Determination of torsional load MPK drilling experimentally

The purpose of this work is an experimental study of the distribution of torque between the load bars MPS when the drilling operations. The article presents a developed and produced an experimental setup with special strain gauges and measuring unit.

The results of experimental studies with a load of the working body of the axis, and parallel to the axis of symmetry of the MPK which graphs of response surfaces. The research results suggest that these design parameters have different effects on the individual components of the power loads hexapod, including various structures, so their choice should be subject to comprehensive consideration of all components of the estimated movements and specific purpose of the machine.

By results of measurements when determining twisting loadings it is established that loading forces between couples from two bars it is distributed equally, and in the couple of a bar perceive loadings with a difference to 21% and have a different sign as one bar perceives deformations on stretching, and another - compression. The difference between various configurations of PKM makes 38 ÷ 45%.

machine, hexapod, PKM, machinetool MPK, machine of parallel structure

Одержано 22.02.16

УДК 681.5.015

В. О. Кондратець, проф., д-р техн. наук, А. М. Мацуй, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,
E-mail:matsuyan@mail.ru

Дослідження перемішування матеріалів у кульовому млині як багатовимірному керованому об’єкті

Встановлено, що осереднення твердого у кульовому млині відбувається достатньо швидко, практично за 34 с. Більш проблематичним є перемішування твердого з водою. Запропоновано воду у кульовий млин до необхідного розрідження пульпи подавати трьома потоками – на поверхню вихідної руди, у приймальний пристрій завиткового живильника до граничного розрідження пісків класифікатора та безпосередньо у горловину кульового млина, розбризкуючи її в широкій зоні завантаження.

кульовий млин, перемішування твердого, твердого і води

В. А. Кондратец, проф., д-р техн. наук, А. Н. Мацуй, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический університет, г. Кировоград, Украина

Исследование перемешивания материалов в шаровой мельнице как многомерном управляемом объекте

Установлено, что осреднение твердого в шаровой мельнице осуществляется достаточно быстро, практически за 34 с. Более проблематичным является перемешивание твердого с водой. Предложено воду в шаровую мельницу до необходимого разжижения пульпы подавать тремя потоками – на поверхность исходной руды, в приемное устройство улиткового питателя до граничного разжижения песков классификатора и непосредственно в горловину шаровой мельницы, разбрызгивая ее в широкой зоне загрузки.

шаровая мельница, перемешивание твердого, твердого и воды

Постановка проблеми. В Україні у сировині металургійної галузі понад 50% складає частка, отримана збагаченням бідних залізних руд, якою є магнетитові концентрати. Найбільша частка витрат при їх отриманні припадає на подрібнення вихідної руди у кульових млинах, де допускаються значні збитки, причиною яких є ряд

© В. О. Кондратець, А. М. Мацуй, 2016

факторів, включаючи і перемішування матеріалу в них. Перемішування матеріалу у кульовому млині зумовлює ефективне подрібнення руди. Неякісне перемішування приводить до перевитрати електричної енергії, куль, футеровки, корисного компоненту та недоотримання готового подрібненого продукту, що є причиною збільшення собівартості концентрату. Оскільки собівартість магнетитового концентрату на вітчизняних збагачувальних фабриках вища порівняно з зарубіжною продукцією, тема статті, спрямованої на її зниження, є актуальною. Матеріали даної публікації отримані у процесі виконання науково-дослідної роботи «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (державний реєстраційний номер 0115U003942).

Перемішування різних матеріалів є однією з найбільш розповсюджених технологічних операцій в ряді галузей промисловості. Мета перемішування може бути самою різною. Здебільшого – це згладження коливань матеріалу в потоках, коливань матеріального складу, забезпечення рівномірностей концентрації окремих частинок і речовин у сумішах та ін. Не дивлячись на важливість даної задачі, її розв'язанню приділялось мало уваги. Навіть не розроблені чіткі критерії, які дозволяють як оцінити можливості окремих способів перемішування, так і сам процес перемішування в ході його проведення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для потреб технологічних процесів збагачення розроблялися способи змішування матеріалів у циклах подрібнення в цілому і окремо в кульових млинах. Так, в роботі [1] детально розглянуто динамічні характеристики перемішувача з рециклом, куди входить кульовий млин і спіральний класифікатор. Доведено, що при збільшенні циркулюючого навантаження і транспортного запізнювання ефективність роботи перемішувача зростає. І.Г. Грінман [2], розглядаючи схему перемішування, яка відповідає циклу подрібнення, також стверджує, що амплітуда випадкових коливань на виході млина суттєво зменшується з ростом циркулюючого навантаження. Він одночасно відмічає, що перемішування всередині об'єму барабана млина, яким ми нехтували, приводить до згладжування коливань, періоди яких менше власного часу технологічного агрегату. Осереднення матеріалу безпосередньо в кульових млинах досліджують Е.В. Прокоф'єв, А.Ю. Троп, В.М. Аршинський, А.Дж. Лінч, Д.Ф. Келсел. Вони розглядають кульовий млин як агрегат, на виході якого отримують перемішаний продукт. Відомо, що осереднений в результаті перемішування продукт ефективно подрібнюється, включаючи в активну роботу практично всю довжину барабана млина, продуктивність якого за певних умов пропорціональна його діаметру в степені 2,5 та довжині. В той же час задача перемішування матеріалу вздовж барабана млина ніким не вивчалася, хоч є достатньо важливою. Її важливість доводиться в роботі [3].

