

Кондратюк О. М.

Серілко Л. С.

Національний
університет
водного
господарства та
природокористування

УДК 621.9.048

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНО- ВІДЦЕНТРОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

В роботі проведено аналіз експериментальних досліджень технологічного процесу вібраційно-центробежної обробки. Виявлено залежності зміни продуктивності та якості вібраційно-центробежної обробки від параметрів технологічного процесу. Визначено дискретність зміни шорсткості оброблюваної поверхні та способи її уникнення, а також скорочення часу обробки деталей.

The paper carries out the analysis of the experimental research into the technological process of vibration centrifugal processing. Dependencies are revealed of changing productivity and quality of vibration centrifugal processing upon parameters of technological process. The discreteness is determined of the change of the roughness of the process surface and ways of its avoidance and also of the shortened processment of details.

Критерієм порівнювальної оцінки інтенсивності різних методів обробки деталей в сипучому абразивному середовищі є продуктивність та якість оброблюваної поверхні. Продуктивність визначається абсолютним ваговим зняттям металу з поверхні зразка деталі Q_{B2} , або відносним зняттям металу з одиниці площі оброблюваної поверхні $Q_{лит}$. Якість оброблених поверхонь визначається шорсткістю, мікрогеометрією і фізико-механічними властивостями поверхневого шару. Теоретичні дослідження нових технологічних процесів вібраційно-відцентрової обробки [1, 2, 3] дозволили стверджувати, що поєднання різних коливних і інших видів руху підвищує інтенсивність процесу вібраційної обробки деталей.

На мікрогеометрію і фізико-механічні властивості поверхневого шару оброблюваної поверхні і продуктивність процесу впливають механічні властивості матеріалу, режими роботи вібростанків, характеристика та розміри робочого середовища. Для підтвердження зроблених висновків проведено експериментальні дослідження по визначенню продуктивності та якості оброблених поверхонь.

Кінематична схема вібраційно-відцентрового станка з камерою в карданному підвісі показана на рис.1. Привід задає оберти кривошипу, який складається із гвинта з правою

та лівою різьбами, противагою Р сферичного підшипника А. Кривошип через водило надає рух робочій камері, шарнірно закріпленій в карданному підвісі.

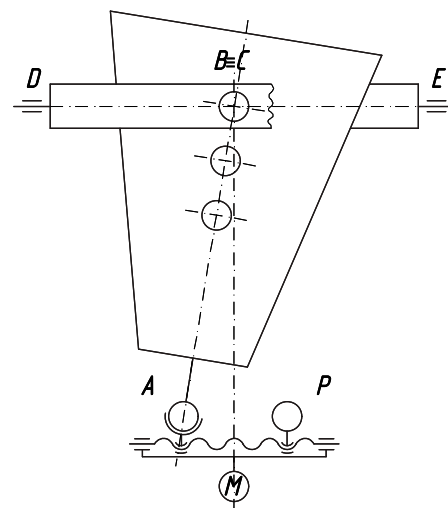
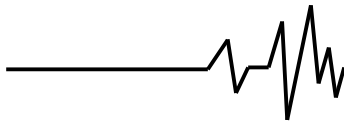


Рис. 1. Кінематична схема вібраційно-відцентрового станка з камерою в карданному підвісі

Траєкторія переміщення точок поверхні робочої камери являє собою похилий еліпс із зміною орієнтації осей по поверхні камери. При переміщенні ексцентриситету кривошипа кутова амплітуда робочої камери може змінюватися від 0° до 10° . Змінюючи



розміщення робочої камери відносно осі ВС міняємо хід технологічного процесу. На величину зняття металу, що визначає продуктивність процесу, впливає вихідна шорсткість поверхні. В зв'язку з цим токарна і фрезерна обробка експериментальних зразків

із різних матеріалів проводились на режимах, які забезпечують шорсткість поверхні одного класу. Після проведення паспортизації були відібрані зразки з вихідною шорсткістю $Ra \approx 4,3$ мкм. Інші параметри дано в табл.1.

