УДК 669.184:658.012.011.66

Величко О.Г., Волкова О.І., Джохуа Чжан

Коливальні явища та вібрація конвертера газокисневого рафінування

Velychko O.G., Volkova E.I., Jiang Zhouhua

Oscillatory phenomena and vibration of the converter for gas-oxygen refining

Анотація. Для технології газокисневого рафінування виконано аналіз «холодного» та «гарячого» моделювання продування металу киснем через донні фурми. Показано вплив технологічних параметрів (інтенсивності продування, числа донних фурм, їх розміщення у днищі) на коливання ванни, утворення хвиль на поверхні ванни та вібрацію конвертера газокисневого рафінування GOR. Вивчено амплітудно-частотні характеристики вібропереміщень та віброшвидкості GOR конвертера. Запропоновано та випробувано в конвертері GOR організація комбінованої подачі дуття, що дозволяє знизити вібрацію конвертерного агрегату як у періоди продування киснем, так і при продуванні сумішшю аргон-кисень. Встановлено, що рівень віброшвидкості в частотному діапазоні 4–8 Гц визначає динаміка коливальних процесів при виділенні газових об'ємів, а рівень вібропереміщень на частоті менше 1 Гц пов'язаний із коливаннями ванни та поверхневими хвилями.

Ключові слова: конвертер газокисневого рафінування, GOR, донне та комбіноване продування, коливання, вібрація.

Abstract. For gas-oxygen refining technology, analysis of "cold" and "hot" modeling of blowing metal with oxygen through bottom lances was performed. The influence of technological parameters (blowing intensity, number of bottom lances, their placement in the bottom) on bath oscillations, formation of waves on the bath surface, and vibration of the GOR gas-oxygen refining converter is shown. The amplitude-frequency characteristics of vibration movements and vibration speed of the GOR converter were studied. The organization of combined blowing supply was proposed and tested in the GOR converter, which allows to reduce the vibration of the converter unit both during periods of oxygen purging and when purging with an argon-oxygen mixture. It was established that the level of vibration speed in the frequency range of 4–8 Hz determines the dynamics of oscillatory processes during the release of gas volumes, and the level of vibration movements at a frequency of less than 1 Hz is associated with vibrations of the bath and surface waves.

Key words: gas-oxygen refining converter, GOR, bottom and combined blowing, oscillations, vibration.

Вплив способу подачі дуття на коливання металевої ванни.

Спеціальні технології виплавки нержавіючої сталі в агрегаті газокисневого рафінування – ГКР передбачають продування технологічними газами (киснем, сумішами азот (аргон)- кисень, аргоном) зверху та через донні фурми, лише через донні фурми [1-4]. Незалежно від способів підведення дуття фізико-хімічні процеси в ході плавки мають виражений коливальний характер, що знаходить прояв у вібрації конвертера.

Вплив продування на металеву ванну визначає сумарний імпульс струменів, що впроваджуються, вдуваного газу ($\sum i_{стр}$) і спливаючих вертикально газових бульбашок ($\sum i_{пуз}$). На рисунку 1 зіставлені напрямки векторів імпульсу струменя, що впроваджується ($i_{стр}$) і бульбашок газу ($i_{пуз}$), що вертикально піднімаються при різних способах подачі дуття (зверху, знизу).

При продуванні зверху вектор імпульсу кисневого струменя ($i_{стр}$), що впроваджується, спрямований вниз по осі нахилу сопла до вертикалі фурми. Вектор імпульсного впливу спливаючих вертикально бульбашок монооксиду вуглецю ($i_{пуз}$) спрямований нагору (рис. 1).

Таким чином, особливістю подачі дуття зверху і взаємодії його з металевою ванною є протилежна спрямованість векторів імпульсу кисневого струменя, що впроваджується, і імпульсу спливаючих вертикально газових бульбашок монооксиду вуглецю. Останнє, певною мірою, служить поясненням невеликих по амплітуді коливань металевої ванни при верхній продувці і відповідно невисокої вібрації кисневого конвертера.

Розташування по колу в металевій ванні реакційних зон впровадження кисневих потоків прийнято вважати найбільш раціональним не лише з точки зору рафінування металу, а й мінімізації коливань конвертерної ванни.

При донній продувці (рис.1) вектор імпульсу струменя газу, що впроваджується, спрямований вгору і збігається з вектором імпульсу вертикально спливаючих бульбашок газу. Односпрямованість та складання цих імпульсів посилює вплив продування на ванну і призводить до коливань ванни більшої амплітуди, утворення поверхневих хвиль, що супроводжується інтенсивною вібрацією конвертера з донним продуванням.

Сумарна енергія, що витрачається на перемішування ванни, у тому числі на утворення поверхневих хвиль, включає енергію струменів газу, що вдується, і енергії, що спливають з глибини h бу-

Величко О.Г.,
Волкова О.І.,
Джохуа Чжан

льбашок (CO, N_2, Ar), які формуються в зоні вдування. Відповідно до розрахунків, енергія перемішування спливаючими бульбашками і від струменів, що впроваджуються, становить, відповідно, 15-25 і 2-3 кВт/т. Таким чином, перемішування та хвилеутворення на поверхні визначає енергія спливаючих бульбашок. Величина останньої пов'язана з інтенсивністю утворення та виділення газових бульбашок та глибиною h, на якій вони формуються і з якої спливають.

