

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛАКОВИХ ЧАШ: АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ

Поворотній В. В.¹, Щербина І. В.², Дьяченко Н. К.,^{3,4} Яйчук О. О.⁴

¹Український державний університет науки та технологій, к.т.н., Україна

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет, к. ф.-м н., доцент,
Україна

³Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Україна

⁴Український державний університет науки та технологій, Україна

Анотація. Температурні напруження у шлакових чашах потребують дослідження для оптимізації процесів у металургійній промисловості, зокрема для зниження витрат металу та підвищення ефективності виробництва. Шлакові чаші, які використовуються для транспортування та зберігання розплавленого металу, піддаються значним термічним навантаженням, що може призвести до виникнення тріщин і дефектів у матеріалі, скорочуючи їх термін служби та збільшуючи витрати на ремонт. Основною причиною руйнувань є температурні напруження, викликані перепадами температур між різними частинами чаші під час експлуатації. Математичні моделі, що описують ці напруження, враховують механічні властивості матеріалу, які змінюються з температурою. Використання чисельних методів моделювання дозволяє точніше прогнозувати поведінку матеріалів, що допомагає знижувати витрати на експлуатацію шлакових чаш. Розробка таких моделей має важливе значення для підвищення ефективності експлуатації шлаковозів. У результаті проведених досліджень було виявлено температурні та температурно-напружені поля, а також визначено механізм утворення мікротріщин у стінках чаш через вплив гарячого шлаку. Використання матеріалів, таких як сталь 30 ХМЛ, може значно покращити експлуатаційні характеристики чаш.

Ключові слова: шлакова чаша, шлак доменного виробництва, температурні напруження, температурне поле чаші.

Основною причиною руйнувань шлакових чаш, які використовуються для транспортування та зберігання розплавленого металу, є виникнення температурних напружень, що можуть бути спричинені різким перепадом температур між різними частинами чаші під час експлуатації. Наприклад, при наливанні гарячого шлаку чи металу в чашу може виникнути різниця

температур між внутрішньою та зовнішньою поверхнею чаші, що викликає термічні деформації і сприяє розвитку тріщин.

Математичні моделі, що використовуються для опису температурних напружень, враховують механічні властивості матеріалу чаші, які можуть змінюватися залежно від температури. Розв'язок таких задач зазвичай передбачає розгляд пружної та пластичної зон, де в кожній зоні матеріал реагує на навантаження по-різному. У пружній зоні матеріал зберігає свою здатність до відновлення після деформації, тоді як у пластичній зоні деформація стає незворотною.

Однак для повноцінного моделювання температурних напружень в шлакових чашах існує кілька невизначених аспектів. Одним із них є відсутність достатньої кількості даних про розподіл температурних напружень у різних частинах чаші. Немає точної інформації про температурні умови при транспортуванні та зберіганні шлаку, а також про механізм зміни фізико-механічних властивостей матеріалу чаші при досягненні температур, при яких метал втрачає свою пружність. При високих температурах матеріал чаші може почати вести себе нелінійно, що ускладнює прогнозування точного моменту руйнування або зношування.

Одним з основних напрямів досліджень є розробка нових матеріалів для виготовлення шлакових чаш, які можуть витримувати більш високі температури та мають кращі механічні властивості при зміні температури. У цьому контексті вивчення термічних напружень допоможе оптимізувати конструкцію чаш, зменшуючи ймовірність утворення тріщин та дефектів, а також дозволить значно продовжити їх термін служби.

Застосування сучасних методів моделювання, таких як чисельні методи (наприклад, метод скінченних елементів), дає змогу більш точно прогнозувати поведінку матеріалів під термічним навантаженням, що, в свою чергу, дозволить інженерам і технологам удосконалювати конструкції шлакових чаш та знижувати витрати на їх експлуатацію.

Вивчення явищ, пов'язаних із температурними напруженнями в шлакових чашах, також має важливе значення для розробки нових методів збереження

енергії, адже правильно оптимізовані процеси виробництва можуть значно знизити енергоспоживання та зменшити витрати на обігрівання і транспортування шлаку. Це також впливає на загальну екологічну ефективність металургійних процесів, оскільки зменшення енергоспоживання дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

В даній роботі був проведений аналіз напружено-деформованого стану чаші без урахування та з врахуванням впливу температури та знайдені напруження в опорних цапфах чаші. Визначені температурні поля, що діють на чашу при заповненні її рідким шлаком; визначені температурні напруження і відповідні деформації, що виникають в чаші. Дослідження проводились на чашах різних конструкцій, різних об'ємів та різного типу базування. Рідкий шлак, знаходячись у чаші, призводить до виникнення мікротріщин у стінках з подальшим руйнуванням.

