

ХИМИКО-МЕХАНИЧЕН МЕТОД ЗА РАЗРУШАВАНЕ НА ФЛОТАЦИОНИ ПЕНИ

Иван Нишков¹, Лъчезар Цоцорков², Милка Кръстева², Ирена Григорова¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, inichkov@mgu.bg

² Асарел-Медет АД, 4500 Панагюрище, България, pbox@asarel.com

РЕЗЮМЕ. Ефективността на флотационния процес при обогатяването на минерални суровини зависи от образуването на внимателно контролирана пяна. Стабилността на трифазната минерализирана пяна се обуславя от множество фактори, като природата на твърдите частици – размер, степен на хидрофобност, концентрация, състояние на агрегиране; вид и концентрация на пянообразувател; взаимодействие на пенообразувател и събирател, коалесценция на мехурчетата; дрениране на твърдите частици и др. Образуването на стабилна пяна при флотацията и нейното влияние върху обезводнителните процеси е проблем в много обогатителни фабрики, което води до загуба на време, ниско качество и добив на краен продукт и допълнителни разходи. Подобен проблем съществува в ОФ „Асарел“, „Асарел-Медет“ АД. Жилава и трудно разрушима пяна се образува на повърхността на съгъстителите, която влияе върху процеса на съгъстяване и получаването чисти сливни води. Изследвано е влиянието на повърхностно активни вещества и механично влияние за разрушаване на вредната пяна. Изучено е влиянието на сурфактантите върху омокрянето на медните минерали и повърхностното напрежение на границата течност/въздух. Разработен е химико-механичен метод за разрушаване на вредни трифазни пени.

CHEMICO-MECHANICAL METHOD FOR DESTRUCTION OF FLOTATION FROTHS

Ivan Nishkov¹, Lachezar Tsotsorkov², Milka Krasteva², Irena Grigorova¹

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski," 1700 Sofia, inichkov@mgu.bg

² Assarel-Medet AD, 4500 Panagyurishte, pbox@asarel.com

ABSTRACT. The effectiveness of froth flotation process for separation of mineral ores deepens on the establishment of carefully controlled froth. In three-phase mineralized froths, the stability is governed by a number of factors including the nature of the solid particles – the size, degree of hydrophobicity, concentration, state of aggregation; the type and concentration of frother, frother-collector interaction, bubble coalescence; the drainage of particles, etc. The froth and its stability, the entrainment and in flotation have been recognized as important factors, which affect recovery and grade. The formation of very stable froth in the flotation circuit and its influence on the dewatering processes is a problem that may occur in many plants, resulting in down-time, low quality and grade of final product and considerable expenses. A similar problem exists in Assarel concentrator, Assarel-Medet PLC. A resilient and difficult to break froth is formed on the top surface of the thickeners in Assarel concentrator which subsequently impedes the process of thickening and clear overflow obtaining. The role of surfactants addition and the mechanical treatment in the break-down of the flotation froth are investigated. Measurements of the copper minerals wettability and surface tension at the air/liquid interface were performed. Froth collapse chemico-mechanical method was developed.

Въведение

Флотационният процес на обогатяване на минералите, протичащ на границата на трите фази изцяло зависи от образуването на внимателно контролирана пяна. Контролът на стабилността на пяната е важен във всички приложения. Пяната е не-равновесна дисперсия на газови мехурчета в относително по-малък обем течност. Това е пяната, която освен въздух и вода съдържа и твърди частици, закрепени върху въздушните мехури, образуващи трифазна пяна. Размера на мехурчетата играе критична роля във флотацията на минералите, по-малките мехурчета водят до по-устойчиви трифазни пени. Мехурчетата с диаметър по-малък от 0,5 мм са безразборни в тяхната прилепваща сила и клонят към повишаване устойчивостта на пяната. Минералните частици, особено частиците на добре флотируемите минерали със средна едрина и шламове, бронират мехурчетата и значително повишават устойчивостта на

пяната. Върху устойчивостта на пяната влияе нейната структура, количеството твърда фаза, задържано в нея, количеството ламелна течност и скоростта на дренирането

й, повърхностно напрежение на междуфазовата повърхност, кинетиката на разрушаването й. От технологична гледна точка пяната не трябва да е много устойчива, защото устойчивите и трайни пени затрудняват следващите процеси (съгъстяване и филтрация).