При верхній і донній продувці з урахуванням глибини проникнення газових струменів в метал, глибину, з якої спливають бульбашки, можна приймати рівною половині глибини ванни в спокійному стані, а висока інтенсивність перемішування і формування поверхневих хвиль при донному продуванні пов'язані з односпрямованістю потоків струменів, що впроваджуються, бульбашок газу і складанням, в цьому випадку, енергії, що вводиться. Середня потужність перемішування ванни при донному продуванні киснем оцінено в 1,5 рази, а азотом або аргоном у 3-3,5 рази більше, ніж при продуванні киснем зверху. При інтенсивному донному продуванні азотом або аргоном величина сумарної енергії, що підводиться, може досягати 60-80 кВт/т [5].

Вібрація конвертерного агрегату, критичної амплітуди, характерна для донного продування киснем, стала однією з причин відмови від практичного використання подачі кисневого дуття через донні фурми. У конвертері газокисневого рафінування (ГКР) донну продувку ведуть з інтенсивністю значно меншою, ніж у конвертері ОВМ.

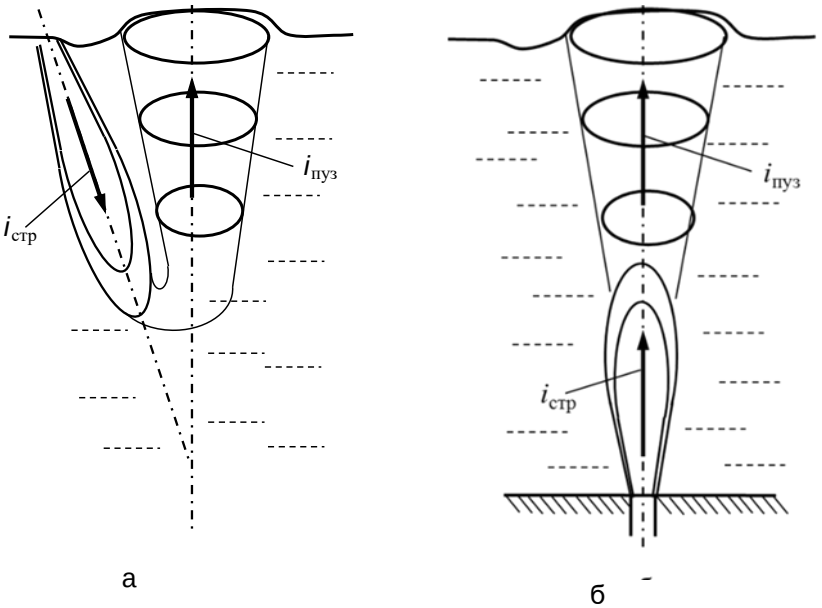
Моделювання хвилеутворення методами «холодного» та «гарячого» моделювання

Скориставшись можливостями “холодного” моделювання вивчено взаємодію кисневих струменів, що вдмухаються через донні фурми, рух поверхневих хвиль та зміну рівня ванни при цьому [5]. Ці дослідження були продовжені авторами стосовно виплавки нержавіючої сталі в агрегатах конвертерного типу AOD і ГКР.

Дослідження особливостей хвилеутворення при донному продуванні проводили на водяних прозорих моделях конверторів, виконаних у масштабах 1:12 та 1:24. Рідку ванну моделювали водою, кисневе дуття - повітрям. При цьому витримували на моделі та зразку рівність видозміненого числа Ньютона Ne'

$$Ne = \sum i/\left(\rho_{ж} \cdot qHD^2\right), \quad (1)$$

де ∑i – сумарний імпульс газових струменів у місці впровадження їх у ванну. кг м/с^2; $\rho_ж$ – густина рідкої ванни, кг/м^3; q-прискорення сили тяжіння, м/с^2; H і D-глибина та діаметр конверторної ванни, м.



а б

Рисунок 1. Напрямки вектора імпульсів струменя, що впроваджується, і бульбашок газу, що піднімаються, при продуванні зверху (а), знизу (б)

Встановлено, що рівень ванни при донному продуванні коливається від максимального в одній частині моделі конвертера до мінімального у протилежної частини (рис. 2).

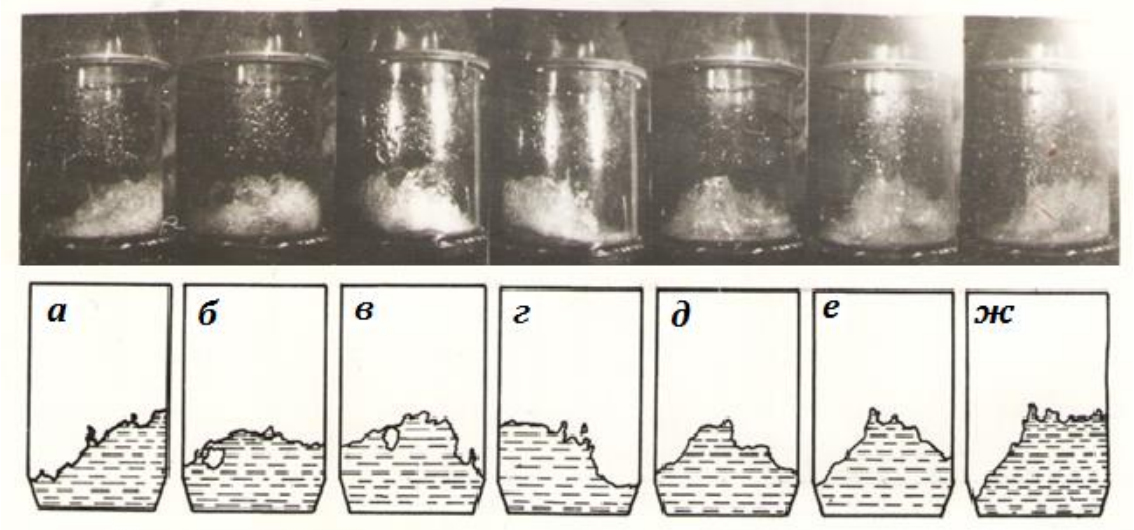


Рисунок 2. Характерна картина (I) та схема (II), зміни рівня ванни протягом одного циклу при донній подачі дуття: а-ж - фази коливання з інтервалом 1/6 періоду [6].

