

УДК 669.187

Голуб І. В.

Дослідження поведінки шлакової системи при обробці металу газовою сумішшю з підвищеним вмістом азоту

Holub I. V.

Study of slag system during metal treatment with gas mixture with high nitrogen content

Мета. Вивчення впливу шлакового покриву на видалення газів (водню та азоту) при обробці металу газовою сумішшю. Одним з найбільш поширених способів ковшової обробки сталі є процес продування металу інертними газами та її вакуумування.

Методика. Математична модель, яка дозволяє розглядати процес видалення і розраховувати кількісні показники видалення розчинених газів з металу при позапічній обробці.

Результати. При продуванні аргонем метал на установці ківш-піч поверхня металу повинна бути відкритою від шлаку, але при цьому відбувається паралельний перехід газу з атмосфери в метал, оскільки шлак є захисним покривом металу від атмосфери також доведено, що сспінювання шлаку впливає лише на вміст азоту в металі.

Наукова новизна. Розгляд термодинамічних та кінетичних особливостей розчинення азоту в металі при продувці інертними газами металу в ковші та при вакуумуванні дозволили з'ясувати тепло та масообмінні процеси поведінки газів у металі що приведе до можливостей розробки нової технології ковшової обробки металу із застосуванням інертних газових сумішей.

Практична значущість. Використовувати суміш газів, що містить азот, при продувці можливо за рахунок ведення процесу обробки металу під спіненим шлаком, бо процес видалення азоту йде значно швидше тому є можливість розширити класу для якого можливо використовувати суміш газів при продувці сталі.

Ключові слова: метал, газова суміш, азот, шлак, позапічна обробка

Goal. Study of the influence of the slag cover on the removal of gases (hydrogen and nitrogen) during metal processing with a gas mixture. One of the most common methods of ladle processing of steel is the process of blowing the metal with inert gases and vacuuming it.

Method. The mathematical model considers the removal process and calculates quantitative indicators of the removal of dissolved gases from metal during out-of-furnace processing.

The results. When blowing metal with argon on a ladle-furnace installation, the surface of the metal must be open from the slag, but at the same time there is a parallel transition of gas from the atmosphere into the metal, since the slag is a protective coating of the metal from the atmosphere, it has also been proven that the foaming of the slag affects only the nitrogen content in the metal.

Scientific novelty. Examination of the thermodynamic and kinetic features of nitrogen dissolution in metal during blowing with inert gases in the ladle and during vacuuming made it possible to find out the heat and mass transfer processes of the behavior of gases in the metal, which will lead to the possibility of developing a new technology of ladle processing of metal using inert gas mixtures.

Practical significance. It is possible to use a mixture of gases containing nitrogen during purging due to conducting the metal processing process under foamed slag, because the nitrogen removal process is much faster, therefore there is an opportunity to expand the class for which it is possible to use a mixture of gases during purging of steel.

Key words: metal, gas mixture, nitrogen, slag, ladle-furnace installation

Вступ. Для металургійних підприємств України актуальним завданням є розробка технології ковшової обробки металу із застосуванням інертних продувних газових сумішей, що дозволяють знизити собівартість металу. Використання суміші з підвищеним вмістом азоту дозволить знизити собівартість ковшової обробки сталей рядового сортаменту, низьковуглецевих та сталей з підвищеним вмістом азоту.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Протягом багатьох років різні вчені О.М. Морозов, В.І. Явойський, І.М. Чуйко, О.О. Есин та інші вивчали процеси поглинання азоту з металу шлаками різного складу. До кінця так і нез'ясований механізм передачі азоту з атмосфери в метал через шлак і навпаки від металу до шлаку та в атмосферу. Основні висновки вчених [1, 2] про механізми взаємодії азоту зі шлаком, наступні (на основі експериментів):

шлаки будь-якого складу містять розчинений азот;

шлаки беруть участь у процесі передачі азоту з атмосфери до металу;

розчинність азоту в шлаку залежить від основності та ступеня окисленості;

найбільша кількість азоту міститься у шлаку відновлювального періоду основної електросплавки (до 0,23%);

всі рафінувальні шлаки містять близько 0,003% азоту;

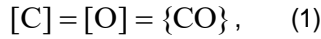
концентрація азоту в шлаках однозначно пов'язана з концентрацією його у металі;

не можливо точно визначити форми існування азоту у шлаках (нітриди, карбіди, ціаніди).

