

Б.М. Гевко, д.т.н., проф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

О.М. Кондратюк, ст. викл.

Рівненський національний університет водного господарства та природокористування

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Наведено результати експериментальних досліджень технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки. Визначено дискретність зміни шорсткості оброблюваної поверхні та шляхи її усунення. Запропоновано конструктивну схему установки для автоматизації технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки, на яку отримано деклараційний патент України.

Постановка проблеми. Вібраційна обробка деталей у вільноспучому абразивному середовищі більшою мірою 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 й розміщення, маси робочого середовища і конфігурації оброблюваних деталей та кінематики приводу [1]. Це створює певні незручності для контролю й прогнозування результатів технологічного процесу.

Точніші розрахунки параметрів робочого середовища спостерігаються у верстатах з жорсткою кінематичною схемою, що визначає закономірність руху робочої камери і не змінюється в часі [2]. Це досягається за рахунок жорсткості кінематичного зв'язку ланок механізму. Одним із найпродуктивніших представників верстатів із жорсткою кінематичною схемою є вібраційно-відцентрова установка з об'ємними кутовими коливаннями камери в карданному підвісі [3], кінематична схема якої зображена на рисунку 1. Привід задає оберти кривошипу, який складається із гвинта з правою та лівою різьбами, противаги P і сферичного підшипника A . Кривошип через водило надає рух робочій камері, шарнірно закріпленій у карданному підвісі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями вібраційного оброблення деталей присвячені праці А.П. Бабичева [1]. Праці В.М. Мориза [2], присвячені тільки вібраційній обробці деталей на верстатах з жорсткою кінематикою процесу. Одним із найпродуктивніших способів оброблення деталей є вібраційно-відцентрова обробка (ВВО) з об'ємним кутовим коливанням з жорсткою кінематичною схемою підвіски й об'ємними кутовими коливаннями камери в карданній підвісці [3], особливо деталей складної конфігурації і малої жорсткості. Останні потребують подальших теоретичних і експериментальних досліджень.

Метою роботи є дослідження впливу конструктивних, кінематичних параметрів робочої камери на якість виконання та якість технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей складного профілю і малої жорсткості.

Роботу виконано згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Ресурсозбереженні та енергоефективні технології у машинобудуванні» на 2010–2015 роки.

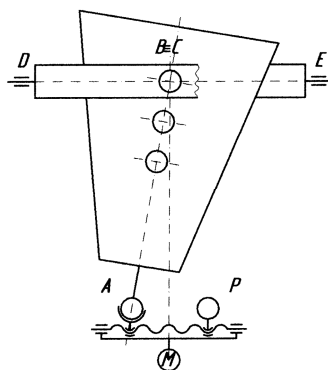


Рис. 1. Кінематична схема вібраційно-відцентрової установки з робочою камерою в карданному підвісі

Викладення основного матеріалу. На якість технологічного процесу ВВО впливає траєкторія переміщення точок поверхні робочої камери, яка є похилим еліпсом зі зміною орієнтації осей по

поверхні камери. При переміщенні ексцентриситету кривошипа кутова амплітуда робочої камери може змінюватися в межах від 0 до 10° .

Змінюючи розміщення робочої камери відносно осі ВС, змінюємо хід технологічного процесу. На мікрогеометрію і фізико-механічні властивості поверхневого шару оброблюваної поверхні та продуктивність процесу впливають механічні властивості матеріалу, режим роботи віброустановки, характеристика та розміри робочого середовища.

Для визначення змін параметрів оброблюваної поверхні при вібраційно-відцентровій обробці були проведені експериментальні дослідження на незагартованих зразках після точіння і фрезерування зі сталі 40, 40Х, 20, Ст3, латуні ЛС59-1 з різною вихідною шорсткістю, циліндричної і призматичної форм.

Зміна параметрів поверхні протягом технологічного процесу обробки проходила дискретно. Найбільш виражену дискретність зміни параметрів виявлено при формуванні шорсткості поверхні оброблених зразків [4] (рис. 2). Процес формування шорсткості при ВВО здійснюється таким чином. Протягом перших 15 хв. обробки проходить інтенсивне зменшення мікронерівностей, наступні 15 хв. інтенсивність зниження шорсткості незначна. В період від 30 до 45 хв. шорсткість збільшується, але при цьому параметр R_a не перевищує вихідний. При подальшій обробці з 45 до 60 хв. спостерігається повторне зниження шорсткості, інтенсивність зниження якої приблизно дорівнює інтенсивності зниження в початковий період від 0 до 15 хв.