Рідина в моделі являє собою певну коливальну систему. При виведенні її з рівноваги рух рідини можна розглядати подібним коливанням математичного маятника. Якщо останній відхилити від положення рівноваги, то під дією сили тяжіння формується сила, що повертає, спрямована в протилежний бік від зміщення.

Для металевої ванни виведення її з рівноваги супроводжується утворенням поверхневих хвиль і біля стінки, де рівень підйому металу максимальний, виникають сили, що повертають, спрямовані в протилежний бік від стінки. Як результат виникають коливальні рухи металу від стінки до стінки подібно до коливання рідини між вертикальними площинами. У кожний момент часу хвиля має вигляд косинусоїди. Максимальна висота підйому та мінімальні западини будуть однакові.

Автори [5] встановили, що частота коливань поверхні ванни збігається з формою і частотою f_c основного струменю власних гравітаційних коливань рідини в циліндричній посудині.

$$f_C = \frac{1}{2\pi}\cdot\sqrt{3.68\cdot\frac{q}{D_B}}\cdot tn\left(3.68\cdot\frac{H}{D}\right), Гц \qquad (2)$$

де H і D – глибина та діаметр ванни, м. Для 100-150 т конвертерів f_c = 0.45 Гц

Отримані результати на «холодних» моделях добре корелюють з математичною моделлю коливальних явищ при донній продувці, запропонованої у роботі [6] (рис. 3). Відповідно до неї, вібропереміщення по осі цапф конвертера та характерна частота коливань F_o описуються рівняннями:

$$X = c\cdot\sin(\omega_1\cdot t)+\frac{F_0}{M(\omega_1^2-\omega_0^2)}\cdot\sin(\omega_0\cdot t) \qquad (3)$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K}{M}} \qquad (4)$$

де c – деяка величина; t – час, M – маса конвертера, F_o – величина сили, що викликає вібрацію (максимальна), ω_o і ω_1- характерна та власна кутова частота вібрації, K – постійна пружність опорної системи.

$$\omega_0^2 = \frac{K\cdot q}{R}\cdot\tan\cdot h\cdot\frac{K\cdot H}{R} \qquad (5)$$

де K – постійна (K=1.84…), R – внутрішній радіус конвертера, H – глибина ванни, g – прискорення вільного падіння

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \qquad (6)$$

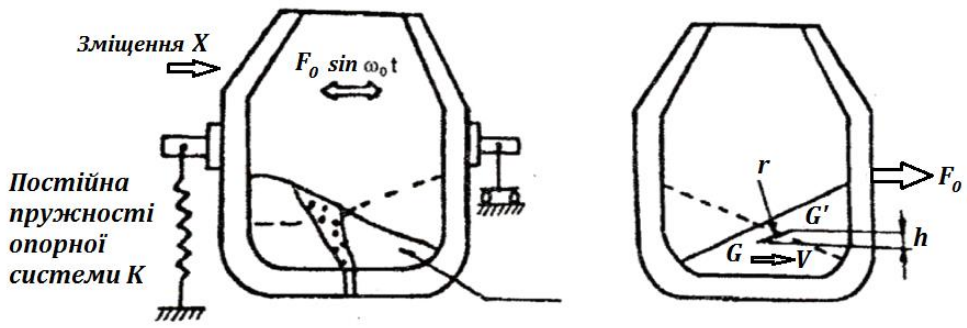


Рисунок 3. Схема моделі низькочастотних коливань ванни та корпусу конвертера при донному продуванні.

Як видно із рис. 3 виникнення сили F_0 пов'язують з коливаннями рідкої фази та зміщенням по радіусу r центру тяжкості конвертерної ванни.

Коливання ванни та вібрацію агрегату GOR визначають витрати донного дуття, кількість донних фурм та їх розміщення у днищі. У всіх випадках збільшення інтенсивності продування призводить до посилення хвилеутворення, коливань ванни та вібрації.

Спосіб розміщення фурм та характер руху хвиль у конвертері.

Вивчено вплив способу розміщення фурм у днищі на характер руху хвиль у конвертері [5]. При розміщенні фурм у ряд (рис. 4а) виникають стійкі хвилі в площині перпендикулярної осі розміщення фурм. Симетричне розміщення фурм у центральній частині днища по колу призводить до рівномірного у всіх напрямках зворотно-поступального руху хвиль на поверхні ванни (рис. 4б). При розміщенні фурм двома симетричними групами (рис. 4в) спостерігається утворення двох гребенів хвилі, які рухаються в протилежних напрямках, одночасно ударяючись об стінки конвертора або зустрічаючись у центрі ванни.

Продування ванни в режимі, що визначається значеннями $Ne' > 3 \cdot 10^{-2}$, призводить до зміни характеру руху хвилі в конверторі. Незалежно від кількості та способу розміщення фурм у його днищі спостерігається круговий рух хвилі (рис. 4 г). Такий режим продування характеризується особливо значним розгойдуванням моделі конвертера.

