

УДК 622.788.3

М.Ю. Пазюк, зав. кафедри, д.т.н., професор

Ю.М. Пазюк, доцент, к.т.н.

ВПЛИВ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ НА ПРОЦЕС ЙОГО ГРУДКОУТВОРЕННЯ

Запорізька державна інженерна академія

Изложены результаты исследований влияния фракционного состава окомковываемого материала и типа гранулирующего агрегата на эффективность процесса грануляции. Приведено описание механизма возникновения и роста гранул в различных по исходному гранулометрическому составу сыпучих материалах.

Ключевые слова: агломерационная шихта, фракционный состав, окомкование, барабанный гранулятор, тарельчатый гранулятор

Викладено результати досліджень впливу фракційного складу грудкуватого матеріалу та типу гранулюючого агрегату на ефективність процесу грудкоутворення. Наведено опис механізму виникнення та зростання гранул у різних за початковим гранулометричним складом сипких матеріалах.

Ключові слова: агломераційна шихта, фракційний склад, грудкоутворення, барабанный гранулятор, тарільчатий гранулятор

There are expounded the results of researches on influence of factious composition for cloddy material and type of granulating aggregate on efficiency of granulation process. Description over of mechanism for initiation and increase of granules in friable materials with different initial grain-size distribution is presented.

Keywords: sintering mixture, fractious composition, pelletizing, drum granulator, disk-shaped granulator

Вступ. Головним елементом підготовки агломераційної шихти й окатишів до теплової обробки є грудкоутворення [1,2], вплив якого підвищується у міру використання залізрудних концентратів глибокого збагачення за умов нестабільного фракційного складу матеріалів, що подають до гранулятора.

Аналіз досягнень. Залізрудні матеріали мають різну схильність до утворення гранул, яку визначають за величиною їх коефіцієнта грудкоутворення [3]. Проте зазначений показник характеризує тільки можливості матеріалу та не враховує особливості його поведінки під час грудкоутворення [4-6]. На відміну від тарілчастих грануляторів, процеси грудкоутворення та переміщення матеріалу в барабаних грануляторах здійснюються одночасно, при цьому умови руху його різних фракцій суттєво залежать від швидкості обертання та кута нахилу барабана. Тому, за ідентичних початкових умов можуть бути одержані неоднозначні кінцеві результати, що ускладнює дослідження й аналіз роботи гранулятора.

На протікання процесу грудкоутворення сипкого матеріалу суттєво впливає співвідношення швидкості переміщення фракції, що здійснює утворення грудок матеріалу, та швидкості переміщення фракції, з якої здійснюють утворення грудок у поперечному перерізі барабанного гранулятора. Траєкторію руху сипкого матеріалу

щодо внутрішньої поверхні зазначеного пристрою можна поділити на дві самостійні ділянки: ділянку піднімання матеріалу та ділянку його скочування. Швидкість руху всіх фракцій сипкого матеріалу в потоці, що піднімається, є практично однаковою та наближається до окружної швидкості обертання внутрішньої поверхні барабанного гранулятора [3]. Тому під час піднімання маси сипкого матеріалу грудкоутворення у ньому практично не відбувається. Під час скочування часточок сипкого матеріалу здійснюється його псевдозрідження та розподілення потоку матеріалу на окремі фракції залежно від їх фізико-механічних характеристик.

Значна міра розпушування сипкого матеріалу не дозволяє приймати такий потік суцільним та його слід розглядати як сукупність окремих часточок, які досить вільно скочуються. Це дозволяє, під час дослідження руху сипкого матеріалу на площині скочування, використовувати результати моделювання руху окремої часточки сферичної форми [7].

Постановка завдання. Завданням досліджень є вивчення впливу фракційного складу сипкого матеріалу та типу гранулюючого пристрою на ефективність процесу грудкоутворення.

Основна частина досліджень. На грудкоутворення сипких матеріалів значно впливає їх фракційний склад. Якщо частина матеріалу, що здійснює утворення грудок, складається переважно з фракцій великих розмірів, які можна хара-

ктеризувати низьким значенням коефіцієнта тертя, то оптимальні умови грудкоутворення будуть досягнутими за відносно невеликих кутів піднімання маси сипкого матеріалу в барабанному грануляторі [8,9].

