

МЕХАНІЗМ ЕЛЕМЕНТАРНОГО АКТУ АДГЕЗІЙНОГО ЗБАГАЧЕННЯ ГІДРОФОБНИХ МІНЕРАЛІВ НА ГРАНУЛАХ-НОСІЯХ

Білецький В.С., докт. техн. наук, проф.
Донецький національний технічний університет

У статті викладені теоретичні основи адгезійного способу збагачення корисних копалин. Описано механізм зустрічі і прилипання гідрофобних мінеральних зерен до гранул-носіїв у рудній пульпі.

In article developed theoretical process bases of adhesion processing. Defined the granules-carriers meeting mechanisms and hydrophoby lobules in ores pulp attached to her interfusion.

Проблема та її зв'язок з науковими або практичними задачами. У останні десятиліття в ряді наукових шкіл світу активно розвивається новий спосіб збагачення гідрофобних корисних копалин – адгезійне збагачення на гранулах-носіях. Його сутність полягає у вибіркового прилипанні частинок збагачуваного мінералу до жирової поверхні. Прикладом може бути адгезійне збагачення золота, алмазів шляхом використання ефекту налипання гідрофобних (або гідрофобізованих) часточок корисної копалини на маслянисті поверхні (приміром, вуглемасляні гранули). Приклади процесів: Карбед (Carbad Gold Recovery), Coal-Gold Agglomeration Process та ін. В Україні дослідження і розробка технології адгезійного збагачення золота проводиться на кафедрі збагачення корисних копалин у Донецькому національному технічному університеті.

Мета нашої роботи – розвиток наукових основ процесу адгезійного збагачення гідрофобного матеріалу на гранулах-носіях.

Аналіз досліджень та публікацій. Проблемі адгезійного збагачення золота та, почасти, алмазів присвячено ряд робіт [1-10]. Основними процесами, розробленими за кордоном є:

Процес CGA (Coal Gold Agglomeration) фірми British oil and minerals та Davy McKee.

1. Процес фірми Precions Mineral Technologies Pty Ltd.
2. Процес „Карбед” (Carbad) компанії Carbad Pty Ltd.
3. Процес адгезійної концентрації Донецького національного технічного університету.

4. Процес CGA (Coal Gold Agglomeration) фірми British oil and minerals та Davy McKee

Як правило, ці процеси включають попередню підготовку вуглемасляних гранул крупністю 1-3 мм, добавку їх до золоторудної пульпи, агітацію пульпи в турбулентному режимі, вилучення гранул „навантажених” гідрофобними (гідрофобізованими) зернами золота і плавку або екстракцію грануляту з одержанням золота. Аналогічно за цією технологією вилучають інші гідрофобні мінеральні речовини, зокрема, алмази.

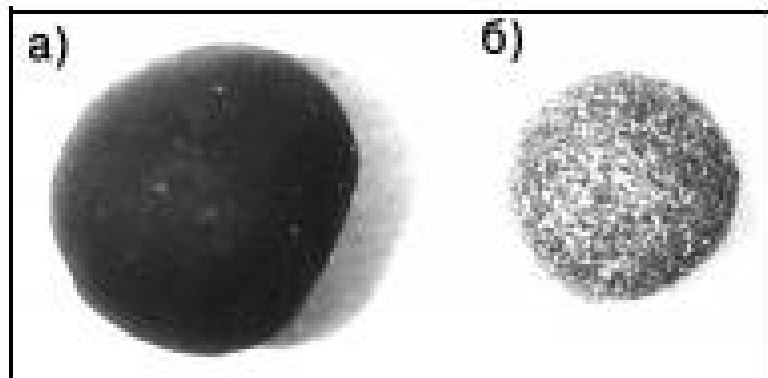


Рис. Адгезійне збагачення золота:
а – вихідна вуглемасляна гранула;
б – золотонаповнена гранула

Огляд і аналіз існуючих публікацій свідчить про їх прикладний характер. Теоретичні основи процесу адгезійного збагачення майже не опрацьовані.

Постановка задачі. Задача даної статті – аналіз і встановлення механізму елементарного акту адгезійного збагачення гідрофобного матеріалу.

Викладення матеріалу та результати досліджень.

Елементарний акт адгезійного збагачення полягає у зближенні, зустрічі і прилипанні гідрофобного мінерального зерна до адгезійно активної поверхні гранули-носія, наприклад, вуглемасляної гранули.