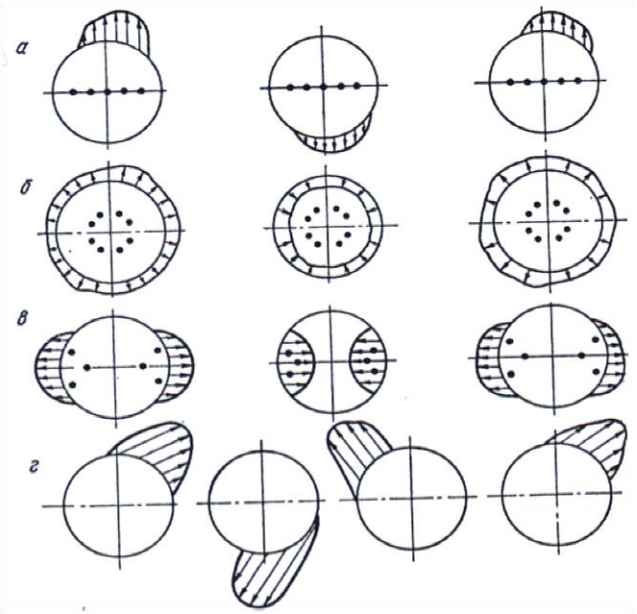


Рисунок 4. Схеми руху хвиль, що спостерігаються, залежно від варіанта розміщення фурм у днище конвертора та видозміненого числа Ньютона; (а, б, - $Ne' < 2 \cdot 10^{-2}$, г- $Ne' > 3 \cdot 10^{-2}$. Інтервал за часом між фазами ½ періоду (а-в) і 1/3 періоду (г)) [6].

Встановлено, що розміщення донних фурм по колу (варіант б на рис.4) або по еліпсу забезпечує мінімальну амплітуду поверхневих хвиль, що формуються. Зі збільшенням кількості донних фурм (великим розосередженням дуття) зменшується питома витрата дуття на одну фурму, що зменшує коливання ванни та вібрацію конвертерного агрегату. У цьому слід забезпечити не злиття реакційних зон.

На рис. 5 і 6 представлені результати В.І.Баптизманського та В.І.Трубавіна щодо «гаряч ого» моделювання та зображення реакційних зон, що утворюються при продуванні киснем через одиночні сопла донні і близько розташовані сопла високовуглецевого розплаву з вмістом 3,8% вуглецю і залежність розмірів реакційних зон від параметрів дуття до і після їх злиття. Злиття реакційних зон при продуванні через близько розташовані фурми призводить до різкого стрибкоподібного збільшення параметрів реакційної зони і може розглядатися близьким характером взаємодії до продування через одну фурму більшого діаметру.

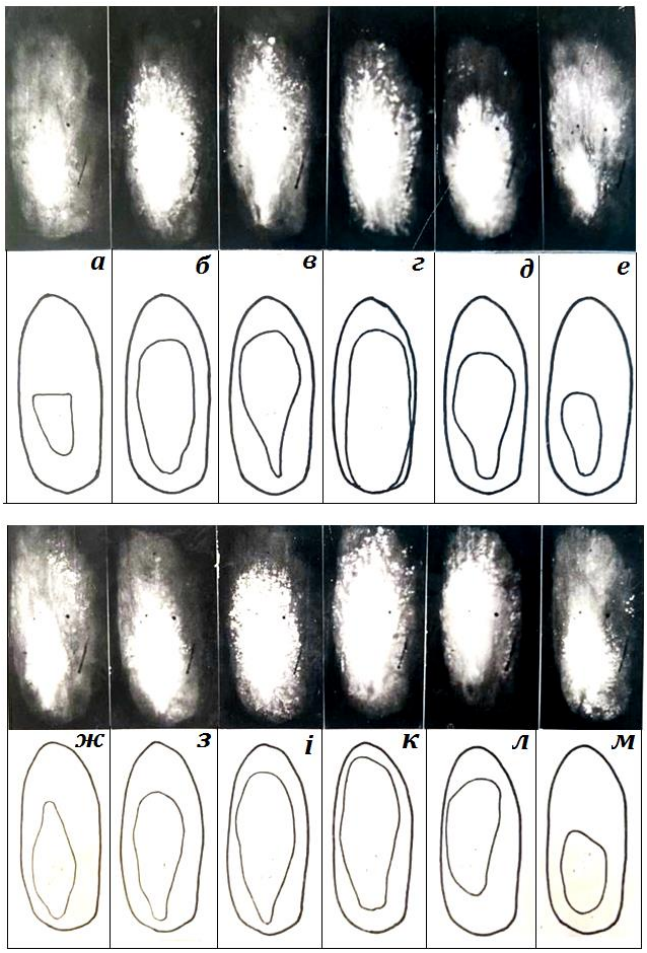


Рисунок 5. Зображення реакційної зони, зафіксовані кінозйомкою через 1/32 сек. ([C] = 3,0%, dc = 2,2 мм)

