

## *Вплив інтенсивності продування на гідродинаміку металу в ливарному ковші*

М. К. Сігарьов, кандидат технічних наук  
Я. А. Сорока, Д. О. Плакущий

Дніпродзержинський державний технічний університет, Дніпродзержинськ

*Наведено результати фізичного моделювання гідродинаміки металу у ливарному ковші при збільшенні інтенсивності продування ванни із застосуванням фільтру. Визначені швидкості потоків в об'ємі дослідженого ковша із застосуванням фільтру, який забезпечує кращу гомогенізацію ванни при одночасній затримці шкідливих включень на його поверхні.*

В останні роки обробка сталі в позапічних агрегатах стала основною частиною виробництва. На сьогодні металургія має в своєму розпорядженні чималий досвід використання різних методів позапічної обробки [1].

Практично для всіх способів позапічної обробки обов'язковим елементом стає перемішування рідкого металу в ковші. Залежно від способу підведення енергії примусове перемішування розплаву в ковші можна здійснювати за допомогою механічних мішалок, падаючим струменем, вібромеханічним, барботажем, газоліфтним, пульсаційним методами, під дією електромагнітного поля та акустичних коливань, діянням ультразвуку тощо [2].

Світовий досвід свідчить про те, що найкращі результати впливу на якість сталі досягаються при використанні комбінованих способів позапічної обробки, оскільки прості методи мають очевидні недоліки – перегрів рідкого металу в плавильному агрегаті та обмеженість впливу на сталь.

Прийнято вважати, що для досягнення рівномірності хімічного складу та для глибокого рафінування доцільніше використовувати продування аргоном. Проте обробка сплаву інертним газом не в повній мірі очищує метал від неметалічних включень, тому постає необхідність додаткового очищення, наприклад, фільтруванням.

У зв'язку з цим доцільно проведення досліджень по збільшенню інтенсивності продування із застосуванням фільтру, що забезпечить кращу гомогенізацію металевої ванни та не буде перешкоджати циркуляції металу в об'ємі ковша при одночасній затримці шкідливих включень на поверхні фільтру. Було проаналізовано методи моделювання металургійних процесів та обрано метод низькотемпературного моделювання через його раціональність та зручність проведення досліджень.

Для фізичного моделювання гідродинаміки металу в ливарних ковшах при верхньому продуванні інертним газом у лабораторії кафедри

металургії чорних металів ДДТУ використовується прозора експериментальна установка, яка моделює ливарний ківш, з розмірами: верхній діаметр – 0,35 м, нижній діаметр – 0,30 м, висота – 0,44 м. Оскільки моделює середовище є гетерофазним (рідина, газ), виконання моделі здійснюється відповідно до теорії подібності. Як моделююча рідина використовується вода при температурі 18 – 25 °С. З метою вивчення руху потоків рідини застосовували полістиролові кульки діаметром 1,0 – 1,5 мм. Дослідження проводили в затемненому приміщенні за допомогою фіксації гідродинамічної картини на цифрові відеокамери. При визначенні кількісних значень швидкості потоків рідини використовували обладнання «світловий ніж». Кількісні значення швидкостей потоків рідини визначали за допомогою розрахунків відношення обмірених на фотовідбитках довжин треків «трасерів» до часу експозиції з урахуванням коефіцієнтів масштабування. Для вимірів швидкостей потоків вибрано 20 точок у найбільш характерних зонах. В цих зонах вимірювали довжину треків за певний час (1 секунда), залишених «трасерами» при зміні інтенсивності продувки [3].

Для продування моделюючого середовища застосовували повітря, що подається за допомогою заглибленої фурми з жорстко закріпленим на ній фільтром, що встановлюють в центр ковша з можливістю регулювання її відносно днища ковша. Повітря подається компресором, а його витрата вимірюється ротаметром.

Витрату газу визначали за формулою:

$$Q_m = Q_{пр} \sqrt{(L)^5 \frac{\rho_p^m \cdot \rho_r^{пр}}{\rho_p^{пр} \cdot \rho_r^m}}, \text{ см}^3/\text{с},$$

де  $Q_{пр}$  – витрата газу при верхньому продуванні ванни (0,07– 0,51·10<sup>5</sup>), см<sup>3</sup>/с;  
 $L$  – масштаб ковша;  $\rho_p^m$  – густина води, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_r^{пр}$  – густина аргону, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_p^{пр}$  – густина металу, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_r^m$  – густина повітря, г/см<sup>3</sup>.

