

ВПЛИВ ФОРМИ КОЛИВАНЬ КОНТЕЙНЕРА НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ВІБРАЦІЙНОЇ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ

Микола Нестеренко, доцент, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0002-4073-1233),

Тетяна Нестеренко, доцент, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0002-2387-8575),

Дмитро Бодак, аспірант¹ (ORCID: 0009-0002-1584-4778),

¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка 24, 36011, Україна

АНОТАЦІЯ. Розглянуто особливості процесу вібраційної очистки деталей, що ґрунтується на інтенсивній взаємодії оброблюваних виробів із частинками абразивного або іншого сипучого наповнювача в коливальному контейнері. Показано, що ефективність очищення залежить від характеру траєкторії руху маси, амплітуди та частоти коливань, співвідношення швидкостей переміщення деталей і частинок робочого середовища, а також від форми вібраційного впливу. Проаналізовано прямолінійну, площинну та просторову вібрацію, встановлено їх вплив на перемішування наповнювача, контакт частинок із поверхнею деталей і рівномірність обробки. Обґрунтовано, що найбільш сприятливі умови для якісної очистки забезпечуються за складного коливального руху, який створює інтенсивне переміщення робочої маси, підвищує турбулентність потоку та сприяє рівномірному зніманню забруднень із зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей.

Ключові слова: вібраційна очистка; деталь; абразивний наповнювач; коливальний контейнер; амплітуда; частота коливань; траєкторія руху; робоче середовище; вібраційна обробка.

Вступ. Для встановлення впливу основних конструктивних і режимних параметрів малогабаритного обладнання для вібраційної очистки деталей на характер руху робочого контейнера доцільно застосувати математичне моделювання механічної системи. Реальна система, що включає контейнер із деталями та робочим наповнювачем, пружні опори, віброзбуджувач і привід, має складний характер взаємодії елементів, тому її повний чисельний аналіз є досить громіздким. З метою спрощення розрахунків розглянуто узагальнену механічну модель вібраційної установки, яка дозволяє описати основні закономірності коливального руху контейнера та оцінити вплив амплітуди, частоти, маси робочого середовища і параметрів віброзбудження на інтенсивність процесу очистки. Початковим етапом побудови такої моделі є визначення кінетичної енергії системи з подальшим складанням рівнянь руху на основі положень аналітичної механіки.

Аналіз літературних джерел. Вібраційна очистка деталей належить до групи процесів вібраційної обробки, у яких знімання забруднень, задирок або поверхневого шару відбувається внаслідок багаторазової взаємодії деталі з частинками робочого середовища. У роботі [1] зазначено, що процес вібраційного фінішування тривалий час розглядався переважно як емпіричний, оскільки фундаментальні закономірності знімання матеріалу та впливу контактних сил між деталлю і наповнювачем були досліджені недостатньо. Авторами запропоновано математичний підхід до опису механізму знімання матеріалу з урахуванням властивостей оброблюваного виробу, робочого середовища, швидкості ударної взаємодії та контактних навантажень.

У дослідженні [2] розглянуто можливість застосування чисельного моделювання руху робочого середовища у вібраційних установках. Використання методів обчислювальної гідродинаміки дає змогу оцінити швидкість і тиск потоку наповнювача навколо оброблюваних деталей, що є важливим для прогнозування інтенсивності очистки та рівномірності обробки поверхонь. Такий підхід є корисним для аналізу складного руху маси в контейнері, особливо у випадках, коли експериментальне визначення траєкторій частинок є ускладненим.

Вплив режимних параметрів вібрації на продуктивність процесу досліджено в роботі [3]. Автори показали, що збільшення частоти та амплітуди коливань може скорочувати тривалість обробки, однак ці параметри мають підбиратися з урахуванням допустимих навантажень на конструкцію установки та можливого пошкодження поверхні деталей. Це підтверджує необхідність раціонального вибору режиму вібраційної очистки, за якого забезпечується достатня інтенсивність взаємодії наповнювача з деталями без надмірного ударного впливу.

У роботі [4] проаналізовано вплив складу керамічного робочого середовища на інтенсивність знімання матеріалу під час вібраційного фінішування. Встановлено, що властивості наповнювача, зокрема його матеріал, форма, абразивність і зносостійкість, істотно впливають на характер контакту з деталлю та якість обробленої поверхні. Отже, ефективність вібраційної очистки визначається не лише параметрами коливальних контейнера, а й фізико-механічними властивостями робочого середовища.

Аналіз літературних джерел показує, що процес вібраційної очистки деталей є багатофакторним і залежить від кінематичних параметрів установки, траєкторії руху контейнера, властивостей наповнювача та умов контакту частинок із поверхнею деталей. Водночас питання спрощеного математичного опису руху робочого органу малогабаритної вібраційної установки залишається актуальним, оскільки саме така модель дозволяє на початковому етапі оцінити вплив основних параметрів на ефективність процесу очистки.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз процесу вібраційної очистки деталей у контейнерній установці та встановлення впливу траєкторії коливального руху робочого органу на характер переміщення деталей і частинок абразивного наповнювача. Особливу увагу приділено порівнянню прямолінійної та кругової траєкторій вібрації, визначенню умов формування активного циркуляційного руху робочого середовища, а також обґрунтуванню параметрів, що забезпечують підвищення рівномірності та ефективності очищення поверхонь деталей.

