

Особливості перемішування сталі і шлаку в ковші під час продувки аргоном

О.М.Смірнов, доктор технічних наук, професор

В.М.Сафонов, кандидат технічних наук

Д.В.Проскуренко*, К.Є.Пісмарьов

Донецький національний технічний університет, Донецьк

* ВАТ “Алчевський металургійний комбінат”, Алчевськ

У даній роботі виконані дослідження визначення стану міжфазної межі шлак-метал за допомогою спеціального розробленого пробовідбірника і методики відбору проб. Приведені результати проведеного дослідження, на підставі яких можна судити про будову шлакової фази в зоні інтенсивного барботажу.

Перемішування розплаву в ковші шляхом вдування певної кількості аргону за допомогою встановлених в днищі ковша продувних вузлів є невід’ємною технологічною операцією позапічної обробки сталі, яка збільшує швидкість протікання хімічних реакцій та впливає на тривалість усереднення температури і хімічного складу сталі в рідкій ванні [1 – 3].

Підчас позапічної обробки дзеркало металу вкрите рідким синтетичним шлаком, тому в технологічному плані інтенсифікація перемішування металу в зоні, безпосередньо прилеглий до шлаку, має велике технологічне значення. Завдяки збільшенню потужності перемішування фаз і площі поверхні контакту, перемішування аргоном сприяє повнішому протіканню хімічних реакцій (зокрема десульфурації), що дозволяє істотно підвищити ефективність використання шлаку.

Збільшення площі поверхні контакту між шлаком і металом відбувається за рахунок утворення емульсії металу та шлаку на межі їх контакту. Відомо, наприклад, що процес десульфурації обумовлюється переходом сірки по поверхні розділу фаз системи “шлак-метал”, при цьому швидкість переходу сірки з металу в шлак пропорційна її концентрації в металі та площі контакту міжфазної поверхні [4, 5].

Роль частинок металу в процесі інтенсифікації рафінування сталі, де лімітуючою ланкою реакції є перенос маси крізь міжфазну поверхню, неодноразово розглядалася в науковій літературі [6 – 8]. Разом з тим дані про поведінку межі розділу фаз підчас продувки в сталерозливному ковші досить обмежені, а дослідження щодо механізму переносу маси металу в шар шлаку спливаючими газовими міхурами, відносяться переважно до спостережень на фізичних моделях.

Згідно з результатами цих спостережень встановлено, що перенос маси металеві фази в шар шлаку, в процесі барботажу може описуватися трьома основними моделями: моделлю одиночного міхура [9], моделлю пінного кластера [10] та моделлю непрямого диспергування [11, 12]. Процес переносу маси згідно першим двом моделям відбувається шляхом руйнування плівок металу, що покривають газові міхури при проходженні їх крізь міжфазну межу з утворенням емульсії металевих частинок у шлаку. Модель непрямого диспергування розглядає шар шлаку, розташований навколо зони оголення

Плавлення і кристалізація

дзеркала металу у вигляді окремих крапель, які під час процесу перемішування обертаються та захоплюють частину металу з утворенням, так званої шлакометалевої матриці [8, 13].

Узагальнюючи відомі дослідження можна припустити, що в місці виходу газових міхурів на поверхні дзеркала розплаву формується обмежена зона інтенсивного барботажу, з розмірами пропорційними витраті газу, що вдувається, це істотно впливає на швидкість хімічних реакцій між шлаком і металом.

Метою дослідження є уточнення уявлень про стан межі розділу фаз шлак-метал в області інтенсивного барботажу та оцінка поведінки крапель металу в шлаку стосовно продувки металу в сталерозливних ковшах.

