

9. Abdul Quader, M.; Ahmed, S.; Dawal, S.Z.; Nukman, Y. Present Needs, Recent Progress and Future Trends of Energy-Efficient Ultra-Low Carbon Dioxide (CO₂) Steelmaking (ULCOS) Program. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 55, 537–549

УДК 669.162

В. В. Бочка, М. В. Ягольник, К. В. Шмат, А. В. Сова, А. М. Круглов

Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), Дніпро

ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ АГЛОМЕРАТУ ПРИ ЙОГО МЕХА- НІЧНІЙ ОБРОБЦІ

Сучасна технологічна схема виробництва агломерату передбачає його механічну обробку в агрегатах різної конструкції [1]. У зв'язку з цим було проведено аналіз характеристик твердих тіл, які відображають їх здатність чинити опір деформаціям і руйнуванню під дією навантажень. Причинами руйнування спеченого агломерату - антропогенного багатокомпонентного матеріалу є показники міцності фаз міжблокової зв'язки, внутрішні напруження, які виникають під час спікання та охолодження, наявність великих пор, неспечених крупних компонентів шихти, тріщин. Міцність агломерату залежить і від його крупності.

Виділення зі спеченого агломерату міцної складової, зі стабілізацією його крупності (5-40 мм), складу та властивостей без утворення значної кількості дріб'язку (0-5 мм) є задачею етапу його механічної обробки.

Визначено основні вимоги для ефективної стабілізації агломерату під час механічної обробки:

- спільна дія сил удару, стирання та розколювання;
- зменшення енергії навантаження по ходу обробки зі 100 до 30-40 Дж/кг зі зменшенням крупності самих кусків.

Розглянуто особливості механічної обробки агломерату в різних пристроях. В сучасних умовах агломерат перед відправленням у доменний цех піддається механічній обробці переважно в дробарках різного типу та подальшому відсіванню на грохотах різної конструкції. Недоліком використання дробарок є відсутність можливості контролю необхідної величини навантаження, прикладеного на агломерат, та переважна однотипність діючих сил руйнування. Це призводить до подрібнення кусків з утворен-

ням значної кількості дріб'язку, а не ефективного виділення зі спеченця міцної складової. Сучасні грохоти не пристосовані до руйнування агломерату, а виконують лише відсів дріб'язку, що не дозволяє у повній мірі реалізувати внутрішні напруження у кусках і стабілізувати його склад і крупність.

Встановлено, що агрегатом, який забезпечує водночас дію сил удару, стирання та розколювання є барабан-стабілізатор (рис. 1) [2], робочий простір якого обладнано певною кількістю полиць. Механічна обробка в ньому здійснюється при взаємодії кусків різної форми та крупності, що рухаються за своїми траєкторіями. Він використовується після зубчатої дробарки для обробки спеченця крупністю 0-100 мм (рис. 2).