У міру збільшення вмісту дрібної фракції в частині сипкого матеріалу, що здійснює утворення грудок, оптимальне значення кута піднімання його маси збільшуватиметься. Оскільки утворення гранул і збільшення їх розмірів у барабанних грануляторах є можливими тільки під час прокатування фракції, що здійснює утворення грудок матеріалу, щодо шару фракції, з якої здійснюють утворення грудок, то ефективність процесу грудкоутворення є обмеженою рухом маси сипкого матеріалу за режимом перекошування. Під час переходу на водоспадний режим руху матеріалу довжина ділянки зіткнення потоку сипкого матеріалу, який піднімається, та потоку, який скочується, зменшується. Тому відбувається зниження інтенсивності процесу грудкоутворення.

Під час процесу грудкоутворення тонкодисперсних сипких матеріалів необхідний кут піднімання верхнього краю рухомої маси матеріалу може перевищувати межове значення, що характеризує перехід від режиму перекошування на режим водоспадного руху [10]. В цьому разі умови взаємодії фракцій, які беруть участь у процесі грудкоутворення, погіршуються, що призводить до зниження швидкості грудкоутворення сипкого матеріалу. Для підвищення ефективності зазначеного процесу необхідно збільшити протяжність ділянки взаємодії фракцій, що беруть участь у процесі грудкоутворення та змінити гранулометричний склад матеріалу, що поступає до гранулятора.

Для збереження умов руху сипкого матеріалу, що є характерними для режиму перекошування за великих значень кута піднімання доцільно основний процес грудкоутворення перенести з бічної поверхні циліндра, що обертається, де він у даному разі є малоефективним, на його торцеву поверхню, поділивши функції бічної та торцевої поверхонь гранулятора. В цьому разі, бічна поверхня використовуватиметься тільки для транспортування маси сипкого матеріалу після грудкоутворення, а основний процес взаємодії фракцій відбувається під час скочування похилою торцевою поверхнею. У зв'язку з цим висота бічних стінок гранулятора може бути значно скороченою, що дозволить поліпшити його швидкісні характеристики. Торцева поверхня гранулятора має бути нахиленою до горизонту під кутом, який не перевищує кут природно-

го укошу фракції сипкого матеріалу, що здійснює утворення грудок [11,12].

Створення центрів грудкоутворення відбувається у місці падіння крапель зволожуючої рідини на масу сипкого матеріалу. За дією сил поверхневого натягнення дрібні фракції стягуються до центру грудкоутворення, створюючи тіло, близьке за формою до сферичного [7]. В процесі подальшого руху в об'ємі гранулятора ущільнюється структура центру грудкоутворення, що сприяє витискуванню рідини на його поверхню та приєднанню нових фракцій, з яких утворюються грудки матеріалу.

У зв'язку із значною кількістю вологи, що міститься в ній, первинний центр грудкоутворення сипкого матеріалу характеризується підвищеною пластичністю, що дозволяє йому без руйнування переносити досить високі ударні навантаження. У міру збільшення кількості вологи на поверхні первинного центру грудкоутворення швидкість накошування на нього фракції, що здійснює утворення грудок матеріалу, зменшується, а потім і дорівнює нулю. За достатньої кількості зволожуючої рідини для протікання процесу грудкоутворення сипкого матеріалу зазначений процес триватиме до настання рівноваги між процесами утворення гранул кондиційного розміру та їх руйнуванням під дією ударних і стираючих навантажень.

Таким чином, процес грудкоутворення з мілкодисперсних сипких матеріалів повинен включати наступні етапи:

- створення центрів грудкоутворення;
- накошування дрібних фракцій на центри грудкоутворення, що створюються;
- ущільнення частини центрів грудкоутворення, що утворюються, за дією ударних навантажень;
- руйнування частини центрів грудкоутворення за дією ударних і стираючих навантажень;
- досягнення рівноважного стану між процесами усередині маси матеріалу, з якого здійснюють утворення грудок.

Для процесу грудкоутворення з полідисперсних сипких матеріалів перший етап є відсутнім або трохи вираженим, оскільки у масі матеріалу вже існують центри грудкоутворення, що є великими фракціями руди та різних компонентів залізородної суміші. Тому процес грудкоутворення з полідисперсних сипких матеріалів, за інших незмінних умов, має меншу тривалість, чим для мілкодисперсних матеріалів.