Для розширення уявлень про стан міжфазної межі в області інтенсивного барботажу, розташованої навколо області так званого «відкритого ока» (рис. 1), був здійснений промисловий відбір проб з межі розділу фаз у сталерозливному ковші пробовідбірником спеціальної конструкції (рис. 2). Цей пристрій має рухому пробовідбираючу трубу 1, яка до моменту відбору проби фіксується спусковим пристосуванням 2 (у вигляді петлі з гнучкою металевою ниткою), прикріпленим до верхньої частини пробовідбираючої труби. Сама пробовідбираюча труба 1 розміщується в направляючій трубі 3, до якої за допомогою кріпильного елемента 4 та чотирьох металевих стрижнів 5 діаметром 10 мм, жорстко кріпиться металеве днище 6 з виступом 7 у формі тіла обертання конічної форми, орієнтованого своєю вершиною у бік пробовідбираючої труби 1. Виступ 7 виконаний з кутом при вершині $110 - 120^\circ$.

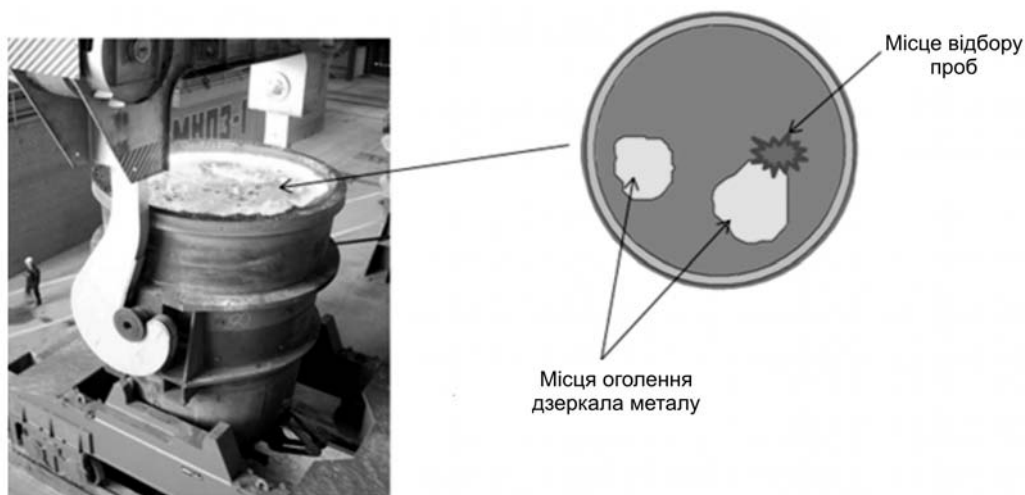


Рис. 1. Зовнішній вигляд 300-т сталерозливного ковша (а) та позиція відбору проб металу (б).

Особливістю роботи пробовідбірника є те, що у момент відбору зразка пробовідбираюча труба 1 повинна забезпечити швидку акумуляцію частини тепла проби до температури, при якій в'язкість шлаку буде достатньою для утримання вкраплень металу, що знаходяться в ньому. Для реалізації цієї задачі товщина стінки пробовідбираючої труби повинна мати оптимальну товщину.

В результаті виконаних теплових розрахунків встановлено, що товщина стінки пробовідбираючої труби, що має забезпечити швидке зниження рідинорухомості шлаку, повинна складати не менше 10 – 15 мм за умови, що величина внутрішнього діаметру труби знаходиться в діапазоні 5 – 8 її товщини. При цьому у якості матеріалу

пробовідбираючої труби слід використовувати сталь з високим коефіцієнтом теплопровідності. Найбільш прийнятними для умов експерименту, на наш погляд, є вуглецеві та низьколеговані сталі.

Експерименти по відбору проб розплаву межі розділу фаз шлак-металл були виконані в умовах конвертерного цеху ВАТ «АМК» із 300-тонного сталерозливного ковша, що має глибину ванни 4750 мм і середній діаметр 3765 мм, а також два продувних вузли, які вмонтовані в днище ковша на відстані S його радіусу. У момент відбору проб витрата газу на кожен пробку складала 600 л/хв. Відбір проб проводився після закінчення нагріву сталі (23 – 25 хв) і подачі шлакоутворюючих матеріалів (вапно – 800 кг, плавикий шпат – 106 кг). Всього було відібрано 5 проб з двох ковшів.

