

СРАВНИТЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ПО СМИЛАНЕ В ПРОМИШЛЕН ТИП БАРАБАННА МЕЛНИЦА НА СМИЛАЩИ СРЕДИ ОТ ТОПКИ И ОТ СФЕРОИДАЛНИ ТЕТРАЕДРИ

Д-р Л.Цоцорков, доц.Т.Пенчев, д-р П.Бодуров, проф.Л.Кузев

Абстракт

Експериментирана е нова работна среда за барабанни мелници, която е съставена от сфероидални тетраедри размер 80 mm. Те съответствуват на сферични работни тела Ф80 по маса.

Експерименталната работа е проведена по методика осигуряваща достоверни резултати. В нея е отчетено влиянието на различните параметри отразяващи технологичните и конструктивните параметри и качествата на смиланата суровина. По-важните от тях са:

- Запълване на мелницата с работна среда – 40 %;
- Равномерно захранване и подържане на постоянна производителност съобразена с каталожните данни на барабанната мелница;
- Суровината за смилане е реална медно-порфирна руда от находище Асарел отделена от потока захранващ мелниците в обогатителната фабрика;
- Плътността на пулпа в мелницата е над 70 %;
- Смилането е в отворен цикъл;
- Работните среди от топки и сфероидални тетраедри са от шамнован тип;
- Елементите в двете работни среди се различават по маса не повече от 2 %;

Проведени са две серии от по пет опита с двете работни среди. Освен непрекъснатият контрол на технологичните параметри са събрани представителни проби от захранващата мелницата руда и от изтичащият от гърловината на мелницата пулп. На всяка обобщена за изследването проба е извършен зърнометричен анализ. За всяка от работните среди резултатите са осреднени. Получените резултати са сравнявани по:

- Новообразуван клас – 0,08 mm, който е разликата между съдържанията му в изходната суровина и пулпа;
- Процентно съдържание на частици с едрина подходяща за флотация клас – 0,2 mm определян аналогично като разлика между съдържанията му в изходната суровина и пулпа;
- Степен на смилане, която се отчита по формула $S = D_{cp} / d_{cp}$, където

D_{cp} е среднопретегленият диаметър на частиците в захранващата мелницата руда с едрина + 0,2 mm;

d_{cp} е среднопретегленият диаметър на частиците в пулпа от мелницата с едрина + 0,2 mm;

Експерименталните данни показват, че при равни условия работната среда съставена от сфероидални тетраедри осигурява по-високи технологични показатели в процеса на смилане от работна среда съставена от топки. Новообразуваният разчетен клас – 0,08 mm средно е по-висок 2,32 %, а флотационният клас – 0,2 mm е по-висок с 5,868 %. Степента на смилане е по-висока с 2 единици /при смилане с топки е 10,1, а при смилане със сфероидални тетраедри тя е 12,1 /.

Тези положителни резултати са основание за разширяване на изследователската работа с цел оптимизиране на технологичните параметри и повишаване на ефективността на работна среда от сфероидални тетраедри.

Увод

Процесът на смилане в барабанни мелници с топки е бил предмет на изследване и моделиране в продължение на десетилетия, независимо от простотата на конструкцията и принципът на действие. Топките са традиционна работна среда при смилането в промишлени условия. Надали има неизследвани възможности, с които смилателна среда от топки да поднесат изненада или сериозно да повлияят върху технологичният процес на смилане.

На база сериозни и продължителни теоретични и лабораторни изследвания и на база промишленият опит натрупан при смилането на суровини с различни физико-механични качества е създадена сериозна научна база. Не подлежи на съмнение влиянието на много параметри при смилането. Влиянието им взаимно свързано и комплексно и самостоятелното им изследване е до голяма степен ограничено. Процесът смилане е съпроводен с голям разход на енергия. Той е необходим процес при минно-преработвателната дейност, производството на цимент и други. Ежегодно се смилат стотици милиони тона суровини, като разходът на енергия средно е 20 – 30 квтч/тон. Въпросът за намаляване на изразходваната енергия за смилането на тон суровина до едни и същи крайни показатели е постоянна задача. Тя има както икономически, така и екологични измерения.