Під час грудкоутворення з полідисперсних сипких матеріалів створення нових часточок кондиційного розміру відбувається, в основно-

му, за рахунок накопчування дрібної фракції на велику фракцію, що є центрами утворення грудок матеріалу. В результаті створюється сипкий матеріал, який має досить високі механічні характеристики.

За грудкоутворення сипкого матеріалу, близького за складом до монодисперсного матеріалу, утворення та зростання гранул здійснюється як результат взаємодії однакових за розміром фракцій (-1,0 мм). Тому механічні властивості гранул сипкого матеріалу, що утворюються з дрібних фракцій, будуть дещо нижчими, ніж у першому разі. Підвищення їх міцності є можливим додаванням спеціальних єднальних сполук до матеріалу, з якого здійснюють утворення грудок.

Якщо кількість сипкого матеріалу в грануляторі є постійною, то процес грудкоутворення триватиме до настання стану рівноваги між частиною матеріалу, що здійснює утворення грудок, і частиною, з якої утворюють грудки. Після цього спостерігають безперервне зростання гранул, що характеризуються вищою міцністю та руйнуванням менш міцних часточок. При цьому константа рівноваги процесу грудкоутворення зберігатиметься постійною або буде трохи змінюватися у бік створення більшої кількості фракції, що здійснює утворення грудок матеріалу, за рахунок ущільнення гранул, що утворюються, у процесі їх поступального руху на внутрішній поверхні гранулятора, що обертається.

Приймаючи до уваги, що у процесі піднімання маси, з якої здійснюють утворення грудок, спостерігається розподіл сипкого матеріалу, що піднімається, за фракціями, необхідно забезпечити спільний рух фракції, що здійснює утворення грудок, і фракції, з якої здійснюють утворення грудок на ділянці скочування.

Для грудкоутворення з монодисперсних сипких матеріалів необхідно створити умови для різних режимів руху фракції, яка здійснює утворення грудок матеріалу, та фракції, з якої здійснюють утворення грудок у зазначеному процесі. Це може бути досягнутим як у барабанних, так тарілчастих або чашоподібних грануляторах. Проте, у першому разі важко добитися ефективного розподілення маси рухомого матеріалу на окремі фракції. У другому разі поставлене завдання вирішується досить просто, завдяки існуванню автономних налаштувань гранулятора, а саме, кількості обертів і кута нахилу торцевої поверхні.

Таким чином, як показує аналіз умов взаємодії різних фракцій сипкого матеріалу в процесі його грудкоутворення, вибір типу гранулю-

ючого пристрою визначається багатьма чинниками, з яких як основні можна виділити гранулометричний склад матеріалу, що надходить, та технологічні вимоги до якості його грудкоутворення.

Як показують результати дослідження умов руху сипкого матеріалу в гранулюючих пристроях [13], барабанні гранулятори забезпечують ефективне грудкоутворення з полідисперсних сипких матеріалів. Зменшення розміру часточок сипкого матеріалу та вирівнювання його гранулометричного складу потребують збільшення швидкості руху поверхні пристрою, що обертається. Для барабанних грануляторів це призводить до погіршення взаємодії фракції сипкого матеріалу, що здійснює утворення грудок, і фракції, з якої здійснюють утворення грудок, та зниженню швидкості процесу грудкоутворення. Тому бічну поверхню пристрою доцільно використовувати тільки для транспортування сипкого матеріалу, а безпосередньо процес грудкоутворення здійснювати на його похилій торцевій поверхні. Такі умови виконуються у чашоподібних і тарілчастих грануляторах, які нині використовують для грудкоутворення з мілкодисперсних сипких матеріалів.

Барабанні гранулятори характеризуються високою стабільністю роботи з полідисперсними початковими матеріалами, але матеріал, з якого здійснюють одержання грудок, має неоднорідний гранулометричний склад. Тому використання барабанних грануляторів без додаткових пристроїв є ефективним тільки в агломераційному виробництві. Не дивлячись на те, що тарілчасті гранулятори характеризуються низькою стабільністю щодо продуктивності, вони забезпечують одержання однорідного за гранулометричним складом сипкого матеріалу з мілкодисперсної залізорудної сировини. Це обумовлює доцільність їх застосування під час виробництва окатишів. Виходячи з особливості руху сипких матеріалів у грануляторах різних типів, необхідно відмітити, що для тарілчастих агрегатів потрібна якісніша підготовка початкових сипких матеріалів (їх усереднювання та дозування до гранулятора).