Виклад основного матеріалу. Вібраційна очистка деталей здійснюється у робочому контейнері, який заповнюється оброблюваними деталями та абразивним або іншим сипучим наповнювачем. Загальний вигляд установки контейнерного типу наведено на рис. 1. Основними елементами такої установки є робочий контейнер, пружна система, опорна тумба, віброзбуджувач і вузли кріплення. Під час роботи контейнер здійснює коливальний рух, унаслідок чого деталі та частинки наповнювача починають інтенсивно переміщуватися відносно одне одного. Саме ця взаємодія забезпечує очищення поверхонь деталей від забруднень, окалини, залишків формувальних сумішей, задирок або тонкого поверхневого шару.

Ефективність процесу значною мірою залежить від характеру руху робочого органу установки. У найпростішому випадку контейнер може здійснювати прямолінійні коливання, однак для забезпечення більш інтенсивного перемішування робочої маси доцільно формувати площинний рух із горизонтальною та вертикальною складовими. Схему площинної вібрації робочого органу установки наведено на рис. 2. Вона показує, що залежно від співвідношення амплітуд і фаз коливальних траєкторій руху контейнера може бути прямолінійною, еліптичною або круговою.

При прямолінійній вібрації робоча маса переважно переміщується в одному напрямку. Такий режим є конструктивно простим, однак він не завжди забезпечує рівномірне перемішування деталей і наповнювача в усьому об'ємі контейнера. У результаті можуть утворюватися зони з різною інтенсивністю обробки: на одних ділянках поверхня деталі контактує з наповнювачем активно, а на інших — недостатньо. Тому прямолінійний режим доцільно застосовувати переважно для нескладних за формою деталей або для попередньої очистки.



Рис. 1. Загальний вигляд вібраційної установки контейнерного типу для очистки деталей із сірим абразивним наповнювачем

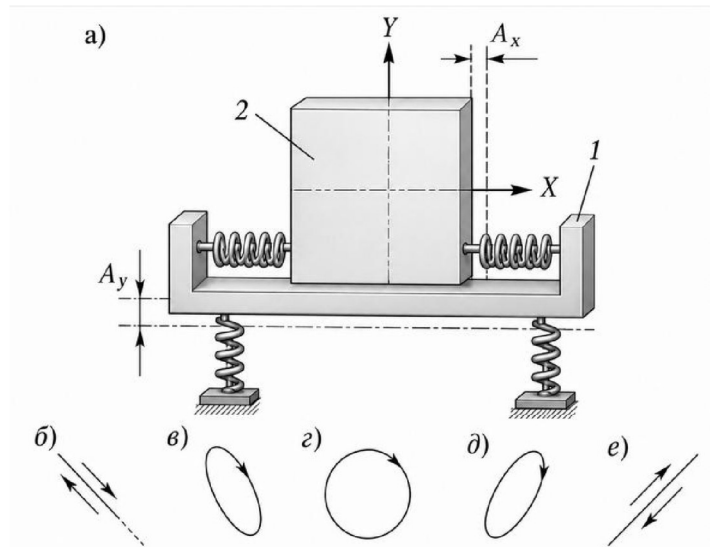


Рис. 2. Розрахункова схема площинної вібрації робочого органу установки:

а – спрощена механічна модель робочого контейнера на пружних опорах; б, е – прямолінійні траєкторії коливань; в, д – еліптичні траєкторії коливань; г – кругова траєкторія коливань.

Більш ефективним для вібраційної очистки є складний площинний рух, за якого контейнер одночасно здійснює горизонтальні та вертикальні переміщення. У цьому випадку частинки робочого середовища не лише ковзають по поверхні деталей, а й переміщуються по складних траєкторіях, змінюючи напрямок руху. Це сприяє кращому перемішуванню маси, збільшенню кількості контактів між деталями та наповнювачем, а також підвищенню рівномірності очищення зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

Схема вібраційної очистки деталей з урахуванням дії збурювальної сили наведена на рис. 3. Збурювальна сила створюється віброзбуджувачем із невідновленою масою та спричиняє коливання контейнера у горизонтальному і вертикальному напрямках. У результаті робоче середовище переходить у стан активного перемішування, а деталі та частинки наповнювача отримують відносне переміщення.

Ефективність очистки залежить від інтенсивності коливань. За недостатнього прискорення деталі й наповнювач рухаються разом із контейнером, тому процес очищення майже не відбувається. При достатній інтенсивності частинки наповнювача зміщуються, ковзають і ударають по поверхнях деталей, забезпечуючи знімання забруднень.

При прямолінійній траєкторії коливань, показаній на рис. 4 а), робоче середовище переміщується менш інтенсивно, що може спричинити нерівномірну обробку окремих ділянок деталей. Натомість при круговій або близькій до кругової траєкторії, наведеної на рис. 4 б), у контейнері формується виражений циркуляційний рух. Це покращує перемішування всієї маси, зменшує застійні зони та підвищує рівномірність контакту наповнювача з поверхнями деталей.

