



УКРАЇНА

(19) UA (11) 37932 (13) A

(51) 7 B24B53/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

#### (54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПЕРЕРИВЧАСТОЇ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА

(21) 2000052558

(22) 04.05.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Грабченко Анатолій Іванович, Хорват Матяш, НУ, Доброскок Володимир Ленінмирович, Уварова Юлія Леонідівна, Гаращенко Ярослав Миколайович

(73) Харківський державний політехнічний університет

(57) Спосіб формування переривчастої робочої поверхні шліфувального круга шляхом синхронізованого з обертанням круга імпульсного впливу на його робочу поверхню, **відрізняється** тим, що западини на робочій поверхні формують електричними імпульсами перемінної напруги, форма кожного з яких зв'язана з формою профілю западини переривчастого круга відношенням:

$$h_{n(1)} = \frac{\epsilon_n \cdot \eta \cdot \chi}{\delta} \int_{\tau_a}^{\tau_b} U dt$$

де:  $h_{n(1)}$  - глибина западини від одиночного імпульсу;

$\epsilon_n$  -- електрохімічний еквівалент матеріалу зв'язки;

$\eta$  -- коефіцієнт виходу по струму;

$\chi$  -- питома електропровідність електроліту;

$\delta$  -- величина міжелектродного зазору;

$U$  -- напруга між електродами;

$\tau$  -- час електрохімічного розчинення;

$\tau_a$  -- час початку процесу електрохімічного розчинення;

$\tau_b$  - час закінчення процесу електрохімічного розчинення.

Винахід відноситься до шліфування, а конкретно - до способів електрохімічного впливу на робочу поверхню шліфувальних кругів.

Відомі шліфувальні круги для переривчастого шліфування, робоча поверхня яких виконана у вигляді виступів і западин заданої протяжності (1), а також сегментні шліфувальні круги, у яких до корпусу кріпляться абразивні сегменти, що утворюють виступи (2).

Переривчасту робочу поверхню таких кругів формують при їхньому виготовленні, що виключає можливість керування подовжнім профілем круга в процесі шліфування.

Найближчим до того, що пропонується, технічним рішенням є спосіб, що описаний у пристрої для правки шліфувальних кругів (3). Цей спосіб забезпечує можливість правки кругів одночасно з процесом шліфування.

При правці інструмент, що править, коливається з частотою, кратній частоті обертання круга, і при цьому періодично входить у контакт із робочою поверхнею круга, створюючи профільні поглиблення з періодичним кроком.

Цей спосіб не забезпечує можливості зміни форми западин на поверхні шліфувального круга.

Знос правлячого інструмента та необхідність його постійної правки значно ускладнюють процес

формування западин із складним бічним профілем.

Задача винаходу - спрощення пристроїв для здійснення способу при електрохімічній правці кругів на електропровідній зв'язці шляхом розширення можливостей керування подовжнім профілем таких кругів.

Технічний результат досягається тим, що западини на робочій поверхні шліфувального круга формують електричними імпульсами перемінної напруги, форма кожного з яких зв'язана з формою профілю западин переривчастого круга співвідношенням

$$h_{n(1)} = \frac{\epsilon_n \cdot \eta \cdot \chi}{\delta} \int_{\tau_a}^{\tau_b} U dt$$

де:  $h_{n(1)}$  - глибина западини від одиночного імпульсу;

$\epsilon_n$  - електрохімічний еквівалент матеріалу зв'язки;

$\eta$  - коефіцієнт виходу по струму;

$\chi$  - питома електропровідність електроліту;

$\delta$  - величина міжелектродного зазора;

$U$  - напруга між електродами;

$\tau$  - час електрохімічного розчинення;

UA (11) 37932 (13) A

$\tau_a$  - час початку процесу електрохімічного розчинення;

$\tau_b$  - час закінчення процесу електрохімічного розчинення.

Відмітні ознаки заявки - формування западин на робочій поверхні електричними імпульсами перемінної напруги та зв'язок між формою одиночного імпульсу та формою профілю западин у виді

$$h_{x(1)} = \frac{\varepsilon_n \cdot \eta \cdot \chi}{\delta} \int_{\tau_a}^{\tau_b} U d\tau$$

представляються нам раніше невідомими прийомами.

Наявність у запропонованому рішенні відмінних від прототипу, раніше невідомих істотних ознак дозволяє зробити висновок про відповідність заявки критеріям «новизна» та «винахідницький рівень».

На фіг. 1 і фіг. 2 - схеми формування западин від дії одиночного імпульсу перемінної напруги.

На фіг. 3-7 зображені графіки зміни форми напруги в імпульсі і відповідний їм глибина западини від одиночного імпульсу  $h_{n(1)}$  по довжині робочої поверхні круга.

На фіг. 1 надана схема формування западини від одиночного імпульсу для випадку, коли тривалість дії імпульсу не більше часу проходження точки з координатою  $z$  на робочій поверхні круга під електропровідною ділянкою катода. Схема, зображена на фіг. 2, відноситься до випадку, коли імпульс напруги діє більш тривалий час і точка встигає пройти під електропровідною ділянкою катода.

