

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук

(Україна, Полтава, Державний ВНЗ "Полтавський національний технічний університет")

ВИПРОБУВАННЯ ПРОЦЕСУ АДГЕЗІЙНОГО ЗБАГАЧЕННЯ ЗОЛОТА ТА ВИКОРИСТАННЯ КРАУН-ЕТЕРУ ДЛЯ ЙОГО ІНТЕНСИФІКАЦІЇ

Постановка проблеми і стан її вивчення. Серед нових методів збагачення тонкодисперсного золота виділяється адгезійний метод, який полягає у концентрації частинок золота на гранулах-носіях [1-10]. На сьогодні опрацьовано декілька варіантів цього процесу: процес CGA (Coal Gold Agglomeration) фірми British oil and minerals та Davy McKee, процес фірми Precious Mineral Technologies Pty Ltd, процес "Карбед" (Carbad) компанії Carbad Pty Ltd, процес адгезійної концентрації Донецького національного технічного університету [11, 12]. Адгезійний метод вилучення золота найбільш ефективний для вільного золота крупністю від 5-20 мкм до 500 мкм. Попри високі результати, недоліком цього процесу залишається втрата з відходами надтонкого (мікронного і субмікронного) золота.

Мета цієї роботи – випробування адгезійного методу та вивчення можливості інтенсифікації вилучення надтонкого золота за рахунок застосуванням краун-етерів для модифікації робочої поверхні гранул-носіїв.

Виклад основного матеріалу. Краун-етери – макрогетероциклічні сполуки, які містять у своїх циклах понад 11 атомів, з яких не менше чотирьох – гетероатоми, що зв'язані між собою етиленовими містками. Краун-етери використовують, зокрема, для концентрування, розділення, очищення і регенерації металів.

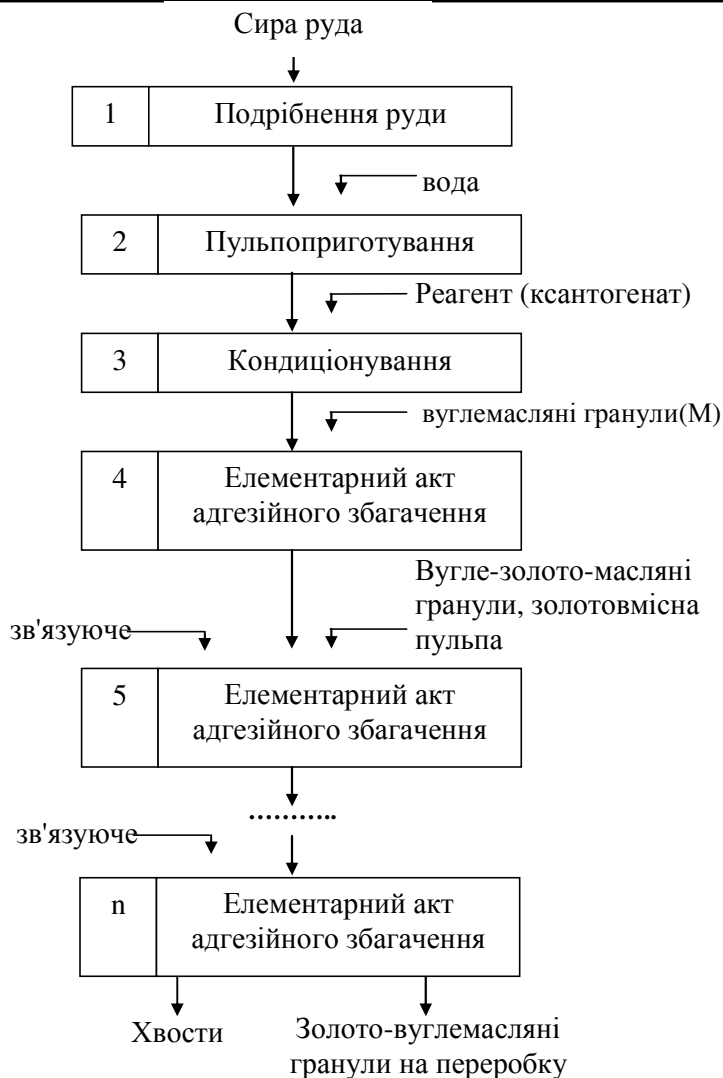
Нами виконані дослідження по модифікації вуглемасляних гранул-носіїв в адгезійному процесі збагачення різними реагентами, які порівнювалися з краун-етером. Процес адгезійного збагачення здійснювався за схемою наведеною на рисунку на лабораторній установці періодичної дії. Подрібнення виконувалося в лабораторному дезінтеграторі до 0-50 мкм. Масляна агломерація вугілля крупністю 0-100 мкм та модифікування поверхні вуглемасляних гранул здійснювалася у турбулентній мішалці обладнаній електроприводом з варіатором швидкості, який забезпечував регулювання швидкості обертання валу в межах 0-70 с⁻¹. Робоча камера мішалки – циліндр об'ємом 1 л.

