

УДК 621.9.048

В.П.Симонюк

Луцький національний технічний університет

## ВІБРАЦІЙНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ

*Описано технологічні процеси, що відбуваються під час обробки деталей в різноманітних середовищах силових тіл при дії на них сил вібрації. Вібраційна обробка може відбуватись як із зняттям шару матеріалу з поверхні деталей так і її ущільненням. Основна увага приділена застосуванню вібраційної обробки при фінішних операціях.*

Ключові слова: *вібраційна обробка, обробка деталей, середовище, робоча суміш, надійність, якість обробки, мікронерівності поверхні.*

Як відомо, процес вібраційної обробки заключається в послідовному нанесенні по поверхні оброблюваних деталей великої кількості мікроударів та мікроцарапин частинками робочої суміші. Основою процесу є механічне або механохімічне зняття дрібних частинок металу і його окислів з оброблюваної поверхні, а також вигладжування мікронерівностей поверхні за рахунок пластичного деформування частинками робочої суміші, які відтворюють в процесі роботи складні рухи.

Вібраційна обробка деталей в різноманітних середовищах забезпечує створення необхідної шорсткості та фізико-механічних властивостей поверхні і поверхневих шарів оброблюваних деталей. Вона відноситься, також, і до фінішних методів обробки.

Зацікавленість віброобразивними методами обробки деталей пояснюється перевагами цього методу над такими традиційними викінчувальними операціями як галтовка, шліфування, полірування оскільки при цьому забезпечується механізація процесу обробки, обробка геометрично складних зовнішніх і внутрішніх важкодоступних поверхонь деталей, а також обробка крихких і нежорстких деталей без порушення їх геометричної форми і пошкодження поверхонь та деталей, які мають тенденцію до зчеплення при обробці їх в обертових барабанах.

Особливо помітні переваги віброобразивної обробки при виготовленні деталей з високим класом чистоти поверхні. Це деталі підшипників кочення, інструмент (різці, свердла та фрези після термічної обробки і зварювання), деталі двигунів, верстатів, холодильників та ін. Важливою перевагою віброобробки є висока стабільність результатів обробки всіх деталей однієї партії, що особливо важливо при обробці високоточних деталей.

Застосування віброобробки в якості фінішної операції дозволяє суттєво знизити собівартість виготовлення деталей, що мають шорсткість поверхні 7-12-го класів чистоти. Віброобробка, яка забезпечує отримання мікронерівностей порядку  $0,15 \div 0,25$  мкм, в ряді випадків може замінити доводку, собівартість якої в 4-5 разів вища. При цьому точність геометричної форми деталі, отримана при шліфуванні, не порушується, так як в результаті віброобробки знімається шар металу не більше 1-2 мкм. Надійність і довговічність роботи механізмів машин та приладів у значній мірі визначаються якістю обробки деталей та технологією їх виготовлення. Це зумовлює високі вимоги до фінішних операцій, котрі, в основному, відповідають за формування якості поверхні деталей. У зв'язку із цим задача технологічного забезпечення необхідних параметрів якості оброблюваних деталей є досить актуальною. Основна умова вирішення цієї задачі полягає в необхідності вдосконалення і розвитку технології фінішної обробки та обладнання, яке забезпечує відповідну якість обробки.

Особливо помітні переваги віброобразивної обробки при виготовленні деталей з високим класом чистоти поверхні. Це деталі підшипників кочення, інструмент (різці, свердла та фрези після термічної обробки і зварювання), деталі двигунів, верстатів, холодильників та ін.

Важливою перевагою віброобробки є висока стабільність результатів обробки всіх деталей однієї партії, що особливо важливо при обробці високоточних деталей.

Вібраційна обробка деталей в абразивному середовищі відбувається з використанням певного обладнання. Віброустановка, як правило, містить джерело рушійної сили (вібратор) і контейнер для завантаження робочої суміші, яка включає оброблювані деталі, наповнювач (абразив), а також, при необхідності, рідинні розчини.

В загальному, на процес вібраційної обробки деталей вільними абразивами мають вплив конструкція деталі, її форма, вага, матеріал, фізико-хімічний склад поверхневого шару, вимоги до обробленої деталі, матеріал абразиву, його зернистість, режими обробки тощо.

Саме до технологічних факторів процесу відносяться: продуктивність при заданій якості, вибір абразивних матеріалів і режимів обробки, необхідність застосування хімічних добавок в робочі розчини або нагрівання їх з метою підвищення ефективності обробки.

