

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Технологія та обладнання прогресивних методів обробки
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

“Технологічні методи формування поверхневого шару деталей машин ”
для студентів за напрямом підготовки 131 “Прикладна механіка ” всіх форм
навчання

Чернігів ЧНТУ 2016

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Технологія та обладнання прогресивних методів обробки
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

“Технологічні методи формування поверхневого шару деталей машин ”
для студентів за напрямом підготовки 131 “Прикладна механіка ” всіх форм
навчання

Затверджено на засіданні кафедри
технології машинобудування та
деревообробки
протокол №3 від 04.10.2016 р.

Чернігів ЧНТУ 2016

Технологія та обладнання прогресивних методів обробки. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технологічні методи формування поверхневого шару деталей машин ” для студентів напряму підготовки 131 “Прикладна механіка ” всіх форм навчання. /Укладачі: Ігнатенко П.Л., Бойко С.В., Ігнатенко О.А., Мазій І.І.– Чернігів: ЧНТУ, 2016.– 33с.

Укладачі: Ігнатенко Павло Леонідович, доцент,
Бойко Сергій Васильович, доцент,
Ігнатенко Олена Анатоліївна, асистент,
Мазій Ірина Іванівна, методист 1-ї категорії

Відповідальний за випуск: Єрошенко А.М., завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Венжега Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету

Зміст

Передмова.....	5
Загальні відомості.....	5
Оформлення звіту з лабораторної роботи.....	5
Лабораторна робота № 1. Швидкість з'єму металу та зношування електроду інструменту при електроерозійній обробці.....	7
Лабораторна робота № 2. Різка деталей не профільованим електродом...	12
Лабораторна робота № 3. Обробка отворів лазерним випромінюванням...	17
Лабораторна робота. № 4. Вібросвердління глибоких отворів.....	21
Лабораторна робота № 5. Алмазне вигладжування.....	25
Лабораторна робота № 6. Віброобкатування циліндричних поверхонь.....	30

Передмова

Метою вивчення дисципліни “Технологічні методи формування поверхневого шару деталей машин ” студентами напряму підготовки 0902 „Інженерна механіка ” є отримання знань і основних понять з теорії технологічних методів формування поверхневого шару деталей , геометричних та фізико-механічних параметрів поверхневого шару металу при різних методах технологічного впливу, впливу якості поверхні, хімічної та хіміко-термічної обробки на експлуатаційні властивості деталей машин, щоб у подальшому використовувати одержані знання для поліпшення діючих і розробки нових технологічних процесів виготовлення машин, апаратів і обладнання.

Метою проведення лабораторних занять є закріплення теоретичних основ курсу, ознайомлення з технологічними можливостями різних методів обробки металів різанням, структурними схемами обробки різанням, факторами, які впливають на зміну поверхневого шару металу деталей, основами технології машинобудування, причинами виникнення залишкових напружень в поверхневому шарі, технологічними можливостями різних методів обробки металів різанням, особливостями впливу якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин, цілями вимірювання твердості, мікротвердості, та устаткування для вимірювання та контролю, особливостями обробки на різних типах металорізальних верстатів.

Методичні вказівки призначені для надання допомоги студентам при підготовці та виконанні лабораторних робіт.

Загальні відомості

Лабораторні роботи виконуються відповідно до графіку, який доводиться до відома студентів на першому занятті.

До лабораторних робіт допускаються студенти, які вивчили теоретичний матеріал за конспектом, підручником та методичними вказівками і оформили частину звіту до підрозділу "Дані виконання роботи".

Оформлення звіту з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи оформляється по ДОСТУ 300В-95 на одній стороні аркушів паперу формату А4 (210x297 мм). Аркуші звіту повинні мати береги лівий, верхній і нижній 20 мм, правий 10 мм.

Перенесення слів у заголовках, запис заголовку на одній сторінці, а початок тексту на іншій, скорочення слів, крім загальноприйнятих, не допускається.

Звіт з кожної лабораторної роботи є розділом загального звіту з лабораторних робіт. Звіт з кожної лабораторної роботи повинен мати таку структуру:

1. Номер лабораторної роботи;
2. Назва лабораторної роботи;
3. Кета роботи;
4. Теоретична інформація;
5. Оснащення роботи;
6. Дані виконання роботи;
7. Висновки.

В підрозділі "Теоретична інформація" необхідно обов'язково привести основні визначення та рисунки крім тих, які дозволяється не виконувати.

У підрозділі "Висновки" описати знання, вміння та навички, отримані та набуті при виконанні лабораторної роботи.

Всі підрозділи і рисунки повинні мати номер. Рисунки повинні мати назву. Номер і назву рисунків вказують під рисунком.

Нумерація підрозділів та рисунків включає номер лабораторної роботи і порядковий номер підрозділу або рисунка в межах однієї лабораторної роботи. Наприклад: Рисунок 1.1 - перший рисунок в звіті з лабораторної роботи № 1.

Після виконання всіх лабораторних робіт окремі звіти скріплюються в загальний звіт, оформляється титульний аркуш (дивись додаток 1) і всі сторінки нумеруються. Нумерація повинна бути наскрізною. Першою сторінкою є титульний аркуш, на якому номер не проставляється. Нумери наступних сторінок проставляються арабськими цифрами в правому верхньому куті аркуша. Звіт з циклу лабораторних робіт пред'являється викладачеві при складанні заліку з курсу.

1 Лабораторна робота № 1

ШВИДКІСТЬ ЗНЯТТЯ МЕТАЛУ ТА ЗНОШУВАННЯ ЕЛЕКТРОДУ-ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНІЙ ОБРОБЦІ

1.1 Мета роботи

Ознайомлення з електроерозійним верстатом, його основними вузлами, управлінням, визначення швидкості зняття металу та зношування електроду-інструменту.

1.2 Інформація для самостійної підготовки

В основі електроерозійної обробки лежить використання енергії електричного розряду, який збуджується між електродами (інструментом і заготовкою, яка оброблюється). Енергія електричного розряду перетворюється в теплову за рахунок високої температури матеріал заготовки розплавляється і частково випаровується.

Електроерозійну обробку широко використовують в промисловості при виготовленні деталей з важкооброблюваних струмопровідних матеріалів.

Робота виконується на універсальному електроерозійному копіювально-прошивочному верстаті моделі 4Г721М. На верстаті можуть виконуватись наступні операції: виготовлення отворів малих діаметрів і вузьких щілин, гравіювальні роботи, видалення уламків ріжучого інструменту /мітчиків, свердл/, розрізка заготовок невеликого розрізу, виготовлення і ремонт штампів невеликого розміру і інші.

Верстат складається з наступних основних вузлів і деталей (рисунок 1.1) станини 1, каретки 2, інструментальної головки 3, вани 4, в якій знаходиться діелектрична рідина. Оброблювана деталь закріплюється на столі 5, а електрод-інструментів інструментопідтримачі за допомогою гайки б. Керування верстатом робиться з пульта керування генератора 7.

