

УДК 669.17.046.517В : 669-154 DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-139-148

В.П.Піптюк, к.т.н., с.н.с, ORCID 0000-0002-2915-1756,

С.В.Греков, н.с., ORCID 0000-0003-2848-0999,

Інститут чорної металургії ім.З.І.Некрасова НАН України

С.Є.Самохвалов, д.т.н., зав. каф., проф., ORCID 0000-0002-7362-213X,

К.С.Красніков, к.т.н., ст. викл., ORCID 0000-0002-4241-0572

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське (ДДТУ)

І.М.Логозинський, директор по технології і якості ORCID 0000-0003-3915-4106,

ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. Кузьміна А.М.
м.Запоріжжя (ПрАТ «ДСС»)

ВИВЧЕННЯ УМОВ ПЕРЕМІШУВАННЯ ТА ТЕПЛОВОГО СТАНУ РОЗПЛАВУ ПРИ ДЕГАЗАЦІЇ СТАЛІ НА ОБЛАДНАННІ КАМЕРНОГО (VD) ТИПУ

Анотація. Зростаючі вимоги до якості металопродукції регламентовані міжнародними, державними стандартами та іншими документами, зокрема, за змістом газів і неметалевих включень в металі. У ряді випадків нормативними документами передбачається необхідність дегазації сталі з підвищеними вимогами до якості, в тому числі флокеночутливих марок. З цією метою на металургійних і машинобудівних підприємствах України експлуатується обладнання для камерної (VD, VOD-типів) дегазації. З огляду на недостатню вивченість процесу дегазації сталі проведені теретичні чисельні дослідження. Як об'єкт вивчення визначили установку для дегазації фірми «Mannesmann Demag» вищезазначеного типу з 60т ковшем з посиленням футерування в бійні частині підприємства ПрАТ «ДСС». На основі вихідних даних процесу дегазації сталі співробітниками ДДТУ розроблена математична модель, яка розглядає тепло- і масообмінні процеси в рідкій металевій ванні під час її дегазації. Створено спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє враховувати технологічні параметри, що змінюються під час обробки металу у вакуумі, конфігурацію і ємність ковшової ванни. Співробітники ІЧМ НАНУ з використанням бази даних по позапічної обробки електросталі на ПрАТ «ДСС» за попередній період визначили, що значення маси плавки знаходилися в межах від 54т до 66т. З урахуванням попередньо встановленого, що інтенсивність продувки аргоном через донні (ую) фурми (у) і різна маса металу в ковші однієї ємності від плавки до плавки створюють різні гідродинамічні і теплові умови протікання процесів обробки металу в ковші, і вищезазначеної інформації зажадало додаткової оцінки процесу дегазації. На першому етапі численних досліджень вивчалися гідродинамічні умови протікання дегазації в металевій ванні з урахуванням перерахованих факторів впливу. Побудовано контурні діаграми вертикальної складової швидкості потоків металу в різних вертикальних осевих перетинах ванни на 20 хвилини дегазації (при тиску 1 мм рт. ст.). У наведених вертикальних перетинах низхідні потоки металу концентруються у верхній половині ванни, а висхідні потоки - в її нижній половині. Відзначено, що при збільшенні витрати аргону на перемішування при однаковій масі плавки збільшуються абсолютні значення вертикальної складової швидкості металу, а при однакових витратах

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

аргону вона зменшується зі збільшенням маси плавки, що аналогічно умовам обробки при нормальному атмосферному тиску. На другому етапі досліджень вивчалися теплові умови під час дегазації сталі при аналогічному зниженому тиску. Побудовано контурні діаграми з ізотермами (середня температура металу в ковші) в залежності від тривалості процесу дегазації і витрати аргону. Проведена порівняльна оцінка теплових умов при дегазації на обладнанні камерного типу і на УКП (при нормальному тиску) з умовами експлуатації при аналогічній початковій температурі і відповідному витраті аргону. Встановлено збільшення втрат тепла металом при зростанні витрат аргону і при зменшенні маси плавки. Таким чином, встановлено, що особливості перемішування металеві ванни створюють різні гідродинамічні умови протікання процесу дегазації на обладнанні камерного типу, впливають на її тепловий стан, що, ймовірно, може позначатися на ефективності видалення газів.

