

Тема: ФЛОТАЦІЯ

Сутність процесу флотації і галузі використання

Флотація – процес збагачення, який базується на відмінностях у різних поверхневих фізико-хімічних властивостях мінералів, що обумовлює здатність деяких мінералів до закріплення на поверхні розділу рідина – газ.

Здатність мінеральних зерен закріплюватися на поверхні розділу рідина – газ залежить у першу чергу від змочуваності їх поверхні водою.

Змочуваність – явище взаємодії поверхні мінеральних частинок з молекулами води під впливом неврівноважених сил молекулярного притягання на поверхні мінеральної частинки. Змочуваність залежить від величини вільної поверхневої енергії частинки. При великому запасі вільної поверхневої енергії поверхня частинки добре змочується водою, при малому – погано. За змочуваністю водою поверхні твердих тіл класифікують на незмочувані – *гідрофобні* і добре змочувані водою – *гідрофільні*.

Відомо декілька способів флотації: масляна, плівкова і пінна. Крім того, існує пінна сепарація та збагачення флотогравітаційними процесами.

Масляна флотація полягає у вибіркового прилипанні гідрофобних частинок до крапель масла, яке подають у пульпу. Комплекси «мінерал-масло», які при цьому утворюються, спливають на поверхню пульпи, оскільки густина цих комплексів менше густини води. На поверхні пульпи ці комплекси утворюють шар пінного продукту. Не змочувані маслами частинки залишаються у пульпі у завислому стані – це камерний продукт. Але процес масляної флотації не знайшов широкого застосування в практиці збагачення через значні втрати дорогого масла. Розвиток цього процесу призвів до створення процесів селективної *масляної грануляції*

(агломерації) гідрофобних мінералів, зокрема вугілля.

Плівкова флотація – процес розділення мінералів на поверхні води в залежності від змочуваності тонкоподрібнених частинок, що обережно подаються на поверхню води. Тонка плівка, утворена на поверхні води за допомогою флотаційних реагентів, утримує природно гідрофобні частинки. А гідрофільні – тонуть. Самостійного значення процес плівкової флотації не має, він застосовується рідко, в основному в процесі флотогравітаційної доводки олов'яних і вольфрамових концентратів.

Пінна флотація – найбільш поширений різновид флотації. Пінна флотація оснований на здатності погано змочуваних водою мінеральних частинок (гідрофобних) прилипати до бульбашок повітря, які виникають при аерації пульпи. Комплекси «мінерал-повітря» спливають на поверхню пульпи, утворюючи пінний продукт. Змочувані водою мінеральні частинки залишаються завислими у пульпі і утворюють камерний продукт. Для підсилення різниці в змочуваності мінеральних частинок пульпа обробляється спеціальними флотаційними реагентами.

Пінна сепарація – процес розділення мінеральних частинок за їх змочуваністю при проходженні зверху вниз крізь шар рухомої піни, яка утворюється на поверхні аерованої рідини. Гідрофобні частинки концентруються у верхніх шарах піни, а гідрофільні вимиваються з піни потоком рідини, яка подається з потоком живлення на піну зверху. В піні створюються умови протитечійного руху частинок і бульбашок, що інтенсифікує процес розділення. Пінна сепарація має багато переваг у порівнянні з флотацією (менші тривалість, енерго- та металомісткість, більша крупність флотованих частинок), але широкого розповсюдження вона не одержала.

Флотогравітація – комбінований процес збагачення, який поєднує флотацію і гравітацію. Флотогравітація здійснюється на апаратах для гравітаційного збагачення (концентраційних столах, гвинтових

сепараторах, відсаджувальних машинах та інших), в яких, завдяки обробці флотаційними реагентами і введенню до пульпи бульбашок повітря, утворюються аерофлокули певних мінералів, що мають меншу густину, ніж частинки, які не взаємодіють з повітряними бульбашками. Відмінність у густині, яка створюється при цьому, сприяє більш ефективному розділенню мінералів, ніж при звичайному гравітаційному збагаченні. В промисловості флото-гравітацію використовують в основному для виділення сульфідних мінералів з гравітаційних олов'яних і вольфрамових концентратів.

Фізико-хімічні основи флотації

Флотаційна пульпа являє собою багатофазну систему. Вона складається з твердої «Т» фази (дрібні мінеральні частинки), рідкої «Р» фази (вода) і газоподібної «Г» фази (бульбашки повітря). Результати флотаційного збагачення залежать від властивостей і структури фаз.

Всі речовини, що входять до складу рідкої фази пульпи, і речовини мінеральних комплексів залежно від властивостей і структури молекул поділяють на аполярні (неполярні), полярні і гетерополярні.

Аполярні речовини – сполуки, в молекулах яких електричні центри позитивних і негативних зарядів збігаються, тому кінці молекул нейтральні. До аполярних речовин належить багато органічних рідин з симетричною будовою молекул (напр., насичені вуглеводні) і тверді речовини з насиченими ковалентними зв'язками. Аполярні речовини у воді не розчинюються, хімічно малоактивні і гідрофобні.

Полярні речовини – сполуки, в молекулах яких електричні центри позитивних і негативних зарядів не збігаються: один кінець молекули несе позитивний заряд, другий – негативний. Полярні речовини хімічно активні і при розчині у воді дисоціюють на йони. До полярних речовин

належать неорганічні кислоти і їх солі, вода та ряд природних мінералів. Тверді полярні речовини гідрофільні.

