

УДК 004.42(07)

Н.А. Христинець

Луцький національний технічний університет

## Модель пластичного деформування порошкової суміші під час вібраційного ущільнення матеріалу

*Христинець Н.А. Модель пластичного деформування порошкової суміші під час вібраційного ущільнення матеріалу. В роботі проведено дослідження параметрів вібраційного формування для отримання градієнтного матеріалу з проміжними значеннями висоти сформованих шарів та неоднорідними їх характеристиками по висоті зразка.*

*Н.А. Христинець Модель пластического деформирования порошковой смеси при вибрационном уплотнении материала. В работе проведено исследование параметров вибрационного формирования для получения градиентного материала с промежуточными значениями высоты сформированных слоев и неоднородными их характеристиками по высоте образца.*

*N. Hrystynets. Model of plastic deformation of the powder mixture during vibratory compaction of the material. This paper studied the vibration parameters for obtaining the gradient forming material with intermediate values of the height of the existing layers and heterogeneous characteristics of the height of the sample.*

**Ключові слова:** вібраційне формування, пластичне деформування, градієнтне розділення, моделювання, дисперсна суміш

Проведення теоретичних та експериментальних досліджень, які спрямовані на розроблення наукових основ, методів та технологічних процесів створення фільтруючих багат шарових градієнтних матеріалів з використанням порошків, які володіють підвищеними експлуатаційними характеристиками, устаткування для пресування відповідних виробів, методів та пристроїв контролю їх якості, а також їх практичне впровадження, є сучасною та актуальною задачею.

Процес вібраційного формування композиційних матеріалів з металевих порошків ґрунтується на основних положеннях теорії ущільнення матеріалів. Зокрема, однією з основних задач теорії ущільнення є гіпотеза, яка дозволяє описати деформування шарів металевих порошків і вибрати показники інтенсивності вібраційної взаємодії при мінімальних енергетичних затратах. Ця гіпотеза стверджує, що при вібраційному формуванні порошкова суміш набуває властивостей в'язкої рідини, і відповідно до законів Паскаля, заповнює форми різної складності. Ця теорія знайшла своє продовження з можливістю описати вібраційний процес формування сумішей металічних порошків з урахуванням параметрів вібраційного обладнання для ущільнення виробів та режимів вібрації при дії зовнішнього динамічного навантаження  $P$ .

Удосконалення цієї теорії уточнює опис вібраційного процесу формування сумішей з металевих порошків. В якості поверхнево-активних речовин (ПАР) застосовують карбонові кислоти, спирти жирного ряду, водні колоїдні розчини жирних кислот, захисні колоїди – в залежності від типу металевих порошків. Ці наповнювачі відіграють роль змазки порошку у суміші і служать для покращення передачі вібраційної дії по всій товщині зразка під час вібронавантаження.

Процес формування порошкових сумішей під дією вібрації проходить у кілька етапів. На першому етапі, який за часом найменш тривалий, відбувається інтенсивна осадка порошкової суміші – пластична деформація. Інтенсивність вібраційного навантаження на формуючу суміш повинна бути більшою за величиною за сили поверхневого натягу плівок ПАР. Оскільки інерційні сили пропорційні прискоренням, то для переходу порошкової суміші у стан підвищеної текучості необхідні високочастотні режими формування з малими амплітудами. Це – другий етап процесу вібраційного формування.

Поряд з вимогами неоднорідності суміші, в процесі віброформування порошкового матеріалу, важливими є вимоги до рівномірного розподілу фракцій по висоті прес-форми, коли, наприклад, потрібно отримати найбільш високі показники жорсткості і зносостійкості в нижчих шарах засипки. Результат такого поділу можна назвати

градієнтним, оскільки при цьому дисперсна суміш (ДС) отримує поступову зміну основних властивостей в одному напрямку:

- 1) зміна щільності  $\rho$ ;
- 2) зміна розмірів  $d$  частинок;
- 3) збільшення коефіцієнта загасання  $\lambda$  хвилі ущільнення, тобто збільшення дисипації енергії деформацій;
- 4) збільшення швидкості  $v$  поширення фронту хвилі ущільнення;
- 5) зменшення неоднорідності.