Як вихідний матеріал обрано такі золотовмісні руди: Мужіївська, "Капітанка" та сульфідна киргизька руда.

Руда Мужіївського родовища – малосульфідна глиниста руда каолініт-дікітового типу. Вміст золота в руді 1,2-1,5 г/т. Золото вільне, а також асоційоване з глинистими мінералами, в основному тонкодисперсне, колоїдне, частка тонких класів золота крупністю менше 5-10 мкм складає 75-85%.

Руда родовища "Капітанка" – нессульфідна, глинистого типу, присутні нікелеві мінерали. Понад 50% золота крупністю 0-20 мкм. Вміст золота в руді 1,5 г/т.

Випробування та контроль



Феноменологічна схема адгезійного збагачення.
Вуглемасляні гранули (М) – гранули модифіковані реагентом

Сульфідна киргизька руда містить 12-15 мас.% сульфідів заліза (пірит, піротин) з якими зв'язане золото, присутні телуриди золота, а також графітова фракція, що містить тонке золото. Основна частина золота знаходиться з сульфідною фракцією руди, крупність якої 10-100 мкм. Вміст золота в руді 5-6 г/т.

Режимні параметри процесів та реагенти:

1. Одержання гранул-носіїв.

- приготування водовугільної пульпи: Т:Р = 1:2; $\tau = 5$ хв.; $t = 20^\circ\text{C}$.
- формування вуглемасляних агрегатів: $n = 1500$ хв⁻¹; $\tau = 5$ хв; $t = 20^\circ\text{C}$.
- реагент – ААР+бітум 4:1; ААР; компресорне масло; гас; дизельне паливо.
- витрата реагента – 20 мас.% від вугілля.

2. Приготування рудної пульпи: Т:Р = 1:6(5); $\tau = 5$ хв; $t = 20^\circ\text{C}$.

3. Кондиціонування з ксантогенатом: $\tau = 3$ хв; $n = 2000$ хв⁻¹.

4. Адгезійне вилучення Au:

- $\tau = 10$ хв; $n = 2000$ хв⁻¹ – досліді №21-27
- $\tau = 15$ хв; $n = 600$ хв⁻¹ – досліді №31-32
- $\tau = 15$ хв; $n = 1500$ хв⁻¹ – досліді №33-34.

5. Речовини-модифікатори робочої поверхні вуглемасляних гранул:

- гасова емульсія з сухими клітинами (культура АС)
- водний розчин сухих клітин (культура АС)
- біологічно активна речовина з живих клітин
- краун-етер.

Золотонаповнені гранули виділялися на ситі (0,5 мм), відходи флотувалися, концентрат присаджувався до грануляту.

Аналіз отриманих результатів (табл. 1) показує, що ефект адгезійного вилучення золота спостерігається на усіх досліджених рудах та агломератах. Разом з тим, високий вміст золота у відходах пояснюється втратою субмікронних фракцій.

Для оцінки можливості концентрації субмікронного золота на поверхні гранул-носіїв у якості натурального об'єкту використано золь Au, часточки якого мають крупність 20-30 нм. Золь золота – це ліофобний колоїдний розчин, колоїдна система, що характеризується гетерогенністю, тобто наявністю поверхонь розділу фаз і великим значенням питомої поверхні дисперсної фази.

Однією з найважливіших властивостей золів є те, що їх часточки мають електричні заряди одного знаку. Завдяки цьому вони не з'єднуються в більш крупні часточки та не осаджуються. Виникнення заряду пояснюється адсорбцією колоїдними часточками іонів із розчину.