Для моделювання процесів гідродинаміки використовували фільтри у вигляді диска з оргскла діаметрами 200, 250 та 300 мм. Діаметр отворів у фільтрі корегували шляхом встановлення двох однакових пластин оргскла з однаковою кількістю отворів, які можливо переміщувати відносно один одного (рис. 1). Фільтр можливо переміщувати по висоті фурми залежно від задач дослідження. Попередні дослідження показали, що найбільш ефективним, з точки зору гомогенізації в об'ємі ковша, є розміщення фільтра на 0,5 висоти рідини у ковші. До того ж прилад міг бути використаний для затримання неметалевих включень шляхом їх коагуляції та осаду на поверхні фільтра.

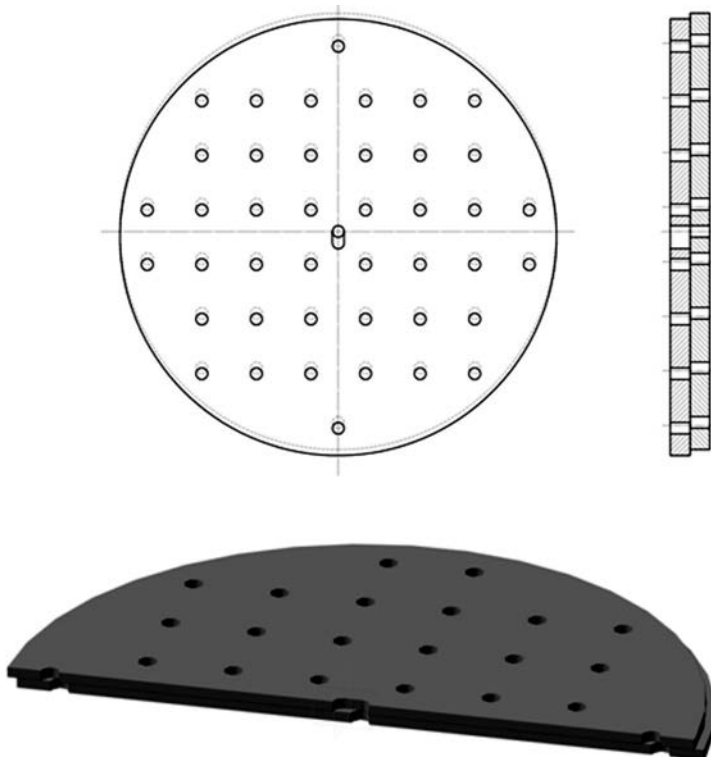


Рис. 1. Схема розміщення та корегування отворів у фільтрі.

У процесі холодного моделювання досліджували:

- 1) особливості гідродинаміки ванни при подачі за допомогою фурми в агрегат газу з витратою 1,4; 1,8 та 2,2 л/хв;
- 2) особливості гідродинаміки ванни при подачі через фурму в агрегат газу з витратою 1,4; 1,8 та 2,2 л/хв із застосуванням фільтрів діаметрами 200, 250 та 300 мм.

У першому випадку основною метою експериментів було візуальне визначення характеру руху рідини і кількісне визначення швидкостей характерних потоків при зміні інтенсивності продувки через заглиблену фурму.

Встановлення фільтру призводить до зміни газодинаміки потоків при подачі газу через фурму на рівні 0,2 висоти ковша, при цьому фільтр був розміщений на 0,5 висоти наливу рідини. Встановлено, що після стабілізації процесу продувки при мінімальній витраті повітря утворюється газорідинний струмінь у формі усіченого конуса, вузьким перерізом спрямованим донизу. Струмінь досить нестабільний щодо зміни його форми і кута відхилення від осі (рис. 2).