Образуването на стабилна пяна при флотацията и нейното влияние върху обезводнителните процеси е проблем в много обогатителни фабрики, което води до загуба на време, ниско качество и добив на краен продукт и допълнителни разходи. Подобен проблем съществува и в ОФ „Асарел“, „Асарел-Медет“ АД, България. Образувана е жилава и трудно разрушима пяна на повърхността на съгъстителите във ОФ Асарел, която впоследствие възпрепятства процесът на съгъстяване и получаване на чист прелив.

Пяната в съгъстителите е сериозен проблем. Има много възможности за минимизиране на този проблем. Настоящото изследване има за задача да провери възможностите за премахване на вредната пяна, като са използвани два различни подхода – химичен и механичен.

Най-добре се регулират свойствата на флотационната пяна чрез промяна на физико-химичните условия във

флотационната система. Разрушаването на една пяна може да се ускори чрез прибавяне на повърхностно активни вещества, които изместват пеностабилизаторите от повърхностните адсорбционни слоеве, но сами не притежават пеностабилизиращи свойства. Добавянето на реагент в пулп-пенната система повишава и води до коалиценция на мехурчетата, подобрява омокрянето на минералните частици и намалява повърхностното напрежение на граничната повърхност въздух/течност.

Този доклад описва резултатите от експерименталната работа, целяща проучването на ролята на повърхностно активни вещества (ПАВ) и механичните устройства за разрушаването на вредните пени във ОФ "Асарел".

Експерименти

Материали

Въз основа на продължителни опробвания на цикъла на обезводняване във ОФ "Асарел", посочени в предишни доклади (Krasteva et al., 2007; Krasteva et al., 2008) бяха очертани два пътя за разрушаване на вредните пени – химичен и механичен.

За изучаване ролята на добавянето на реагенти в пулп-пенната система бяха използвани следните сурфактанти: Натриев алкил сурфонат ($C_{20}H_{37}O_7NaS$), с търговско наименование AERODRI 104 и Antispumin NPK.

Измерване на омокрящата способност на минералите

Омокрящата способност на минералите беше характеризирана главно чрез трифазния контактен ъгъл, използвайки микроскопска техника. Методът е описан в предишна статия (Krasteva et al., 2008). Бяха изследвани медните и пиритните минерали. Чисти минерални проби, бяха предварително обработени и потопени в разтвор на натриев изобутилов ксантогенат за 1 час, след което беше определен контактният ъгъл. След последващо третиране със сурфактантите Aerodri 104 и Antispumin NPK също за 1 час отново бе определен контактният ъгъл.

Измерване на повърхностното напрежение

Бяха измерени стойностите на повърхностното напрежение на водни разтвори съответно на Aerodri 104 и Antispumin NPK при различни концентрации (0,5% и 0,25%).

Тестове за разрушаване на пяната

Разрушаване на пяната с ПАВ

Опитите се проведоха в изследователска лаборатория при ОФ "Асарел". За целта беше използван еднолитров градуиран цилиндър. Пробата беше взета от последната пречистна операция на медна флотация, захранваща сгъстителя. Към пулп-пенната проба беше добавен реагент. Използван беше методът на разклащането. Пробата, беше хомогенизирана непосредствено след разклащането. Една минута след добавянето на сурфактанта и разклащането на пробата беше измерена височината на оставащата в цилиндъра пяна. Беше изследвано влиянието на сурфактанта в зависимост от разхода на реагент и степента на разрушаване на пяната.

Степента на разрушаване бе определена по следната формула:

$$E_{PII} = \frac{H_0 - H_1}{H_0}, (\%) \quad (1)$$

Където: H_0 – началната височина на пенния стълб в цилиндъра; H_1 – крайната височина на пенния стълб в цилиндъра.

Тестове за механично разрушаване на пяната

Механичното разрушаване на много устойчива пяна е един от пътищата за решаване на проблема. За провеждането на тестовете беше използвана лабораторна апаратура тип миксер и еднолитров мерителен градуиран цилиндър. Изследвана бе зависимостта между оборотите на двигателя на механичната бъркалка и степента на разрушаване на пяната.

