

УДК 620.193.16

Р.І. СІЛІН, А.І. ГОРДЄСВ, В.В. ТРЕТЬКО, Р.С. СІЛІН  
Хмельницький національний університет**КОМПЛЕКСНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ  
ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ДОВОДКИ ПОВЕРХОНЬ**

*Наведено аналіз конструкцій обладнання для доводки поверхонь. Запропоновано оптимальну стратегію оброблення та вібраційне обладнання для доводки плоских поверхонь і очищення їх від технологічних забруднень.*

*The analysis of construction equipment to tweak surfaces. An optimal strategy for treatment and vibrating equipment to tweak flat surfaces and clean them from the technological impurities.*

Ключеві слова: вібраційне обладнання, доводка, миття.

**Вступ**

Серед різних способів механічного оброблення, які забезпечують виконання високих вимог до якості поверхневого шару, точності форми і розмірів обробленої поверхні, важливе місце займає абразивна доводка. В багатьох випадках вимоги, які висуваються до виробів за шорсткістю, точністю форми і взаємним розташуванням оброблених поверхонь, зокрема циліндричних, роблять абразивну доводку практично єдиним технологічним процесом, який в змозі їх забезпечити.

Параметри якості оброблених поверхонь після оброблення матеріалів різанням, в тому числі абразивної доводки, залежать від режимів і умов процесу оброблення [1, 2].

Механічна абразивна доводка дозволяє підвищити продуктивність оброблення в декілька разів в порівнянні з ручною доводкою, при цьому забезпечується стабільність вихідних експлуатаційних характеристик деталей агрегатів і машин (гідравлічної, пневматичної апаратури, зубчатих коліс, шариків, роликів і кілець підшипників кочення, кремнієвих підложок, кварцових елементів, керамічних деталей) [3].

Після отримання необхідних параметрів оброблених деталей виникає потреба очистити поверхню від полірувальної пасти та жирових забруднень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Основні схеми механічної доводки циліндричних і сферичних поверхонь представлені на рис. 1.

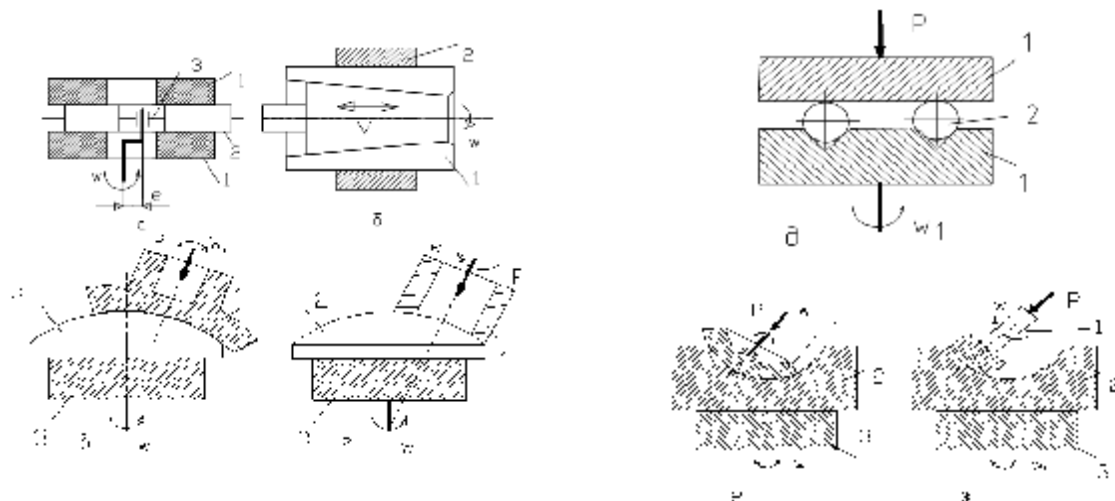


Рис. 1. Основні схеми доводки циліндричних (а, б) та сферичних (в, г, д, е, ж) поверхонь:  
1 – притир; 2 – деталь; 3 – пристрій для встановлення деталей

Доводку зовнішніх циліндричних поверхонь здійснюють як плоскими (рис. 1а), так і циліндричними притирами, а внутрішніх циліндричних поверхонь – в основному різними циліндричними притирами (рис. 1б). Випуклі сферичні поверхні оброблюють сферичним інструментом в вигляді трубки або чашоподібної “шали”, а вгнуті – у вигляді “грибка”, диска або трубчатим інструментом (рис. 1. в, г, е, ж), доводку шариків виконують між двома притирами, один з яких має кільцеву канавку, а інший – плоский (рис. 1д).

