

УДК 621.791

І.А. ШЕВЧЕНКО, доцент, кандидат технічних наук
Ю.Г. КОБРІН, асистент

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ МОЛОТКОВИХ ДРОБАРОК

Запорізька державна інженерна академія

Виконано аналітичне дослідження зношення однорідних монометалічних робочих органів молоткових дробарок. Визначено радіус спрацювання грані робочої поверхні серійного молоткового робочого органу.

Ключеві слова: молоткова дробарка, робочий орган, зношування, робоча поверхня, радіус зношення, аналітичне дослідження

Вступ. Процеси дроблення та подрібнення застосовують у багатьох галузях промисловості, зокрема в металургії. Зазначені процеси суттєво впливають на техніко-економічні показники виробництва та якості сировини. Подрібнення матеріалу звичайно виконують з використанням спеціальних молоткових дробарок за допомогою сталевих молотків, які закріплено на валу, що швидко обертається. Молотки зазнають ударних навантажень і піддаються інтенсивному абразивному зношуванню, оскільки інтенсивно контактують з подрібнюваним матеріалом [1]. Рівень надійності та протистояння зносу, що досягнуто виробниками дробарок, дозволяє не розглядати знос елементів фактором, який блокує їх широке застосування. Проте частка витрат, пов'язаних із зносом, залишається високою. З досвіду роботи гірничих підприємств відомо, що термін служби молотків, залежно від матеріалу, якого переробляють, складає від 170 до 530 годин, ресурс інших робочих органів є на 1...2 порядки більшим [2]. Це призводить до значної кількості технічного обслуговування, а також підвищення витрат оборотних засобів на закупівлю молотків.

З економічної точки зору виготовлення молотків повністю із зносостійкого матеріалу є недоцільним. Тому багато запропонованих конструкцій складених молотків, де робочі грані виготовлено із зносостійких матеріалів, а основа молотків – зі Сталі 3.

Підвищення надійності роботи молотків у поєднанні з конструктивною простотою дробарки в цілому робить такий тип дробарок одним із досконалих.

Аналіз досягнень. Відомо, що молотки серійних дробарок, які виготовлено з однорідного матеріалу без зміцнення мають нерівномірний знос [3]. Периферійна частина молотка, що мак-

симально віддалена від центру обертання ротора, в більшій мірі зазнає руйнування [4].

Молоткові робочі органи під час взаємодії із масою частинок зношуються, суттєво змінюються їх геометричні параметри – форма та розміри. Форма спрацьованих молотків значно впливає на значення радіальних зазорів між робочими поверхнями дек та молотків, змінює ступінь подрібнення та рівномірність розмірів частинок матеріалу. Недовговічність серійних молотків призводить до значних збитків, пов'язаних із перестановкою молотків та їх замінюванням [1-3].

Широкого використання набули наступні методи визначення зношення молоткових робочих органів: за масою, графоаналітичний та координатний [5]. Їх застосування вивчалось науковцями та запроваджувалося у виробничій сфері, але наявність певних недоліків ускладнює процес оцінювання та аналізу параметрів спрацювання робочих поверхонь молотків через високу трудомісткість методів.

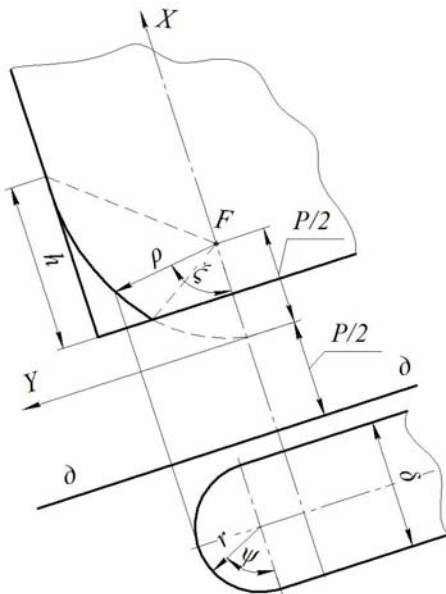
Постановка завдання. Завдання роботи є встановлення геометричних параметрів зносу молотків дробарок для подальшого обґрунтування локального зміцнення ділянок їх робочої поверхні, щоб у процесі зношування формувати найбільшу працездатність для подрібнення матеріалу.

Головна частина досліджень. Схему спрацювання монометалевих однорідних молотків подано на рис. 1.

