

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут технологій

Сучасне металообробне обладнання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи
для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Затверджено
на засіданні кафедри
«Автомобільного транспорту
та галузевого
машинобудування»
Протокол №4
від 23.10.2019 р.

Чернігів ЧНТУ 2019

Сучасне металообробне обладнання. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування / Укл. Кальченко В.В., Сіра Н.М., Кологойда А.В. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 28 с.

Укладачі: КАЛЬЧЕНКО ВОЛОДИМИР ВІТАЛІЙОВИЧ,
доктор технічних наук, професор;
СІРА НАТАЛІЯ МИКОЛАЇВНА,
кандидат технічних наук;
КОЛОГОЙДА АНТОНІНА ВІКТОРІВНА,
кандидат технічних наук.

Відповідальний за випуск: КАЛЬЧЕНКО ВІТАЛІЙ ІВАНОВИЧ
завідувач кафедри
автомобільного транспорту
та галузевого машинобудування,
доктор технічних наук, професор

Рецензент: ЛИТВИН ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ
кандидат технічних наук,
доцент кафедри автомобільного транспорту
та галузевого машинобудування
ННІМІТТ Чернігівського національного
технологічного університету

ВСТУП

Методичні вказівки до розрахунково-графічних робіт призначені для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Постійне зростання вимог до якості, надійності та покращання інших експлуатаційних показників деталей машин зумовлює створення нових методів розмірної обробки. До таких методів обробки, які вже знайшли досить широке застосування в сучасному машинобудуванні, належать електрофізичні та електрохімічні методи обробки.

Значною перевагою вказаних методів в порівнянні з різанням є:

- можливість обробки профілів складної форми (в тому числі криволінійних, спіральних, дуже малих отворів, вузьких і глибоких шліців та ін.);
- можливість обробки матеріалів будь-якої твердості;
- можливість використання інструментів, які мають меншу міцність, ніж оброблювані матеріали;
- підвищення продуктивності обробки.

Знімання припуску відбувається за рахунок електричної або хімічної ерозії, а отже, загальним недоліком зазначених методів обробки є суттєве підвищення енергоємності процесів. Однак можливість підвищення продуктивності обробки та автоматизації виробничих процесів підвищує техніко-економічний ефект від застосування фізико-хімічних методів обробки, так, наприклад, час обробки фасонних поверхонь зменшується в 2-3 рази, а складних – в 5-10 разів порівняно із традиційними способами різання.

Мета розрахунково-графічних робіт – підготувати студентів до самостійного вирішення інженерних задач з розрахунку і проектування електродів-інструментів для електрофізичних методів обробки та ультразвукових інструментів.

1. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ НЕПРОФІЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОДОМ-ІНСТРУМЕНТОМ

1.1 Короткі теоретичні відомості

Електроди інструменти для електроерозійної обробки поділяють на профільовані та непрофільовані. Непрофільовані електроди – дріт або металева стрічка різної товщини, металеві стрижні різних розмірів і перерізів, металеві диски з різним профілем поперечного перерізу.

Непрофільовані електроди-інструменти зазвичай виготовляють із *вольфрамового* або *латунного дроту*. Вольфрамовий дріт має велику питому міцність, але низьку питому провідність і застосовується для електродів діаметром менше 0,08 мм.

Для проектування непрофільованих електродів-інструментів необхідно визначити діаметр і матеріал дроту або стрижня. У цьому випадку розраховують натяг дроту, а для стрижня – стійкість у заданих умовах обробки. Усі види електродів-інструментів зношуються, і це варто враховувати при визначенні їхніх початкових розмірів.

Точність електроерозійної обробки при використанні, непрофільованого електрода-інструмента відповідає 5-6 квалітетам.

1.2 Послідовність розрахунку

1.2.1 Вибирається напруга холостого ходу (для чорнових операцій $U_0 = 100...120 \text{ В}$, для чистових $U_0 = 80...110 \text{ В}$). Встановлюється середнє значення на електродах: $U_{cp} = (0,5...0,75) \cdot U_0 \text{ В}$.

1.2.2 Знаходиться енергія імпульсу, яка забезпечує отримання заданої шорсткості, із залежності:

$$R_z = k_n \cdot A_u^p, \text{ Дж}, \quad (1.1)$$

де k_n – коефіцієнт, який залежить від режиму обробки, матеріалу електродів, їх розмірів, виду і стану робочого середовища (табл. 1);

$p = 0,3...0,04$ – показник степені, який характеризує форму лунки. При розрахунках приймають $p = 1/3$.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнт k_n у залежності від матеріалу заготовки

Тверді сплави			
ВК20	ВК15	ВК8	T15K6
0,375	0,316	0,270	0,256
Сталі			
У10А	X12М	ХВГ	P9
0,525	0,498	0,498	0,441

1.2.3 Визначається ємність конденсаторів, необхідна для отримання заданої шорсткості. Для RC-схеми (рис. 1.1) енергія імпульсу:

$$A_u = \frac{C \cdot U_{np}^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (1.2)$$

де C – ємність конденсатора, Ф; $U_{np} = 0,7 \cdot U_0$ – напруга пробою, В.

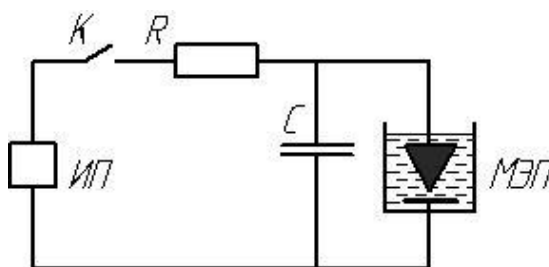


Рисунок 1.1 – Принципова схема RC-генератора імпульсів:

K – вимикач, R – струмообмежувальний резистор, C – ємність конденсатора,

$ИП$ – джерело живлення, $МЭП$ – міжелектродний проміжок

1.2.4 Визначається сила струму короткого замикання та середня сила струму. Середня сила струму визначається через її значення I_k при короткому замиканні електродів:

$$I_{cp} = (0,5...0,75) \cdot I_k, \text{ А}. \quad (1.3)$$

Силу струму короткого замикання можна встановлювати і контролювати за приладами верстата. Вона вибирається залежно від оброблюваного матеріалу і необхідної шорсткості поверхні.

Для сталі:

$$I_k = 0,2 + 0,72 \cdot C, A. \quad (1.4)$$

Для твердого сплаву:

$$I_k = 0,5 + 0,62 \cdot C, A. \quad (1.5)$$

1.2.5 Величина опору струмообмежувального резистора:

$$R = \frac{U_0}{I_k}. \quad (1.6)$$

1.2.6 Визначається частота проходження імпульсів:

$$f = \frac{I}{R \cdot C \cdot \ln \left[\frac{U_0}{U_0 - U_{np}} \right]}. \quad (1.7)$$

1.2.7 Знаходиться продуктивність процесу:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot I_k \cdot U_{np}. \quad (1.8)$$

Величина коефіцієнта k_1 для різних діаметрів дротового електрода інструменту, товщини заготовок і їх матеріалу, наведена в таблиці 1.2.