Вказані схеми доводки (рис. 1) реалізуються доводочним обладнанням, яке повинно мати визначений комплекс рухів. Всі рухи в доводочних верстатах, як відомо, поділяються на головні, допоміжні та додаткові. Головний рух в верстаті безпосередньо забезпечує процес зняття шару матеріалу, допоміжний – поступовість і неперервність цього зняття по всій оброблюваній поверхні (зворотню-поступальний рух притиру або деталі), додатковий – рух, що визначається конструкцією машини та таким, що покращує якість доводки.

Розглянемо детальніше технологічне забезпечення абразивної доводки циліндричних поверхонь. В серійному та масовому виробництві доводку зовнішніх циліндричних поверхонь здійснюють переважно на дводискових доводочних верстатах з ексцентриковою наладкою. Цей спосіб доводки отримав назву “кругла доводка”.

Схеми найбільш поширених наладок верстата для круглої доводки представлена на рис. 2.

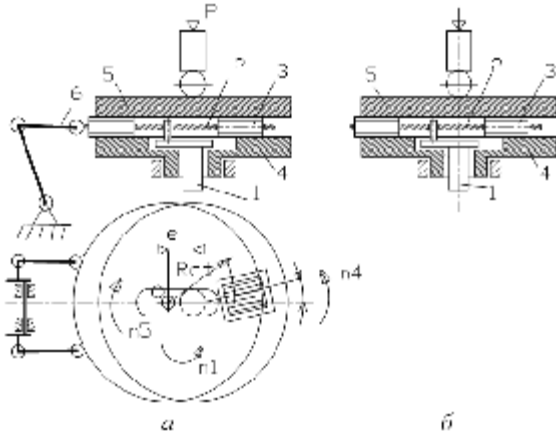


Рис. 2. Кінематичні схеми верстатів для круглої доводки: а – з обертано-поступальним рухом сепаратора (1<sup>й</sup> тип); б – з вільним обертанням сепаратора (2<sup>й</sup> тип)

сепаратор отримує обертання відносно осі цапфи з числом обертів, залежним від співвідношення частоти обертання обох притирів. В деяких випадках для надавання деталям складного руху відносно поверхонь притирів сепаратору надають рух за допомогою шарнірно-важільних механізмів б. Для посилення ефекту доводки сепаратору з деталями надають додатковий рух за рахунок обертання ексцентрика з частотою обертання  $n_1$ , а деталі розміщують під кутом  $\alpha_n$  до радіуса сепаратора. Рух точок циліндричної поверхні деталі можна представити таким, що складається з плоскопаралельного руху точок контактної прямої і обертання цих точок навколо осі деталі з кутовою швидкістю  $\omega_d$ .

Для доводки циліндричних поверхонь деталей застосовують дискові сепаратори двох типів: 1) з вільною укладкою деталей в пазах сепаратора; 2) з пальцями (центрами) для фіксації деталей, що мають центральний отвір.

Доводочні машини обладнуються індивідуальними електроприводами, гідроприводами або превмоприводами (для створення обертально-поступального руху).

Доводочне обладнання для круглої доводки, що використовується в машинобудуванні не забезпечує високої продуктивності обробки, точності і шорсткості поверхні з-за постійно зростаючих вимог до підвищення якості продукції, що випускається та використання більш сучасної технології. Недостатньо складна траєкторія робочого руху, як правило, комбінація обертальних рухів доводочних дисків та планетарного руху деталей, як це було описано вище, неоднакові швидкості різання в різних точках доводочних дисків обумовлюють їх нерівномірне зношування, а також знімання матеріалу з оброблюваних деталей, що знижує точність і якість обробки, потребує допоміжних заходів для підвищення стабільності результатів доводки (кінематична правка, направлене переміщення деталей по притиру, управління динамічними факторами).

Виникає необхідність пошуку нових прогресивних методів оздоблювального оброблення циліндричних та сферичних поверхонь, що дозволяють утворити керуючий процес доводки та при менших витратах підвищити продуктивність доводочного обладнання, точність і якість оброблення.

В зв'язку з цим перспективним є використання методу вібраційної доводки, що забезпечує високі вихідні показники процесу. Але його широкому втіленню перешкоджає відсутність даних з теорії і практики процесу, проектування відповідного обладнання. В працях, що присвячені дослідженню вібраційної доводки, недостатньо повно освітлені питання динаміки та утворення керуючого процесу, формоутворення оброблюваних поверхонь деталей.