У полярній системі координат, що є більш зручною для подальшого аналізу, рівняння профілю спрацювання описують параболою, що має вигляд:

$$\rho = \frac{P}{1 + \cos \xi}, \quad (1)$$

де ρ – полярний радіус параболи; P – параметр параболи; ξ – кут нахилу полярного радіуса параболи.



h – висота контакту зносу; δ – товщина молотка
Рисунок 1 – Схема зношення серійних монометалевих однорідних молотків

Геометричну інтерпретацію параметра P подано на рис. 1. Від його значення залежить положення фокуса (точки F) параболи. Варіюючи значення параметра P , завжди є можливість вибирати криву, яка найкращим чином окреслює профіль поверхні спрацювання робочої поверхні молотка.

При цьому площу елементарної площадки робочої поверхні dS визначають рівнянням:

$$dS = \frac{P}{1 + \cos \xi} \cdot d\xi \cdot r \cdot d\psi, \quad (2)$$

де r – полярний радіус у площині δ - δ ; ψ – кут нахилу радіусу.

На зазначену елементарну площадку діє потік частинок подрібнюваного матеріалу, що обумовлює спрацювання матеріалу молотка. Кількість частинок N_1 матеріалу, що потрапляють на площину за деякий час Δt , залежить від щільності матеріалу маси q_3 та відносної швидкості V і дорівнює:

$$N_1 = \frac{P}{1 + \cos \xi} \cdot d\xi \cdot r \cdot d\psi \cdot q_3 \cdot V \cdot \Delta t, \quad (3)$$

де q_3 – щільність маси; V – відносна швидкість.

Таким чином, на елементарну площину, що належить поверхні молотка, діє потік маси матеріалу загальною кількістю частинок, що дорівнює N , що спричинює спрацювання (втрату маси) та зміщення профілю вглиб деталі.

Контактна задача взаємодії молотка з потоком подрібнюваного матеріалу, полягає в тому, що, з одного боку, діє потік частинок, утворюючи ударні імпульси, а, з іншого боку – протидія, яка піддає спрацюванню матеріал молотка [5].

Необхідно зазначити, що елементарна площадка молотка залежно від її положення на робочій поверхні, може бути орієнтованою у просторі по-різному.

Від її орієнтування залежить і кількість частинок, які контактують з нею:

$$N = N_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \psi, \quad (4)$$

де α – кут атаки частинки

або

$$N = \frac{P \cdot q_3}{1 + \cos \xi} \cdot d\xi \cdot r \cdot d\psi \cdot V \cdot \Delta t \cdot \sin \alpha \cdot \cos \psi. \quad (5)$$

У загальному разі значення кута атаки α залежить від кута повороту молотка на осі кріплення Θ , зумовленого опором маси матеріалу, що подрібнюється, та кривизною спрацьованого профілю молотка. Геометричну побудову для визначення кута атаки зображено на рис. 2.

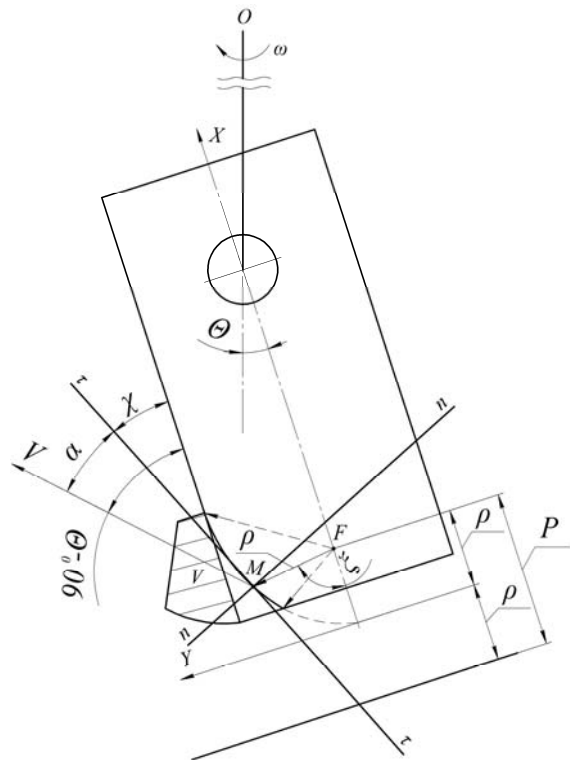


Рисунок 2 – Схема для визначення кута атаки поверхні молотка частинкою матеріалу

У даному разі, відповідно до побудови, кут атаки визначається наступною залежністю:

$$\alpha = 90^\circ - \Theta - \chi, \quad (6)$$

де χ – кут дотичної τ - τ .