Практика показує, що на результати процесу впливають декілька десятків різних факторів, з яких необхідно вибрати оптимальне співвідношення. Складність цієї роботи вимагає проведення відповідних досліджень для кожного випадку переведення обробки деталей на вібраційні методи обробки, особливо якщо за технічними вимогами необхідне використання вібраційного шліфування і полірування.

Процес вібраційної обробки полягає в послідовному нанесенні по поверхні оброблюваних деталей великої кількості мікроударів, а також нанесенні великої кількості мікроподряпин на поверхні частинками робочого середовища. Основою процесу є механічне або механохімічне знімання дрібних частинок металу і його окислів з оброблюваної поверхні, а також вигладжування мікронерівностей поверхні за рахунок пластичного деформування частинками робочого середовища, які відтворюють в процесі роботи складні рухи.

На даний час спеціалісти різних галузей машинобудування і приладобудування проводять дослідження в області вдосконалення технології вібраційної обробки та створення нових високопродуктивних верстатів. Однак відсутність повної інформації про процеси, які відбуваються під час вібраційної обробки деталей та складність регулювання цими процесами стримують її розвиток і широке промислове впровадження.

В залежності від призначення технологічної операції, можуть застосовуватись абразивні і інші неметалічні матеріали з різними характеристиками, а також металічні середовища з робочими тілами відповідної форми і розмірів. Інтенсивність вібраційної обробки залежить від режимів обробки, характеристики і розмірів частинок робочої суміші, механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей та ін. До числа основних параметрів даного процесу відносяться: характер руху робочої камери і частинок робочої суміші, їх швидкість і прискорення, сила мікроударів, контактні тиски, температура, яка виникає в зоні дії мікроударів, середня температура в робочій камері.

На швидкість руху робочого середовища впливає амплітуда і частота коливань. Із їх збільшенням швидкість циркуляції робочого середовища зростає. На швидкість циркуляції дещо менший вплив має кількість і характер рідинного розчину, грануляція і форма частинок робочого середовища, заповнений об'єм робочої камери.

Дослідження, які проводились фахівцями багатьох дослідницьких організацій, показують, що динамічний вплив робочого середовища на оброблювані деталі зростає із збільшенням амплітуди та частоти коливань і залежить від глибини їх занурення, відстані від стінок робочої камери, режимів вібрації, розмірів і питомої ваги частинок робочого середовища. Орієнтація оброблюваних деталей безперервно змінюється в процесі обробки деталей. Вільно завантажені деталі рухаються в потоці робочого середовища з деяким відставанням, в порівнянні з частинками наповнювача. В процесі обробки деталі стараються розміститись по периферії циркулюючого робочого середовища.

Формування поверхневого шару в процесі вібраційної обробки відбувається під дією багаторазових мікроударів частинок робочого середовища, які викликають утворення слідів обробки, зміну геометричних і фізико-механічних параметрів поверхневого шару (шорсткості, мікротвердості, залишкових напружень і структури). Форма і розміри слідів обробки визначаються параметрами робочого середовища, режимами обробки, властивостями оброблюваного матеріалу.

Послання таких елементів процесу як послідовне нанесення великої кількості мікроударів, інтенсивне перемішування робочого середовища і оброблюваних деталей при їх різній швидкості перемішування і взаємній орієнтації, супроводжується (в залежності від характеристики робочого середовища і режимів вібрації) зніманням металу і його окислів, поверхневим пластичним деформуванням, і створює умови для виконання очисних, вікінчувальних, шліфувальних і інших операцій.

Продуктивність віброобробки, як відомо, залежить від режимів вібрації (амплітуди і частоти), характеристики і розмірів робочого середовища, матеріалу оброблюваних деталей, їх

маси і форми, співвідношення оброблюваних деталей і робочого середовища, а також, в певній мірі, від кількості одночасно оброблюваних деталей, об'єму і форми робочого контейнера.

Із збільшенням амплітуди, знімання металу зростає внаслідок збільшення сил мікроударів частинок робочого середовища і збільшення шляху активної взаємодії їх на оброблювану поверхню. На продуктивність процесу впливає і частота коливань. Із збільшенням частоти коливань знімання металу зростає (до певного значення). Ріст зняття металу із збільшенням кількості мікроударів абразивних частинок в оброблювану поверхню за одиницю часу пояснюється зростанням швидкості відносного ковзання цих частинок та оброблюваних деталей і зростанням сил мікроударів в результаті збільшення прискорень абразивних частинок при незмінній їх масі. Спостереження за поведінкою робочого середовища в робочому контейнері установки показують, що із збільшенням частоти коливань рух всієї маси прискорюється. Значить, ріст зняття металу в даному випадку відбувається внаслідок більш інтенсивного перемішування робочого середовища.