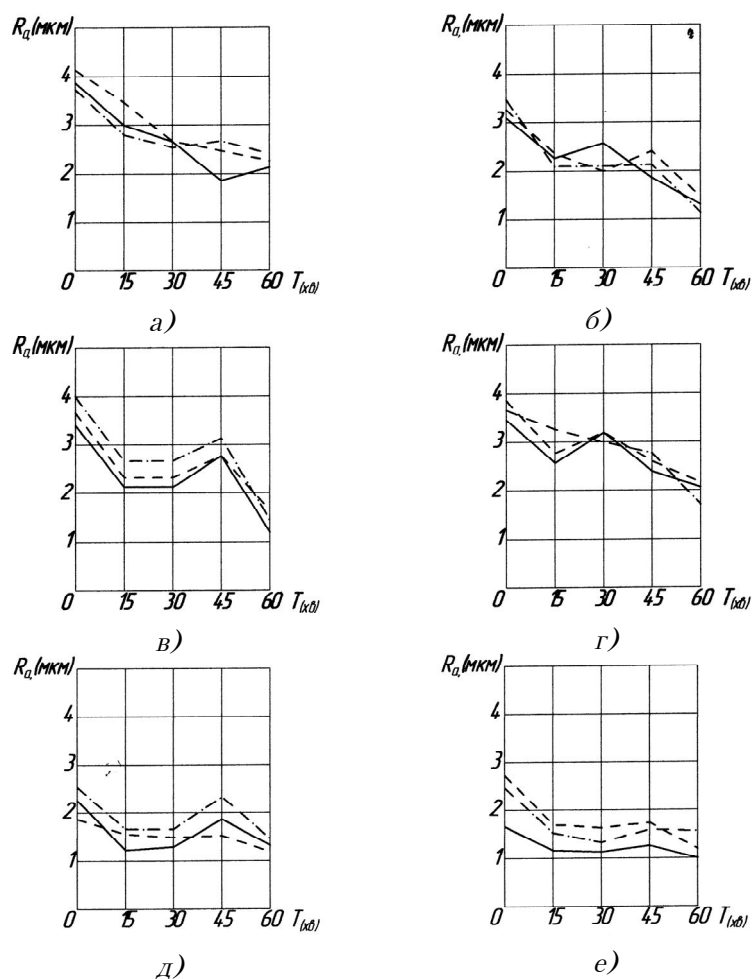


Рис. 2. Зміна середнього арифметичного відхилення профілю R_a залежно від тривалості обробки при різній вихідній шорсткості: а – сталь 45; б – сталь 40; в – сталь 40Х; г – сталь 20; д – сталь Ст3; е – латунь ЛС50-1; а, б, в, г, д – після точіння три зразки; е – після фрезерування три зразки; умови обробки: $A = 4^\circ$, $f = 15 \text{ c}^{-1}$, абразив байкаліт зелений, грануляція $10 \div 20 \text{ мм}$

Увесь процес обробки деталей можна поділити на такі етапи. В початковий період обробки удари абразивних гранул доводяться на вершини мікронерівностей вихідної поверхні зразків. Проходить інтенсивне зниження гребенів мікрорельєфу в результаті інтенсивно знижується шорсткість і підвищується поверхнева міцність оброблюваної поверхні. Цей етап закінчується формуванням поверхні,

яка має вищі значення показників якості поверхні. Умовно можна назвати таку частину технологічної операції вібраційним проходом. Тривалість такого проходу при ВВО знаходиться в межах $15 \div 30$ хв. За цей час вся вихідна поверхня деталі покривається слідами взаємодії з абразивними гранулами робочого середовища. В наступний період обробляється поверхня, яка сформована першим вібраційним проходом. Режим обробки не змінюється, стійкість робочого середовища забезпечує майже незмінну його властивість. Гранули робочого середовища, маючи ту ж енергію, що і в першому проході, залишають на поверхні слід, глибина якого дещо більша, ніж висота мікронерівностей, сформованих першим проходом. Гранула деформує метал в основі виступів вихідного мікрорельєфу поверхні зразка. При цьому збільшується ступінь і глибина наклепу.