Ключові слова: дегазація металу, витрата аргону, маса плавки, температура

Посилання для цитування: Піптюк В.П., Самохвалов С.Е., Лозозинський І.М., Греков С.В., Красніков К.С. Вивчення умов перемішування та теплового стану розплаву при дегазації сталі на обладнанні камерного (VD) типу. //«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. - Вип.34. – С.139-149. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-139-148

Сучасний стан питання. Поступове зростання вимог споживачів до якості металопродукції змушує виробників до пошуку нових і вдосконалення існуючих технологій виробництва сталі. Цей пошук здійснюється в умовах експлуатації сучасного металургійного обладнання з метою виявлення додаткових важелів впливу на процеси, які протікають насамперед у ковшовій ванні при позапічній обробці, визначення і розширення можливостей їх врахування. Одним із сучасних способів підвищення якості сталі є позапічна дегазація. Застосування такого способу обробки забезпечує видалення газів з металевого розплаву, доведення і усереднення металу по хімічному складу і температурі, зменшення його забрудненості неметалевими включеннями.

До 1990 року на металургійних підприємствах України було споруджено обладнання дегазації порційного (DH) і циркуляційного (RH) типів: на металургійному комбінаті «Азовсталь» (DH, киснево-конвертерний цех), на Донецькому металургійному заводі (DH, електросталеплавильний цех), на Краматорському машинобудівному заводі «Енергомашпецсталь» (RH, електросталеплавильний цех), на Маріупольському машинобудівному заводі «Азовмаш» і Сумському машинобудівному заводі обтяжуючих труб (на обох VOD - в складі установок ASEA-SKF в електросталеплавильних цехах). Здебільшого на теперішній час з різних причин ці агрегати виведені з експлуатації і демонтовані. В роки незалежності на вітчизняних підприємствах побудовані і введені в експлуатацію 6 дегазаторів камерного (VD) типу:

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Выпуск 34

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

на ЗАТ «ММЗ ІСТІЛ», на заводах «Дніпроспецсталь» фірми «Маннесман Демаг» і «Дніпросталь» фірми «Данієлі», на ЗАТ «НКМЗ» і ВАТ «Енергомашспецсталь» виробництва «НКМЗ» і на ВАТ «Алчевський МК» фірми «VAI FUCHS». Тому об'єктом чисельних досліджень були визначені установки дегазації сталі саме цього (VD) типу.

Наявність такого спеціалізованого обладнання для дегазації металу в умовах підвищення вимог до якості і жорсткої конкуренції на ринку збуту металопродукції обумовлюють необхідність пошуку нових рішень по вдосконаленню технологічного регламенту дегазації сталі, визначенню додаткових важелів впливу на процеси взаємодії рідкого металу і шлаку в умовах низького тиску. Саме цьому процеси, які забезпечують виділення газів з металевого розплаву, є актуальними, представляють науковий інтерес і мають практичне значення.

Мета роботи. Вивчення умов перемішування та теплового стану рідкої металеві ванни при дегазації сталі у агрегаті камерного типу.

Вихідні дані і методика досліджень. Візуальне вивчення процесів дегазації сталі у ковші на обладнанні камерного типу можливе тільки спостереженням за допомогою фото- чи відеокамери, але процеси видалення газів, які відбуваються у рідкій металевій ванні під шаром шлаку, на теперішній час можливо дослідити лише з використанням методу моделювання. Для опису процесу дегазації сталі співробітниками ДГТУ на основі підготовлених у ІЧМ НАНУ вихідних даних була розроблена математична модель, яка розглядає тепло- і масообмін у рідкій ванні під час відповідної обробки металу [1] і створене спеціалізоване програмне забезпечення, яке оновлюється з уточненням математичної моделі. Таке програмне забезпечення дозволяє проводити чисельні дослідження дегазації сталі у ковшах різної ємкості на обладнанні VD типу з врахуванням геометрії ковшової ванни, її ємкості і змінних технологічних параметрів. Параметри, що враховуються, можуть стати важелями впливу на процеси, які підлягають вивченню.

