УДК 622.794

М.Т.Анісімов, канд. тех. наук

Теорія флотації. Визначення площі злипання між пухирцем та мінеральною часткою

На основі суті фізичної взаємодії і значення крайового кута змочування представлено основу визначення площини контакту між краплиною рідини і поверхнею мінеральної частки, а також між повітряною кулькою і поверхнею мінеральної частки.

Ключові слова: флотація, крайовий кут змочування, площина злипання.

На основании сущности физического взаимодействия и значения краевого угла смачивания разработана основа определения площади контакта между каплей воды и поверхностью минеральной частицы, а также между воздушным пузырьком и поверхностью минеральной частицы.

Ключевые слова: флотация, краевой угол смачивания, воздушный пузырек, площадь прилипания.

Процес флотації заснований на використанні такого явища, як здатності поверхні частинок корисного мінералу змочуватись або не змочуватись водою, або інакше взаємодіяти або не взаємодіяти з повітрям. У якості міри, вказаної здатності використовують «крайовий кут змочування». Слід зауважити, що вказана міра – крайовий кут змочування є не визначеною формально стосовно того, щоб виконати розрахунки по визначенню сили злипання частки і повітряного пухирця, або частки і води, в якій процес флотації відбувається. Тому вказаний параметр у практичних розрахунках не використовується, безумовно, і в практичній роботі.

У даному разі здійснюється формалізація, тобто математичне представлення процесу, з використанням значення крайового кута змочування, використавши наступну модель та припущення.

Вважаємо кут змочування фізичною мірою і розглянемо процес взаємодії поверхні мінералу, води і повітря.

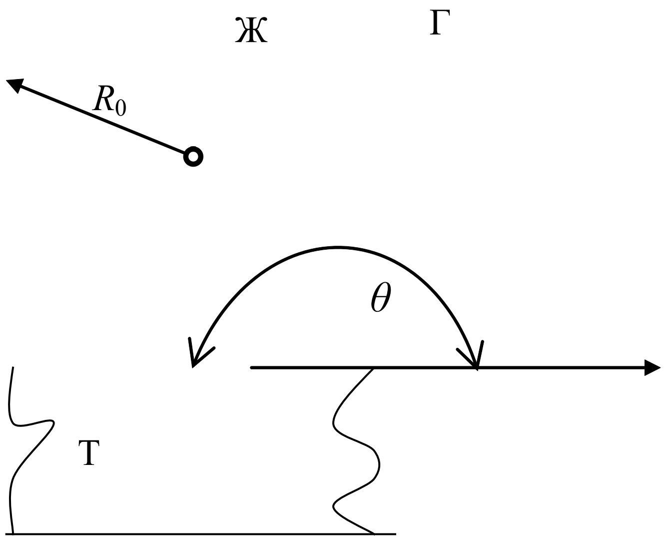
Візьмемо частку рідини такої величини з радіусом R_0, щоб вона мала форму правильної кульки. Це означає, що сили взаємодії між молекулами води більші або однакові із силою, що обумовлена масою води у кульці відносно певного вертикального положення. Якщо таку краплю води покласти на не змочувану поверхню, і якщо між краплею води і площиною поверхні відсутні сили взаємодії, то вона форму не змінить, крайовий кут при цьому буде дорівнювати 180^0, а площину їх контакту можна представити точкою.

Правомірно припустити, що внутрішні сили взаємодії між частками води і поверхні мінеральної частинки, тобто фактору змочування, однакові. При зміні - зменшені величини змочування кулька рідини змінить форму, а її контакт з поверхнею частинки буде мати форму певної площини. При цьому маса рідини в кульці залишається незмінною, змінюється форма кульки. Такий стан дозволяє представити нову форму води у формі умовної кулі з радіусом R_i одна із частин якої представлена водою, тобто реальною формою води і друга умовною – пустою, причому пуста частина має форму сегменту, при цьому крайовий кут буде мати певну величину. Таким чином, задача зводиться до визначення радіуса нової форми кульки за використанням конкретного значення крайового кута змочування. Визначивши радіус форми за умови збереження маси краплі представляється можливим розрахувати параметри сегмента і, безумовно, площу закріплення краплі води на поверхні мінералу.

Математично наведена задача вирішується наступним чином.

Взаємодія для абсолютно не змочуваної поверхні мінералу і краплі води, що має форму кульки, показана на малюнку 1.

Максимальне значення кута змочування дорівнює θ_m $=180^0$, радіус R=R_0.