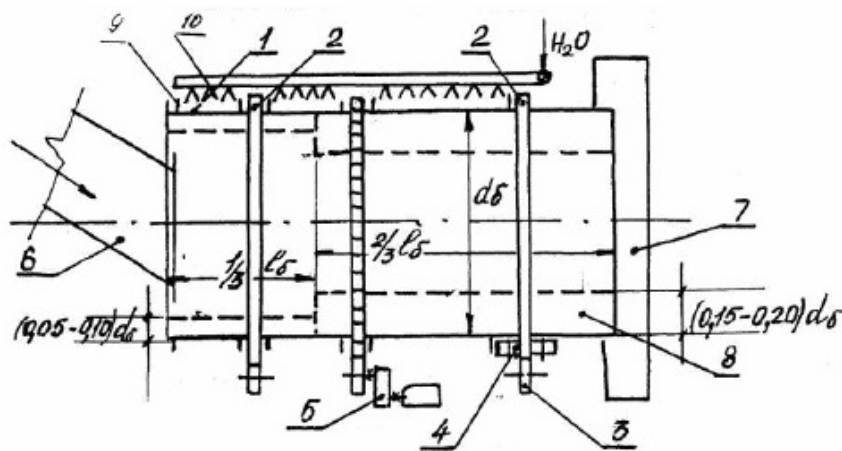


Рис.1 - Схема пристрою барабанного типу

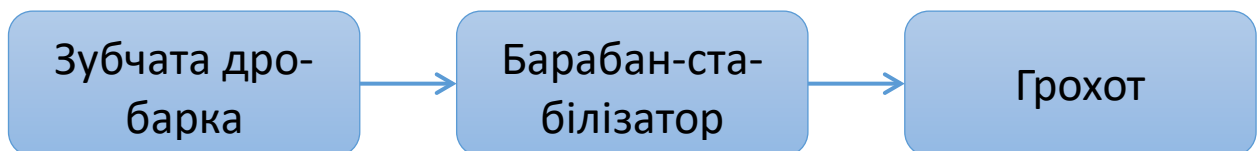


Рис. 2 - Схема механічної обробки з використанням барабана-стабілізатора

Встановлено, що істотним недоліком цього пристрою є відсутність достатнього аргументування вибору конструкційних і технологічних параметрів роботи барабана-стабілізатора, що не дозволяє ефективно управляти механізмом стабілізації агломерату.

Для дослідження впливу конструкційних і технологічних параметрів роботи пристрою барабанного типу на руйнування агломерату розроблена математична модель, яка включає наступні блоки (рис. 3). Модель розроблена на основі математичної моделі роботи кульового млина при подрібненні матеріалів металічними шарами однакового розміру з урахуванням, що зсередини барабан - стабілізатор має полиці, а в

якості тіл дроблення використовуються куски агломераційного спеченця, який характеризується неправильною формою (коефіцієнт форми характеризує ступінь наближення форми куска до кулястої).



Рис. 3 - Схема механічної обробки з використанням барабана-стабілізатора

Математична модель дозволяє визначити частоту обертання барабана, при якій агломерат починає рухатися у водоспадному режимі, кількість цього агломерату, траєкторію, час і швидкість падіння кусків в просторі барабана, а також величину і види енергетичних навантажень, які діють на матеріал при різних технологічних і конструкційних параметрах роботи пристрою. Її вихідними параметрами є величина загальної енергії навантаження, яка складається з енергій удару, стирання та розколювання.

Визначено, що енергія навантаження, яка діє на агломерат, залежить від наступних факторів: радіуса барабана, частоти обертання, кількості та ширини полиць, ступеню завантаження пристрою агломератом. Довжина барабана та кут його нахилу

впливають на час знаходження агломерату в пристрої. Проведена оцінка впливу цих факторів на величину та вид енергії навантаження на 1 кг агломерату.

Як показано на рис. 4а, зміна частоти обертання барабана суттєво впливає на величину та вид енергії навантаження. Зміна частоти до 7 об/хв не призводить до значних змін величини та характеру енергії навантаження. Зі збільшенням частоти обертання до 8-10 об/хв значно зростає величина загальної енергії навантаження за рахунок збільшення ударних сил і максимальну величину сил стирання та розколювання. Подальше збільшення частоти обертання призводить до значного зростання загальної енергії навантаження за рахунок прудкого росту ударних сил і зменшення сил стирання та розколювання. Це призведе до значного перенавантаження та подрібнення агломерату.

З рис. 4б видно, що збільшення радіуса барабана до 1,5 м призводить до плавного зростання енергетичних навантажень на куски агломераційного спеченця. Зі збільшенням радіуса $>1,5$ м починається активне зростання ударного навантаження по відношенню до сил стирання та розколювання.

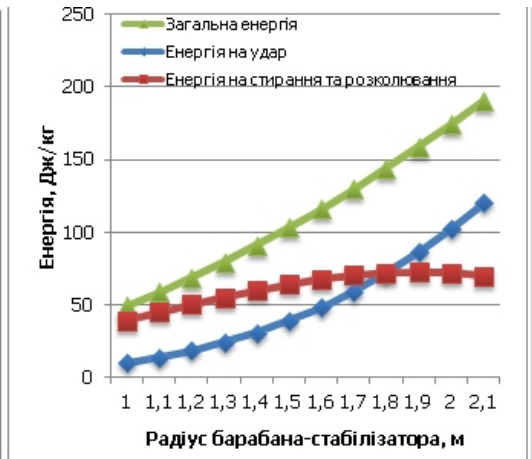
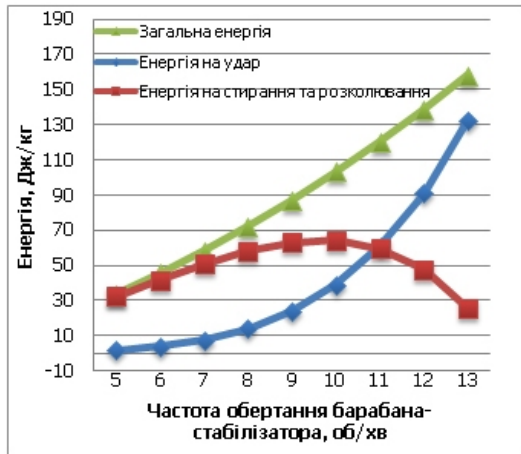
Збільшення кількості та ширини полиць призводить до пропорційного росту усіх видів енергії, рис. 4в, 4г. Пояснюється це тим, що кількість та ширина полиць впливають на динаміку руху кусків в барабані шляхом збільшення частки агломерату, який рухається водоспадним режимом, а, отже, підвищуючи інтенсивність енергетичних навантажень.

