

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук,

В.О. СМІРНОВ, О.С. ГОЛІКОВ, кандидати техн. наук

(Україна, Донецьк, Державний ВНЗ "Донецький національний технічний університет")

УМОВИ РЕАЛІЗАЦІЇ "МОКРОЇ" І "СУХОЇ" ФЛОТАЦІЇ ВУГІЛЛЯ І МІНЕРАЛІВ

Постановка проблеми. Фізико-хімічні характеристики поверхні флотова-них матеріалів визначають як механізм елементарного акту флотації, так і структуру утвореного флотоагрегата, а, отже, його стійкість.

У відповідності до другого закону термодинаміки елементарний акт флотації можливий, якщо вільна енергія E_2 системи після закріплення частинки на бульбашці менше вільної енергії E_1 системи до закріплення частинки. У цьому випадку система із стану I (рис. 1) самопливно переходить до стану II за умови, що на шляху переходу немає енергетичного бар'єру або якщо системі тимчасово надана енергія (енергія активації) достатня для його подолання. Чим більша різниця у значеннях вільної енергії в порівнюваних станах, тим імовірніше перехід у стан з меншою енергією [1, 2].

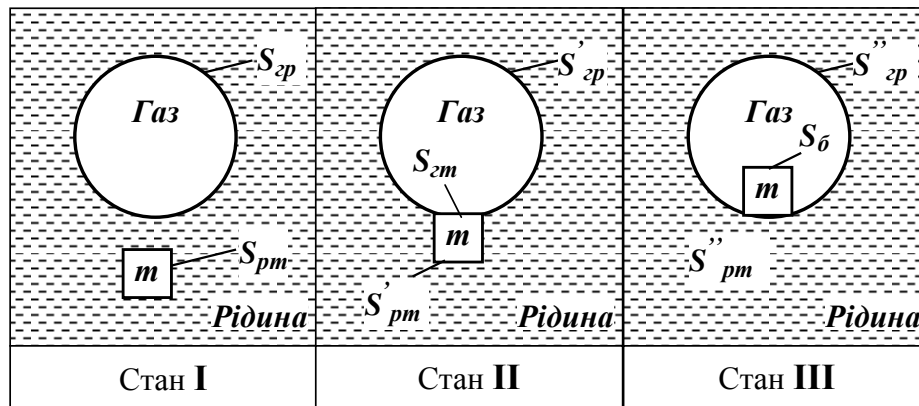


Рис. 1. Стан флотосистеми до і після закріплення частинки на бульбашці (стан II – "мокра" флотація; стан III – "суха" флотація)

Разом з тим, за певних умов, можливий і наступний перехід – до найбільш стійкого стану III.

Мета роботи – аналіз умов реалізації "м мокрої" і "сухої" флотації вугілля і руд (рис. 1).

Виклад основного матеріалу. Вільна енергія в порівнюваних станах визначається з рівняння:

$$E_1 = \sigma_{zp} S_{zp} + \sigma_{pm} S_{pm}, \quad (1)$$

$$E_2 = \sigma_{zp} S'_{zp} + \sigma_{pm} S'_{pm} + \sigma_{zm} S_{zm}, \quad (2)$$

де S – площа контакту; σ – поверхневий натяг.

Відси зміна поверхневої енергії системи при елементарному акті флотації:

$$E_1 - E_2 = \sigma_{zp} (S_{zp} - S'_{zp}) + \sigma_{pm} (S_{pm} - S'_{pm}) - \sigma_{zm} S_{zm}. \quad (3)$$

З рис. 1. видно, що $S_{pm} - S'_{pm} = S_{zm}$, тоді як $S_{zp} - S'_{zp} \neq S_{zm}$, внаслідок деформації бульбашок, особливо малих, при закріпленні на них мінеральних частинок, тому:

$$E_1 - E_2 = \sigma_{zp} (S_{zp} - S'_{zp}) + (\sigma_{pm} - \sigma_{zm}) S_{zm}$$