Матеріалами для електродів-інструментів використовують: мідь, латунь, вольфрам та інші матеріали і сплави.

Продуктивність визначається об'ємом матеріалу, який видаляється за одиницю часу. Вона залежить від таких факторів як режим обробки, матеріал заготовки і матеріал електроду-інструменту, а також від діелектричного середовища, в якому іде процес обробки.

В процесі обробки має місце не тільки руйнування деталі, але і руйнування електроду-інструменту, яке супроводжується зміною його профіля, що в кінцевому рахунку призводить до зміни геометричної форми оброблюваної поверхні.

До матеріалу електроду-інструменту пред'являються наступні вимоги: 1. ерозійна стійкість; 2. добра оброблюваність при його виготовленні потрібної конфігурації і точності; 3. достатня міцність; 4. невелика вартість матеріалу.

Практично дуже важко забезпечити сполучення в одному матеріалі електроду-інструменту всіх цих якостей і тому до цього часу вибір матеріалу електроду-інструменту є складною задачею.

Але вже є можливість для електродів-інструментів при виконанні різних операцій рекомендувати наступні матеріали (таблиця 1.1). Умовні позначення: + використовується; - не використовується; 0 обмежене використання.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані матеріали електродів-інструментів

Операція	Матеріал									
	Мідь	Чавун	Латунь	Сталь	Углеродистий	Алюміній	Твердий сплав	Феросплав	Свинець	Міднографіт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Прошивка малих отворів	0	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Прошивка середніх отворів	+	+	+	0	+	+	0	-	-	+
Гравірування по сталі	+	0	+	-	0	-	-	-	-	+
Розрізка	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Шліфування і заточка	+	+	+	+	0	-	-	-	-	0
Зміцнення інструменту і деталей	-	0	-	-	+	-	+	+	-	0
Розпис по металу	+	-	-	0	-	+	0	-	+	-