Сам процес дегазації сталі розподіляється на три періоди: початковий – зниження тиску повітря у вакуум-камері, основний - стан «глибокого» (тиск менше 1мм.рт.ст) вакууму, кінцевий - визначення хімічного складу, замір температури і утеплення поверхні розплаву. Раніше, наприклад, встановлено, що під час обробки металевого розплаву на установці ківш-піч (УКП) за рахунок продування аргоном з різними витратами через донні (у) фурми (у) формуються різні гідродинамічні умови, які одночасно створюють різний тепловий стан розплаву у ковшовій ванні [2-7]. Тому наявність у ванні «глибокого» вакууму з продувкою її аргоном, ймовірно, теж буде створювати певні гідродинамічні та теплові умови в ківші, особливості яких потребують додаткової оцінки і врахування.

Дослідники ІЧМ НАНУ на початок роботи мали у своєму розпорядженні базу даних по позапічній обробці електросталі виробництва ПрАТ «ДСС», яка включала етап дегазації. Тому об'єктом досліджень була визначена ковшова ванна ємкістю 60т з посиленою бійною частиною футерівки [6]. Коливання маси плавки за попередній період експлуатації ковшів, який розглядався, знаходилось в межах від 54т до 66т.

На першому етапі чисельних досліджень по контурних діаграмах вивчали умови перемішування металеві ванни, на другому – її тепловий стан. Витрати аргону у початковий і кінцевий періоди вакуумної обробки становили $0,06Q$ (л/хв) з тривалістю подачі газу по 10хв на кожний, а в основний (один з перелічених) – $0,10Q$, $0,13Q$, $0,16Q$, $0,33Q$, $0,67Q$ і $1,0Q$ (л/хв) з тривалістю 20хв, де Q - максимальні витрати аргону, які вивчались. Додатково досліджували технологічно можливий варіант - без продування ковшової ванни в цей період обробки.

Тепловий стан вивчали також по контурним діаграмам. Порівнювали середні у ківші температури металу при дегазації на обладнанні VD типу і при обробці металу на УКП з аналогічними технологічними параметрами (без здійснення нагріву металу). Виходили з того положення, що теплові втрати металеві ванни при дегазації відбуваються в основному за рахунок інфрачервоного випромінювання через кожух сталерозливного ківша і з оголеної від шлаку поверхні металу. При обробці металу на УКП до них додаються ще й втрати за рахунок конвекції. Початкова температура металу перед дегазацією – 1625°C . Маса металу в ківші: мінімальна 54т, 60т (середня величина), максимальна 66т. Конфігурацію металеві ванни обрано згідно з даними [5, 6].

Виклад основних матеріалів дослідження. Для оцінки умов перемішування розплаву при дегазації металу на обладнанні VD типу використовували отримані в роботі чисельні результати, по яким будували контурні діаграми (рис. 1 і 2). У якості оціночного варіанту і його візуалізації вибрали осьовий вертикальний перетин металеві ванни, який проходить через середину бійної частини футерівки внутрішньої конфігурації ванни ківша. Побудували діаграми, які відтворюють момент за декілька секунд до кінця обробки металу у дегазаторі.

Встановили, що у цьому перетині металеві ванни низхідні потоки знаходяться у верхній частині (приблизно на $2/5$ від висоти ванни), а висхідні потоки у нижній її частині (рис. 1 і 2). При збільшенні витрат аргону на перемішування металеві ванни при однаковій масі плавки зростають абсолютні значення вертикальної складової швидкості, а при однакових витратах інертного газу - відбувається зменшення цього параметру при збільшенні маси плавки. Ізолінії з однаковими вертикальними складовими швидкостей у цьому перетині ковшові

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

металевої ванни розташовуються не симетрично відносно вертикальної осі завдяки впливу потовщення футерівки (бійної частини) і близького місця розташування продувної фурми.

