

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЬНИХ ЗАПИТАНЬ ТА МОЗКОВОГО ШТУРМУ ДЛЯ ПОШУКУ ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ З ВІДСІКАННЯ ШЛАКУ ПРИ ВИПУСКУ СТАЛІ З КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРУ

<sup>1</sup> ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

<sup>2</sup> ТОВ "МЕТІНВЕСТ-СМЦ"

### Анотація

*Проаналізовані способи відсікання шлаку при розливі сталі з кисневого конвертору. Показана необхідність удосконалення механізмів та способів відсікання шлаку для підвищення ефективності киснево-конверторної плавки та якості сталі. Показано застосування методів інтенсифікації творчої діяльності, таких як метод контрольних запитань та метод мозкового штурму, для аналізу стану питання та пошуку ефективних напрямків розв'язання проблеми ефективного відсікання шлаку при розливі сталі з кисневого конвертеру.*

**Ключові слова:** кисневий конвертер, плавка, розливка, ківш, відсікання шлаку

Відсікання шлаку є одною з технологічних операцій при випуску плавки зі сталеплавильних агрегатів у ківш та широко застосовується при виробництві сталі конвертерним способом. Для цього металургійним машинобудуванням розробляються механізми і способи, що блокують перехід шлаку у ківш при операціях розливу сталі. Перешкоджання потраплянню шлаку у ківш необхідне для зменшення угару розкислювачів і феросплавів для легування, забезпечення чистоти сталі від потрапляння неметалевих включень, утруднення переходу фосфору і сірки зі шлаку у рідку сталь, тобто підвищення ефективності десульфуратії, збільшення кампанії футеровки ковша і т.п.

Відомі технічні рішення з механічного відсікання шлаку [1], що полягають у тому, що для уникнення потрапляння шлаку на початку випуску при нахилі кисневого конвертору сталевипускний отвір закривають ззовні пробкою, ковзаючим пічним або шибєрним затвором, використовують системи «поплавок» або «стопор» (рис. 1). При хімічному відсіканні шлаку використовують здатність шлаку згущуватись (твердіти) за рахунок додавання присадок (наприклад, у вигляді коксу або графіту) [2]. Авторами [3] запропоновано систему газодинамічного відсікання шлаку, що передбачає наявність термокамер або магніточутливих сенсорів для раннього виявлення частинок шлаку в струмені розплаву. Також дієвим технологічним прийомом вважається неповний випуск рідкої сталі з конвертеру, але в такому разі знижується продуктивність сталеплавильного агрегату.

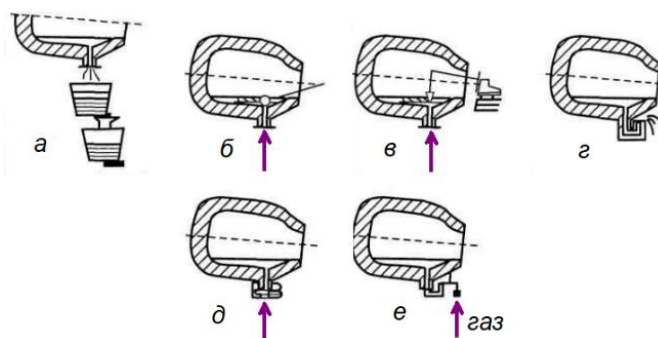


Рисунок 1 – Способи відсікання шлаку при розливі з кисневого конвертору: а – розлив через промковш; б, в – використання вогнетривких плаваючих куль та стопорів; г – сильфон для стікання заливаного металу; д – шибєрний затвор; е – газодинамічний стопор

Метою роботи було проведення аналізу, пошук і розробка пропозицій з підвищення ефективності відсікання шлаку при випуску сталі з кисневого конвертера шляхом психологічної активізації творчого процесу методами контрольних запитань та мозкового штурму. Зазначимо, що метод контрольних запитань часто комбінують із методом мозкового штурму для ефективної проробки стану питання, генерування ідей, формулювання відповідей та пошуку раціональних варіантів.

Для реалізації методу контрольних запитань використовувати вибіркові питання зі списків А. Осборна та Т. Ейлоарта. Нижче наведено виконаний аналіз у форматі: «Питання» – «Відповідь». Спочатку розглядали питання А. Осборна.