В об'ємі ковша при продувці має місце кілька замкнутих гідродинамічних потоків. У зоні виходу газу в атмосферу потоки металу

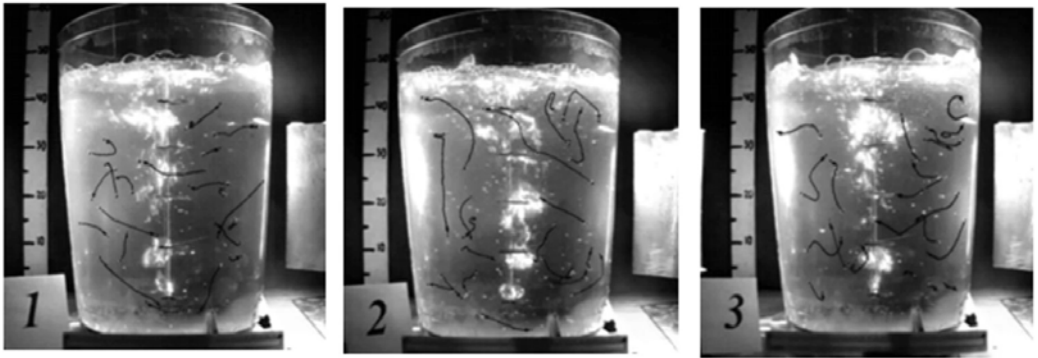


Рис. 2. Розподіл напрямків і швидкостей потоків рідини при продуванні ванни з витратою газу 1,4; 1,8 та 2,2 л/хв.

розходяться радіально, загасаючи по мірі наближення до стінок ковша. Біля стінок ковша потоки металу закручуються та направляються до низу.

Швидкості потоків з витратою газу 1,4 л/хв знаходяться у межах 0,032 – 128 м/с, 1,8 л/хв – 0,030 – 0,190 м/с, 2,2 л/хв – 0,016 – 0,173 м/с (рис. 2).

Аналізуючи отримані результати, можна стверджувати, що, незалежно від інтенсивності продувки, найбільше значення швидкості мають потоки, які утворюються між висхідним газорідинним факелом і близької до нього стінкою ковша.

У другому випадку метою експериментів було візуальне визначення зміни характеру руху рідини і кількісне визначення швидкостей характерних потоків при зміні інтенсивності продувки ванни через заглиблену фурму із застосуванням фільтрів діаметрами 200, 250 та 300 мм.

При розташуванні у ковші фільтра діаметром 200 мм в результаті розсіювального ефекту, що створює фільтр, спостерігаємо відсутність «ока» та пробою ванни, що допускає інтенсифікацію видалення з розплаву неметалевих включень шляхом їх коагуляції та осадження на поверхні фільтра та можливість забезпечення високого ступеня засвоєння різних присадок (рис. 3).

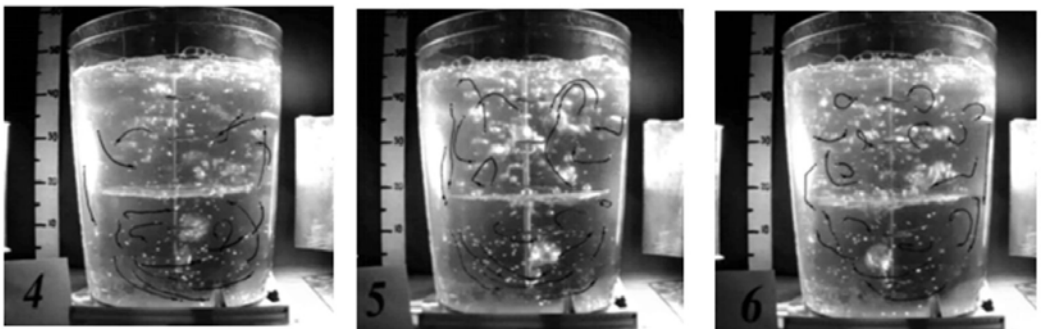


Рис. 3. Розподіл напрямків і швидкостей потоків рідини при продуванні ванни з витратою газу 1,4; 1,8 та 2,2 л/хв та із застосуванням фільтра діаметром 200 мм.

## Плавлення і кристалізація

При мінімальній витраті газу утворюються висхідні потоки, які при зустрічі з фільтром розбиваються на дрібні бульбашки газу й у верхній частині ковша спостерігається значна їх кількість, які мають невелику швидкість спливання.