Величина коефіцієнта $k_2 \left(\frac{\text{мм}}{\text{с}^2 \cdot B \cdot A} \right)$ для різних матеріалів приведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 – Величина коефіцієнта k_1 для різних матеріалів

Діаметр дротового електрода інструменту, мм	Товщина заготовок, мм			
	25-30		30-35	
	Тверді сплави	Сталі	Тверді сплави	Сталі
0,10	0,94	0,89	0,93	0,875
0,15	0,96	0,92	0,945	0,900

Таблиця 1.3 – Величина коефіцієнта k_2 для різних матеріалів

Тверді сплави			
ВК20	ВК15	ВК8	Т15К6
$5,42 \cdot 10^{-4}$	$5,23 \cdot 10^{-4}$	$5,00 \cdot 10^{-4}$	$4,78 \cdot 10^{-4}$
Сталі			
У10А	Х12М	ХВГ	Р9
$5,83 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$5,50 \cdot 10^{-4}$	$5,28 \cdot 10^{-4}$

1.2.8 Ширина зазору b_n між інструментом та оброблюваною деталлю розраховується із залежності визначення діаметру дроту:

$$d_{ei} = k \cdot b_n - 2 \cdot s, \text{ мм}, \quad (1.9)$$

де s – міжелектродний зазор, $s = 5 \dots 20$ мкм;

k – коефіцієнт, що враховує ерозію дроту, $k = 2 \dots 5$.

Коефіцієнт k залежить також від швидкості перемотування дроту. Для латунного дроту діаметром $d_{ei} = 0,1$ мм швидкість перемотування повинна бути не менше 5 мм/с ($k = 2,5$), для $d_{ei} = 0,2$ мм – не менше 1,5 мм/с ($k = 2 \dots 2,3$), для $d_{ei} = 0,3$ мм – не менше 0,8 мм/с ($k = 3 \dots 3,5$).

Розраховані параметри напруги холостого ходу, ємності конденсаторів, сили струму короткого замикання легко виставляти і контролювати.

1.3 Варіанти завдань

Дані для розрахунку наведені в додатку А, таблиця А1. Варіант завдання відповідає порядковому номеру за списком.

2. РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОДА-ІНСТРУМЕНТА

2.1 Короткі теоретичні відомості

При виборі матеріалу електрода-інструмента беруть до уваги його ерозійну стійкість, питому провідність, можливість виготовлення інструменту необхідної форми з мінімальними витратами, вартість, міцність, корозійну стійкість, відсутність шкідливих для здоров'я обслуговуючого персоналу виділень під дією високих температур при розряді.

Для чистової обробки, яка здійснюється зазвичай у електроіскровому режимі, найбільш часто використовують інструменти із звичайної і пористої міді і латуні. Мідь повинна бути без домішок, тому що навіть мінімальні включення інших елементів різко знижують електроерозійні властивості, підвищують зношування.

Для чорнових операцій, виконуваних в електроімпульсному режимі в якості матеріалу електродів-інструментів застосовують графітові і мідно-графітові композиції, алюміній, цинкові сплави. Графітові матеріали потрібно вибирати дрібнозернистої структури – вони мають підвищену механічну міцність. З таких матеріалів можна виготовляти інструменти з гострими кутами і тонкими перетинками, ефективні на чистових операціях. До недоліків варто віднести підвищену вартість у порівнянні з матеріалами з більш великими зернами і більш низьку продуктивність процесу.

Для чорнових операцій частіше застосовують дешеві і стійкі графітові матеріали із збільшеним зерном.

Для виготовлення дрібних отворів, діаметром менше 0,1 мм, використовують інструменти з вольфраму, молібдену, латуні. Вольфрам і молібден мають високу ерозійну стійкість в широкому діапазоні режимів. Але це дорогі, дефіцитні матеріали, які важко піддаються обробці.

Для електроконтактної обробки застосовують інструменти з міді, латуні, чавуна, дешевих марок сталі. Можливе застосування і звичайних ерозійностійких матеріалів. Сірий чавун має задовільну ерозійну стійкість при обробці на

всіх режимах. Він добре обробляється, недорогий, з нього виконують електроди-інструменти для чистових операцій.

У залежності від призначення і матеріалу електроди-інструменти можуть бути суцільними або збірними. При схемі прошивання застосовують електроди-інструменти у вигляді стрижнів і трубок із прокату різноманітного перерізу. В них робоча і технологічна частини об'єднані.

Отвори в трубках можуть бути круглими, прямокутними, гвинтовими й ін. Мідні стрижні і трубки випускають серійно, їх мінімальний зовнішній розмір 0,2 мм; допустима похибка $\pm 0,01$ мм. Аналогічні електроди-інструменти можуть бути виконані з латуні, алюмінію і його сплавів. Для прошивання отворів використовують дріт діаметром 0,025...1,5 мм, з похибкою не більш $\pm 1,5\%$ від номінального розміру.

В процесі обробки форма і розміри електроду-інструменту змінюються в результаті зносу, однак остаточний профіль поглиблення формується незношеною ділянкою електроду-інструмента, тому електрод-інструмент виготовляють на 1...2 квалітети точніше, ніж оброблювані деталі. Допуски на розміри електроду-інструменту складають звичайно 0,015...0,1 мм, що відповідає вимогам до виготовлення металорізальних інструментів.

Інструменти з міді, алюмінію і їхніх сплавів звичайно виготовляють штампуванням, витяжкою, прокаткою. Точність виготовлення відповідає 8...11-му квалітету точності, шорсткість поверхні $R_a = 2,5...5$ мкм. Для надання електродам-інструментам прямолінійності їх правлять у спеціальних пристосуваннях. Їх закріплюють у затисках, до яких прикладають розтяжні зусилля. Одночасно електроди нагрівають струмом низької напруги. Не знімаючи зусилля, електроди охолоджують, після чого вони набувають необхідної форми. Контрольну операцію виконують на інструментальній плиті шляхом вимірювання просвіту між плитою й електродом-інструментом.

При прошиванні отворів постійного перетину розміри електроду-інструменту визначають, виходячи з розмірів отвору. Для круглих перерізів:

$$d_e = d_o - 2 \cdot s_o, \quad (2.1)$$

де d_e – діаметр електрода-інструмента;

d_o – діаметр отвору в деталі;

s_o – бічний зазор, тобто відстань між протилежними ділянками поверхонь електрода і заготовки, паралельних напрямку їх руху.

Бічний зазор залежить від енергії імпульсів, матеріалу електродів, складу і напрямку руху робочого середовища, розмірів отвору. На чорнових режимах $s_o = 0,15...0,5$ мм, на чистових $s_o = 0,005...0,05$ мм.

