

СТІЙКІСТЬ ГРАНУЛ-НОСІЇВ У ПРОЦЕСАХ АДГЕЗІЙНОГО ЗБАГАЧЕННЯ

Одною з проблем створення високоефективної технології адгезійного збагачення золота, алмазів, інших природно гідрофобних матеріалів є стійкість вуглемасляних гранул-носіїв в умовах турбулентного перемішування водорудно-грануляційної пульпи [1-9]. Теоретичний аналіз цього питання на сьогодні відсутній. Тому розгляд умов розриву гранул, факторів які впливають на цей процес, визначення залежності критичних (максимальних) діаметрів стійких гранул від режимних параметрів, зокрема від параметрів турбулентного потоку і характеристик самих гранул є актуальним.

Умови руйнування гранул-носіїв у турбулентному потоці

Умова розриву вугільного агрегату може бути виражена такою нерівністю [10]:

$$F_{\text{розр}} \geq \chi \cdot F_{\text{аз}} + (1 - \chi) \cdot F_{\text{тр}} \quad (1)$$

де $F_{\text{розр}}$, $F_{\text{аз}}$, $F_{\text{тр}}$ - відповідно сили розриву, сумарна сила зчеплення зерен в агрегаті, сила тертя зерен при розриві; χ - частина сил відриву, яка йде на подолання сил зчеплення і яка залежить від кута прикладання сили $F_{\text{розр}}$. Розриваючими силами можуть виступати *інерційні сили, сили механічної взаємодії* при ударі агломератів об елементи гранулятора і між собою, а також *сили деформаційної дії* на вугільні агрегати з боку турбулентного потоку робочої рідини. При цьому інерційна складова $F_{\text{розр}}$ діє в момент зустрічі двох частинок, тобто під час елементарного акту агрегації, а також зміни швидкості агрегату. Згідно [11] $F_{\text{розр}}^i \approx d_a$. У роботі [12] було досліджено руйнування вуглемасляних гранул в умовах, адекватних їх зустрічі з елементами гранулятора. Виявилось, що в 95-98% випадків таких зустрічей має місце пластична деформація гранул і тільки в 2-5% - їх руйнування. Виходячи з цього, логічно припустити, що дезинтеграція вже сформованих вуглемасляних агрегатів в основному обумовлюється дією турбулентного потоку. Розглянемо її умови.

Сила опору агрегату потоку рідини по [13]:

$$F_c = k_f \cdot \rho_0 \cdot V_0^2 \cdot S. \quad (2)$$

де k_f - коефіцієнт форми; V_0 - середня швидкість потоку, набігаючого на тіло; S_n - площа перетику агрегату.

Зміна середньої швидкості пульсацій потоку на відстані $2R_a$ по [13] визначається таким співвідношенням

$$\Delta V_{02R} \cong \Delta V_{1M} \left(\frac{2R_a}{1_M} \right), \quad (3)$$

де ΔV_{1_m} - зміна середньої швидкості рідини на відстані найбільшого масштабу пульсацій l_m .

Таким чином, для різниці сил опору витримуваного агрегатом в крайніх точках маємо

$$\Delta F_c \cong k_f \cdot \rho (\Delta V_{1_m})^2 \cdot \left(\frac{2R_a}{l_m} \right)^{2/3} \cdot S_{\pi}. \quad (4)$$

По суті $\Delta F_c \cong F_{\text{розр}}$. Проаналізуємо тепер дію сили $F_{\text{розр}}$ на агрегати різної крупності та структури. Неважко бачити, що сила ΔF_c тим більша, чим більший розмір агрегату. Отже, мікроагрегати з найдрібніших зерен більш стійкі в турбулентному потоці, ніж агрегати крупних зерен. Стійкими, очевидно, є й агрегати зерен $R_a - r_a$ при $R_a \gg r_a$, так як сили розриву будуть діяти в малій області $2r_a$. Тобто структура «гранула-носій – захоплене зерно корисної копалини» є стійкою.