Зростання ступеня завантаження матеріалом барабана-стабілізатора в незначній мірі призводить до підвищення частки енергії стирання та розколювання, рис. 4д. Це відбувається через збільшення кількості агломерату, що рухається водоспадним режимом.

Визначено, що енергія навантаження, яка діє на агломерат, залежить від наступних факторів: радіуса барабана, частоти обертання, кількості та ширини полиць, ступеню завантаження пристрою агломератом. Довжина барабана та кут його нахилу впливають на час знаходження агломерату в пристрої. Проведена оцінка впливу цих факторів на величину та вид енергії навантаження на 1 кг агломерату.

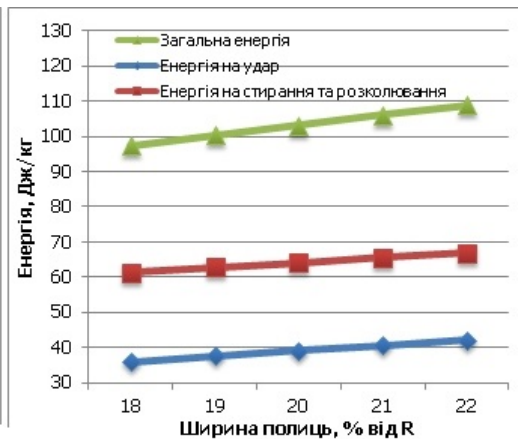
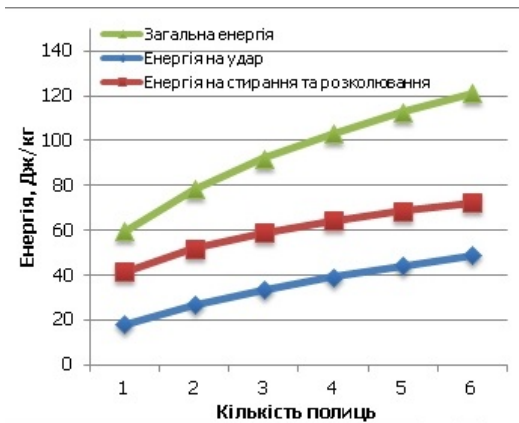
Як показано на рис. 4а, зміна частоти обертання барабана суттєво впливає на величину та вид енергії навантаження. Зміна частоти до 7 об/хв не призводить до значних змін величини та характеру енергії навантаження. Зі збільшенням частоти обертання до 8-10 об/хв значно зростає величина загальної енергії навантаження за рахунок збільшення ударних сил і максимальну величину сил стирання та розколювання.

Подальше збільшення частоти обертання призводить до значного зростання загальної енергії навантаження за рахунок прудкого росту ударних сил і зменшення сил стирання та розколювання. Це призведе до значного перенавантаження та подрібнення агломерату.



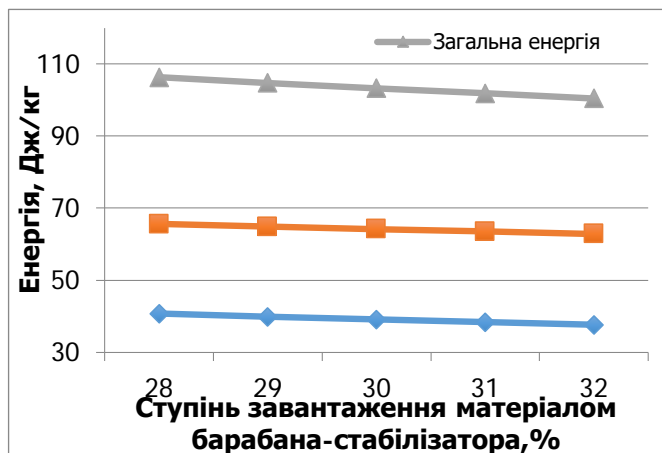
а)

б)



в)

г)



д)

Рис. 4 - Взаємозв'язок енергії навантаження та параметрів барабанного пристрою

З рис. 4б видно, що збільшення радіуса барабана до 1,5 м призводить до плавного зростання енергетичних навантажень на куски агломераційного спеченця. Зі збільшенням радіуса >1,5 м починається активне зростання ударного навантаження по відношенню до сил стирання та розколювання.