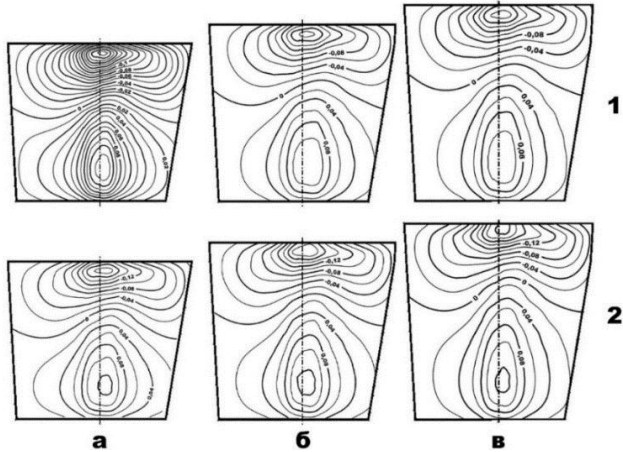


Рисунок 1 – Контурні діаграми вертикальної складової швидкості потоків розплаву (цифри на ізолініях) в ківші наприкінці обробки металу на дегазаторі камерного (VD) типу, що продувається через донні фурми з витратами аргону 0,10 Q (1) і 0,17 Q (2) при різній масі плавки (54т (а), 60т (б) і 66т (в))

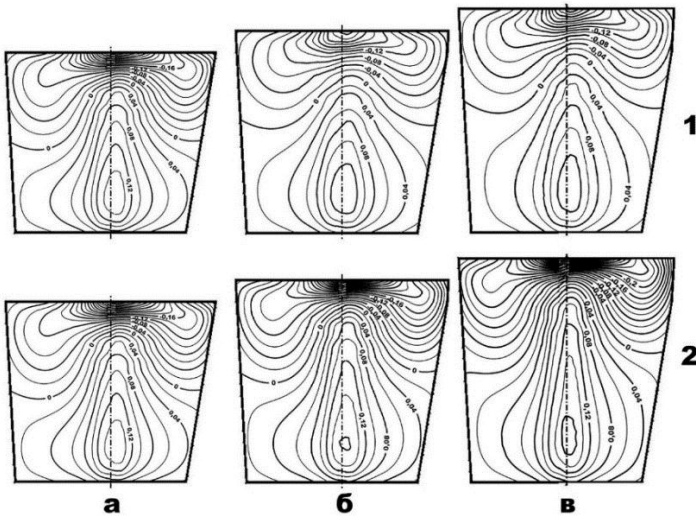


Рисунок 2 – Витрати аргону 0,33 Q (1) і 1,0 Q (2). Інше – відповідно рис. 1.

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

Вивчення теплового стану розплаву під час дегазації будь-якої марки сталі потрібно для розробки раціонального технологічного регламенту цієї стадії позапічної обробки з подальшим розливанням у зливки або отриманням безперервнолитої заготовки.

Початкову температуру металу при його дегазації розраховували виходячи з того, що скачування частини шлаку перед обробкою супроводжується зниженням температури металу на 30-35⁰ С, під час транспортування ківша до вакуум-камери відбувається зниження температури на 10-15⁰ С, ще на біля 30⁰ С метал охолоджується під час дегазаційної обробки, під час зменшення тиску у вакуум-камері відбувається зниження температури приблизно на 25⁰ С, додаткове зниження температури (приблизно на 20⁰ С) відбувається по завершенню дегазації, а для розливання потрібно перевищення в 25-30⁰ С температури розплаву над температурною лінією лівідус. Взагалі температура металу, яка остання зафіксована при обробці на УКП, повинна бути на 150-165⁰ С вище температури лівідус, наприклад, для сталі марки ШХ15. Такий інтервал температур добре узгоджується з раціональним перегрівом металу на 100-110⁰ С перед дегазацією у 120т ківші, що сприятиме, на думку авторів [8], більш ефективному видаленню водню та азоту з металу. Результати розрахункових досліджень теплового стану металу під час його дегазації представлені на рис. 3 і 4.