Характер процесу вібраційної доводки має відмінні особливості. При цьому методі значно ускладнюється траєкторія робочого руху, завдяки наданню вібраційних коливань доводочній плиті або оброблюваній деталі. Характер і вид цього руху залежить від параметрів і виду сумарних коливань плити та деталі, значень сил інерції та тертя, що виникають при цьому.

Незважаючи на те, що за один період коливань доводочної плити чи деталі виконується порівняно невелика робота, завдяки високій частоті коливань досягається висока продуктивність процесу вібраційної доводки. Складний рух деталей відносно робочої поверхні доводочної плити виключає можливість появи направлених слідів обробки на доведеній поверхні, покращує її геометричну форму та сприяє зняттю з оброблюваної поверхні рівномірного шару матеріалу. Крім цього, складний рух деталей попереджує виникнення місцевих виробіток на робочих поверхнях притирів.

Останнім часом вібраційна доводка знаходить все більше застосування при обробленні особливо точних деталей з високими вимогами до якості і точності оброблюваних поверхонь.

Для отримання готового виробу застосовується багато методів очистки поверхонь та конструкцій обладнання, але вибір устаткування та вид фізико-механічного впливу на забруднення залежить від адгезійного зчеплення з поверхнею, густиною та складом самого забруднення.

### Мета роботи

Створення комплексної технології та обладнання для вібраційної доводки поверхонь з послідовним очищенням виробів є актуальною задачею промисловості. Одним з нових напрямків розвитку доводочних операцій є доводка на резонансних вібраційних верстатах з електромагнітним приводом кругових поступальних коливань притирів [4,5], а також застосування вібраційних машин з пульсуючими струменями для очищення поверхонь виробів.

Тому дослідження процесу вібраційної доводки циліндричних і сферичних поверхонь, очищення від технологічних забруднень, розробка більш досконалих вібраційних доводочних верстатів та обладнання для очищення, а також методик їх розрахунку є актуальними задачами.

### Виклад основного матеріалу

Технологічні можливості нових способів доводки деталей визначаються параметрами якості оброблюваних поверхонь, а також технічними характеристиками доводочних верстатів, які дозволяють здійснювати цілеспрямовану зміну параметрів процесу. Розробка та реалізація ефективних багатоопераційних технологічних процесів можлива на основі аналізу і пошуку оптимального варіанту здійснення процесу від чорнової до фінішної операції, з урахуванням багатоваріантності структурних схем його здійснення.

Досягнення необхідної точності та якості оброблених поверхонь при вібраційній доводці на резонансних вібродоводочних машинах [1] обумовлено комплексом умов та факторів процесу доводки. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що зміна шорсткості  $R_a$  та відхилення від площинності  $\Delta N$  оброблюваних поверхонь при вібраційній доводці має експоненціальний характер. При цьому швидкість утворення нового рельєфу знижується від максимального значення в початковий період до значень, близьких до нуля, в момент утворення сталого значення параметрів якості та точності.

Вираз для опису зміни параметрів поверхонь в процесі доводки має вигляд:

$$F = (F_{\%0} - F_-) \cdot e^{-k \cdot t} + F_- \quad (1)$$

де  $F_{\%0}, F_-, F$  – вихідне, усталене та поточне значення параметрів обробки;

$k$  – коефіцієнт інтенсивності зміни параметра.

З (1) час досягнення певного поточного значення параметра  $F$  становить:

$$t = \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{(F - F_-)}{(F_{\%0} - F_-)} \quad (2)$$

Ефективність оброблення на певному етапі знижується при наближенні поточного значення  $F$  до усталеного  $F_-$  для даних умов обробки (рис. 3). Тому бажаним є використання найбільш крутої ділянки кривої  $F=F(t)$ , тобто досягнення потрібного значення параметра оброблення з максимальною швидкістю зміни рельєфу поверхні. При цьому для досягнення певного значення шорсткості  $R_a$  та відхилення від площинності  $\Delta N$  поверхні, з метою підвищення продуктивності процесу, необхідно використовувати режим обробки, який забезпечує усталені значення параметрів обробки, вищі за ті, що вимагаються.

Вибір оптимальної стратегії досягнення значення параметра  $F$ , що забезпечує найбільш ефективне і продуктивне оброблення, є важливою задачею для методу вібраційної доводки, вирішити яку пропонується використанням керуючого багаступінчатого оброблення.