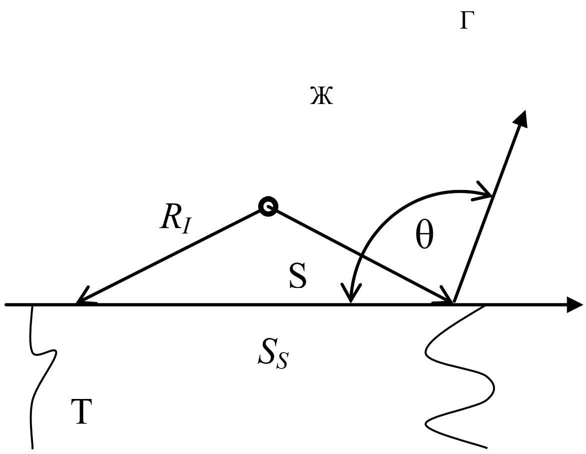


Мал. 1. Положення фаз у разі рівності взаємодії сил

Т – тверда фаза – мінерал; Г – повітряна фаза – повітря;

Ж – рідинна фаза - вода

При зменшенні незмочування, тобто, якщо $\theta < 180^0$, сила взаємодії між частками рідини у кульці стає меншою, ніж сила взаємодії рідини і твердої фази. Це призводить до того, що кулька змінює свою форму – деформується і виникає площа контакту між краплею води та мінералом. Умовимось, що площа контакту має форму кола. В кожній точці такого кола стикаються три фази: рідини, твердої речовини та повітря. Кожну з таких точок називають "точками контакту" – «периметром контакту», а сукупність точок - периметром змочування. З урахуванням незмінності маси краплі комплекс буде мати вигляд, показаний на малюнку 2.



Мал. 2 Взаємодія рідини і поверхні мінералу

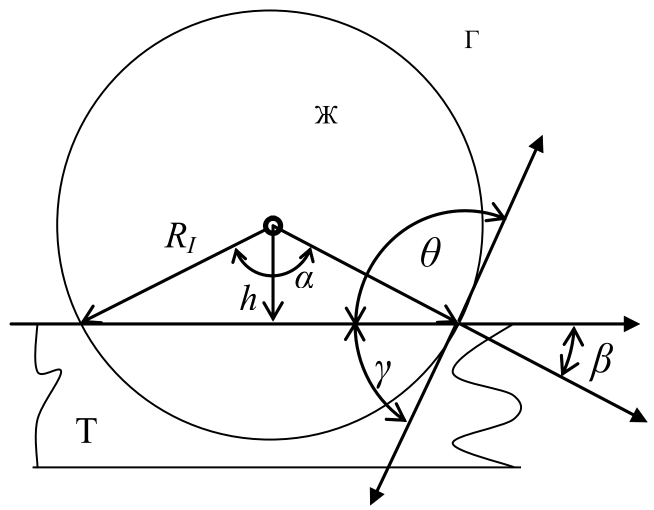
Т, Ж, Г – відповідно, тверда, рідинна та повітряна фази,

R_i – радіус умовної кульки, S – площа сектора, S_s – площа сегмента

У цьому разі при незмінній масі (об'ємі) кульки рідини іншим став радіус умовної кулі – кола R_i. Будемо розглядати не об'єм, а проекцію кулі. Площа проекції кулі складається з двох частин. Одна розміщується над мінералом і вона рівна площі проекції кульки при куті змочування меншому ніж 180^0 , а друга - в об'ємі мінералу. Слід уточнити, що кут змочування - це кут, який виникає між дотичною, проведеною з точки контакту до поверхні кульки рідини - води і площиною контакту між мінералом і рідиною.

Частина площі умовної кульки, що знаходиться в об'ємі мінералу, являється її сегментом. Таким чином, визначивши параметри сегменту, визначимо площу закріплення кульки на поверхні мінералу, за умови, що об'єм кульки над мінералом буде незмінним.

Для створеної системи – малюнок 2 введемо позначення, які показані на малюнку 3



Малюнок 3. Структура системи взаємодії флотаційних фаз та умовні позначення

θ – крайовий кут змочування, γ – кут між дотичною, проведеною з точки контакту до поверхні рідинної кульки і площиною твердої частки – мінералу, β – кут між контактною площиною поверхні мінералу і прямою, проведеною з центра умовної кульки через точку контакту, h – висота сектора, ι – половина основи сектора, R_1 – радіус умовної кульки, α – центральний кут сектора, Т – тверда фаза – мінерал, Г – повітряна фаза, Ж – рідинна фаза

З урахування позначень знайдемо площу сегмента умовного кола, яка розміщена нижче лінії контакту кульки і мінералу.