Перед відбором проб, по кількості введених шлакоутворюючих матеріалів оцінювалася можлива глибина шлакового шару. В процесі відбору проб вона складала 90 – 150 мм залежно від положення пробовідбірника. При цьому рівень занурення пробовідбірника визначався з міркувань отримання такої проби, щоб висота стовпчика сталі складала 80 – 100 мм. Після того, як проба була відібрана, пробовідбірник максимально швидко витягувався і занурювався в ємкість з водою для подальшої кристалізації та охолодження проби. Тривалість охолодження пробовідбірника водою складала 80 – 90 с. Після цього пробовідбираюча труба разом із відібраним вмістом охолоджувалася на повітрі до нормальної температури.

З метою подальших досліджень охолоджена пробовідбираюча труба з відібраною пробкою розкривалася на токарному верстаті. В процесі розтину труба від проби відділялася вільно, а чистота внутрішньої поверхні пробовідбираючої труби і проби свідчили про те, що охолодження і кристалізація відбувалися достатньо швидко без підплавлення стінок. Металева частина відібраної проби зображена на рис. 3. Верхня частина металевої частини проби має яскраво виражену конусну поверхню з вершиною донизу. Це слід розглядати як свідчення того, що металева частина проби затверділа достатньо швидко, що запобігло вирівнюванню дзеркала металу по горизонтальній площині за рахунок його стікання.

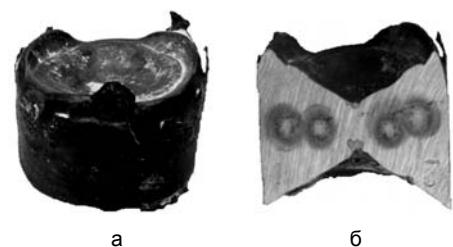


Рис. 3. Зовнішній вигляд металевої проби розплаву після розтину (а) та її розріз (б).

Шлакова частина відібраних проб розтиналася в поперечному напрямі на три частини, кожна з яких потім ретельно розмелювалася, для видалення частинок металу шляхом магнітної сепарації. Результати хімічного аналізу зразків шлаку однієї з проб, що наведені в табл. 1, в цілому показують достатню хімічну однорідність шлаку в ковші в місці відбору проби.

Відібрана з шлаку металева фракція зважувалася на аналітичних вагах. Розподіл сумарної маси частинок сталі по висоті однієї з проб наведено в табл. 2. В

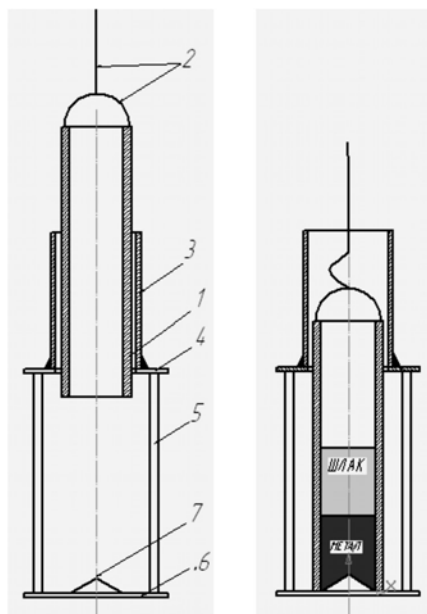


Рис. 2. Пристрій для відбору проби розплаву з металургійної ємкості. а – повздовжній розріз, б – теж у момент відбору проби.

Плавлення і кристалізація

Таблиця 1

Хімічний склад частин шлакової проби

Відстань від межі шлак-метал, мм	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	SO ₃	P ₂ O ₅
Нижня частина 0 – 44	59,7	18,7	11,8	7,85	0,37	0,29	1,25	0,005
Середня частина 44 – 98	59	18,6	11,7	7,70	0,56	0,30	1,28	0,007
Верхня частина 98 – 136	59,2	18,9	11,6	7,77	0,45	0,28	1,23	0,007

цілому за відібраними пробами встановлено, що частка металевої фази у верхньому шарі шлаку в 3,5 – 5,0 разів менше, ніж в середньому та нижньому шарах. В середньому і нижньому шарах частка металевої фази суттєво не відрізняється. Це, вірогідно, пов'язано з тим, що частинки сталі, які залучаються до шлаку висхідними потоками, в основному досягають середньої частини шару шлаку, а потім починають в ньому «тонуть». Швидкому поверненню частинок металу в рідку ванну перешкоджає перемішування шлаку та його структура, що складається з окремих крапель і їх конгломератів.