При експериментальному дослідженні концентрації ультратонкого золота на модифікованих гранулах-носіях золь разом з модифікованими агломератами розміщувався на фіксований час у посудину, котра періодично струшувалась. Потім золь відділявся від агломератів на ситі з чарункою 0,2 мм. Флокули та фрагменти агломератів, які пройшли через сито разом із золем, відділялись на мембранному вакуумному фільтрі з чарункою 0,5 мкм. Фільтрація золю на мембранному фільтрі дозволяла також видалити з рідкого середовища скоагульовані часточки.

За допомогою спектрофотометра КФК-3 визначалася оптична густина вихідного золю та золю-фільтрату на характерній для нього довжині хвилі 530 нм.

Для дослідів було обрано золь з вихідним вмістом часточок золота рівним 25 мкг/мл. Випробуванням підлягав вуглемасляний агломерат, який було отримано на основі вугілля марки "Г" шахти ім. Бажанова ПО "Макіїввугілля" $A^d = 6,8\%$ крупністю 0-100 мкм, який містить близько 5% зерен >100 мкм та зв'язуюче: 1 – ААР і брикетин (4:1), $Q_{ЗВ} = 34$ мас.%; 2 – гас, $Q_{ЗВ} = 36$ мас.%.
Режим агломерації: Т:Р = 1:4; $t_{cp} = 20$ °С; $n_u = 1500$ хв⁻¹; $\tau_a = 5$ хв; рН = 7.

Крупність отриманого агломерату: 1 – 0,3-1,0 мм; 2 – 0,15(0,2)-0,5 мм.

Випробування та контроль

Таблиця 1

Результати лабораторної апробації методів адгезійного вилучення золота з руд

№ дослідю за журналом	Вихідна руда	Основа агломерату	Вміст Au, г/т				Примітки
			В руді	У концентраті (% Au від маси гранули)	У пром-продукті	У відходах	
21	Мужиївська	Компресорне масло	1,2-1,5	5	сліди	0,194	Середня дезінтеграція агломератів 15-20%
22	Мужиївська	Газ освітлений	1,2-1,5	7	сліди	0,081-0,112	Сильна дезінтеграція агломератів (більше 30%)
23	Мужиївська	ААР	1,2-1,5	2	сліди	0,60-0,20	Незначна дезінтеграція агломератів (5-10%)
24	Мужиївська	ААР+брикетин (4:1)	1,2-1,5	5	0,9	0,138	Середня дезінтеграція агломератів 20%
25	Мужиївська	ААР+бітум(4:1)	1,2-1,5	7		0,031	Сильна дезінтеграція агломератів (30%)
26	Мужиївська	Дизельне паливо	1,2-1,5	3		0,400-0,419	Незначна дезінтеграція агломератів (10%)
27	Сульфідна киргизька руда	ААР+бітум (4:1)	5-6	1	1,7	2,1	Сильна дезінтеграція агломератів (30%)
31	"Капітанка"	Компресорне масло	1,5	3		0,51	ВКС-400г/т
34	"Капітанка"	Компресорне масло	1,5	8		сліди	
32	Мужиївська	Компресорне масло	1,2-1,5	4		0,281-0,287	ВКС-400г/т
33	Мужиївська	Компресорне масло	1,2-1,5	4		0,238	

Результати, отримані при контактуванні агломератів із золем Au протягом 10 хв. (табл. 2) показують істотні зміни характеристик золю при контакті з агломератом. Агломерат на основі гасу є більш ефективним концентратором ультратонкого золота.

Таким чином, було встановлено ефект концентрування ультратонких часточок золота на поверхні вуглемасляних гранул.

Випробування та контроль

Таблиця 2

Зміни характеристик золю Au при контактуванні з вуглемаляним агломератом				
Вуглемаляний агломерат	Коефіцієнт пропускання, K_p		Вміст часточок золота C_3 , мкг/мл	
	Вихідного золю	Золю після контакту	У вихідному золі	В золі після контакту
1	0,448	0,221	25	11
2	0,448	0,154	25	7

Результати досліджень концентрації золю золота на зразках модифікованого вуглемаляного агломерату, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати дослідження модифікованих вуглемаляних гранул-концентраторів субмікронного золота.