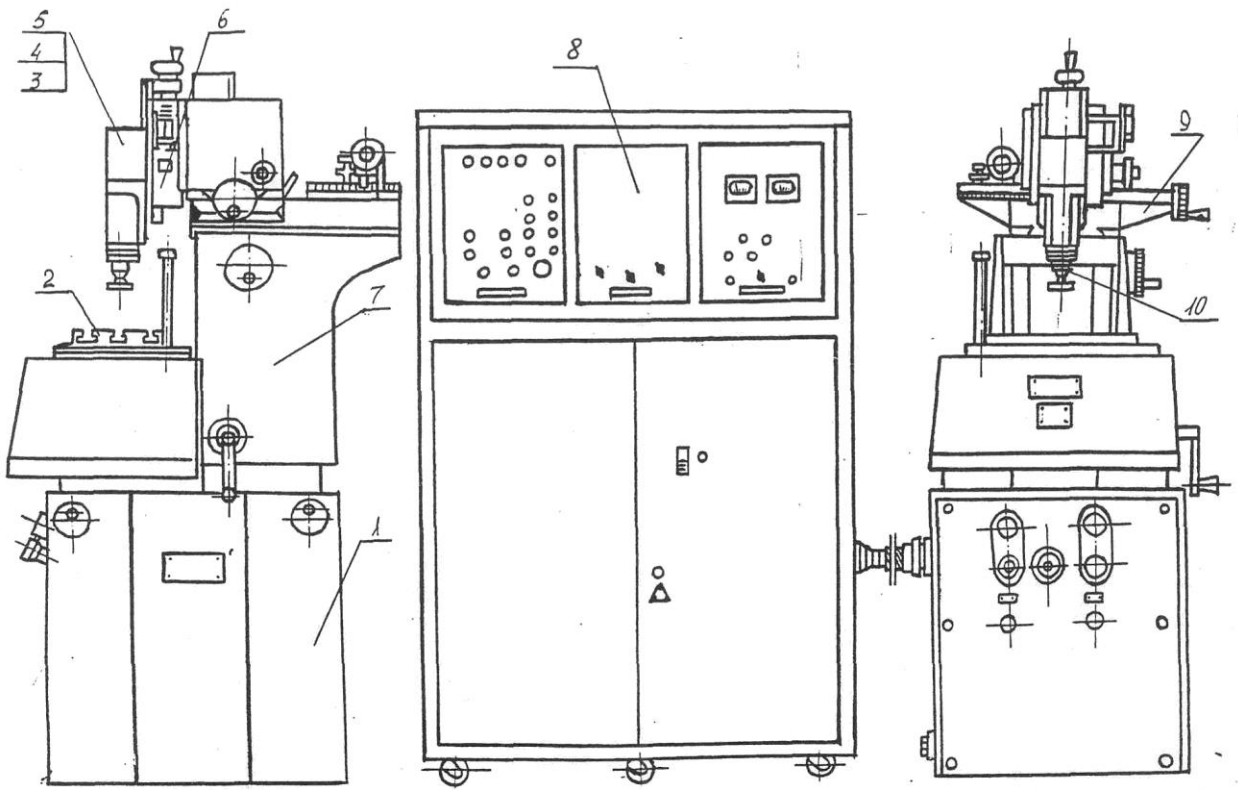


Рисунок 1.1 – Верстат електроерозійний копіювально-прошивочний моделі 4Г721М

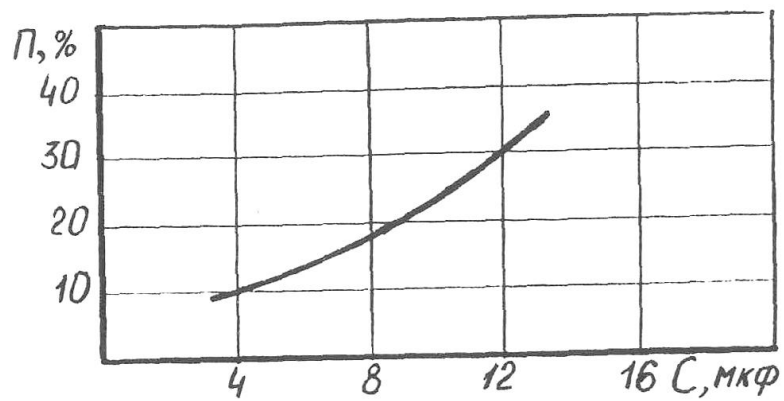


Рисунок 1.2 – Графік залежності відносного спрацювання інструменту від ємкості

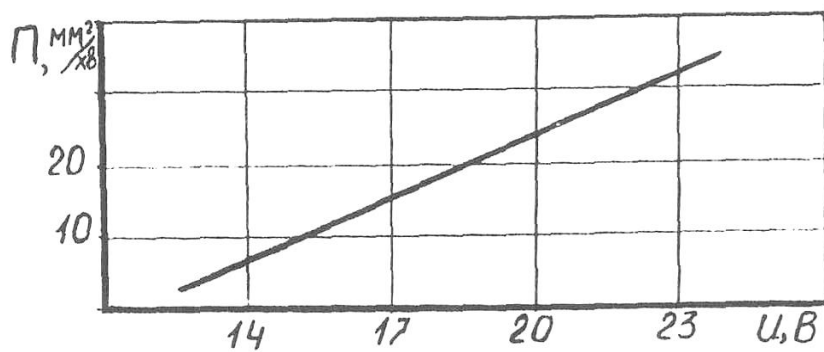


Рисунок 1.3 – Графік залежності продуктивності від напруги

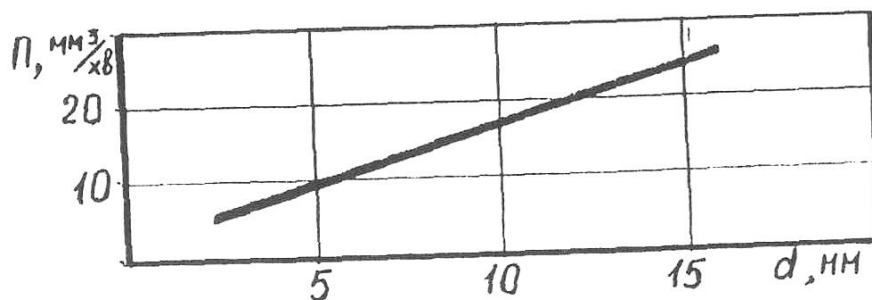


Рисунок 1.4 – Графік залежності продуктивності від діаметру інструменту

Вибір матеріалу інструменту залежить не тільки від того металу з якого він виготовлений, але й від того, яким генератором імпульсів оснащений верстат. При обробці твердих сплавів найбільша продуктивність забезпечується при використанні латунних, вольфрамових, міднографітових електродів, а також вольфрамомідних, молібденомідних. Непридатні для виготовлення електроду-інструменту при обробці твердих сплавів сталь, алюміній, і графіт.

Таким чином, при обробці твердих сплавів електроіскровим способом можна виготовляти електроди-інструменти із латуні ЛС-59, міді, чавуну, а при виготовленні прецизійних отворів - з вольфраму. Але у всіх випадках відбувається велике зношування електроду-інструменту.

Зношування електроду-інструменту називається відношення зменшення кількості матеріалу електроду до кількості матеріалу, знятого з оброблюваної деталі. Це відношення виражається у відсотках.

На початку обробки розряди, які протікають між поверхнею деталі і торцем інструменту не дуже впливають на зміну форми електроду-інструменту. При заглибленні інструменту в тіло деталі на деяку величину, поряд з зношуванням його торцевої поверхні починається зношування і бокових поверхонь. При подальшому заглибленні інструменту профіль його все більше змінюється, і при виході його торця з протилежної сторони деталі геометричні форми обробленої поверхні відрізняються від потрібної. Для наближення одержаної форми до потрібної обробку продовжують до тих пір, поки торець інструменту не вийде за межі деталі на величину, яка приблизно складає 1,5-2,0 глибини обробки.

З підвищенням параметрів режиму обробки, для прийнятих матеріалів інструменту і заготовки, росте величина зношування електроду-інструменту. Крім того, на величину зношування інструменту, при інших рівних умовах дуже впливає хімічний склад матеріалу електроду і заготовки.

Знаючи вагу металу, що зняли з заготовки і час обробки, можна визначити продуктивність процесу:

$$V_3 = \frac{P_1 - P_2}{\gamma \cdot t} \cdot 1000$$

- де P_1 – вага зразка до обробки, г;
 P_2 – вага зразка після обробки, г;
 t – час обробки, хв;
 γ – питома вага, г/см³ (для сталі 7,8).

В процесі обробки електрод-інструмент зношується. Зношування інструменту можна визначити за формулою:

$$S = \frac{(G_{Э1} - G_{Э2}) \cdot \gamma_{Э}}{(G_{З1} - G_{З2}) \cdot \gamma_{З}} \cdot 100\%$$

- де $G_{Э1}$ – вага електроду-інструменту до обробки, г;
 $G_{Э2}$ – вага електроду-інструменту після обробки, г;
 $G_{З1}$ – вага зразка до обробки, г;
 $G_{З2}$ – вага зразка після обробки, г;
 $\gamma_{З}$ – питома вага матеріалу зразка;
 $\gamma_{Э}$ – питома вага матеріалу електроду-інструменту.

Примітка: питома вага міді $\gamma = 8,6 \text{ г/см}^3$.

1.3 Оснащення роботи

Для проведення роботи необхідні електроерозійний копіювально-прошивочний верстат моделі 4Г72ІН, зразки матеріалу для прошивки отворів з сталі 45, електрод-інструмент із міді М1, генератор, терези до 1 кг, гирі ГОСТ7328-81, інструмент для налагодження верстата.

1.4 Методика проведення роботи

1. Визначити вагу електроду-інструменту і деталі до обробки.
2. Встановити і закріпити оброблювану деталь на столі верстату.
3. Встановити і закріпити електрод-інструмент.
4. Підвести електрод-інструмент до місця, яке потрібно обробити.
5. Включити верстат в електромережу (прогріти 2 хв).
6. Встановити потрібний режим обробки.
7. Натиснути кнопку "Пуск".
8. Включити вібратор.
9. Після закінчення прошивки виключити верстат.
10. Зняти електрод-інструмент і заготовку, протерти ганчіркою і визначити їх вагу після обробки.
11. Визначити продуктивність процесу і зношування електроду-інструменту.

1.5 Техніка безпеки

1. Категорично забороняється торкатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою при роботі верстату.
2. Біля верстату і генератору повинні бути покладені діелектричні килимки.
3. Перед встановленням інструменту і виробу необхідно впевнитись, що верстат не знаходиться під напругою.
4. Категорично забороняється під час роботи відкривати кришки і дверцята верстату і генератору.

1.6 Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Методика виконання роботи.
4. Виконати ескіз деталі.
5. Визначити продуктивність процесу в залежності від режиму обробки, а також величину зношування електроду інструменту
6. Зробити висновки по роботі.

1.7 Питання для самостійної підготовки

1. Суть процесу електроерозійної обробки.
2. Фактори, які впливають на продуктивність процесу.
3. Матеріали, які використовуються для виготовлення електроду-інструменту.
4. Область використання процесу електроерозійної обробки.
5. Основні вузли електроерозійного верстату моделі 4Г721М.

1.8 Література

1. Артамонов Б.А. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Т.1. — М.:Высшая школа, 1983. — 247 с.
2. В.С.Коваленко. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. — Киев: Высшая школа, 1983. — 176 с.

