

ОГЛЯД СПОСОБІВ УЩІЛЬНЕННЯ ПОРОШКОПОДІБНИХ ТА ДРІБНИХ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Комар А.С., інженер

Болтянська Н.І., к.т.н.,

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день в Україні гостро стоїть питання переробки та використання вторинних матеріальних ресурсів і організація безвідходних технологій виробництва. Такі тенденції спостерігаються в багатьох галузях промисловості таких як дорожнє будівництво, виготовлення будівельних матеріалів, чорна металургія [1], сільське господарство [2, 3] тощо. Це дозволяє не лише утилізувати відходи і покращувати екологічну обстановку в регіонах країни, а й дозволяє економити сировинні ресурси.

Сучасна техніка та обладнання в своєму розвитку повинні передбачати значне підвищення продуктивності, економічності та технологічних процесів, помітне зниження їх енерго- та матеріалоемності, підвищення якості продукції, що випускається.

Важливим елементом розвитку сучасної переробки вторинних матеріалів є вибір найраціональнішого способу ущільнення вихідних матеріалів, а також вдосконалення, впровадження методів для їх найефективнішого гранулювання, що разом зі значним зменшенням об'єму дозволить зберегти високу якість пресування сипких матеріалів [4].

Тому актуальним є здійснення огляду способів ущільнення порошкоподібних і дрібних сипких матеріалів та методів механізму утворення гранул.

Основні матеріали дослідження. Дослідженням процесів ущільнення сипких матеріалів займалися такі відомі вчені як: Вілесов М.Г., Скрипко В.Я., Танченко І.М. 76, Вайстіх Г.Я., Дарманьян П.М. 88, Кучінскас З.М., Особов В.І. 88, Классен П.В., Гришаєв І.Г., Шомін І.П., Осокін А.В. та ін. [5, 6].

З огляду на численні роботи науковців можемо виділити шість найпоширеніших способів формування та ущільнення сипких матеріалів та сумішей (рис. 1) [1, 6].

Суть *вібраційного ущільнення* полягає в тому, що під впливом вібрації руйнуються початкові зв'язки та поліпшується взаємний рух між частками, завдяки чому досягається значна щільність спресованих виробів. Перевагами такого способу є значно зменшений тиск пресування і підвищена рівномірна щільність спресованих виробів, недоліками: складність конструкції установки; періодичність процесу;

відносно невисока продуктивність.