Направленията, в които се работи по реализиране намаляване на разхода на енергия при наситняването са:

1. оптимизиране на общите разходи по наситняване включващи процесите пресяване, трошене, смилане и класификация;
2. създаване на нови конструкции машини: Grinding roll press, КИД и др.;
3. повишаване на ефективността на класификация;
4. автоматизиране на процесите на смилане и класификация и други.

Възможен вариант за намаляване на разхода на енергия при смилането в барабанни мелници е използването на нова форма на работните елементи съставлящи смилателната среда вместо традиционно използваните сферични работни тела /топки/. Такава форма е експериментираната от авторите на доклада. Формата на елемента от смилателната среда е близък до геометричната фигура сфероидален тетраедър. По-нататък в текста ще използваме термина "сфероидален тетраедър".

Теоретико икономически обосновка

През петдесетте години на миналия век Ферчайлд и Варнаке изказват предположение, че смилане с кубични работни тела ще бъде по-ефективно от смилането със сферични. По мнението им топките имат само точкови контакти помежду си, докато кубчетата освен точкови могат да имат и контакти в линия. Възможни са и контакти между повърхностите на кубичните работни елементи. Те предполагали, че при малка скорост на въртене на барабана /около 60 % от критичната скорост/ ще стане възможно да се ограничи пресмилането.

През 1954 г. Чък Норис публикува сравнителни резултати от смилане в няколко различни по габарити лабораторни модели барабанни мелници различни по форма работни елементи. Експериментирани са: топки, кубчета, цилиндри, дискове, кубчета с отрезани върхове, топки с шест плоски стени. Опитите са показали преимущества на топките изразяващи се в:

- минимален разход на енергия за единица смлян материал;
- минимално износване на работната среда.

Смилането в барабанните мелници става за сметка на енергията на удара при падане на мелещите тела. Тя трябва да е достатъчна за разрушаване на най-едрата частица от

смиления материал. При смилянето на по-дребните частици очевидно има излишък от енергия, а този излишък предизвиква пресмиляне на рудата.

Най-висока производителност и ефективност при смилянето, по отношение на новообразувана повърхност или контролиран разчетен клас, се регистрират при коефициент на запълване на мелницата с работна среда между 40 и 50 %.

Производителността и ефективността на барабанната мелница най-силно се влияят от:

- Конструктивни параметри на мелницата;
- Скорост на въртене на барабана / процент от критичната скорост/;
- Коефициент на запълване на барабана с работна среда;
- Маса на работен елемент от работната среда;
- Съотношение $T_v:T_e$ /плътност на пулпа/;
- Физико-механични свойства на смиления материал;
- Зърнометричен състав на смиления материал и други.

Ефективността на смиляне се определя като отношение на производителността на мелницата, при дадени условия на смиляне, към изразходваната енергия. Има проведени многобройни лабораторни изследвания и промишлени наблюдения, имащи за цел установяване на зависимост между вложената при смилянето енергия и полезната работа, която при финото смиляне се изразява чрез новообразуваната повърхност в единица обем. Установено е, че процентът на полезна работа при смилянето е нисък, като с намаляването на фиността още по-бързо намалява. Например при смиляне на апатитова руда са установени следните стойности за разход на електрическа енергия:

от максимална едрина 1 мм до едрина минус 0,2 мм – 8,5 квтч/тон

от максимална едрина 1 мм до едрина минус 0,15 мм – 12,5 квтч/тон

от максимална едрина 1 мм до едрина минус 0,1 мм – 23,5 квтч/тон

Отчитането на ефективността на смилянето става чрез определяне на разликите в ситовите характеристики на суровината преди и след процеса смиляне. От тях може да се определи новообразуваната повърхност, която е резултат на процеса на смилянето, при използването на формула /1/

$$q = \frac{Q(\beta - \alpha) \cdot 60}{V \cdot t}, \text{ където}$$

q – относителна производителност по новообразуван клас, $t/m^3 \cdot ч$

α – съдържание на разчетен клас в смиляната суровина, части от единица

β – съдържание на разчетен клас в смиляната суровина, части от единица

V – обем на мелницата, m^3

T – продължителност на смиляне, часа

Друг показател отчита ефективността на смилянето е степента на смиляне. Тя се пресмята по формула /2/. Това е отношение между средният размер на смиляния материал според класите от ситовия анализ и средният размер на същите класи от ситовия анализ в смиляния материал.