Правлячий інструмент 1, виконаний у вигляді катода для електрохімічної правки, установлений еквідистантно робочій поверхні 2 шліфувального круга.

У зазор між катодом 1 і робочою поверхнею круга 2 подають електроліт. Від джерела електричного струму, підключеного до пристрою для здійснення запропонованого способу, на катод 1 подають імпульси перемінної напруги. При цьому ділянки робочої поверхні 2 круга, що проходять під катодом, піддаються впливу цих імпульсів, у результаті чого відбувається процес електрохімічного розчинення зв'язки, і на робочій поверхні 2 формується подовжній профіль 3 западини. Синхронний та синфазний зв'язок між кутом повороту круга і подачею імпульсу на катод забезпечує подачу імпульсів на ті самі ділянки поверхні круга.

Імпульс перемінної напруги являє собою безперервну функцію. Напруга визначена тільки в інтервалі часу дії імпульсу на точку робочої поверхні круга. Форма імпульсу напруги впливає на форму профілю западини на робочій поверхні круга.

Наприклад, залежність профілю западини на робочій поверхні круга (крива 10), що утворюється під дією прямокутного імпульсу (крива 4) подана на фіг. 3. Западина являє собою симетричну фігуру з плоским дном, координати вершин якої визначаються параметрами електрохімічного формування.

Залежності профілю западини для випадку пилообразної напруги в імпульсі, що зростає (кри-

ва 5) та убутною (крива 6) амплітудою напруги подані на фіг. 4 і 5. Западини для цього випадку являють собою несиметричні фігури (криві 11, 12), що мають зрушення найбільшої глибини в напрямку великих значень напруги.

Вплив синусоїдального імпульсу на характер розподілу глибини западини по довжині робочої поверхні подано на фіг. 6. Синусоїдальний імпульс напруги (крива 7) призводить до утворення на робочій поверхні круга западини симетричної форми (крива 13) із плавним переходом профілю від країв до середини.

Залежність профілю западини, що утворюється під дією імпульсу напруги, що відповідає експоненціальній залежності, надана на фіг. 7. У залежності від коефіцієнту  $K = 0.7$  (криві 8, 14) або  $K = 0.2$  (криві 9, 15), що визначає інтенсивність зміни імпульсу напруги, профіль западини наближається за формою (крива 14) до западини від прямолінійного (крива 10) або пилообразного імпульсу з убутною амплітудою напруги (крива 12).

Розглянутий вплив форми напруги електричного імпульсу для форм імпульсів, що найбільше використовуються в електротехніці (ці приклади можна було б продовжити), на форму западин на робочій поверхні круга дозволяє зробити висновок про необхідність раціонального вибору форми імпульсу, що забезпечує необхідний профіль западини.

Задача вибору необхідного профілю западини вирішується для кожного конкретного випадку шліфування і визначається умовами обробки, вихідними показниками, що оптимізують процес шліфування, вимогами до якості обробки деталей і т.ін.

Для визначення взаємозв'язку форми імпульсу з профілем формованої западини необхідно розглянути кінетику електрохімічного формування під дією одиночного імпульсу напруги.

При дії одиночного імпульсу перемінної напруги на довільну точку з координатою  $z$  на робочій поверхні круга матеріал зв'язки в перетині, що проходить через цю точку, піддається електрохімічному розчиненню.

Щільність току в цій точці визначається рівнянням:

$$i = \frac{\chi}{\delta} U,$$

де:  $i$  - щільність струму;

$\eta$  - питома електропровідність електроліту;

$\delta$  - величина міжелектродного зазору ( $\delta = \text{const}$ );

$U$  - напруга на електродах.

Швидкість електрохімічного розчинення матеріалу зв'язки в указаному перетині визначається наступною залежністю:

$$v = \varepsilon_n \cdot \eta \cdot i,$$

де:  $v$  - лінійна швидкість електрохімічного розчинення зв'язки;

$\varepsilon_n$  - електрохімічний еквівалент матеріалу зв'язки;

$\eta$  - коефіцієнт виходу по струму;

$i$  - щільність струму.

При формуванні западини на поверхні круга швидкість зміни глибини западини відповідає

швидкості електрохімічного розчинення зв'язки в перетині, що проходить через точку, на якій діє одиничний імпульс:

$$v = \frac{dh_{л(1)}}{d\tau},$$

де:  $v$  - швидкість електрохімічного розчинення;  
 $h_{л(1)}$  - глибина западини від одиничного імпульсу в процесі електрохімічного розчинення;  
 $\tau$  - час електрохімічного розчинення в координатах імпульсу напруги. Відкіля:

$$\frac{dh_{л(1)}}{d\tau} = \frac{\varepsilon_n \cdot \eta \cdot \chi}{\delta} U$$

де:  $dh_{л(1)}$  - диференціал глибини западини в процесі розчинення;

$d\tau$  - диференціал часу розчинення;

$\eta$  - коефіцієнт виходу по струму;

$\chi$  - питома електропровідність електроліту;

$\delta$  - величина міжелектродного зазору;

$U$  - напруга між електродами ( $U = f(\tau)$ );

$\varepsilon_n$  - електрохімічний еквівалент матеріалу зв'язки.