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження перемішування матеріалу вздовж барабана кульового млина, що працює у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором, для його удосконалення.

Виклад основного матеріалу. У збагачувальній галузі для подрібнення руди крупністю 12…25 мм широко використовують кульові млини, що працюють у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором. Кульовий млин схематично можна подати у вигляді рис.1, з якого видно, що він є складним багатовимірним об'єктом. У ньому під дією вхідних параметрів формуються вихідні, які точніше назвати не вихідними, а параметрами стану, оскільки вони характеризують внутрішній стан технологічного агрегату. Кожний параметр стану вносить свою частку у кінцевий результат – отримання готового подрібненого продукту у розвантаженні млина. Подрібненню в млинах підлягають лише крупні класи руди, оскільки знову

створений готовий продукт отримується лише від подрібнення таких шматків твердого [4]. Більш крупну руду краще подрібнюють великорозмірні кулі, а дрібну – малорозмірні [4]. Найбільш ефективно подрібнюють тверде різнорозмірні кулі, які у барабані млина розташовуються зі збільшенням діаметра від завантаження до розвантаження [5]. Під дією куль шматки руди неперервно зменшуються у розмірі в процесі руху матеріалу вздовж барабана кульового млина. Зменшення витрат енергії на подрібнення можливе при більших швидкостях прикладання значних силових навантажень, які забезпечують високу степінь дроблення шматка руди при кожному його навантаженні [6]. Тому у процесі подрібнення необхідно створювати умови саме таких навантажень окремих шматків руди.

Вхідні параметри: 1 – кулі; 2 – руда; 3 – крупність руди; 4 – тип руди; 5 – вода; 6 – піски класифікатора.
Вихідні параметри: 1 – об'єм (маса) кульового навантаження; 2 – характеристика крупності кульового навантаження; 3 – перемішування (осереднення) матеріалу; 4 – розрідження пульпи у млині; 5 – завантаженість млина рудою

Рисунок 1 – Схематичне зображення кульового млина за вхідними та вихідними параметрами

На вхід кульового млина поступають вихідна руда, піски механічного односпірального класифікатора і вода. При завантаженні кульового млина рівномірне перемішування матеріалу не досягнуто. Такий стан відповідає певній частці довжини барабана кульового млина. Неосереднене тверде відрізняється тим, що в ньому існують зони, де крупні частинки сконцентровані надмірно (відповідає перевантаженню) і де відповідно концентрація крупних частинок на таку ж частку недостатня для номінального завантаження. Імовірність виникнення зон з номінальною кількістю крупних частинок майже виключається. Це означає, що кулі працюють не ефективно, оскільки при великій концентрації зменшується сила удару, а при малій вони співударяються практично з футеровкою, руйнуючи одне одного. Ефективність подрібнювання погіршується ще й в наслідок того, що в початковій частині барабана знаходяться кулі малих розмірів. Отже, важливою є проблема перемішування матеріалу саме в початковій частині барабана кульового млина, а не в точці розвантаження.

Розрізняють два види перемішування матеріалів – сухих дроблених продуктів з метою осереднення їх складу за крупністю і сухого матеріалу з водою з метою осереднення і закріплення необхідної кількості води за твердим, тобто, створення пульпи певної консистенції. У кульовому млині ці два процеси відбуваються одночасно.

Розглянемо спочатку перемішування у кульовому млині сухого дробленого матеріалу при обертанні барабана. Оскільки перемішуванням сухої руди у кульових млинах ніхто не займався, використаємо дані досліджень, отримані стосовно будівельних матеріалів [7]. Дослідження виконувались на перемішувальних машинах неперервної дії. У якості критерію завершення процесу перемішування