Таблиця 2

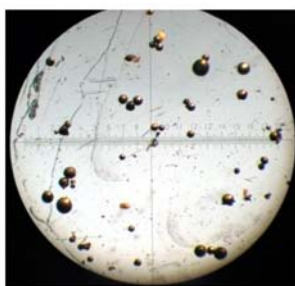
Розподіл частинок металу по висоті шлакової проби

Частини шлакової проби	Маса кожної частини шлакової проби, г	Маса частинок металу в шлаку, г	Частка металевої фази в кожній частині проби від загальної ваги шлакової проби, %
Верхня	246	0,098	0,04
Середня	345	0,483	0,14
Нижня	248	0,446	0,18

Мікроскопічний аналіз фракційного складу і геометричної форми металевих частинок показав, що у всіх зонах шлакової частини проб разом з дрібними частинками сферичної форми (рис. 4), в більшій кількості присутні плоскі частинки неправильної геометричної форми (рис. 5). Співвідношення кількості частинок сферичної форми



Верхня частина проби шлаку



Середня частина проби шлаку



Нижня частина проби шлаку

Рис. 4. Зовнішній вигляд частинок металу сферичної форми в пробі шлаку. х4.

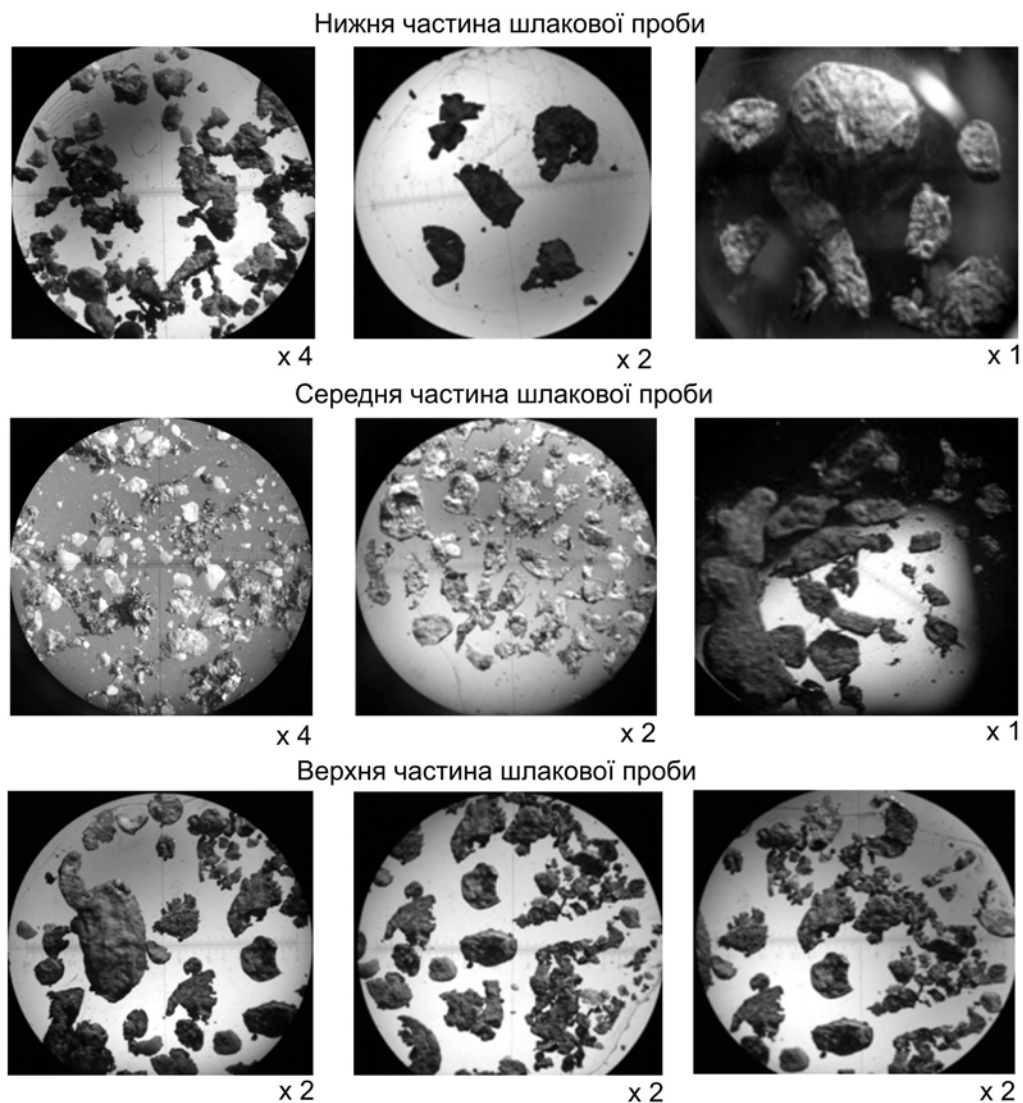
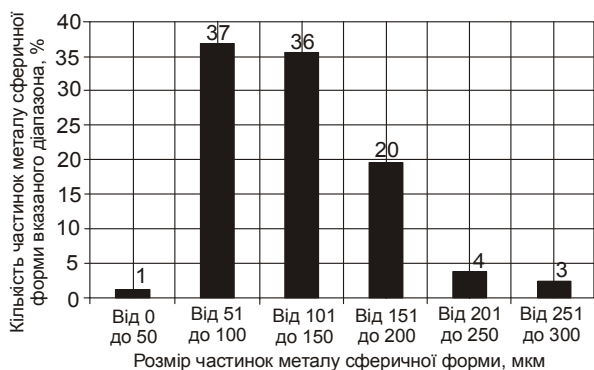