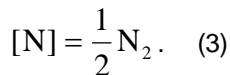
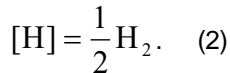
Матеріали та методи дослідження. Детальний розгляд термодинамічних та кінетичних особливостей розчинення азоту в металі дозволили з'ясувати тепло та масообмінні процеси поведінки газів у металі при продувці інертними газами металу в ковші та при вакуумуванні. Розроблена математична модель видалення розчинених газів з металу при позапічній обробці дозволяє проаналізувати поведінку газів у металі та підібрати суміш газів яка містить азот для продування різних марок сталі та можливість проведення подальшого аналізу поведінки газів при безперервному литті заготовок. Розроблений алгоритм дає можливість прогнозу-

вати отримання якісної безперервнолітої заготовки для сталей неспеціального призначення.

Мета і завдання дослідження. Одним з найбільш поширених способів ковшової обробки сталі є продування металу інертними газами та її вакуування. При цьому відбувається видалення розчинених у металі газів – кисню, водню та частково азоту. Видалення розчиненого кисню здійснюється за рахунок протікання реакції зневугльцювання



Водню та азоту – за рахунок виділення його у вигляді молекул, що утворюють бульбашки газу



Процес масообміну в металі відбувається на межі розділу метал-бульбашка. Потoki азоту, водню і кисню з вуглецем, необхідним для утворення CO, бульбашки аргону можуть бути представлені наступними виразами:

$$j_N = \beta_N ([N] - [N]_r), \quad (4)$$

$$j_H = \beta_H ([H] - [H]_r), \quad (5)$$

$$j_{CO} = 1,75([O] - [O]_r). \quad (6)$$

Концентрації азоту, водню та кисню, рівноважні з парціальним тиском N_2 , H_2 та CO у бульбашках, будуть

$$[N]_r = K_N \sqrt{P_{N_2}}, \quad (7)$$

$$[H]_r = K_H \sqrt{P_{H_2}}, \quad (8)$$

$$[O]_r = P_{CO} / ([C]K_C), \quad (9)$$

де K_N , K_H і K_C – константи рівноваги реакцій розчинення азоту, водню та окислення вуглецю.

Ці реакції гетерогенні і маси газів, що утворюються в результаті їх протікання, пропорційні площам поверхні бульбашки, на які діють ці потоки. Діяльність прийнято, що площі, зайняті потоками, пропорційні величинам цих потоків. Маси азоту, водню та CO, що дифундують в об'ємі бульбашки

$$m_N = \int_0^{\tau} \beta_N ([N] - [N]_r) S_N d\tau, \quad (10)$$

$$m_H = \int_0^{\tau} \beta_H ([H] - [H]_r) S_H d\tau, \quad (11)$$

$$m_{CO} = 1,75 \int_0^{\tau} \beta_O ([O] - [O]_r) S_{OC} d\tau, \quad (12)$$

де τ - час підйому бульбашки. Загальна маса газів, що видаляються в бульбашки аргону, у цьому випадку виходить множенням на частоту їх утворення – τ_P , концентрації речовин виражені в kg/m^3 .

Парціальні тиску індивідуальних газів у бульбашках розраховувалися за виразом

$$P_i = \frac{(m_i / M_i) P}{\sum (m_i / M_i)}, \quad (13)$$

де M_i - молекулярна маса газу, P - загальний тиск, що дорівнює сумі всіх тисків, що діють на бульбашку з урахуванням висоти товщі металу - h при підйомі бульбашки. Зміст газів у металі розраховувався за різницею концентрацій на попередньому та наступному кроках розрахунку.

Результати дослідження. Вивчення впливу шлакового покриву на видалення газів (водню та азоту). При продуванні аргоном метал на установці ковш-піч виявлено, що при зниженні інтенсивності процесу зневугльцювання для більш повного видалення газів поверхня металу повинна бути відкритою від шлаку (рис. 1, 2).