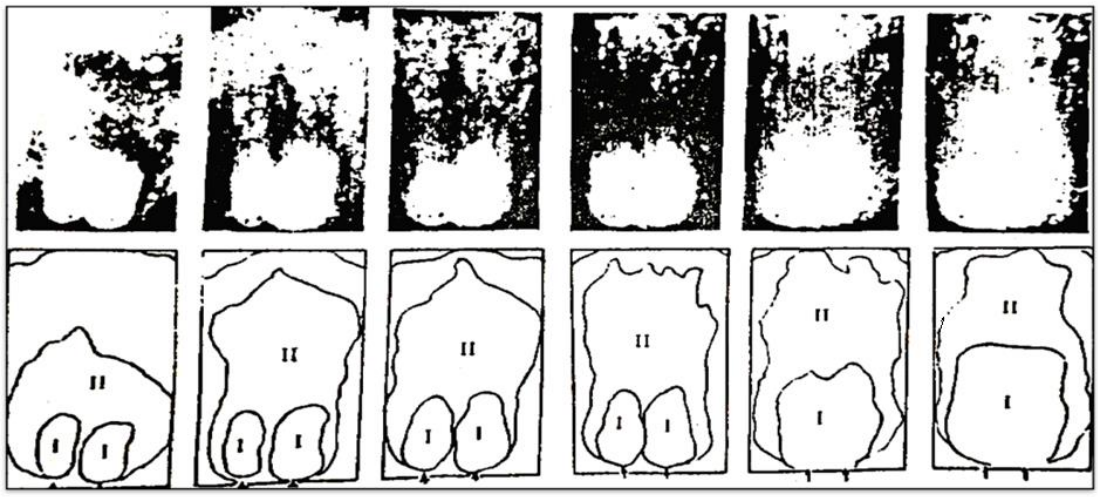


Рисунок 6. Зображення первинних (I) і вторинних (II) реакційних зон при продуванні киснем через близько розташовані донні сопла. ∅=1,2 мм; [C] = 3,8%; Q = 20, 25, 30, 40 та $50 \cdot 10^{-3}$ $м^3$/хв – а, б, в, г, д, е відповідно

Злиття реакційних зон істотно впливає, в першу чергу, на поведінку конверторної ванни, призводить до посилення хвилеутворення на поверхні, коливань і вібрацій конвертерного агрегату GOR.

Комбінована подача кисню через верхню фурму і через донні дутьові пристрої.

Результати «холодного» та «гарячого» моделювання використовували при виборі числа сопел у днищі конвертера GOR та раціональному їх розміщенні у днищі. Разом з тим вібрація конвертера GOR зберігалася суттєвою і були потрібні додаткові заходи щодо її зниження. В якості альтернати-

ви суто донного продування киснем в конвертері ГКР запропонована комбінована подача кисню через верхню фурму і через донні дутьові пристрої.

І хоча загальний характер хвилеутворення при комбінованому продуванні близький до спостерігаємого при донному, автори відзначали суттєве зменшення коливань конвертера GOR при комбінованій подачі дуття в порівнянні з суто донним продуванням киснем. Останнє пов'язано з тим, що газовий висхідний потік, що формується, від донного продування руйнується газовими струменями, що витікають з сопел верхньої фурми, що перешкоджає хвилеутворенню на поверхні рідкої ванни. У цьому випадку, як відзначають багато дослідників, імпульси впливу на ванну верхнього і донного дуття спрямовані в протилежні сторони, що пояснює дію верхнього дуття, що «гасить».

Виконано "гаряче" моделювання комбінованого продування. На першому етапі вивчали взаємодію реакційних зон при односопловій продувці зверху і знизу при віддаленому розташуванні донного і верхнього сопел (рис. 7), і співвісному розташуванні сопел. Взаємодія кисневих струменів з металевою ванною при співвісному розташуванні сопел істотно відрізнялася від продування тільки зверху або тільки донного продування. Встановлено як індивідуальний розвиток верхньої та донної реакційних зон, так і утворення загальної реакційної зони при співвідношенні витрат дуття, що забезпечують їх зіткнення та взаємодію.

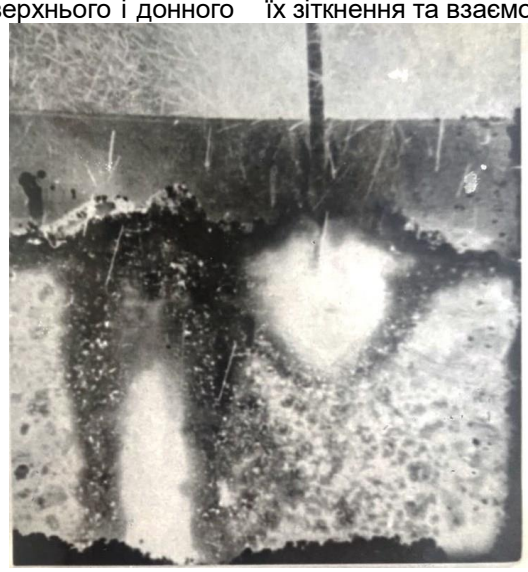


Рисунок 7. Вид реакційних зон, що утворюються при одночасному продуванні, металу знизу і зверху ([C]=3,0%; d_C = 1,0 мм; P_{o2} = 2 атм)

Відзначено, що газові обсяги, утворені донним вдуванням, через протидію зустрічних потоків верхнього дуття не можуть вільно без змін залишати металеву ванну. Останнє призводить до деякого збільшення діаметра зони загальної взаємодії зустрічних газометалевих потоків приблизно в 1,4-1,7 рази в залежності від співвідношення витрат кисню зверху і знизу. Ця зона є видозміненою, внаслідок взаємодії протилежно спрямованих потоків, загальну вторинну реакційну зону, що формується в результаті взаємодії реакційних зон верхнього і донного дуття. Газоподібні продукти рафінування металевої ванни, що утворюються у загальній зоні, виділяються переважно за межами реакційної зони верхнього кисневого потоку. При цьому спостерігається незначна інтенсифікація газовиділення в районі впровадження верхнього кисневого струменя у рідку ванну, а збільшення площі виходу з металевої ванни газоподібних продуктів призводить до більш розосередженого газовиділення з обсягу ванни, що знижує коливання та вібрацію. Щодо конвертерів ГКР перехід на чисто донну продувку азот (аргон)-кисневою сумішшю і продування аргоном незалежно від ємності конвертерного агрегату конвертер GOR приводив до посилення вібрації [2, 5, 6].

Вібраційні характеристики на 1т GOR конвертері.

Авторами вивчено вібраційні характеристики на 1т GOR конвертері. Плавки проводили за типовою технологією (рис. 8). Продування хромонікелевого розплаву вели через три донні фурми.