Другий вібраційний період характеризується підвищенням параметрів шорсткості, але числове значення R_a в кінці проходу менше вихідного. Цей прохід закінчується приблизно через 45 хв. після початку обробки.

Наступний прохід відрізняється зниженням шорсткості. Це пояснюється двома факторами. По-перше, з кожним наступним проходом зона взаємодії гранули з поверхнею наближається до основ виступів мікрорельєфу, в результаті чого збільшується площа взаємодії гранули з поверхнею. По-друге, перших два проходи призвели до підвищення поверхневої міцності матеріалу зразка. Це додатково призводить до збільшення реакції поверхні при силовій взаємодії з нею абразивних гранул робочого середовища. Від проходу до проходу пружна фаза удару гранули об поверхню буде збільшуватися.

Аналіз перших проходів ВВО свідчить, що формування шорсткості поверхні проходить дискретно зі зменшенням ступеня дискретності при збільшенні часу обробки. В міру наближення до сталої шорсткості силова взаємодія гранули з поверхнею деталі набуває характеру пружного удару.

Для скорочення часу ВВО й уникнення дискретності необхідно керувати в процесі обробки кількістю енергії, яку отримує абразивна гранула від поверхні робочої камери, тобто режимом обробки. Різновидність режимів обробки протягом усього технологічного процесу потребує використання програм його розрахунку. Блок-схема програми управління технологічним процесом ВВО наведена на рисунку 3.

Програма управління працює таким чином. Вводяться вхідні параметри шорсткості R_a , межі міцності $G_{\text{міц}}$, кутова амплітуда A , частоти ω , характерні параметри робочого середовища: грануляції $d_{\text{гр}}$, зернистість K_a , коефіцієнта корисного використання робочої камери S_k .

Виходячи з цих величин, програма управління технологічним процесом ВВО визначає вихідну і наступну сили P_i , яка притискає абразивне зерно до оброблюваної поверхні, а також тангенціальну складову сили різання та питому енергію сил різання і зняття металу за один удар абразивного зерна залежно від зміни параметрів режиму обробки деталей. Зміна вихідних параметрів технологічного процесу проходить при зміні шорсткості поверхні R_a і фізико-механічних властивостей за певний період часу обробки T . Система контролю програми повторює цикл обробки з новими параметрами технологічного процесу або при досягненні повної величини шорсткості $R_{a_{\text{кін}}}$ завершує його.

Запропонована формалізація процесу ВВО і блок-схема програми розрахунку технологічного процесу дозволяє уникнути дискретного характеру зміни шорсткості оброблюваної поверхні, спонукає для створення нових вібраційно-відцентрових установок, які дозволяють керувати режимом обробки протягом усього технологічного процесу.

