

УДК 621.924.7.043.6

Кондратюк О. М., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

МЕХАНІЗМ ВЗАЄМОДІЇ АБРАЗИВНОЇ ГРАНУЛИ З ДЕТАЛЯМИ ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

В роботі проведено огляд вібраційної обробки, аналіз взаємодії гранули з деталлю, енергетичний рівень робочого середовища, шляхи його підвищення. Виявлено основні параметри вібраційної обробки, які підвищують її інтенсивність.

Ключові слова: вібраційний процес, енергетичний рівень, гранула, абразивне робоче середовище.

Обробка поверхонь деталей, яка включає в собі зачисні, шліфувальні, полірувальні, зміцнюючі та багато інших подібних операцій, поліпшує якість, надійність, довговічність оброблюваних деталей. Після такої фінішної обробки в певній мірі змінюються фізико-механічні властивості поверхневого шару, що підвищує її відповідальну роль в формуванні експлуатаційних властивостей деталей. Одним із найпродуктивніших методів фінішної обробки є вібраційна обробка деталей в сипучому абразивному середовищі. В більшій мірі вібраційна обробка деталей в сипучому абразивному середовищі базується на верстатах з дебалансними вібраціями. Траєкторія руху робочої камери і робочого середовища на верстатах даного типу нестабільна в часі. Закономірність її руху залежить від багатьох факторів: конструкції пружин, їх жорсткості і розміщення, маси робочого середовища і оброблюваних деталей і т.д. [1]. Це створює певні незручності контролю і прогнозуванню результатів технологічного процесу.

Складність геометричної форми, жорсткість оброблюваних деталей, наявність змазувально-охолоджуючої, хімічно активної рідини в сипучому абразивному середовищі, визначають величину грануляції абразивних частинок і допустиму величину сили взаємодії цих частинок з оброблюваною поверхнею. Більш точніші розрахунки траєкторії робочого середовища спостерігаються в верстатах з жорсткою кінематичною схемою, що визначає закономірність руху робочої камери і не міняється в часі [2]. Це досягається за рахунок жорсткості кінематичного зв'язку ланок механізму.

В основі розробки різновидностей прогресивної вібраційної обробки деталей лежить встановлення основних закономірностей динаміки

процесів, тобто силові взаємодії інгредієнтів робочого середовища. При визначенні сили співудару частки робочого середовища з деталями, які оброблюються, використовуючи різні методи вібраційного оброблення в сипучому абразивному середовищі, наряду з іншими параметрами важливе місце займає коефіцієнт λ миттєвого тертя гранули по відповідній робочій поверхні, який характеризує жорсткість поверхні тіл в зоні контакту при ударі.

В зв'язку з різноманітністю форм і розмірів гранул і варіантів їх орієнтації в момент співудару з робочою поверхнею експериментально визначити значення λ дуже важко. Визначимо його аналітично. Припустимо, що імпульс сил, діючих на гранулу при ударі по дотичній, обумовлений тільки силою тертя, і гранула починає зміщуватись по робочій поверхні при найбільшому граничному значенні імпульсу цієї сили.

$$|P_{\tau}| = \lambda |P_n|, \quad (1)$$

де P_n – імпульс нормального тиску при ударі.

Зміщення грані при ударі відсутнє, коли

$$|P_{\tau}| \leq \lambda |P_n|. \quad (2)$$

По аналогії з тертям ковзання прийнято, що коефіцієнт λ буде максимальним в момент переходу від удару без ковзання гранули до удару з ковзанням по робочій поверхні

$$\lambda = \left| \frac{P_{\tau}}{P_n} \right|. \quad (3)$$

Для аналітичного рішення поставленої задачі, визначення коефіцієнту λ миттєвого тертя гранули по відповідній робочій поверхні, розглянемо розрахункову схему удару гранули по робочій площині показаної на рис. 1.