Комбиниран метод

Беше тествана комбинацията от химично и механично третиране на пяната на концентрацията от последната пречистна флотация.

Първоначално към пробата в мерителния цилиндър се подава определено количество (0,5% разтвор) от съответните реагенти. Използва се методът на разклащането, след 1 минута се отчита оставащата височина на пяната. Същата проба се подлага на разрушаване с лабораторен миксер с постоянни обороти на двигателя - 950 min^{-1} , като към нея се добавя реагент с 0,25% концентрация на разтвора до разрушаване на пенния стълб и до образуване на „огледало“, т.е. до появяване на свободна повърхност. По този начин не се държи сметка за окръжаващите като пръстен свободната повърхност последни пенни мехурчета, които особено при по-стабилните пени, живеят най-дълго. В края отново след 1 минута се отчита височината на пяната и отново процентно се определя степента на разрушаване на пяната по формула (1). Лабораторният апарат за разрушаване на пяната е показан на фиг. 1.



Фиг. 1. Лабораторна апаратура за разрушаване на пяната:
1 – двигател с бъркалка; 2 – градуиран мерителен цилиндър

Резултати и дискусии

В предишни изследвания беше установено, че пяната, формирана на повърхността на сгъстителя е жилава, суха и трудна за разрушаване. Пяната изцяло покрива повърхността на сгъстителя. Резултатите от опробванията показаха, че сгъстеният продукт от сгъстителя има пониско съдържание на твърдо вещество, отколкото пяната

от повърхността на състителя. По-голямата част от фините частици ($\sim 40 \mu\text{m}$) са концентрирани в устойчивата пяна, образувана на повърхността на състителя. Съдържанието на мед е по-високо в пяната отколкото в концентрата от пречистна флотация, както и в състения продукт. Очевидно в състителя се осъществява процес на вторично набогатяване (Krasteva et al., 2007).

Влияние на сурфактанта върху омокращата способност на минералите

Данните от измерването на трифазния контактен ъгъл са показани в табл.1.

Таблица 1.

Измерване на контактния ъгъл

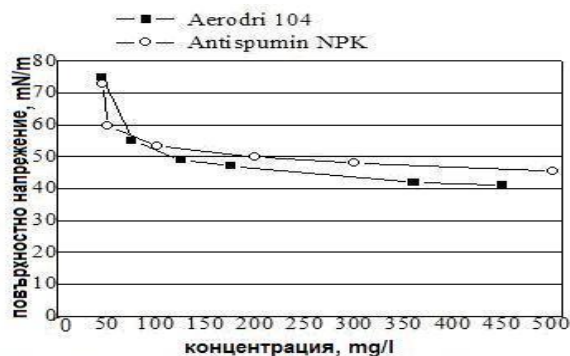
№	Минерал	Събирател	Aerodri 104	Antispumin NPK
1	Халкопирит	68°	0°	0°
2	Халкоцит	71°	0°	0°
3	Ковелин	69°	0°	0°
4	Пирит	75°	0°	0°

Средните стойности на контактния ъгъл на минералните проби след третирането с натриев изобутилов ксантогенат са около 70° . След третирането със сурфактант контактният ъгъл рязко намалява от 70° до 0° . Не се осъществява контакт с полираните повърхности на всеки един от изследваните минерали при третирането им със сурфактанти, което ясно показва, че и двата сурфактанта рязко променят степента на хидрофобност на минералите и ги правят хидрофилни.

Влияние на сурфактантите върху повърхностното напрежение

Разрушаването на пяната произхожда в резултат на протичането на следните процеси: изтичане на междуфилмовите течности, дифузия на газа между мехурите, разкъсване на тънките течни филми на пяната. Тези вещества понижавайки силно повърхностното напрежение, изместват пенообразувателя от междуфазовата граница течност-газ и снижават хидратираността на граничния слой течност. Вследствие на това пяната става неустойчива.

