
МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОРІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА У КОНВЕРТЕРІ

Надригайло Т.Ж., к.т.н., доцент, Харченко О.С. бакалавр

*Дніпровський державний технічний університет,
м. Кам'янське, Дніпропетровська обл., Україна*

Abstract. This article deals with the mathematical and computer simulations of hydrodynamic processes in a multiphase environment of the converter during the lining repair by the inflating of prepared final slag. On the basis of the analysis and theoretical generalization of existing methods of modeling of the gas-liquid environment in the case of free phase boundary, the mathematical model of the process of inflating of the slag skull with using a double row tuyere has been developed and a numerical study of the interaction of the gas jet with the melt at different purging parameters has been carried out.

Ключові слова: БАГАТОФАЗНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, КОНВЕРТЕР, ФУРМА, ВЗАЄМОДІЯ, ГАЗОВИЙ СТРУМІНЬ, ПРОДУВКА, ШЛАКОВИЙ ГАРНІСАЖ.

В основі нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера лежить процес взаємодії газового струменя з рідким шлаком, у результаті якого шлак рухається. На поверхні шлаку під тиском газового струменя утворюється лунка. Динаміка поверхні лунки є досить складною, спостерігаються утворення хвиль і відрив крапель шлаку, які захоплюються газом. В подальшому вони можуть потрапляти на футерівку (утворюється шлаковий гарнісаж), осідати на стовбурі фурми (утворюється настил), або виноситись з конвертера через горловину [1].

При створенні математичної моделі взаємодії газового струменя з рідиною враховувались такі особливості: 1) наявність на рівні з рідкошлаковою та газовою фазами перехідної газошлакової фази, яка утворюється краплями шлаку, які рухаються у газових потоках; 2) явно відстежується межа поділу рідкошлакової та газошлакової фаз; 3) розраховується перенос шлакових включень у газі.

Динаміка газорідного середовища описується системою рівнянь [2]:

$$\frac{\partial \gamma}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\gamma \vec{v}_s) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \Delta(\vec{v} \cdot \vec{v}) + \vec{g} - \gamma \vec{f} - \vec{\nabla} p' \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d_s \vec{v}_s}{dt} = \Delta(\vec{v}_s \cdot \vec{v}_s) + \vec{g} + x_s \vec{f} \quad (4)$$

Тут — відношення істинних густин газу та рідини відповідно.

Рівняння (1)–(3) справедливі в усій області руху газорідинного середовища (якщо при вважати), причому в області, де розташовується чиста рідина (), , а в області, де знаходиться чистий газ (), . Рівняння (4) справедливе лише в зоні крапельного руху рідини. У цих місцях швидкість газової фази може визначатися за формулою:

$$\vec{v}_g = (\vec{v} - \gamma \vec{v}_s) / \alpha \quad (5)$$

При розв'язанні системи (1)–(4) необхідно стежити за межею поділу рідкої, газо-крапельної і газової фази, яка вільно рухається під час процесу. Система розв'язувалася методом розщеплення за фізичними факторами. Рівняння апроксимувалися на рівномірній шаховій сітці з постійним кроком по радіусу (Δr) і висоті (Δz).

При проведенні розрахунків використовувалась модель реального конвертера (рис. 1) із заданими параметрами конвертера, густини рідкого шлаку, газу, температури середовища, швидкості подачі газу та ін. наближених до реальності фізичних параметрів. На рис. 1 R_ϕ — радіус фурми, R_r — радіус горловини конвертера, R_k — радіус самого конвертера, H_{III} — висота рівня розплавленого шлаку, H_k — висота конвертера.

Було зроблене припущення осьової симетрії задачі, тому розрахунок проводився у циліндричних координатах і задача була зведена до двовимірної. У якості розрахункової області була вибрана половина осьового перерізу моделі конвертера.

Граничні умови, що доповнюють математичну модель, є наступними.

На твердій поверхні S (на стінках моделі конвертера) встановлюються умови непротікання для складової швидкості, яка перпендикулярна поверхні:

$$\vec{n} \cdot \vec{\nabla} v_\perp |_S = 0 \quad (6)$$

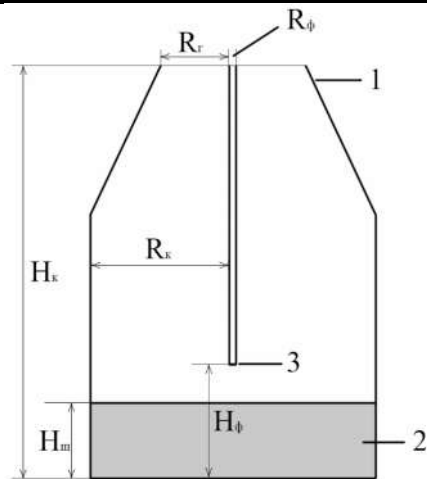


Рисунок 1 — Схема моделі конвертера: 1 – стінки конвертера, 2 – рівень рідкого шлаку, 3 – сопла фурми, через які подається газ

На швидкість, яка є дотичною до поверхні, можуть накладатися різні граничні умови, крайніми варіантами яких є умова вільного ковзання:

$$\vec{n} \cdot \vec{\nabla} v_{\parallel} |_S = 0 \quad (7)$$

і умова прилипання:

$$v_{\parallel} |_S = 0. \quad (8)$$

На осі симетрії вибираємо умову непротікання (умову симетрії) та умову вільного ковзання.