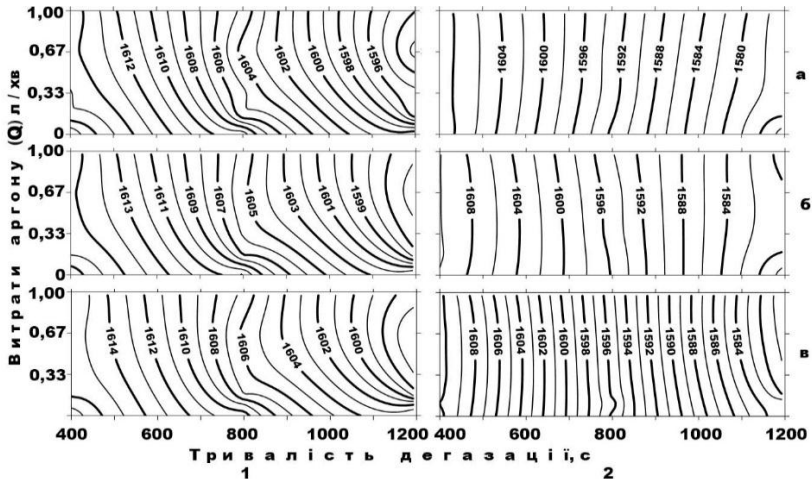


Рисунок 3 – Контурні діаграми теплового стану ванни при обробці металу у дегазаторі камерного (VD) типу (1) і його обробки на УКП при нормальному тиску (2). Ізотерми вказують середню у ківшовій ванні температуру. Маса плавки 54т (а), 60т (б) і 66т (в).

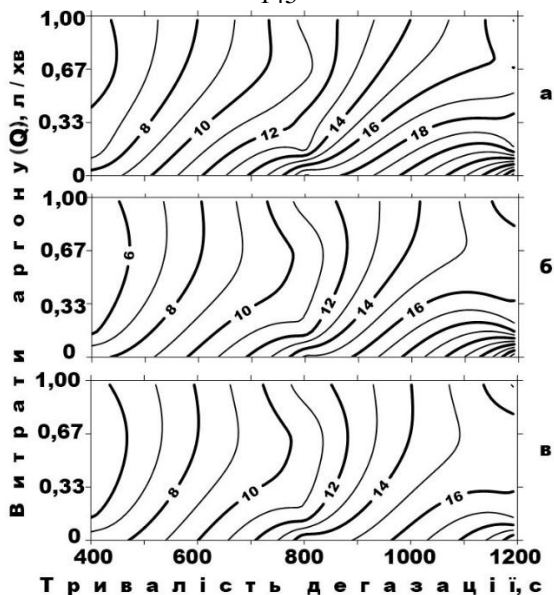


Рисунок 4 –. Контурна діаграма відмінностей (різниця температури) теплового стану ванни при дегазації (рис. 3, поз.1) і її теплового стану при нормальному тиску (рис. 3, поз.2). Позначення **а, б, в** відповідають масі плавки згідно рис.3

Встановлено, що при підвищенні витрат аргону під час дегазації (рис. 3, поз.1) відбувається збільшення оголеної від шлаку поверхні металу, що спричиняє зростання інфрачервоного випромінювання і втрат тепла у ковшовій ванні (при масі плавки 60т метал охолоджується зі швидкістю від $-0,99$ до $-1,44^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ для витрат аргону від $0,10Q$ до $1,0Q$). Плавка з меншою масою металу охолоджується скоріше плавки з більшою масою: наприклад, при витратах аргону $0,17Q$ зниження температури відбувається зі швидкістю $-1,50$, $-1,39$ і $-1,34^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ для ковшової ванни 54т, 60т і 66т відповідно. Оцінку теплового стану металеві ванни при дегазації металу порівнювали з відповідними витратами аргону і такою ж масою плавки при нормальному тиску навколишнього повітря (рис. 3, поз.2). В останніх умовах тепловий стан характеризується такими ж залежностями, що і при дегазації.