Два суміжних етапи багаступінчатого оброблення (рис. 3) можна представити системою рівнянь:

$$\begin{cases} F_i = (F_{i\%0} - F_{i-}) \cdot e^{-k_i \cdot t} + F_{i-} \\ F_{i+1} = (F_i^* - F_{i+1-}) \cdot e^{-k_{i+1} \cdot (t-t_i^*)} + F_{i+1-} \end{cases} \quad (3)$$

де  $F_i^*$  – значення параметра, при досягненні якого в момент часу  $t_i^*$  відбувається перехід з одного ( $i$ ) режиму обробки на інший ( $i+1$ );

$k_i, k_{i+1}$  – коефіцієнти інтенсивності зміни параметрів;

$F_{i-}, F_{i+1-}$  – усталені значення параметрів оброблення.

Виходячи з вимог забезпечення максимальної швидкості зміни рельєфу при переході з режиму на режим, умову переходу можна представити рівністю похідних у точці переходу в момент часу  $t_i^*$ . Звідси

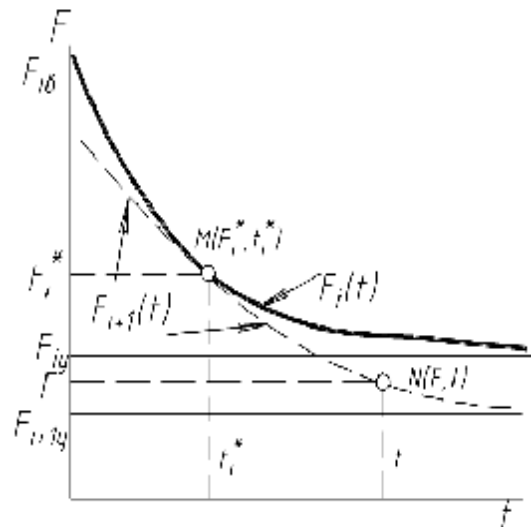


Рис. 3. Визначення умов переходу з режиму на режим

встановлюємо значення часу оброблення на  $i$ -му рівні:

$$t_i^* = \frac{1}{k} \cdot \ln \frac{(k_i - k_{i+1}) \cdot (F_{i\%} - F_{i-})}{k_{i+1} \cdot (F_{i-} - F_{i+1-})} \quad (4)$$

При цьому значення  $F_i^*$  за виразом (1)

$$F_i^* = (F_{i\%} - F_{i-}) \cdot e^{-k_i \cdot t_i^*} + F_{i-} = \frac{k_i \cdot F_{i-} - k_{i+1} \cdot F_{i+1-}}{k_i - k_{i+1}} \quad (5)$$

Таким чином можна визначити координати ( $t_i^*$  і  $F_i^*$ ) точок переходу між двома суміжними режимами вібраційної доводки, що характеризуються оптимальною кінетикою технологічного процесу. Практична реалізація принципу управління процесом доводки технологічним методом багатоступінчастої обробки потребує визначення на кожному етапі коефіцієнта інтенсивності  $k_i$ , усталеного значення параметрів якості  $R_{ai-}$  і точності  $\Delta N_{i-}$  обробки та їх залежності від факторів технологічного процесу.

Ця задача вирішувалась експериментально методом регресивного аналізу. В результаті отримана статистична залежність коефіцієнта інтенсивності зміни шорсткості  $k_{Ra}$  та неплоскості  $k_{\Delta N}$  від зернистості абразиву  $d$ , амплітуди  $A$  кругових коливань притирів та тиску  $p$  доводки:

$$k_{Ra} = 0,0765 \cdot e^{(0,067d + 0,819A + 1,48p + 0,047Ra + 0,012dA - 0,87A^2 + 1,06Ap - 13,77p^2)}$$

$$k_{\Delta N} = 0,0778 \cdot e^{(0,07d + 1,11A + 2,11p - 0,122\Delta N + 0,0384dA - 1,44A^2 + 3,62Ap - 22,32p^2)}$$

Потрібно відзначити, що оптимальні значення амплітуди коливань притирів та тиску доводки, що забезпечують максимум коефіцієнтів інтенсивності  $k_{Ra}$  та  $k_{\Delta N}$ , відрізняються несуттєво і визначаються виразами:

$$\begin{aligned} A &= 0,5 + 0,01 \cdot d \\ p &= 0,08 + 0,001 \cdot d \end{aligned} \quad (7)$$

Внаслідок цього при виборі оптимального режиму доводки по інтенсивності формування шорсткості оброблюваної поверхні забезпечується також близьке до оптимального формування її відхилення від площинності.