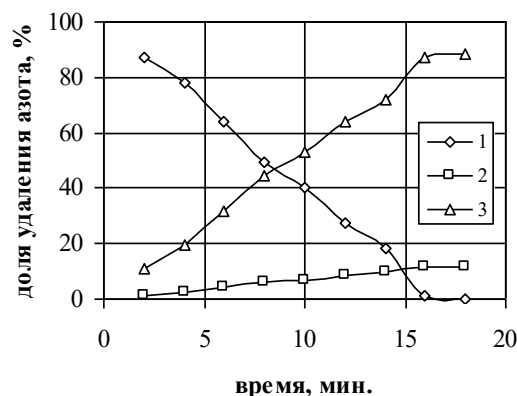


Рисунок 1. Частка видалення азоту 1 - у бульбашку CO, 2 - у бульбашку аргону, 3 - через поверхню, при продуванні металу аргоном $2 \text{ м}^3/\text{хв}$ при відкритій поверхні металу від шлаку.

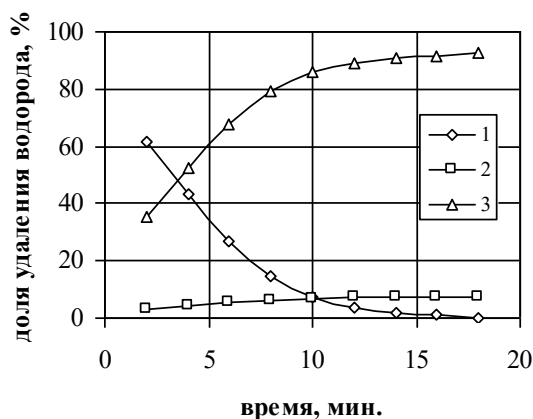


Рисунок 2. Частка видалення водню 1- бульбашку CO, 2 – бульбашку аргону, 3 – через поверхню, при продуванні металу аргоном $2 \text{ м}^3/\text{хв}$ при відкритій поверхні металу від шлаку.

Але при цьому постійно відбуватиметься паралельний процес переходу газу з атмосфери в метал (переважно для азоту), оскільки шлак є захисним покривом металу від атмосфери (рис. 3).

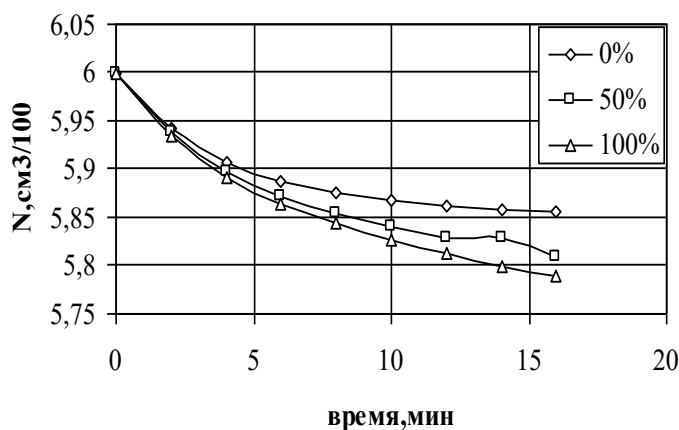


Рисунок 3. Вплив відкритої поверхні видалення азоту при продуванні аргоном $2 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Обговорення результатів. При аналізі процесу заміни аргону на суміш, що містить азот, відбувається насичення металу азотом, яке залежить від складу та кількості шлаку при обробці металу на УКП. Виявлено, що основне видалення азоту з металу (рис. 2) відбувається за інтенсивного процесу зневуглецювання в бульбашку CO. Отже, чим довше відбувається процес зневуглецювання, тим більше азоту залишить метал. Однак при виробництві сталей необхідне суворе дотримання марочного вмісту вуглецю та азоту. Таким чином, використовувати суміш, що містить азот, можливо для отримання більш широкого класу сталей з низьким вмістом вуглецю за рахунок ведення процесу обробки металу під спіненим шлаком на установці ковш-піч. Спінювання шлаку, тобто збільшення його обсягу у кілька разів. Спінений шлак представляє сукупність бульбашок монооксиду та діоксиду вуглецю, розділених тонкими прошарками шлаку. Розмір бульбашок, що становлять дисперсну фазу, лежить в межах від ча-

сток до кількох сантиметрів. Утворення та стійкість спіненого шлаку залежить від його фізико-хімічних властивостей (в'язкість, поверхневий натяг, температура), інтенсивності, місця газовиділення та розподілу газових бульбашок за розмірами. Спінювання шлаку впливає лише на вміст азоту в металі [3]. Добре спінювання призводить до зниження вмісту азоту на 10-20 ppm до рівня близько 30 ppm за рахунок інтенсивнішого процесу зневуглецювання і за рахунок захисту металу від атмосфери. Однак, відомо також і негативне явище спінюваності шлаку - викиди шлаку з ковшу і подібне. Контроль спінювання, шлакоутворення і властивостей шлаку, що рафінують, ускладнен, і в основному здійснюється «на око» маючи індивідуальну інтерпретацію.