Було проведено комп'ютерне моделювання для вивчення впливу гарячого шлаку на температуру чаші, що використовується для його транспортування. Моделювання показало, що температура всередині чаші може досягати 720 °С, тоді як стінки чаші нагріваються до 200–400 °С. В місцях з'єднання чаші з опорними цапфами температура становить 250–300 °С. Такий нагрів може спричинити розширення матеріалів, що призведе до утворення зазорів між чашею і цапфами, а це, у свою чергу, може спричинити руйнування конструкції. Отримані результати моделювання збігаються з даними, отриманими в реальних експериментах, де температуру та напруження вимірювали за допомогою тензометрії.

Аналіз напружено-деформованого стану шлакової чаші проводився з використанням двох матеріалів: сталь 25Л, з якої виготовляють шлакові чаші, і сталь 30 ХМЛ – перспективний матеріал для чаш, що має вищі граничні механічні властивості порівняно зі сталлю 25Л.

Висновки: Дослідження температурних напружень у шлакових чашах є важливим кроком у напрямку покращення ефективності металургійного виробництва. Визначення точних умов експлуатації та розробка нових матеріалів, здатних витримувати великі температурні навантаження, дозволять зменшити частоту руйнувань чаш і тим самим знизити витрати металу, що в кінцевому підсумку вплине на підвищення економічної та екологічної ефективності галузі.

ЖИТЕПАТҮПА

1. Neacșu, I.A., Scheichl, B., Rojacz, H., Vorlaufer, G., Varga, M., Schmid, H. and Heiss, J. (2016), Transient Thermal-Stress Analysis of Steel Slag Pots: Impact of the Solidifying-Slag Layer on Heat Transfer and Wear. *steel research int.*, 87: 720-732. <https://doi.org/10.1002/srin.201500203>
2. Rothenbuchner, L., Neudorfer, C., Fallmann, M., Toth, F., Schirrer, A., Hametner, C., Jakubek, S. (2024). Efficient feedforward sloshing suppression strategy for liquid transport. *Journal of Sound and Vibration*, 590, 118542. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2024.118542>

WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF SLAG BOWLS: ANALYSIS OF MATERIALS AND TEMPERATURE REGIME

Viktor Povorotnii, Iryna Shcherbyna, Nina Diachenko, Oleksandr Yaichuk,

Abstract. *Investigating temperature stresses in slag pots is crucial for optimizing metallurgical processes, reducing metal losses, and improving efficiency. Slag pots experience significant thermal loads, leading to cracks, defects, and reduced lifespan. These failures are primarily caused by temperature gradients within the pot, requiring accurate mathematical models that account for temperature-dependent material properties. Numerical modeling enhances the prediction of material behavior, reducing operational costs. Developing such models is essential for efficient slag handling. Research has identified temperature and thermal stress fields, revealing the mechanism of microcrack formation in pot walls due to hot slag exposure. Materials like steel 30KhML can significantly enhance the slag pots' performance and lifespan. Optimizing slag pot design and material selection reduces operating costs and enhances safety.*

Keywords: *slag pot, blast furnace slag, thermal stresses, temperature, thermal resistance*

REFERENCE

1. Neacșu, I.A., Scheichl, B., Rojacz, H., Vorlaufer, G., Varga, M., Schmid, H. and Heiss, J. (2016), Transient Thermal-Stress Analysis of Steel Slag Pots: Impact of the Solidifying-Slag Layer on Heat Transfer and Wear. *steel research int.*, 87: 720-732. [in English]. <https://doi.org/10.1002/srin.201500203>
2. Rothenbuchner, L., Neudorfer, C., Fallmann, M., Toth, F., Schirrer, A., Hametner, C., Jakubek, S. (2024). Efficient feedforward sloshing suppression strategy for liquid transport. *Journal of Sound and Vibration*, 590, 118542. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2024.118542>