У відповідності до [2] оптимальний перехід з одного стану в інший (з режиму на режим) характеризується часом формування складу показників якості та точності оброблення:

$$t_{Ra} = \frac{R_{ai+1} - R_{ai}}{\frac{dR_a}{dt}}, \quad t_{\Delta N} = \frac{\Delta N_{ai+1} - \Delta N_{ai}}{\frac{d(\Delta N)}{dt}} \quad (8)$$

Умову цього переходу з одного режиму на інший можна записати в вигляді:

$$t_{Ra} = t_{\Delta N} \quad \text{або} \quad k_{Ra} = k_{\Delta N} \quad (9)$$

Виконання умови (9) дозволяє забезпечити функціонування стабільної технологічної системи з одночасними і взаємопов'язаними змінами шорсткості і неплоскості оброблюваних поверхонь, що має місце при:

$$\Delta N_{\%} = 0,385 \cdot R_{a\%} + 0,85 + 0,131 \cdot d + 0,0017 \cdot d^2, \quad (10)$$

та накладає вимоги до рівнів зміни факторів  $\Delta N_{\%}$  і  $R_{a\%}$  відповідно до зернистості абразиву, що застосовується.

Якщо при обробленні пріоритет надається одному з параметрів оброблюваної поверхні, то характер зміни другорядного параметра буде близьким до оптимального, що разом дозволить отримати необхідні значення показників якості та точності за мінімальний час.

Провівши оброблення заготовок, отримавши необхідну точність по площинності та шорсткості стає задача очистити поверхню від технологічних забруднень.

Проведено дослід по визначенню продуктивності промивки плоских зразків від в'язких розчинних забруднень на вібраційному обладнанні на основі гідропульсатора [6], в якому створюється пульсуючий газорідинний струмінь. Підготовлені зразки (забруднення – алмазна паста) закріплювались в спеціальній оправці, кут між площиною потоку та зразком дорівнював  $90^\circ$ , відстань 60 мм. Зразки промивались водопровідною водою при  $T = 20^\circ\text{C}$ , з метою вилучення впливу хімічних факторів на процес [7]. Продуктивність промивання оцінювалась візуально по площі відмитої поверхні забрудненого зразка. Зразки рівної площі промивались за період  $T = 10$  с. В досліді змінювалась частота коливань та діаметр насадка гідропульсатора. Результати дослідів показані на графіку рис. 4.

З графіка рис. 4 видно, що при збільшенні частоти коливань до певної величини площа промитого зразка зменшується. Це пояснюється тим, що із збільшенням проценту газової складової потоку об'єм порцій рідини зменшується і сила удару потоку по поверхні зменшується при незначному збільшенні сил тертя газорідинної суміші. Найбільша продуктивність промивки отримана при максимальних швидкостях та тисках газорідинного струменя, який утворюється у гідропульсаторі при певних частотах коливань робочого тіла.

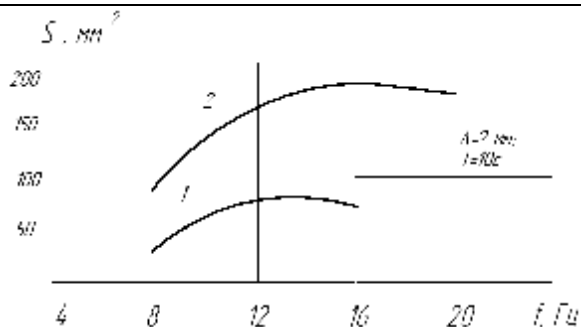


Рис. 4. Залежність відмитої площі зразка від частоти та діаметра насадка: 1 –  $d_n = 6,3$  мм; 2 –  $d_n = 10$  мм

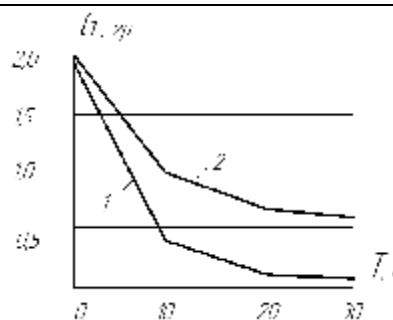


Рис. 5. Залежність продуктивності промивання за зміною ваги зразка від відстані  $l$  між насадком та поверхнею, що промивається: 1 –  $l = 20$  мм; 2 –  $l = 60$  мм; ( $d_n = 8$  мм,  $A = 2$  мм,  $f = 14$  Гц)