Таблиця 1

Характеристика зразків

Матеріали	Форма	Розміри (мм)	Маса (г)	Твердість
Ст 3	Циліндрична	20x30	70-72	НВ 130...140
Сталь 20	Циліндрична	20x30	69-70	НВ 155...165
Сталь 40	Циліндрична	20x30	73-75	НВ 210...220
Сталь 45	Циліндрична	20x30	64-66	НВ 230...240
Сталь 40х	Циліндрична	20x30	68-70	НВ 213...220
Сталь у8	Циліндрична	20x30	67-69	НВ 180...190
Латунь ЛС601	Призматична	11x11x25	23-25	

Результати визначення зняття металу з технологічних зразків представлені на рис.2. Як показують графічні залежності, на зняття металу суттєво впливають фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу: твердість (НВ), пластичність ($\delta\%$), границя текучості (G_B). При обробці вуглецевих сталей із

збільшенням місткості вуглецю продуктивність процесу ВВО зменшується. Легуючі елементи (хром та інші) також знижують продуктивність. Таким чином на продуктивність мікрорізання при ВВО великий вплив має оброблюваність матеріалу.

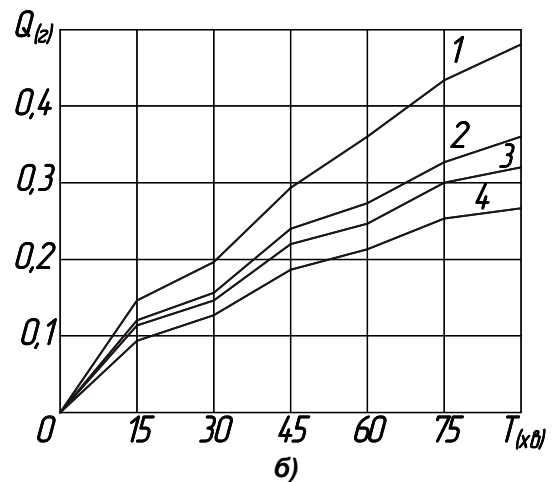
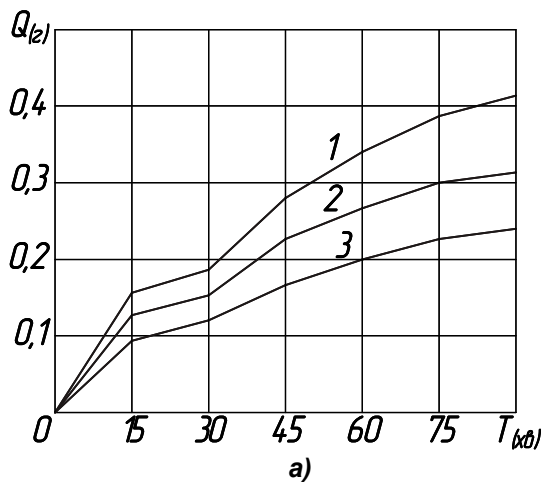


Рис. 2. Залежність зняття металу від тривалості обробки деталей:

а) 1 – сталь Ст 3, 2 – сталь 45, 3 – сталь 40х;

б) 1 – латунь ЛС601, 2 – сталь 20, 3 – сталь 40, 4 – сталь у8;

Умови обробки : $A=4^\circ$, $f=15\text{с}^{-1}$, абразив 24А40НСТІ гранули 10÷30

Порівнювальний аналіз отриманих результатів з приведеними в роботах по цій тематиці показує, що ВВО підвищує продуктивність вібраційної обробки деталей в сипучому абразивному середовищі в 2...2,3 рази.

На основі отриманих результатів подальше дослідження з встановлення впливу кутової амплітуди A частоти коливань ω робочої камери, тривалості обробки T , ступені заповнення камери K на основні закономірності

ВВО проводились на ВВС з робочою камерою у вигляді кругового конуса.