Довжина електрода-інструменту:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4, \quad (2.2)$$

де L_1 – довжина ділянки закріплення в електродотримачі;

L_2 – глибина отвору;

L_3 – скорочення його довжини за рахунок зносу;

L_4 – довжина ділянки, необхідної для калібрування отвору, якщо він наскрізний

Для розрахунку L_1 беруть в межах 20...30 мм, $L_4 = (1,2...1,8) \cdot L_2$; скорочення довжини L_3 можна оцінити як знос γ у відсотках від довжини отвору L_2 , тобто $L_3 = L_2 \cdot \gamma / 100$. Тоді:

$$L = 20...30 + L_2 + \frac{L_2 \cdot \gamma}{100} + (1,2...1,8) \cdot L_2. \quad (2.3)$$

Якщо отвір глухий, то будуть потрібні електроди-інструменти довжиною L' для чорнової обробки і довжиною L'' для чистової обробки:

$$L' = 20...30 + L_2 + \frac{L_2 \cdot \gamma}{100}, \quad (2.4)$$

$$L'' = 20...30 + L_2. \quad (2.5)$$

У тих випадках, коли одного електрода-інструменту для калібрування глухого отвору підвищеної точності недостатньо, застосовують кілька калібрувальних електродів-інструментів з робочою частиною, що має довжину $L' > L''$. При зміні електрода-інструменту варто зберігати єдині настановні бази; це дозволяє усунути похибки базування.

2.2. Приклад розрахунку

2.2.1. Вихідні дані згідно з варіантом завдання:

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку

Варіант	Наскрізний отвір		Глухий отвір			Матеріал заготовки	Якість обробки
	d	h	d	h	H		
10	6	12	24	40	60	ВК15	Чистова

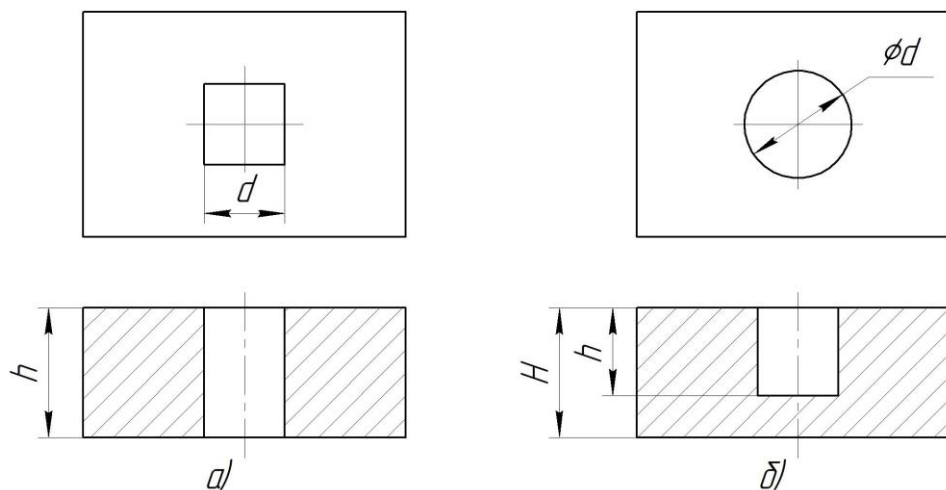


Рисунок 2.1 – Вихідні дані для розрахунку профільованого електрода інструмента при обробці наскрізного (а) та глухого (б) отворів

2.2.2 Бічний зазор залежить від енергії імпульсів, матеріалу електродів, складу і напрямку руху робочого середовища, розмірів отвору. Для даного випадку приймаємо: для чистової обробки – $s_{\sigma} = 0,02$ мм, для чорнової обробки – $s_{\sigma} = 0,3$ мм.

2.2.3 Розраховуємо діаметр електрода-інструмента для обробки наскрізного отвору:

$$d_e = 6 - 2 \cdot 0,02 = 5,96 \text{ мм.}$$

Для чистової обробки глухого отвору з метою забезпечення його достатньої точності необхідне використання двох електродів-інструментів: чорнового та чистового. Діаметри d'_e та d''_e електродів-інструментів відповідно для чорнової та чистової обробок:

$$d'_e = 24 - 2 \cdot 0,3 = 23,4 \text{ мм;}$$

$$d_e'' = 24 - 2 \cdot 0,02 = 23,96 \text{ мм.}$$

2.2.4 Довжина електроду-інструменту для обробки наскрізного отвору:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4,$$

де L_1 – довжина ділянки закріплення в електродотримачі; L_2 – глибина отвору; L_3 – скорочення його довжини за рахунок зносу; L_4 – довжина ділянки, необхідної для калібрування отвору, якщо він наскрізний.

Для розрахунку L_1 беруть в межах 20...30 мм., $L_4 = (1,2...1,8) \cdot L_2$; скорочення довжини L_3 можна оцінити як знос γ у відсотках від довжини отвору L_2 , тобто $L_3 = L_2 \cdot \gamma / 100$. Тоді:

$$L = 20...30 + L_2 + \frac{L_2 \cdot \gamma}{100} + (1,2...1,8) \cdot L_2.$$

Приймаємо $L_1 = 25$ мм, $\gamma = 5$, $L_4 = 1,5 \cdot L_2$, тоді:

$$L = 25 + 12 + \frac{12 \cdot 5}{100} + 1,5 \cdot 12 = 55,6 \text{ мм.}$$

На рисунку 2.2 зображено ескіз профільованого електроду-інструмента із вказаними розрахованими розмірами.

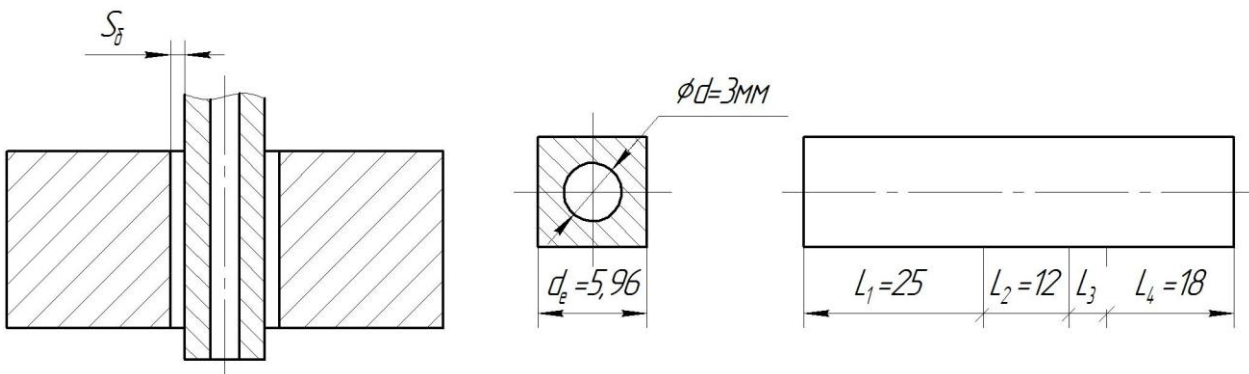


Рисунок 2.2 – Ескіз підібраного електроду-інструмента для обробки наскрізного отвору

2.2.5 Для обробки глухого отвору необхідні електроди-інструменти довжиною L' для чорнової обробки і довжиною L'' для чистової обробки:

$$L' = 20...30 + L_2 + \frac{L_2 \cdot \gamma}{100}; \quad L'' = 20...30 + L_2.$$

У тих випадках, коли одного електроду-інструменту для калібрування глухого отвору підвищеної точності недостатньо, застосовують кілька калібру-

вальних електродів-інструментів з робочою частиною, що має довжину $L' > L''$. При зміні електроду-інструменту варто зберігати єдині настановні бази; це дозволяє усунути похибки базування.