2 Лабораторна робота № 2

РІЗКА ДЕТАЛЕЙ НЕПРОФІЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОДОМ

2.1. Мета роботи

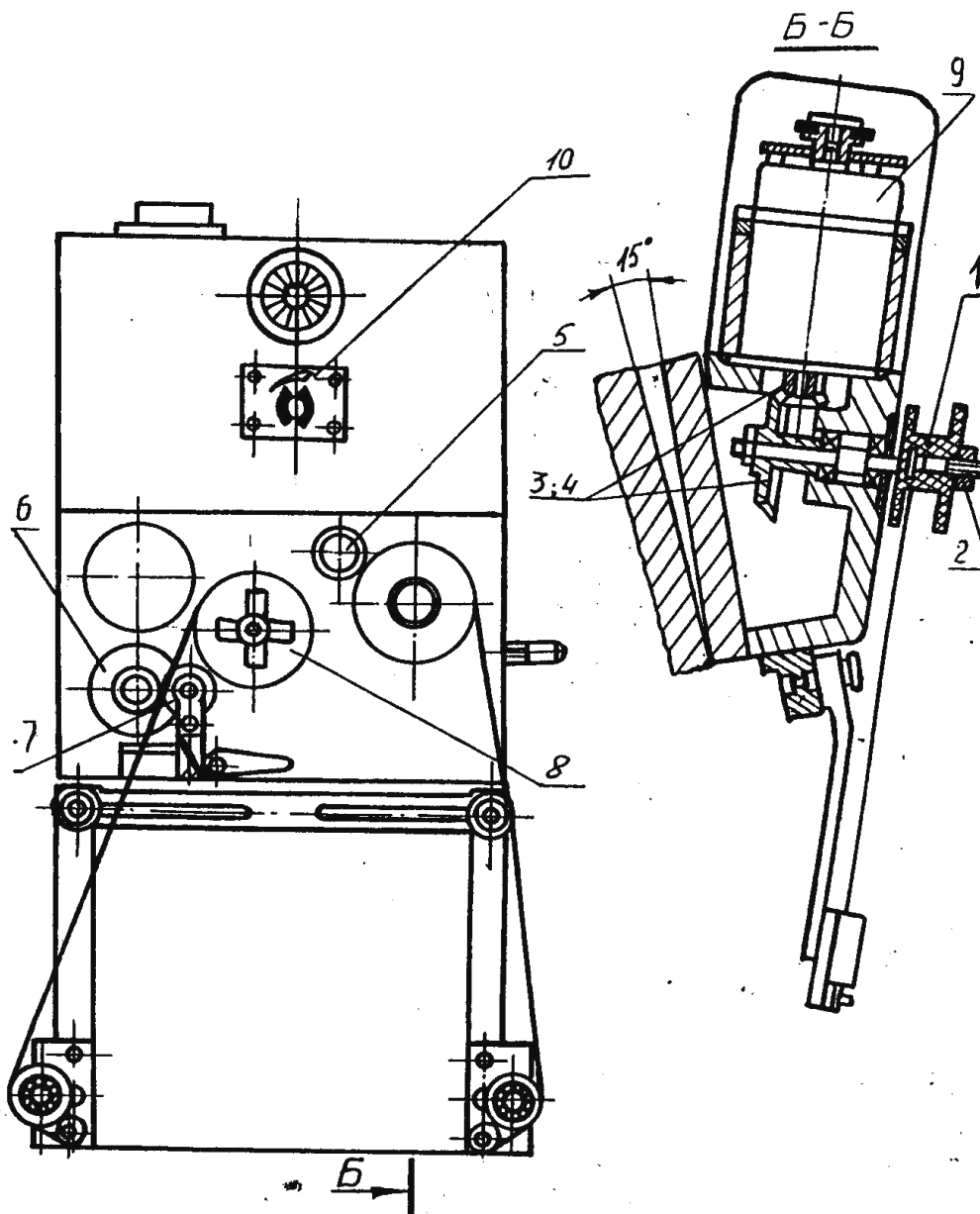
Ознайомлення з процесом різки заготовок непрофільованим електродом-дротом, визначення продуктивності і точності обробки.

2.2 Інформація для самостійної підготовки

Розрізні операції електродом-дротом часто використовуються на машино- і приладобудівних підприємствах. Обробку ведуть непрофільованим електродом-дротом, який постійно відновлюється в зоні обробки перемотуванням з подаючої котушки на приймальну.

Механізм різки дротом /рисунок 2.1/ складається з двох механізмів: механізму натягування і механізму намотки дроту. Обидва механізми змонтовані в одному корпусі. Для збільшення зони обслуговування столу

корпус механізму нахилений на 15° по відношенню до направляючих (на рисунку не вказано).



1 – катушка з дротом; 2 – вісь; 3,4 – конічні шестерні; 5 – гальмівний механізм; 6 – ролик приводний; 7 – ролик прижимний; 8 – катушка приемна; 9 – електродвигун; 10 – ручка регулювання напруги дроту.

Рисунок 2.1 – Механізм дротової різки

Механізм різки дроту кріпиться на коретці головки.

Для здійснення необхідного натягу тонкого дроту-електроду використовується електродвигун 9. Катушка 1 з дротом кріпиться на осі 2, яка через пару конічних шестерен 3 і 4 зв'язана з валом двигуна. Двигун обладнаний гальмівним механізмом 5, який перешкоджає розкручуванню катушки з дротом при її обриві.

Дріт з катушки механізму натягування 2 протягується між двома роликами 6 і 7, один з яких є привідним, другий натискний. Потім дріт натягується на прийомну катушку 8.

Швидкість перемотки дроту визначається виходячи із параметрів вибраного режиму обробки (енергія імпульсу, частоти повторення розрядних імпульсів), переріз дроту вимоги по точності такі, щоб її зношування не впливало на точність деталі. Діапазон швидкостей перемотки дроту 4-20 мм/с.

Потрібну швидкість перемотки дроту встановлюють варіантом, який розташований на генераторі.

Швидкість перемотки залежить від діаметру дроту, матеріалу її і оброблюємої деталі та ін.

Діаметр дроту вибирається в залежності від ширини різця, яка дорівнює:

$$b = a + 2S$$

де a – діаметр дроту, мм;
 S – боковий зазор, мм.

Зазори залежать від режиму обробки, натягіння дроту і змінюються в широких межах: при обробці сталі $S = 7...17$ мкм, при розрізанні твердих сплавів $S = 6...18$ мкм. Більш точно величина бокового зазору S визначається по емпіричним залежностям:

при обробці сталі

$$S = 0,535 C^{1/4} U^{2/3} (1 + 0,014h), \text{ мм}$$

при обробці твердих сплавів

$$S = 0,62 C^{1/4} U^{2/3} (1 + 0,014h), \text{ мм}$$

де C – смність, мкф;
 U – напруга, В;
 h – товщина оброблюваної деталі, мм.