використовувалося зрівноваження моментів опору руху кожної з лопатей установки, що фіксувалося електронним пристроєм за стабілізацією сигналів перетворювачів зусилля. Перехідні процеси знімалися при подачі на вхід установки східчастого діяння у вигляді приростання вхідної продуктивності $Q_{вх}$ і фіксування наростання вихідної продуктивності $Q_{вих}$ у часі. Досліди виконувалися на піску та щебені (рис.2). З графіків рис.2 видно, що перехідні процеси відбуваються по-різному. З них витікає, що дрібнозернистий і округлений за формою матеріал (піскові продукти) перемішуються більш швидко порівняно зі значно крупнішим матеріалом, який складено з шматків більш неправильної форми з гострими краями (щебінь). Однак рівномірність розподілу фракцій для піскового продукту наступає через 30 с, а щебеня через 34 с. Різниця у часі перемішування двох різних продуктів не є суттєвою, а сама тривалість осереднення порівняно короткою. Більш швидкими темпами наростає якість середовища на дрібних і округлених за формою продуктах, однак вона є достатньо високою і у випадку крупних продуктів з гострими краями. За 10 с вона покращується на 25%, а за 20 с складає більше половини. Враховуючи, що кульовий млин є ідеальним перемішувачем, а перемішування здійснюється більш ефективно у мокрому стані, можливо стверджувати, що у даних технологічних агрегатах проблеми осереднення матеріалу практично не існує.

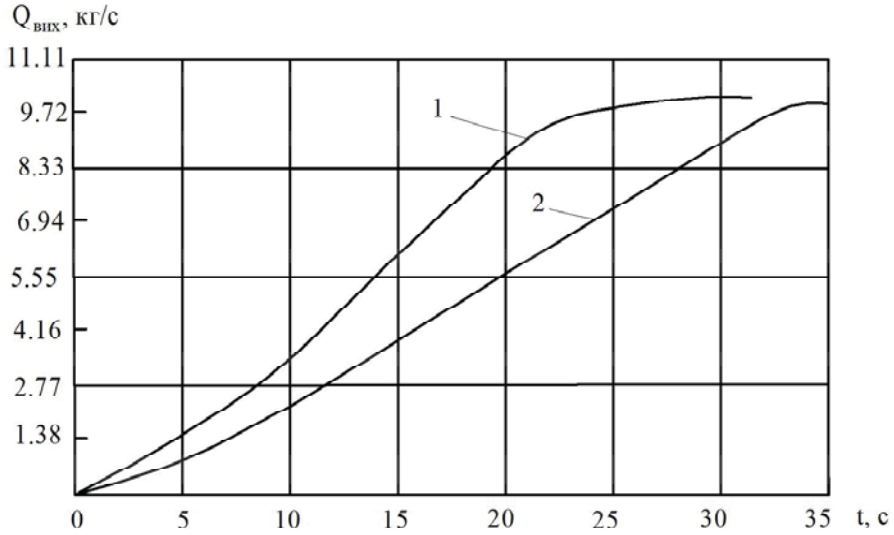
При перемішуванні руди у кульовому млині виникає час запізнювання τ, який дорівнює відношенню довжини осереднення матеріалу до середньої швидкості його руху вздовж осі барабана. Враховуючи характер перехідного процесу змішування (рис.2), передаточну функцію кульового млина за даним параметром можливо подати у вигляді

$$W_{ZM}(p) = \frac{k_{ZM}}{T_{ZM}\,p + 1} \cdot e^{-p\tau}, \tag{1}$$

де p – оператор Лапласа;

k_{ZM} – передаточний коефіцієнт кульового млина відповідно параметру змішування;

T_{ZM} – стала часу за параметром змішування.



1 – на піску; 2 – на щебені

Рисунок 2 – Перехідні характеристики промислового змішувача сипких матеріалів різної крупності і форми

Амплітудна частотна характеристика кульового млина без запізнювання відповідно (1) дорівнює

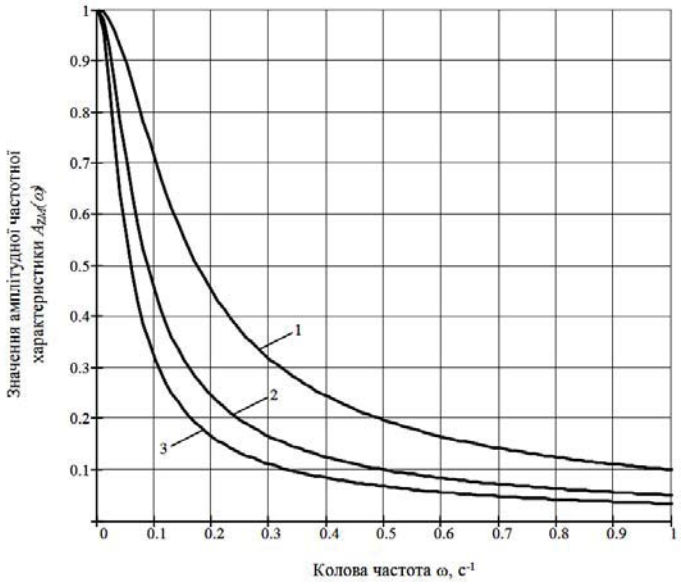
$$A_{ZM}(\omega) = k_{ZM} \Big/ \sqrt{T_{ZM}^2 \omega^2 + 1}\,, \tag{2}$$

де ω – колова частота.