Збільшення частоти коливань не тільки підвищує продуктивність, але й сприяє більш рівномірній обробці всієї поверхні і виключає можливості пошкодження і поломки тонкостінних і крихких деталей.

При вивченні процесу віброобробки за часом, було встановлено, що зняття металу відбувається достатньо рівномірно протягом всього часу обробки з деяким збільшенням в початковий період, коли відбувається зняття відносно грубих мікронерівностей і закруглення гострих кромки та зменшення після певного часу обробки, коли в робочій суміші з'явилися відходи обробки у вигляді дрібної стружки та продукти подрібнення абразиву у вигляді пилу.

Із збільшенням зернистості абразивного середовища зняття металу зростає внаслідок збільшення маси зерен і, відповідно, збільшення глибини їх проникнення в метал, що викликає більш інтенсивну оброблюваність поверхні. Варто відмітити, що інтенсивність обробки, в цьому випадку, збільшується при обробці відносно більш м'яких матеріалів.

Суттєвий вплив на зняття металу і інтенсивність перебігу таких процесів, як шліфування і полірування, видалення задирок, рубців і закруглення гострих кромки, при вібраційній обробці, мають механічні властивості матеріалу оброблюваних деталей і перш за все його твердість, а також пластичність. Зменшення зняття металу із збільшенням його твердості пояснюється великим опором проникненню абразивних зерен в оброблювану поверхню. Із збільшенням пластичності, зняття металу зменшується. Наявність пластичності в оброблюваного матеріалу завдає труднощів відділенню з його поверхні частинок металу. Метал у цьому випадку деформується і видавлюється царапаючим зерном в сторони.

При обробці крихких матеріалів зняття металу в основному відбувається в результаті зрізання, при обробці пластичних матеріалів зняття відбувається внаслідок стомленого викришування частинок металу при багаторазовому деформуванні окремих його ділянок абразивними зернами.

Збільшення зняття металу відбувається також у тому випадку, коли змінюється об'єм заповнення робочої камери. Збільшення об'єму заповнення робочої камери до певної межі, підвищує зняття металу при решті рівних умов. Це пояснюється ростом висоти шару абразивної крихти, що в свою чергу, збільшує тиск на оброблювані деталі.

Збільшення об'єму завантаження робочим середовищем більше  $2/3$  об'єму робочої камери може зменшити інтенсивність обробки внаслідок погіршення умов перемішування робочого середовища, порушення правильності перебігу процесу і збільшення кількості зон застою.

Форма оброблюваних деталей визначає кращий або гірший доступ і контакт частинок робочого середовища з різними елементами оброблюваної поверхні і відповідно більшу або меншу інтенсивність обробки. Найбільш інтенсивно відбувається обробка гострих кромки, виступів, гострих поверхонь, причому серед останніх більш рівномірно і інтенсивно оброблюються циліндричні і сферичні поверхні і порівняно гірше плоскі. Обробка в глибоких карманах, отворах, пазах і заглибинах відбувається менш інтенсивно і потребує більш ретельного підбору розмірів і форми частинок робочого середовища.

Суттєвим недоліком вібраційного абразивного методу обробки деталей машин та приладів є постійність режиму обробки, яка встановлюється протягом деякого проміжку часу, від початку обробки. Ця постійність режимів, дуже часто, викликає утворення застійних зон в робочому середовищі віброконтейнера, що призводить до неоднаковості обробки всіх деталей. Та частина деталей, яка знаходиться в безпосередній близькості до стінок робочого контейнера, завжди буде

більш інтенсивно оброблюватись ніж та, яка знаходиться ближче до застійної зони, тобто до умовної середини робочої суміші, а ті деталі, які знаходяться безпосередньо в застійній зоні, взагалі дуже малорухливі і, відповідно, їхня оброблюваність буде найнижчою.

У віброуючих резервуарах, під час перемішування деталей і абразиву, з оброблюваної поверхні знімається мікростружка. Чим інтенсивніше проходить перемішування робочої суміші тим інтенсивніше відбувається зняття стружки. Цьому сприяє режим обробки (частота і амплітуда коливань).