У теорії напруг і деформацій дисперсне середовище, що складається з безлічі дискретних частинок, може бути розглянуте як статистичний макроскопічний еквівалент, доступний для математичного аналізу методами механіки суцільного середовища

Як показали дослідження та проведений аналіз літературних джерел, в якості параметрів вібрації, що здійснюють найбільш помітний вплив на процес ущільнення, виступають частота та амплітуда, або їх похідні – швидкість, прискорення, інтенсивність. Отже, напруга і частота вібраційного навантаження – одні з основних факторів, які впливають на процес формування. Тобто, в якості основного фактору при побудові математичної моделі змішування часток дисперсного середовища можна взяти добуток цих факторів, або величину інтенсивності

$$I_d = \sigma_0 \cdot \omega, \quad (1)$$

де  $\sigma_0$  – амплітуда напруг, що виникає в середовищі в результаті ущільнення;

$\omega$  – кутова частота коливань.

Згідно емпіричного закону Герстнера, на етапі пружно-пластичного деформування, окрім складової пружного зближення контактуючих елементів, з'являється складова пластичної деформації. Залежність відносної пластичної деформації від величини динамічного навантаження може бути апроксимована виразом:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = b \cdot P^n, \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – величина відносної пластичної деформації;

$\varepsilon_1$  – пружна складова деформації;

$\varepsilon_2$  – пластична складова деформації;

$P$  – динамічне навантаження;

$b$  і  $n$  – емпіричні коефіцієнти, що характеризують пружно-пластичні деформації.

Максимальна відносна пластична деформація виражається залежністю

$$\varepsilon_{\max} = b \cdot P_k^n \quad (3)$$

де  $P_k$  – значення динамічного навантаження, при якому досягається необхідна щільність виробу з металевго порошку під дією вібрації.

У моделі пластичного деформування (рис. 1) величини  $H_0, H_k, H$  – висота формуючого шару в неущільненому, ущільненому і проміжному стані відповідно.

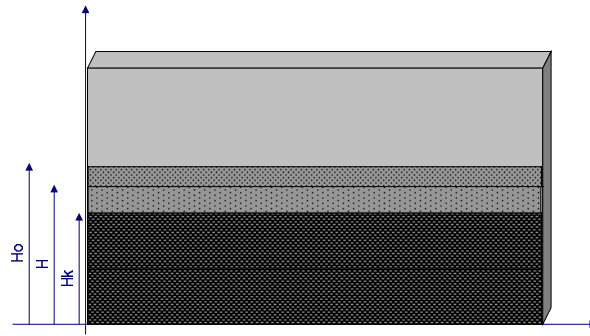


Рис. 1. Зміна висоти ущільнюваного формуючого середовища

Значення цих величин можна представити так:

$$H_0 = \frac{m}{S \cdot g_0}; \quad H = \frac{m}{S \cdot g}; \quad H_k = \frac{m}{S \cdot g_k} \quad (4)$$

де  $m$  – маса порошкової суміші (const);

$S$  – площа основи римуєчого шару;

$g_0, g_k, g$  – щільність насипного, сформованого і проміжного шару відповідно.

Тоді, згідно виразів (4), величини пластичних деформацій можна подати у вигляді:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{H_0 - H}{H_0} = \frac{g - g_0}{g} \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta H_k}{H_0} = \frac{H_0 - H_k}{H_0} = \frac{g_k - g_0}{g_k} \quad (6)$$