Рис. 5. Вид плоских частинок металу неправильної геометричної форми в різних місцях шлакової проби.

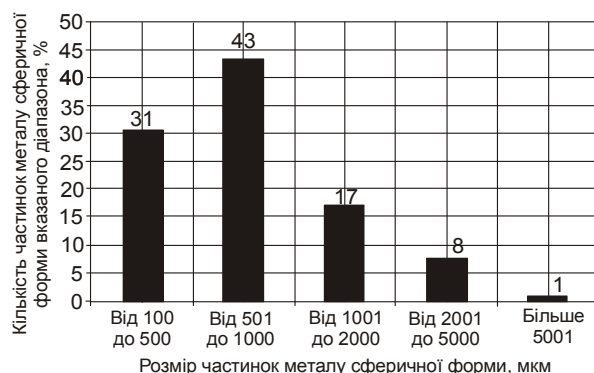
до кількості частинок неправильної форми складає 1 : (4 – 5). В цілому частинки металу сферичної форми мають порівняно невеликі розміри (від 50 до 270 мкм), а в їх розподілі добре помітна тенденція зменшення кількості та збільшення розмірів при наближенні до межі шлак-метал. Частинок неправильної геометричної форми мають широкий діапазон розмірів – від 150 – 500 мкм до 6 мм. Розподіл металевих частинок по розмірах представлений на рис. 6.

Узагальнюючи приведені дані, слід зазначити, що і для частинок сферичної форми і для частинок неправильної геометричної форми існує певний переважний діапазон розмірів. Великі за розмірами частинки металу мають неправильну плоску, а менші – сферичну форму. Це підтверджує припущення проте що, знаходячись в шлаку, рідкі частинки металу механічно взаємодіють з краплями рухомого шлаку. При цьому стійкіші в механічному плані дрібні краплі рідкої сталі мають можливість розташовуватися в «мертвих» зонах між значно крупнішими краплями шлаку. Крупніші

Плавлення і кристалізація



а



б

Рис. 6. Розподіл частинок металу сферичної форми (а) і неправильної геометричної форми (б) за геометричними розмірами.