Для з'ясування механізму контакту золотовмісних частинок та гранул-носіїв у водному потоці розглянемо фази цього процесу: "зближення" та "зустріч".

У фазі "зближення" траєкторію частинок у воді визначають, в основному, гідродинамічні фактори. Розглянемо механізм і закономірності зближення твердих зерен матеріалу у водному середовищі при ламінарному та турбулентному режимі течії пульпи.

Ламінарний режим течії. Відомо [11], що крупна частинка викривлює лінії току води в ламінарному режимі течії, що викликає зміну траєкторії малих частинок в околиці крупних зерен і утруднює (унеможлиблює) їх контакт з крупним об'єктом. Таким чином, зближення частинок твердого матеріалу у пульпі, що перемішується, може і не привести до їх зіткнення. Стосовно процесу адгезійного збагачення золота на гранулах-носіях нас цікавить два питання. По-перше, це крупність гідрофобних частинок, які можуть "ухилитися" від зустрічі з гранулами-носіями, слідуючи за викривленими лініями току рідини. По-друге, яким чином можна досягти зближення твердих мікрооб'єктів у рідині на критичну відстань, яка забезпечує їх зустріч.

Визначення радіусу зерен, що слідують за лініями току рідини. Для ефективності зіткнень частинок твердої фази в потоці рідини маємо [12]:

$$E_3 = \lambda^2 \cdot (\lambda + 0.5)^{-2} \quad (1)$$

де λ – критерій Стокса.

Для визначення E_3 [11] пропонується такий вираз:

$$E_3 \approx 3 \cdot \frac{r}{R}, \quad (r \ll R) \quad (2)$$

де r , R – радіуси малої та великої частинки.

Прирівнюючи праві частини рівнянь (1) та (2) для критичного радіусу $r_{кр}$, при перевищенні якого має місце механізм інерційного зіткнення частинки й об'єкту у воді, маємо:

$$r_{кр} = \frac{1}{3} \lambda_{кр}^2 (\lambda_{кр} + 0,5)^{-2} \cdot R. \quad (3)$$

Приймемо крупність гранул-носіїв рівною 3 і 1 мм. Тоді, враховуючи, що $\lambda_{кр} = 1/24$ [13] маємо для них $r_{кр} = 6; 2$ мкм. Тобто в ламінарному потоці рідини дрібні золотовмісні частинки крупністю 6; 2 мкм "уникатимуть" зустрічей з гранулами-носіями, слідуючи лініям току рідини. Враховуючи реальний гранулометричний склад золотоносних руд це може призвести до великих втрат цінного компонента з відходами.

Турбулентний режим течії пульпи. Для турбулентного режиму течії В.Г. Левічем одержано рівняння ефективності зустрічей частинок [11]:

$$E_{з.турб} = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot j_{турб}}{\pi \cdot R^2 \cdot u(r) \cdot n_0}, \quad (4)$$

де n_0 – середнє число частинок в одиниці об'єму; $j_{\text{турб}}$ – потік тонких частинок діаметра r на поверхню частинки R ; $u(r)$ – швидкість частинки r .

При $r = 1-10$ мкм $E_{z,\text{турб}} \approx 1$ [11]. Це свідчить про велику роль турбулентної дифузії, яка практично згладжує негативний вплив далекої гідравлічної взаємодії твердих об'єктів у водному середовищі. Таким чином, збільшення числа Re до 2000...3000 (розвинене турбулентне перемішування) призводить до зменшення критичного розміру зерен, які зближуються у потоці рідини на відстань, достатню для їх зустрічі. При $Re \geq 2000...3000$ можна вважати, що кожна зустріч часточок золота радіусом $r \leq 1$ мкм та гранул-носіїв $R=1-3$ мм, розрахована на основі прямолінійних траєкторій, призводить до їх фактичної зустрічі.

У фазі "зустріч" поведінку частинок-партнерів в рідині визначають крім гідродинамічних факторів також фізико-хімічні поверхневі властивості контактантів. Взаємодія частинок на відстанях починаючи з 100-200 нм визначається властивостями тонких поверхневих шарів води. За [14, 15] вони можуть бути двох принципово різних типів – зі зменшеною та збільшеною тангенсійною рухливістю молекул води. Перші мають місце на гідрофільних поверхнях, другі – на гідрофобних. Для поверхні вугілля та реагенту-зв'язуючого гранул-носіїв, а також для рудних золотовмісних зерен характерний великий діапазон проміжних етапів та гідрофільно-гідрофобна мозаїчність.