Розраховуємо значення L' і L'' ($L_1 = 25$ мм, $\gamma = 5$):

$$L' = 25 + 40 + \frac{40 \cdot 5}{100} = 67 \text{ мм},$$

$$L'' = 25 + 40 = 65 \text{ мм}.$$

Ескіз профільованого електроду-інструмента із вказаними розрахованими розмірами приведений на рисунку 2.3.

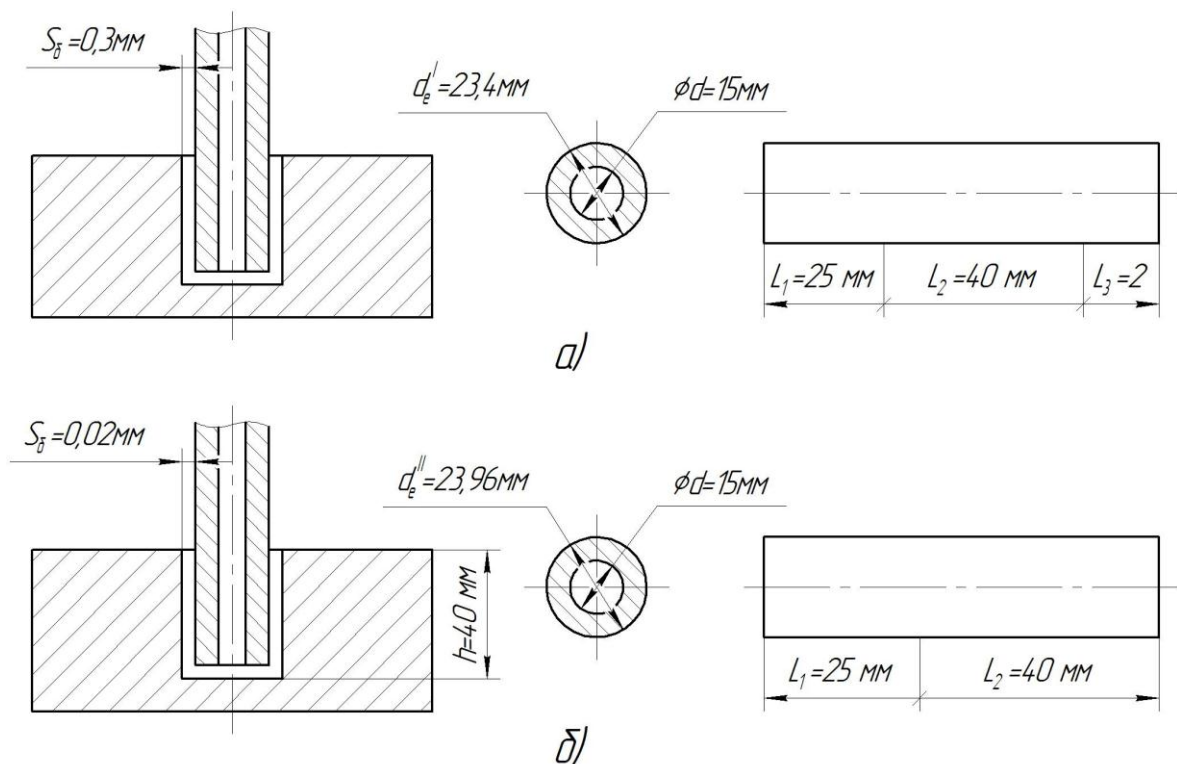


Рисунок 2.3 – Ескіз підбраного електроду-інструмента для обробки глухого отвору:

а) чорнова обробка, б) чистова обробка

2.3 Варіанти завдань

Варіанти завдань для проведення розрахунків наведені в додатку Б, таблиця Б1. Варіант завдання відповідає порядковому номеру за списком.

3. РОЗРАХУНОК КОНЦЕНТРАТОРІВ І УЛЬТРАЗВУКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ЩО ПОЗДОВЖНЬО КОЛИВАЮТЬСЯ

3.1 Короткі теоретичні відомості

Концентратори і інструменти ультразвукових систем для механічної обробки мають різне призначення. Концентратор (його також називають трансформатором швидкості або трансформатором пружних коливань) служить для збільшення амплітуди коливань перетворювача і для узгодження параметрів перетворювача і навантаження.

Інструмент застосовується для збурювання коливань в зоні обробки. Відповідно до умов роботи, конструктивного виконання, матеріалів, теплових і механічних режимів експлуатації концентраторів і інструментів висувають різні вимоги. Концентратори та інструменти можна розглядати як елементи єдиної коливальної системи, а всю систему в цілому і кожен її елемент окремо – як трансформатор пружних коливань. Тому розрахунки концентраторів та інструментів можна проводити за однією і тією ж схемою.

Для низькочастотного діапазону коливань ($f = 18,0 \dots 44,0 \text{ кГц}$) найчастіше використовують концентратори та інструменти у вигляді резонансних стрижнів змінного перерізу.

Стрижньовий концентратор є твердим стрижнем змінного перерізу або змінної щільності. Його принцип дії заснований на явищі збільшення амплітуди зміщення частинок стрижня при зменшенні його поперечного перерізу або густини. Збільшення амплітуди зсуву спостерігається при збільшенні різниці площ поперечних перерізів або щільності протилежних кінців стрижня.

Відношення амплітуд зміщень або швидкостей на виході і вході інструменту називається коефіцієнтом трансформації:

$$M = \frac{\xi_o}{\xi_l} = \frac{v_o}{v_l}, \quad (3.1)$$

де ξ_o, ξ_l – амплітуди зміщень відповідно на вихідному і вхідному торцях інструменту;

v_0, v_l – швидкості на вихідному і вхідному торцях.