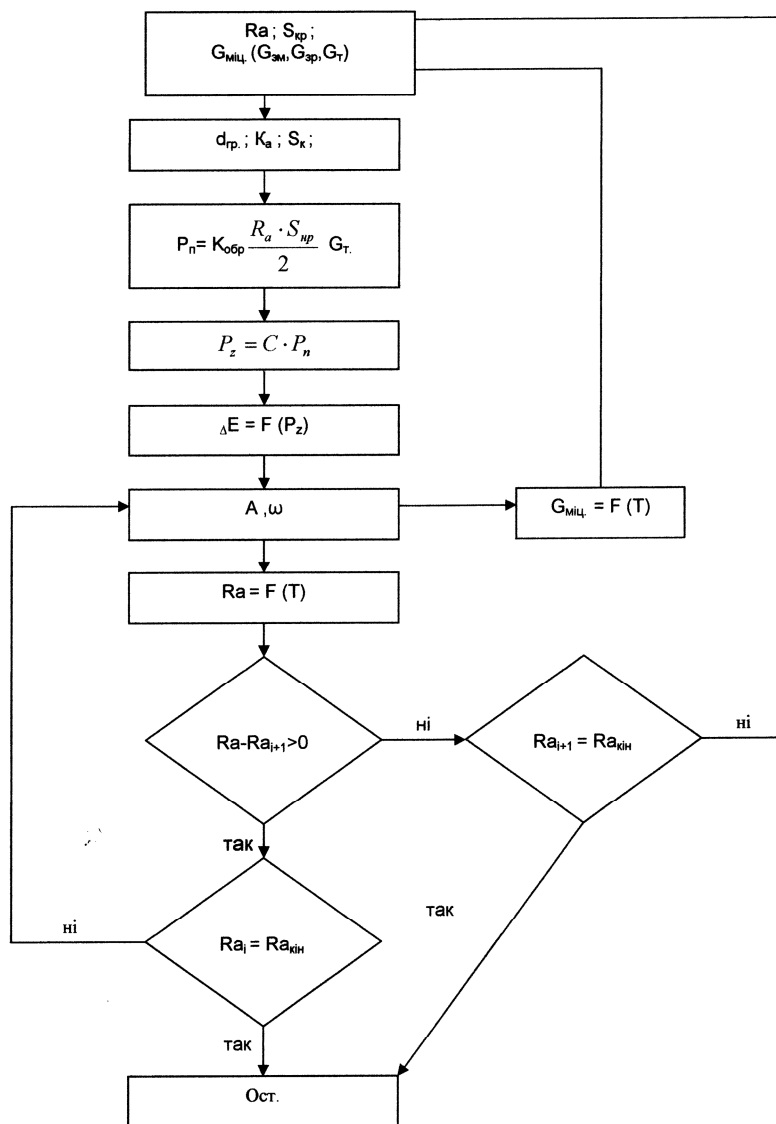


Рис. 3. Блок-схема управління режимом процесу ВВО: R_a – середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості поверхні, мкм; $G_{міц}$ – межа міцності матеріалу деталі, Па;

$G_{зм}$ – межа змінання матеріалу деталі, Па; $G_{сп}$ – границя текучості матеріалу деталі, Па; $S_{кр}$ – середній крок нерівностей, мкм; A – кутова амплітуда, град.; ω – частота, s^{-1} ;

P_n – сила, яка притискує гранулу до абразивної поверхні, Н; P_z – тангенціальна складова сили різання, Н; ΔE – питомі енергія сили різання і зняття металу за один удар гранули робочого середовища; T – час обробки, с; $K_{обр}$ – коефіцієнт обробки, який залежить від грануляції $d_{гр}$, зернистості K_a , співвідношення корисної і повної площі робочої камери S_k та інших параметрів

Вібраційно-відцентрова установка зі складними кутовими коливаннями з карданним підвісом, розміщеним усередині торової робочої камери зображена на рисунку 4 [5]. Станина 1 установки виконана зі сталевих труби. До нижнього торця станини 1 приварено основу, виготовленої з товстого сталевих листа, до верхнього торця якої приварено кришку з вікном. По периметру станини приварені кронштейни 2 динамічних пружин 3 торової прогумованої камери 4. На кришці станини закріплені стійки 5 із завулканізованими гумою капроновими (бронзовими) втулками для рухомого з'єднання з роз'ємними опорами 6, 7 карданного підвісу 8. У карданному підвісі приварена ступиця з квадратним отвором, у який вільно входить водило 9, посаженого нижнім своїм кінцем у сферичний підшипник кочення. Корпус 10 сферичного підшипника за допомогою шарнірів зв'язаний з вилкою 11, яка з противагою 12 переміщується в пазах корпусу кривошипа 13, який обертається за допомогою клинопасової передачі від електродвигуна. Сійка 14 кривошипа жорстко кріпиться до основи станини 1.

Механізм плавної зміни кутів коливань містить групу гвинт-гайка 15 з вилкою, шарнірно зв'язаною з обоймою 16, яка зв'язана тягами 17 з вилкою 11 та противагою 12 і може плавно переміщатися по направляючих, паралельних осі обертання, кривошипа 13. Переміщення обойми 16 донизу за допомогою групи гвинт-гайка 15 з вилкою зсуває вилку 11 і противагу 12 до центра осі обертання, зменшуючи величину кутів коливань установки. Переміщення обойми вгору по напрямних кривошипа 13 призводить до відхилення вилки і противаги від осі обертання, що збільшує амплітуду кутів коливань.

