

УДК 66. 02: 621. 926: 666. 94

В.Матієга

Чернівецький факультет Харківського державного політехнічного університету

МЕХАНІКА РУХУ ТІЛ, ЩО МЕЛЮТЬ, В МЛИНАХ З АКТИВАЦІЙНИМИ БРОНЕФУТЕРАЦІЯМИ

Одним з методів створення пульсаційного режиму у трубних млинах є використання активаційних бронефутерацій. Визначальними чинниками цього режиму є змінний кут відривання і швидкість зміни умов зчеплення тіл, що мелють, з поверхнею бронефутерацій.

При обертанні барабана з активаційною бронефутерацією неперервно змінюється кут скидання β_c і відстань від осі обертання до поверхні бронефутерації - поточного радіуса ρ (мал. 1). Амплітуда коливань кута скидання тіл, що мелють, залежить від кута скидання β_c і дорівнює, практично, $2\beta_c$ відповідно до формули [2]:

$$\alpha_0 = \arccos(\psi \cdot \cos \beta_c).$$

Частота коливань ν кута відриву α_0 визначається як

$$\nu = \omega \cdot n, \quad (1)$$

де ν - частота коливань, 1/с; ω - частота обертання барабана, 1/с; n - кількість функціональних ділянок бронефутерацій АС (рис. 1).

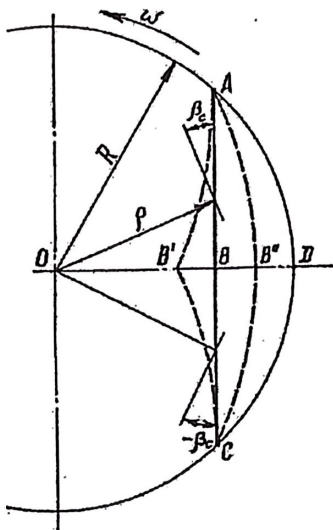


Рис. 1. Схема функціональної ділянки активаційної бронефутерації

Звичайно, число n функціональних ділянок бронефутерації становить від 4 до 6, і вони стають симетричними, оскільки це дозволяє мінімізувати кількість бронесплит, що формують їх. На кінцях функціональної ділянки А і С поточний радіус r найбільший і дорівнює радіусові R кола, описаного відносно профілю. У центрі ділянки r має найменше значення. Оскільки в цьому місці кут скидання дорівнює нулеві, умови зчеплення завантаження з поверхнею бронефутерації тут нижчі, ніж у звичайних футерації, що визначає асиметрію характеристики кута відривання.

Головна відмінність бронефутерації активаційного типу від звичайної полягає у великих розмірах функціональних ділянок і дії не тільки на поверхню завантаження [1], що меле, але і на її глибину, що активує роботу тіл, що мелють, у внутрішніх шарах.

Величина коефіцієнта зчеплення f_c змінна на довжині функціональної ділянки і для підйомної частини АВ (рис. 1) становить

$$f_c = (1/\beta_c) \int_0^{\beta_{\max}} \operatorname{tg}(\psi + \beta_c) d\beta_c, \quad (2)$$

де β_c - кут скидання, град; ψ - кут тертя між завантаженням і поверхнею бронефутерації, чисельно дорівнює $\operatorname{arctg} f$ (f - коефіцієнт тертя).

Для гальмівної частини ВР величина коефіцієнта зчеплення f_c визначається:

$$f_c = (1/\beta_c) \int_0^{\beta_{\max}} \operatorname{tg}(\psi - \beta_c) d\beta_c, \quad (3)$$

оскільки кут скидання β_c є негативною величиною. Коефіцієнт зчеплення в основному визначає висоту підйому тіл, що мелють, і кут відриву при пульсаціях завантаження.

Залежність зміни кута відриву при повороті барабана на кут β_c , відповідний одній функціональній ділянці (рис. 2) виглядає, в основному, як ламана лінія: спочатку різко збільшується кут скидання β_c (від точки 1 до точки 2) і, відповідно, меншає кут відриву (α_0 , що визначається між радіусом до точки відриву і вертикальною віссю, тобто рівень підйому тіл, що мелють, підвищується). Потім різко змінюються умови зчеплення, і рівень підйому тіл, що мелють, падає від точки 2 до точки 3. Далі кут відриву повертається до первинного рівня - точки 4.

