

*Сілаєв Д. А.,  
к.т.н Ульяницький В.Н.,  
к.т.н Левченко Э. П.,  
к.ф-м.н. Галич В. А.  
(ДонДТУ, г. Алчевськ, Україна)*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГЛОВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ УСТАТКУВАННЯ ПОДРІБНЕННЯ АГЛОМЕРАТУ**

*Розглянуто можливості і основні напрямки вдосконалення розвитку конструкції одновалкової зубчастої дробарки з метою поліпшення якості агломерату в залежності від фракційної складової.*

***Ключові слова:** агловиробництво, шихта, агломерат, аглопиріг, дроблення, дробарка, фракція.*

*Рассмотрены возможности и основные направления усовершенствования развития конструкции одновалковой зубчатой дробилки с целью улучшения качества агломерата в зависимости от фракционной составляющей.*

***Ключевые слова:** аглопроизводство, шихта, агломерат, аглопирог, дробление, дробилка, фракция.*

**Постановка проблеми.** Чорна металургія України є однією з найпотужніших галузей промислового виробництва. Враховуючи те, що значна більшість виготовленого металу, близько 80% [1], йде на експорт, особливу увагу слід приділяти якості готової продукції, яка безпосередньо залежить від споживчих показників сировини. В умовах конкуренції на світових ринках збуту металу, фактор якості та собівартості продукції відіграє домінуючу роль в утриманні замовників.

Тому прагнення металургійних компаній скоротити виробничі витрати на підприємстві в цілому і окремих його ділянках безумовно є актуальним. Першою і важливою ділянкою металургійного підприємства є агломераційне виробництво, де відбувається утворення продукту агломерату, сировини для доменного процесу. Якість агломерату в сукупності з іншими компонентами шихти обумовлює роботу і кінцевий результат не тільки доменного, а, у подальшому, і всього виробництва на підприємстві.

Важливим критерієм, що висувається до агломерату, є фракційна крупність. Найбільш прийнятними вважаються показники розмірів шматків від 5 до 50 мм. [2], які забезпечують оптимальну газову проникність в процесі плавки шихти в доменній печі. Дрібнота менше 5 мм повертається на початкову стадію і бере участь в аглошихті для подальшого спікання агломерату, а шматки розміром 100 – 300 мм є небажаними, оскільки вони руйнуються на етапі транспортування і перевантажування та утворюють пилоподібні фракції. Тому подрібнення пирога агломерату на виході із агломераційної машини є пріоритетним для одержання бажаних розмірів агломерату.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Актуальність розгляду даної тематики полягає в тому, що безперервно зростаючі вимоги до якості вітчизняного металу і охорони довкілля від пилоутворення при подрібненні пирога агломерату та виносу пилу з доменної печі, вимагають суттєвого зменшення дрібноти в агломераті. Оскільки на металургійних підприємствах України використовуються переважно однотипні одновалкові дробарки, конструкція [4] яких не змінювалася протягом тривалого часу при відомих їх недоліках, то проблема вдосконалення існуючих дробарок, є безумовно актуальною. Аналізу процесів дроблення агломерату присвячена значна кількість робіт, [1–9], але складність і недостатньо вивчена фізична картина взаємодії робочих органів дробарки з пирогом аглоспеку відкриває ще значні перспективи для дослідження процесу подрібнення агломерату. Кінцева мета таких досліджень - максимально зменшити розкид гранулометричного складу готової шихти, що безумовно поліпшить ефективність доменної плавки.

**Мета статті** полягає в аналізі стану та перспективі розвитку дроблення агломерату на сучасному етапі металургійного виробництва, обґрунтування можливості та необхідності вдосконалення процесу дроблення шляхом усунення конструктивних недоліків в роботі органів одновалкової зубчастої дробарки та розширення її можливостей за рахунок багатоступеневого дроблення.

**Виклад основного матеріалу.** На вітчизняних аглофабриках для подрібнення аглопирога найбільше поширення отримали одновалкові зубчасті дробарки. Останні по конструкції і принципу дії мають, як свої переваги так і окремі недоліки перед іншими видами дробарок, а саме: значні розміри шматків за рахунок однократного руйнування агломерату шляхом зрізу і продавлювання.

Утворення крупних шматків матеріалу у зв'язку із значними відстанями між колосниками, істотний розкид гранулометричного складу [3].

Максимальна крупність агломерату визначається величиною подання його на зуб ротору та визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{\omega} \left( \frac{2\pi}{N} - \beta - \gamma \right) \left( 2V_n \sin \alpha + \sqrt{V_n \sin \alpha + (\sin \alpha - f \cos \alpha) 2qL} \right), \quad (1)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротору;

$N$  – число зубців зірочки ротору;

$\beta$  – центральний кут зуба зірочки;

$\gamma$  – центральний кут, пов'язаний з висотою агломерату;

$V_n$  – початкова швидкість агломерату при його ковзанні по похилій поверхні;

$\alpha$  – кут нахилу направляючої поверхні;

$f$  – коефіцієнт тертя пари агломерат – направляюча;

$L$  – довжина направляючої поверхні.