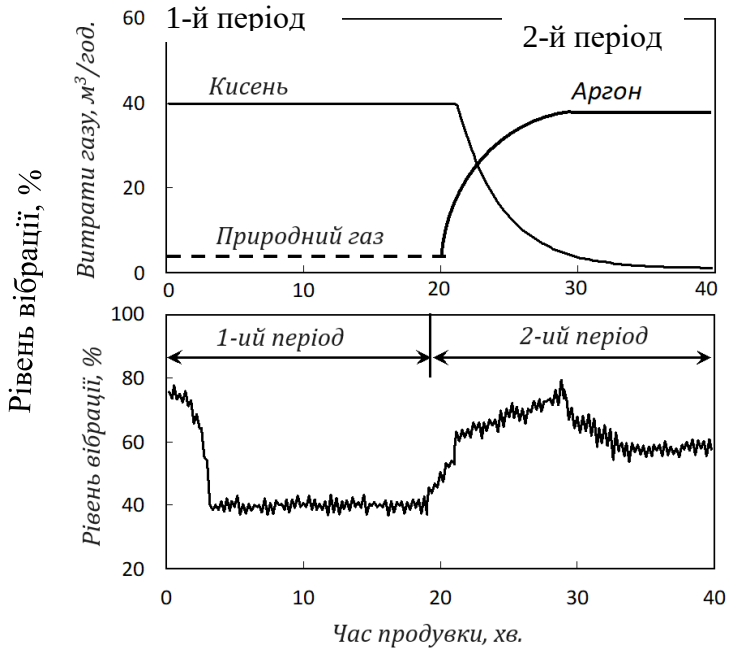


Рисунок 8. Зміна витрат газів та рівня вібрації під час продування

У перший період плавки здійснювали подачу кисню в оболонці природного газу, у другий метал продували сумішшю аргону та кисню, поступово замінюючи останній аргоном. У ході дослідних плавок заміряли вібрацію конвертера. Для цього вібродатчик встановлювали на приводній цапфі агрегату газокисневого рафінування.

Зміна загального рівня вібрації конвертера газокисневого рафінування на одній із дослідних плавок наведено на рис. 8. Більш високий рівень вібросигналу та його падіння на початку процесу пов'язані із заливкою розплаву в конвертер, його поворотом та стабілізацією ванни. Надалі, у період продування металу киснем в оболонці природного газу, загальний рівень вібрації конвертера газокисневого рафінування характеризується відносно невисоким постійним рівнем. Перехід на продування сумішшю аргон – кисень у другому періоді плавки супроводжується помітним посиленням вібрації агрегату.

Амплітудно-частотний спектр вібропереміщень та віброшвидкості 1т GOR конвертера представлений на рис. 9. На частоті 1Гц рівень вібропереміщень при продуванні аргон-кисневою сумішшю максимальний і значно більший, ніж при подачі кисневого дуття в І-му періоді плавки (рис. 9L).

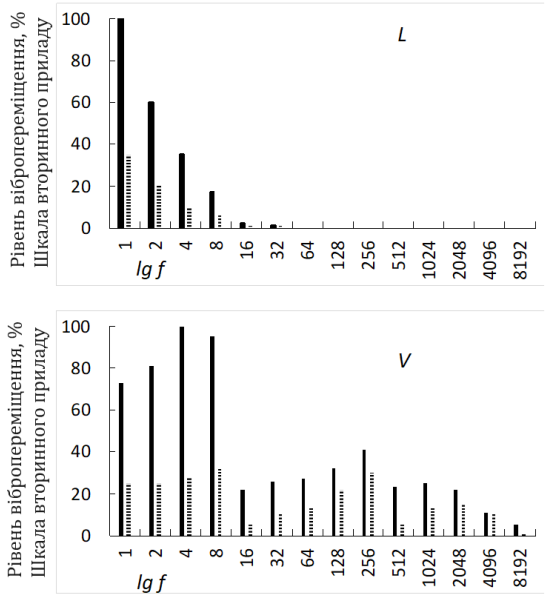


Рисунок 9. Амплітудно-частотний спектр вібропереміщень (L) та віброшвидкості (V): ——— у період продування сумішшю аргон-кисень;

- - - - у період продування киснем.

В амплітудно-частотному спектрі віброшвидкості також домінує низькочастотний спектр. У цьому частотному діапазоні віброшвидкість відображає два характерні коливальні процеси при продуванні

аргон - кисневою сумішшю: коливання ванни (на частоті 1Гц і менше) і пульсуюче виділення бульбашок з аргоном і монооксидом вуглецю в результаті впровадження аргон - кисневих струменів. Рівень віброшвидкості на частотах (1,2,4,8 Гц) в рази перевищує фіксований при кисневому продуванні.

Надалі з урахуванням виконаного спектрального аналізу особливу увагу приділили вивченню зміни вібросигналів у процесі рафінування низько і середньочастотних діапазонах.

Зміна рівня віброшвидкості в першому періоді плавки добре повторює відому криву зміни швидкості зневуглецювання (рис.10а) в ході продувки кисневої конверторної ванни [2]. На початку процесу рівень безперервно підвищується, досягаючи максимальних значень до 16-ї хвилини продування. Потім зі зниженням вмісту вуглецю в металі рівень вібрації зменшується. Вміст вуглецю при мінімальному рівні вібросигналу у першому періоді плавки становив 0.185%.