Відносна швидкість проковзування частинки абразиву і деталі, є одним із основних факторів підвищення ефективності обробки і залежить від абсолютних величин швидкостей руху абразивних частинок і оброблюваних деталей. В свою чергу ці швидкості знаходяться в залежності від амплітуди і частоти коливань, траєкторії руху резервуара, а також від співвідношення мас оброблюваних деталей і абразивних частинок. Чим більша різниця в їх масах, тим швидкість взаємного їх проковзування буде більшою. При невеликій різниці в масах деталей і абразивних частинок, а відповідно незначній відмінності їх інерції, швидкість проковзування між ними буде невеликою, що при всіх інших рівних умовах приведе до зниження ефективності обробки. Значить, ефективність вібраційної обробки деталей з невеликою масою може бути забезпечена за рахунок збільшення швидкості руху резервуару.

Твердість матеріалу деталі впливає як на продуктивність обробки, так і на якість поверхонь оброблюваних деталей. Чим вища твердість матеріалу, тим на меншу глибину будуть проникати зерна абразиву в деталь. При цьому, відповідно, знижується зняття металу з оброблюваної поверхні деталі при одночасному зменшенні її мікронерівностей.

Форма оброблюваної поверхні деталі також впливає на ефективність процесу віброобробки. Співвдаряння абразивних частинок із складними елементами, які утворюють в деталях різного роду пази і заглибини, відбувається не завжди під оптимальними кутами, що викликає різке зниження продуктивності обробки і якості оброблюваних поверхонь деталей. Більш того, можливі випадки, коли форма оброблюваної поверхні така, що співвдаряння з нею абразивних частинок неможливе.

До важливих характеристик абразивних частинок, які впливають на ефективність вібраційної обробки, необхідно віднести масу, розміри, форму і твердість гранул.

При взаємодії елементів середовища в робочому резервуарі, коли абразивною частинкою наноситься прямий удар по оброблюваній поверхні деталі, його сила пропорційна масі цієї частинки. Значить, збільшення маси абразивної частинки приводить до підвищення якості поверхні оброблюваної деталі. Але, значне збільшення маси абразивних частинок може викликати погіршення якості обробки, а також зменшення швидкості проковзування. Детальне дослідження цього питання дозволило зробити узагальнений висновок: для виконання грубих очисних операцій повинні використовуватись абразивні частинки відносно більшої маси, а для оздоблювальних - відносно меншої.

Форма абразивних гранул суттєвого впливу на ефективність вібраційної обробки немає. Але при складному доступі абразивних частинок до оброблюваних поверхонь виникає необхідність в підборі раціональної форми гранул.

Зернистість абразивного матеріалу в значній мірі відтворюється як на якості, так і на продуктивності обробки. При використанні крупнозернистого абразиву, кількість зерен, що знаходяться в контакт з оброблюваною поверхнею деталі, зменшується і іноді може досягати незначної кількості. В такому випадку, за іншими рівними умовами (наприклад, при однаковому тиску), занурення зерна в метал відбувається на більшу глибину і знімається більш крупна металічна стружка. При малій зернистості різко збільшується кількість контактів частинок з поверхнею деталі, але занурення зерен відбувається на невелику глибину. Це сприяє зняттю дрібної стружки і зменшенню висоти мікронерівностей.

Твердість абразивних гранул є однією із основних характеристик, які суттєво впливають на ефективність віброабразивного процесу. Чим більшу твердість мають абразивні частинки, тим більшу вони мають стійкість до викришування і „притуплення” ріжучих кромки.

При вібраційній абразивній обробці об'єм завантаженого в резервуар абразивного матеріалу, як правило, перевищує об'єм оброблюваних деталей. В зв'язку із цим, абразивні частинки в процесі обробки стикаються одна з другою частіше, ніж з оброблюваними деталями, що викликає підвищений знос абразиву.

Поява в абразивній масі продуктів її зносу заповнює пори між зернами гранул і приводить до „засалювання“ абразиву, а також до зниження його ріжучих властивостей.

Об'ємне співвідношення абразиву і оброблюваних деталей в резервуарі в значній мірі відтворюється на продуктивності вібраційної обробки. Якщо кількість деталей в резервуарі вібраційного верстата відносно велика, то абразивні частинки будуть контактувати з оброблюваними поверхнями невеликої кількості деталей. Процес обробки при цьому протікає повільно. Крім того, на поверхнях цих деталей буде велика кількість забоїв внаслідок значної кількості співударень деталей між собою. Якщо кількість одночасно оброблюваних деталей невелика в порівнянні з завантаженим об'ємом абразиву, то можливості віброустановки не будуть використовуватись повністю. При розробці технологічного процесу, дуже важливим фактором, який впливає на досягнення необхідних результатів по якості поверхонь оброблюваних деталей і продуктивності процесу обробки, є вибір наповнювача, який може бути різноманітним: неметалічним - абразивна крихта, шліфзерно, формований абразив у вигляді куль, призм, конусів; металічним - сталеві кулі, сталевий або чавунний шрот, металічні зірочки, а також предмети із природних матеріалів: кубики із деревини, плодови кісточки, клаптики шкіри, войлока і інше. В залежності від виконуваної операції, геометричних розмірів і матеріалу деталей вибираються розміри і матеріал наповнювача.