Висновки. Досліджено вплив фракційного складу сипких матеріалів на процес їх грудкоутворення у барабанних, тарілчастих і чашоподібних грануляторах. Вивчено особливості взаємодії фракції, яка здійснює утворення грудок матеріалу, та фракції, з якої здійснюють утворення грудок, а також створення центрів грудкоутворення у агрегатах зазначеного типу.

Бібліографічний список

1. **Вегман, Е. Ф.** Теория и технология агломерации [Текст] / Е. Ф. Вегман. – М. : Металлургия, 1974. – 286 с. – Библиогр. : с. 285-286. – 1500 экз.
2. **Коротич, В. И.** Теоретические основы окомкования железорудных материалов [Текст] / В. И. Коротич. – М. : Металлургия, 1966. – 150 с. – Библиогр. : с. 147-149. – 1500 экз.
3. **Витюгин, В. М.** Кинетика процесса окатывания железорудных концентратов в барабанном грануляторе [Текст] / В. М. Витюгин, Р. Е. Бегма, А. А. Знаменский // Проблемы автоматизации агломерационного производства. – Киев : КИА, 1971. – С. 292-296. – Библиогр. : с. 296.
4. **Пазюк, М. Ю.** Исследование движения сыпучих материалов в поперечном сечении цилиндрического окомкователя [Текст] / М. Ю. Пазюк // Известия вузов. Черная металлургия. – 1987. – № 6. – С. 136-138. – Библиогр. : с. 138.
5. **Пазюк, М. Ю.** Массоперенос при грануляции железорудных материалов [Текст] / М. Ю. Пазюк // Известия вузов. Черная металлургия. – 1990. – № 4. – С. 8-10. – Библиогр. : с. 10.
6. **Пазюк, М. Ю.** Моделирование работы барабанных окомкователей [Текст] / М. Ю. Пазюк // Известия вузов. Черная металлургия. – 1988. – № 4. – С. 93-97. – Библиогр. : с. 97.
7. **Пазюк, М. Ю.** Особенности формирования слоя полидисперсных сыпучих материалов [Текст] / М. Ю. Пазюк, В. И. Гранковский, Г. В. Туровцев // Известия вузов. Черная металлургия. – 1983. – № 10. – С. 13-16. – Библиогр. : с. 16.
8. **Гранковский, В. И.** Исследование работы барабанного окомкователя [Текст] / В. И. Гранковский, Ю. М. Зинченко, М. Ю. Пазюк, А. Н. Николаенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 1979. – № 12. – С. 12-14. – Библиогр. : с. 14.
9. **Пазюк, М. Ю.** Выбор рациональных параметров барабанных грануляторов агломерационной шихты [Текст] / М. Ю. Пазюк, Ю. М. Пазюк, О. В. Ренгевич // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2003. – Вип. 7. – С. 12-15. – Библиогр. : с. 14-15.
10. **Пазюк, М. Ю.** Исследование влияния технологических параметров гранулятора на качество окомкования агломерационной шихты [Текст] / Ю. М. Пазюк, О. В. Ренгевич, И. А. Овчинникова // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2003. – Вип. 8. – С. 19-24. – Библиогр. : с. 24.
11. **Каменев, А. Д.** Комплексное моделирование агломерации и окомкования руд [Текст] / А. Д. Каменев. – М. : Металлургия, 1978. – 254 с. – Библиогр. : с. 253-254. – 1500 экз.
12. **Пожуев, В. И.** Моделирование движения и взаимодействия железорудных материалов в тарельчатых грануляторах [Текст] / В. И. Пожуев, Ю. М. Пазюк // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград : КНТУ, 2004. – Вип. 14. – С. 376-384. – Библиогр. : с. 383-384.
13. **Пазюк, Ю. М.** Оптимизация условий движения сыпучих материалов в поперечном сечении барабанного окомкователя [Текст] / Ю. М. Пазюк // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2012. – Вип. 1 (26). – С. 5-10. – Библиогр. : с. 10.

Стаття надійшла до редакції 13.03.2015 р.
Рецензент, проф. А.М. Ніколаєнко

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