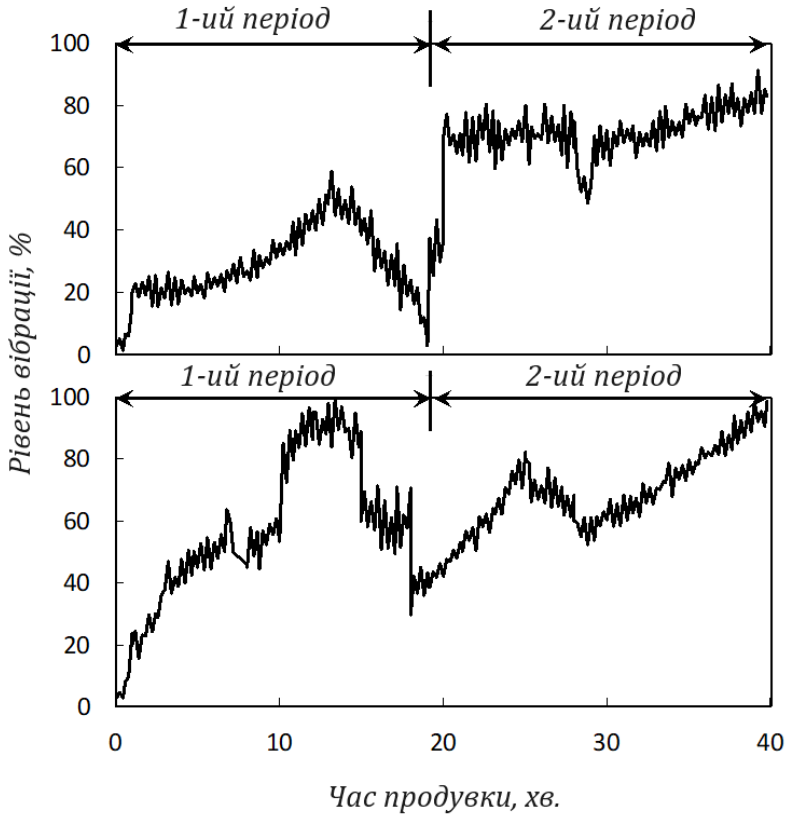


Рисунок 10. Зміна рівня вібрації під час продування в низькочастотному (а) та середньочастотному (в) діапазоні.

Рівень віброшвидкості у другому періоді плавки значно перевищує фіксований у першому і зберігається майже завжди високим, що відзначають і в роботах [5, 6].

Розглянуто зміну рівня вібросігналу в середньочастотній області (рис. 10*в*). Хоча спеціальних вимірів рівня шлако-металевої емульсії в конверторі газокисневого рафінування під час продування не проводили, візуальні спостереження за станом та висотою шлаку дозволяють зробити висновок про те, що вібрація агрегату в середньочастотному діапазоні пов'язана з процесами формування шлаку та зміною його рівня. Наявна в літературі інформація про частотний спектр сигналу при акустичному та вібраційному контролю рівня плавки в киснево-конверторному процесі підтверджує висловлену думку [2]. Високий рівень вібрації в кінці другого періоду плавки відповідав згортання шлаку, що спостерігається.

Для зменшення інтенсивності вібрації в періоди донного продування азот (аргон-кисневою) сумішшю на 1 т конвертері GOR у напівпромисловій лабораторії було реалізовано комбіноване продування зверху та знизу сумішшю аргон-кисень (рис.11). Результати дослідів переконливо показали зниження віброактивності конвертера GOR при комбінованій продувці азот (аргон)-кисневою сумішшю в порівнянні з суто донним продуванням. При цьому була збільшена витрата газу, що подається, і скорочена тривалість плавки.

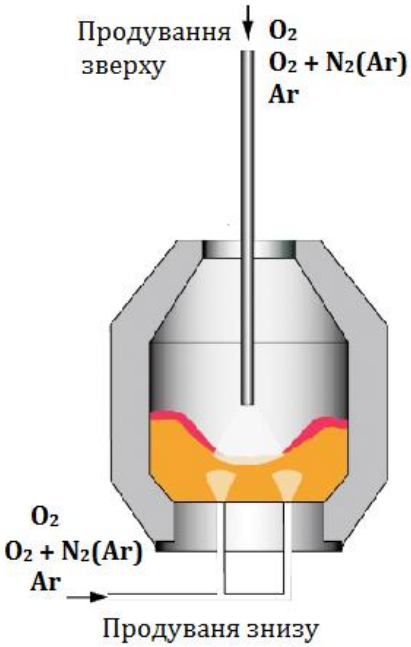


Рисунок 11. Організація комбінованої продувки зверху і знизу киснем, сумішшю N_2 (Ar) - O_2 і тільки Ar.

У процесі вивчення особливостей хвилеутворення при комбінованій продувці визначали оптимальні співвідношення витрат верхнього та донного дуття, положення верхньої фурми. Встановлено, що співвідношення питомих витрат дуття $\eta=Q_в/Q_д$ (тут $Q_в$ і $Q_д$ – витрати верхнього та донного дуття) і відносна висота верхньої фурми на рівнем спокійної ванни $H_ф$ мають основний вплив на хвилеутворення при комбінованому продуванні металу в кисневому конвертері та конвертері GOR, в яких забезпечується продування з утворенням хвиль мінімальної амплітуди на поверхні ванни.

На рис. 12 за даними В.І. Баптизманського і А.М. Лонського [5] наведено залежності, що ілюструють вплив на утворення в конверторі стійких хвиль при відповідних значеннях η, $H_ф$ при різному розміщенні донних фурм.