Речовина для модифікації вуглемаляних гранул	K_p вихідного золю Au	C_3 вихідного золю Au	Агломерат 1		Агломерат 2	
			K_p золю Au після контакту	C_3 золю після контакту	K_p золю Au після контакту	C_3 золю після контакту
Гасова емульсія з сухими клітинами (культура АС), 2 мл	0,448	25	0,344	17,5	0,327	16,5
Водний розчин сухих клітин (культура АС), 2 мл	0,448	25	0,313	16,2	0,275	14,0
Біологічно активна речовина з живих клітин, 100 мг	0,400	22,5	0,178	8,3	0,145	7,0
Краун-ефір	0,352	18,0	0,051	2	0,036	1

Їх аналіз показує, що суттєвий ефект обробки грануляту речовиною-модифікатором спостерігається тільки для краун-ефіру, слабше ефект від застосування біофактору. Застосування у якості модифікатора гасової емульсії та водного розчину сухих клітин культури АС не майже не впливає на властивості агломератів як концентраторів субмікронного золота.

Висновки

1. Виконано випробування процесу адгезійного збагачення золота на вихідних рудах: Мужийвська, "Капітанка" та сульфідна киргизька руда з широким спектром складу вуглемаляних гранул-носіїв (зв'язуючи речовина: ААР+бітум 4:1; ААР; компресорне масло; гас; дизельне паливо). Аналіз отриманих результатів показав, що ефект адгезійного вилучення золота спостерігається на усіх досліджених рудах та агломератах.

2. Експериментально встановлено ефект концентрації субмікронних часточок золота із золю Au на поверхні вуглемаляних агломератів. Показана можливість радикального поліпшення властивостей агломератів для вилучення субмікронного золота модифікацією їх поверхні краун-ефіром.

Випробування та контроль

У подальших дослідженнях необхідно зупинитися на фізико-хімічній інтерпретації процесу взаємодії краун-ефіру, як модифікатора поверхні вуглемасляних гранул-носіїв, і субмікронного золота.

Список літератури

1. House C.J. Coal Gold Agglomeration // Int. Mining – 1988. – September. – P. 17-19.
2. Bellamy S.A., House C.J., Veal C.J. Вилучення тонкого золота з розсіпів шляхом агломерації вугілля-золото // Gold Forum on Technology and Practices: "World Gold-89". – Litterton, Colorado, USA. – 1989. – P. 347-352.
3. Coal-Gold Agglomeration // Mining J. – 1990 – 314, №8070. – P. 382.
4. Cadzow M., Lamb R. Carbad Gold Recovery // Gold Forum "World Gold-89". – Litterton, Colorado, USA. – 1989. – P. 375-379.
5. 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.
6. Sandhurst project to recover gold from Australian tailings // Eng. and Mining J. – 1987. – 188, №1. – P. 14-15.
7. W. Kotze and F.W. Petersen. Free gold recovery by coal-oil agglomeration. // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2000. – January/February – P. 57-62.
8. В.С., Елишевич А.Т. Белецкий Адгезионный метод извлечения золота из руд и россыпей // Благородные и редкие металлы: Сб. информ. материалов междунар. конф. "БРМ-94", 19-22 сент. – Донецк, 1994. – Ч.1. – С. 25-26.
9. Білецький В.С. Адгезійне збагачення тонкодисперсного золота // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2002. – Вип. 15(56). – С. 93-103.
10. Білецький В.С., Сергеев П.В. Математичне моделювання процесу адгезійного контакту "вуглемасляна речовина – золото" // Наук. пр. Донец. держ. техн. ун-ту. Сер. гірничо-електромеханічна. – 2002. – Вип. 42. – С. 39-42.
11. ГР UA01001064P Исследование процессов масляной агломерации угля как основы адгезионного обогащения золота: Отчет о НИР (заключ.) / Рук. В.С. Белецкий. – Донецк: Донец. политехн. ин-т, 1993. – 79 с.
12. ДР 0199U001117 Розробка наукових основ процесу адгезійного збагачення тонкодисперсного золота: Звіт НДР / Керівн. В.С. Білецький. – Донецьк: Донецьк. держ. політехн. ун-т, 2000. – 90 с.

© Білецький В.С., 2014

*Надійшла до редколегії 30.09.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*