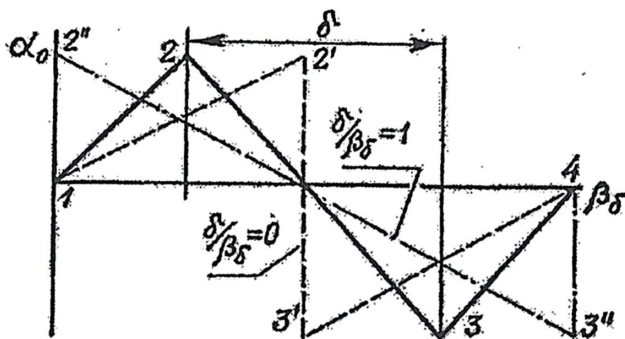


Рис.2. Залежність кута відриву від повороту барабана на кут β_δ , відповідний одній функціональній ділянці профілю броньфутерації

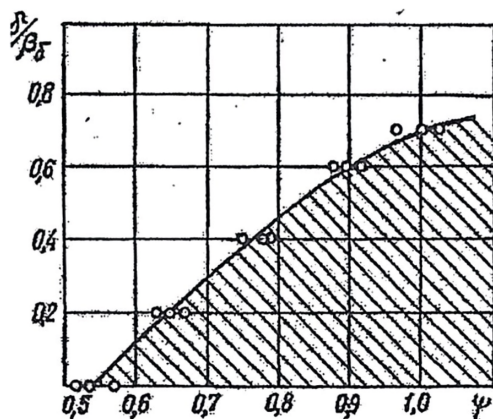


Рис.3. Вплив темпу зміни умов зчеплення δ/β_δ і частоти обертання барабана ψ на характер руху завантаження, що меле.

Заштрихована область одночасного відривання частини тіл, що мелють, від ділянки робочого профілю ($n=4$).

Кут повороту барабана відповідає піковим точкам 2 і 3, при інших рівних умовах впливає вирішально на характер пульсації. Чим різкіше умови зчеплення змінюються від максимуму до мінімуму, тим вища ймовірність одночасного відриву частини тіл, що мелють, від поверхні бронефутерації. З метою вивчення цього моменту була поставлена серія експериментів на моделях з прозорим дном (рис.2, 3). Темп зміни умов зчеплення визначається співвідношенням δ/β_c (рис. 2), межі його зміни $1\delta/\beta_c$ 0. Результати дослідів наведені на рис. 3. При $\delta/\beta_c = 0$ одночасний відрив відбувається практично у всьому діапазоні частот обертання, і, навпаки, при $\delta/\beta_c = 1$ стрибків у пульсаціях практично нема. Проміжні співвідношення δ/β_c викликають менший інтерес, оскільки характер руху завантаження істотно залежить від частоти обертання і може змінюватися також від фізико-механічних властивостей шихти, стану поверхні тіл, що мелють, і бронефутерацій, наявності ПАВ та інші.

Одночасний відрив частини завантаження від поверхні бронефутерацій різко збільшує кількість ударних взаємодій на п'яті завантаження, про що свідчить і чітко виявлений акустичний ефект у процесі експериментів. Щодо профілю бронефутерацій це означає стрибок умов зчеплення у центрі функціональної ділянки (див. формули (2), (3)), що стає можливим при його формі АВ'С (рис.1). Цей режим характерний переважно для першої стадії дроблення.

Відсутність одночасного відриву частини тіл, що мелють, приводить до ліквідації ударних взаємодій, поряд з цим, безперервно деформується контур завантаження, це свідчить про інтенсифікацію дотичних взаємодій між тілами, що мелють і їх змішування, що повинно підвищити ефективність стадії тонкого дроблення. Відповідний такому характерові руху завантаження профіль функціональної ділянки показаний лінією АВ'С (рис.1).

У режимі одночасного відриву частини тіл, що мелють, від поверхні бронефутерації кут відриву α_0 може сягати значення 40° , що має зменшувати ефективність роботи тіл, що мелють, оскільки скорочується вертикальна складова їх вільного руху у (рис. 4). На відміну від загальноприйнятого підходу, де прийнято оцінювати висоту падіння тіл, що мелють перепадом рівнів O_1A , реальна висота падіння набагато менша (O_1A_1), оскільки тіла, що мелють, рухомі на параболічних траєкторіях, впливають на внутрішні шари завантаження, внаслідок чого виникає зона шлейфа A_1A_2F і точка падіння тіл, що мелють, у зовнішньому контурі перебуває на поверхні шару завантаження, що має значну висоту, а не на бронефутерації.

Розрахункова величина висоти падіння тіла, що меле, O_1E_1 набагато більша від реальної висоти падіння O_1E . Зменшення кута відриву α_0 , як показали спостереження, супроводиться збільшенням зони шлейфа і, відповідно, зростанням центрального кута завантаження. Поверхня шлейфа, що представляє зону падіння завантаження, приблизно описується прямою ВР у координатах xO_1y :

$$y = -0,277x - 0,708. \quad (4)$$

Вирішуючи (4) спільно з рівнянням параболи

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{x^2}{2R \cos^3 \alpha_0} \quad (5)$$

і приймаючи $R=1$, отримали залежність висоти падіння тіл, що мелють, h від кута відриву завантаження, що меле, рис. 5. Зменшення кута відриву α_0 до значення 40° при швидкісних режимах до $\psi=0,91$ не приводить до зниження активності режиму і не пов'язане з небезпечною перекидання тіл, що мелють, через зону шлейфа.

