

УДК 669.18

<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.10>

Молчанов Л.С., Шеремета Н.А., Синегін Є.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ РІДКОЇ СТАЛІ ПРИ ПРОДУВЦІ ЧЕРЕЗ БЛОКИ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Molchanov L.S., Sheremeta N.A., Synehin Y.V.

STUDY OF EFFICIENCY OF LIQUID STEEL HOMOGENIZATION WITH BLOWING THROUGH BLOCKS OF VARIOUS DESIGNS

В умовах сучасного металургійного виробництва операція продувки розплавів технологічними газами є обов'язковою складовою технологічного циклу виробництва. При цьому найбільш складно організувати підведення перемішуючого газу через донну частину металургійного агрегату. В практиці металургійного виробництва для введення технологічних газів за такої схеми використовуються продувальні блоки різної конструкції (щільні, каналні та з ненаправленою шпаринністю). Враховуючи, що вплив конструкції бульбашкоутворювача донного продувального блоку на ефективність масообмінних процесів в металевій ванні не встановлено, то метою даного дослідження було визначення впливу конструкції продувального блоку на ефективність гомогенізації металевого розплаву. Для досягнення поставленої мети було використано метод фізичного низькотемпературного імітаційного моделювання оснований на модифікованій π -теоремі. З метою отримання адекватних результатів були визначені критерії подоби (критерій гомохромності, критерій безрозмірної об'ємної витрати, лінійний та симплекс густини) для описання процесу гомогенізації рідини та побудовано експериментальну установку, яка дозволяла проводити відео зйомку експериментів з високою якістю зображення. За результатами моделювання отримані фотознімки, що ілюструють динаміку зміни у часі рівня гомогенізації рідини (оцінювалася за швидкістю перерозподілу індикатора в об'ємі ванни) для продувних блоків різної конструкції та різної витрати газу. Науковою новизною проведених досліджень є визначення критеріїв подоби, що описують процес гомогенізації металевого розплаву при продувці інертним газом. Практична значущість полягає у запропонованому інноваційному дизайні продувального блоку, для якого визначені раціональні конструктивні параметри та необхідні і достатні для швидкої гомогенізації параметри продувки.

At modern metallurgical plants, blowing of steel with process gases is an obligatory component of the production cycle. In this case, it is most difficult to organize the supply of stirring gas through the bottom of a metallurgical unit. In the practice of metallurgical production, blowing units of various designs (slotted, channel and with non-directional porosity) are used to inject process gases under such a scheme. Considering that the influence of the design of the bubbler of the bottom blowing unit on the efficiency of mass transfer in a metal bath has not been studied, the aim of this study was to determine the influence of the design of the blowing unit on the efficiency of homogenization of the metal melt. To achieve this goal, the method of physical water modelling was used, based on a modified π -theorem. In order to obtain adequate results, similarity numbers (homochromicity number, dimensionless volume flow number, linear simplex and density simplex) were defined to describe the process of fluid homogenization, and an experimental installation was built that allows video recording of experiments with high image quality. According to the simulation results, photographs were obtained illustrating the dynamics of changes in the level of liquid homogenization over time (assessed by the indicator redistribution rate in the bath volume) for blowing units of various designs and different gas flow rates. The scientific novelty of the conducted research is the determination of similarity criteria describing the process of homogenization of a metal melt when blowing with an inert gas. The practical significance lies in the proposed innovative design of the blowing unit, for which rational design parameters and necessary and sufficient for rapid homogenization parameters of the blowing were defined.

Перемішування розплаву в ковші є обов'язковою операцією позапічної обробки. Відомо, що в поєднанні з перемішуванням швидкість рафінування металу різними технологічними засобами істотно зростає, стає можливим реалізація ефективного дугового нагріву і вакуумної обробки розкисленої сталі. Більш того, шляхом перемішування досягають необхідних для умов розливання ступеню однорідності температури і хімічного складу сталі, які в значній мірі визначають техніко-економічні показники процесу виробництва [1-3].

