

ВПЛИВ КОМБІНОВАНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ НА УЩІЛЬНЮВАНІСТЬ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено дослідження для вивчення впливу одноосового навантаження та вібрацій на стиснення сипучого матеріалу. Здійснено комплексний аналіз ефективності комбінованого вібраційного впливу на процес ущільнення когезійного порошку каоліну H1 special.

Ключові слова: дисперсне середовище, ущільнення, вібрація, когезійний порошок, тиск, тертя, рекомпація, об'ємна щільність.

Abstract

A study was conducted to study the effect of uniaxial loading and vibrations on the compression of bulk material. A comprehensive analysis of the effectiveness of the combined vibration effect on the compaction process of cohesive kaolin powder H1 special was carried out.

Keywords: dispersed medium, compaction, vibration, cohesive powder, pressure, friction, recompaction, bulk density.

Вступ

Сипучі тверді речовини під дією зовнішніх впливів поведуться інакше, ніж суцільні тверді тіла або рідини. Пористість сильно залежить від впливу механічних сил, що виникають шляхом стиснення, удару та вібрації. Це є системним станом ущільнення [1]. За насипну густину зазвичай беруть густину матеріалу в його найбільш пухкому (аерованому) стані — без додаткового ущільнення. Аналіз методів вимірювань для аерованого стану виявив, що отримати відтворювані вимірювання складно [2]. Окрім одноосові ущільнюваності, в якості міри ущільнюваності використовуються вібраційна густина та густина ущільнення. Однак точна інформація для їх коригування недоступна. В роботах [3] або [4] описують експериментальну процедуру ущільнення сипучих твердих матеріалів загалом за певної кількості зовнішніх впливів без застосування вібрації.

Метою дослідження є комплексний аналіз ефективності комбінованого вібраційного впливу на процес ущільнення когезійного порошку каоліну H1 special.

Результати дослідження

Ущільнення одноосовим стисненням здійснюється на гідравлічному пресі, а для реалізації процесу комбінованого ущільнення із спільним використанням одноосового стиснення і вібрацій пропонується схема пристрою представлена на рис. 1. Спосіб ущільнення, що отримав назву комбіноване ущільнення, заснований на знакозмінному круговому рухові ємності з композитним матеріалом та знакозмінному поступальному рухові робочого інструменту.

Для оцінки ефективності ущільнення проведені дослідження згідно схеми представленої на рис. 1. Спочатку розглядається процес ущільнення під дією статичного повздовжнього навантаження. Циліндр з порошку каоліну H1 special з діаметром Заутера $d_{ST} = 2,08$ мкм після класифікації Jenike має значення плинності $F_j = 3$. Циліндр має діаметр $d = 10$ см, висоту $H = 8$ см та обмежений знизу і по контуру нерухомими поверхнями. Зверху по всій поверхні на циліндр тисне шток із зусиллям, що зростає від $F = 0 \dots 2500$ Н за 10 сек. Необхідно визначити як зміниться об'ємна щільність (г/см^3) в шести характерних точках (рис. 1). Початкова об'ємна щільність - $\rho_0 = 0,25$ г/см^3 .

Згідно моделі Янссена отримуємо залежність об'ємної щільності від часу при спільній дії одноосового стискання, повздовжніх коливань штока і крутильних коливань ємності в характерних точках меридіонального перетину циліндричного зразка із каоліну H1 special (рис. 2).

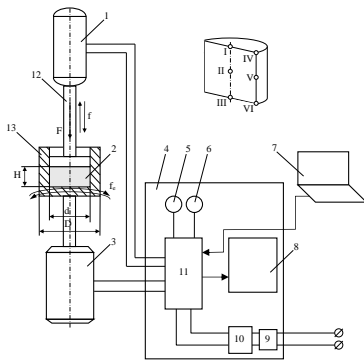


Рис. 1. Принципова схема пристрою створення комбіновано-го вібраційного впливу для ущільнення порошкового композиційного матеріалу: 1 – лінійний електродвигун; 2 – порошковий композиційний матеріал; 3 – кроковий електродвигун; 4 – блок управління; 5 – кнопка запуску; 6 – регулятор швидкості реверсу; 7 – персональний комп'ютер; 8 – екран режимів обробки; 9 – автоматичний вимикач; 10 – трансформатор; 11 – програмований контролер; 12 – абсолютно жорсткий штوك; 13 – абсолютно жорстка ємність; I, II, III, IV, V, VI – досліджувані точки на меридіональному перетині зразка

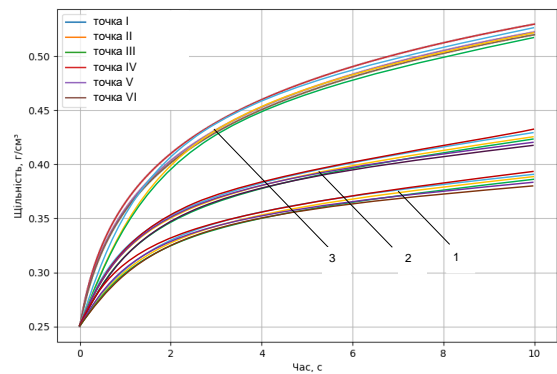


Рис. 2. Залежність об'ємної щільності від часу при одноосьовому стисканні, спільній дії одноосьового стискання і повздовжніх коливань штока та спільній дії одноосьового стискання, повздовжніх коливань штока і крутильних коливань ємності в характерних точках меридіонального перетину циліндричного зразка із каоліну Н1 special

Висновки

Наукове значення результатів полягає у підтвердженні того, що ущільнення при вібрації відбувається за рахунок динамічної рекомпації структури, а не через збільшення тиску, оскільки розрахований додатковий динамічний компонент є мізерним порівняно зі статичним навантаженням. Застосування значного тангенціального прискорення при крутильних коливаннях забезпечує нівелювання радіальної неоднорідності, що докорінно змінює підхід до оцінки ущільнюваності, роблячи його більш адекватним фізичній природі когезійних середовищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. M. Černý, J. Petruš and I. Chamradová, “The Influence of Porosity on Mechanical Properties of PUR-Based Composites: Experimentally Derived Mathematical Approach”, *Polymers*, 15(8), 1960. 2023. <https://doi.org/10.3390/polym15081960>.
2. Xiaoli Zhu, Yi Xu, Qiuya Tu, Hanqiao Che and Haigang Wang, “Advanced measurement techniques for gas-solids fluidized beds in the power and energy industry - A review”, *Measurement: Energy*, Volume 4, 100030. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.meaene.2024.100030>.
3. K. Szwarzka, M. Szewczyk and T. Trzepieciński, “Experimental Compaction of a High-Silica Sand in Quasi-Static Conditions”, *Materials*, 16(1), 28. 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16010028>.
4. Zhazira Berkinova, Assem Saurbayeva, Almaz Kenzheshov, Boris Golman and Christos Spitas, “Experimental and numerical analysis of compaction of fine powder bed under artificial high gravity for additive manufacturing”, *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, Volume 12, 100178. 2026. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2025.100178>.

Сивак Роман Іванович — доктор техн. наук, професор кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sivak_r_i@ukr.net.

Налиажний Володимир Сергійович — аспірант, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vova.naliazhnyi@gmail.com..

Syvak Roman — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sivak_r_i@ukr.net.

Naliazhnyi Volodymyr — Ph. D. Student, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vova.naliazhnyi@gmail.com.