Зі збільшенням витрати газу фільтр також приводить до зміни газових потоків. У стінок ковша спостерігаються значні висхідні потоки, які огинають перегородку, що являється небажаним, тому що це може призвести до руйнування футерівки ковша та виносу неметалевих включень у верхню частину за зону фільтра.

Встановлено, що швидкості потоків при застосуванні фільтра діаметром 200 мм знаходяться у межах при витраті газу 1,4 л/хв – 0,050 – 0,147 м/с, при 1,8 л/хв – 0,047 – 0,165 м/с, при 2,2 л/хв – 0,055 – 0,153 м/с (рис. 3).

При розташуванні фільтра діаметром 250 мм у ковші спостерігаємо: відсутність «ока» та пробою ванни, що допускає збільшення інтенсивності продування та скорочення часу обробки (рис. 4). При застосуванні фільтрів діаметром 200 та 250 мм з'являються додаткові потоки, що огинають перегородку (рис. 3, 4).

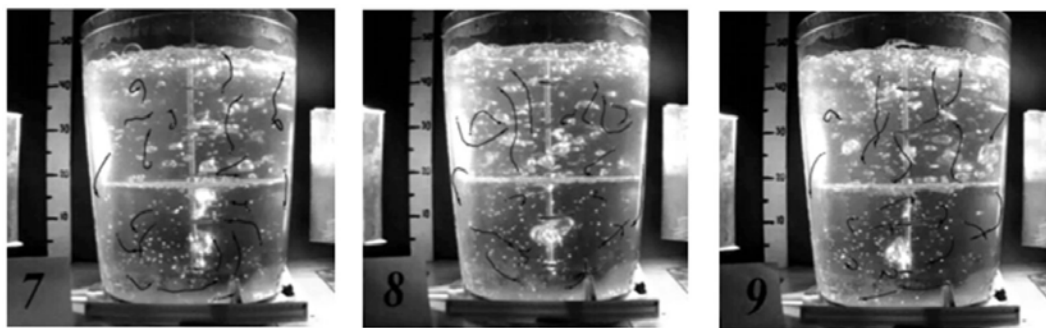


Рис. 4. Схема розподілу напрямків і швидкостей потоків рідини при продуванні ванни з витратою газу 1,4; 1,8 та 2,2 л/хв та із застосуванням фільтра діаметром 250 мм.

Швидкості потоків із застосуванням фільтру діаметром 250 мм знаходяться у межах при витраті газу 1,4 л/хв – 0,035 – 0,124 м/с, при 1,8 л/хв – 0,036 – 0,152 м/с, при 2,2 л/хв – 0,041 – 0,111 м/с (рис. 4).

При розташуванні фільтра діаметром 300 мм швидкості потоків невисокі порівняно з попередніми дослідженнями. Це пов'язано з тим, що ванна ділиться на 2 горизонтальні частини, що ускладнює введення додаткових реагентів. Зі збільшенням інтенсивності продування ванни розосередження потоків збільшується, що пов'язано із розсіювальним ефектом фільтра.

Швидкості потоків із застосуванням фільтра діаметром 300 мм знаходяться у межах при витраті газу 1,4 л/хв – 0,026 – 0,132 м/с, при 1,8 л/хв – 0,041 – 0,112 м/с, при 2,2 л/хв – 0,035 – 0,126 м/с (рис. 5).

Таким чином встановлено, що швидкості потоків в об'ємі ковша із застосуванням фільтрів різних діаметрів при будь-якій інтенсивності

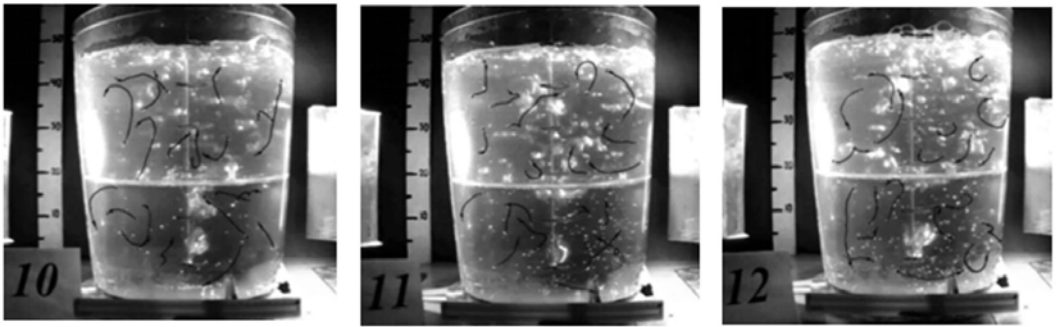


Рис. 5. Розподіл напрямків і швидкостей потоків рідини при продуванні ванни з витратою газу 1,4; 1,8 та 2,2 л/хв із застосуванням фільтра діаметром 300 мм.