краплі сталі виявляються затиснутими між краплями шлаку, що призводить до їх деформації і зміни форми. При цьому інтенсивніший рух крапель шлаку призводить до більшої деформації металевих частинок.

Таким чином встановлено, що частка металевої фази у верхньому шарі шлаку в 3,5-5,0 разів менша, ніж в середньому і нижньому шарах. Мікроскопічний аналіз фракційного складу та геометричної форми металевих частинок показав, що у всіх частинах шлакової частини проб разом з дрібними частинками сферичної форми, в значно більшій кількості (приблизно у 4 – 5 рази) присутні плоскі частинки неправильної форми. Більші за розмірами частинки металу мають неправильну геометричну форму, а менші – сферичну. Знаходячись у шлаку, рідкі частинки металу механічно взаємодіють з краплями рухомого шлаку.

Література

- Смирнов А.Н., Сафонов В.М., Дорохова Л.В. *Металлургические мини-заводы.* – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 469 с.
- Stolte G. *Secondary Metallurgy: Fundamentals Processes Applications.* – Dusseldorf: Stahleisen, 2002. – 216 p.
- Смирнов А.Н., Ошовская Е.В., Салмаш И.Н. Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом // *Процессы литья.* – 2008. – № 5. – С. 41 – 48.
- Борнацкий И.И. *Десульфурация металла.* – М.: *Металлургия,* 1970. – 320 с.
- Turkdogan E.T. *Fundamentals of Steelmaking .* – Cambridge: The Institute of Materials, 1996. – 216 p.
- Oeters F. *Metallurgy of Steelmaking.* - Dusseldorf: Stahleisen, 1994. – 512 p.
- Seon-Hyo Kim, Fruehan R.J. *Physical Modeling of Liquid/Liquid Mass Transfer in Gas Stirred Ladles // Metallurgical Transaction.* – 1986. – 18B. – No 6. – P. 381 – 390.
- Brools G.A., Coley K.S., Irons G.A. *Generation of droplets in Slag-Metal Emulsions through Top Gas Blowing // ISJI International.* – 2003. – 43, No 7. – P. 983 –989.

9. Reiter G., Schwerdfeger K. Observations of Physical Phenomena occurring During Passage of bubbles Through Liquid/ Liquid Interface // ISIJ International. – 1992. – 32, No 1. – P. 50 – 56.
10. Zhijun Han, Holappa L. Characteristics of Iron Entrainment into slag Due to Rising Bubbles // ISIJ International. – 2003. – 43, No 11. – P.1698 – 1704.
11. Beskow K., Dayal P., Bjorkvall J. A new approach for the study of slag-metal interface in steelmaking // Ironmaking and steelmaking. – 2006. – 33, No. 1. – P. 74 – 80.
12. Dayal P., Beskow K., Bjorkvall J. Study of slag/metal interface in ladle treatment // Ironmaking and steelmaking. – 2006. – 33, No. 5. – P. 454 – 464.
13. Mazumdar D., Evans J.V. A Model for Estimating Exposed Plume Eye Area in Steel Refining Ladles Covered with Thin Slag // Metallurgical Transaction. B. – 2004. – 35B, No 4. – P. 400 – 404.

Одержано 12.03.09

А.Н. Смирнов, В.М. Сафонов, Д.В. Проскурєнко, К.Е. Писмарєв

Особенности перемешивания стали и шлака в ковше во время продувки аргоном

Резюме

В данной работе выполнены исследования по определению состояния межфазной границы шлак-металл с помощью специально разработанного пробоотборника и методики отбора проб. Приведены результаты проведенного исследования, на основании которых можно судить о строении шлаковой фазы в зоне интенсивного барботажа.

A.N. Smirnov, V.M. Safonov, D.V. Proskurenko, K.E. Pismarev

Features of steel and slag mixing in a ladle during argon stirring

Summary

This work considers determination of a slag-metal interface state with the developed sampler and method of sampling. The results obtained allows to consider on the structure of slag phase in intensive bubbling zone.