements for thermophysical properties. Refractories for the working layer of the lining must have high fire resistance temperatures, softening under load, have sufficient strength characteristics at high temperatures. They have to be dense, heat-resistant, slag-retaining, to have the maximum shrinkage, consistency of volume, accuracy of the sizes. Due to the different conditions of service and the many requirements for the choice of bucket supplies are differentiated taking into account the properties of refractories, design features and purpose of the bucket.

Taking into account all the above, a number of measures have been developed in the converter shop of PJSC MK Azovstal, which allowed to increase the performance and stability of steel bucket linings, reduce the cost of refractory materials by 7.7 % and get a significant economic effect.

Keywords

Refractory, ladle treatment, steel bucket, stability, casting.