Результати впливу кутової швидкості і частоти коливань робочої камери на продуктивність вібраційно-відцентрової обробки представлені на рис. 3, 4. Отримані графіки залежності питомого зняття металу показують, що більший вплив на продуктивність процесу має кутова амплітуда, а потім частота коливань робочої камери.

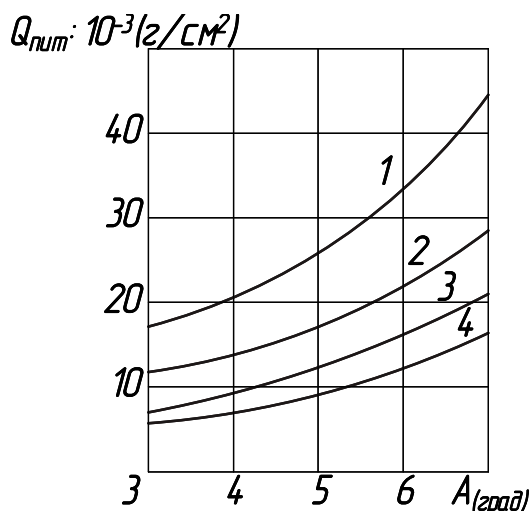
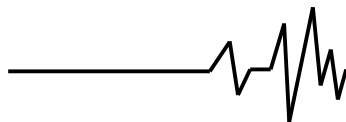


Рис. 3. Залежність питомого зняття металу від амплітуди кутових коливань:
 1 – латунь ЛС60-1; 2 – сталь Ст 3;
 3 – сталь 45; 4 – сталь 40х
 Умови обробки : $f=15c^{-1}$; абразив 24А40НСТІ
 гранули 10÷30; тривалість обробки 60 хв

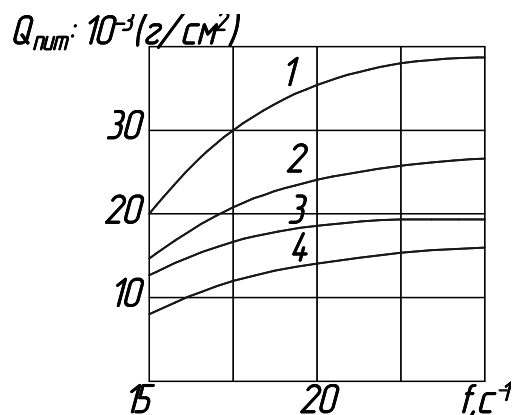


Рис. 4. Залежність питомого зняття металу від частоти кутових коливань:
 1 – латунь ЛС60-1; 2 – сталь Ст 3;
 3 – сталь 45; 4 – сталь 40х
 Умови обробки : $A=4^0$; абразив 24А40НСТІ
 гранули 10÷30; тривалість обробки 60 хв

Одним із важливих факторів якості промислових продукцій є якість оброблювальних поверхонь елементів виробів, яке визначається шорсткістю. Нерівності поверхонь виникають в процесі виготовлення деталей машин та приладів.

Технологічні фактори які визначають той чи інший вид шорсткості, одночасно впливають

і на інші показники фізико-механічного стану поверхні (наклеп, залишкові напруження та ін.).

На мікрогеометрію і фізико-механічні властивості поверхневого шару впливають механічні властивості оброблюваного матеріалу, характеристика робочого середовища, режими роботи вібраційного станка, геометричні параметри оброблюваних зразків, які приведені в табл.2.