$$S = \frac{D_{av}}{d_{av}},$$

S – степен на смиляне

D_{av} – среден диаметър на материала за смиляне, мм

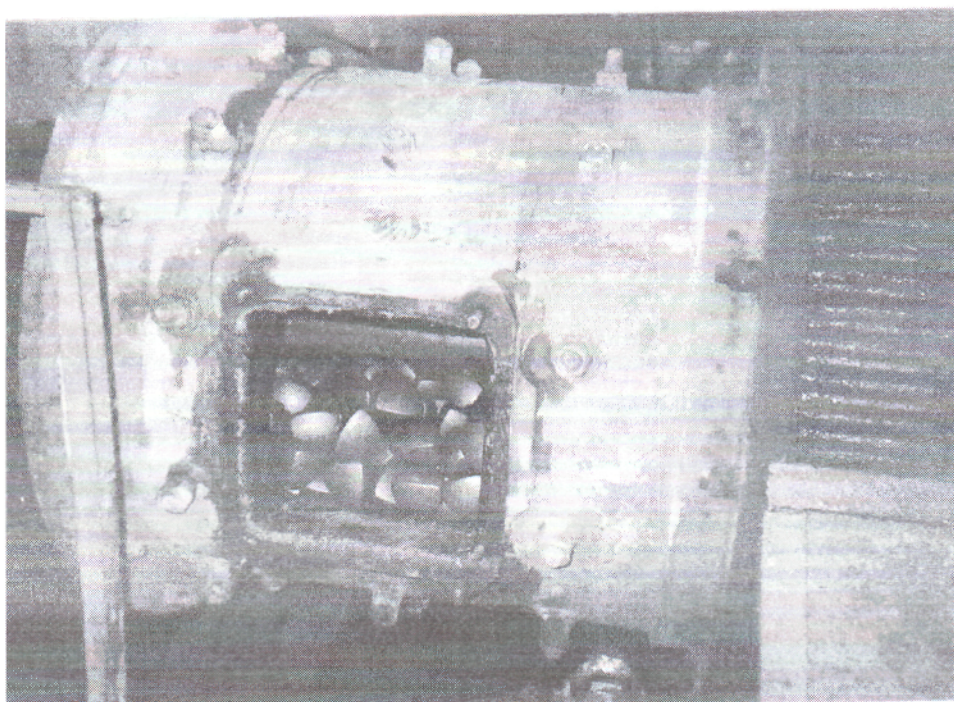
d_{av} – среден диаметър на смиляния материал, мм

Намаляването на разхода на енергия за процеса смиляне е от голяма важност за намаляване на себестойността на преработката на рудата в обогатителната фабрика. Този факт е много по-значим при обогатителни фабрики преработващи бедни на

полезни компоненти руди. Намаляването на големият разход на енергията при смилането с няколко процента ще подобри значително икономиката на преработка на рудите. Доколкото произведената енергия е за сметка на изгарянето на органични носители като нискокачествени въглища, газ, петролни продукти и други, то с намаляване на изразходваната при смилането енергия косвено ще се влияе върху намаляване на отделяните в атмосферата вредни и парникови газове.

Методика на изследване

Създадена е методика за провеждане на сравнителни експерименти с цел изследване влиянието на формата на елементите на две смилаци среди при смилане на една и съща суровина използвайки модел на барабанна мелница с размери на барабана 900x900 мм. /фиг.1/. Мелницата е серийно производство.



Фиг.1 Снимка на мелницата използвана за провеждане на сравнителните експерименти с отворен люк показващ вид на работна среда сфероидален тетраедър

Смилациите среди са представени от топки и сфероидални тетраедри.

За получаване на максимално точни и достоверни резултати въпреки стохастичния модел на смилане, са запазени непроменени влияещите върху процеса смилане параметри групирани в три групи:

- Параметри свързани със смиланата суровина: смилаетост /физико-механически характеристики/, минерален и зърнометричен състав на рудата;
- Параметри свързани с мелницата: габаритни размери на барабана, характер на облицовката, конструкция на мелницата;
- Параметри свързани с експлоатационните условия: открит или затворен цикъл на смилане; ефективност на класификацията, степен на запълване на мелницата с смилателна среда, обороти на въртене на мелницата /процент от критичната скорост на въртене/, количество на циркулационния товар; едрина или маса на смилателните елементи, Състав и повърхностна обработка на елементите на

смилащата среда, плътност при смилането представено като % твърдо в получавания пулп и други.

