

Математичне моделювання технологічних навантажень на конвертер на шляху оптимізації положення його осі обертання

БЕЙГУЛ О.О., ЖЕРНАЧУК В.Д.

Дніпродзержинський державний технічний університет

Розроблено математичну модель формування технологічних навантажень на конвертер, отримано умову раціонального положення його осі обертання.

Разработана математическая модель формирования технологических нагрузок на конвертер, получено условие рационального положения его оси вращения.

The mathematical model of technological loads forming into converter has been worked out, the condition of rational position for its rotation axis has been received.

Постановка проблеми. Однією з основних вимог безпеки та надійності роботи механізмів повороту посудин з рідким металом є забезпечення їх стійкості при будь-яких кутах нахилу. Тому конвертер повинен мати додатний перекидаючий момент, тобто момент повернення у вихідне вертикальне положення. Крім того, щоб виключити підвищену витрату електроенергії при повороті конвертера, його величина має бути найменшою.

Визначення раціонального положення осі обертання потрібно не тільки при проектуванні нових конвертерів, воно необхідне також і у випадках стовщення вогнетривкої кладки у місцях найбільшого її зносу з метою підвищення стійкості футерівки. Укріплення зони максимального вигорання футерівки, а саме горловини може привести до зміщення центра маси вище осі обертання та появи від'ємного перекидаючого моменту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Визначення перекидаючих моментів конвертерів з рідким металом при різних кутах їх повороту являє собою складну задачу через змінювання форми рідкого металу та зміщення його центра маси при різних кутах повороту, тому універсальних аналітичних методів її розв'язання немає. У практичних розрахунках користуються наближеними графо-аналітичними методами Аксьонова П.М., Заводчикова Д.А., Рохмана С.А. [1, 2], сутність яких полягає у тому, що весь об'єм металу умовно поділяють на елементарні об'єми, визначають їх центри мас для різних кутів нахилу конвертера. А далі знаходять центр маси усього об'єму рідкого металу при даному куті повороту конвертера. Перекидаючі моменти визначають шляхом множення сили тяжіння металу на відстань від центра маси металу до осі обертання.

Невирішена частина загальної проблеми. Вище згадані методи надзвичайно трудомісткі, практичне застосування їх тим самим ускладнюється. А коли зважити на ту обставину, що при розрахунках немає необхідності визначати положення центра обертання конвертера як функцію кутів повороту, а досить обмежитись кутом, при якому від'ємний момент від маси рідкого металу має максимальну величину, то постає задача отримання аналітичної умови раціонального положення осі обертання.

Мета дослідження, таким чином, полягає у розробці математичної моделі формування технологічних навантажень на конвертер, отриманні аналітичної умови раціонального положення його осі обертання.

Виклад основного матеріалу. Для виведення простої та зручної формули, яка дозволяє визначати раціональне положення осі обертання конвертера, а також будь-якої посудини з рідким металом користуюсь умовою

$$M_k + M_m + M_{тр} \geq 0, \quad (1)$$

де M_k – момент від сили тяжіння порожнього конвертера, Н·м; M_m – момент від сили тяжіння рідкого металу, Н·м; $M_{тр}$ – момент від сил тертя у опорах конвертера, Н·м.

На рис. 1 зображено схему до визначення положення осі обертання конвертера.

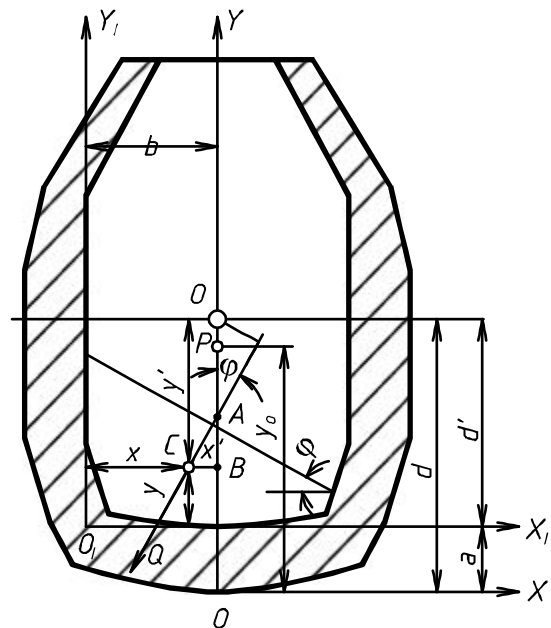


Рис. 1. Схема до визначення положення осі обертання конвертера

Центр маси порожнього конвертера розраховуємо у системі координат XOY, а центр маси рідкого металу – у системі координат X₁O₁Y₁ (рис. 1). На цьому рисунку введено такі позначення: O – вісь обертання; P – центр маси порожнього конвертера; C – центр маси металу при куті повороту φ .