Значення коефіцієнта трансформації вибирають у залежності від необхідних значень амплітуди зміщень на робочому торці інструменту. Наприклад, якщо амплітуда зміщень повинна складати 30...40 мкм, то, враховуючи, що амплітуда коливань магнітострикційного перетворювача в оптимальному режимі роботи під навантаженням складає 5...6 мкм, загальний коефіцієнт трансформації $M = 6...7$. Загальне збільшення амплітуди необхідно розподілити між концентратором і інструментом. На практиці зазвичай амплітуда в концентраторах збільшується в 2...2,5 рази, а в інструментах – в 2,5...3 рази.

Параметри стрижньового концентратора, що здійснює повздовжні пружні коливання, приблизно можна розраховувати як параметри акустичного хвилеводу, в якому поширюються коливання, які характеризуються постійною амплітудою вздовж поперечного перерізу. Зрушення в площині коливань і зміщення в поперечних перерізах не враховуються.

Загальна умова резонансу механічних коливальних систем полягає в тому, щоб уздовж одного з лінійних розмірів системи уклалося ціле число півхвиль. Для повздовжніх коливань відстань між сусідніми вузлами і пучністю стоячої хвилі дорівнює половині довжини хвилі, тому можна визначити довжину хвилі повздовжніх коливань стрижня за залежністю:

$$\lambda_{\text{повзд.}} = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{c_{\text{повзд.}}}{f}, \quad (3.2)$$

де $c_{\text{повзд.}}$ – швидкість звукової хвилі уздовж стрижня; E – модуль Юнга;

ρ – густина; f – частота коливань.

При резонансі:

$$l = \frac{n \cdot \lambda}{2}, \quad (3.3)$$

де l – довжина стрижня; $n = 1, 2$.

Із рівняння (3.2) з урахуванням умов резонансу знаходимо резонансну частоту стрижня, що поздовжньо коливається:

$$f_{\text{повз}} = \frac{c_{\text{повз}}}{\lambda} = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (3.3)$$

Визначення довжини стрижня за формулою (3.3) можливо тільки для циліндричного інструменту ($M = 1$). Аналітичні розрахунки інструментів із коефіцієнтом трансформації M , що не дорівнює одиниці, значно складніші. Для розрахунків використовують графічні методи. Вони дозволяють знайти довжину інструменту, місце розташування x_1 вузла зміщення, коефіцієнт трансформації M . Для визначення значень цих величин необхідно знати вхідний і вихідний приведені радіуси інструменту, що розраховується. Приведений радіус R поперечного перерізу – радіус з площею, рівною площі поперечного перерізу інструменту. Якщо, наприклад, інструмент має форму тіла обертання з внутрішнім і зовнішнім радіусами r_1 і r_2 , то приведенний радіус $R = \sqrt{r_2^2 - r_1^2}$.

На рис. 3.1 показана схема розрахунку конічного інструменту за допомогою графічного методу.

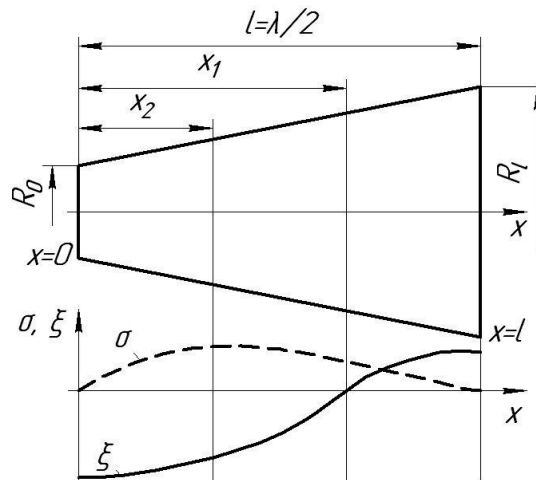


Рисунок 3.1 – Схема розрахунку конічного інструменту графічним методом

Вхідна сторона концентратора радіусом поперечного перетину R_l з'єднується із перетворювачем, а до вихідної сторони з радіусом R_0 кріпиться робочий інструмент. Вихідна сторона інструменту зазвичай служить робочим торцем, а вхідна сторона кріпиться до концентратора. Відстань, на якій розташований вузол швидкостей інструменту, позначимо x_l , тобто в цьому перерізі повздовжніх коливань немає, амплітуда коливань і швидкостей тут практично дорівнюють нулю.

При розрахунках задають частоту коливань f , коефіцієнт трансформації M , амплітуду зміщень ξ_m розміри поперечного перерізу біля робочого торця та матеріал, із якого виготовляють інструмент.

Необхідно розрахувати довжину інструменту l , розміри поперечних перерізів R_x , розподіл амплітуд напруження σ і зміщення ξ , зокрема місця розміщення пучностей і вузлів стоячих хвиль (див. рис.3.1).

Якщо задані розміри вхідного і вихідного поперечних перерізів, то за кривою 1 (рис. 3.2) визначають коефіцієнт трансформації M . Якщо ж коефіцієнт трансформації M заданий, то за кривою 1 визначають відповідне значення відношення вхідного і вихідного приведених радіусів R_l/R_0 , потім за кривою 2 знаходять відношення довжини інструменту до довжини хвилі:

$$K_1 = \frac{l}{\lambda_{повз}} \quad (3.4)$$

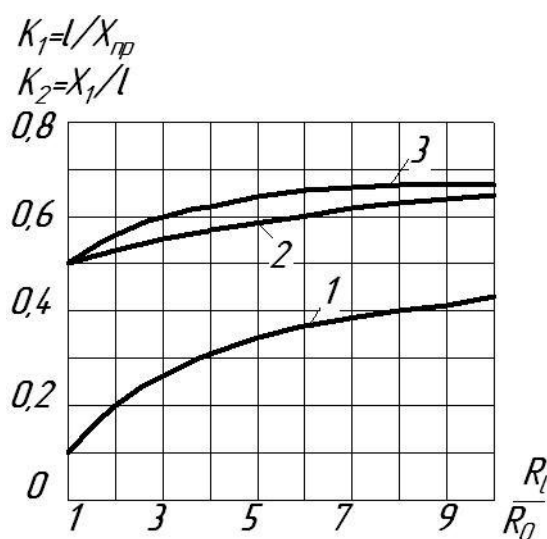


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку інструменту і концентраторів графічним методом

Для розрахунку довжини інструментів необхідно за залежністю (3.2) розрахувати довжину повздовжніх хвиль. Значення швидкості звуку для даного матеріалу розраховується або береться із таблиць. Знаючи довжину хвилі $\lambda_{повз}$, визначаємо довжину стрижня l із співвідношення $l = K_1 \cdot \lambda_{повз}$. Крива 3 дозволяє знайти відношення координати вузла швидкостей до довжини інструменту X_1/l .

3.2 Приклад розрахунку

Частота коливань інструменту $f = 18,0 \text{ кГц}$; матеріал інструменту – алюмінієвий сплав Амгб; вихідний радіус інструменту $R_o = 8 \text{ мм}$; коефіцієнт трансформації $M = 2,5$.