Здійснення процесу продувки розплаву інертним газом на стадії позапічної обробки сталі можливий відповідно до двох технологій: продувка через заглибну фурму та через донні продувні блоки. В умовах сучасного виробництва продувку здійснюють в основному через донні продувні блоки. При цьому продувку сталі інертним газом на різних

етапах здійснюють з зміною інтенсивністю в широкій межі: від 3...6 до 35...50 м³/год (від 50...100 до 600...800 л/хв), що вимагає від донного продувального вузла можливості забезпечення працездатності у вказаному діапазоні [4,5].

Досвід промислової експлуатації довів, що пористі пробки рекомендується застосовувати тільки для умов роботи з відносно коротким часом продувки і перебування металу в ковші. Це пояснюється тим, що через високу пористість і не систематизованість розташування газових каналів на практиці відбувається швидке проникнення сталі в пори продувального вузла. Наступні термічні удари і хімічна (киснева) очистка призводить до швидкого руйнування пробки (протягом 7...15 плавів). При подовженні часу продувки руйнування пробки може відбуватися ще швидше і призвести до аварійних ситуацій [4-6].

Молчанов Лавр Сергійович – к.т.н., доц.НМетАУ
Шеремета Наталя Анатоліївна – студентка НМетАУ
Синегін Євген Володимирович – к.т.н., НМетАУ

Molchanov Lavr – CTS assistant professor
Sheremeta Natalia – student NMetAU
Synehin Yevhen - CTS assistant professor

Відповідно до практичного досвіду експлуатації пористих вставок встановлено, що їх конструкція здатна забезпечувати високу інтенсивність подачі газу та навіть при відсутності тиску його, виключити проникнення сталі або шлаків у пори вставки. Це реалізуються одночасно при діаметрі пор від 0,6 до 1 мм [6-7].

Методика проведення досліджень

Визначення впливу конструктивних параметрів донного продувального блоку на ефективність масообмінних процесів в об'ємі рідкої сталі здійснювали методом фізичного моделювання на водяній моделі. Для цього попередньо були визначені основні параметри, що впливають на даний процес. У якості цільової функції, що визначає ефектив-

ність масообмінних процесів в об'ємі розплаву прийнято час гомогенізації.

Приймаємо, що тривалість τ гомогенізації рідини залежить від наступних параметрів [5]: інтенсивності продувки q ; діаметру сопла d_c ; рівня рідини h_v ; висоти елементарної комірки h_v ; густини рідини ρ_p ; різниці густин рідини і газу $\Delta\rho$; прискорення вільного падіння g .

Функціональна залежність має вигляд:

$$\tau = f(\Delta\rho, \rho_p, h_v, d_v, d_c, g, q). \quad (1)$$

З метою визначення масштабу моделювання були визначені основні критерії подоби, що описують процес перемішування розплаву у ковші під дією продувки нейтральним газом (таблиця 1).

Таблиця 1 – Визначення критеріїв подоби для опису гомогенізації рідини

Параметр	Розмірність	Масштаб	Критерій
τ	с	-	$Ho_m = \frac{g \cdot \tau^2}{d_v}$
q	м ³ /с	-	$Q = \frac{q^2}{g \cdot d_v^5}$
g	м/с ²	с	-
d_c	м	-	$D_c = \frac{d_c}{d_v} \neq idem$
d_v	м	м	-
h_v	м	-	$H_v = \frac{h_v}{d_v}$
ρ_p	кг/м ³	кг	-
$\Delta\rho$	кг/м ³	-	$P = \frac{\Delta\rho}{\rho_p}$

У безрозмірній формі залежність (1) перепишеться наступним чином

$$Ho_m \equiv f(P, H_v, D_c, Q). \quad (2)$$

Враховуючи особливості низькотемпературного фізичного моделювання процесу гомогенізації ме-

талєвого розплаву була розроблена методика проведення моделювання та експериментальна установка. Загальна схема установки представлена на рис. 1.