Таблиця 2

Геометричні параметри оброблюваних зразків

Матеріали	Форма	Розміри (мм)	Маса (г)	Твердість
Ст 3	Циліндрична	24x28	70-72	НВ 130...140
Сталь 20	Циліндрична	18x30	67-68	НВ 155...165
Сталь 40	Циліндрична	18x30	71-73	НВ 210...220
Сталь 45	Циліндрична	18x30	62-64	НВ 230...240
Сталь 40х	Циліндрична	18x30	65-67	НВ 213...220
Латунь ЛС591	Призматична	9x9x30	22-24	

Результати залежності зміни від часу роботи середнього арифметичного відхилення профілю Ra, які отримані при обробці декількох матеріалів з різною вихідною висотою мікронерівностей представлені на рис.5.

Як видно з наведених залежностей найбільш інтенсивна зміна шорсткості проходить на протязі перших 60 хв. обробки. Із підвищення механічних властивостей оброблюваного матеріалу якість поверхні покращується.

Процес формування шорсткості при ВВО здійснюється таким чином. На протязі 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 Ra не перевищує вихідний. При подальшій обробці з 45 до 60 хв. спостерігається повторне зниження шорсткості, інтенсивність зниження якої приблизно рівна інтенсивності зниження в початковий період від 0 до 15 хвилин.

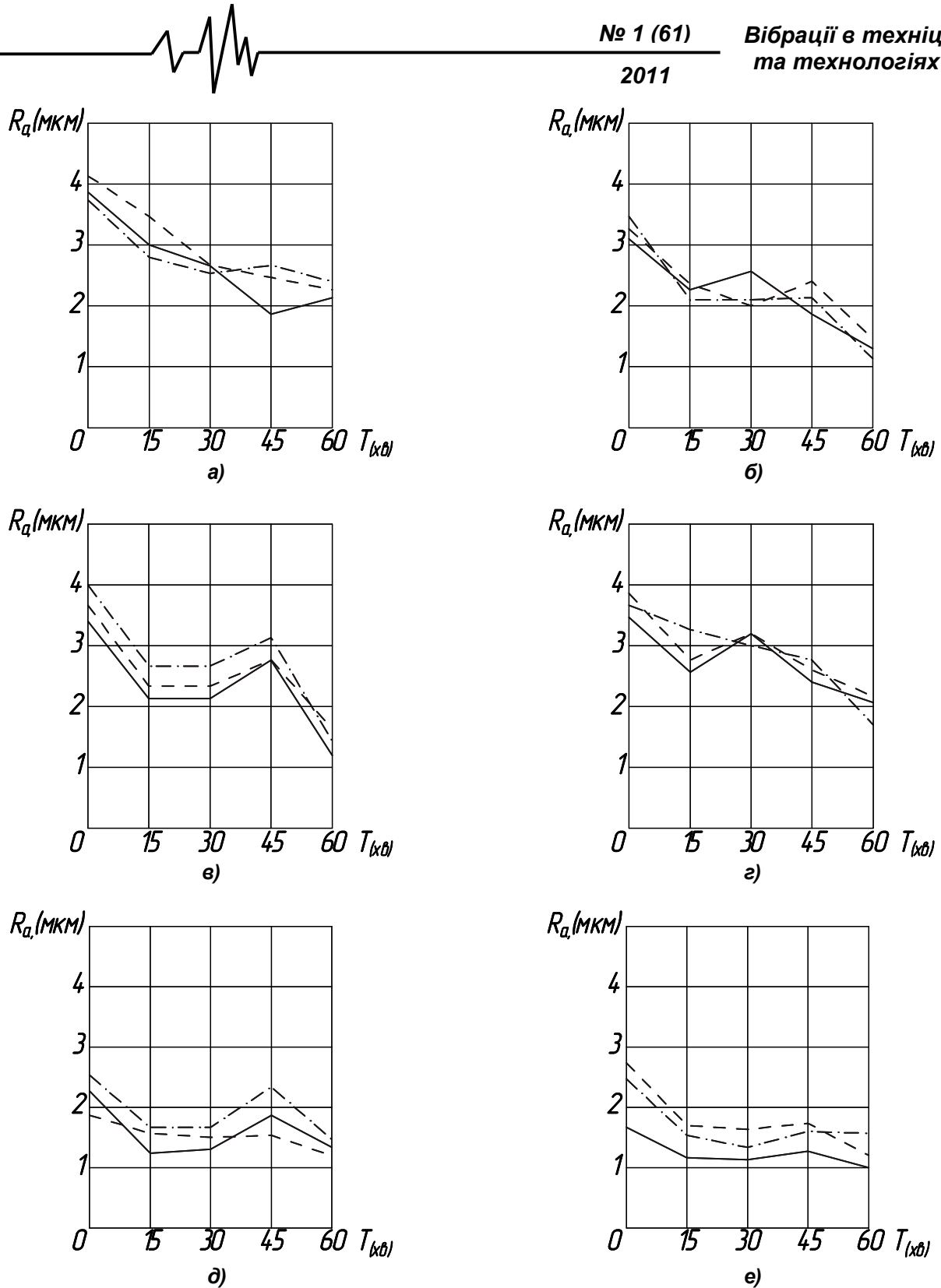
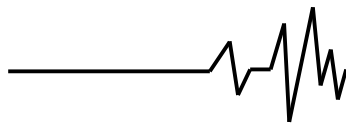