Записуємо вирази вище згаданих моментів.

$$M_k = m_k g (d - y_0) \sin \varphi, \quad (2)$$

де m_k – маса порожнього конвертера, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с²; d – ордината центра обертання конвертера, м; y_0 – ордината центра маси порожнього конвертера, м; φ – кут повороту конвертера, рад.

$$M_M = m_M g l_\varphi, \quad (3)$$

де m_M – маса рідкого металу, кг; l_φ – плече сили тяжіння рідкого металу, м.

$$M_{TP} = (m_k + m_M) g f \gamma_{\Pi}, \quad (4)$$

де f – коефіцієнт тертя у підшипниках цапф; γ_{Π} – радіус цапфи, м.

З рис. 1 випливає:

$$l_\varphi = OA \sin \varphi; \quad OA = OB - AB; \quad AB = BC \operatorname{ctg} \varphi;$$

$$l_\varphi = (OB - BC \operatorname{ctg} \varphi) \sin \varphi = OB \sin \varphi - BC \cos \varphi.$$

Позначаючи $OB = y'$ та $BC = x'$, отримуємо

$$l_\varphi = y' \sin \varphi - x' \cos \varphi \quad (5)$$

де x' та y' – координати центра маси рідкого металу відносно осі обертання конвертера, м.

При кутах нахилу конвертера, коли $y > d'$, вираз (5) можна записати у вигляді

$$l_\varphi = -y' \sin \varphi + x' \cos \varphi. \quad (6)$$

Записуємо l_φ через координати центра маси металу x та y .

Відповідно рис. 1,

$$y' = d' - y; \quad d' = d - a,$$

звідки отримуємо:

$$y' = d - a - y; \quad x' = b - x.$$

Підставивши у вирази (5) і (4) останні значення x' та y' , знаходимо:

$$l_\varphi = (d - a - y) \sin \varphi - (b - x) \cos \varphi; \quad (7)$$

$$M_M = m_M g [(d - a - y) \sin \varphi - (b - x) \cos \varphi]. \quad (8)$$

Якщо $y > d'$, то

$$M_M = m_M g [-(d - a - y) \sin \varphi + (b - x) \cos \varphi]. \quad (9)$$

У результаті підстановки виразів (2), (8) та (4) в умову (1), приведення подібних членів і ділення на $m_M g$ маємо

$$d(1 + \alpha) \sin \varphi \geq (\alpha y_0 + y + a) \sin \varphi + (b - x) \cos \varphi - (1 + \alpha) f \gamma_{\Pi},$$

звідки

$$d \geq \frac{(\alpha y_0 + y + a) \sin \varphi + (b - x) \cos \varphi - (1 + \alpha) f \gamma_{\Pi}}{(1 + \alpha) \sin \varphi}. \quad (10)$$

Тут $\alpha = m_k / m_M$; a , b – відстані між осями x та x_1 , y та y_1 відповідно, м.

При розрахунках нема необхідності визначати d для всіх кутів повороту конвертера та вибирати найбільше значення, а достатньо обмежитись кутом, при якому від'ємний момент від сили тяжіння рідкого металу може мати максимальну величину (практично для кутів $90^\circ \leq \varphi \leq 110^\circ$).

У цьому випадку, відповідно (6), член $(b - x) \cos \varphi$ виразу (10) буде мати від'ємне значення, а умова (10) перетворюється у наступну:

$$d \geq \frac{(\alpha y_0 + y + a) \sin \varphi - (b - x) \cos \varphi - (1 + \alpha) f \gamma_{\Pi}}{(1 + \alpha) \sin \varphi}; \quad (11)$$

або у загальному вигляді:

$$d \geq \frac{(\alpha y_0 + y + a) \sin \varphi \pm (b - x) \cos \varphi - (1 + \alpha) f \gamma_{\Pi}}{(1 + \alpha) \sin \varphi}. \quad (12)$$

Висновки

Розроблено математичну модель формування технологічних навантажень на конвертер, отримано аналітичну умову раціонального положення його осі обертання. На шляху оптимізації положення осі обертання конвертера не обов'язково визначати функціональну залежність положення осі від кута повороту, досить обмежитись кутом, при якому від'ємний момент від маси рідкого металу має максимальну величину.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гребеник В.М., Иванченко Ф.К., Ширяев В.И. Расчет металлургических машин и механизмов. – К.: Вища школа, 1988. – 448 с.
2. Гребеник В.М., Иванченко Ф.К., Павленко Б.А. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование конвертерных и мартеновских цехов. – К.: Вища школа, 1990. – 288 с.