На рис. 4 показана різниця між тепловим станом при дегазації (рис. 3, поз.1) і тепловим станом при нормальному тиску (рис. 3, поз.2). Наприкінці обробки металу вакуумом (на 1200с) у чисельних дослідженнях спостерігається така різниця: до $\approx 28^{\circ}\text{C}$, до $\approx 26^{\circ}\text{C}$ і до $\approx 21^{\circ}\text{C}$ при масі плавки 54т, 60т і 66т відповідно. При збільшенні витрат аргону

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

на продування ковшової ванни ця різниця зменшується. Без фактичного продування (програмне значення з витратою аргону 0,001 л/хв) теплові втрати ковшової ванни здійснюються інфрачервоним випромінюванням через стінки та днище ківшу, а через охолоджену поверхню шлаку воно, ймовірно, незначне. В цілому рис. 4 показує складову частину інфрачервоного випромінювання під час дегазації металу на дегазаторі камерного типу.

Висновки

1. Проведені розрахункові дослідження гідродинамічного і теплового стану металевої ванни з різними масами плавки та витратами аргону в умовах ПрАТ «ДСС» при дегазації сталі.
2. Перемішування металевої ванни створює різні гідродинамічні умови протікання процесів дегазації на обладнанні камерного (VD) типу в залежності від маси плавки в ківші, що може впливати на ефективність видалення газів.
3. Вивчення теплового стану при дегазації на обладнанні камерного (VD) типу показало більш сприятливі теплові умови для плавки з більшою масою металу. Дослідно-промислове дослідження відповідних умов дозволить уточнити теплові втрати при різних технологічних параметрах діючого виробництва.

Перелік посилань

1. Солоня А.В. Моделирование процесса ковшового вакуумирования с продувкой инертным газом / А.В. Солоня, В.П. Пиптюк // Информационные технологии в металлургии та машинобудуванні. ITMM'2017: Матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 28 - 30 березня 2017 р.). - Дніпро: НМетАУ, 2017. - С.79.
2. Пиптюк В.П. Основные данные для численных исследований гидродинамики ванны на установках ковш-печь переменного тока разной мощности / В. П. Пиптюк, В. Ф. Поляков, И. Н. Логозинский и др. // Сб. науч. тр. ИЧМ НАНУ «Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии», 2007, Вып. № 14, С. 145-153.
3. Пиптюк В.П. Гидродинамика металлической ванны на установках ковш-печь переменного и постоянного тока / В.П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, И. А. Павлюченков и др. // Металл и литье Украины. – 2008. - №7-8. - С.32-37
4. Пиптюк В.П. Параметры моделирования тепловых процессов в ванне установки ковш-печь / В. П. Пиптюк, В. Ф. Поляков, С. Е. Самохвалов и др. // Процессы литья. – 2009. – №5. – с.34-41.
<https://doi.org/10.1134/S0036029509070076>
5. Пиптюк В.П. Перемешивание расплава в сталеразливочном ковше с усилением футеровки в бойной части / В.П. Пиптюк, И.Н. Логозинский, С.В. Греков // Материали ІХ Міжнародної конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті» 31 травня – 7 червня 2013 г. Технічний університет – Варна, г. Варна, Болгарія. Т.2.- С. 109-112.

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34
«Fundamentalnye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Выпуск 34
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

6. Пиптюк В.П. Влияние усиления футеровки в бойной части сталеразливочного ковша на параметры перемешивания расплава / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, И. Н. Логозинский, и др. // *Металлург.* – 2013. - № 7. – С.29-34.
7. Пиптюк В.П. Исследование тепло-, массообменных процессов в ванне установки ковш-печь. Часть 2. Результаты моделирования теплового состояния расплава / В. П. Пиптюк, С. Е. Самохвалов, И. А. Павлюченков и др. // *Теория и практика черной металлургии.* 2013. - № 5-6. – С.49-52.
8. Тутарова В.Д. Закономерности удаления водорода на установке вакуумирования стали камерного типа / В.Д. Тутарова, А.Н. Шаповалов, А.Н. Калинтаев // *Известия ВУЗов. Черная металлургия.* - 2017. - Т. 60, № 3. - С. 192 – 199. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-3-192-199>