Проінтегрувавши по  $\tau$  це вираження, одержимо рівняння залежності між глибиною западини від одиничного імпульсу в точці на робочій поверхні круга та формою імпульсу перемінної напруги в загальному вигляді:

$$h_{л(1)} = \frac{\varepsilon_n \cdot \eta \cdot \chi}{\delta} \int_{\tau_a}^{\tau_b} U d\tau,$$

де  $\tau_a$  - час, при якому на точку з координатою  $z$  починає діяти одиничний імпульс перемінної напруги, тобто, час початку процесу електрохімічного розчинення;

$\tau_b$  - час, при якому припиняється дія імпульсу на точку з координатою  $z$ , тобто, час закінчення процесу електрохімічного розчинення. Значення інших параметрів приведені вище.

Час початку і закінчення процесу електрохімічного розчинення зв'язки круга в довільній точці з координатою  $z$  по довжині робочій поверхні визначено для моменту, коли при обертанні круга ділянка поверхні з координатою  $z$  знаходиться під катодом і на електродах виникає імпульс напруги  $U$ .

У загальному випадку час початку і закінчення процесу електрохімічного розчинення матеріалу зв'язки залежить від наступних геометричних, кінематичних та електричних параметрів:

- координати  $z$  профілю западини по довжині робочої поверхні круга, довжини катода  $\Delta$ ;
- швидкості обертання круга  $v_{кр}$  ( $v_{кр} = \text{const}$ );
- часу дії імпульсу напруги  $\tau_i$ .

Форма напруги  $U = f(\tau)$  не впливає на межі інтегрування у формулі глибини западини від одиничного імпульсу.

Тому, при визначенні меж інтегрування  $\tau_a$  та  $\tau_b$  можна прийняти напругу в імпульсі постійною ( $U = \text{const}$ ).

Аналітичне вираження глибини западини від одиничного імпульсу  $h_{л(1)} = f(z)$  - це кусочно-

безперервна функція на відповідних інтервалах. Функція визначена і коли тривалість імпульсу не більше часу проходження точки з координатою  $z$  під катодом ( $\tau_i \leq \Delta / v_{кр}$ ), і в протилежному випадку ( $\tau_i > \Delta / v_{кр}$ ).

Вона залежить від співвідношення між довжиною катода, координатою профілю  $z$ , тривалістю дії імпульсу  $\tau_i$ ; і швидкістю обертання круга  $v_{кр}$ .

Інтервали, що визначають безперервність функції  $h_{л(1)} = f(z)$  і відповідний їм час початку і закінчення процесу розчинення ділянки зв'язки з подовжньою координатою  $z$  приведені в табл. 1.

Підставляючи  $U = f(\tau)$  у рівняння глибини западини від одиничного імпульсу й інтегруючи його з врахуванням інтервалів безперервності і меж інтегрування, приведених у табл. 1, одержимо залежність глибини западини від форми одиничного імпульсу напруги по довжині робочої поверхні круга. Різні форми імпульсів напруги та їхні характеристики при постійній середній напрузі за час дії імпульсу приведені в табл. 2.

Таким чином, форма западини від одиничного імпульсу на робочій поверхні шліфувального круга залежить від форми імпульсу перемінної напруги.

Наприклад, якщо напруга в імпульсі постійна (крива 4), йому відповідає форма профілю западини, описана кривою 10. Якщо напруга зростає за лінійним законом (крива 5), йому відповідає форма профілю западини, описана кривою 11. Крива 12 описує форму профілю западини, що відповідає законові лінійного убавання напруги в імпульсі (крива 6). Якщо напруга змінюється по синусоїдальному закону (крива 7), форма профілю западини має вид кривої 13. Криві 14 і 15 описують форму профілю западини, що відповідає зміні напруги по експоненціальному закону (криві 8 і 9).

Криві 4-9 ілюструють практично всі можливі випадки зміни форми напруги в імпульсі.

Приклад. Визначали можливість керування формою поперечного профілю робочої поверхні алмазного круга електрохімічним методом шляхом зміни форми напруги в імпульсі.

Формування западин на робочій поверхні круга робили на круглошліфувальному верстаті мод. ЗБ12, модернізованому для здійснення запропонованого способу.

Як алмазні круги використовували круги АПГ 300 x 25 x 5 АСВ 100/80 МВ1-100%. Як електроліт використовували водяний розчин  $\text{NaNO}_3$  - 5%,  $\text{NaNO}_2$  - 0.5%, триетаноламін - 2%.

Аналіз впливу форми імпульсу на вигляд западин на робочій поверхні круга робився для найбільше поширених форм імпульсів напруги (табл. 2) при постійному розмірі середньої напруги за час імпульсу.

В усіх випадках середня напруга імпульсу відповідало -  $U_{\text{сєр}} = 5$  В. Для кривих 8, 9 та 14, 15 коефіцієнт  $K$  відповідав значенням 0.7 і 0.2.