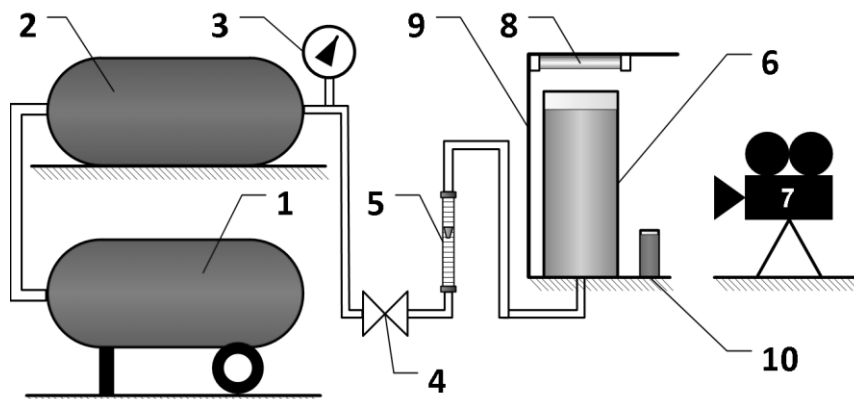


Рисунок 1 – Загальна схема експериментальної установки: 1 – компресор; 2 – ресивер; 3 – манометр; 4 – вентиль; 5 – ротаметр РМ-0,63; 6 – модель елементарної комірки перемішування; 7 – відеокамера; 8 – лампа; 9 – темна камера; 10 – контрольний зразок

Компресор 1 нагнітає стиснене повітря у ресивер 2, який необхідний для тривалого підтриму-

вання сталого тиску і можливості його плавного регулювання вентилем 4. Для вимірювання тиску по-

вітря і його витрати встановлені відповідно манометр 3 і ротаметр 5 РМ-0,63. У якості моделі елементарної комірки перемішування використана циліндрична ємність 6 з плексигласу. Конструктивно вона складається з камери для проведення моделювання та патрубку, в якому встановлюється модель донного продувочного блоку.

З метою отримання якісного відеозапису експериментів модель елементарної комірки перемішування було встановлено в темній камері 9, яка зменшує поглинання світла на стінках моделі. Штучне освітлення дозволяє отримати направлений промінь світла на модель.

У якості рідини-трасера, що імітує хімічну неоднорідність розплаву використовується 30 % водний розчин KMnO_4 , у кількості 100 мл. Рідина-трасер вводилася у верхню частину моделі елементарної комірки перемішування. Завершення

гомогенізації розплаву фіксували за наближенням інтенсивності кольору розчину до кольору 3,5 % водного розчину KMnO_4 , що встановлювався з іншого боку прозорої моделі.

Експериментальні дослідження поділялися на дві частини: у першій визначалися особливості впливу розміру характерного перетину продувочного блоку на особливості перемішування; у другій проводилось визначення впливу конструкції бульбобутворювача продувальної вставки на ефективність перемішування розплаву, що визначали за зміною часу гомогенізації розплаву.

У першій частині експерименту вивчався вплив характерного розміру прохідного каналу донного продувального блоку (L) на час гомогенізації металевої ванни. З цією метою була розроблена конструкція моделі продувочного блоку з щілинним прохідним перетином (рис. 2).

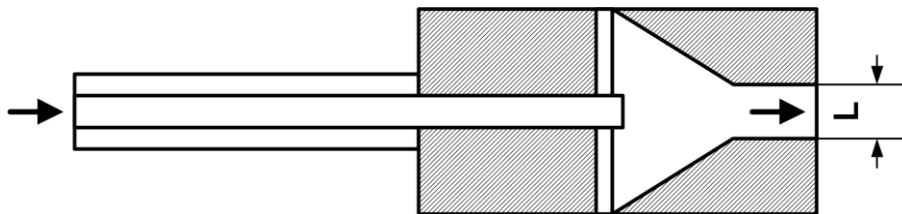


Рисунок 2 – Модель продувочного блоку з щілинним прохідним перетином: 1 – фланець; 2 – камера бульбобутворювач

З метою дослідження впливу розміру каналу прохідного перетину на час гомогенізації був розроблений ряд вставок з наступним характерним розміром отвору (L) 0,05; 0,1; 0,5; 8 мм. З метою отримання більш адекватних даних експеримент з кожною моделлю вставки проводився з витратою повітря 0,151; 0,095; 0,032 м³/год.