References

1. Solona, A. B. & Piptyuk, V. P. (2017). Modelyuvannya protsesu kovshovoho vakuuvannya z produvkoyu inertnym hazom [Modeling of bucket evacuation process with inert gas purging]. *Information Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering. ITMM'2017: IX mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (Dnepr, 28 - 30 marta 2017 g.) [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference], (Dnipro, March 28 - 30, 2017), (p.79).* Dnipro: NMetAU. [in Ukrainian].
2. Piptyuk, V. P., Polyakov, V. F. & Logozinckiy I. N. et al. (2007). Osnovnyye dannyye dlya chislennykh issledovaniy gidrodinamiki vannы na ustanovkakh kovsh-pech peremennogo toka raznoy moshchnosti [Basic data for numerical studies of bath hydrodynamics at AC ladle-furnace installations of different power] *Sb. nauch. trudov ICHM NANU «Fundamentalnyye i prikladnyye problemy chornoy metallurgii» [Collection of scientific works of the ISI of NASU "Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy"], 2007, Vol. 14, 145-153.* [in Russian].
3. Piptyuk, V. P., Samokhvalov, S. E. & Pavlyuchenkov, I. A. et al. (2008). Gidrodinamika metallicheskey vannы na ustanovkakh kovsh-pech peremennogo i postoyannogo toka [Hydrodynamics of a metal bath in ladle-furnace installations of alternating and direct current]. *Metall i litye Ukrainy [Metal and casting of Ukraine], 2008, 7-8, 32-37.* [in Russian].
4. Piptyuk, V. P., Polyakov, V. F., Samokhvalov, S. E. et al. (2009). Parametry modelirovaniya teplovykh protsessov v vanne ustanovki kovsh-pech [Parameters of modeling thermal processes in the bath of the ladle-furnace]. *Protsestry litya. [Casting processes], 2009, 5, 34-41.* [in Russian]. <https://doi.org/10.1134/S0036029509070076>
5. Piptyuk, V. P., Logozinckiy, I. N., Grekov, S. V. (2013). Peremeshivaniye raspлава v stalerazlivochnom kovshe s usileniyem futerovki v boynoy chasti [Mixing of the melt in a steel pouring ladle with reinforcement of the lining gain in impact zone]. *Quality Strategy for Industry and Education 2013: Materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Varna, Bolgariya, 31 maya-7 iyunya 2013 g.) [Proceedings of the IX International Conference], (May 31 - June 7, 2013).* (Vol. 2, pp.109-112). Varna: Technical University [in Russian].

6. Piptyuk, V. P., Samokhvalov, S. E. & Logozinckiy, I. N. et al. (2013). Vliyanie usileniya futerovki v boynoy chasti stalerazlivochnogo kovsha na parametry peremeshivaniya rasplava [Influence of the lining gain in impact zone of a steel casting ladle on melt mixing parameters]. *Metallurg [Metallurgist]*, 2013, 7, 29-34. [in Russian].
7. Piptyuk, V.P., Samokhvalov, S.E., Pavlyuchenkov, I.A., Logozinskiy, I.N., Salnikov, A.S. & Grekov, S.V. (2013). Issledovaniye teplo-, massoobmennykh protsessov v vanne ustanovki kovsh – pech. Chast 2. Rezultaty modelirovaniya teplovogo sostoyaniya rasplava [The study of heat, mass transfer processes in the bath of the ladle-furnace installation. Part 2. The results of modeling the thermal state of the melt]. *Teoriya i praktika metallurgii [Theory and Practice of Metallurgy]*, 2013, 5-6, 49-52. [in Russian]
8. Tutarova, V.D., Shapovalov, A.N. & Kalitaev, A.N. (2017). Zakonomernosti udaleniya vodoroda na ustanovke vakuumirovaniya stali kamernogo tipa [Laws of removing hydrogen unit steel degassing chamber-type]. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgia [University News. Ferrous metallurgy]*, 2017, Vol. 60, 3, 192-199. [in Russian]. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-3-192-199>

V.P. Piptyuk, PhD., Senior Research Scientist, ORCID 0000-0002-2915-1756

S.V. Grekov, Research Scientist, ORCID 0000-0003-2848-0999,

Iron and steel institute by named Z. I. Nekrasov of NASciences of Ukraine

S.E. Samokhvalov, Dr.Sci., prof., head of department, ORCID 0000-0002-7362-213X,
Dnieper State Technical University (DSTU)