Гетерополярні речовини – сполуки, молекули яких складаються з полярних і неполярних груп атомів, вони володіють одночасно властивостями полярних і неполярних сполук. Полярні кінці молекул гідрофільні і змочуються водою, а неполярні – гідрофобні і не змочуються водою. До гетерополярних речовин належить багато флотаційних реагентів. У флотаційної пульпи гетерополярні речовини адсорбуються на межі розділу фаз і створюють точно орієнтований шар. Орієнтація молекул залежить від полярності фаз: аполярний кінець гетерополярної молекули завжди спрямований у бік менш полярної фази.

Процес флотації здійснюється у результаті так званого *елементарного акту флотації* (прилипання мінеральних частинок до бульбашок повітря). В основі елементарного акту флотації лежать фізико-хімічні явища, що протікають на межі розділу трьох фаз – твердої, рідкої і газоподібної. Найбільш важливі з них – змочуваність поверхні твердої фази і зміна її властивостей при сорбції флотореагентів.

Флотованість мінералів пояснюється на основі теорії гідратних шарів. Гідратний шар складається з упорядкованих диполів води, які знаходяться на межі розділу двох фаз. При великій товщині гідратного шару поверхня мінералу – *гідрофільна* (змочується водою), при малій – *гідрофобна* (не змочується водою). У дійсності для реального мінералу має місце гідрофільно-гідрофобна мозаїчність поверхні. Кількісною оцінкою змочуваності служить *крайовий кут змочуваності*, який утворюється дотичною до поверхні краплі (або бульбашки повітря) і поверхнею мінералу (рис. 1).

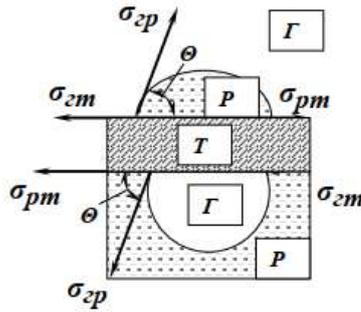


Рис. 1 – Схема сил поверхневого натягу на межі розділу трьох фаз.

Величина крайового кута змочуваності Θ змінюється від 0 до 180°. Крайовий кут змочуваності залежить від сил поверхневого натягу на поверхні розділу фаз. Лінія, по якій поверхня розділу «газ-рідина» стикається з поверхнею твердого тіла, називається периметром змочування. Розтікання краплі води по поверхні мінералу припиниться при зрівноваженні сил поверхневого натягу:

$$-\sigma_{гт} + \sigma_{рт} + \sigma_{гп} \cdot \cos \Theta = 0$$

звідки

$$\cos \Theta = (\sigma_{гт} - \sigma_{рт}) / \sigma_{гп}$$

де $\sigma_{гт}, \sigma_{рт}, \sigma_{гп}$ - поверхневий натяг на межі розділу фаз «газ – тверде», «рідина – тверде» і «газ – рідина», Н/м.

Менші значення крайового кута змочування відповідають гідрофільним поверхням, які добре змочуються водою. Навпаки, гідрофобним частинкам, на поверхні яких молекули води утримуються неміцно, відповідають більші значення крайового кута змочування. З поверхні гідрофобних частинок повітря легко витискує воду, а з поверхні гідрофільних частинок вода легко витискує повітря.

Таким чином, сила прилипання залежить від ступеня гідрофобності поверхні частинки, величини бульбашки і густини пульпи. Сила прилипання частинки до бульбашки повітря описується рівнянням:

$$F = W\Delta_n g + \frac{\pi d^2}{4} \cdot \left(\frac{2\sigma_{зр}}{R} - H\Delta_n g \right), \text{ Н,}$$

де W – об'єм бульбашки, м³; Δ_n – густина пульпи, кг/м³; g –

прискорення вільного падіння, m/s^2 ; d – діаметр периметру злипання повітряної бульбашки з твердою поверхнею, м; σ_{sp} – поверхневий натяг на межі повітря–вода, Н/м; R – радіус верхньої ділянки повітряної бульбашки, м; H – висота бульбашки, м.

Зміна змочуваності при флотації здійснюється введенням у пульпу флотаційних реагентів. Флотаційні реагенти впливають на гідратні шари і змінюють їх товщину та стійкість. Тому підготовка мінеральної поверхні до флотації зводиться до подачі визначених реагентів-збирачів, що приводить до різкого збільшення відмінності гідрофобності флотованих частинок і гідрофільності нефлотованих.

Велике значення для успішної флотації мінеральних частинок має *аерація пульпи* – насичення її повітряними бульбашками. Аерація пульпи здійснюється безпосереднім введенням в нею повітря і виділенням газів на поверхні твердих частинок. Повітряні бульбашки при флотації мають розмір від 0,05 до 1 мм.

Завершальною фазою флотаційного процесу після утворення і зміцнення комплексу «мінеральна частинка – повітряна бульбашка» є утворення мінералізованої піни. Мінералізована піна утворюється завдяки спливанню і накопиченню флотаційних комплексів на поверхні пульпи. Для формування дрібних повітряних бульбашок, а також для попередження їх коалесценції (злипання) в об'ємі пульпи вводять поверхнево-активні реагенти – спінювачі, молекули яких адсорбуються на межі розділу «газ – рідина» і зменшують на неї поверхневий натяг.

Таким чином, процес флотації включає адсорбцію реагентів на границі розділу «рідина – тверде» і «газ – рідина», прилипання частинок до повітряних бульбашок і утворення мінералізованої піни.