Найменш стійкими є крупні гранули-носії. Якщо сили зчеплення і розриву мають один порядок, то, очевидно, є якийсь *критичний діаметр гранули-носія* $R_{\text{акр}}$, при якому вона руйнується дією турбулентного потоку робочої рідини. Визначення цього критичного діаметра є важливою теоретичною задачею.

Визначення і аналіз критичного діаметра гранул-носіїв

Для визначення сумарної сили зчеплення зерен в агрегаті $F_{\text{аз}}$ скористаємося виразом, знайденим в [14]:

$$F_{\text{ек}} = \frac{3F_1 \cdot A_p \cdot k_4 \cdot m_{\epsilon}}{\pi \cdot \rho_{\%} \cdot x_m^3 \cdot (A_p - 3)}, \quad (5)$$

де F_1 - міцність одиничного контакту; A_p – коефіцієнт в рівнянні Годена-Андрєєва, $\gamma = x/x_m$; γ - сумарний вихід класу мінус x ; x_m - максимальний діаметр вугільного зерна, при $x = x_m$ $\gamma = 1$; k_4 - координаційне число; ρ_v - щільність зерен; m_a - маса вугільного агрегату.

Використавши вирази (1), (4) та (5), маємо:

$$k_f \cdot \rho_0 (\Delta V_{1_m})^2 \left(\frac{2R_{\text{акр}}}{l_m} \right)^{2/3} \cdot S_{\pi} \geq \chi \frac{3F_1 \cdot A_{p-p} k_4 \cdot m_a}{\pi \rho_v \cdot x_m^3 (A_{p-p} - 3)} + (1 - \chi) F_{\text{тр}}. \quad (6)$$

Для $R_{\text{акр}}$, при якому вугільні агрегати в турбулентному потоці руйнуються, маємо:

$$R_{\text{акр}} \geq \frac{l_m}{2} \left[\frac{3\chi \cdot F_1 \cdot A_{p-p} \cdot k_4 \cdot m_a}{\pi \rho_v \cdot x_m^3 (A_{p-p} - 3) k_f \cdot \rho_0 (\Delta V_{1_m})^2 \cdot S_{\pi}} + \frac{(1 - \chi) F_{\text{тр}}}{k_f \cdot \rho_0 (\Delta V_{1_m})^2 \cdot S_{\pi}} \right]^{3/2} \quad (7)$$

Як бачимо, критичний радіус агрегату $R_{акр}$ прямо пропорційний міцності одиничних контактів вугільних зерен, кількості цих контактів в агрегаті, масштабу турбулентних пульсацій l_m . З іншого боку при збільшенні крупності агрегатоутворюючих вугільних зерен $R_{акр}$ зменшується.

Формула (7) є універсальною і може бути використана для будь-яких зв'язуючих та різновидів гранул-носіїв. Проаналізуємо її прийнявши умовно такі значення параметрів: $l_m = 50$ мм, $\chi = 0,5$; $k_4 = 10$; $A_p = 0,7$; діаметр гранули-носія 3 мм; $\rho_o = 1$; $k_f = 1$, густина вугілля прийнята рівною 1,3; максимальний діаметр вугільного зерна $x_m = 0,2$ мм, $F_1 = 3,26 \cdot 10^{-4}$ Н. При цьому F_1 визначено прямим вимірюванням аутогезії (липкості) інгредієнтів гранули-носія на фіксованій площі. Кількість одиничних контактів на цій площі підраховано візуально по аншліфу гранули-носія (рис.1).

За допомогою програмного модуля с «MathCAD- 8.0» виконано розрахунок $R_{акр}$ по рівнянню (7). Одержані криві $R_{акр} (\Delta V_{l_m})$, $R_{акр} (F_1)$, $R_{акр} (F_{тр})$, представлені відповідно на рис. 2, 3 і 4.