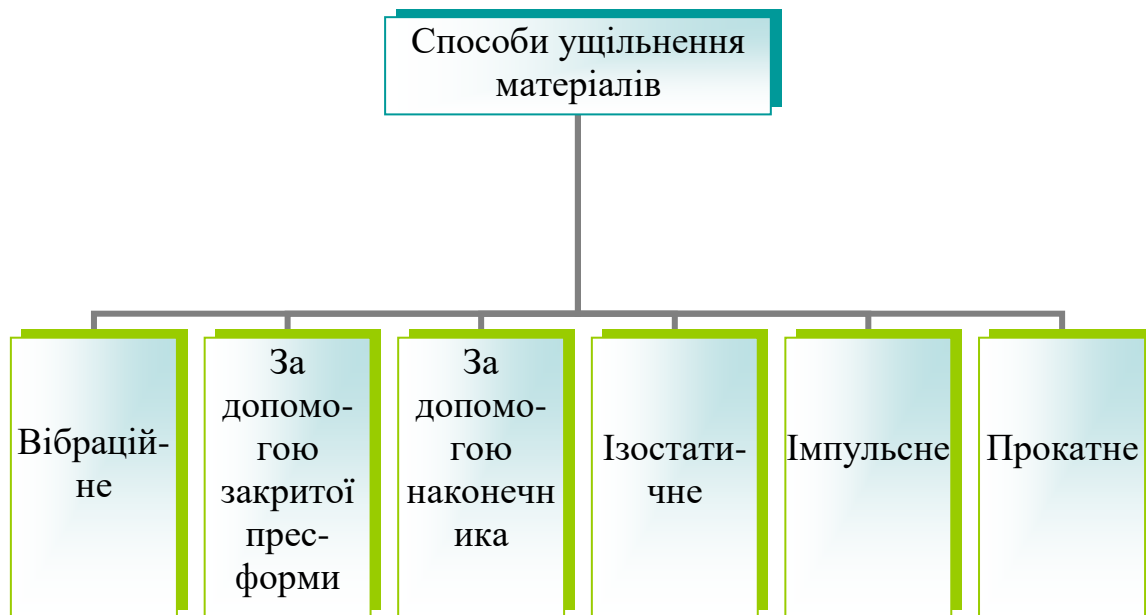


Рис. 1. Основні способи ущільнення сипких матеріалів

До матеріалу, при *ущільненні за допомогою закритої прес-форми*, додається тиск зі сторони одного або двох пуансонів. Матеріал зменшується в об'ємі і набуває необхідну форму. Можливість отримання спресованих виробів певних розмірів і з заданими фізико-механічними властивостями є перевагами заданого способу ущільнення. До недоліків способу слід віднести нерівномірний розподіл щільності в об'ємі пресування через виникнення сил тертя.

При *ущільненні за допомогою наконечника* пресування матеріалу відбувається за рахунок його продавлювання через формуючий канал (отвір, філь'єру), що визначає форму і розміри поперечного перерізу. Перевагами способу є можливість отримання спресованих виробів заданих геометричних форм та розмірів, недоліками – дефектність структури отриманих заготовок за рахунок «розшарування» матеріалу при продавлюванні; періодичність дії; складність видалення повітря з матеріалу; низька продуктивність.

Формування з використанням рідини або газу під дуже високим тиском і, при необхідності, високих температурах в умовах всебічного стиснення називається *ізостатичним ущільненням*. Спосіб використовують для отримання великогабаритних заготовок, що у всіх напрямках мають однаковою щільністю. Прикладання тиску по всім зовнішнім поверхням спресованого матеріалу і практично повна відсутність втрат на зовнішнє тертя є перевагами цього способу ущільнення. Недоліки: складність конструкції установок; великі габарити; періодичність дії; складність видалення повітря з формованого матеріалу; підвищені енерговитрати.

Імпульсне ущільнення проводиться ударними хвилями з

інтервалом в 1 с. При високих швидкостях ущільнення порошку теплота, що виділяється в результаті деформації частинок, простору між ними і зовнішнього тертя, призводить до локального нагрівання місць контактів частинок і їх спікання. Переваги способу: високий ступінь стиснення матеріалу і його ущільнення, недоліки: періодична дія; застосування вибухонебезпечних речовин; підвищений знос робочих органів; високий шум установок.

При *прокатному ущільненні* вихідна сировина проходить між двома валками з гладкою поверхнею, що обертаються. Перевагами способу є висока продуктивність, економічність, простота конструкції і надійність; низькі експлуатаційні витрати, порівняно невеликі габарити. Головним недоліком машин подібного типу є складність формування адгезійно-активних матеріалів і тонко-дисперсних частинок, розміром менше 100 мк.

Найпоширенішим і найпопулярнішим видом ущільнення порошкоподібних та дрібних сипких матеріалів є гранулювання [7]. Розсипна сировина складається з двох фаз: твердої, що містить деяку кількість вологи і газоподібної, що заповнює простір між частинками. Кількісне співвідношення цих фаз до і після пресування на грануляторах змінюється. Ефективність процесу гранулювання залежить від механізму утворення гранул, який, в свою чергу, визначається способом гранулювання. У зв'язку з цим *методи гранулювання* сипких матеріалів доцільно класифікувати таким чином [5]:

- скочення (формування гранул в процесі їх агрегації або пошарового росту з подальшим ущільненням структури);
- пресування сухих порошоків (отримання брикетів, плиток тощо з подальшим їх подрібненням на гранули необхідного розміру);
- формування або екструзія (продавлювання в'язкої або пастоподібної маси через отвори).