Найкращим матеріалом для електрод-дроту є мідь. Однак, дріт діаметром менш 0,08 мм використовувати важко тому, що він недостатньої міцності. В таких випадках використовують вольфрамовий або молібпеновий дріт діаметром 0,005-0,04 мм.

Продуктивність обробки електрод-дротом визначається площею поверхні, яка розрізняється в одиницю часу. З ростом висоти різця продуктивність спочатку збільшується по деякої величини, а потім починає зменшуватись (рисунок 2.2).

Для кожного значення імпульсного струму вибирається оптимальна висота різця, при якій продуктивність досягає максимуму.

З ростом імпульсного струму продуктивність зростає. Для досягнення максимальної продуктивності при обробці деталей з висотою різця менш 15 мм потрібно використовувати частоту імпульсів 8 кГц, для деталей з висотою різця більш 15 мм — 22 кГц.

Продуктивність різки незагартованих і загартованих сталей відрізняється несуттєво. Використання тугоплавких легуваних елементів знижує продуктивність різки сталей.

На існуючому обладнанні забезпечується продуктивність до 10 мм² /хв.

Непрофільованим електродом розрізають високоточні деталі, прорізають тонкі прямі і фігурні щілини та наскрізні отвори постійного перерізу, виготовляють сталеві і тврдосплавні матриці, вирубні штампи, фасонні різці та ін.

Таблиця 2.1 – Режими обробки електродом-дротом

Матеріал	Дріт			Частота, кГц	Напруга, кВ	Ємкість, мкф	Швидкість обробки при товщині деталі 5 мм	Продуктивність, мм ² /хв.	Зазор, мкм
	Діаметр, мм	Швидкість Перемотування мм/хв	Напруга, В						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мідь	0,05	4	15	11-12	1,5	1000	0,30	0,08	5
	0,08	4	15	11-12	1,5	3000	0,35	0,17	8
	0,10	4	85	6	1,5	6000	0,40	0,26	10
	0,15	3	125	6	1,5	8000	0,60	0,53	15
	0,20	3	500	6	2,5	8000	0,65	0,85	20-40
	0,50	2	2000	4	3,5	20000	2,0	6,0	
Вольфрам	0,04	4	25	11-12	1,5	1000	0,15	0,04	2,5

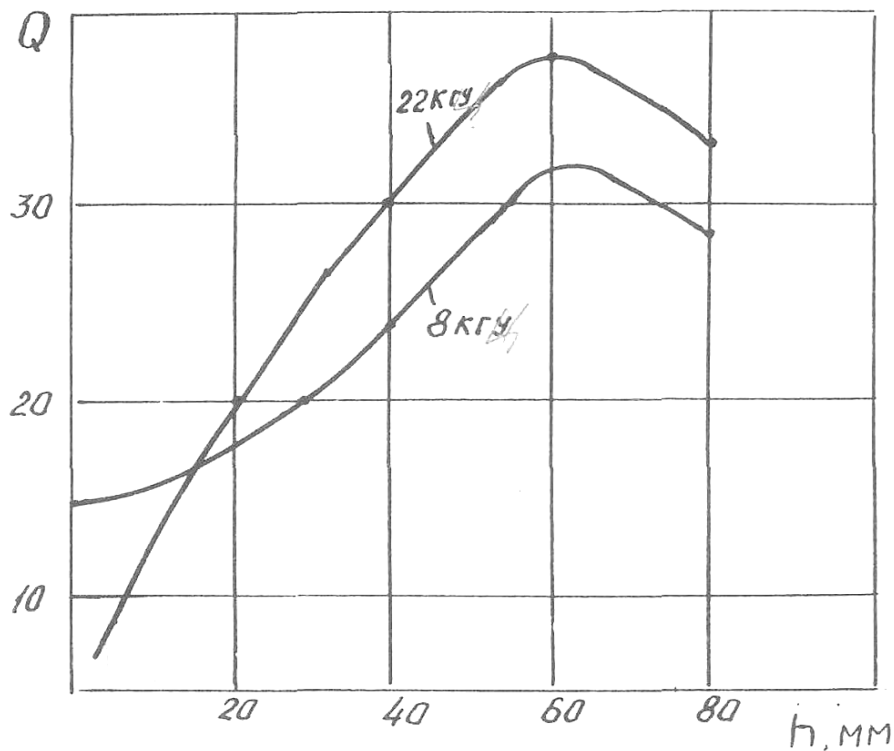


Рисунок 2.2 – Залежність максимальної продуктивності різання від висоти різання. Матеріал сталь 45. діаметр дроту 0.25 мм

2.3 Оснащення роботи

Робота проводиться на електроерозійному копіювально-прошивному верстаті моделі 4Г721Н. Зразки листового матеріала із сталі, латуні, твердого сплаву товщиною 1-5 мм, не профільований електрод-дріт діаметром 0,2 - 0,3 мм з латуні Л62, мікрометр 0 - 25 мм, лупа Брінеля, інструменти для настроювання верстату, секундомір.

2.4 Методика проведення роботи

1. Ознайомитися з конструктивними особливостями механізму різки дротом.
2. Встановити механізм різки дротом. Взяти дріт потрібного діаметру.
3. Вибрати і розрахувати режими обробки електродом-дротом.
4. Встановити натяжіння електроду-дроту.
5. Провести обробку деталі.
6. Визначити продуктивність процесу різки.
7. Визначити ширину паза в деталі.
8. Зробити висновки про точність обробки і продуктивність.

2.5 Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Методика виконання роботи.
4. Виконати схему механізму різки дротом і ескіз деталі.
5. Визначити продуктивність процесу і ширину пазу.
6. Зробити висновок про продуктивність процесу і точність обробки.

2.6 Питання для самостійної підготовки

1. Фактори, які впливають на продуктивність процесу обробки електродом-дротом.
2. Особливості процесу обробки електродом-дротом.
3. Матеріали, які використовуються для електрода-дроту.
4. Принцип роботи механізму різки дротом.
5. Область використання процесу різки непрофільованим електродом

2.7 Література

1. Артамонов Б. А. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Т. I. – М.: Высшая школа, 1983. – 247 с.
2. В. С. Коваленко. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. – Киев: Высшая школа, 1983. – 176 с.
3. Паспорт станка моделі 4Г721М

3 Лабораторна робота № 3

ОБРОБКА ОТВОРІВ ЛАЗЕРНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

3.1 Мета роботи

Ознайомлення з лазерною установкою, її основними вузлами, керуванням, визначенням діаметру оброблюваного отвору.

3.2 Інформація для самостійної підготовки

Лазерна обробка – це процес розмірного видалення матеріалу плавленням і випарюванням в зоні обробки під дією теплової енергії, яка в зоні обробки утворюється з світлової.