Методиката запазва постоянни всички параметри за двата вида работни среди с изключение форма на елементите на смилащата среда и процент на запълване на барабана със смилаща среда дължащо се на формата на елементите. Ще отбележим най-важните параметри:

- Последователно смилане в серии със смилаща среда топки и сфероидални тетраедри в една и съща мелница;
- Дозирано захранване с руда, съгласно каталижната производителност на мелницата, т/час;
- Поддържане плътността на пулпа постоянна 70 % твърдо;
- Запълване на мелницата със смилаща среда 40 %;
- Масата на смилащите среди е еднаква;
- Размер на топките ф80 мм;
- Топките и сфероидалния тетраедър изработени по метода на горещо пресоване от един производител от еднаква по състав стомана;
- Работа на мелницата в отворен цикъл /без класификация/;
- Отклонение в елементите на работните среди по маса до 2,0 % и по диаметър 3%;
- Руда за смилане 80 % под 10 мм при максимална едрина 16 мм;
- Смилането е с реална медно-порфирна руда от находище Асарел, България взета от транспортната лента на цех Дезинтеграция на обогатителна фабрика Асарел.

Преди провеждането на всяка от сериите опити с топки и със сфероидални тетраедри провеждаме нулев опит, при който се установява:

1. времето за достигане на равномерно разтоварване на смляната руда със съдържание на твърдо 70 %;
2. постоянно количество пулп за единица време;

При всяка смяна на смилащата среда мелницата се отваря и измива.

Контролираните в процеса на смилането параметри са:

- количество на подаваната руда за единица време;
- количество на добавяната вода за единица време;
- влага на рудата;
- температура на въздуха;
- зърнометричен състав на смиланата руда;
- зърнометричен състав на пулпа;
- текущ контрол в процеса на смилане чрез определяне на литровото тегло на пулпа;
- текущ контрол по съдържание на клас -0,08 мм в пулпа.

Пробите се вземат при всяко смилане през 15 минути след установяване на постоянен режим на работа. Единичните проби се обединяват в общи проби, на които се извършва ситов анализ през набор от сита, еднакъв за смиланата руда и получавания пулп.

Използвани са плетени сита с размер на отворите: 16,00 мм; 12,50 мм; 10,00 мм; 7,10 мм; 5,00 мм; 3,00 мм; 2,00 мм; 1,00 мм; 0,40 мм; 0,20 мм; 0,10 мм; 0,08 мм и 0,063 мм.

Получените резултати са обработени статистически и са получени осреднени стойности за всеки клас при смилане с смилаща среда топки и при смилане със смилаща среда сфероидални тетраедри за проведените серии. Всяка серия включва пет смилания.

Експериментални резултати

Получените при една от сериите експериментални резултати при една от сериите представяме в таблична или графична форма. На таблица 1 са дадени обобщените резултати за съдържанието на клас -0,2 мм в захранването на мелницата и в получавания след смилането пулп при използване на смилаща среда топки и смилаща среда сфероидални тетраедри. Частиците с такава едрина са подходящи за флотация.

Таблица 1

Опит №	Съдържание на клас -0,2 мм, %		
	Захранване Мелница	Пулп гърловина	Новообразувана повърхност
Смилаща среда СФЕРОИДАЛНИ ТЕТРАЕДРИ			
Опит 1	1,81	60,43	58,62
Опит 2	2,33	63,65	61,32
Опит 3	2,46	61,55	59,09
Опит 4	2,73	64,31	61,58
Опит 5	2,20	65,71	63,51
Средно	2,306	63,13	60,824
Смилаща среда ТОПКИ			
Опит 1	2,39	55,50	53,11
Опит 2	2,35	54,11	51,76
Опит 3	1,57	55,52	53,95
Опит 4	2,46	60,51	58,05
Опит 5	2,03	59,94	57,91
Средно	2,160	57,116	54,956

Новообразуваната повърхност при клас – 0,2 мм при смилаща среда сфероидален тетраедър е 5,868 % повече от получената средна стойност при смилане с топки. На таблица 2 са дадени обобщените резултати за клас -0,1мм