Для цього скористаємось формулою, що створена у відповідності до прийнятого припущення:

$$\pi \cdot R_i^2 - S_s = \pi \cdot R_0^2 , \qquad (1)$$

де S_s - площа сегмент, м^2. R_i – радіус умовного кола, м; R_0 – радіус кульки за умови $\theta = 180^0$, м;

Площа сегменту визначається:

, (2)

де - площа сектору, м^2; α_1 – центральній кут сегменту.

Підставивши (2) в (1), одержимо:

$$\pi \cdot R^2 - \frac{\pi \cdot R_i^2}{360^o} \cdot \alpha_1 + S_П = \pi \cdot R_0^2, \qquad (3)$$

З урахуванням прийнятих позначень, (малюнок 3), формула (3) перетвориться:

$$\pi \cdot R^2 - \left(\frac{\pi \cdot R_i^2}{360^o} \cdot \alpha_1 + h \cdot l \right) = \pi \cdot R_0^2, \qquad (4)$$

де $S = h \cdot l$.

За цією формулою визначається R_i , причому розрахунки виконуються за двох умов, а саме, якщо: 1) $\theta_{пч}$ <90^0 – у першій чверті , 2) $\theta_{дч}$ >90^0 – у другій чверті

Визначення R_i у першій чверті.

В останній формулі невідомими являються α_1, R_i, h, *ι.*

Комплекс у розрізі представляється умовним колом з радіусом R_i, в якому виділено сектор з центральним кутом α_1 , який створений прямими, проведеними з центра умовного кола до точок контакту з колом, та рівнобедрений трикутник, бокові сторони якого дорівнюють R_i і основою, що дорівнює діаметру площини контакту.

На малюнку проведена дотична до умовного кола через точку контакту. Відомо, що дотична до кола створює прямий кут між нею і радіусом, проведеним з центру до точки дотику. Відомим є кут змочування - θ_I.

Користуючись малюнком 3 центральній кут кола визначається таким чином. Спочатку визначаються кути біля основи трикутника. Від максимального $\theta_м$= 180^0 віднімається поточне значення θ_I, в результаті одержимо значення кута γ:

(5)

Кут γ разом з кутом β складають 90^0, за цієї умови визначимо кут β:

$$\beta = 90^0 - \gamma \tag{6}$$

За умови, що сума кутів трикутника дорівнює 180^0 одержимо формулу визначення центрального кута сектору умовної кульки:

$$\alpha_{1z} = (\theta_m - 2 \cdot (90^0 - (\theta_m - \theta_i))) \tag{7}$$

де θ_m – максимальний кут змочування, величина якого дорівнює 180^0 ; θ_I – поточне значення кута змочування.

Параметри трикутника сектора, виражені теоремами синуса та косинуса і R_i, також за позначеннями малюнка 3 будуть рівнятись.

Висота трикутника з основою на діаметрі площі контакту і вершиною у центрі кола визначається:

$$h = R_i \cdot \sin(90^0 - (\theta_m - \theta_i)), \tag{8}$$

В формулі (8) введемо позначення $\alpha_2 = \sin(90^0 - (\theta_m - \theta_i))$, за цієї умови, висота трикутника визначиться:

$$h = R_i \cdot \alpha_2 \tag{9}$$

Половина діаметра площі контакту – основа трикутника дорівнює:

$$l = R_i \cdot \cos \cdot (90^0 - (\theta_m - \theta_i)), \tag{10}$$

В формулі (10) позначимо $\alpha_3 = \cos(90 - (\theta_m - \theta_i))$, тоді основа трикутника визначиться:

$$l = R_i \cdot \alpha_3 \tag{11}$$

З урахуванням формул (4), (7), (9), (11) отримаємо вираз для визначення R_i:

$$R_i = \sqrt{\frac{\pi \cdot R_0^2}{\pi - \frac{\pi \cdot \alpha_1}{360^0} + \sin\alpha_2 \cdot \cos\alpha_3}} \tag{12}$$

Після визначення R_i за формулою розраховується радіус площі контакту і площина контакту:

Для другої четверті.

Центральний кут буде таким:

$$\alpha_{12z} = (\theta_m - 2 \cdot (90^0 - \theta_i)) \tag{13}$$

Висота трикутника з основою на діаметрі площі контакту і висотою у центрі кола визначиться:

$$h = R_i \cdot \sin(90^0 - \theta_i) \tag{14}$$

У формулі (14) позначимо $\alpha_{22z} = \sin(90^0 - \theta_i)$, тоді висота трикутника буде розраховуватись:

$$h = R_i \cdot \alpha_{22z} \tag{15}$$

Половина діаметра площі контакту – основа трикутника розраховується за формулою:

$$l = R_i \cdot \cos(90^0 - \theta_i) \tag{16}$$

У формулі (16) позначимо $\alpha_{32z} = \cos(90^0 - \theta_i)$, тоді можливо записати:

$$l = R_i \cdot \alpha_{32z} \tag{17}$$

З урахуванням формул (4), (13), (15), (17) отримаємо вираз для визначення R_i:

$$R_i = \sqrt{\frac{\pi \cdot R_0^2}{\frac{\pi \cdot \alpha_{2z1}}{360^0} - \sin\alpha_{22z} \cdot \cos\alpha_{32z}}} \tag{18}$$