«Що можна додати» – «До системи відсікання шлаку можна додати сучасні пристрої (камери фіксації, датчики, аналізатори), що дозволять оператору або системі автоматизації точно і швидко реагувати на перебіг випуску сталі, досягти ефекту, при якому в сталь буде попадати менше шлаку».

«Що можна продублювати» – «Можна сконструювати шибер із дублюючим затвором на випадок, якщо основний затвор не спрацює».

«Підібрати іншу форму, забарвлення, звук» – «Можна використати ефект візуальної різниці, коли у шлак добавляють фарбник, який робить його візуально контрастним, але така реалізація утруднена через високі температури металу та шлаку. Тому доцільно використання тепловізорів та/або термографів для посилення ефекту візуальної різниці кольору, що виникає в наслідок різної температури (через різні властивості тепловіддачі)».

«Підібрати інший компонент» – «Підібрати до складу шлаку нові компоненти, що дозволять використовувати метод згущення шлаку більш ефективно».

«Зробити з іншого матеріалу» – «Плаваючі відсічні пристрої (металева куля з арматурним хвостовиком та вогнетривкою оболонкою, керамічний конус з циліндричною напрямною тощо) виготовити з графену (експериментів із плавлення графену немає, проте комп'ютерні моделі дають температуру плавлення від 4225 до 4625 °C [4]).

Надалі використовували питання з переліку Т. Ейлоарта:

«Бути весь час зануреним у проблему – з нею йти на роботу, на прогулянку, приймати душ, їхати, їсти, грати в теніс чи футбол – весь час бути з нею» – «Реалізації такого підходу буде сприяти набуття практичного досвіду на одному з металургійних підприємств».

«З'ясувати, чи намагався хтось ще вирішити це завдання і що у нього вийшло» – «Проведений пошук у вітчизняних та закордонних періодичних виданнях, патентних джерелах; дещо з результатів наведено вище у огляді»

«Розглянути можливість вживання всіляких матеріалів і енергій: тверде тіло, рідини, газу, гель; електричну, світлову, магнітну енергію; хвилі різного діапазону, поверхневі властивості; різні ефекти (Фарадея, Джоуля–Томсона); різні стани речовини (лід, пара) і інше» – «Використання графену в якості матеріалу для відсічних пристроїв та підібрати до складу шлаку нові компоненти, що дозволять використовувати метод згущення шлаку більш ефективно».

«Поцікавитися думкою людей, що абсолютно не знаються на досліджуваному питанні» – «Фахівці у інших сферах віповіли так: а) купити закордоном найсучасніше обладнання; б) збільшити швидкість обладнання, що безпосередньо фізично відсікає шлак; в) розробити пристрій/машину, що буде повністю без залишку знімати шлак з поверхні розплавленої ванни металу».

Реалізація методу мозкового штурму відбувалася на практичному занятті академічної групи. Згенеровані ідеї наведено нижче:

1. Запропоновано використовувати додаткове обладнання, наприклад, пневматичне.
2. В умовах виробництва (на прикладі ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», де шлак визначають візуальним методом) запропоновано побудувати/обладнати систему відсікання шлаку датчиками (розпізнавання температури, кольору), які будуть допомагати визначити, що шлак почав/закінчився вилитися.
3. Обладнати ємність конвертеру пневматичним шиберним затвором.
4. Встановити спектрометр, який дасть змогу чітко відрізнити шлак і метал.
5. Додати присадки, що допоможуть згустити шлак і збільшити контрастність між шлаком і сталлю.
6. Підфарбовувати шлак для кращої візуалізації.
7. Обладнати конвертер плаваючим пристроєм відсікання шлаку, який буде працювати за рахунок різниці в щільності шлаку і сталі.
8. Розробити такий склад шлаку, щоб він в процесі набував газоподібної форми.