Знаючи коефіцієнт трансформації, по кривій **1** (рис. 3.2) знаходимо відношення приведених радіусів на вході і виході інструменту: $R_l / R_o = 3$. Звідси $R_l = 3 \cdot R_o = 24 \text{ мм}$. За кривою **2** для значення $R_l / R_o = 3$ знаходимо відношення $K_l = l / \lambda_{новз} = 0,55$. Щоб розрахувати довжину інструменту l , визначаємо за (3.2) довжину хвилі повздовжніх коливань. Для сплаву Амгб швидкість звуку $C_{новз} = 5200 \text{ м/с}$. При частоті коливань $f = 18 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ довжина хвилі в сплаві Амгб – $\lambda_{новз} = 288 \text{ мм}$.

Довжина конічного інструменту $l = K_l \cdot \lambda_{новз} = 158 \text{ мм}$. По кривій **3** знаходимо точку розташування вузла швидкостей: $K_2 = x_1 / l = 0,6$, звідки $x_1 = 94,8 \text{ мм}$, тобто на відстані $94,8 \text{ мм}$ від вихідного торця інструменту розташований вузол швидкостей повздовжніх коливань. На рис. 3.1 приведена еюра розподілу коливань ξ . Зазвичай у вузлі коливань розміщують фланець, за допомогою якого коливальна система кріпиться до верстата.

Радіуси поперечних перетинів конуса розраховуються по формулі:

$$\frac{R_x}{R_o} = 1 + \frac{R_l}{R_o - 1} \cdot \frac{x}{l}. \quad (3.5)$$

При роботі в концентраторах і інструментах виникають знакозмінні напруження. Якщо ці напруження великі, може відбутися руйнування матеріалу. Тому при розрахунку коливальних систем необхідно визначати розподіл не тільки амплітуд зміщень за довжиною концентратора та інструменту, але і розподіл амплітуд напруження й місце розташування пучності напружень. Зробити це можна, наприклад, для конічного інструменту, використовуючи графіки (рис. 3.3), що значно спрощує розрахунки.

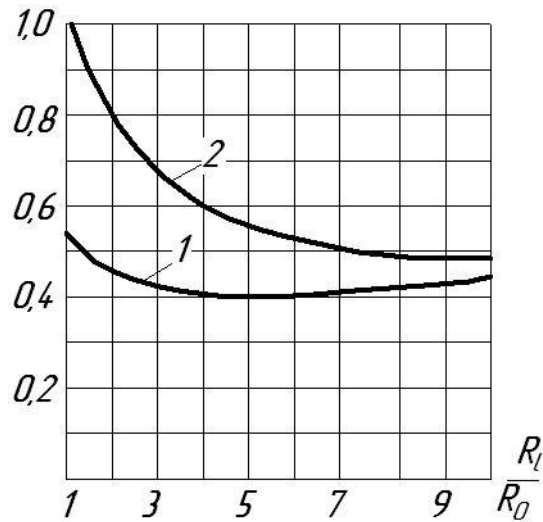


Рисунок 3.3 – Графіки для визначення координати пучності напружень і відносних значень напружень

По графіках (рис. 3.3) можна визначити координати пучності напружень (x_2 на рис. 3.1) за кривою **1** (відношення x_2/l), а за кривою **2** – відносне значення напруження σ_m в пучності напружень. По осі абсцис відкладено відношення приведених радіусів на вході і виході інструменту.

На рис. 3.1 показано розподіл амплітуд напружень σ конічного інструменту.

Для конічного інструменту, приклад розрахунку якого поданий вище, за кривою **1** на рис. 3.3 при відношенні $R_l/R_o = 3$ відношення $x_2/l = 0,4$, тобто при довжині інструменту $l = 158$ мм пучність напруження розташована на відстані 63 мм від вихідного торця. Відносне значення напруження в пучності, визначене за кривою **2**, складає $\sigma_m = 0,63 \cdot \sigma_{m0}$, де σ_{m0} – напруження в пучності стержня постійного перерізу, що поздовжньо коливається.

На рис. 3.4 показані ультразвукові інструменти, що мають різний зовнішній профіль, а також розподіл амплітуд зміщень і напружень σ для конічного (рис.3.4, а), експоненціального (рис. 3.4, б), катеноїдального (рис. 3.4, в) і ступінчатого (рис.3.4, г) профілів інструменту. Всі ці інструменти мають напівхвильову довжину.

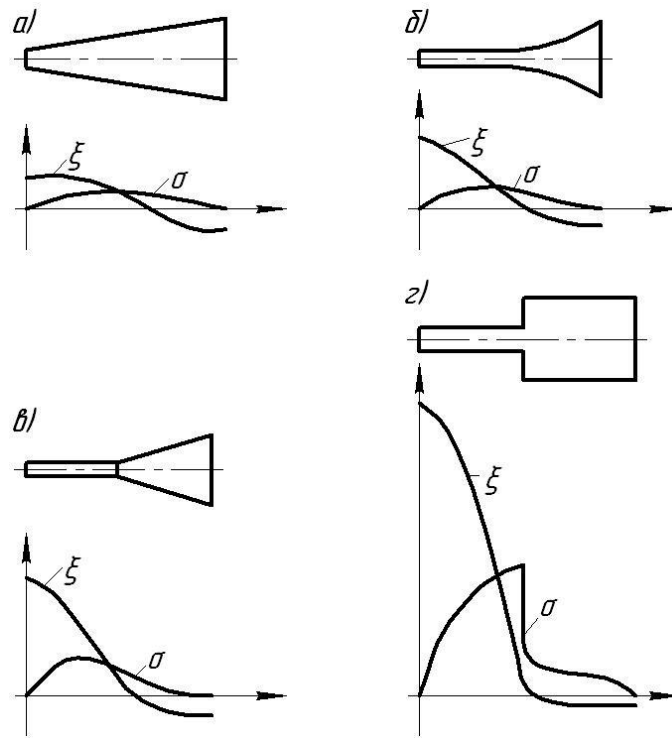


Рисунок 3.4 – Ультразвукові інструменти, що мають різний зовнішній профіль і розподіл амплітуд зміщень і напружень

Розрахунки, проведені для конічного, експоненціального і катеноїдального інструментів, показують, що при заданому коефіцієнті трансформації M і вихідному радіусі R_o найбільший вхідний радіус R_l у конічного інструменту, найменший – у експоненціального. У конічного інструменту найменше напруження в пучності, але і найбільші втрати. Інструменти конічної форми доцільно використовувати, коли амплітуди напружень σ_m в пучності близькі до межі витривалості і необхідно підвищити стійкість інструменту.

Якщо амплітуди напружень в пучності невеликі (при малих амплітудах зміщення робочого торця) і необхідно зменшити потужність, яка витрачається, доцільнішим є інструмент катеноїдальної форми. Інструмент експоненціального профілю займає проміжний стан.