На рис.4 лінія A_1A_2 ілюструє розширення зони ударних взаємодій тіл, що мелють, у зоні п'яти при пульсаційному водопадному режимі - бронефутерація БАТ-1, функціональна ділянка АВ'С на рис.1. Точне співвідношення між коливаннями α_0 і величиною зони падіння тіл, що мелють, на п'яту не встановлювалося, оскільки воно

схильне до значних коливань залежно від розмірів тіл, що мелють, і наявності матеріалу, що подрібнюється.

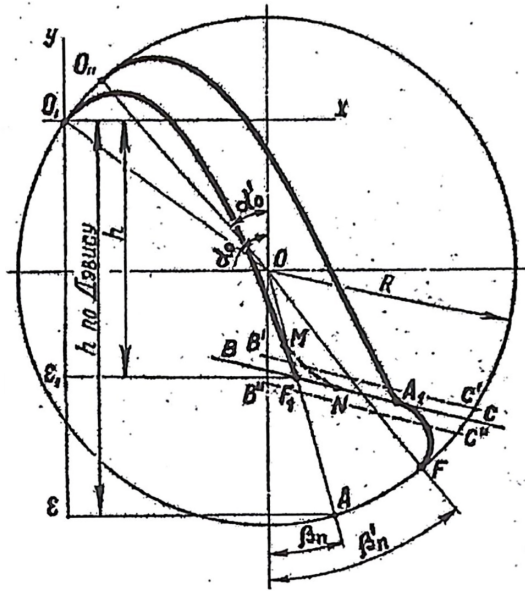


Рис.4. Схема руху тіл, що мелють, в поперечному перерізі барабана

Коли тіла, що мелють, рухаються без відриву їх компактної маси від поверхні броньфутерації, траєкторія руху істотно залежить від їх розмірів. Зменшення діаметра тіл, що мелють, сприяє зміщенню режиму у бік каскадного.

Рух тіла, що меле, яке минуло точку відриву, не є вільним, бо супроводиться обміном енергією з сусідніми шарами. Зручніше за все розглядати рух тіл, що мелють, у зовнішньому шарі завантаження, оскільки тут це явище виражене особливо чітко. Кулі взаємодіють з найближчим до них внутрішнім шаром, що рухається з трохи меншою швидкістю. При цьому частково котяться кулі у зовнішньому шарі. Збільшення радіуса кулі $r_{ш}$ приводить до зменшення коефіцієнта тертя ковзання, і може створити умови для переходу тіла, що меле, на вільну параболічну траєкторію. Зменшення радіусів кулі сприяє тому, що завантаження, що меле, поводиться як сипуче середовище з малими розмірами часток, тобто без відриву кулі від основної маси.

Розгляньмо рух тіла, що меле, кинутого під кутом α_0 до горизонту. Дальність його польоту $x_{ш}$ на рівні точки відриву може служити характеристикою траєкторії. Прирівнюючи в рівняннях параболи:

$$x = vt \cdot \cos \alpha_0, \quad (6)$$

$$y = vt \cdot \sin \alpha_0 - \frac{gt^2}{2}, \quad (7)$$

вертикальну складову у до нуля, отримаємо після деяких перетворень:

$$x = \frac{2v^2 \sin 2\alpha_0}{g} \quad (8)$$

Враховуючи, що рух тіла, що меле, в нашому випадку відбувається з негативним прискоренням під дією сил тертя кочення, можна записати:

$$v = v_0 - \frac{kgt}{r_m} \quad (9)$$

Початкова швидкість v_0 в нашому випадку становить:

$$v_0 = \sqrt{2R_s g \cdot \cos \alpha_0} \quad (10)$$

а час руху даною ділянкою траєкторії вважається незмінним (за той же час тіло проходить менший шлях):

$$t = \frac{2\theta_0 \sin \alpha_0}{g} \quad (11)$$

Остаточно отримаємо:

$$x = 2R_s \sin \alpha_0 \cos^2 \alpha_0 (1 - 2k \sin \alpha_0 r_m)^2 \quad (12)$$

де x - горизонтальна координата шляху тіла, що меле на рівні точки відриву, м;
 α_0 - кут відриву тіла, що меле, град; k - коефіцієнт тертя кочення, см;
 r_m - радіус кулі, м.