З урахуванням того, що в рівноважних умовах за правилом Неймана $\sigma_{pm} - \sigma_{zm} = -\sigma_{zp} \cos \Theta$, отримуємо:

$$E_1 - E_2 = \sigma_{zp} (S_{zp} - S'_{zp}) - \sigma_{zp} \cos \Theta S_{zm}.$$

Після ділення цього рівняння на S_{zm} і позначення $(E_1 - E_2) / S_{zm} = \Phi$ знайдемо показник флотованості:

$$\Phi = \sigma_{zp} \{ [(S_{zp} - S'_{zp}) / S_{zm}] - \cos \Theta \}. \quad (4)$$

Показник флотованості характеризує зміну поверхневої енергії системи при елементарному акті флотації, віднесена до одиниці площі контакту газ – тверде. Система перейде із стану I у стан II тільки при умові, що $\Phi > 0$ (тобто $E_1 > E_2$). Чим більше значення Φ , тим імовірніше закріплення частинки на поверхні розділу рідина – газ та її флотація.

Показник флотованості при закріпленні на бульбашках мінеральних частинок, розміри яких малі у порівнянні з розмірами бульбашок (спостерігається звичайно при пінній флотації), тобто при малій деформації бульбашок, коли можна прийняти, що $(S_{zp} - S'_{zp}) / S_{zm} \approx 1$, буде:

$$\Phi = \sigma_{zp} (1 - \cos \Theta). \quad (5)$$

Різниця у значеннях крайового кута і показника флотованості може привести до різного положення частинки на поверхні розділу фаз (рис. 1): стан II системи відповідає так званій "мокрій" флотації, стан III системи відповідає – "сухий" флотації. Розрізняються вони між собою значеннями поверхневої енергії бокових граней частинки (площею S_{δ}):

$$E_1 - E_2 = \sigma_{pm} S_{\delta} - \sigma_{zm} S_{\delta} = S_{\delta} (\sigma_{pm} - \sigma_{zm}).$$

З урахуванням того, що у рівноважних умовах за правилом Неймана $\sigma_{pm} - \sigma_{zm} = -\sigma_{zp} \cos \Theta$, отримуємо:

$$E_1 - E_2 = -S_{\delta} \sigma_{zp} \cos \Theta. \quad (6)$$

Якщо крайовий кут гострий ($0^\circ < \Theta < 90^\circ$), то відповідно з рівнянням (6) $E_1 - E_2 < 0$ і $E_1 < E_2$, тобто перехід системи із стану II у стан III неможливий, можлива тільки "мокра" флотація. При тупому крайовому куті ($90^\circ < \Theta < 180^\circ$) відповідно $E_1 - E_2 > 0$ і $E_1 > E_2$, тому система самовільно перейде із стану II у стан III і частинка займе положення "сухої" флотації.

Тепер, після встановлення теоретичних умов реалізації "микрої" та "сухої" флотації, що відповідає загальноприйнятим уявленням про флотацію [1-4], проаналізуємо практичну сторону питання, виходячи з реальних властивостей поверхонь флотованих матеріалів та можливих флотореагентів-збирачів. Для цього залучимо як відомі дані зі змочуваності мінеральної сировини, так і наші експериментальні дані, отримані на приладі Ребіндера (рис. 2).

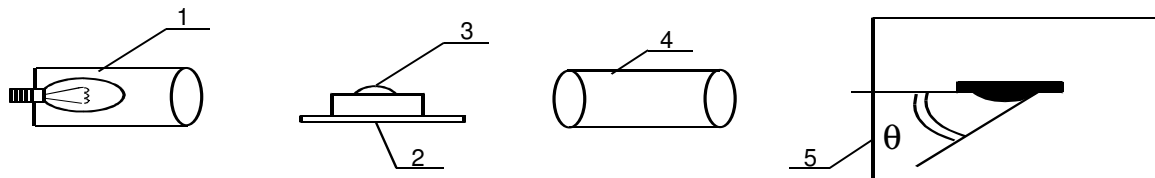


Рис. 2. Прилад Ребіндера для визначення крайового кута змочування:
1 – джерело світла; 2 – стіл; 3 – шліф з краплею; 4 – конденсор; 5 – екран

За даними [4, 5], значення крайових кутів змочування для різних марок вугілля і супутніх порід сильно різняться (табл. 1) і знаходяться в межах від 90° (коксівне вугілля) до $0-10^\circ$ (вмісна порода – глинистий сланець).