Гранулювання *методом скочування* полягає в попередньому утворенні агрегатів з рівномірно змочених частинок або в нашаруванні сухих частинок на змочені ядра – центри утворення гранул. Цей процес обумовлений дією капілярно-адсорбційних сил зчеплення між частинками і подальшим ущільненням структури, викликаним силами взаємодії між частинками в щільному динамічному шарі, наприклад в грануляторах барабанного або тарілчастого типів.

Гранулювання *методом пресування сухих порошоків*, тобто ущільнення під дією зовнішніх сил, засноване на формуванні щільної структури речовини, що обумовлено виникненням міцних когезійних зв'язків між частинками при їх стисненні. Отриманий в результаті ущільнення брикет (плитка, стрічка) подрібнюють і спрямовують на розсівання для відбору кондиційної фракції гранул, що є готовим продуктом.

Гранулювання *методом формування або екструзії* полягає в продавлюванні пастоподібної маси, що являє собою або зволожену шихту, або суміш порошку з легкоплавким компонентом, через перфоровані пристосування з подальшою сушкою гранул або їх охолодженням.

З опису вищенаведених особливостей процесів, що здійснюються різними методами, випливає, що гранулювання дрібних сипких матеріалів відбувається при виникненні фізико-механічних зв'язків, наслідком дії яких є збільшення щільності (зниження пористості) сировини яка гранулюється, що досягається або ущільненням структури капілярно-пористих тіл при їх скочуванні, пресуванні тощо.

Ущільнення структури порошкоподібних і дрібних сипких матеріалів в процесах гранулювання, що здійснюються різними методами, характеризується залежністю зміни відносної щільності матеріалу, що гранулюється ρ/ρ_0 (де ρ , ρ_0 – відповідно поточна і початкова щільності матеріалу) від міцності зв'язків P між частинками [5].

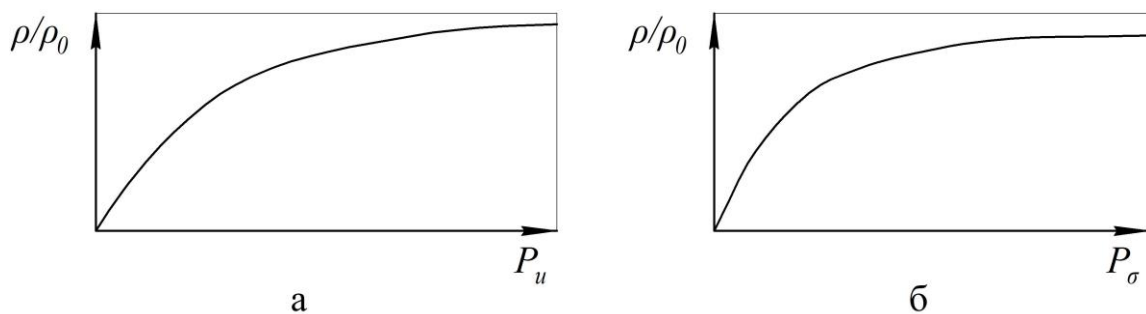


Рис. 2 – Залежність відносної щільності ρ/ρ_0 матеріалу, що гранулюється від міцності фізико-хімічних зв'язків:
а – при скочуванні (від P_u); б – при пресуванні (від P_σ)

Для процесу гранулювання при скочуванні (рис. 2, а) напругу в гранулі викликає, як правило, дія капілярно-адсорбційних сил зчеплення з натягом в плівкових контактах P_u , а ущільнення структури гранули в часі відбувається під впливом сил взаємодії між частинками при їх русі в щільному обертovому шарі. У процесі гранулювання пресуванням (рис. 2, б) напруга в дисперсній фазі обумовлена в основному когезійними зв'язками між частинками, які виникають під дією сил зовнішнього тиску P_σ .