Відповідно графікам рис.2, сталу часу T_{ZM} у даних процесах можливо приймати в межах 10, 20 і 30 с. Враховуючи, що у даних процесах k_{ZM}=1, вираз (2) прийме вигляд

$$A_{ZM}(\omega) = 1 \Big/ \sqrt{T_{ZM}^2 \omega^2 + 1}\,. \tag{3}$$

Амплітудні частотні характеристики процесу змішування матеріалів подані на рис.3. Їх аналіз показує, що при можливих сталих часу T_{ZM} низькочастотні вхідні коливання, які відповідають керуючим діянням, проходять через нього, а більш високочастотні, викликані нерівномірністю розташування матеріалу на конвеєрній стрічці, через технологічний агрегат практично не проходять. Це дозволяє ефективно керувати завантаженням кульового млина навіть у коротких циклах. Нерівномірність розташування матеріалу на конвеєрній стрічці практично не буде впливати на даний процес.



1 – T_{ZM}=10 с; 2 – T_{ZM}=20 с; 3 – T_{ZM}=30 с

Рисунок 3 – Амплітудні частотні характеристики кульового млина відповідно параметру перемішування матеріалу

Враховуючи сказане, необхідно дослідити змішування сухого матеріалу, пісків і води. Замкнений цикл являє собою подрібнювальну систему неперервної дії. Вона характеризується незмінністю подачі та видалення матеріалу, причому гранулометричний склад пульпи в млині також залишається незмінним. Кульовий млин можливо розглядати як змішувач, в якому відбувається руйнування частинок. Якщо млин розглядати як ідеальний змішувач, то гранулометричний склад його продукту повинен співпадати з гранулометричним складом матеріалу, що знаходиться в будь-якій точці технологічного агрегату. Подрібнювальний агрегат можна розглядати як такий, що складається з ряду поперечних ділянок, в кожній з яких міститься однакова кількість матеріалу [8]. При такому поданні матеріал, що міститься в кінцевій ділянці, виявляється еквівалентним за складом продукту млина. На протязі однієї стадії

перемішування певна частина матеріалу кожної ділянки буде пересуватися до розвантажувального кінця млина, інша – залишатися в межах тієї ж ділянки, а остання – переміщатися до завантажувального кінця в наслідок зворотного перемішування [8]. Закономірності переносу матеріалу на кожній ділянці будуть аналогічними. Однак при цьому існує загальний рух матеріалу за напрямом до розвантажувального кінця. Якщо матеріал з'явився на ділянці продукту млина, то це означає, що він вийшов з системи і не може бути підданим зворотному перемішуванню. Таке перемішування матеріалу відбувається в основному за рахунок поздовжнього руху пульпи, викликаного різницею в рівнях завантаження і розвантаження та динамічного тиску потоку, що падає на її поверхню.

Додаткове перемішування пульпи здійснюється при обертанні барабана, оскільки її частина захоплюється кулями і транспортується на верхню відмітку. При цьому створюється спадний потік матеріалу, який повертається разом з падаючими кулями у вихідний об'єм пульпи, здійснюючи таким чином її замкнутий рух. Такий рух приводить до того, що частина пульпи переміщується по спіралеподібній кривій до розвантажувального кінця. Інтенсивне перемішування пульпи у кульовому млині разом з подрібненням твердого приводить до ефективного осереднення вмісту різних частинок руди в одиниці об'єму матеріалу не в розвантаженні технологічного агрегату, а значно раніше – на початкових ділянках руху складної суміші від завантажувальної горловини.

Густина пульпи в розвантаженні млина зв'язана з густиною пульпи в його барабані через імовірнісний коефіцієнт R_P [9], який знаходиться в межах 0…1. Перше граничне теоретичне значення $R_P = 0$ відповідає повному розшаруванню твердої та рідкої фаз пульпи перед розвантаженням, а друге $R_P = 1$ – ідеальному перемішуванню.

Густину пульпи в барабані млина можливо визначити виразом [9]

$$\gamma_b = \frac{Q_{bT}\delta_T T_T}{Q_{bT}T_T + Q_{bB}T_B}, \tag{4}$$

де δ_T – густина твердого;

Q_{bT}, Q_{bB} – відповідно об'ємна витрата твердого та води, що подається у млин;

T_T, T_B – час перебування відповідно твердої фази та води в барабані млина.