Якщо вміст часток агломерату, котрі потрапляють в доменну піч і які мають величину менше 5 мм, досягає 15 – 17% і більше, то ефективність доменної плавки значно знижується, що призводить до збільшення використання коксу і додаткових витрат. Тобто скорочення вмісту дрібноти (фракції 0 – 5 мм) на 1% підвищує продуктивність доменної печі на 0,4 – 0,7 % і скорочує витрати коксу на 0,4 – 0,7 %. [5]. Саме тому проблема подрібнення агломерату на типових одновалкових дробарках, зокрема і на ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» є актуальною. Досвід аглоцеху ПАТ «АМК» засвідчив, що у процесі роботи одновалкової дробарки утворюється більше ніж 25 % шматків з розмірами понад 200 мм і близько 10 % дрібноти з розміром 0 – 5 мм [5], а це негативно позначається на ефективності роботи доменної печі.

Як відомо, скорочення вмісту агломераційної дрібноти призводить до значного зменшення використання коксу. Так зменшення (фракції 0 – 5 мм) на 1% призводить до підвищення продуктивності плавки в доменній печі на 0,4 – 0,7 % . Зниження вмісту фракцій 0 – 5 мм в агломераті з 14,8 до 10,6 % забезпечує підвищення інтенсивності плавки на 1,7 – 2,3 % [5]. Крім того, агломераційне виробництво і пов'язане з ним виробництво чавуну і сталі є основними забрудниками довколишнього середовища. Так, наприклад, в Маріуполі на ПАТ "Металургійний комбінат імені Ілліча" і в Кривому Розі на ПАТ "Криворіжсталь" питомі викиди пилу досягають 5 – 7 кг/т сталі, тоді як для аналогічних підприємствах країн Євросоюзу питомі викиди пилу складають близько 0,4 – 0,5 кг/т сталі [5]. Тому вдосконалення процесів дроблення і зниження викидів пилу є дуже актуальною проблемою для всієї української металургії. В зв'язку з цим значна роль в оптимізації процесу руйнування та отримання необхідного за параметрами і агломерату має відводитися теоретичним методам досліджень, наприклад, моделюванню з наступним застосуванням та випробуванням у реальних виробничих умовах.

На протязі останніх років мали місце спроби удосконалити конструкцію і підвищити продуктивність своїх дробарок виробничим персоналом, на яких експлуатуються ці машини. Проте, спроби в основному, зводилися до зміни кількості зірочок на роторі від 4 до 9, а також у випробуванні варіантів розташування зірочок без їх відносного зсуву (зміщення) та з відносним зсувом на певний кут, в залежності від потужності аглоцеху, товщини шару і температури спікаємої шихти. Такі підходи давали незначні позитивні результати для виробництва і тому пошуки більш ефективного рішення даного питання потребують подальших наукових досліджень і промислових випробувань.

Роздивимося більш детально варіант багатоступеневого подрібнення агломерату. Позначимо наприклад через  $\varphi$  вектор з компонентами  $\varphi_i$ , де  $\varphi_i$  – кількість матеріалу розміром від  $x_i$  до  $\varphi_{i+1}$  ( $i = \overline{1, n}$ ), отриманого в результаті первинного руйнування матеріалу з колосниками.

Згідно з роботою [9], наступний одиничний акт руйнування матеріалу можна описати за допомогою матриці:

$$X = \begin{vmatrix} X_{11} & X_{12} \dots & X_{1n} \\ 0 & X_{22} \dots & X_{2n} \\ 0 & 0 \dots & X_{nn} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де,  $x_{ij}$  – доля матеріалу, що є розміри після руйнування від  $x_i$  до  $\varphi_{i+1}$  за попередніми розмірами від  $x_j$  до  $x_{j+1}$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ).

Таким чином, у наслідок наступного одиничного акту руйнування отримується продукт з розподілом за крупністю, та характеризується вектором  $\Gamma_1$ :

$$\Gamma_1 = X \cdot \varphi. \quad (3)$$

Так, як матеріал може неодноразово приймати участь у процесі руйнування, то з кожним послідуєчим кроком отримуються наступні характеристики по крупності:

$$\Gamma_k = X \cdot \Gamma_{k-1}, \quad (4)$$

або:

$$\Gamma_k = X^k \cdot \varphi. \quad (5)$$

Кількість актів руйнування  $N$ , в яких приймає участь окремих шматок матеріалу, є випадковою величиною, що розподілена за законом Пуасаона:

$$P_n = \frac{e^{-\lambda} \times \lambda^n}{n!}, \quad (6)$$

де  $\lambda$  – математичне очікування імовірної величини  $N$ ;

$P_n$  – імовірність того, що  $N = n$ .