продування досить невисокі близько до поверхні. Особливість фільтра гальмувати потоки припускає збільшення інтенсивності продування ванни при одночасному скороченні часу обробки. Застійні зони в об'ємі ванни з витратою газу 1,4 – 2,2 л/хв відсутні. Встановлено, що загальний прохідний перетин отворів має знаходитись в межах 3 – 5 мм<sup>2</sup>, що дозволить затримувати великі неметалічні включення за рахунок механічного впливу, а дрібні – шляхом коагуляції потоками, що приведе до збільшення загального розміру неметалічних включень та затримки їх фільтром.

Проведені дослідження дозволили визначити деякі характеристики поведінки металу при продуванні його газом та із застосуванням фільтра: розташування активних зон, їхні геометричні параметри залежно від інтенсивності подачі газу і діаметра фільтра, що припускає можливість забезпечення високого ступеня засвоєння різних присадок з одночасним зростанням рафінуючої здатності позапічної обробки та зменшення неметалевих включень і газів у металевій ванні. Встановлена можливість суттєвого (до 3 – 5 разів) збільшення інтенсивності продування при одночасному скороченні часу обробки розплаву. Визначено, що діаметр фільтра має становити 2/3 внутрішнього нижнього діаметра ковша, а площа отворів становить 20 – 60 % від площі фільтра.

### Література

1. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали. – М.: Metallurgiya, 1992. – 336 с.
2. Ковальов Г.М. Позапічна обробка чорних металів. – Донецьк: ДонГТУ, 1997 р. – 213 с.
3. Гресс О.В., Стороженко С.А., Омельчук А.Ю. Дослідження, моделювання та оптимізація ливарних систем. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. – 23 с.

### References

1. Kudrin, V.A. (1992). *Vneprechnaia obrabotka chuguna i stali* [назва книги на англійському]. Moscow: Metallurgija [in Russian].
2. Koval'ov, H.M. (1997). *Pozapichna obrobka chornykh metaliv* [назва книги на англійському]. Donetsk: DonHTU [in Ukrainian].

3. Hress, O.V., Storozhenko, S.A., & Omel'chuk, A.Yu. (2011). *Doslidzhennia, modeliuvannia ta optymizatsiia lyvarnykh system* [название книги на английском]. Dniprodzerzhynsk: DDTU [in Ukrainian].

Одержано 17.08.16

**Н. К. Сигарев, Я. А. Сорока, Д. О. Плакущий**

**Влияние интенсивности продувки на гидродинамику  
металла в литейном ковше**

**Резюме**

Приведены результаты физического моделирования гидродинамики металла в литейном ковше при увеличении интенсивности продувки ванны с использованием фильтра. Определены скорости потоков в объеме исследуемого ковша с использованием фильтра, который обеспечивает лучшую гомогенизацию ванны при одновременном задержании вредных включений на его поверхности.

**N. K. Sigarev, Ya. A. Soroka, D. O. Plakuschiy**

**The influence of blowing on hydrodynamics of metal  
in the casting ladle**

**Summary**

The results of physical modeling of hydrodynamics of metal in the casting ladle when increasing the intensity of blowing of the bath with a filter are presented. Flow rate in the volume of the ladle using a filter which provides a better homogenization of the bath while the apprehension of harmful impurities on its surface is determined.

***Шановні колеги!***

**Триває передплата на науково-технічний журнал  
«Металознавство та обробка металів» на 2016 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Вартість одного номера журналу – 40 грн., передплата на рік – 160 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2015 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,  
спонсорів і рекламодавців:**

банк ДКСУ в м. Києві, р/р 31257293112215, код банку 820172

Отримувач – ФТІМС НАН України, код ЄДРПОУ 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника  
**просимо надсилати до редакції,**  
вказавши номер і дату платіжного документа.