Важливе значення має також відносна швидкість руху деталей і частинок робочого середовища. Чим активніше змінюються їхні напрямки переміщення, тим інтенсивнішою є взаємодія та вищою продуктивність очистки. На якість процесу впливають і властивості наповнювача: його форма, розміри, твердість та абразивність, які слід добирати з урахуванням матеріалу, форми й конструктивних особливостей деталей.

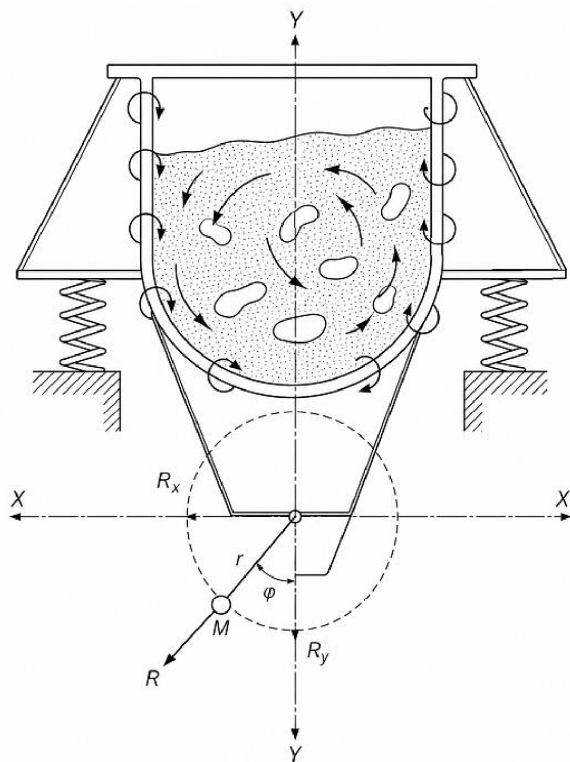


Рис. 3. Схема вібраційної очистки деталей у контейнері з урахуванням дії збурювальної сили та її складових

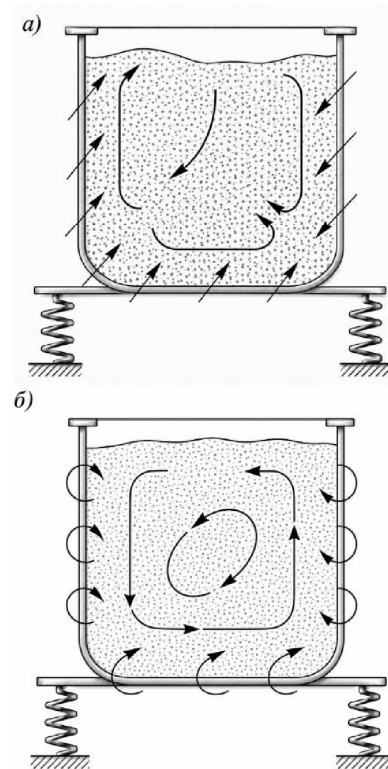


Рис. 4. Характер руху робочого середовища в контейнері:
а) при лінійній траєкторії коливань, б) при круговій траєкторії коливань

Висновки. У роботі розглянуто особливості процесу вібраційної очистки деталей у контейнерній установці та встановлено, що ефективність обробки визначається характером коливального руху робочого органу, інтенсивністю перемішування робочого середовища і властивостями наповнювача. Показано, що за недостатньої інтенсивності коливань деталі та наповнювач переміщуються разом із контейнером, тому відносна взаємодія між ними є незначною, а процес очищення малоефективним.

Визначено, що прямолінійна траєкторія коливань забезпечує простий режим руху робочої маси, однак може призводити до нерівномірної обробки деталей через утворення менш активних зон. Більш ефективною є кругова або близька до кругової траєкторія, за якої в контейнері формується циркуляційний рух частинок наповнювача і деталей. Це сприяє активному перемішуванню, підвищенню кількості контактів із поверхнями деталей та більш рівномірному очищенню зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

Отже, для підвищення якості та продуктивності вібраційної очистки доцільно забезпечувати раціональне поєднання горизонтальної і вертикальної складових коливань, достатню інтенсивність руху робочого середовища та правильний вибір наповнювача з урахуванням матеріалу, форми й конструктивних особливостей деталей.

Список використаних джерел

1. Hashimoto, F., DeBra, D. B., & Zhou, M. (2016). Modeling of material removal mechanism in vibratory finishing process. *CIRP Annals*, 65(1), 325–328. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.011>.
2. Mullany, B., et al. (2017). The application of computational fluid dynamics to vibratory finishing processes. *CIRP Annals*, 66(1), 313–316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.087>.
3. Mediratta, R., Ahluwalia, K., & Yeo, S. H. (2016). High frequency and amplitude effects in vibratory media finishing. *Procedia Manufacturing*, 5, 616–628. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.045>.
4. Uhlmann, E., Eulitz, A., & Dethlefs, A. (2018). Influence of ceramic media composition on material removal in vibratory finishing. *Procedia CIRP*, 68, 593–598. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.285>.