Результати моделювання

В процесі проведення експериментів були отримані кількісні результати стосовно впливу характерного розміру прохідного перетину щілинного каналу на час гомогенізації. Крім цього було виконано якісну оцінку гідродинамічних особливостей впливу параметрів продувки. Вона проводилася для режиму продувки з витратою стисненого повітря 0,097 м³/год. При цьому була отримана динаміка зміни гідродинамічної картини для кожного випадку, що розглядався, на протязі 0, 2, 3, 4 та 5 с від початку введення рідини-трасеру. Такий підхід необхідний для можливості співставлення отриманих результатів у всіх серіях експериментів.

Базовим експериментом, що визначав точку відліку для порівняння було прийнято процес гомогенізації рідини без зовнішнього впливу, тільки за рахунок природного масопереносу. Зміна гідродинамічної картини ванни в цьому випадку представлена на рис. 3.

Рідка ванна у цьому випадку гомогенізується протягом 85 с. При введенні рідини-трасеру на початковому етапі вона проникає у верхні шари ріди-

ни на глибину 30-35 мм від верхнього рівня рідини у моделі й розповсюджується по об'єму рідини (рис. 3 б). З плином часу рідина-трасер під дією сили тяжіння опускається до нижньої частини об'єму моделі (рис. 3 в, г). Через деякий час виникає контур циркуляції, що викликає спливання деяких об'ємів рідини від донної частини моделі вгору і розповсюдження рідини-трасеру до верхньої частини моделі. Початок вище зазначеного процесу наведено на рис. 3 г.

Наступним етапом було використання щілинної продувальної вставки з одиничним отвором шириною 50 мкм. Зміна гідродинамічної картини ванни в цьому випадку представлена на рис. 4.

Рідка ванна у цьому випадку гомогенізується протягом 14 с. Введення рідини-трасеру супроводжується розповсюдженням по всьому об'єму верхньої частини моделі (рис. 4 б). Це викликано поєднанням дії сили тяжіння, що викликає рух рідини-трасеру в нижню частину, та підйомної сили бульбашок стисненого повітря, що викликають рух вгору в об'ємі рідини. Враховуючи малий переріз пропускного каналу у вставці потужність перемішування є незначною, що і відображається в існуванні фронту розповсюдження рідини-трасеру, який переміщується від гори моделі до низу (рис. 4 в-д).

Узагальнені результати цього і решти дослідів наведені на рис. 5.