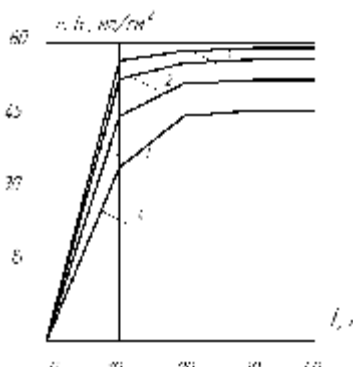


Рис. 6. Кінетика видалення забруднень:  
1 – ультразвуковим способом;  
2 – вібраційним струминно-пульсуючим способом;  
3 – струминним способом;  
4 – вібраційним способом

Були проведені дослідження впливу відстані між насадком та поверхнею, що промивається. Для промивки застосовували зразки із забрудненням полірувальною пастою. Продуктивність процесу оцінювали ваговим методом. Результати досліджень показані на рис. 5. В міру віддалення від зрізу насадка продуктивність падає, тому бажано деталі, які підлягають промиванню від забруднень, розташовувати близько до зрізу насадка.

Для порівняння продуктивності промивання поверхні плоских зразків від забруднень різними способами були проведені досліди, в яких продуктивність промивання також оцінювалась ваговим методом. Досліди проводились при температурі  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  в зворотній емульсії. Порівнювалась продуктивність промивання такими способами: ультразвуковим, струминним, вібраційним та пульсуючим газорідним потоком. Результати дослідів наведено на рис. 6.

Найвищу продуктивність промивання показав ультразвуковий спосіб, трохи нижчу – вібраційний струминно-пульсуючий спосіб. Далі за продуктивністю промивання йдуть струминний та вібраційний способи.

### Практична реалізація

На кафедрі технології машинобудування ХНУ розроблена комплексна технологія та обладнання для доводки високоточних деталей з різних матеріалів, таких як корпуси магнітних головок із кераміки та фериту, підложки інтегральних мікросхем, деталей гідро- та пневмоапаратури (рис. 7) з подальшим їх очищенням від забруднень на вібраційному струменево-пульсуючому обладнанні.

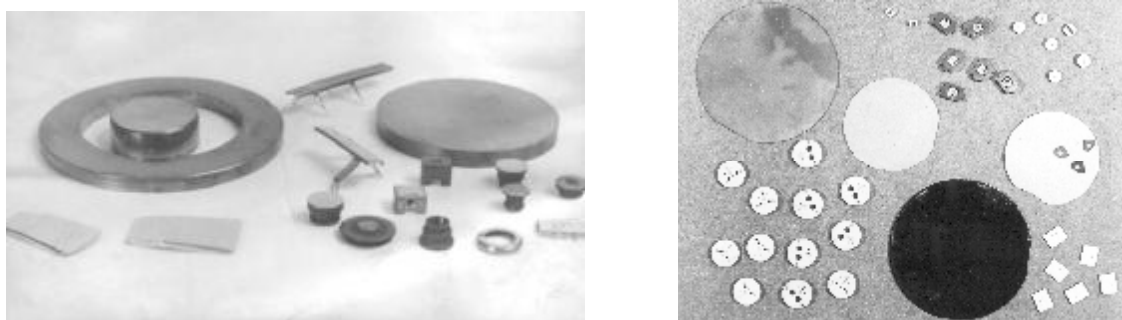


Рис. 7. Деталі, які обробляються на вібропроводочних машинах

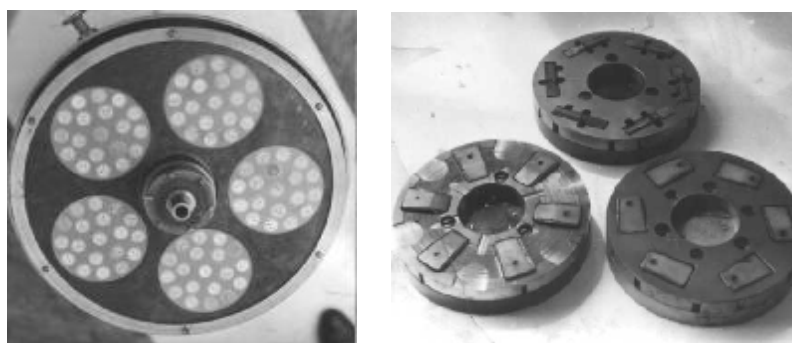


Рис. 8. Касети та їх розташування на столі вібропроводочної машини

У вібраційних резонансних доводочних машинах використовується електромагнітний вібропривод,

який надає притирам поступального коливного руху по колових траєкторіях в площині, яка паралельна робочим поверхням притирів.