Проведені дослідження на математичній моделі показують, що процес видалення азоту відбувається інтенсивніше (рис. 4) під час використання спіненого шлаку [4,5].

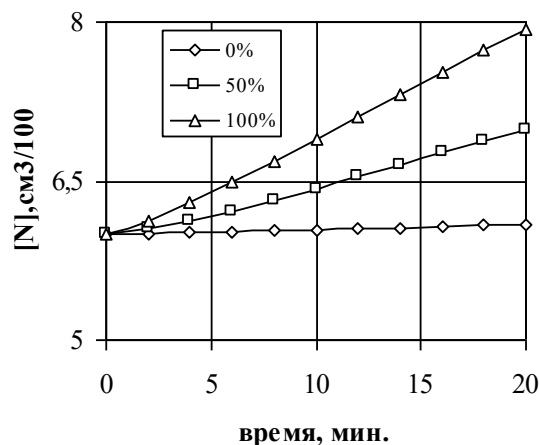


Рисунок 4. Вплив відкритої поверхні видалення азоту під час продування азотом під спіненим шлаком.

Висновки. Використання спіненого шлаку при позапічній обробці металу на установці ківш-піч дозволить розширити асортимент сталей, що виплавляються з використанням як продувний газ азот або його суміш з аргоном, при цьому значно знизиться собівартість одержуваного продукту і не

погіршиться властивості металу. Залежно від властивостей і будова шлаків з використанням математичної моделі можливо покращувати процеси газовиділення та більш повного використання азоту як продувного газу.

Бібліографічний опис.

1. Морозов А. Н. Водород и азот в стали / А. Н. Морозов // М.: Metallurgizdat, 1950. – 375с.
2. Чуйко Н. М. Азот в твердой и жидкой электростали. / Н. М. Чуйко / Теория и практика металлургии, 1936, № 4. - с.55-72.
3. Лопухов Г. А. Вспенивание шлака при плавке стали в дуговых печах. Фундаментальные исследования физико-химия металлических расплавов / Г.А. Лопухов // М.: ИЦК «Академкнига», 2002. - 469с.
4. Яковлев Ю.Н., Голуб И.В. Исследование на математической модели удаление газов из стали при вакуумировании с продувкой металла газовыми смесями /Ю.Н. Яковлев, И.В. Голуб/ ПДТУ Весник №15, Мариуполь, 2005, с.37-40.
5. Камкина Л. В., Пройдак Ю. С., Стопченко А.П., Голуб И. В. Совершенствование процессов дегазации стали при внепечной обработке / Л. В. Камкина, Ю. С. Пройдак, А.П.Стопченко, И. В. Голуб // XV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Produkcja i zarzadzanie w hutnictwie" Zakopane 27-30.06 2007 czesc 1 pp. 107-111

References.

1. Morozov A. N. Vodorod i azot v stali /A. N. Morozov // Metallurgizdat, 1950. – 375s.
2. Chuyko N. M. Azot v tverдой i zhidkoy elektrostali. / N. M. Chuyko / Teoriya i praktika metallurgii, 1936, № 4, s. 55-72.
3. Lopukhov G. A. Vspenivaniye shhlaka pri plavke stali v dugovykh pechakh. Fundamental'nyye issledovaniya fiziko-khimiya metallicheskih rasplavov. - M.: ITSK «Akademkniga». 2002.-469s.
4. Yakovlev YU.N., Golub I.V. Issledovaniye na matematicheskoy modeli udaleniye gazov iz stali pri vakuumirovanii s produvkoy metalla gazovymi smesyami /YU.N. Yakovlev, I.V. Golub/ PDTU Vesnik №15, Mariupol', 2005, s.37-40.
5. Kamkina L. V., Proydak YU. S., Stopchenko A.P., Golub I. V. Sovershenstvovaniye protsessov degazatsii stali pri vnepechnoy obrabotke / L. V. Kamkina, YU. S. Proydak, A.P.Stopchenko, I. V. Golub // XV Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Produkcja i zarzadzanie w hutnictwie" Zakopane 27-30.06 2007 czesc 1 pp. 107-111