Таблица 2

Опит №	Съдържание на клас -0,1 мм, %		
	Захранване Мелница	Пулп гърловина	Новообразувана повърхност
Смилаща среда СФЕРОИДАЛНИ ТЕТРАЕДРИ			
Опит 1	1,54	45,80	44,26
Опит 2	2,08	47,68	45,60
Опит 3	2,18	46,65	44,47
Опит 4	2,43	48,49	46,06
Опит 5	1,99	49,30	47,31
Средно	2,044	47,584	45,54
Смилаща среда ТОПКИ			
Опит 1	2,06	42,31	40,25
Опит 2	2,06	41,44	39,38
Опит 3	1,40	42,85	41,45
Опит 4	2,17	45,16	42,99
Опит 5	1,77	44,45	42,68

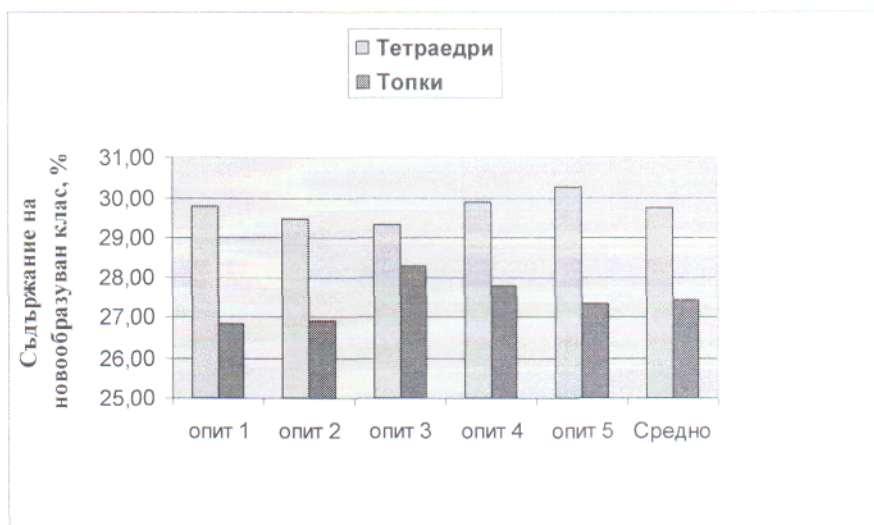
Средно	1,892	43,242	41,35
--------	-------	--------	-------

Новообразуваната повърхност при клас – 0,1 мм при смилаща среда сфероиден тетраедър е 4,19 % повече от получената средна стойност при смилане с топки. На таблица 3 са отразени осреднените опитни резултати за същата серия опити при клас -0,08 мм, а същите стойности са илюстрирани с диаграмата на фиг.2

Таблица 3

Опит №	Съдържание на клас -0,08 мм, %		
	Захранване Мелница	Пулп гърловина	Новообразувана повърхност
Смилаща среда СФЕРОИДАЛНИ ТЕТРАЕДРИ			
Опит 1	1,27	31,04	29,77
Опит 2	1,79	31,23	29,44
Опит 3	1,81	31,12	29,31
Опит 4	2,06	31,93	28,97
Опит 5	1,72	31,99	28,77
Средно	1,73	31,46	29,73
Смилаща среда ТОПКИ			
Опит 1	1,71	28,53	26,82
Опит 2	1,75	28,63	26,88
Опит 3	1,19	29,47	28,28
Опит 4	1,79	29,57	27,78
Опит 5	1,45	28,77	27,32
Средно	1,58	28,99	27,42

Нарастването средно на новообразуваната повърхност при клас – 0,08мм при ползване на смилаща среда сфероиден тетраедър е 2,32 %.