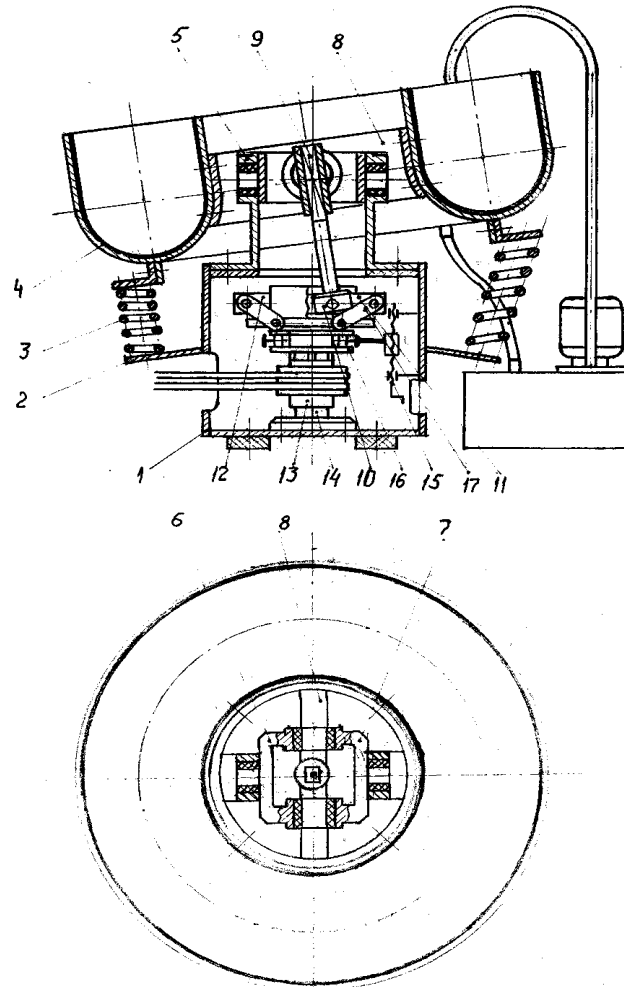


Рис. 4. Конструктивна схема вібраційно-відцентрової установки

Використання вібраційно-відцентрової установки з механізмом плавної зміни величини кутів коливань, регульованою частотою обертання і блок-схеми програми управління технологічним процесом ВВО дозволяє уникнути дискретного характеру зміни шорсткості оброблюваної поверхні, скорочує час досягнення певного чи мінімального значення величини шорсткості поверхні й забезпечує надійний технологічний процес оброблення складних профілів деталей, особливо малої жорсткості.

Висновки. Управління технологічним процесом вібраційно-відцентрової обробки деталей дозволяє уникнути дискретного характеру зміни шорсткості поверхні, скорочує час обробки. Запропонована конструктивна схема вібраційно-відцентрової установки дає можливість автоматизувати технологічний процес ВВО і підвищити його продуктивність, особливо для деталей складної конфігурації та малої жорсткості.

Список використаної літератури:

1. *Бабичев А.П.* Основы вибрационной технологии / *А.П. Бабичев, И.А. Бабичев.* – 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.* Аналіз циркуляції робочого середовища при вібраційно-відцентровій обробці деталей / *О.М. Кондратюк, І.В. Ромейко* // Вісник НУВГП. – Рівне, 2006. – С. 253–271.
4. *Кондратюк О.М.* Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей / *О.М. Кондратюк, Л.С. Серілко.* – Вінниця, 2011. – № 1 (61). – С. 87–93.
5. *Кондратюк О.М.* Оптимізація параметрів проведення експериментальних досліджень вібраційно-відцентрової обробки / *О.М. Кондратюк.* – Рівне, 2008. – Вип. 1 (41). – С. 315–321.

ГЕВКО Богдан Матвійович – доктор технічних наук, професор, заслужений винахідник України, завідувач кафедри технології в машинобудуванні і автомобілів Тернопільського національного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування.

КОНДРАТЮК Олександр Михайлович – старший викладач Рівненського національного університету водного господарства та природокористування.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2012