При механічній обробці потужність, що розсіюється в інструменті і концентраторі повздовжніх коливань, зазвичай мала порівняно із втратами в перетворювачі і потужністю, що передається у навантаження. Тому основне значення при розрахунку коливань системи має не зменшення втрат енергії в інструменті, а підвищення надійності його роботи, і часто при механічній обробці за-

стосовують концентратори та інструменти конічної форми. Ці інструменти також простіші у виготовленні, ніж інструменти експоненціального і катеноїдального профілів.

Великого поширення набули також циліндричні ступінчасті інструменти (рис. 3.4. г), які прості у виготовленні і мають найбільший коефіцієнт трансформації.

Зміни площі по перерізах концентраторів та інструментів можна досягти, змінюючи їх внутрішній профіль. На рис. 3.5 а, б зовнішній профіль інструменту циліндричний, а внутрішній – експоненціальний або східчастий.

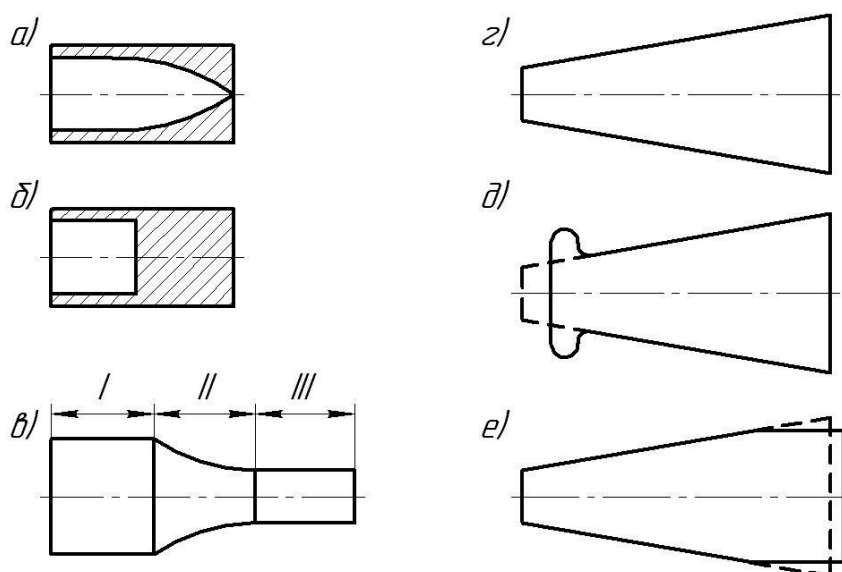


Рисунок 3.5 – Концентратори і інструменти із змінним внутрішнім профілем

При ультразвуковій обробці часто доводиться проектувати інструменти і концентратори нерегулярної форми із різними виступами, потовщеннями, пазами, лисками. При розрахунку такі інструменти розбивають на ділянки, в межах яких площа поперечного перерізу змінюється за відомим законом.

На рис. 3.5, в зображений складний інструмент. При розрахунку його розбивають на три ділянки: *I* – циліндр великого діаметру, *II* – відрізок стрижня конічної або експоненціальної форми і *III* – циліндр малого діаметру. Параметри кожної ділянки розраховують графічним або аналітичним методом.

Щоб із достатньою для практики точністю, не вдаючись до громіздких розрахунків, спроектувати інструмент нерегулярної форми, спочатку слід розрахувати контур інструменту регулярної форми, наприклад конічно-

го (рис. 3.5, г). Якщо на кінці інструменту передбачено потовщення (рис. 2.5, д), то інструмент необхідно укоротити рівно настільки, щоб із знятого матеріалу можна було отримати виступ заданих розмірів.

Якщо ж на кінці мають бути зняті лиски (рис. 3.5, е), то довжина інструменту має бути збільшена за рахунок знятого матеріалу. Розподіл амплітуд зміщень в частині інструменту, що залишилася, майже не змінюється в порівнянні з інструментом регулярної форми. За наявності лисок крива розподілу немов розтягується, а за наявності потовщень – обривається. У обох випадках коефіцієнт трансформації M дещо зменшується. При додатковому звуженні меншого діаметру торця або розширенні більшого діаметру торця інструменту коефіцієнт трансформації зростає.

Розглянуті формули і графіки визначення довжини хвилі і частоти власних коливань, розташування вузлів і пучностей отримані для режиму роботи, коли зовнішні дії відсутні (на кінці знаходяться вузли напруження). Вони справедливі, коли виправдане допущення, покладене в основу наближеної теорії. Це допущення полягає в тому, що розподіл зміщень і напружень залежить від однієї координати, тобто всі точки в площині перерізів, перпендикулярних осі інструменту, коливаються із однаковими амплітудами і фазами.

Реальний розподіл швидкостей і напружень відрізняється від того, що ідеалізується, з ряду причин, пов'язаних з умовами розповсюдження коливань в інструменті та із зовнішніми впливами.

По-перше, в інструменті окрім коливань, направлених вздовж осі, виникають зміщення в площині поперечного перерізу, зумовлені пружністю форми. Їх значення визначаються коефіцієнтом Пуассона. Якщо розміри поперечного перерізу менші довжини подовжньої хвилі, поперечне розтягування – стискання не впливає на характер коливань. При збільшенні поперечних розмірів зростають зміщення в радіальному напрямі (у плоско-поперечному перерізі) і починають діяти сили, що надають прискорення зовнішнім шарам інструменту.

По-друге, внаслідок поступових змін поперечних розмірів інструменту на його зовнішні і внутрішні шари здійснюють вплив різні за значенням сили.

У результаті в напрямку осі виникають деформації зрушення. Особливо істотно викривляються коливання в інструменті внаслідок зовнішніх дій.

Дія всіх цих чинників не піддається кількісній оцінці. Тому інструменти і концентратори розраховують за схемою, що ідеалізується. Отримані рішення дозволяють визначити область переважних значень параметрів інструменту. Наприклад, при відомому коефіцієнті трансформації, заданій частоті і амплітуді визначається довжина інструменту. Діаметр інструменту вибирається з додаткових умов: із збільшенням діаметру збільшується жорсткість, але одночасно зростають втрати в інструменті.