K.S. Krasnikov, PhD., sen. Lect ORCID 0000-0002-4241-0572

I.N. Logozinskiy, Director of Technology and Quality, ORCID 0000-0003-3915-4106

Private joint stock company «Electrometallurgical Plant «Dnieprospetssteel» by named A. N. Kuzmin» (PJSC «DSS»)

Study of the conditions of mixing and thermal state of the melt during degassing of steel on a chamber (VD) type equipment

Summary. Increasing requirements for the quality of metal products are regulated by international, state standards and other documents, in particular, on the content of gases and non-metallic inclusions in metal. In some cases, normative documents stipulate the need for degassing of steel with high quality requirements, including flock-sensitive grades. For this purpose, equipment for chamber (VD, VOD-types) degassing is used at metallurgical and machine-building enterprises of Ukraine. Due to insufficient knowledge of the process of degassing, real numerical studies have been carried out. As the object of study, we determined the installation for the degassing of the Mannesmann Demag company of the above type with a 60t bucket with reinforcement of the lining in impact zone of the PJSC «DSS» enterprise. Based on the initial data of the degassing process, a mathematical model was developed by DSTU to consider heat and mass transfer processes in a liquid metal bath during its degassing. Specialized software has been created that allows you to take into account the changing technological parameters during metal processing in vacuum, the configuration and capacity of the bucket bath. Employees of the ISI of NASU using the database on out-of-furnace processing of electric steel at PJSC «DSS» for the previous period determined that the values of the mass of the heats were in the range from 54t to 66t. Given the previously established

«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Випуск 34

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Vypusk 34

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34

that the intensity of argon purging through the bottom (s) tuyeres (s) and different masses of metal in a ladle of the same capacity from smelting to smelting create different hydrodynamic and thermal conditions for metal processing processes in the bucket, and the above information required an additional evaluation of the process degassing. At the first stage of numerical studies, the hydrodynamic conditions of degassing in a metal bath were studied taking into account the listed influence factors. Contour diagrams of the vertical component of the velocity of metal flows in different vertical axial sections of the bath were constructed at 20 minutes of degassing (at a pressure of 1 mm Hg). In the given vertical sections, the descending metal flows are concentrated in the upper half of the bath, and the ascending flows in its lower half. It was noted that with an increase in the flow rate of argon for mixing with the same mass of smelting, the absolute values of the vertical component of the metal velocity increase, and with the same consumption of argon, it decreases with an increase in the mass of smelting, which is similar to processing conditions at normal atmospheric pressure. At the second stage of research, thermal conditions were studied during the degassing of steel at a similar reduced pressure. Contour diagrams with isotherms (average metal temperature in the ladle) are constructed depending on the duration of the degassing process and argon consumption. A comparative assessment of the thermal conditions during degassing on chamber-type equipment and on LF (at normal pressure) with operating conditions at a similar initial temperature and the corresponding argon flow rate was made. An increase in heat loss by metal was found with an increase in argon consumption and with a decrease in smelting mass. Thus, it has been established that the mixing features of the metal bath create different hydrodynamic conditions for the degassing process on the chamber-type equipment, affect its thermal state, which probably can affect the efficiency of gas removal.

Keywords: metal degassing, argon consumption, smelting mass, temperature

For citation: *Piptyuk V.P., Samokhvalov S.E., Lohozyns'kyu I.M., Hrekov S.V., Krasnikov K.S. Vyvchennya umov peremishuvannya ta teplovoho stanu rozplavu pry dehadzatsiyi stali na obladnanni kamernoho (VD) typu. [Study of mixing conditions and thermal state of the melt during degassing of steel on chamber (VD) type equipment.]. «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii».[Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy] 2020, 34. 139-149. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-139-148*

*Стаття надійшла до редакції збірника 29.10.2020 року,
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування.
(Протокол засідання редакційної колегії №3 від 22 грудня 2020 р.)*

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. – 2020. – Випуск 34
«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2020. – Випуск 34
«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2020. – Collection 34*