Лазерною обробкою можна одержати отвори у виробках типу фільтр, діафрагм, сит, годинникових і приладних каменів, а також прорізати щілини, пази, різати і зварювати матеріал і ін.

Енергію світлового випромінювання одержують засобами квантової електроніки. Атоми і молекули речовин можуть знаходитися на різних енергетичних рівнях (нижньому чи верхньому). Коли атом не збуджений, він знаходиться на нижньому рівні. Для переходу атома (молекули) з нижнього на верхній рівень, йому необхідно надати додаткову енергію. При переході з верхнього рівня на нижній атоми і молекули віддають цю енергію у вигляді фотона-кванта енергії відповідної частоти.

В твердотілих оптичних-квантових генераторах (ОКГ) для збудження активних атомів робочого тіла використовують імпульсні газорозрядні лампи. Опромінювання робочого тіла світлом потужної газорозрядної лампи називається накачкою. Керуваними параметрами лазерної обробки є енергетичні характеристики імпульсу ОКГ: енергія, щільність енергії, частота і тривалість імпульсів випромінювання, кількість імпульсів, які послідовно надсилаються в зону обробки, величина зміщення деталі відносно фокальної площини об'єктиву, фокусна відстань фокусуєчої системи, а також властивості оброблюємого матеріалу (рисунок 3.1).

Виведені емпіричні залежності для визначення оптимальних режимів обробки мікроотворів глибиною H і діаметром D по вході 2.

$$H = C_H E^{\alpha_H} \tau^{\beta_H} f^{\gamma_H}$$

де

$$D = 2.44 \left(\frac{\lambda}{D}\right) C_D E^{\alpha_D} F$$

де E – енергія імпульсу одиничного розряду;

F – фокусна відстань;

τ – тривалість імпульсу;

C_H, C_D – коефіцієнти оброблюємости матеріалу (наприклад для

бронзи БрКМу3-1 $C_H=275$, $C_D=0,00194$);

X_H, Y_H, Z_H – показники ступеню $X_H=0.5, Y_H=0.4, Z_H=0.45, X_D=0.4$,
 $\lambda=1.06$ мкм;

λ – довжина хвилі ОКГ;

D – діаметр робочого тіла ОКГ.

Установка СЛС-Ю складається з наступних основних вузлів: оптико-механічного блоку, стола, блоку управління, блоку живлення і лінії формування, блоку охолодження.

Активним елементом ОКГ є оптичне скло, активоване неодимом.

Блок-схема установки складається з блоку керування, блоку живлення, лінії формування, блоку підпалювання раковин, оптичної системи, індикатору енергії, блоку охолодження.

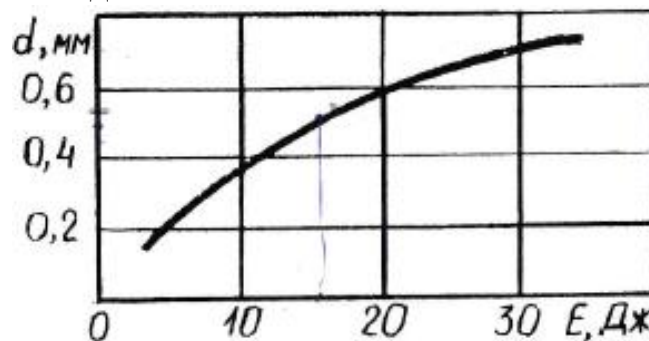


Рисунок 3.1 – Графік залежності діаметра отвору від енергії E імпульсу лазерного випромінювання при вимірюванні енергії

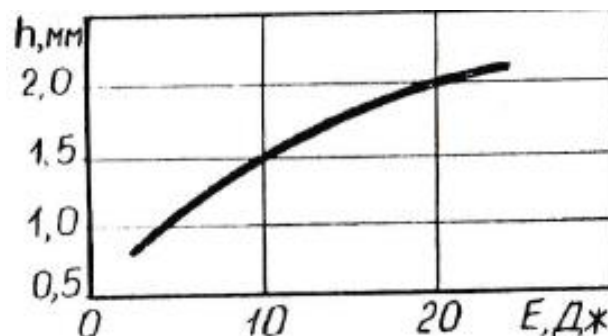


Рисунок 3.2 – Графік залежності глибини отвору від енергії імпульсу лазерного випромінювання при вимірюванні енергії

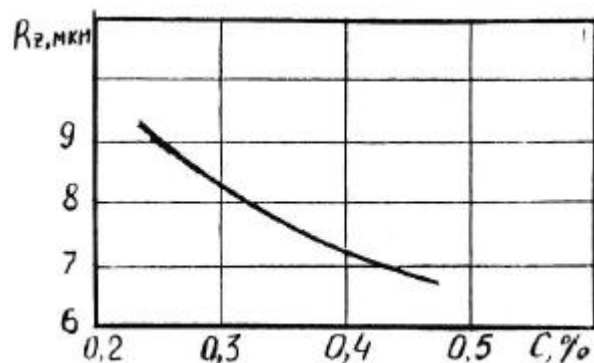
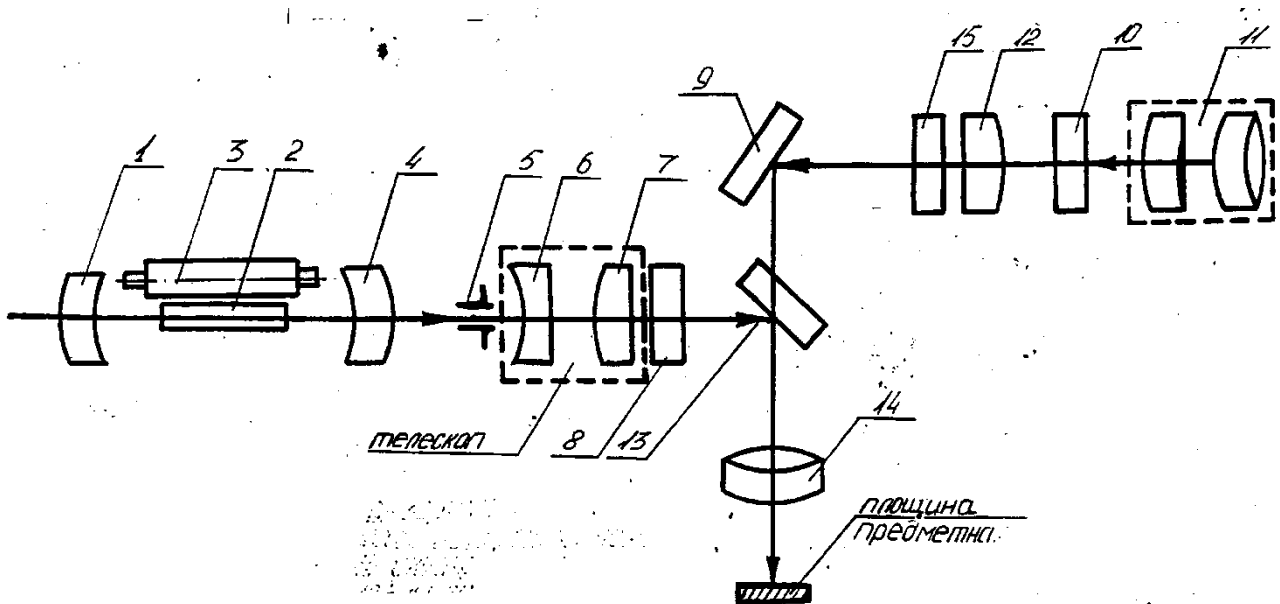