Визначення значень  $h_{л(1)}$  робили шляхом зіставлення фактичних параметрів із їхніми значеннями, розрахованими по формулі винаходу з врахуванням даних табл. 1.

Визначення профілю лунки по довжині робочої поверхні круга робили при наступних параметрах електрохімічного процесу формування:

- час імпульсу  $\tau_i = 3 \cdot 10^{-4}$  с;
- довжина катода  $\Delta = 3 \cdot 10^{-3}$  м;

- швидкість круга  $v_{\text{сер}} = 25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;
- середня напруга імпульсу  $U_{\text{сер}} = 5 \text{ В}$ ;
- умовний електрохімічний еквівалент алмазоносного шару круга (з врахуванням неметалевих компонентів зв'язки й алмазних зерен), для зв'язки MB1 при концентрації 100% -  $\epsilon_n = 4 \cdot 10^{-11} \text{ м} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{А}$ ;
- коефіцієнт виходу по струмі (визначався експериментально)  $\eta = 0,39$ ;
- питома електропровідність електроліту (визначалася експериментально)  $\chi = 2 \cdot 10 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ ;
- міжелектродний зазор  $\delta = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ .

Аналіз впливу форми імпульсу на форму западини (фіг. 3-7) показує, що зміною форми імпульсу можна управляти формою поперекового профілю робочої поверхні алмазоносного круга в широких межах.

Експериментальну перевірку запропонованого способу робили після правки круга на різних режимах протягом часу  $\tau_{\text{ир}}$  із наступним профілографуванням зліпків із поверхні круга. За результатами профілографування визначали лінійну швидкість розчинення зв'язки по довжині робочої поверхні круга  $v_{(z)}$ .

Експериментальні значення глибини западини від одиночного імпульсу визначали з врахуванням періодичності подачі робочих імпульсів.

$$h_{n(1)} = v_{(z)} \frac{z_e}{z_k \cdot f_i},$$

де  $v_{(z)}$  - лінійна швидкість електрохімічного розчинення зв'язки по довжині робочої поверхні круга;

$z_b$  - кількість формованих западин на робочій поверхні круга;

$z_k$  - кількість електропровідних областей на робочій поверхні катода;

$f_i$  - частота подачі робочих імпульсів.

Відхилення експериментальних і розрахункових значень глибини западини від одиночного імпульсу складало 15-20%.

Визначення ефективності запропонованого способу робили при шліфуванні плашок М8 в автоматичному режимі. Найбільшій продуктивності обробки і стійкості круга відповідала форма імпульсу напруги, обумовлена експоненціальною залежністю (крива 15).

Застосування запропонованого рішення значно розширить можливості керування подовжнім профілем шліфувальних кругів. Цей спосіб дозволяє формувати западини будь-якої заданої форми і змінювати подовжній профіль робочої поверхні круга при зміні умов шліфування.

Перевагою запропонованого способу є також те, що він дозволяє управляти подовжнім профілем круга шляхом зміни напруги в імпульсі, не ускладнюючи при цьому пристрою.

#### Література:

1. Авт. свид. СРСР № 200461, М. кл. В24 В 53/00, 1967 р.
2. Патент США № 3859761, кл. 51-2065, 1975 р.
3. Авт. свид. № 626943 (СРСР) Пристрій для правки шліфувального круга. / Нікулін Б.М., Рогозов В.М. - Опубл. у Бі 1978, № 37.

Таблиця 1

Інтервали безперервності функції  $h_{n(1)} = f_{(z)}$  і межі інтегрування рівняння глибини западини від одиночного імпульсу

Елемент западини		Час дії імпульсу	
		$\tau_i \leq \Delta / v_{кр}$	$\tau_i > \Delta / v_{кр}$
Передня бічна сторона	Інтервал безперервності	$0 \leq z \leq v_{кр} \cdot \tau_i$	$0 \leq z \leq \Delta$
	Межі інтегрування	$\tau_b = z / v_{кр}$	$\tau_a = 0$
Дно западини	Інтервал безперервності	$v_{кр} \cdot \tau_i \leq z \leq \Delta$	$\Delta \leq z \leq v_{кр} \cdot \tau_i$
	Межі інтегрування	$\tau_b = \tau_i$ ; $\tau_a = 0$	$\tau_b = z / v_{кр}$ ; $\tau_a = (z - \Delta) / v_{кр}$
Задня бічна сторона	Інтервал безперервності	$\Delta \leq z \leq (\Delta + v_{кр} \cdot \tau_i)$	$v_{кр} \cdot \tau_i \leq z \leq (\Delta + v_{кр} \cdot \tau_i)$
	Межі інтегрування	$\tau_b = \tau_i$	$\tau_a = (z - \Delta) / v_{кр}$

Примітка,  $z$  - координата профілю западини по довжині робочої поверхні круга;

$\Delta$  - довжина катода;

$\tau_i$  - тривалість імпульсу;

$v_{кр}$  - швидкість обертання круга.