На межах розрахункової області для тиску встановлюються граничні умови першого роду:

$$p |_S = p_s. \quad (9)$$

Граничні умови для об'ємної частки рідини записуються аналогічно вибраним граничним умовам для тиску:

$$\vec{n} \cdot \vec{\nabla} \gamma |_S = 0. \quad (10)$$

При наявності потоку, який вільно входить або виходить через поверхню S , використовується умова вільного протікання, що має вигляд:

$$\gamma |_S = 1. \quad (11)$$

При розрахунках нехтуємо стисливістю газу, оскільки відношення істинних густин газової і рідкошлакової фаз достатньо мале. Для опису турбулентних явищ використовувалась трипараметрична модель турбулентності.

Розрахункова область зображена у вигляді реального конвертера, стрілки вказують напрями середньооб'ємних швидкостей, а область зі стрілками чорного кольору показує місце розташування рідини. Фурма, через яку подається газ із великою швидкістю, знаходиться посередині. Результати розрахунку динаміки взаємодії газового струменя з рідким шлаком для різних моментів часу подано на рис. 2.

У ході проведення чисельних експериментів, було помічено, що найбільш впливовою величиною для досягнення необхідної картини може бути кут нахилу напрямку впускання газу через сопла фурми до вертикальної осі. Якщо він більший ніж 60° , можна спостерігати утворення малорухомої маси рідини прямо під фурмою. Це є небажаним, оскільки вона може застигати, більш того, внаслідок руху газових потоків у вихорах, може підійматись до фурми, обліплюючи її і перешкоджаючи подачі газу. Для даного процесу при заданих умовах найбільш ефективним виявився кут нахилу у 15° .

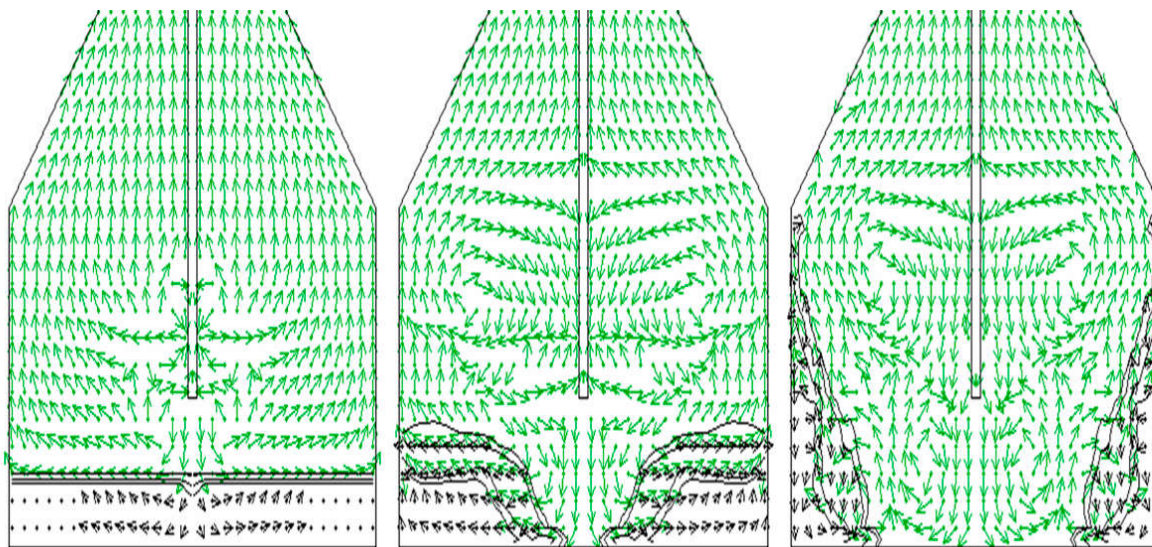


Рисунок 2 – Динаміка процесу взаємодії газового струменя з рідким шлаком

Виконаний чисельний експеримент дозволяє зробити висновок про адекватність моделі. Результати розрахунку відтворюють режими продування конвертера, які спостерігались експериментально. Причому спостерігались всі характерні феномени в явищі, що моделюється, а саме: утворення кратеру еліпсоподібної форми з валом над рівнем рідини біля його зовнішньої частини, утворення на поверхні кратеру хвиль, що рухаються до його зовнішньої границі, відрив крапель від загального об'єму рідини та їх рух в газовому

потоці, підрізання валу рідини газовими потоками та утворення крупних сплесків і т. ін.

Література

1. Численное исследование гидродинамических процессов в полости конвертера при продувке шлакового расплава азотом через фурму с двухрядным расположением сопел / Е.В. Протопопов, В.В. Соколов, А.Г., Чернятевич О.С. Самохвалов // Известия ВУЗов: Черная металлургия. – 2003.– No 12. – С. 15-19.
2. Самохвалов С.Є., Самохвалов О.С. Математичні моделі багатофазних середовищ в конвертері. Монографія. Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2011. – 140 с.

References

1. A numerical study of the hydrodynamic processes in the cavity of a converter during blowing slag with the melt with nitrogen through a tuyere with a double-row nozzle / E. Protopopov, V.V. Sokolov, A.G., Chernyatevich O.S. Samokhvalov // University news: Ferrous metallurgy. - 2003.
2. Samokhvalov S.E., Samokhvalov O.S. Mathematical models of the multi-phase environments in the converter. Dniprodzerzhinsk, DSTU, 2011. – 140 p.