На гідрофільній поверхні речовини диполі води орієнтуються перпендикулярно до цієї поверхні. Товщина шару орієнтованих молекул може досягати 1-100 мкм. В ньому вода має підвищену в'язкість, дещо більшу густину, знижену розчинну здатність та діелектричну проникність, збільшений порівняно з об'ємною фазою тиск ($P_h > P_o$). Прийнято розрізняти тонкі термодинамічно стійкі α -плівки, метастабільні β -плівки товщиною 10 нм. При підвищенні температури товщина аномального шару зменшується, особливо різко при 65-70 °С (до моношару молекул води). Згідно теорії нерозчинного об'єму Б.Дерягіна [16], збільшення концентрації розчинюваної речовини призводить до потоншення плівки води. Руйнування особливої структури граничних шарів води починається при концентрації електроліту понад 10⁻² моль/л [14]. Стійкість β -плівок визначається в основному дальнодіючими електростатичними силами, тобто фактором подвійного електричного шару (ПЕШ).

На гідрофобній поверхні диполі води орієнтуються паралельно поверхні речовини. Вода в граничному шарі має меншу в'язкість, зменшений порівняно з об'ємною фазою тиск ($P_h < P_o$) [11].

Отже, характер і структура води в пристінному просторі залежить від гідрофобно-гідрофільних властивостей поверхонь об'єктів, рН водного розчину, його температури t_c , твердості води. При $P_h > P_o$ пристінні ефекти перешкоджають, а при $P_h < P_o$ сприяють контакту гідрофобних об'єктів, зокрема гранул-носіїв та гідрофобізованих зерен золота.

Кількісною оцінкою пристінних ефектів є розклинюючий тиск $\Pi(h) = P_h - P_o$, який при $P_h < P_o$ є мірою гідрофобної взаємодії [11, 13]. Вважаючи вклад сил різної природи в розклинюючий тиск адитивним, для $\Pi(h)$ в загальному випадку [12] можна записати:

$$\Pi(h) = \Pi_e(h) + \Pi_m(h) + \Pi_s(h) + \Pi_a(h) + \Pi_c(h) \quad (5)$$

де Π_e – йонно-електростатична складова, пов'язана з перекриттям дифузних йонних шарів;

Π_m – молекулярна складова, обумовлена силами дисперсійної взаємодії міжфазних зон, в яких тензор флуктуаційного електромагнітного поля анізотропний;

Π_s – структурна складова, викликана перекриттям граничних шарів рідини зі близькою структурою;

Π_a – адсорбційна складова, пов'язана з перекриттям дифузних адсорбційних шарів нейтральних молекул в нейонних розчинах;

Π_c – складова, обумовлена "стеричною" взаємодією адсорбційних шарів ПАР або полімерів.

Складові розклинюючого тиску $\Pi(h)$ можуть бути знайдені за такими виразами:

$$\Pi_e(h) = \frac{\epsilon_B}{8\pi} (E_h^2 - E_0^2) \quad (6)$$

де ϵ_B – діелектрична постійна водної фази;

E_h, E_0 – напруженість електричного поля на внутрішній та зовнішній поверхні "обкладки" ПЕШ [17].

$$\Pi_m(h) = -\frac{A_0}{6\pi h_a^3} \quad (7)$$

де A_0 – постійна Гамакера; h_a – товщина тонкої плівки [12].

$$\Pi_S(h) = \frac{K}{S_{ВП} h_a^2 \left(\frac{h_a}{2l}\right)} \quad (8)$$

де K – константа;

l – кореляційна довжина; $S_{ВП}$ – ступінь впорядкованості молекул в h_a -шарі [12].

$$\Pi_a(h) = kT \int_0^{c_0} \frac{\partial \Gamma_1}{\partial h} \cdot \frac{dC}{C_0} + \Pi_{mp}(h) \quad (9)$$

де k – постійна; T – абсолютна температура;

Γ_1 , C_0 – адсорбція та концентрація розчиненої речовини в h_a -шарі

$$\Gamma_1 = \int_{\delta_1}^{h_a - \delta_1} [c(x) - c_0] dx \quad (10)$$

де δ_1 – товщина моношару; x – координата, нормальна до поверхні субстрату; c_0 - об'ємна концентрація розчину.