За характером вібрації робочої камери, вібраційні установки поділяються на однокомпонентні, в яких використовуються вібрації в одному напрямку, як правило, у вертикальному чи горизонтальному; двохкомпонентні, в яких вібрації використовуються в двох напрямках, як правило, колові або еліптичні у вертикальній площині; трьохкомпонентні, де вібрації використовуються в трьох напрямках.

Однокомпонентні вібрації широкого розповсюдження на викінчувальних операціях не знайшли. Їх використовують, в основному, на операціях грубої віброгалтовки деталей із пластмас та на операціях видалення облою через наступні суттєві недоліки. При вертикально направлений вібрації робоча маса не буде перемішуватись і оброблюватись будуть тільки деякі поверхні деталей що зорієнтовані вздовж вібраційного руху. Біля дна робочої камери, під дією тиску шарів, що знаходяться вище, обробка буде більш інтенсивною. Більш важчі частини будуть осідати біля дна робочої камери. При горизонтально направлених коливаннях теж не забезпечуються умови нормального протікання процесу тому, що відсутнє взаємне переміщення оброблюваних деталей і робочого середовища. При коливаннях робочої камери в двох напрямках, по траєкторії, яка є еліпсоподібною чи коловою, забезпечуються нормальні умови процесу обробки з інтенсивним перемішуванням робочого середовища, рівномірним зняттям металу з поверхні деталей.

Установки з трьохкомпонентною вібрацією мають незначні технологічні переваги над установками з двохкомпонентною вібрацією. Ці переваги полягають в більш рівномірній обробці поверхонь і в підвищенні продуктивності на викінчувальних операціях. Недоліками цих установок є складність їх конструкції та ускладнення пов'язані із зміною режимів вібрації.

Однією із актуальних задач розвитку вібраційної обробки є вдосконалення діючих та створення нових вібраційних верстатів. Одним із основних напрямків вдосконалення процесу віброобробки є якісна зміна самого процесу вібраційної обробки та створення у зв'язку із цим принципово нових конструкцій вібраційних машин. Цей напрямок є найбільш перспективним, так як він дозволяє очікувати якісних змін в процесах вібраційної обробки.

Вібраційні машини відрізняються від звичайних металооброблюваних відсутністю деталей, які труться між собою, пониженим використанням енергії, високою технологічною ефективністю. Для встановлення верстатів не потрібно спеціального фундаменту. Їх розміщують на підлозі виробничого приміщення за допомогою пружних амортизаторів. В загальному, принцип дії вібраційної абразивної машини наступний: привід надає переміщення робочому органу віброверстата - робочій камері (бункеру, контейнеру), в якій міститься абразив та заготовки і яка опирається на пружну ланку. Вібраційна машина повинна містити пристрої, які забезпечують необхідний характер вібрацій. Основним вузлом вібраційної установки, який забезпечує виконання головного руху вібрування, є вібратор.

Здійснення вібраційних навантажень об'єктам обробки можливе різними способами. Широко відомі вібромашини з механічним, електричним, пневматичним, гідравлічним приводами та їх поєднаннями. На практиці в конструкціях вібраційних установок дуже часто застосовуються механічні вібратори відцентрового типу, дебалансні віброзбуджувачі, які прості за конструкцією, надійні та дозволяють легко змінювати збуджувачу силу.

1. Шаповал В.Н. и др. Вибрационные приводы в металлообработке. К.: „Техніка”, 1983. - 107с.
2. Бабичев А.П. и др. Наладка и эксплуатация станков для вибрационной обработки. М.:Машиностроение, 1988. - 64с.
3. Искович-Лотоцкий Р.Д. и др. Машины вибрационного и виброударного действия. К.: „Техніка”, 1982. - 208с.
4. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. М.: Машиностроение, 1974. - 134с.
5. Калмиков М.О., Шумакова В.Б., Струтинський В.Б. К вопросу разработки математического аппарата определения оптимальной формы гранулы // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». - 2010. № 3 (59).