Таблиця 1

Крайові кути змочування для різних марок вугілля і супутніх порід		
Марка вугілля і тип породи	Позначення	Крайовий кут змочування, град
Коксівне	К	90-86
Жирне	Ж	85-83
Піснувате спікливе	ПС	82-79
Пісне	П	75-71
Газове	Г	72-65
Довгополуменеве	Д	63-60
Антрацит	А	73
Вуглистий сланець	-	43
Глинистий сланець	-	0-10

Флотація

За даними [3] і нашими експериментальними дослідженнями крайові кути змочування водою поверхні з плівкою речовин – можливих гідрофобізаторів (збирачів) представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Крайові кути змочування водою поверхні з плівкою речовин		
Радикал	Формула радикалу	Величина крайового кута змочування, яка досягається, град
Гас		54
Метил	CH ₃	50
Етил	CH ₃ CH ₂	60
н-Пропіл	CH ₃ (CH ₂) ₂	68
н-Бутил	CH ₃ (CH ₂) ₃	74
Ізобутил	CH ₃ (CH ₂) ₃	78
Ізоаміл	CH ₃ (CH ₂) ₄	86
Цетил	CH ₃ (CH ₂) ₁₆	96
Бензил	C ₆ H ₅ -CH ₂	72
Циклогексил	C ₆ H ₁₁	75
ААР		27
Дизельне паливо		40

За даними [2] крайові кути змочування водою поверхні окремих мінералів, що можуть збагачуватися флотацією, при дії на них ксантогенатів представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Збирач	Крайові кути змочування мінералів при дії ксантогенатів				
	Крайовий кут змочування, град				
	галеніт	халькопірит	борніт	пірит	сфалерит
Нормальний бутилк-сантогенат	74	76	73	74	74
Ізобутилксантогенат	77	78	78	78	79
Етилксантогенат	59	60	60	60	61
Ізопропилксантогенат	68	69	68	67	69

Для необроблених реагентом мінералів крайові кути змочування водою складають: кварц – 0°, малахіт – 17°, галеніт – 47°, графіт – 55-60°, тальк – 69°, сірка – 78°. Для порівняння, парафін – 106°.

Аналіз наявного експериментального матеріалу (який, звичайно, може бути суттєво розширений), показує, що досягнення стану $90^\circ < \Theta < 180^\circ$ і відповідно $E_1 - E_2 > 0$ і $E_1 > E_2$, коли флотаційна система "бульбашка повітря – мінеральне зерно" самовільно перейде із стану II у стан III і частинка займе положення "сухої" флотації, зустрічається досить рідко. Такі умови, і відповідно структура утвореного флотоагрегата, що відповідає стану III (рис. 1) може мати місце для коксівного вугілля, у випадку застосування гідрофобізатора цетилю. У всіх інших випадках крайовий кут змочування водою мінералів і мінералів об-

роблених гідрофобізаторами менше 90° , що чітко вказує на утворення структур, що відповідають стану II.

Висновки

Проведений аналіз умов реалізації "м мокрої" і "сухої" флотації вугілля і руд показує, що "мокра" флотація переважає у більшості випадків. "Суха", флотація має підвищену імовірність, зокрема, для коксівного вугілля. У цьому випадку утворюється характерна структура флотоагрегатів з вугільним зерном всередині повітряної бульбашки. Такі флотоагрегати мають підвищену стійкість і, відповідно, "довговічність".

Список літератури

1. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1984. – 383 с.
2. Глембоцкий В.А. Физико-химия флотационных процессов. – М.: Недра, 1972. – 392 с.
3. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотація. – М.: Недра, 1973. – 384 с.
4. Классен В.И. Флотація углей. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 380 с.
5. Основи хімії і фізики горючих копалин / В.І. Саранчук, М.О. Ільяшов, В.В. Ошовський та ін. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – 640 с.

© Білецький В.С., Смирнов В.О., Голіков О.С., 2014

Надійшла до редколегії 10.02.2014 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.І. Назимко