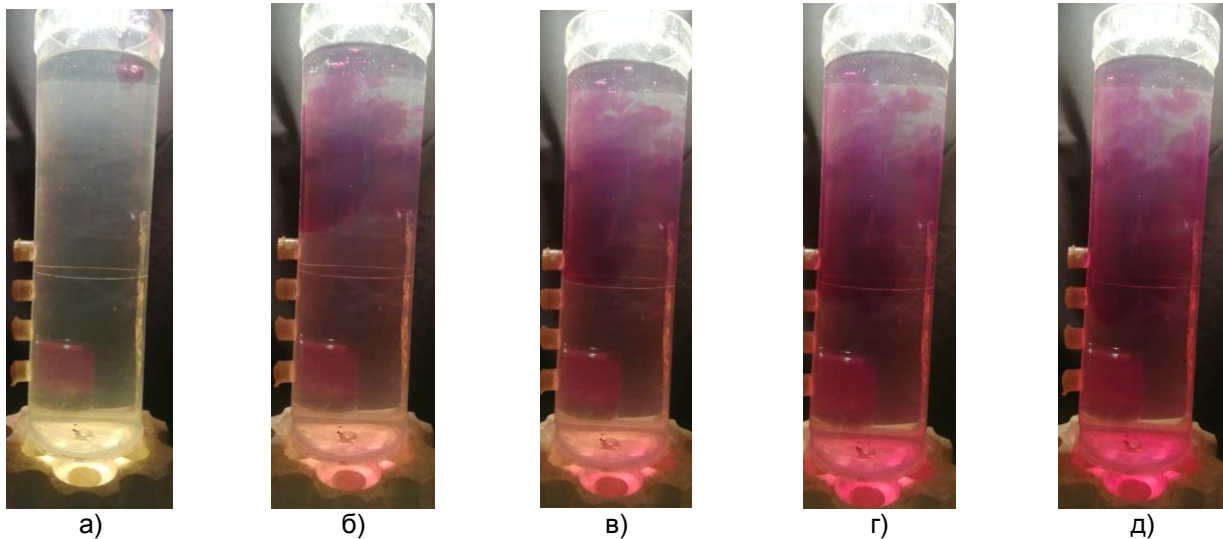


Рисунок 3 – Гомогенізація рідкої ванни за відсутності зовнішнього впливу: а) початок введення рідини-трасеру; б) 2 с від початку введення; в) 3 с від початку введення; г) 4 с від початку введення; д) 5 с від початку введення

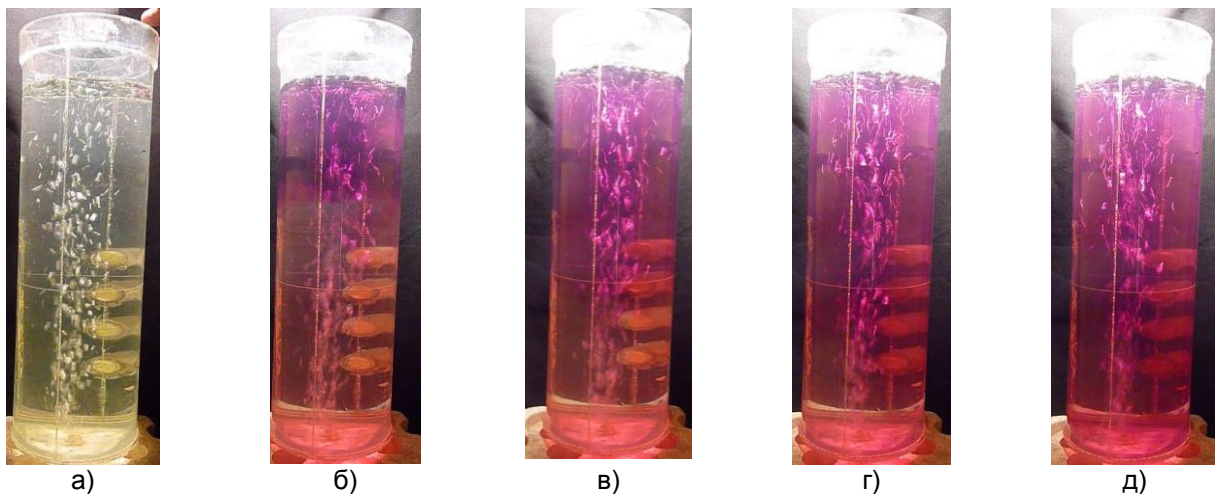


Рисунок 4 – Гомогенізація рідкої ванни при продувці ванни через щілинну вставку з одиночним отвором шириною 50 мкм: а) початок введення; б) 2 с від початку; в) 3 с від початку; г) 4 с від початку; д) 5 с від початку

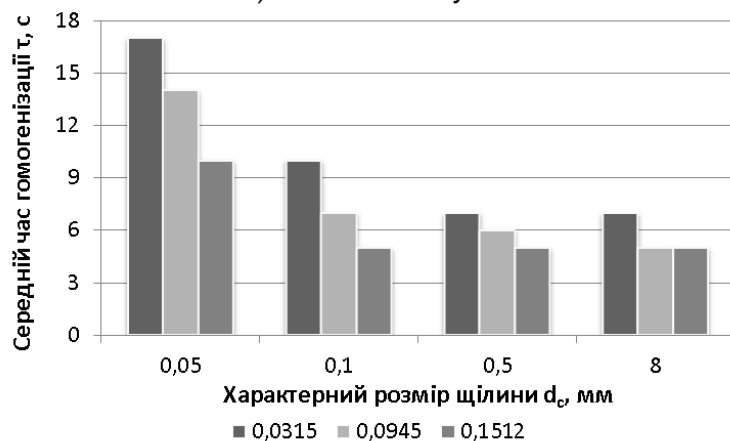


Рисунок 5 – Порівняння результатів дослідів із різними витратою повітря і шириною отвору (у легенді наведена витрата повітря у $m^3/год.$)