Рис. 5. Зміна середнього арифметичного відхилення профілю R_a в залежності від тривалості обробки при різній вихідній шорсткості:
а – сталь 45; б – сталь 40; в – сталь 40x; г – сталь 20; д – сталь Ст 3; е – латунь ЛС601;
а, б, в, г, д – після точіння три зразки; е – після фрезерування три зразки
Умови обробки: $A=4^\circ$, $f=15\text{с}^{-1}$; абразив байкаліт зелений; грануляція $10\div 20$ мм



Весь процес обробки деталей можна розділити на наступні етапи. В початковий період обробки удари гранул приходяться по вершинам мікронерівностей вихідної поверхні зразків. Проходить інтенсивне змінання гребенів мікрорельєфу, в результат інтенсивно знижується шорсткість і підвищується поверхнева міцність оброблюваної поверхні. Цей етап закінчується формуванням поверхні, яка має більш високі значення показників якості поверхні. Умовно можна назвати таку частину технологічної операції вібраційним проходом. Тривалість такого проходу при ВВО знаходиться в межах 15÷30 хв. За цей час вся вихідна поверхня деталі покривається слідами взаємодії з гранулами робочого середовища. В наступний період оброблюється поверхня яка сформована першим вібраційним проходом. Режим обробки не змінюється. Стійкість робочого середовища забезпечує майже незмінну його оброблювану властивість.

Гранули робочого середовища, маючи ту ж енергію, що і в першому проході залишає на поверхні повторний слід, глибина дещо більша, ніж висота мікронерівностей, сформованих першим проходом. Гранула деформує метал в основі виступів вихідного мікрорельєфу поверхні зразка. Збільшується ступінь і глибина наклепу.

Другий вібраційний період характеризується підвищенням параметрів шорсткості, але числове значення R_a в кінці проходу менше вихідного (до обробки). Цей прохід закінчується приблизно в 45 хвилин 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 привели до підвищення поверхневої міцності матеріалу зразка. Це додатково приводить до збільшення реакції поверхні при силовій взаємодії з нею гранули робочого середовища. Від проходу до проходу пружна фаза удару гранули об поверхню буде збільшуватись.

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

Визначення умовного оптимуму функції відклику вібраційно-відцентрової обробки з використанням симплексного методу рішення задач лінійного програмування для умов забезпечення максимальної продуктивності процесу, при обмеженнях, накладених функцій відклику для певної висоти мікронерівності поверхні, підтвердило час періоду зміни дискретності шорсткості поверхні оброблюваних деталей.

Експериментальні дослідження та визначення умовного оптимуму дають можливість зробити наступний висновок. Для скорочення часу шліфувальних, полірувальних операцій і уникнення дискретності при незмінних оброблювальних властивостях інструменту необхідно керувати в процесі обробки кількістю енергії, яку отримує гранула від поверхні робочої камери, тобто режимом обробки.