Рисунок 3.3 – Графік залежності якості поверхні в вуглецевих сталях від вмісту в них вуглецю



1 - дзеркало; 2 - елемент активний; 3 - лампа; 4 - дзеркало; 5 - діафрагма; 6,7 - телескоп з 2-х лінз; 8 - світлофільтр; 9 - дзеркало; 10 - сітка з перехрещенням; 11 - окуляр; 12 - лінза; 13 - дзеркало; 14 - об'єктив; 15 - світлофільтр

Рисунок 3.4 - Оптична схема лазерної установки СЛС-Ю

Оптична система (рисунок 3.4) складається із енергетичної системи і системи спостереження.

Енергетична система призначена для концентрації світлової енергії на оброблюваній деталі. Ця система складається з активного елемента 2, що опромінюється імпульсною лампою 3, дзеркала 4, змінних діафрагм 5, телескопу, який утворюється лінзами 6 і 7, змінних світлофільтрів 8, що служать для зменшення вихідної енергії, поворотного дзеркала 13, змінних об'єктивів 14.

Потрібний розмір світлової плями на предметній площині і цільність світлової енергії в ній встановлюється зміною енергії накачки лампи 3, діаметром діафрагм 5 і відстанню між лінзами телескопу 6 і 7. Діапазон зміни діаметру світлової плями від 0,4 до 1,5 мм.

Система спостереження призначене для спостереження за результатами дії світлового променя на виріб, суміщення оброблюваної ділянки виробу з центром світлового дзеркала 9, світлофільтра 15, лінзи 12, в задньому фокусі якої встановлена сітка 10 з перехрестям і окуляра 11. Збільшення системи спостереження 25,5.

3.3 Оснащення роботи

Для проведення роботи необхідна лазерна установка СЛС-Ю, зразки матеріалу для отримання отворів з бронзи, сталі, алюмінієвих сплавів товщиною 0,1-1 мм, лупа Брінеля.

3.4 Методика проведення роботи

1. Вивчити методичні вказівки і рекомендовану літературу.
2. Встановити виріб на столі установки.
3. Встановити параметри режиму обробки на установці СЛС-Ю.
4. Виконати обробку отвору.
5. Виміряти параметри отвору.
6. Зробити висновки по роботі.

3.5 Техніка безпеки

1. Напруга, що розвивається установкою небезпечна для життя. Тому до роботи на установці допускаються особи, які пройшли інструктаж при роботі на установках.

2. Суворо забороняється знімати захисний кожух з оптичною головою при ввімкнутій установці.

3. Забороняється дивитися на місця концентрації світлового випромінювання паза незахищеними очами.

3.6 Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Методика виконання роботи.
4. Оптична схема лазерної установки.
5. Визначити діаметр отвору на вході по емпіричній залежності.
6. Вимірити діаметр отриманого на лазерній установці отвору і зробити ескіз його форми.
7. Зробити висновок про відповідність розрахованого і отриманого діаметрів отворів.

3.7 Питання для самостійної підготовки

1. Суть процесу лазерної обробки.
2. Фактори, які впливають на процес лазерної обробки.
3. Оптична схема лазерної установки.
4. Область використання процесу.
5. Основні вузли установки СЛС-Ю.

3.8 Література

1. Артамонов Б.А. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Т.2. - М.:Высшая школа, 1983. - 206 с.
2. В.С.Коваленко. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. - К.: Вища школа, 1983. - 176 с.

4 Лабораторна робота № 4

ВІБРОСВЕРДЛІННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ

4.1. Мета роботи

Ознайомитись з принципами свердління з вібраціями. Навчитися керувати режимами обробки. Визначити точність отвору після вібросвердління.

4.2. Інформація до самостійної підготовки

Процес вібраційного різання, в тому числі і вібросвердління, є прогресивним методом комбінованої обробки. Цей метод підвищує продуктивність, точність, якість обробленої поверхні при обробці різних матеріалів. Особливо ефективно його використання при обробці важкооброблюємих матеріалів. Процес вібросвердління забезпечує надійне подрібнення стружки і її видалення із зони обробки.

При вібросвердлінні оброблювальній деталі або інструменту надається обертальний рух, а також осьове переміщення з низькочастотними вібраціями (до 150 Гц). При цьому на поверхні різання з'являються хвилі синусоїдальної форми. На кожному послідовному оберті ріжучі кромки інструменту знімають слід від інструменту на попередньому оберті. При цьому в загальному випадку в довжині розвертки оброблюваної поверхні укладається не ціле число хвиль (рисунок 4.1).

Із розглянутих розверток відносно руху інструменту і заготовки на двох сумісних проходах при перервному характері різання бачимо, що при вібраційному різанні переріз шару, що знімається в одному останньому - залишається незмінним; у всіх інших випадках переріз зрізу різко відрізняється. При цьому степінь нерівномірності залежить від амплітуди A коливань і величини (зсуву фаз).

Довжина розгортки кола

$$\pi \cdot d_3 = \lambda \cdot (k + 1)$$

де d_3 – діаметр оброблюваної поверхні, мм;

λ – довжина однієї хвилі, мм;

k – число повних періодів коливань, що вкладаються повністю за час 1 оберту заготовки;

l – зміщення фаз проходів інструменту на двох суміжних обертах

$$k + l = \frac{60f}{n}$$

де f – частота вібрацій, Гц;

n – частота обертання заготовки, об/хв.