Коефіцієнт біля незалежної змінної χ визначає тангенс кута нахилу дотичної. Тоді кут χ буде дорівнювати

$$\chi = \arctg \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi} . \quad (7)$$

Підставляючи співвідношення (7) до рівняння (6), маємо:

$$\alpha = 90^\circ - \Theta - \arctg \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi} . \quad (8)$$

Для кількості частинок, діючих на елементарну площадку за певний проміжок часу Δt , справедливим є рівняння

$$N = \frac{P \cdot q_3}{1 + \cos \xi} \cdot d\xi \cdot r \cdot d\psi \cdot V \cdot \Delta t \cdot \cos \left(\Theta + \arctg \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi} \right) \cdot \cos \psi . \quad (9)$$

Елементарним силовим навантаженням, що прикладається до елементарної робочої поверхні, є імпульс сили, що дорівнює змінюванню кількості руху частинки. Враховуючи, що швидкість удару частинки дорівнює V , а також припускаючи, що частинки після удару отримують швидкість молотка [5], можна записати:

$$S = F \cdot \tau = m \cdot V , \quad (10)$$

де F – ударна сила; τ – час удару; m – маса частинки.

За деякий проміжок часу Δt кількість ударів частинок на елементарній площині складає N . Тоді силове навантаження на молоток буде дорівнювати добутку величини імпульсу на їх кількість. Така умова і визначить силову взаємодію частинок з робочою поверхнею інструменту.

Зношення молотка відбувається за дією потоку частинок подрібнюваного матеріалу, які взаємодіють із робочою поверхнею.

Використовуючи рівняння спрацювання (1), процес втрати маси молотка, а відповідно, і його геометричних параметрів під час контактної взаємодії та руйнування частинок матеріалу, можна записати у наступному вигляді:

$$dM = q_M \cdot d\rho = m \cdot V^2 \cdot q_3 \cdot k \cdot \cos \left(\Theta - \arctg \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi} \right) \cdot \cos \psi \cdot dt , \quad (11)$$

де dM – щільність маси; k – поправковий коефіцієнт.

Ще однією з величин, що належить рівнянню (11) та суттєво впливає на інтенсивність спрацювання, є швидкість співудару V . Для мо-

лоткового роторного робочого органу значення зазначеного параметра є величиною непостійною, яка залежить від положення елементарної площини на поверхні молотка, тобто $V = f(\rho, \xi)$.

Якщо припустити, що у зоні дії молотків ротору, що подрібнює матеріал, гальмівний ефект стінок камери подрібнення є незначним, то можна вважати, що лінійна швидкість ударної поверхні молотка змінюється лінійно від центра до периферії. Підставивши значення проекції швидкості полярного радіуса ρ на вісь X , будемо мати:

$$V = \omega \cdot \left(R_F + \frac{P}{1 + \cos \xi} \cdot \cos \xi \right) , \quad (12)$$

де R_F – радіус обертання точки F (фокуса) навколо центра ротора O ; ω – кутова швидкість обертання ротора.

Тоді рівняння спрацювання (11), після підставлення значення швидкості удару V , набуває вигляду

$$dM = q_M \cdot d\rho = m \cdot \omega^2 \cdot \left(R_F + \frac{P \cdot \cos \xi}{1 + \cos \xi} \right)^2 \cdot q_3 \cdot k \cdot \cos \left(\Theta - \arctg \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi} \right) \cdot \cos \psi \cdot dt . \quad (13)$$

Аналітичне вирішення диференціального рівняння (13) відносно невідомого ρ не є можливим. Рівняння може бути вирішено числовими методами з використанням ЕОМ. Проте для аналізу спричинює інтерес розгляд випадку, коли поверхня молотка є максимально навантаженою. При цьому поверхня не встигла розвернутися таким чином, щоб кути атаки були якомога меншими, та, відповідно, знизилася би інтенсивність спрацювання робочої поверхні. Такий випадок є можливим тоді, коли $\chi \Rightarrow 0$, тобто:

$$\arctg \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi} \Rightarrow 0 , \quad (14)$$

а кут атаки визначається рівністю:

$$\alpha = 90^\circ - \Theta . \quad (15)$$

Щільність маси q_3 можна прийняти у межах товщини шару, що обертається в камері подрібнення, та вважати постійною величиною:

$$q_3 = \text{const} . \quad (16)$$

Це, перш за все, обумовлено фізико-механічними властивостями самого подрібнюваного матеріалу, який не може бути досить ущільненим під час дії ваги та центробіжної сили, а також має порівняно невелику товщину шару.