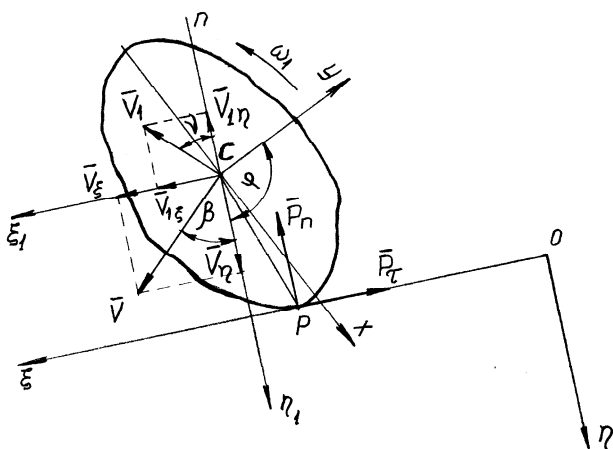


Рис. 1. Розрахункова схема удару гранули на площину

$\xi O\eta$ – нерухома система координат; $\xi_1 C\eta_1$; Sxy – рухомі системи координат, зв'язаних з гранулою; n – нормаль до площини; β, v, φ – кути падіння, відбиття і орієнтації гранули.

В момент переходу одного виду удару гранули в другий справедлива залежність, яка описує удар без ковзання:

$$\left. \begin{aligned} m(V_{1\xi} - V_{\xi}) &= P_{\tau} \\ m(V_{1\eta} - V_{\eta}) &= P_n \\ I_c \omega_1 &= P_{\tau} \cdot p_{\eta} - P_n \cdot p_{\xi} \\ V_{1\eta} &= e|V_{\eta}| \\ V_{1\xi} - \omega_1 \cdot p_{\eta} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де m – маса гранули; $V_{1\xi}$, $V_{1\eta}$ і V_{ξ} , V_{η} – проекції швидкості центра S маси гранули в кінці і початку удару; ω_1 – кутова швидкість гранули після удару; e – коефіцієнт відновлення нормальної складової швидкості гранули при ударі.

Момент інерції гранули відносно головної осі, перпендикулярної площині удару $\xi O\eta$,

$$I_c = 1/5 m(a^2 + b^2), \quad (5)$$

де a, b – розміри головних напівосей середнього перерізу, який лежить в площині удару ($b < a$).

Проекції радіуса – вектора CP , визначаючого орієнтацію гранули відносно площини

$$p_\eta = \sqrt{b^2 + (a^2 - b^2) \cdot \sin^2 \varphi}, \quad (6)$$

$$p_\xi = (a^2 - b^2) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi / \sqrt{b^2 + (a^2 - b^2) \cdot \sin^2 \varphi}, \quad (7)$$

Із системи (4) з врахуванням підстановки в неї вирази (5)-(7) отримуємо

$$P_\tau = \frac{mV \left[5(1+e)(1-k^2) \sin \varphi \cdot \cos \varphi + (1-k^2) \sin \beta \right]}{6 + k^2 - 5(1-k^2) \cdot \cos^2 \varphi}, \quad (8)$$

$$P_n = mV(1-e) \cos \beta, \quad (9)$$

де $k = b/a$.

Підставити (8) і (9) в (3), після перетворень будемо мати рівняння, зручне для аналізу

$$\lambda = \frac{5 \left[\frac{(1-k^2)}{(1+k^2)} \right] \cdot \sin 2\varphi + 2 \operatorname{tg} \beta / (1+e)}{7 - 5 \left[\frac{(1-k^2)}{(1+k^2)} \right] \cdot \cos 2\varphi}. \quad (10)$$

Як видно із залежності (10), з збільшенням коефіцієнта e і зменшенням витянутості форми гранули (тобто при більшому значенні k) величина λ зменшується. Параметр β – визначений для конкретних умов удару, кут падіння гранули, при якому удар без ковзання гранули переходить в удар з ковзанням. Прийняті на початку передумови при рішенні поставленої задачі обґрунтовують кут β , як величину постійну в рівнянні (10). Кут β визначається рухом робочої камери, який обумовлюється кінематикою вібраційної установки. Також коефіцієнт λ залежить від кута орієнтації φ гранули відносно робочої поверхні при ударі і конкретних фрикційних властивостей поверхні тіл, які співударюються.