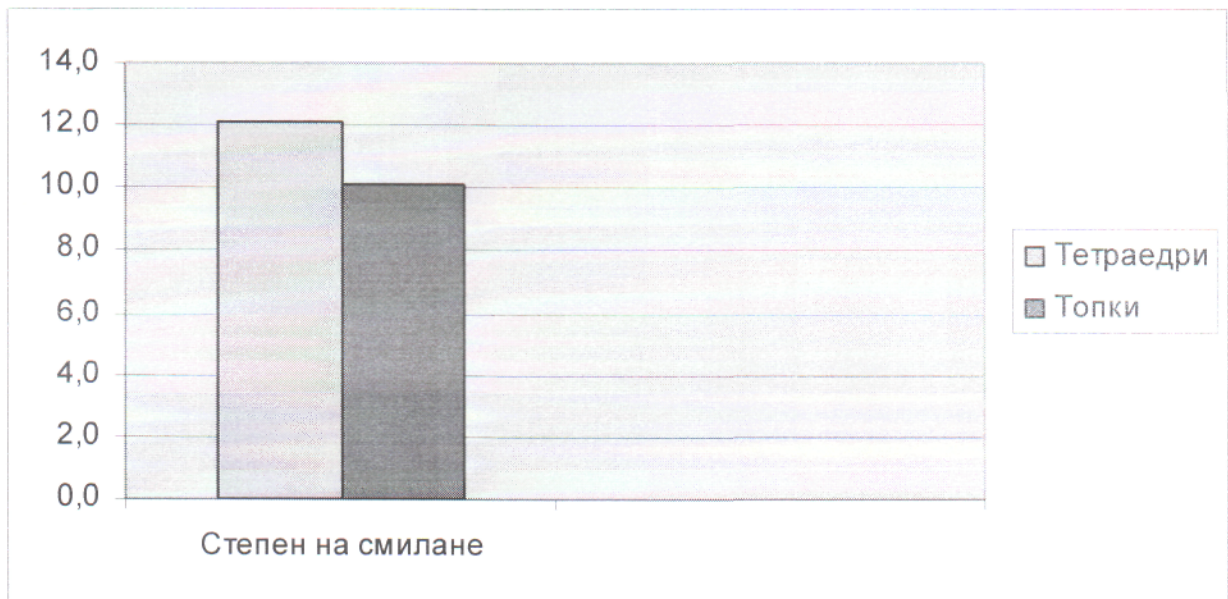
Фиг.2 Диаграма онагледяваща данните от таблица 3 за съдържание на разчетен клас - 0,08 мм при смилане с топки и сфероидални тетраедри.

На таблица 4 отразени осреднените опитни резултати за същата серия опити при клас - 0,063 мм.

Таблица 4

Опит №	Съдържание на клас -0,063 мм, %		
	Захранване Мелница	Пулп гърловина	Новообразувана повърхност
Смилаща среда СФЕРОИДАЛНИ ТЕТРАЕДРИ			
Опит 1	1,20	28,21	27,01
Опит 2	1,71	28,31	26,60
Опит 3	1,76	28,03	26,27
Опит 4	1,96	28,62	26,66
Опит 5	1,69	28,58	26,89
Средно	1,664	28,350	26,686
Смилаща среда ТОПКИ			
Опит 1	1,64	26,02	24,38
Опит 2	1,68	26,16	24,48
Опит 3	1,13	26,81	25,68
Опит 4	1,69	26,65	24,96
Опит 5	1,39	25,80	24,41
Средно	1,506	26,288	24,482

Нарастването средно на новообразуваната повърхност при клас – 0,063мм при ползване на смилаща среда сфероидален тетраедър е 1,904 %.



Фиг.3 Диаграма изразяваща степента на смилане при смилачи среди топки и сфероидални тетраедри

На фиг.3 е показана степента на смилане при смилача среда съставена от сфероидални тетраедри 12,1 и степента на смилане при смилача среда топки 10,1.Степента на смилане е определена по формула 2 и се отнася за клас +0,2 мм.

Дискусия

Новосъздадената смилача среда за барабанни мелници условно наречена „сфероидален тетраедър“ се произвежда и експериментира, в условия близки до промишлените съгласно методиката на експеримента, за първи път. Тъй като формата на сфероидалният тетраедър се различава от сферата не може да се приеме,че съществуващата теория за смилане и принцип на действие за сферична смилача среда /топки/ е оптимална и за сфероидалният тетраедър. Няма доказани оптимални интервали на параметрите влияещи при смилането със смилача среда от сфероидални тетраедри.