$\Pi_{mp}(h)$ – молекулярна складова розклинюючого тиску прошарку чистої рідкої фази.

$\Pi_{c(h)}$ визначається за формулою, аналогічною передостанній при всіх параметрах, обумовлених ПАР.

Дальність дії пристінних ефектів визначається, очевидно, найбільш дальнодіючою складовою $\Pi_c(h)$ і оцінюється $\approx 200-300$ нм. Всі фактори, які спричиняють руйнування аномального граничного шару води при $\Pi(h) > 0$, сприяють зменшенню структурування води поблизу стінок і, отже, сприяють безпосередньому контакту твердих об'єктів у водному середовищі. До таких факторів, крім перерахованих вище, належить також перепад температур Δt_c між середовищем та агрегатоутворюючими об'єктами. Чим більше Δt_c , тим більший потік енергії "об'єкт-середовище", який "розмиває" граничний шар і зменшує структурований шар води біля твердої поверхні. Це пояснює спостерігаємий ефект прискорення агрегації при збільшенні Δt_c .

Слід очікувати також, що на взаємодію твердих об'єктів у воді суттєво впливає і форма зерен. Так як товщина аномального шару води на гранях і ребрах потоншується [17], то імовірність захоплення гранулами-носіями "кутастих" гідрофобних зерен збільшена.

Висновки, напрямок подальших досліджень.

Розгляд і аналіз фаз „зближення” і „зустріч” у адгезійному процесі збагачення гідрофобних матеріалів, що зустріч зерен

гідрофобного матеріалу та гранул-носіїв протікає, головним чином, за інерційним механізмом та турбулентною дифузією.

У подальших дослідженнях слід розглянути питання ефективності фази „зустріч”, проаналізувати фактори, які впливають на адгезійне закріплення гідрофобних зерен на поверхні гранул-носіїв та гідродинамічні умови відриву їх від поверхні гранул.

Перелік джерел.

1. Лицензия на угольно-агломерационный процесс извлечения золота// Mining J. – 1990. – 314, № 8066. – p. 297-298.
2. Bonny C.F. Coal-Gold Agglomeration// Rand. Gold Conf. – Arisona,USA – 1988., 23-24 January.
3. House C.J., Townsend I.G., Veal C.J. Напівпромислова переробка хвостів шляхом агломерації вугілля-золото// Rand. Int. Gold Conf.- Australia. – 1988, November.
4. House C.J., Townsend I.G., Veal C.I. Coal Gold Agglomeration// Int. Mining – 1988, September. – p. 17-19.
5. Bellamy S.A., House C.J., Veal C.J. Вилучення тонкого золота з розсипів шляхом агломерації вугілля-золото// Gold Forum on Technology and Practices: “World Gold-89”. – Litterton, Colorado, USA. – 1989. – p. 347-352.
6. Coal-Gold Agglomeration// Mining J. – 1990 – 314, №8070, p. 382.
7. Cadzow M., Lamb R. Carbad Gold Recovery // Gold Forum “World Gold-89”. – Litterton, Colorado, USA. – 1989. – p. 375-379.
8. Патент 589291 Австралії. МКІ В03J 05/00. Вилучення алмазів та благородних металів / Mainwaring D., Cadzow M. Precious Mineral Technologies Pty Ltd - №77231/87. Заявл. 21.08.86. Опубл. 05.10.89.
9. McClelland G.E., Hill S.D. Вилучення срібла і золота з низькосортної сировини// Mining Congress Journal. – 1981. – p. 17-41.
10. Sandhurst project to recover gold from Australian tailings // Eng. and Mining J. – 1987, 188, №1, p. 14-15.
11. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Издат. физ.-мат. литер., 1959. – 700 с.
12. Духин С.С., Рулев Н.Н., Димитров Д.С. Коагуляция и динамика тонких пленок. – К.: Наукова думка, 1986. – 226 с.
13. Левин Л.И. Исследование по физике грубодисперсных аэрозолей. – М.: Из-во АН СССР, 1961. – 256 с.
14. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах. – М.: Химия, 1990. – 286 с.
15. Пчелин В.А. Гидрофобные взаимодействия в дисперсных системах. – М.: Знание, 1976. – 64 с.
16. Дерягин Б.В. Коллоидный журнал. – 1939. – Т.5, №4, с. 257-261, 605-611.
17. Дерягин Б.В. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. – М.: Наука, 1986.– 206 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 31.10.07