Вибір найкращого методу показав те, що більшість зі згенерованих методів вже існують у тій чи іншій формі та широко використовуються на різних виробництвах в усьому світі. Серед основних можна виділити наступні методи:

1. Шлак скачують з поверхні за допомогою гребків, у т.ч. із застосуванням пневматичних механізмів;
2. Існують електронні системи виявлення шлаку в потоці витікаючого металу за допомогою електромагнітного індикатора (різниця в магнітній проникності металу та шлаку), за допомогою термокамери (різниця в інтенсивності випромінювання з поверхні металу та шлаку), за допомогою датчиків раннього виявлення шлаку (вимірює вібрації литьової труби), тощо;
3. Існують пневматичні шибєрні затвори.
4. Використовуються методи згущення шлаку (наприклад, введення порції холодного доломіту для ускладнення витікання шлаку з агрегату).
5. Використовуються системи з плаваючими відсічними пристроями.

Таким чином, в результаті наведеного аналізу, можна зробити висновки, що для підвищення ефективності методів відсікання шлаку необхідно, в першу чергу, віднести визначення самої проблеми до умов конкретного виробництва. Якщо сфокусуватися на виробництві, наприклад, ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», де шлак відсікають «підривом струменю», достатньо раціональною ідеєю виглядає використання домішок, що дозволить оператору більш ефективно виявляти шлак в потоці металу, або використовувати автоматизовані системи розпізнавання за спектрограмою або термограмою. З виробничого досвіду відомо, що досвідчені сталевари виявляють шлак в потоці металу не тільки за кольором, а й, навіть, за звуком, що пояснюється різною густиною та в'язкістю шлаку і рідкої сталі, що розливаються. Тому, окрім застосування автоматизованих систем контролю та керування, при розпізнаванні та обробці візуальної та звукової інформації раціональне використання систем штучного інтелекту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Golub, T., Molchanov, L., Koveria, A., & Kieush, L. (2022). Study on a Two-Phase Low-Temperature Model of the Features of Metal Tapping in Basic Oxygen Furnace. *Acta Metallurgica Slovaca*, 28(3), 151-156.
2. Kamaraj, A., Mandal, G. K., Shanmugam, S. P., & Roy, G. G. (2022). Quantification and analysis of slag carryover during liquid steel tapping from BOF vessel. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 61(2), 202-215.
3. Eron'ko, S. P., Gorbatyuk, S. M., Oshovskaya, E. V., & Starodubtsev, B. I. (2017). Development of automatic system of gas-dynamic cut-off of slag for converter with rotating vessel shell. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*, 60(11), 863-869.
4. Борисюк, В. М., & Максакова, О. В. (2020). Фізичні властивості двовимірних наноматеріалів та металевих наночастинок : монографія. Сумський державний університет. 100 с.

**Кухар Володимир Валентинович**, д-р техн. наук, професор, проректор з науково-дослідної роботи, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, [kvv.mariupol@gmail.com](mailto:kvv.mariupol@gmail.com)

**Савенок Максим Олександрович**, спеціаліст, ТОВ "МЕТІНВЕСТ-СМЦ", м. Миколаїв; магістрант ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, [maksym.savenok@mipolytech.education](mailto:maksym.savenok@mipolytech.education)

#### APPLICATION OF CONTROL QUESTIONS AND BRAINSTORMING METHODS TO FIND EFFECTIVE SOLUTIONS FOR SLAG CUT-OFF DURING STEEL OUTPUT FROM A BOF

##### Abstract

Methods of slag cut-off during steel casting from an BOF were analyzed. The necessity of improving the mechanisms and methods of cutting off slag in order to increase the efficiency of BOF melting and the quality of steel is shown. The application of methods of intensification of creative activity, such as the method of control questions and the method of brainstorming, is shown for analyzing the "state of the art" and finding effective area for solving the problem of effective cutting of slag when pouring steel from an oxygen converter.

**Keywords:** BOF, melting, pouring, ladle, slag cut-off

**Volodymyr V. Kukhar**, D.Sc. (Eng.), Professor, Vice-Rector for R&D Work, TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC" LLC, Zaporizhzhia, [kvv.mariupol@gmail.com](mailto:kvv.mariupol@gmail.com)

**Maksym O. Savenok**, Specialist, METINVEST-SMC LLC, Mykolaiv; Master's student of TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC" LLC, Zaporizhzhia, [maksym.savenok@mipolytech.education](mailto:maksym.savenok@mipolytech.education)