Збільшення кількості та ширини полиць призводить до пропорційного росту усіх видів енергії, рис. 4в, 4г. Пояснюється це тим, що кількість та ширина полиць впливають на динаміку руху кусків в барабані шляхом збільшення частки агломерату, який рухається водоспадним режимом, а, отже, підвищуючи інтенсивність енергетичних навантажень.

Зростання ступеня завантаження матеріалом барабана-стабілізатора в незначній мірі призводить до підвищення частки енергії стирання та розколювання, рис. 4д. Це відбувається через збільшення кількості агломерату, що рухається водоспадним режимом.

Рекомендується заповнювати робочий простір барабана в межах 15-30%, оскільки з урахуванням ваги самого пристрою збільшується механічне навантаження на привід барабана.

На основі результатів дослідження отримано рівняння множинної регресії залежності величини загальної (E_K) та ударної ($E_{уд}$) енергій від конструкційних і технологічних факторів, які впливають на процес руйнування кусків в барабані:

$$E_K = 0,02927 * n_{об}^{1,61} * R_б^{3,82} * n_{п}^{0,39} * h_{п}^{0,55} * \varphi^{0,57}, R^2=99.6\%$$

де $n_{об}$ – кількість обертів барабана-стабілізатора за хвилину; $R_б$ – радіус барабана-стабілізатора; $n_{п}$ – кількість полиць; $h_{п}$ – ширина полиці; φ – ступінь завантаження.

$$E_{уд} = 4,103 * 10^{-6} * n_{об}^{4,63} * R_б^{5,34} * n_{п}^{0,55} * h_{п}^{0,77} * \varphi^{0,41}, R^2=98.6\%$$

Енергія, що витрачається на руйнування стиранням та розколюванням, визначається різницею загальної та ударної енергій.

Використання наведених рівнянь надає можливість обґрунтованого вибору раціональних параметрів конструкції пристрою барабанного типу. Крім того, вони дозво-

ляють за заданими величинами наведених факторів визначати технологічні параметри механічної обробки кусків спеченця, що забезпечать отримання агломерату заданої крупності та форми.

Для забезпечення оптимальної дії механічних навантажень у барабані (зменшення енергії та виду навантаження по ходу обробки), запропоновано виділити у пристрої три характерні зони з різним механізмом руйнування агломерату: дроблення - з максимальною необхідною величиною загальних та ударних навантажень (70-100 Дж/кг); стабілізації характеристик за крупністю при мінімальному утворенні дріб'язку за рахунок зменшення загальних та ударних навантажень (50-60 Дж/кг); стирання, яке має забезпечити мінімізацію ударних навантажень, з основною дією сил, які дозволять видалити гострі виступи для надання агломерату кулястої форми (30-40 Дж/кг).

Створення робочих зон в барабані з метою зниження величини енергії руйнування можливе завдяки зміні кількості та ширини полиць в робочих зонах пристрою.

Висновки. Визначено основні вимоги для ефективної стабілізації агломерату за гранулометричним складом і міцністю під час механічної обробки: спільна дія сил удару, стирання та розколювання; зменшення енергії навантаження по ходу обробки зі 100 до 30-40 Дж/кг зі зменшенням крупності самих кусків.

Розроблена математична модель руйнування агломерату в пристрої барабанного типу. Визначено конструкційні та технологічні фактори, які впливають на процес руйнування кусків в барабані: його радіус, частота обертання, кількість та ширина полиць, ступінь завантаження барабана матеріалом. Моделювання дозволило визначити характер впливу цих факторів на величину та вид енергії навантаження на агломерат.

Список літератури

1. Ковалев Д.А. і др. Теоретические основы производства окускованного сырья: учебное пособие для высших учебных заведений / Д.А. Ковалев, Н.Д. Ванюкова, В.П. Иващенко, Б.П. Крикунов, М.В. Ягольник, М.Н. Бойко – НМетаУ.-Днепропетровск: ИМА-пресс.-2011.-476 с.
2. Барабан-стабілізатор із завантажувальним пристроєм. Патент на корисну модель №100418 Україна // С.Є. Суліменко, В.В. Бочка, Є.І. Суліменко, А.В. Сова// опубл. 27.07.2015 р. Бюл. №14.