Для аналітичного дослідження рівняння спрацювання поверхні після перетворень буде мати наступний вигляд:

$$q_M \cdot \frac{d\rho}{R_F + \rho \cdot \cos \xi} = \frac{m \cdot \omega^2}{q_M} \cdot q_3 \cdot k \cdot \cos \Theta \cdot \cos \psi \cdot dt \quad (17)$$

Після вирішення інтегралу в лівій частині рівняння (17) та певних перетворень маємо рівняння у більш зручному для аналізу вигляді:

$$\rho = R_F + P - \frac{q_M}{m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot \cos \Theta \cdot \cos \psi \cdot t} \quad (18)$$

Тобто, отримуємо рівняння, яке визначає величину полярного радіуса ρ , що входить в опис профілю молотків під час їх зношування.

Висновки.

1. Аналіз спрацювання монометалевих однорідних молотків показує, що, за інших рівних умов, інтенсивність зношення суттєво залежить від лінійної швидкості переміщення елементар-

ної площини робочого профілю молотка відносно маси частинок, що руйнуються; зазначена швидкість визначає значення імпульсного удару та швидкісні параметри спрацювання за контактним навантаженням поверхні тертя.

2. Маючи значення напрацювання молотка за певний час t і відомі параметри, які входять до складу рівняння спрацювання, можна розрахувати значення полярного радіуса ρ , що описує профіль робочої поверхні молотка.

3. Перспективою подальших досліджень є обґрунтування локального зміцнення ділянок робочої поверхні молотків, а також обґрунтування раціональної системи експлуатації молоткових дробарок шляхом планово-запобіжних ремонтних втручань на основі науково обґрунтованих рекомендацій.

Бібліографічний список

1. **Дмитрієва, Л. А.** Исследование процесса измельчения хрупких материалов [Текст] : дис. ... кандидата технических наук: 05.02.13 / Любовь Анатольевна Дмитриева. – Иваново, 2006. – 165 с.
2. **Зайцев, Г. Л.** Обґрунтування раціональних технічних характеристик системи «грохот-дробарка» для зменшення енергозатрат та підвищення якості підготовки вугілля до коксування [Текст] : дис. ... кандидата технічних наук : 05.05.08 / Геннадій Леонідович Зайцев. – Дніпропетровськ, 2016. – 166 с.
3. **Левченко, О. О.** Проблемы дробления и моделирования процесса дробления горячего агломерата [Текст] / О. О. Левченко // Сборник научных трудов Донбасского горно-металлургического института. – Алчевск : ДонГМИ, 2004. – Вып. 18. – С. 178-186.
4. **Брусова, О. М.** Повышение эффективности молотковых дробилок за счет обоснования рациональных параметров рабочего органа [Текст] : дис. ... кандидата технических наук: 05.05.06 / Ольга Михайловна Брусова. – Екатеринбург, 2012. – 165 с.
5. **Бойко, А. І.** До питання дослідження динаміки зношування зміцнених молотків дробарок графоаналітичним способом [Текст] / А. І. Бойко, А. В. Новицький, В. М. Савченко // Вісник Харківського державного технологічного університету сільського господарства. – 2005. – Вип. 40. – С. 339-343.

ШЕВЧЕНКО ІРИНА АРТУРІВНА, кандидат технічних наук доцент кафедри металургічного обладнання, Запорозька державна інженерна академія. E-mail: shevia@mail.ru

КОБРІН ЮРІЙ ГРИГОРЬЕВИЧ, асистент кафедри металургічного обладнання, Запорозька державна інженерна академія. E-mail: fak_76@mail.ru

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РАБОЧЕГО ОРГАНА МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК

Выполнено аналитическое исследование изнашивания однородных монометаллических молотков молотковых дробилок. Определен радиус износа грани рабочей поверхности серийного молоткового рабочего органа.

Ключевые слова: молотковая дробилка, рабочий орган, износ, радиус изнашивания, аналитическое исследование

SHEVCHENKO IRINA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Metallurgical Equipment, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: shevia@mail.ru

KOBRIN YURIY, Assistant of Department of Metallurgical Equipment, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: fak_76@mail.ru

ANALYTICAL RESEARCH OF WEAR FOR ACTUATORS OF HAMMER CRUSHERS

The analytical research of hammer crusher serial monometallic triggering hammers was carried out. The radius of wear process on working surface of monometallic triggering hammers was determined.

Keywords: hammer crusher, work body, wear, radius of wearing, analytical reseatch

Стаття надійшла до редакції 22.03.2017 р.

Рецензент, проф. А.Я. Жук

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>