Приймаючи $R_s = 1$; $k = 0,001$ см (сталь по сталі), розраховуємо шлях руху тіла, що меле, на рівні $y = 0$ (мал. 6) при швидкостях обертання 1,0 об/т ($\psi = 0,76$), а також 1,1 об/т і 0,9 об/т.

Як впливає з даної залежності, шлях тіла, що меле, в діапазоні відносних розмірів (0,005 - 0,035) змінюється практично удвічі. Траєкторія руху великих тіл, що мелють, на початковій ділянці буде характеризуватися більшою настильністю, що створює передумови для переходу тіла, що меле, в його дальшому русі на вільну траєкторію. Дрібні тіла, що мелють, значно гальмують, що додає їх траєкторії великої кривості і не дозволяє відірватися від основної маси завантаження.

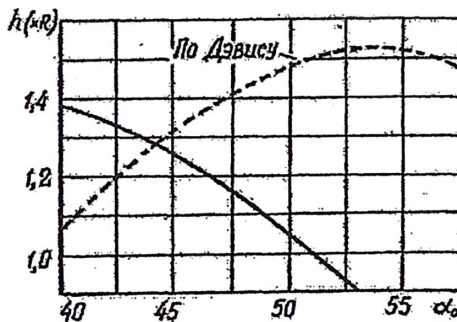


Рис. 5. Залежність висоти падіння $h(xR)$ від величини кута відриву, α_0 .

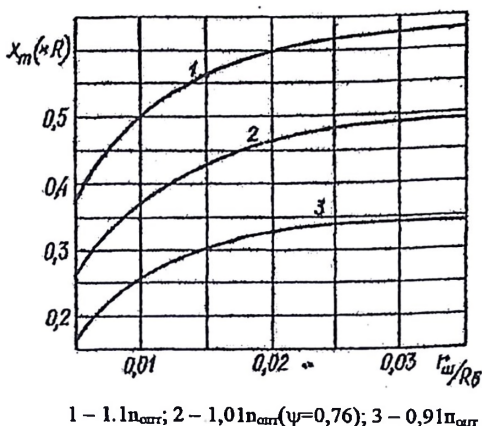


Рис.6. Залежність шляху руху тіла, що мелє, на рівні точки відриву $X_m(xR)$ від відносного розміру тіл, що мелють, r_w/R_0 .

Висновок: Реальна картина взаємодій між тілами, що мелють, набагато складніша від описаної, однак аналіз дозволяє обґрунтувати в першому наближенні траєкторні характеристики тіл, що мелють, різних розмірів. Значна амплітуда коливань кута відриву тіл, що мелють, броньфутерації для стадії тонкого подрібнення (БАТ-2, функціональна ділянка АВ'С на рис.1) не порушить стійкого каскадного режиму.

The pulse regime in pipe mills can be obtained by the use of activating armour lining. The main factors of this regime are the variable angle of separation and velocity of changing of the coupling conditions between milling bodies and the armour lining surface.

Література

1. Зморада А.А., Матієга В.М., Тверитникова Е.Е. Исследование двухстадийного процесса измельчения цементных шихт в трубных мельницах // Сбор. науч. тр. каф. ХТПЭ ХГПУ, т. 1... Экология химической техники и биотехнологии. - Харьков, 1997. - С. 60-74.
2. Зморада А.А., Матієга В.М., Тверитникова Е.Е. Функциональные характеристики броньфутеровки трубных мельниц для стадии тонкого измельчения // Сбор. науч. тр. каф. ХТПЭ ХГПУ, т.2... Экология и ресурсосбережение. - Харьков, 1997. - С. 14-20.
3. Матієга В.М., Дабула К.М. Функціональні характеристики активуючої броньфутеровки для перших камер трубних млинів цементних підприємств // 36. наук пр. Дослідження математичних моделей. - Київ: Ін-т математики НАН України. - С. 157-166.
4. Горшкова Н.М. О механизме измельчения в шаровой мельнице // Обогащение полезных ископаемых. - Киев. - 1982. - № 81. - С. 15-19.
5. Горловский И.Л., Сакор А. Т. Исследования скольжения шаровой загрузки в барабане шаровой мельницы // Лакокрасочные материалы и их применение. - М. - 1997. - № 5. - С. 57-59.
6. Бауман В.А. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. - М.: Машиностроение, 1981. - 324 с.
7. Товаров В.В. и др. Исследование подвижности и скорости движения материалов в модели барабанной мельницы // Труды ВНИИ Цементмаш. - Вып. XI. - Тольятти, 1970. - С. 44-60.

Статтю подав до друку докт. фіз.-мат. наук, проф. М.П.Ленюк