З урахуванням написаного, кінцеве розподілення готового продукту за круппністю можливо описати вектором  $\Gamma_\infty$ :

$$\Gamma_\infty = \sum_{k=1}^{\infty} \Gamma_k \cdot P_k \quad (7)$$

Або, якщо врахувати формулу (5):

$$\Gamma_\infty = e^{-\lambda} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \frac{X^k \cdot \lambda^k}{k!} \right) \varphi, \quad (8)$$

де:

$$\Gamma_\infty = \begin{pmatrix} \gamma_{1\infty} \\ \dots \\ \gamma_{n\infty} \end{pmatrix}$$

У формулі (7) вектор  $\Gamma_\infty$  та  $\varphi$  вважаються відомими і визначаються експериментально. Тому вираз (6) можливо розглядати, як нелінійну систему  $n$  рівнянь відносно невідомих величин  $\lambda, X_{ij}$ . Для визначення цих складових використовуємо ітераційні методи. Залишимо систему (7) у вигляді:

$$\gamma_{i\infty} = f_i(\lambda, X_{11}, X_{12}, \dots, X_{mn}) \cdot (i = \overline{1, n}). \quad (9)$$

Мета знайти рішення системи (8) зводиться до мінімізації функції  $m$  змінних  $\lambda, X_{11}, X_{12}, X_{mn}$ :

$$\left( m = 1 + \frac{(n+1) \cdot n}{2} \right), \quad (10)$$

$$F = f_i(\lambda, X_{11}, X_{12}, \dots, X_{mn}) = \sum_{k=1}^{\infty} \left( \left( \gamma_{i\infty} - f(\lambda, X_{11}, X_{12}, \dots, X_{mn}) \right) \right)^2. \quad (11)$$

Введемо позначення  $\lambda = \mathbf{x}_{\infty}$

Для визначення мінімуму функції (10) будується ітераційний процес:

$$X_{ij}^{(k+1)} = X_{ij}^k + \lambda^{(k)} V_{ij}^{(k)}, \quad (12)$$

де:

$$V_{ij}^{(k)} = - \left. \frac{\partial F}{\partial X_{ij}} \right|_{X_{ij} = X_{ij}^{(k)}},$$

$$\lambda^{(k)} = \frac{\sum_{(ij)} \left( \frac{\partial F}{\partial X_{ij}} \right)^2}{\sum_{(ij)} \sum_{p^s} \frac{\partial^2 F}{\partial X_{ij} \partial X_{p^s}} \cdot \frac{\partial F}{\partial X_{ij}} \cdot \frac{\partial F}{\partial X_{p^s}}}.$$

Ітераційний процес (12) починається з вільного початкового наближення  $\mathbf{X}_i^{(0)}$  і, в разі необхідності, приводить до рішення системи (8) з наперед заданою точністю. Важливо зазначити, що при реалізації даної математичної схеми нема потреби отримувати аналітично дуже великі вирази для похідних першого та другого ряду від функції  $F(\lambda, X_{11}, X_{12}, \dots, X_{mn})$ . Для таких цілей доцільно використати чисельні методи:

$$\frac{\partial F}{\partial X} = \frac{F(x+h) - F(x)}{h},$$

де  $h$  – крок, від величини якого залежить точність підрахунків значення похідної в точці  $x$ .

**Висновки.** Модель, що наведена, дозволяє виявити залежність величини  $\mathbf{X}_{ij}$  від геометричних і динамічних параметрів дробарки, що суттєво скорочує об'єм експериментальних дослідів при розробці і про-

ектуванні одновалкових зубчастих дробарок, з використанням багатоступеневої обробки матеріалів.

На підґрунті отриманих результатів важливо провести подальшу модернізацію робочих органів дробарки з метою підвищення якості одержаного продукту.

### **Бібліографічний список**

1. Борискин И.К. Интенсивная механическая обработка агломерата. Теория, оборудование, технология / Борискин И.К., Арыков Г.А., Пыриков А.Н. – М: МИСИС, 1998. – 248 с.

2. Левченко О.О. Аналіз умов подання пирога агломерату в одновалкову зубчасту дробарку /Левченко Оксана Олександрівна.// Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып 19. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. – С. 323 – 330.

3. Петрушов С.Н. Оборудование и эксплуатация фабрик окускования: учебн. пособ. / Петрушов Станислав Николаевич. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – 302 с.

4. Федоровский Н. В. Агломерация железных руд:[справочник]/ Н.В. Федоровский. Д. И. Шанидзе. – К.: Техника , 1991. – 141 с.

5. Сталинский Д. В. «Энегосталь»: Комплексный подход к решению проблемы окружающей среды и энергосбережения/ Д.В.Сталинский, В.А. Ботштейн, А.З. Рыжавский // Экология и промышленность. – 2004. – №1. – С. 5 – 9.

6. Коротич В.И. Агломерация рудных материалов. Научное издание / В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский. – Екатеринбург: ГОУВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 400 с.

7. Жилкин В.П. Производство агломерата. Технология, оборудования, автоматизация / В.П. Жилкин, Д.Н. Доронин. Под общей редакцией Шалаева Г.А. – Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. – 292 с.

8. Барон Л.И. Разрушаемость горных пород свободным ударом / Л.И. Барон, И.Е. Хмельковский. – М: Наука, 1971. – 203 с.

9. Вегеман А.Ф. Окускование руд и концентратов / А.Ф Вегеман. – М: Металлургия, 1968. – 258 с.

*Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Новохатським О.М.*