Підставивши вирази (5) і (6) у залежності (2) і (3), одержимо:

$$\frac{g - g_0}{g} = b \cdot P^n \quad (7)$$

$$\frac{g_k - g_0}{g_k} = b \cdot P_k^n \quad (8)$$

Розділивши (7) на (8), отримаємо величину щільності порошкової суміші відносно величини динамічного навантаження:

$$g = \frac{g_0}{1 - \varepsilon_k \left( \frac{P}{P_k} \right)^n} \quad (9)$$

Тепер врахуємо час  $t$  і інтенсивність динамічного навантаження  $I_d$  на порошкову суміш. Отримаємо залежність:

$$P = I_d \cdot t = \sigma_0 \cdot \omega \cdot t \quad (10)$$

Тоді залежність (9) перетворюється до вигляду:

$$g = \frac{g_0}{1 - \varepsilon_k \left( \frac{\sigma_0 \cdot \omega \cdot t}{P_k} \right)^n} \quad (11)$$

Значення показника  $n$  вибираємо згідно видів навантаження і характеристики металевих порошків.

В тому випадку, коли порошкова суміш досягає складного напруженого стану, що виникає при одночасній дії нормальних напруг  $\sigma_0$  в вертикальному напрямку і дотичних напруг  $\tau$  в горизонтальній площині, еквівалентна напруга  $\sigma_{екв}$  визначається з гіпотези енергії формозміни:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_0^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (12)$$

В цьому випадку залежність (11) перетвориться до вигляду:

$$g = \frac{g_0}{1 - \varepsilon_k \left( \frac{\sigma_{екв} \cdot \omega \cdot t}{P_k} \right)^n} \quad (13)$$

Залежність (13) справедлива в тому випадку, коли

$$\sigma_{екв} \geq \sigma_{\min},$$

де  $\sigma_{екв}$  – величина еквівалентної напруги;

$\sigma_{\min}$  – величина мінімальної напруги у формулюючому шарі.

Необхідний час вібраційної дії для досягнення щільності  $g$  в залежності від виду вібраційної дії визначається за формулою:

$$t = \frac{P_k}{\sigma_{екв} \cdot \omega \cdot t} \cdot \left( \frac{g - g_0}{g \cdot \varepsilon_k} \right)^{\frac{1}{n}}.$$

Інтенсивність вібраційної дії треба вибирати так, щоб загальна тривалість вібраційної взаємодії на порошкову суміш не перевищувала 16-30 секунд.

### Висновки

З урахуванням запропонованих теоретичних відомостей метою роботи та подальших досліджень є вдосконалення технологічного процесу ущільнення порошкових сумішей методом вібраційної сегрегації, опис математичної моделі для отримання градієнтного матеріалу з проміжними значеннями висоти сформованих шарів та неоднорідними їх характеристиками по висоті зразка.

1. Порошковая металлургия/ С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон. – Москва: Металлургия, – 1980. – 496 с.
2. Пористые материалы/ Б.Б. Еськов, Д.В. Лагунов, В.С. Лагунов. – Воронеж, 1995. – 256 с.
3. Жданович Г.К. Теория прессования металлических порошков/ Г.К. Жданович. – Москва: Машиностроение, 1969. – 303 с.
4. Раковский В.С. Порошковая металлургия в машиностроении: справочник/ В.С. Раковский, В.В. Саклинский. – Москва: Машиностроение, 1972. – 126 с.
5. Савелов Д.В., Драгобецкий В.В. Физико-механические основы вибрационного уплотнения смесей из металлических порошков. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Збірник наукових праць «Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні». – Луганськ, 2012.
6. Христинець Н.А., Рудь В.Д., Колядинський М.І. / Модель поведінки часток сипкого середовища під дією вібраційної сегрегації. // Міжвузівський збірник «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» – Луцьк: Видавництво ЛНТУ. – Вип. 7. – 2011. – 99–103.
7. Іткін О.Ф. Наукові основи розробки вібраційних машин для ущільнення цементобетонних сумішей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.05.02 «Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій». – Харків, 2008. – 44 с.
8. Маслов А.Г., Пономарь В.М. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве. – К.: Будівельник, 1985. – 128 с.
9. Порошковая металлургия // С.С.Кипарисов, Г.А. Либенсон. – Москва; Металлургия, – 1980. – 49с.