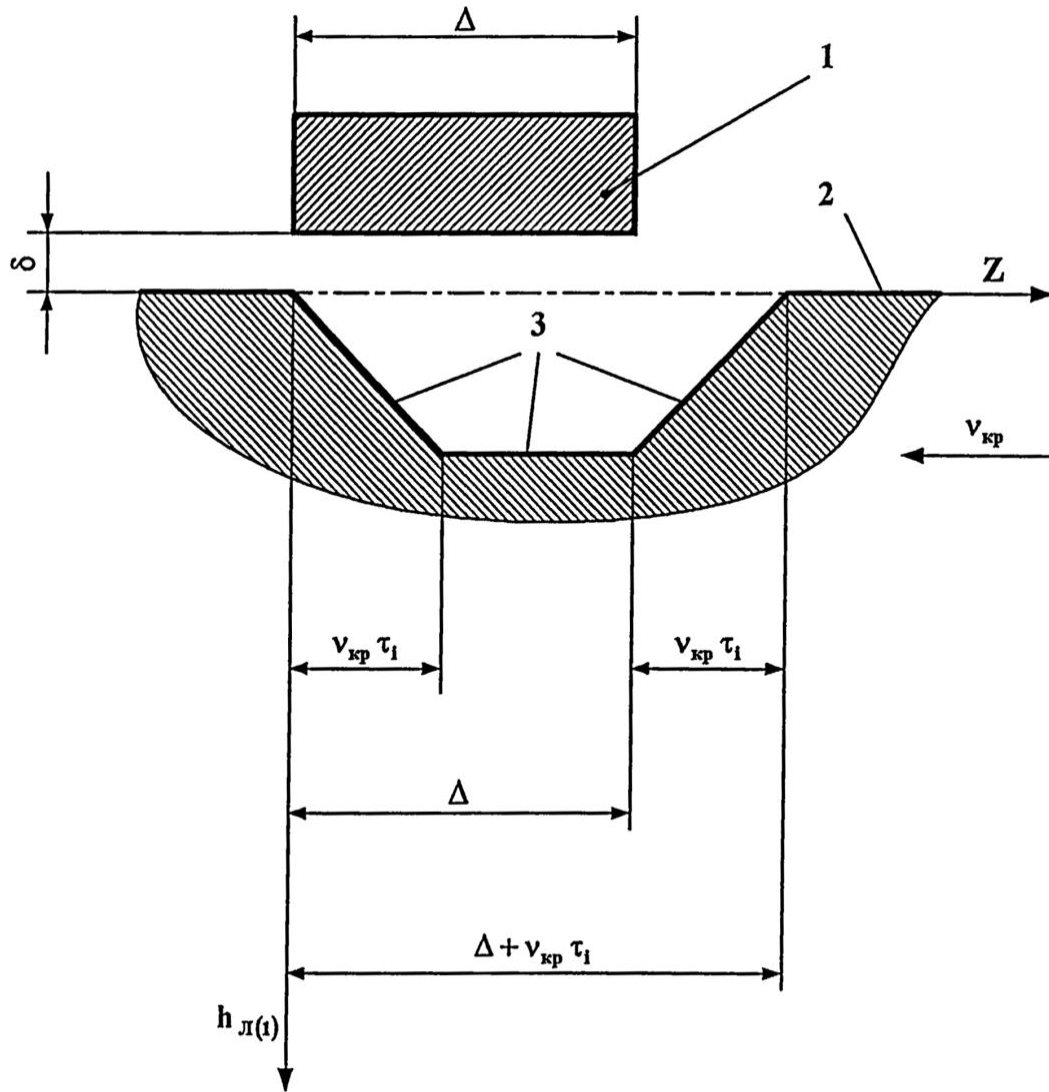
## Форми імпульсів напруги та їхні характеристики

Закон зміни напруги в імпульсі	$\int U dt$	Середня напруга імпульсу
$U=U_0$	$U_0 \cdot \tau + c$	$U_{сер} = U_0$
$U = U_0 \cdot \tau / \tau_i$	$U_0 \cdot \tau^2 / 2 \cdot \tau_i + c$	$U_{сер} = U_0 / 2$
$U = U_0 \cdot (1 - (\tau / \tau_i))$	$(U_0 / 2) \cdot (2 \cdot \tau - (\tau^2 / \tau_i)) + c$	$U_{сер} = U_0 / 2$
$U = U_0 \cdot \exp(-(\tau / \tau_i)) \cdot \ln(1/k)$	$U_0 \cdot (-\tau_i / \ln(1/k)) \cdot \exp(-(\tau / \tau_i)) \cdot \ln(1/k) + c$	$U_{сер} = U_0 \cdot ((1-k) / (\ln(1/k)))$
$U = U_0 \cdot \sin(\pi \cdot \tau / \tau_i)$	$-(U_0 \cdot \tau_i / \pi) \cdot \cos(\pi \cdot \tau / \tau_i) + c$	$U_{сер} = U_0 \cdot (2 / \pi)$

Примітка.  $U_0$  - максимальне значення функції  $U = f(\tau)$ ;

$\tau$  - час;

$\tau_i$  - тривалість імпульсу.