Густину пульпи у розвантаженні млина можна визначити виразом

$$\gamma_p = \frac{Q_{pT}\delta_T}{Q_{pT} + Q_{pB}}, \tag{5}$$

де Q_{pT}, Q_{pB} – відповідно об'ємна витрата твердого та води з кульового млина.

Оскільки в усталеному режимі роботи млина $Q_{pT} = Q_{bT}$, $Q_{pB} = Q_{bB}$, то густину пульпи на виході технологічного агрегату можна подати залежністю

$$\gamma_p = \frac{Q_{bT}}{Q_{bT} + Q_{bB}}. \tag{6}$$

Значення імовірнісного коефіцієнта

$$R_P = \frac{\gamma_p}{\gamma_b} = \frac{Q_{bT}T_T + Q_{bB}T_B}{(Q_{bT} + Q_{bB})T_T}. \tag{7}$$

З залежності (7) слідує, що при $T_T \neq T_B$ млин володіє деякими класифікуючими властивостями. При цьому виконується нерівність $0 < R_P < 1$. Це може відбуватися при малих густинах пульпи та невеликій швидкості обертання барабана. Якщо $T_T = T_B$, млин

веде себе як ефективний перемішувач [10]. При цьому R_P = 1. Це може відбуватися при значних густинах пульпи [9]. Оскільки залежність вмісту класу – 0,071 мм у зливі млина від вмісту твердого в пульпі має максимум при співвідношенні тверде/рідке 81…82% [11], то у виробничих умовах кульові млини експлуатують при високих вмістах твердого, що робить пульпу достатньо в'язкою. Отже, кульовий млин є ідеальним перемішувачем. В ньому матеріал добре осереднений і пульпа має рівномірно розподілені частинки твердого різних розмірів у її об'ємі.

Уайтен прийняв допущення, що кульовий млин можливо подати однією ділянкою перемішування (модель ідеального перемішування), що суттєво спростило розрахунки [8], однак не дає відповіді на стан початкової ділянки технологічного агрегату. А.Дж.Лінч стверджує, що подрібнювальний апарат може розглядатись як такий, що складається з ряду поперечних ділянок, в кожній з яких міститься однакова кількість матеріалу [8]. Тому, опираючись на це ствердження, застосуємо залежності (4) – (6) до першої ділянки барабана кульового млина. Зокрема, для неї значення імовірнісного коефіцієнта R_{P1} прийме вигляд

$$R_{P1} = \frac{\gamma_{p1}}{\gamma_{b1}} = \frac{Q_{bT1}T_{T1} + Q_{bB1}T_{B1}}{(Q_{bT1} + Q_{bB1})T_{T1}}, \quad (8)$$

де Q_{bT1}, Q_{bB1} – відповідно об'ємна витрата твердого та води, що подається і виходить з першої ділянки барабана кульового млина;

T_{T1}, T_{B1} – відповідно час перебування твердої фази і води в першій ділянці барабана кульового млина.

Перша ділянка барабана кульового млина має свої особливості, які полягають у тому, що піски в технологічний агрегат входять зі зв'язаною водою, яка від них не відділяється. З врахуванням цього залежність (8) необхідно подати у вигляді

$$R_{P1} = \frac{\gamma_{p1}}{\gamma_{b1}} = \frac{Q_{bT1}T_{T1} + Q_{bBZ}T_{T1} + Q_{bBB}T_{B1}}{(Q_{bT1} + Q_{bB1})T_{T1}}, \quad (9)$$

де Q_{bBZ}, Q_{bBB} – відповідно об'ємна витрата зв'язаної з пісками і вільної води в млин;

$Q_{bB1} = Q_{bBZ} + Q_{bBB}$.

Промоделюємо процес перемішування матеріалу в першій ділянці кульового млина з використанням залежності (9) при Q_P=50кг/с (180т/год), циркулюючому навантаженні 50; 100 і 150%, густині пульпи в млині 2200 кг/м3, густині твердого 3300 кг/м^3 і незмінній вологості пісків 12%.

При циркулюючих навантаженнях відповідно 50; 100 і 150% отримані наступні рівняння для визначення імовірнісного коефіцієнта R_{P1}

$$R_{P50} = 0{,}592 + 4{,}09T_{B1}, \quad (10)$$

$$R_{P100} = 0{,}625 + 3{,}75T_{B1}, \quad (11)$$

$$R_{P150} = 0{,}645 + 3{,}54T_{B1}. \quad (12)$$

Час перебування твердої фази у першій ділянці барабана млина визначається її довжиною і горизонтальною швидкістю руху пульпи. Приймаємо час руху пульпи для типових процесів подрібнення вихідної руди. Час перебування рідкої фази пульпи в першій ділянці млина може коливатись в значних межах, оскільки залежить від багатьох факторів. В основному воду в кульовий млин подають за допомогою спеціального трубопроводу. Вона зі значною продуктивністю подається в одну точку