Виходячи з умов забезпечення потрібних характеристик якості поверхневого шару і експлуатаційних властивостей деталей можна вибрати різновидність режимів обробки на протязі всього технологічного процесу. Виникає потреба використання програми розрахунку технологічного процесу.

На рис. 6 представлена блок схема програми управління технологічним процесом ВВО. В програму включаються наступні параметри:

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості поверхні, мкм;

$R_{міц}$ – межа міцності матеріалу деталі, Па;

$R_{зм}$ – межа змінання матеріалу деталі,

Па;

$R_{зр}$ – вихідна межа зрізу матеріалу деталі,

Па;

R_T – границя текучості матеріалу деталі,

Па;

$S_{кр}$ – середній крок нерівності, мкм;

A – кутова амплітуда, град. ;

ω – частота, c^{-1} ;

P_n – сила, яка притискує гранулу до оброблюваної поверхні, Н;

P_{τ} – тангенціальна складова сили різання, Н;

ΔE – питома 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.

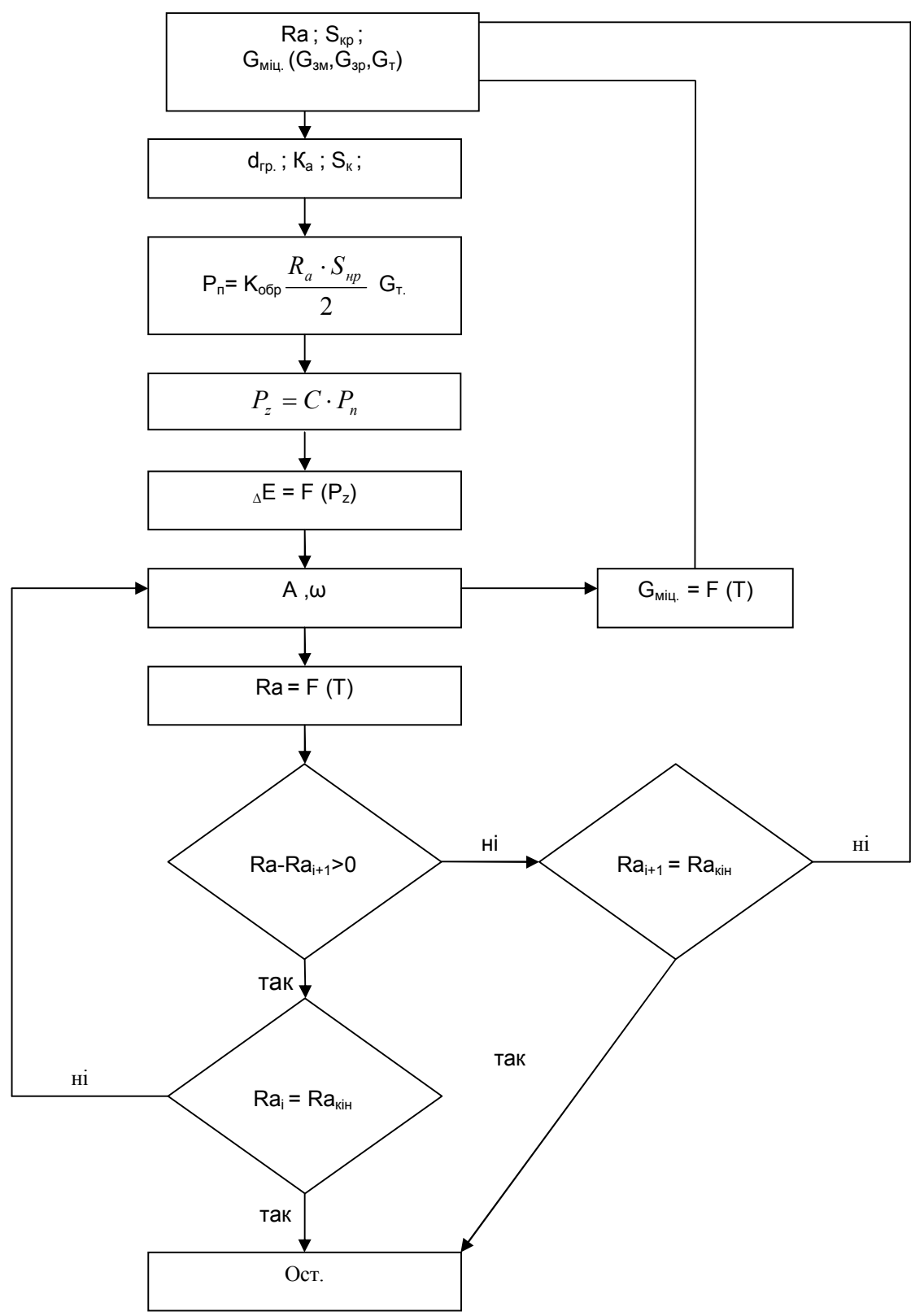
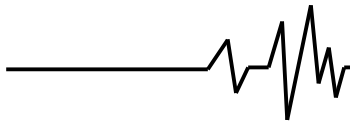
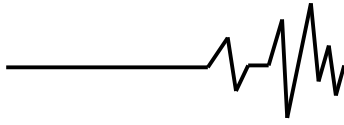