В більшості випадків кут падіння β і кут орієнтації φ гранули залежить від типу циркуляційного процесу абразивного робочого середо-

вища. Інтенсивність і якість процесу вібраційного оброблення визначає характер циркуляційного руху сипучого робочого середовища і деталей, які обробляються. Одними з основних факторів, які формують цей процес, є режими коливань, конструкції робочих камер, об'єм і ступінь їх заповнення, характеристика і розміри робочого середовища, наявність чи відсутність ЗОР, хімічних розчинів, електролітів. Всі ці фактори значно впливають на сили мікроударів, контактний тиск, напруження і температуру, які виникають в зоні дії мікроударів, середню температуру в робочій камері, швидкість і прискорення частинок робочого середовища, що характеризують інтенсивність циркуляційного процесу вібраційного оброблення. Циркуляційний процес робочого середовища вібраційного оброблення забезпечується гармонійними, бігармонійними коливаннями робочої камери, точки який рухаються по закономірним траєкторіям, які залежать від кінематики установки. При цьому частинки робочого абразивного середовища протягом кожного періоду коливань на деяких ділянках рухаються разом з робочою камерою і в цей період їх траєкторія і швидкість збігаються або близькі. Потім відбувається відрив частинок від стінок робочої камери у зв'язку з неоднаковими величинами і напрямками їх швидкостей та прискорень. Після відриву ці частинки здійснюють «вільний» рух з дуже складною траєкторією. Траєкторія руху частинок робочого середовища залежить від різновидності руху робочої камери та її форми (циліндрична, сферична, торова, *V*-подібна та ін.) і може бути:

- з площинною вібрацією робочої камери;
- з об'ємною вібрацією робочої камери;
- з простим обертанням робочої камери;
- зі складним обертовим рухом камери відносно двох або трьох власних осей;
- з кутовими коливаннями робочої камери;
- з кутовою вібрацією робочої камери, яка рухається по складній просторовій кривій;
- з планетарним рухом робочої камери;
- з об'ємною кутовою вібрацією робочої камери;
- з комбінованою (поєднання або накладання одна на одну вище наведених різновидностей) вібрацією робочої камери.

До факторів, що впливають на циркуляцію процесу вібраційного оброблення, можна віднести: використання різних поєднань твердих, рідких і змішаних компонентів робочих середовищ; поєднання механічного процесу оброблення у вигляді різання і пластичного деформування з фізико-хімічним процесом, шляхом введення до складу робочого середовища відповідних матеріалів, розчинів, електролітів; наяв-

ність підвищеного тиску і температури в робочій камері.

Всі ці фактори значно впливають на сили мікроударів, контактний тиск, напруження і температуру, які виникають в зоні дії мікроударів, середню температуру в робочій камері, швидкість і прискорення частинок робочого середовища, що характеризують інтенсивність циркуляційного процесу вібраційного оброблення.

Дослідження параметрів циркуляційного руху робочого середовища дали можливість створити декілька динамічних груп віброоброблювальних установок, які дозволяють інтенсифікацію процесів оброблення при зниженні динамічної напруженості їх елементів. Циркуляційні процеси вібраційного оброблення забезпечуються установками, різновидність яких представлена на схемі (рис. 2).

Аналізуючи можливі конструктивні схеми вібраційних установок, приходимо до висновку, що кінетичну енергію, необхідну для зняття дрібних частинок металу з поверхні, яка обробляється, і згладжування мікронерівностей шляхом пластичної деформації, інгредієнти робочого середовища отримують від стінок робочої камери, яка коливається. Тому вигляд коливного руху робочої камери визначає інтенсивність протікання процесу вібраційного оброблення. Характеристика абсолютної швидкості, прискорення і ускладнення траєкторії руху робочих камер дозволяє вибрати технологічну схему вібраційної установки, яка має найбільш інтенсивний процес вібраційного оброблення.

Вибираючи певну кінематичну схему вібраційної установки, автоматично обумовлюємо величину кутів, які характеризують взаємодію абразивної гранули з поверхнею оброблюваної деталі.

Опираючись на проведений аналіз, можна розширити можливості підбору вібраційної установки для обробки певного типу деталей, підвищити ефективність розробок нових різновидностей прогресивної вібраційної обробки деталей.