барабана млина і в ній накопичується. Така не зв'язана з твердим вода самопливом, під дією рухомого твердого матеріалу і куль легко переміщується у сусідню ділянку кульового млина. Тому час перебування рідкої фази може складати лише певну частку перебування твердої фази в першій ділянці. Вона може складати навіть п'яту частину T_T. Виходячи з цього, в табл.1 приведені дані зміни значень R_P від часу перебування води в першій ділянці барабана кульового млина. В залежності від умов перемішування час перебування води в першій зоні може змінюватись від вказаного найменшого значення теоретично до часу перебування в ній твердої фази.

З даних табл.1 видно, що імовірнісний коефіцієнт R_P в першій ділянці барабана може мати достатньо низькі значення в межах 0,674…0,716 або близьких до них при інших продуктивностях кульового млина. Це в основному викликано ефективним витісненням з першої ділянки в сусідню води, яка не зв'язана з її твердим. Як видно, імовірнісний коефіцієнт R_P має достатньо низьке значення, що підкреслює низьку ефективність перемішування матеріалу на першій ділянці барабана млина. Низька ефективність перемішування буде і на сусідніх ділянках, оскільки з першої вода витісняється суцільним потоком, який погано розповсюджується між усим масивом твердого. Дійсно, R_P прийме значення, що дорівнює 1, лише десь під кінець довжини барабана млина. Це означає, що більш-менш ефективна робота куль в наслідок вирівнювання і розрідженості, і концентрації крупного твердого буде забезпечуватись після половини довжини барабана кульового млина.

Таблиця 1 – Значення імовірнісного коефіцієнта R_P при зміні часу перебування рідкої фази пульпи в першій ділянці барабана млина

Величина циркулюючого навантаження, %	Час перебування води в першій ділянці барабана млина, с								
	72	108	144	180	216	252	288	324	360
50	0,674	0,715	0,756	0,796	0,837	0,878	0,919	0,960	1,0
100	0,700	0,738	0,775	0,812	0,850	0,888	0,925	0,962	1,0
150	0,716	0,751	0,787	0,822	0,870	0,893	0,928	0,964	1,0

Імовірнісний коефіцієнт R_P в якості критерію оцінювання перемішування матеріалу в кульовому млині, відображає лише один бік процесу – утримання сумішшю води. Якщо суміш в конкретній ділянці матеріалу по довжині млина води не втрачає, тобто $T_T=T_B$, то ефективність перемішування твердого з водою вважається ідеальною - $R_P=1$. Для оцінки осереднення матеріалу при перемішуванні твердого з водою можливо також використати критерій, що полягає в урівноваженні моментів опору руху кожної лопаті механізму, який перемішує матеріал. Широке розповсюдження отримав критерій, що полягає в досягненні однорідної суміші матеріалів. Однак вказані критерії стосовно кульового млина прямо використати не можливо. Тому найбільш доцільним буде шлях, спрямований на покращення умов перемішування. Тобто, ставиться задача затримання води в початковій ділянці барабана кульового млина – вирівнювання часу перебування в ній твердого і води. Розв'язання цієї задачі дозволить стрімко покращити ефективність роботи куль в першій та найближчих до неї ділянках барабана, що забезпечить підвищення продуктивності кульового млина, якості подрібнення та неперевитрачення електричної енергії, куль і футеровки.

В процесі розв'язання цієї задачі найбільш ефективним є шлях усунення недоліків, які мають базові умови перемішування твердого з водою у кульовому млині. Перший основний недолік – це створення обводнених зон в першій ділянці та витіснення води у сусідню ділянку барабана млина. Відмічений недолік можливо

ліквідувати зв'язуванням води з твердим матеріалом на вході в першу ділянку барабана або до неї. Зв'язана з твердим вода не може бути витісненою в сусідню ділянку. На процес цього зв'язку сильно впливає поверхня твердого. Змочене тверде стає рухливим, оскільки ефективно діє змащення і взаємне переміщення частинок твердого стає набагато легшим. У такому стані тверде відразу включається в перемішування і ефективно осереднюється вже в першій ділянці барабана, не впливаючи негативно на сусідні ділянки. Посилити ефект перемішування в першій ділянці, крім того, можливо за допомогою крупних куль, які необхідно вводити на вхід млина, компенсуючи зношені молольні тіла та футеровку.