Сравнителните експерименти са проведени при запазване на:

- конструктивните параметри на мелницата /скорост на въртене, облицовка, начин за разтоварване/;
- Технологичните параметри в оптимален диапазон за смилане с топкова смилача среда / съотношение твърдо към течено в процеса на смилането/, маса на смилачата среда, маса на отделен елемент от смилачата среда;
- Качествен и количествен състав на подготвената за смилане в промишлени условия руда;

За да се избегнат различия по отношение на състав на метала, повърхностна обработка, начин на производство и други, смилачите среди топки и сфероидални тетраедри са произведени от един производител, от една марка стомана по метода на горещо пресоване. Масата на елементите от двете работни среди се различават до $\pm 2\%$. Проведени са две серии от по пет опита с двете смилачи среди. Тук представяме получените в една от сериите експериментални резултати, които са осреднени величини на база на ситовите характеристики съгласно методиката. Бяха установени няколко факта:

- Степента на смилане е определена като отношение между средният размер на рудата, захранваща мелницата по дадените в методиката размери на ситата и средният размер на пулпа по същите класи. Степента на смилане при смилане среда от сфероидални тетраедри е 12,1, а степента на смилане при смилане среда топки е 10,1 /фиг.3/

Смиланата среда сфероидален тетраедър осигурява по-висок процент готов за флотация пулп /едрина под 200 микрона/ средно с 5,868 % /таблица 1/;

- Влизащите в състава на клас минус 200 микрона, а именно клас минус 100 микрона, клас минус 80 микрона и клас минус 63 микрона, всяка от тях има по-висока стойност при смилане със смилане среда сфероидални тетраедри, като абсолютната стойност на новообразувания клас са съответно с 4,19%, 2,32 % и 1,904 %/таблица 2, таблица 3 и таблица 4/ Тези данни говорят за равномерно смилане без да се допуска пресмилане на рудата, което е съществено при флотационното обогатяване.
- Получените абсолютни стойности на технологичните резултати са по-високи от статистическата грешка. Няма проведен експеримент по смилане при използване на смилане среда сфероидален тетраедър с по-ниска ефективност от смилане със смилане среда топки.

От направените сравнителни изследвания и получените технологични резултати по отношение на новообразуван клас и степен на смилане има основания да се предполага, че в условия на водопаден режим на работа смиланите тела с форма на сфероидален тетраедър показват различия, които се дължат на формата на смиланото тяло. Различията са преди всичко в концентриране на енергията на удара: в точка, в линия и в повърхност или ударите най-често са:

- Връх с овална повърхнина;
- Ръб с овална повърхнина;
- Овална повърхнина с овална повърхнина.

По-малко вероятни са ударите:

- Връх с връх;
- Връх с ръб;
- Ръб с ръб.

Налице е ударно натоварване с различна интензивност.

Има съществено различие в коефициента на подреждане на двете смилане среди. Броят на сфероидалните тетраедри в единица обем е с 12 – 15 % повече от броя на топките със същият радиус.

Заклучение

Експериментираната нова форма на смиланите тела от сфероидални тетраедри за барабанни мелници, при равни други условия, осигурява по-висок процент новообразувана повърхност, с което се повишава производителността на барабанните мелници при запазване на количеството на изразходваната енергия. Намаляването на разхода на енергия при такъв високоенергиен процес като смилането в барабанни мелници с няколко процента ще доведе до добър икономически резултат. Очакваните положителни резултати при внедряването на новата смилане среда ще се проявят в икономически и екологичен план.

Икономически план

- Намалява се разходът на енергия за достигане на едно и също количество новообразувана повърхност при използване на смилане среда от сфероидални тетраедри;

- Очаква се реализиране на водопаден режим при по-нисък процент от критичната скорост на въртене на барабана, поради увеличаване на коефициента на триене между овалните части на сфероидалните тетраедри и облицовката на барабана, което ще донесе допълнителна икономия на енергия.
- Производителността на барабанната мелница при използване на смилеща среда от сфероидални тетраедри допълнително ще се увеличи от по-високата степен на смилане 10 до 15 % при затваряне на цикъла на смилане с класификация.

Екологичен план

- Намаляването на разходът на енергия при смилането ще се съпроводи с намаляване на количеството изгаряни горива, които за България са основният източник за производство на електроенергия, а паралелно с него ще се намалят изхвърляните в атмосферата серни съединения, азотни и въглеродни окиси и други.

Литература

1. Кармазин В.И., Е.Е. Серго и др. Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых. Изд. Недра, Москва, 1974.
2. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. Изд. Химия, Москва, 1968
3. Роже Гийс Проблема измельчения материалов и ее развитие. Изд. Литературы по строительству, Москва 1964
4. Crow W.L. Grinding ball rationing. Vol.9, 1957
5. Jain S.K. Ore processing. A.A. Balkema, Rotterdam, 1987