Як і слід чекати, залежність $R_{акр} (\Delta V_{l_m})$ обернено пропорційна. Зі збільшенням ΔV_{l_m} максимальний діаметр гранул-носіїв зменшується. Область над кривою $R_{акр} (\Delta V_{l_m})$ представляє нестійкі гранули-носії, область під кривою – стійкі гранули-носії.

Залежність $R_{акр} (F_1)$ прямо пропорційна. З ростом F_1 $R_{акр}$ зростає за нелінійним законом близьким до параболічного. Область під кривою $R_{акр} (F_1)$ відповідає стійким гранулам-носіям.

Як видно з рис. 4, критичний діаметр $R_{акр}$ практично не залежить від сили тертя зерен при розриві $F_{тр}$. Це пояснюється тим, що аналіз складових рівняння (7) показує значну перевагу першої складової. Друга складова, в яку входить параметр $F_{тр}$ є малозначимою.

Отже, одержані аналітичні вирази дозволяють аналізувати реальний вплив окремих факторів процесу, режимних параметрів на критичний діаметр $R_{акр}$ гранул-носіїв. Рівняння (7) може бути використане для визначення раціональної крупності гранул-носіїв в процесі адгезійного збагачення.

Література:

1. House C.I., Townsend I.G., Veal C.J. Агломерація вугілля-золото. Coal Gold Agglomeration/International Mining. – 1988, September. –P.17-19. No. 8070. – P. 382.
2. Ліцензія на вугільно-агломераційний процес вилучення золота. Licences vor Coal-Gold Agglomeration Process// Mining J. – 1990. – 314. No. 8066. – P. 297-298.
3. Bonney C.F. Агломерація вугілля-золото – новий підхід до вилучення золота. Coal-Gold Agglomeration - new approach to Gold Recovery// Randjl Gold Forum 88, Scottsdale, Arizona. –1988, 23-24 January.

4. House C.I., Townsend I.G., Veal C.J. Напівпромислова переробка хвостів шляхом агломерації вугілля-золото. Coal-Gold Agglomeration – Pilot Scale Retreatment of Tailings// Randol International Gold Conference. - Perth, Australia. – 1988, November.
5. Bellamy S.R., House C.I., Veal C.J. Вилучення тонкого золота з розсипної руди шляхом агломерації вугілля-золото. Recovery of Fine Gold from the Placer Ore by Coal-Gold Agglomeration// Gold Forum on Technology and Practices: “World Gold’89” – Litterton, Colorado, USA; 1989. – P. 347-352.
6. Агломерація вугілля-золото. Coal-Gold Agglomeration// Mining J. – 1990. – 314. No. 8070. – P. 382.
7. Cadzow M., Lamb R. Вилучення золота методом “Карбед”. Carbed Gold Recovery// Gold Forum on Technology and Practices. – “World Gold’89”. – Citterton, Colorado, USA. – 1989. P. 375-379.
8. Патент Австралії 589291. МКІ В03і 005/02, С22В 001/244. Вилучення алмазів і благородних металів. Recovery of diamonds and noble metals// Mainwaring David, Cadzow Mark. – Precious Mineral Technologies Pty Ltd - № 77231/87; Заявл. 21.08.86; Опубл. 05.10.89.
9. McClelland G.E., Hill S.D. Silber and gold recovery from low-grade resources// Mining Congress Journal. – 1981. – May. – P. 17-41.
10. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. - М.: Химия, 1976. - 430 с.
11. Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулев Н.Н. Кинетическая теория флотации малых частиц// Теоретические основы и контроль процессов флотации. М.: Наука, 1980. - С. 5-21.
12. Белецкий В.С. Технологические основы рационального использования масляной грануляции для обезвоживания и обогащения гидравлически транспортируемых углей.- Автореф. диссерт. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Днепропетровск:- 1986. - 17 с.
13. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. - М.: Издат. физ.-мат. литер., 1959. - 700 с.
14. Сергеев П.В. Разработка и внедрение технологии обогащения высокозольных угольных шламов методом масляной селекции. Автореф. диссерт. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - Днепропетровск: - 1992. - 17 с.