Оброблення плоских та циліндричних деталей на машині здійснюється при їх установці в гнізда спеціальних касет сепаратора, який створює складний направлений рух деталей, що обробляються відносно робочих поверхонь притирів (рис. 8). Для обертання сепаратора і касет застосовуються перетворювачі коливань, які використовують колові поступальні коливання притирів.

Тиск доводки регулюється за допомогою електромагнітного та пневматичного затисків, які забезпечують рівномірний його розподіл по поверхні, що обробляється. В верстатах передбачено силове розвантаження сепаратора, що дозволяє обробляти особливо тонкі деталі (товщиною менше 0,1 мм.) з крихких матеріалів.

Завдяки конструктивним особливостям вібраційних машин (рис. 9, рис. 10, рис. 11) досягається рівність швидкостей і циклових шляхів різання для кожної точки робочої поверхні притирів, рівномірний розподіл траєкторій по поверхнях, що обробляються і не повторюваність слідів оброблення, створюються умови для рівномірного зношування притирів, що значно підвищує точність і якість оброблення.



Рис. 9. Загальний вигляд доводочної вібраційної машини ВДМ-400-2А



Рис. 10. Загальний вигляд доводочної вібраційної машини ВДМ-300-2

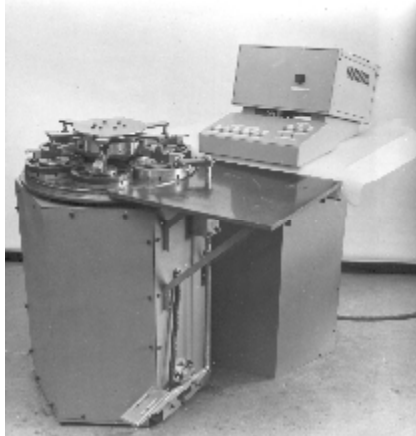


Рис. 11. Загальний вигляд резонансної вібраційної доводочної машини ВДМ-600-2

Завершальною операцією отримання виробу після доводки є очищення (миття) від технологічних забруднень. Завдяки проведеним дослідженням розроблено технологічне обладнання для миття деталей від алмазної паста та жирових забруднень, що дає можливість у комплексі розв'язувати задачу отримання готового виробу, який надалі можна подавати на збиральні операції.

Вібраційне обладнання для миття деталей рис. 12 [8] містить ванну для миючої рідини 1, сітку 2 для розміщення деталі, установлену, з можливістю зворотно-поступального переміщення, діафрагму 3, камеру 4, жорстко змонтовану на діафрагмі забірну вертикальну трубку 5, кінці якої з'єднані з порожнинами ванни 1 й камери 4, а діафрагма має еластичний елемент поділу порожнин ванни й камери. У камері встановлена електромагнітна котушка 6 у вологонепроникному кожусі. Нижній кінець забірної трубки з'єднаний з системою подачі стиснутого повітря 7. Камера 4 має отвір 8 для зливу забрудненої рідини.

Вібраційне обладнання працює в такий спосіб. При включенні в мережу котушки 6 діафрагма 3 і забірні трубка 5 одержують коливальний рух. Рідина у ванні 1 коливається й створює мікротечії навколо деталі, що промивається. Одночасно при русі діафрагми 3 нагору відбувається захоплення рідини через трубку 5 у камеру 4 за рахунок розрядження. При русі униз відбувається викид рідини у ванну 1 на оброблювану деталь. Під час роботи в забірну трубу подається стиснене повітря у вигляді дрібних пухирців з системи подачі стиснутого повітря 7 (наприклад, через барботер).

Вібраційне обладнання [9] для мийки дрібних деталей (рис. 13) працює в такий спосіб. Касета 4 встановлюється на монтажний стіл, деталі 5 укладаються в ємності 8 і закриваються кришками 11. Потім касета 4 вставляється у ванну 1 до упора в кільцевий бортик 16, у результаті чого утвориться нижня камера 7 формування струменів у робочій рідині. Миюча рідина 19 заповнює касету 4, ванна 1 із касетою 4 закривається кришкою 12 і зайве повітря витісняється через отвори 13 і 14.

При включенні вібратора 3 утворюються пульсуючі струмені рідини при ході дна 2 ванни 1, як нагору, так і вниз. Відбувається промивання, при якому деталі промиваються пульсуючими струменями рідини в ємностях 8. При русі дна 2 нагору або униз відбувається стиск струменя на вході в отвори 10 або 9 ємностей

8, при цьому в останніх утворюється розрідження й газ, розчинений у миючій рідині, при створенні розрідження виділяється й у вигляді дрібних пухирців попадає на оброблювані деталі, у результаті чого відбувається інтенсифікація мийки.