Фиг.1

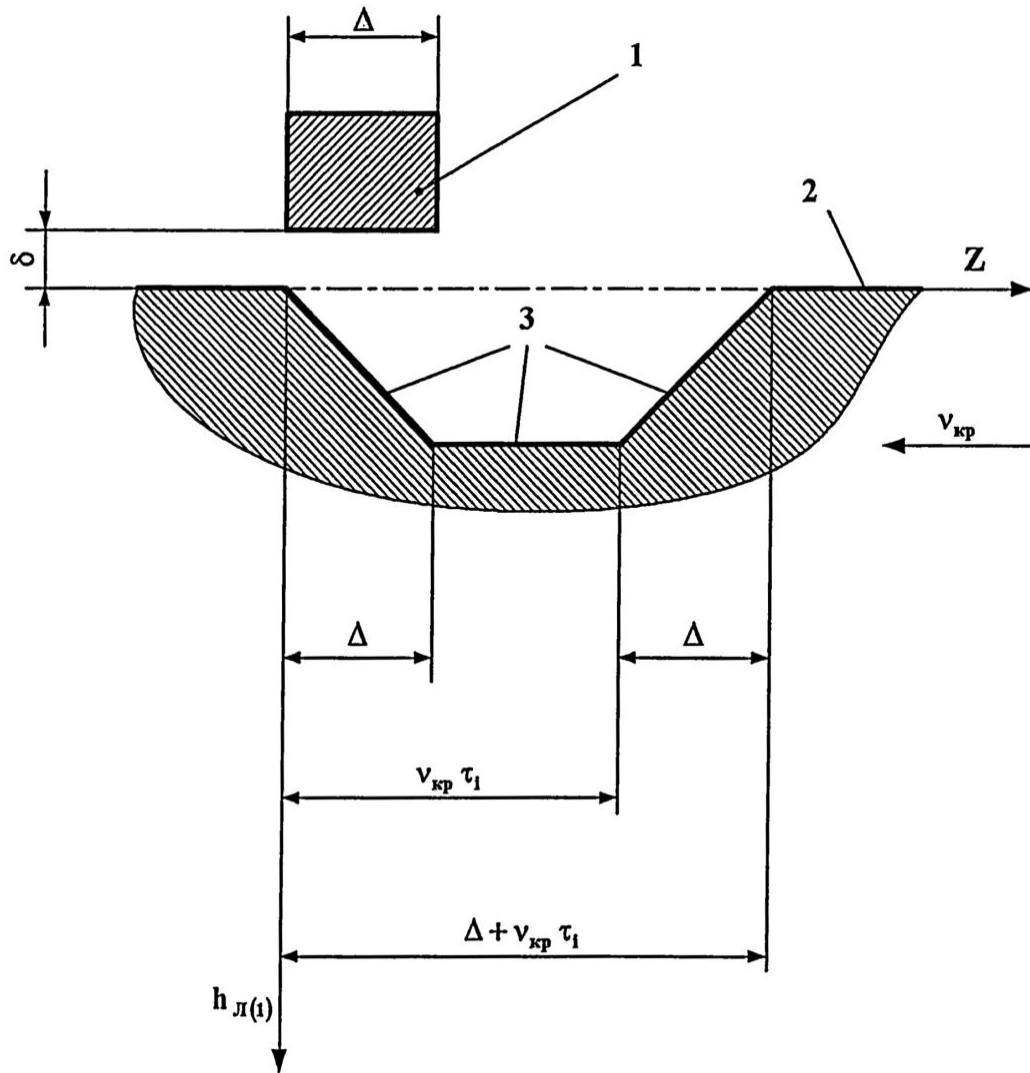
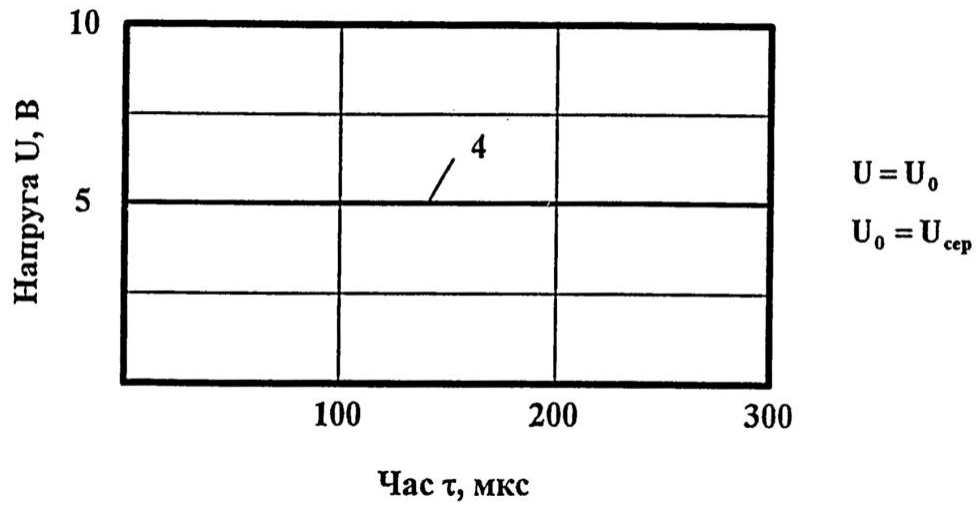
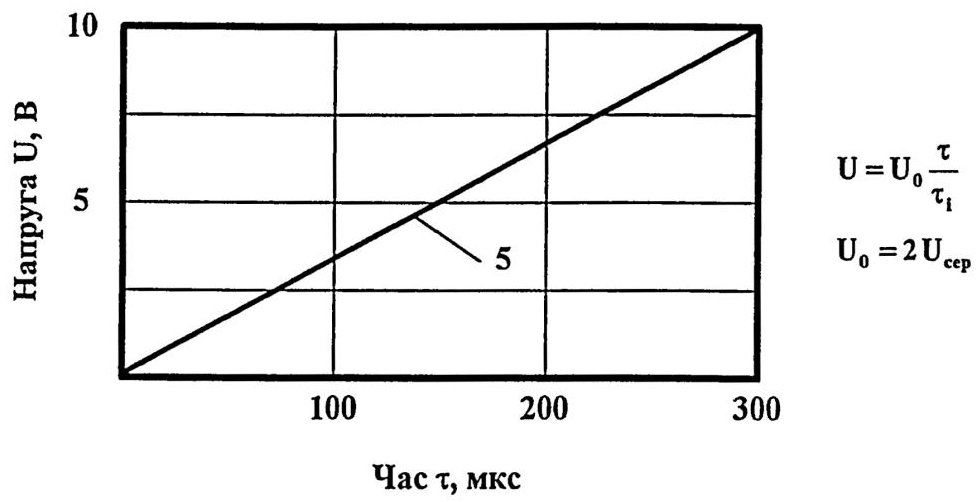