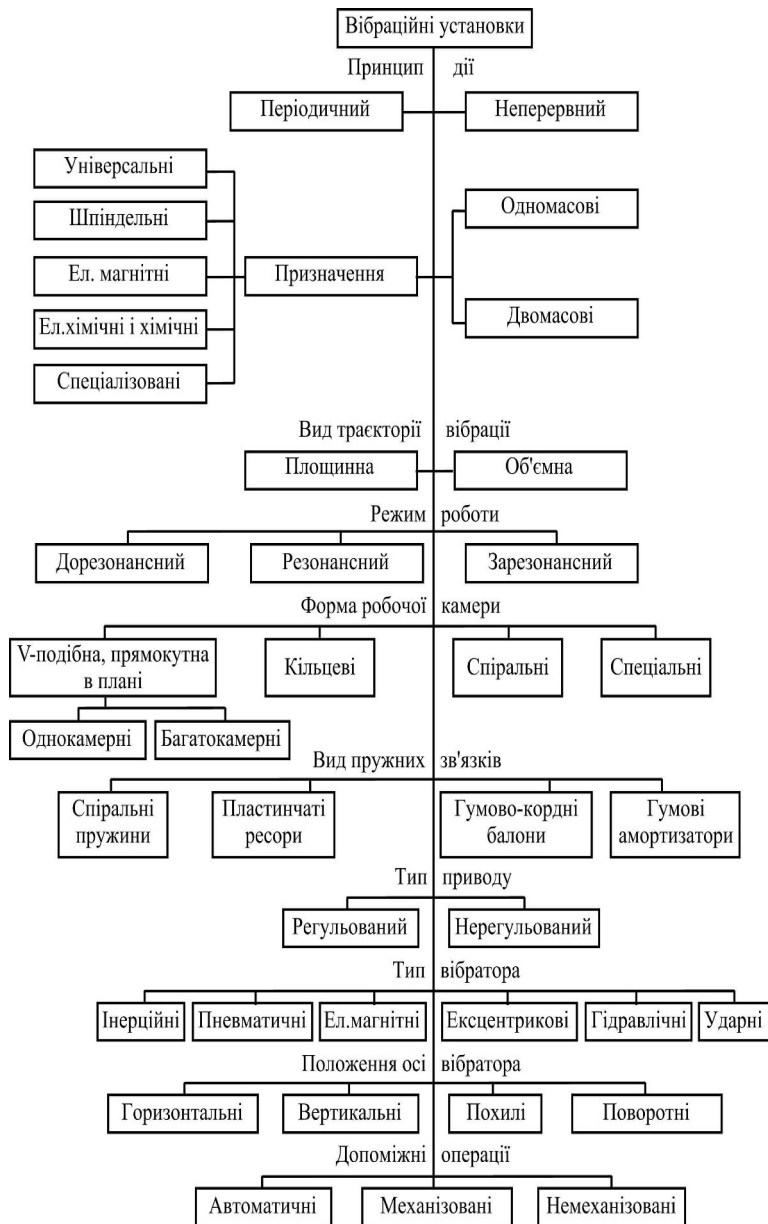


Рис. 2. Класифікація вібраційних установок

1. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии / Бабичев А. П., Бабичев И. А. – Ростов н/Д. : Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с. 2. Мороз В. М. Анализ конструктивных схем оборудования для вибрационно-центробежной обработки / В. М. Мороз // Прогрессивная отделочно-упрочняющая технология. – Ростов н/Д. : РИСХМ, 1982. – С. 76–87. 3. Кондратюк О. М. Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей / О. М. Кондратюк, Л. С. Серілко. – Вінниця : Всеукр. наук-техн. ж. «Вібрації в техніці та технологіях». – № 1(61). – 2011. – С. 87–93. 4. Кондратюк О. М. Оптимізація параметрів проведення експериментальних досліджень вібраційно-відцентрової обробки / О. М. Кондратюк // Вісник НУВГП. – Випуск 1(41). – Рівне, 2008. – С. 315–321.

Рецензент: к.т.н., професор Стрілець В. М. (НУВГП)

Kondratiuk O. M., Candidate of Engineering, Associate Professor
(National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

INTERACTION MECHANISM OF ABRASIVE GRANULE WITH PARTS IN VIBRATORY PROCESSING

The paper reviews vibratory processing, analyzes the interaction of the granule with the part, energy level of the working environment, the ways of its improvement. There have been identified the main parameters of the vibration processing which improve their intensity.

Keywords: vibratory process, energy level, granule, abrasive working environment.

Кондратюк А. М., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВНОЙ ГРАНУЛЫ С ДЕТАЛЯМИ ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

В работе проведено обзор вибрационной обработки, анализ взаимодействия гранулы с деталью, энергетический уровень рабочей среды, пути его повышения. Выявлено основные параметры вибрационной обработки, которые повышают её интенсивность.

Ключевые слова: вибрационный процесс, энергетический уровень, гранула, абразивная рабочая среда.