На рис. 5 видно, що середній час гомогенізації зменшується зі збільшенням характерного розміру щілини та збільшенням витрати повітря.

Висновки

За результатами виконаних досліджень було підтверджено ефективність запропонованого інно-

ваційного дизайну продувного блоку, для якого визначені раціональні конструктивні параметри та значені параметри продувки.

Бібліографічний опис.

1. Дюдкин Д.А. Современная технология производства стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко – М.: «Теплотехник», 2007. – 528 с.
2. Мельник С.Г. Производство стали улучшенного качества с применением внепечной обработки / С.Г. Мельник // Вестник ПГТУ, 1999. – №7. – С. 155-164
3. Технології підвищення якості сталі [Підручник] / О.Г. Величко, О.М. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Нізяєв. – Дніпропетровськ: Середняк Т.К., 2016. – 196 с.
4. Шалимов А.Г. Анализ эффективности перемешивания металла в ковше на основе новых шведских разработок / А.Г. Шалимов // Сталь. – 2004. – №1. – С. 25-30.
5. Кодак А.В. Технологические особенности внепечной обработки электростали на ММЗ «ИСТИЛ» (Украина) / А.В. Кодак, В.Н. Кренделев, А.Г. Демьяненко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – С.58-63.
6. Романо М. Установки ковш-печь на заводах с полным металлургическим циклом / М. Романо, Г. Зоччи // Электromеталлургия. – 2004. – № 3. – С. 24-26.
7. Бейцун С.В. Математическое моделирование параметров барботажной зоны при донной продувке стали в ковше / С.В. Бейцун, Н.В. Михайловский, С.В. Семенов // Математичне моделювання. – 2003. – № 2. – С. 36-39.

Reference

1. Dyudkin D.A. Sovremennaya tehnologiya proizvodstva stali / D.A. Dyudkin, V.V. Kisilenko – M.: «Teplotehnik», 2007. – 528 s.
2. Melnik S.G. Proizvodstvo stali uluchshennogo kachestva s primeneniem vnepechnoj obrabotki / S.G. Melnik // Vestnik PGTU, 1999. – №7. – S. 155-164
3. Tehnologiyi pidvishennya yakosti stali [Pidruchnik] / O.G. Velichko, O.M. Stoyanov, B.M. Bojchenko, K.G. Nizyayev. – Dnipropetrovsk: Serednyak T.K., 2016. – 196 s.
4. Shalimov A.G. Analiz effektivnosti peremeshvaniya metalla v kovshe na osnove novyh shvedskih razrabotok / A.G. Shalimov // Stal. – 2004. – №1. – S. 25-30.
5. Kodak A.V. Tehnologicheskie osobennosti vnepechnoj obrabotki elektrostali na MMZ «ISTIL» (Ukraina) / A.V. Kodak, V.N. Krendelev, A.G. Demyanenko // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost. – 2003. – S.58-63.
6. Romano M. Ustanovki kovsh-pech na zavodah s polnym metallurgicheskim ciklom / M. Romano, G. Zochchi // Elektrometallurgiya. – 2004. – № 3. – S. 24-26.
7. Bejcun S.V. Matematicheskoe modelirovanie parametrov barbatazhnoj zony pri donnoj pro-duvke stali v kovshe / S.V. Bejcun, N.V. Mihajlovskij, S.V. Semenov // Matematichne modelyu-vannya. – 2003. – № 2. – S. 36-39.

Стаття поступила 9.11.2018