Fig.2

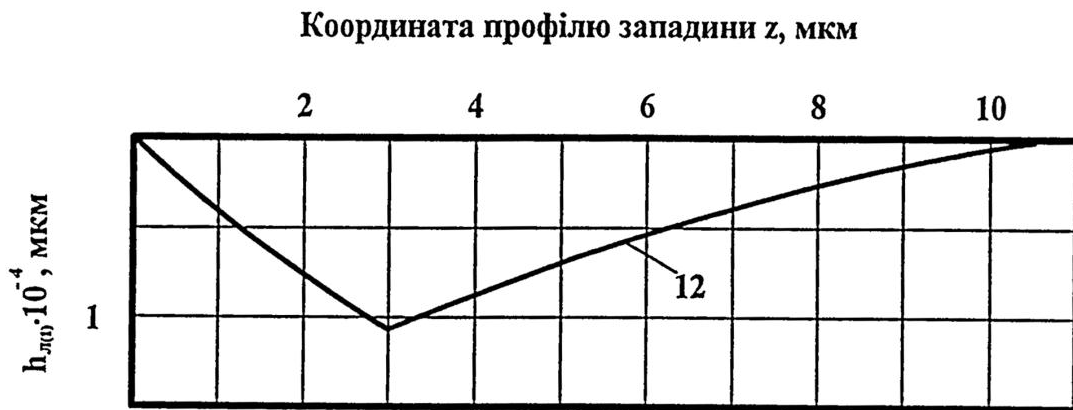
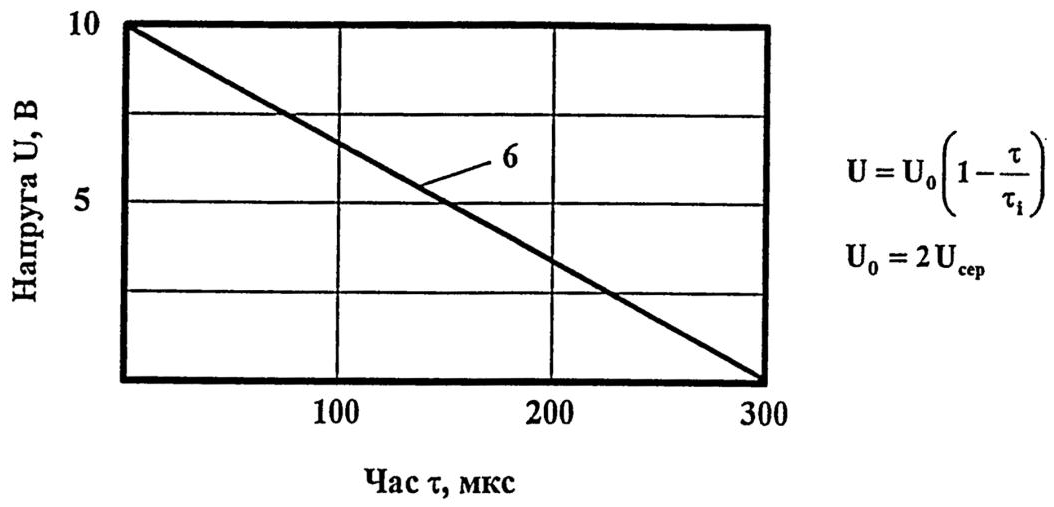