Вважаючи, що в деяких процесах гранулювання проявляються одночасно кілька види зв'язків, загальну інтенсивність ущільнення гранули можна визначити як: $P = P_u + P_\sigma$

На частинки сипких матеріалів при створенні та формуванні гранул можуть здійснювати вплив наступні сили: капілярні і поверхнево-активні сили на межі розділу твердої і рідкої фаз; адгезійні сили, що виникають в адсорбованих шарах; сили тяжіння

між твердими частинками (молекулярні сили Ван-дер-Ваальса та сили електростатичного притягання); сили зв'язків, обумовлені утворенням матеріальних містків, що виникають при спіканні, хімічної реакції, затвердінні сполучного компоненту, плавленні і кристалізації розчиненої речовини при сушінні. З огляду на це всі відомі види зв'язків при гранулюванні зведені [5] в загальну класифікаційну схему (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація зв'язків між частинками при зростанні та формуванні гранул

| Вид зв'язків | Причини утворення зв'язків |
|--------------------------------------|--|
| Рідиннофазні містки | Поверхневий натяг плівки рідини; молекулярне притягування в адсорбованих тонких шарах |
| Твердофазні містки | Дифузія молекул або атомів в точці контакту між частинками; хімічна реакція; плавлення і затвердіння речовини в точках контакту між частинками; кристалізація розчинених речовин при сушінні |
| Притягування між твердими частинками | Молекулярне притягування (сили Ван-дер-Ваальса); електростатичне притягування |
| Механічні зв'язки | Зчеплення шорстких поверхонь; заклинювання між частинками різних форм і розмірів |

Для формування гранул з вихідних частинок порошкоподібного матеріалу необхідно забезпечити їх зближення на таку відстань, при якій проявляється дія зазначених сил. У тому випадку, коли гранули можуть бути отримані без додавання рідкої фази (сполучних рідин), застосовують «сухе» гранулювання (наприклад, методом пресування). При цьому зчеплення між окремими частинками забезпечується Ван-дер-Ваальсовими, електростатичними та когезійними силами зв'язку.

При гранулювання методом скочування більш результативнішими зв'язки між частинками, зумовлені капілярними силами, що пояснюється використанням рідиннофазного сполучного та утворенням кристалічних містків.

Розгляд видів зв'язків і зіставлення їх міцності мають особливе значення при аналізі механізму і кінетики процесів гранулювання, що здійснюється різними методами.

Висновки. Таким чином, огляд способів ущільнення сипких матеріалів дозволяє більш ґрунтовно підійти до питання підвищення ефективності процесу гранулювання порошкоподібних та дрібнодисперсних сумішей, а отриману інформацію в подальшому взяти до уваги при розробці та вдосконаленні конструкторських та технологічних рішень з урахуванням умов ущільнення та фізико-

механічних властивостей сипких матеріалів.

Список літератури.

1. Носков В.А., Ващенко С.В. Анализ способов и устройств для уплотнения мелкофракционных шихт *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр.* Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2005. Вип. 10. С. 313-320.

2. Болтянська Н.І., Комар А.С. Аналіз технічних засобів для пресування кормів *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8, Т. 2.

3. Болтянська Н.І., Комар А.С. Переробка пташиного посліду на добриво шляхом його гранулювання *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва»* (23-24 травня 2019 р.). Умань, 2019. – С. 18-20.

4. Болтянська Н.І., Комар А.С. Аналіз конструкцій пресів для приготування кормових гранул та паливних брикетів *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8, Т. 2.

5. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. М.: Химия. 1991. 240 с.

6. Shkarpetkin E.A., Osokin A.V., Sabaev V.G. Investigation of methods and equipment for compaction of composite mixtures during their granulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 327, Issue 4, pp. 042118 (2018).

7. Комар А.С. Доцільність гранулювання і брикетування кормів для тварин і птиці *Матеріали VII-ї Науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»* (5-28 грудня 2018 року). Глеваха, 2019. С. 47-49.