Показник вологості продуктів збагачення вміщує гравітаційну, капілярну, плівкову та гігроскопічну вологу. Гігроскопічна волога зв'язана з продуктом. У даному випадку діє так звана вільна (зовнішня) волога – це плівкова, капілярна і гравітаційна. Плівкова волога утримується на поверхні твердих частинок руди у вигляді плівок молекулярними силами зчеплення між молекулами твердого і води. Капілярна волога заповнює частково або повністю пори – капіляри, які утворилися в просторі між окремими частинками продукту збагачення. Вода тут утримується під впливом сил поверхневого натягу увігнутих водяних менісків у капілярах. Кількість вологи, що утримується в капілярах, залежить від пористості масиву продукту збагачення. Гравітаційна волога заповнює некапілярні проміжки між частинками маси продукту збагачення. Ця волога не піддана впливу молекулярних і капілярних сил і рухається між частинками твердого під дією сил тяжіння. Утримання води матеріалом в значній мірі визначається вологоутримуючою здатністю продуктів збагачення. Вона в основному залежить від гранулометричного складу і змочуваності поверхні твердого. Гранулометричний склад твердого обумовлює пористість і розвиток поверхні маси частинок. Чим дрібніші частинки твердого, тим більше створюється капілярів, в яких утримується волога. Тому найбільш проблематичною є перша ділянка барабана млина, де крупність продукту найбільша. Високі густини пульпи в млинах сприяють створенню розгалуженої системи капілярів. Змочуваність характеризує молекулярну взаємодію води з поверхнею частинок і визначає можливість утримувати капілярну вологу. Руди конкретного родовища володіють конкретним значенням цього показника [12]. Крім того, рухома пульпа може утримувати значну кількість води без розшарування.

Піски класифікатора містять певну кількість вологи. Для забезпечення руху пульпи в пісковий жолоб додають деяку кількість води. Такий потік пульпи легко проходить через завитковий живильник і поступає в кульовий млин. Руда в кульовий млин поступає сухою, окремо подається вода. Ці два потоки необхідно частково об'єднати. Враховуючи, що плівкова волога залежить від поверхні твердого, а поверхні частинок утворюють капіляри, пропорційно поверхні вихідної руди до неї перед завантаженням у кульовий млин необхідно подати частину загального потоку води. Вона створить плівкову, капілярну і гравітаційну вологу, яка надійно буде утримуватись потоком вихідної руди. Другу частину загального потоку води слід додати до пісків класифікатора перед входом їх у приймальний пристрій завиткового живильника. Розріджені до граничного значення рівня піски добре будуть контактувати з крупним продуктом вихідного живлення, легко пропускаючи крупні і дрібні шматки руди у своє середовище. Залишкову частину загального потоку води, яка повинна забезпечити задане розрідження пульпи, необхідно подати в центральну частину барабана млина, але розбризкуючи її в обширній зоні завантаження вихідної руди. Такі операції забезпечуть ефективне перемішування матеріалу вже в першій ділянці барабана млина і продуктивну роботу куль не лише в початковій, а і більш віддалених

ділянках кульового млина, гарантуючи задане розрідження пульпи у будь-якому його перерізі, що забезпечить покращення подрібнення руди вздовж всього барабана і включення в активну роботу значної початкової ділянки барабана млина та підвищення його продуктивності на 7%, зменшення перевитрати електричної енергії, куль, футеровки та корисного компоненту.

Висновки. Отже, перемішування матеріалу в кульовому млині повинно закінчуватись якомога швидше. Для цього воду, призначену для забезпечення необхідної розрідженості пульпи слід подавати до входження матеріальних потоків у кульовий млин – на поверхню дробленого продукту, в піски класифікатора, розріджуючи їх до граничного значення, та частково в зону завантаження шляхом розбризкування на значній площі. Ефективність осереднення твердого в значній мірі буде визначатись як точністю прогнозування розрідження пульпи, так і точністю автоматичного керування цим параметром. Якісне перемішування матеріалу забезпечить зменшення витрат на виробництво магнетитового концентрату і тим самим сприятиме зниженню його собівартості.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки адаптивних систем керування розрідженням пульпи у кульових млинах, що працюють у замкненому циклі з механічним односпіральним класифікатором, з охопленням контурів автоматичного керування подачею води на поверхню руди, у піски класифікатора та безпосередньо в горловину технологічного агрегату.