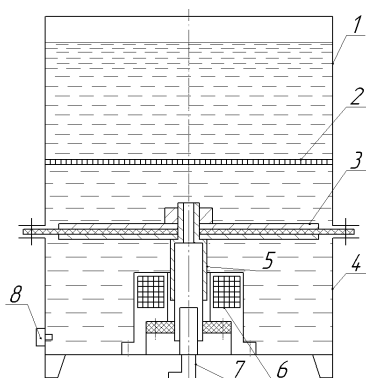


Рис. 12. Вібраційне струменеве обладнання з одночасною подачею газових пухирців: 1 – ванна; 2 – сітка; 3 – діафрагма; 4 – камера; 5 – трубка; 6 – електромагнітна котушка; 7 – система подачі повітря; 8 – зливний отвір

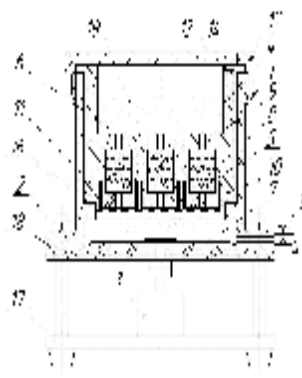


Рис. 13. Вібраційне обладнання для мийки дрібних деталей: 1 – ванна; 2 – дно; 3 – вібратор; 4 – касета; 5 – деталі; 6 – верхня камера; 7 – нижня камера; 8 – смість; 9, 10 – отвори; 11, 12 – кришки; 13, 14 – отвори; 15 – кран; 16 – кільцевий бортик; 17 – основа; 18 – фланець ванни; 19 – миюча рідина

### Висновки

Реалізація запропонованого принципу керування технологічним процесом вібраційної доводки дозволяє забезпечити оптимальне співвідношення параметрів якості і точності обробки на кожному етапі, повною мірою використати можливості резонансних вібраційних доводочних машин в досягненні необхідних показників оброблених поверхонь з мінімальними витратами часу. Комплексний підхід при виготовленні виробів доводкою вимагає оснащення ділянки доводки технологічним обладнанням для миття поверхонь від технологічних забруднень.

### Література

1. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надёжности высокоточных деталей машин / Дальский А.М. – М., 1975. – 224 с.
2. Доводка прецизионных деталей машин / [Орлов П.Н., Савёлова А.А., Полуниин В.А. Нестеров Ю.И.]; под ред. Г.М. Ипполитова. – М.: Машиностроение, 1978. – 256 с.
3. Орлов П.Н. Механическая доводка деталей машин / Орлов П.Н. – М.: Машиностроение, 1974. – 52 с.
4. А. с. № 1458187. СССР, МКИ В24в. Устройство для доводки плоских поверхностей деталей / В.А. Повидайло, В.В. Третько, А.А. Кеча, Р.Я. Сахно. – 1989. – Бюл. № 6. – 4 с.
5. Повидайло В.А. Высокоточная вибрационная доводка деталей с плоскопараллельными поверхностями / В.А. Повидайло, В.В. Третько // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1986. – Вып. 14. – С. 107– 111.
6. Сілін Р.І. Аналіз динамічних процесів у вібраційних гідропульсаторах / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Ю.В. Савицький, В.В. Третько // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 3. – С. 44– 46.
7. Гордєєв А.І. Дослідження процесу взаємодії пульсуючого газорідного потоку з технологічними забрудненнями / А.І. Гордєєв // Вісник ТУП, серія технічних наук. – 1997. – № 1. – С. 55– 60.
8. А. с. 880519 СССР, МКИ<sup>3</sup> В08В3/10. Устройство для промывки деталей / Р.И. Силин, В.П. Кошель, А.И. Гордеев (СССР). – 2869224/28 – 12; заяв. 17.12.1979; опубл. 15.11.1981, Бюл. № 42. – 3 с.
9. А. с. 1130422 СССР, МКИ<sup>3</sup> В08В3/10. Устройство для мойки мелких деталей / А.И. Гордеев, Р.И. Силин, Н.А. Сивченко (СССР). – 3613130/28 – 12; заяв. 05.04.1983; опубл. 23.12.1984, Бюл. № 47. – 3 с.

Надійшла 5.9.2012 р.  
Статтю представляє: д.т.н. Гордєєв А.І.