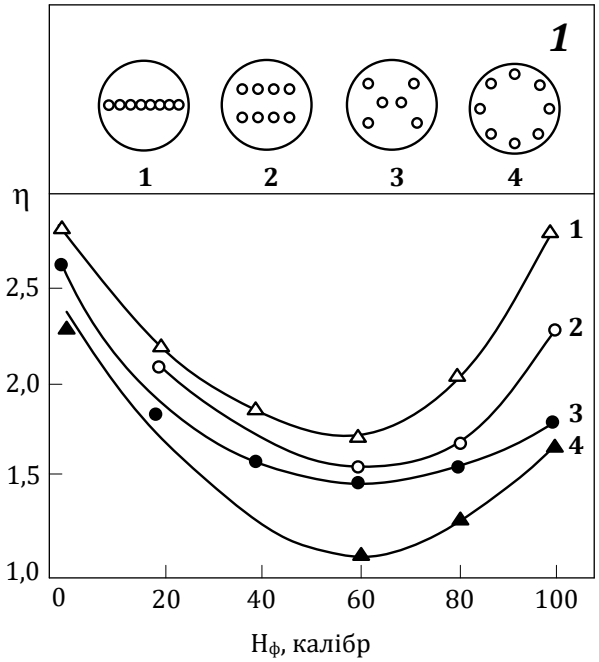


Рисунок 12. Способи розміщення фурм у днищі (1) та залежність хвилеутворення у ванні конвертера від співвідношення витрат верхнього та донного дуття та положення верхньої фурми

Області вище кривих характеризують параметри режиму продування, що протікає з утворенням хвиль мінімальної амплітуди. Режими продування, відповідні областям, розташованим нижче кривих, призводять до утворення стійких хвиль і збіль-

шення амплітуди коливань корпусу конвертора більше допустимих значень.

Таким чином, коливання ванни та вібрація конвертера GOR були зменшені за рахунок раціональних чисел донних фурм та оптимального їх розміщення в днищі, застосування додатково верхньої подачі дуття, включаючи продування через верхню фурму як кисню, так аргон-кисневою сумішшю.

ВИСНОВКИ

Аналіз результатів «холодного» і «гарячого» моделювання дозволив дійти висновку, що донне продування технологічними газами в конвертері GOR завжди супроводжується коливаннями ванни, поверхневими хвилями і вібрацією конвертерного агрегату.

На 1т GOR конвертері вивчені вібраційні характеристики. В амплітудно-частотному спектрі вібропереміщень та віброшвидкості домінують низькочастотні коливання конвертерного агрегату. Максимальні рівні вібропереміщень та віброшвидкості фіксували в період донного продування аргон-кисневою сумішшю.

На частотах 1-8 Гц вібрація конвертера пов'язана з пульсуючим характером газовиділення у вторинній реакційній зоні та коливаннями ванни.

Зниження віброактивності конвертера GOR у період продування киснем забезпечується раціональним розміщенням у днищі донних фурм та організацією додаткової подачі дуття через верхню фурму. Випробовано комбіноване продування зверху і знизу сумішами аргон-кисень. Остання дозволяло зменшити амплітуду вібрації конвертера GOR.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Velychko A.G. Gas-oxygen refining technologies-multifunctional opportunities for stainlers steel and ferroalloalloys smelting. Proceeding of international Conference on High Quality Special steel 2022 – The 6 the Academic Conference on Special Metallurgy Technology. 18-21.8.2022. Shen Yang. China, P. 76-99.

2. Величко А.Г. Вибрация в конвертерной плавке. Днепропетровск: Системные технологии, 2000. 117с.

3. Чен Пей Дунь, Гао Женьмин, Жай Юйоу, Кристиан Брюкнер. Модернизация конвертеров для выплавки коррозионностойких сталей на заводе компании Taishan Iron & Steel Co, Китай. Металургическое производство и технологии процессов. МРТ. 2014. №2. С.22-31.

4. Shinji Kojima, Toshlynky Iwatam, Masahiro Yoshida. Vibration of a combined blowing conberter. Iron and Steel Engineer. April. 1987. P.25-31.

5. Отчет по научно-исследовательской работе "Разработка рациональной конструкции фурм для донной и комбинированной продувки с целью уменьшения вибрации конвертера", Днепропетровск, 1994. 79 с.

6. Jaefer Yenus, Cteoffrey Brooks, Michelle Dunn, Rohini Kadam. Application of vibration and Sound Signals in monitoring iron and steelmaking processes. Ironmaking & Steelmaking, August 2018, 47 (4), P.1-10 // https://www.researchgate.net/

REFERENS

1. Velychko A.G. Gas-oxygen refining technologies-multifunctional opportunities for stainlers steel and ferroalloalloys smelting. Proceeding of international Conference on High Quality Special steel 2022 – The 6 the Academic Conference on Special Metallurgy Technology. 18-21.8.2022. Shen Yang. China, P. 76-99.

2. Velychko A.H. Vybratsyia v konverternoi plavke. Dnepropetrovsk: Systemnыe tekhnolohyy, 2000. 117s.

3. Chen Pei Dun, Hao Zhenmyn, Zhai Yuiou, Krystyan Briukner. Modernyzatsyia konverterov dlia vыplavky korrozyonnostoikykh stalei na zavode kompanyy Taishan Iron & Steel Co, Kytai. Metalurhycheskoe proyzvodstvo y tekhnolohyy protsessov. MRT. 2014. №2. C.22-31.

4. Shinji Kojima, Toshlynky Iwatam, Masahiro Yoshida. Vibration of a combined blowing conberter. Iron and Steel Engineer. April. 1987. P.25-31.

5. Otchet po nauchno-yssledovatelskoi rabote "Razrabotka ratsyonalnoi konstruktsyy furm dlia donnoi y kombynyrovannoi produvky s tseliu umenshenyia vybratsyy konvertera", Dnepropetrovsk, 1994. 79 s.

6. Jaefer Yenus, Cteoffrey Brooks, Michelle Dunn, Rohini Kadam. Application of vibration and Sound Signals in monitoring iron and steelmaking processes. Ironmaking & Steelmaking, August 2018, 47 (4), P.1-10 // https://www.researchgate.net