Список літератури

1. Лукас В.А. Динамические характеристики смесителя с рециклом / В.А. Лукас, М.Г. Фиалко, Ю.А. Руднык // Модели и алгоритмы управления процессами добычи и обогащения полезных ископаемых: сб. статей Уральского политехнического института и Свердловского горного института.– Свердловск: Изд. УПИ, 1976. – С.53-56.
2. Гринман И.Г. Автоматизация процессов обогащения руд цветных металлов / Гринман И.Г. – Алма-Ата: Изд. Акад. Наук Казахской ССР, 1964. – 212с.
3. Кондратець В.О. Моделювання розподілу крупного твердого з метою ідентифікації завантаження кульових млинів / В.О. Кондратець, М.О. Карчевська // Матеріали Міжнародної наукової конференції [Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту] (м. Євпаторія, Україна, 18-22 травня 2009 року). Том 1. – Херсон: ХНТУ, 2009. – С.68-70.
4. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. Изд. 3-е, перераб. и доп. /Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
5. Кондратець В.О. Теоретичне дослідження усталених і перехідних режимів роботи куль та футеровки в млинах / В.О. Кондратець, О.М. Рева, М.О. Карчевська // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2008. – №21. – С. 187-196.
6. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]. – М.: Изд. дом “Руда и Металлы”, 2007. – 296с.
7. Автоматизация производственных процессов в дорожном строительстве / [Цикерман Л.Я., Берлинер М.А., Васьковский А.М. и др.]. – М.: Транспорт, 1972.- 316 с.
8. Линч А. Дж. Циклы дробления и измельчения / Линч А. Дж.: [пер. с англ.]. – М.: Недра, 1981.- 342с.
9. Прокофьев Е.Ф. Упрощенная модель процесса мокрого измельчения в мельницах направленного действия / Е.Ф. Прокофьев, А.Е. Троп, В.М. Аршинский // Вопросы автоматического управления процессами обогащения: труды Свердловского горного института им. В.В. Вахрушева. – Свердловск: Изд. СГИ, 1968. – №52. – С.21-28.
10. Kellsall D.F.A. Study of breakage in a small countinuons opencircult wet ball mill / D.F.A. Kellsall // Canad Mining J. – 1965. – №10. – p. 25-29.
11. Справочник по обогащению и агломерации руд черных металлов / [Шинкоренко С.Ф., Маргулис В.С., Николаенко В.П. и др.]: под ред. С.Ф. Шинкоренко. – М.: Недра, 1964. – 527с.
12. Руденко К.Г. Обезвоживание и пылеулавливание на обогатительных фабриках / К. Руденко, М. Шемаханов. – М.: Недра, 1967. – 372с.

Vasily Kondratets, Prof., DSc., Anatolii Matsui, Assos. Prof., PhD tech. sci.
Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine
The research of materials mixing in a ball mill as a multidimensional managed object

The aim of work is to study the mixing of materials along the drum of the ball mill, which works in a closed circuit with mechanical single- qualifier for its improvement.

The ball mill as a multidimensional object has four output value. In this article a study performed on one of them - the parameter of the mixing materials, which is characterized, on the one hand, averaging the size of the solid, on the other hand, by mixing the solid with water. It is found that the averaging of the solid is not very dependents on its shape and size, in ball mill it happens sufficiently rapidly for 34 seconds, practically continuously improving the performance for a given time interval. More problematic is the mixing of the solid and water, which under the existing conditions is carried on a length of 1/4 ... 1/3 mill drum and which in consequence, does not actively participate in the grinding of the ore. Proposed that the water in a ball mill should be fed to the required dilution of the pulp by the three streams - to the surface of the original ore, the receiver cochlear feeder to the classifier boundary liquefaction sand directly into the throat of a production unit, spraying it into a wide area load.

The proposed approach supplying water into a ball mill provides inclusion 1/4 ... 1/3 the length of the drum in efficient crushing of ore, which greatly improves the performance of his work.
ball mill, mixing solid, solid with water

Одержано 23.11.15

УДК 621.74

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А.В. Ломакін
Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,
E-mail: spherical@mail.ru

Дослідження впливу кінетики кристалізації на властивості кокільних виливків чавунних цильпебсів

Розглядається використання методу математичного моделювання для визначення часу початку і закінчення процесу кристалізації легованих чавунів у кокілі в залежності від хімічного складу сплаву та для прогнозування співвідношення між кількістю ледебуриту, що визначає зносостійкість цильпебсів (мололльних циліндрів), та кількістю аустеніто-графітної евтектики
цильпебс, легований чавун, хром, кокіль, затвердіння, структура, моделювання

В.Н. Ломакин, доц., канд. техн. наук, В.В. Клименко, проф., д-р. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, А. В. Ломакин
Кировоградский национальный технический университет, г.Кировград, Украина
Исследование влияния кинетики кристаллизации на свойства кокильных отливок чугунных цильпебсов

Рассматривается использование метода математического моделирования для определения времени начала и окончания процесса кристаллизации легированных чугунов в кокиле в зависимости от химического состава сплава и для прогнозирования соотношение между количеством ледебурита, определяющего износостойкость цильпебсов (мелющих цилиндров), и количеством аустенито-графитной эвтектики
цильпебс, легированный чугун, хром, кокиль, затвердевание, структура, моделирование

© В.М. Ломакін, В.В. Клименко, В.В. Пукалов, А.В. Ломакін, 2016