Фіг.3

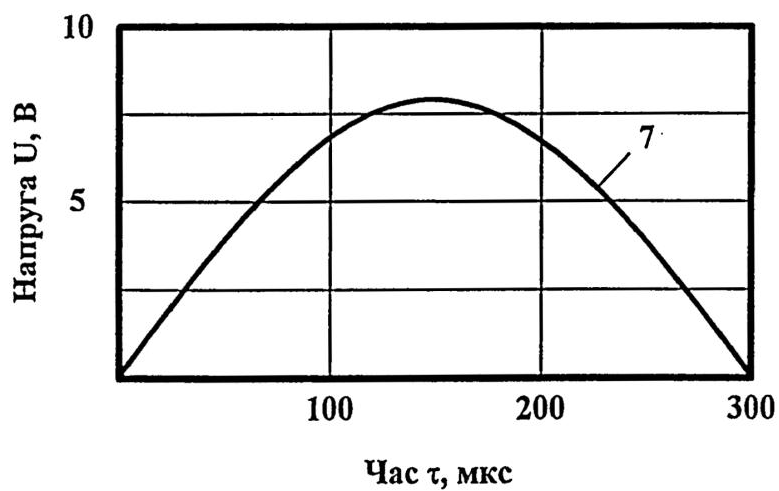




Фіг.4

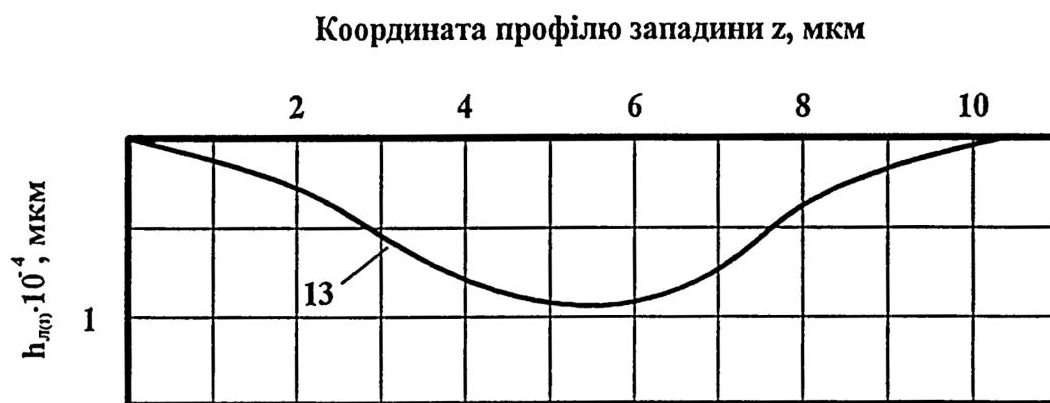


Фіг.5

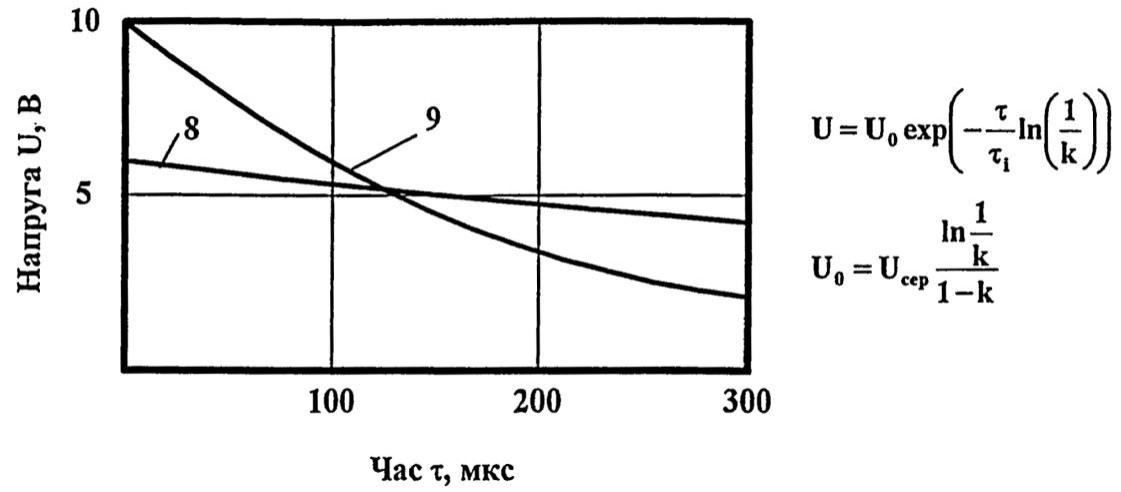


$$U = U_0 \sin\left(\frac{\pi \cdot \tau}{\tau_i}\right)$$

$$U_0 = \frac{\pi}{2} U_{\text{сеп}}$$



Фіг.6



Фіг.7

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2001 р. Формат 60x84 1/8.  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
(044) 268-25-22