Рис. 6. Блок-схема керування режиму обробки при ВВО



Програма управління працює наступним чином. Вводяться вихідні параметри шорсткості R_a , межі міцності $G_{міц}$, кутової амплітуди A , частоти ω , характерні параметри робочого середовища: грануляція $d_{гр}$, зернистості K_a , коефіцієнта корисного використання робочої камери S_k .

Виходячи з цих величин програма управління технологічним процесом вібраційно-відцентрової обробки визначає вихідну і наступну сили P_n^i , яка притискає зерно до оброблювальної поверхні, а також тангенціальну складову сили різання і питому енергію сил різання і зняття металу за один удар абразивного зерна, в залежності 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 роботи програми повторює цикл обробки з новими параметрами технологічного процесу, або при досягненні певної величини шорсткості $R_{a_{кін}}$ завершує його.

Запропонована формалізація процесу вібраційно-відцентрової обробки і блок-схема програми розрахунку технологічного процесу дозволяє уникнути дискретний характер зміни шорсткості оброблюваної поверхні, скорочує час досягнення певного (мінімального) значення величини шорсткості поверхні.

На основі отриманих експериментальних досліджень можна зробити висновки:

- на продуктивність мікро різання при ВВО великий вплив мають фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу;
- продуктивність ВВО в більшій степені залежить від величини кутової амплітуди. А потім від частоти коливань робочої камери;
- формування шорсткості (якості) поверхні проходить дискретно зі зменшенням ступені дискретності при збільшенні часу обробки;
- управління технологічним процесом ВВО дозволяє уникнути дискретний характер зміни шорсткості поверхні, скорочує час обробки.

Література

1. Бабичев А. П. Основы вибратионної технологи. Ростов н/Д. ДГТУ. 1993. 98 с.
2. Мороз В.М. Разновидности процесса вибратионно-центробежной обработки и оборудование для их осуществления. Автореферат на соискание учебной степени кандидата технологических наук. - Ростов н/Д. 1987.
3. Кондратюк О.М. Теоретична модель процесу вібраційно-відцентрової обробки. Збірник наукових праць НУВГП Випуск 2 (38). Рівне 2007. с. 286-293.
4. Кондратюк О.М., Серілко Л.С. Визначення умовного оптимума функцій відклику вібраційно-відцентрової обробки. Збірник наукових праць. НУВГП Випуск 2 (46). Рівне. 2009. с. 276-282.