Площина контакту розраховується за формулою (12)

Якщо розглядати систему відносно закріплення повітряного пухирця на поверхні мінералу, то розрахунок площі контакту слід виконувати таким чином. При цьому скористаємось малюнком 4 і прийнятими позначеннями.

Г

S□

Мал. 4. Закріплення повітряного пухирця на поверхні мінералу

θ – крайовий кут змочування, *γ* – кут між контактною площиною поверхні мінералу і прямою, проведеною з центру умовної кульки через точку контакту, *h* – висота сектора, *ι* – половина основи сектора, R_1 – радіус умовної кульки, *α* – центральний кут сектору, Т – тверда фаза – мінерал, Г – повітряна фаза, Ж – рідинна фаза

Для першої чверті.

Рівняння, що записане у відповідності до збереження маси, або площі проекції повітряного пухирця:

$$\pi \cdot R_i^2 - \frac{\pi \cdot R_i^2}{360^0} \cdot \beta_1 + h \cdot l = \pi \cdot R_0^2, \qquad (19)$$

де β_1 – центральній кут сегменту.

Скориставшись малюнком 4 величину центрального кута визначимо:

$$\beta_1 = (\theta_m - 2(\theta_i - 90^0)) \qquad (20)$$

Параметри сектора також за позначеннями малюнка 4 будуть рівнятись.

Висота трикутника з основою на діаметрі площі контакту і висотою у центрі кола розраховується:

$$\mathrm{h} = R_i \cdot \sin(\theta_i - 90^0)) \qquad (21)$$

В формулі (21) позначимо $\beta_{22z} = \sin(\theta_i - 90^0))$, тоді висота трикутника розрахується:

(22)

Половина діаметра площі контакту – основа трикутника:

$$l = R_i \cdot \cos(\theta_i - 90^0)), \tag{23}$$

Позначивши в формулі (23) $\beta_{32z} = \cos(\theta_i - 90^0))$, одержимо вираз для розрахунку основи трикутника:

$$l = R_i \cdot \beta_{32z} \tag{24}$$

З урахуванням формул (19), (20), (22), (24) отримаємо вираз для визначення R_i:

$$R_i = \sqrt{\frac{\pi \cdot R_0^2}{\frac{\pi \cdot \beta_{12z}}{360^0} + \sin\beta_{22z} \cdot \cos\beta_{32z}}} \tag{25}$$

Площина контакту розраховується за формулою (12)

Для другої чверті.

Рівняння, що записане у відповідності до збереження маси, або площі проекції повітряного пухирця:

$$\frac{\pi \cdot R_i^2}{360^0} \cdot \beta_{12z} - h \cdot l = \pi \cdot R_0^2, \tag{26}$$

де β_1 – центральній кут сегменту.

Скориставшись малюнком 4, величину центрального кута визначимо:

$$\beta_{12z} = (\theta_m - 2(\theta_i - 90^0)) \tag{27}$$

Параметри сектора також за позначеннями малюнка 4 будуть рівнятись.

Висота трикутника з основою на діаметрі площі контакту і висотою у центрі кола:

$$h = R_i \cdot \sin(\theta_i - 90^0) \tag{28}$$

В формулі (28) позначимо $\beta_{22z} = \sin(\theta_i - 90^0)$, тоді вираз запишеться:

$$h = R_i \cdot \beta_{22z} \tag{29}$$

Половина діаметра площі контакту – основа трикутника розрахується:

(30)

В формулі (30) позначимо , тоді вираз для розрахунку основи:

$$l = R_i \cdot \beta_{32} \tag{31}$$

З урахуванням формул (26), (27), (29), (31) отримаємо вираз для визначення R_i:

$$R_i = \sqrt{\frac{\pi \cdot R_0^2}{\frac{\pi \cdot \beta_{12z}}{360^0} - \sin\beta_{22z} \cdot \cos\beta_{32z}}} \tag{32}$$

Площина контакту розраховується за формулою (12)

Визначення величини площі контакту – закріплення, є необхідною умовою для розрахунку сили взаємного злипання між повітряним пухирцем та мінералом, а у подальшому і інших складових процесу флотації.