3.3 Варіанти завдань

Варіанти завдань представлені в додатку В, таблиця В1.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов О.В. и др. Ультразвуковая обработка материалов / О.В. Абрамов, И.Г. Хорбенко, Ш. Швелга. Под ред. О.В. Абрамова. – М.: Машиностроение; Братислава: Альфа, 1984. – 280 с.
2. Киселев М.Г. Электроэрозионная обработка материалов. Учеб.-метод. пособие / М.Г. Киселев, Ю.Ф. Ляшук, В.Л. Габец. – Минск: технопринт, 2004. – 111 с.
3. Коваленко В.С. Лазерная технология: Учеб. для вузов по спец. «Машины и технология высокоэффектив. процессов обраб.». – Киев: Выща школа, 1989. – 278 с.
4. Немилов Е.Ф. Электроэрозионная обработка материалов: Учеб. пособие для техн. уч-щ. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. – 160 с.
5. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учеб. пособие для машиностроит. вузов и фак. – В 2-х т. / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др.: Под ред. В.П. Смоленцева. – М.: Высшая школа, 1983. – 22 с
6. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие (в 2-х томах). – М.: Высш. шк., 1983. – 247 с.
7. Артамонов Б.А., Вишницкий А.Л., Волков Ю.С. Размерная электрическая обработка металлов. – М.: Высшая школа, 1978. – 336 с.
8. Коваленко В.С. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. К.: Вища школа, 1983 – 176 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А 1 – Варіанти завдань для розрахунку технологічних показників процесу електроерозійної обробки непрофільованим електродом-інструментом

№ варіанту	Матеріал заготовки	Шорсткість	Товщина заготовки	Діаметр електроду-інструменту
1	ВК20	0,63	25	0,3
2	ВК15	0,8	26	0,25
3	ВК8	1,0	27	0,2
4	Т15К6	1,25	28	0,15
5	У10А	1,25	29	0,1
6	Х12М	1,6	30	0,3
7	ХВГ	2,0	31	0,25
8	Р9	2,5	32	0,2
9	ВК20	2,5	33	0,15
10	ВК15	3,2	34	0,1
11	ВК8	4,0	35	0,3
12	Т15К6	5,0	34	0,25
13	У10А	5,0	33	0,2
14	Х12М	6,3	32	0,15
15	ХВГ	8,0	31	0,1
16	Р9	10,0	30	0,3
17	ВК20	1,25	29	0,25
18	ВК15	1,0	28	0,2
19	ВК8	0,8	27	0,15
20	Т15К6	0,63	26	0,1
21	У10А	2,5	25	0,3
22	Х12М	2,0	26	0,25
23	ХВГ	1,6	27	0,2
24	Р9	1,25	28	0,15

Таблиця Б1 – Варіанти завдань для розрахунку профільованого електрода-інструмента

№ варіанту	Наскрізний отвір			Глухий отвір				Матеріал заготовки	Якість обробки
	Схема	d	h	Схема	d	h	H		
1	а	5	10	ж	15	30	45	ВК20	Чистова
2	б	4	15	з	16	40	50	ВК15	Напівчистова
3	в	3	8	д	17	40	50	ВК8	Чорнова
4	г	2	6	е	18	35	45	Т15К6	Чистова
5	а	1	4	з	19	45	55	У10А	Напівчистова
6	б	2	8	д	20	40	50	Х12М	Чорнова
7	в	3	9	е	21	50	55	ХВГ	Чистова
8	г	4	10	ж	22	50	55	Р9	Напівчистова
9	а	5	12	е	23	45	65	ВК20	Чорнова
10	б	6	16	з	24	35	65	ВК15	Чистова
11	в	7	15	з	25	35	45	ВК8	Напівчистова
12	г	8	16	д	30	60	65	Т15К6	Чорнова
13	а	9	20	е	8	20	30	У10А	Чистова
14	б	10	25	ж	5	15	25	Х12М	Напівчистова
15	в	12	24	з	4	10	20	ХВГ	Чорнова
16	г	14	26	д	5	10	20	Р9	Чистова
17	а	16	30	е	4	16	25	ВК20	Напівчистова
18	б	18	35	ж	3	10	26	ВК15	Чорнова
19	в	20	40	ж	2	6	15	ВК8	Чистова
20	г	15	30	д	6	15	20	Т15К6	Напівчистова
21	а	17	30	з	7	15	20	У10А	Чорнова
22	б	21	50	д	4	8	20	Х12М	Чистова
23	в	24	50	е	5	15	25	ХВГ	Напівчистова
24	г	25	45	ж	6	20	30	Р9	Чорнова
25	а	8	20	д	10	25	30	ВК20	Чистова

Розрахувати довжину інструмента l , розміри поперечних перерізів R_x , розподіл амплітуд напружень σ і зміщень ζ , місця розташування пучностей і вузлів стоячих хвиль.

Таблиця В1 – Варіанти завдань

№ варіанту	Частота коливань, f , кГц	Коефіцієнт трансформації, M	Матеріал інструменту	Вихідний радіус інструменту, R_0 , мм	Амплітуда зміщень, ζ_m , мкм
1	18	2	Ст Р6М5	3	15
2	19	2,5	Сплав АмГ	4	16
3	20	3	Титан ВТ1	5	17
4	21	2	Ст Р6М5	6	18
5	22	2,5	Сплав АмГ	7	19
6	23	3	Титан ВТ1	8	20
7	24	2	Ст Р6М5	10	21
8	25	2,5	Сплав АмГ	3	22
9	26	3	Титан ВТ1	4	23
10	27	2	Ст Р6М5	5	24
11	28	2,5	Сплав АмГ	6	25
12	29	3	Титан ВТ1	7	26
13	30	2	Ст Р6М5	8	27
14	31	2,5	Сплав АмГ	10	28
15	32	3	Титан ВТ1	3	29
16	33	2	Ст Р6М5	4	15
17	34	2,5	Сплав АмГ	5	16
18	35	3	Титан ВТ1	6	17
19	36	2	Ст Р6М5	7	18
20	37	2,5	Сплав АмГ	8	19
21	38	3	Титан ВТ1	10	20
22	39	2	Ст Р6М5	3	21
23	40	2,5	Сплав АмГ	4	22
24	41	3	Титан ВТ1	5	23
25	42	2	Ст Р6М5	6	24
26	43	2,5	Сплав АмГ	7	25
27	44	3	Титан ВТ1	8	26
28	45	2	Ст Р6М5	10	27
29	46	2,5	Сплав АмГ	11	28
30	47	3	Титан ВТ1	12	29

Швидкість поширення звуку:

- сталь 5100 – 5177 м/с;
- титан 5072 м/с;
- сплав АмГ 5200 м/с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Розрахунок технологічних показників процесу електроерозійної обробки непрофільованим електродом-інструментом	4
1.1 Короткі теоретичні відомості.....	4
1.2 Послідовність розрахунку	4
1.3 Варіанти завдань.....	7
2. Розрахунок профільованого електрода-інструмента.....	8
2.1 Короткі теоретичні відомості.....	8
2.2 Приклад розрахунку.....	11
2.3 Варіанти завдань.....	13
3. Розрахунок концентраторів і ультразвукових інструментів, що поздовжньо коливаються.....	14
3.1 Короткі теоретичні відомості.....	14
3.2 Приклад розрахунку.....	18
3.3 Варіанти завдань.....	23
Рекомендована література.....	24
Додатки	
Додаток А.....	25
Додаток Б	26
Додаток В.....	27