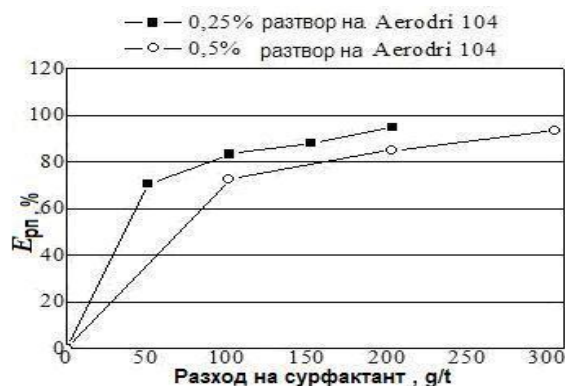
Фигура 2 илюстрира влиянието на разхода на сурфактант върху повърхностното напрежение на границата въздух/течност.



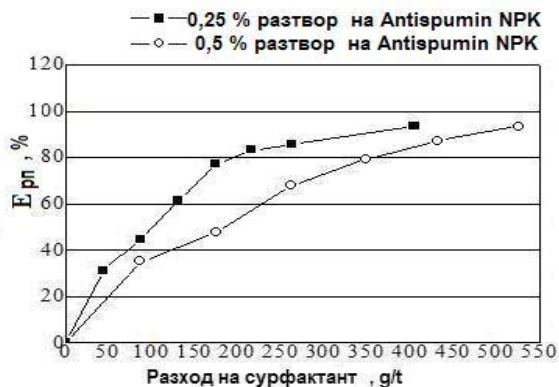
Фиг.2. Зависимост между повърхностното напрежение и концентрацията на сурфактанта

Тест за химично разрушаване на пяната

Бяха тествани реагентите Aerodri 104 и Antispumin NPK при различни концентрации на разтворите. Фигури 3 и 4 показват влиянието на разхода на реагент върху степента на разрушаване на пяната.



Фиг.3. Влияние на разхода на Aerodri 104 върху степента на разрушаване на пяната



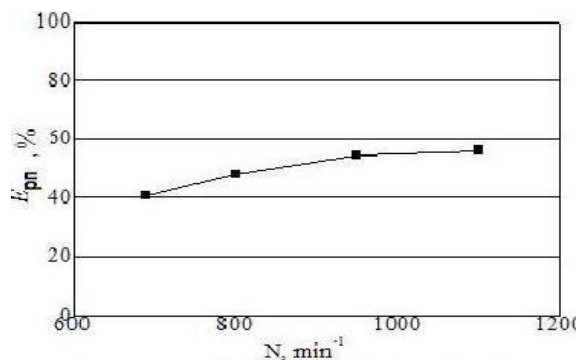
Фиг.4. Влияние на разхода на Antispumin NPK върху степента на разрушаване на пяната

Данните ясно показват, че и двата сурфактанта са силни повърхностни депресори. Близко до повърхността на пробата по-голямата част от ламелната течност беше дренирала, оставяйки пяна, състояща се от газови мехури, с приблизително еднакъв размер. И двата сурфактанта значително намаляват стабилността на пенния слой и го разрушават.

Установи се, че малко количество сурфактант има дестабилизиращ ефект и води до значително намаляване на пяната. Разход от 50 g/t допринася за 70% разрушаване на пяната (Фиг.3), а разход от 210 g/t допринася за 80% разрушаване на пяната (Фиг.4). Графиките ясно показват, че разтворите с по-малки концентрации разрушават пяната по-ефективно.

Тест за механично разрушаване на пяната

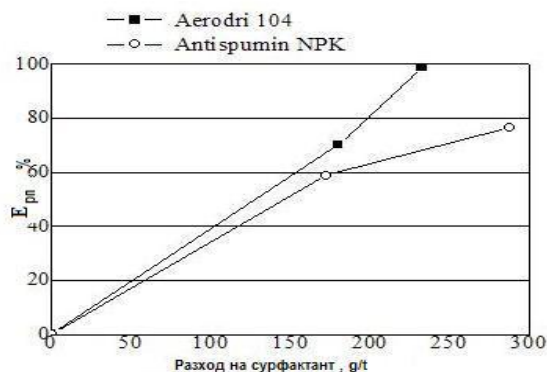
Резултатите от теста за механично разрушаване на пяната са показани на фиг.5 (лабораторен миксер). Тези резултати показват, че най-голяма ефективност за разрушаване на пяната се получава при максималния брой обороти на двигателя на миксера.



Фиг.5. Влияние на оборотите на двигателя на миксера върху степента на разрушаване на пяната

Комбинирани методи

Резултатите от теста са показани на Фиг. 6. Тя илюстрира резултатите, получени при разрушаването на свежа пяна със сурфактантите Aerodri 104 и Antispumin NPK, използвайки комбинация от химични и механични методи. Тези резултати ясно показват, че използването комбинацията от химични и механични методи повишава ефективността на разрушаване на пяната.



Фиг.6. Химико-механичен метод: Зависимост между разхода на сурфактантите Aerodri 104 и Antispumin NPK и степента на разрушаване на пяната

Изводи

В по-дълго съществуващите пени, газовата фракция е по-голяма и мехурите са наредени плътно прилепнали, здраво свързани, сбити и „бронирани“ от фини минерални частици.

На повърхността на съгъстителите в ОФ „Асарел“ се образува стълб жилава, суха и трудно разрушима пяна с постоянна дебелина, което определено затруднява процесите на обезводняване на медния концентрат.

Наблюдава се процес на вторично набогатяване. Фините и с голямо съдържание на мед частици се намират в пенния слой, покриващ изцяло съгъстителя, което от своя страна води до получаване на меден концентрат с по-ниско съдържание на мед. Резултатите от опробването потвърдиха, че фините минералните частици, достатъчно

Препоръчана за публикуване от катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, МТФ

дълго се задържат в пяната и много силно повишават нейната устойчивост.

За разрешаването на този проблем лабораторно бяха тествани сурфактантите Aerodri 104 и Antispumin NPK, както и разрушаването на пяната от последната пречистна операция по механичен и комбиниран начин. Сурфактантите променят омокращите свойства на медните минерали и ги правят хидрофилни. Те също така намаляват повърхностното напрежение на граничната повърхност въздух/течност, което води до разрушаване на пяната, а именно чрез разкъсване на течните ципи, при което се осъществява коалесценция на мехурчетата.

Малки количества сурфактант имат дестабилизиращ ефект върху пенната система и водят до значително намаляване на вредната пяна. Тестваните сурфактанти притежават висока ефективност на разрушаване, разход в малки количества и разрушаването се осъществява за кратко време. Комбинацията от химични и механични методи е изключително ефективен за разрушаването на пяната.

Литература

- Aldrich, C., D. Feng. 2000. The Effect of Frothers on Bubble Size Distributions in Flotation Pulp Phases and Surface Froths. *Minerals Engineering*, 13, № 10-1, 1049-1057.
- Ata, S., N. Ahmed, G. Jameson. 2003. A Study of bubble coalescence in flotation froths. *International Journal of Mineral Processing*, 72, 255-266.
- Egorova, M. 1967. Destruction of sulfur froths using sulfonate. *Chemical Industry*, 1, 52-55.
- Hadler, K., Z. Aktas, J. Cilliers. 2005. The Effects of Frother and Collector Distribution on Flotation Performance. *Minerals Engineering*, 18, 171-177.
- Klassen, V., V. Mokrousov. 1963. *An Introduction to the Theory of Flotation*. London, Butterworths.
- Krasteva, M., I. Nishkov, D. Nikolov (ed.G.Anastassakis). 2007. Reformance of the dewatering process in Assarel concentrator. *XII Balkan Mineral Processing Congress*, 317-322.
- Krasteva, M., L. Tzotzorkov, D. Nikolov, I. Grigorova, I. Nishkov (Ed. Wang Dian Zuo). 2008. Reagent-enhanced destruction of flotation froths. *XXIV International Mineral Processing Congress*, Vol. 2, 2116-2122.
- Livshits, V., S. Dudenkov. 1965. Some Factors in Flotation Froth Stability. - In: *N.Arbitr Proc. VII IMPC*, New York, 367-371.
- Lovel, M. 1976. Froth characteristics in phosphate flotation. - In: *Flotation*. AIME: New York, 597-621.
- Pugh, R. 2005. Experimental techniques for studying the structure of foams and froths. *Advances in Colloid and Science*. 114-115, 239-251.
- Ross, V. 1991. The Behavior of particles in Flotation Froths. *Minerals Engineering*, 4, № 7-11, 959-974.
- Ventura-Medina, E., N. Barbican, J. Cilliers. 2004. Solids loading and grade on mineral froth bubble lamellae. *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 74, 189 – 200.