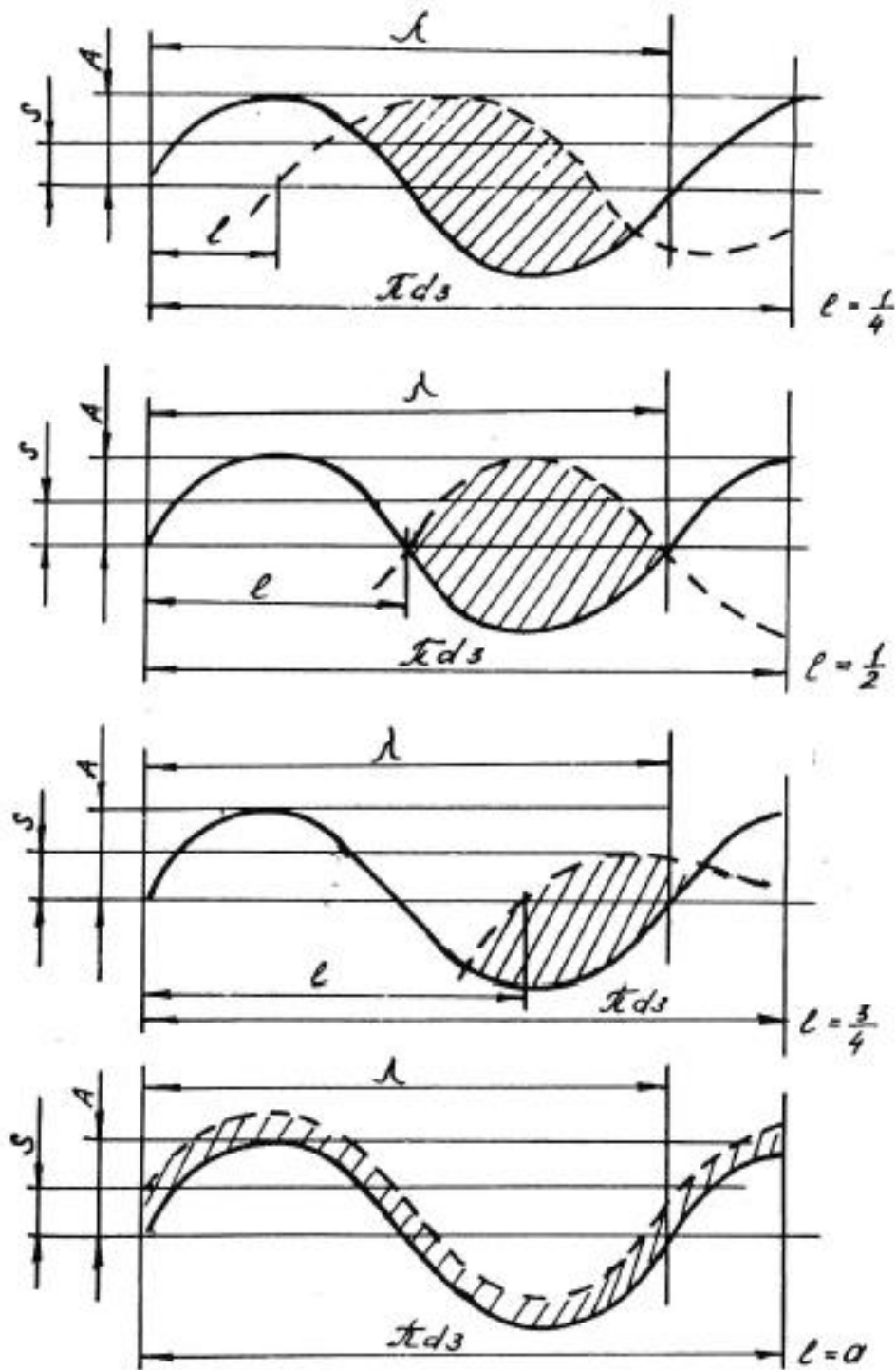


Рисунок 4.1 – Розвертка руху заготовки і інструменту при віброствердлінні в залежності від здвигу фаз l

Подача при віброствердлінні в величиною змінною. Текуче значення подачі

$$S_{ot} = S_o + A_x \cos \omega t$$

де S_o – подача, мм/об;

A – амплітуда вібрацій, рад/с.

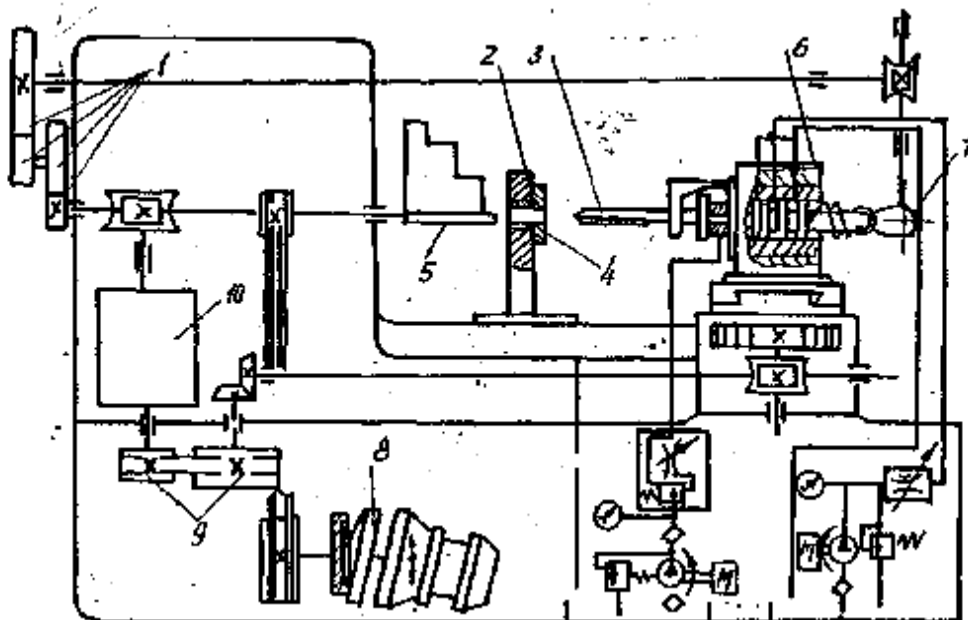
При $l=1$ товщина знімаемого шару буде незмінною і подрібнення стружки не відбувається яких завгодно високих амплітудах і частотах коливань, так як на слідуєчому оберті траєкторія руху вершини інструменту повністю подібна і

співпадає по фазі з траєкторією руху вершини і інструменту на попередньому оберті. Процес різання з вібраціями буде перервним, тобто відбувається з виходом ріжучої кромки інструменту з оброблюємої поверхні при амплітуді коливань А.

Для віброствердління використовують різне обладнання, частіше всього на базі токарно-гвинторізних верстатів.

При виконанні лабораторної роботи використовується віброствердильна установка на базі токарного верстату КТС-250, створена на кафедрі технології машинобудування Чернігівського державного технологічного університету.

Вібрація свердла 3 (рисунок 4.2) з внутрішнім підводом ЗОР забезпечується механо-гідравлічною віброголовкою 6, яка встановлюється замість різцетримача на поперечній коретці супорту. Для направлення свердла і підвищення його жорсткості служить кондукторна втулка, що розташована на кронштейні 2.



І - гітара змінних коліс; 2 - кронштейн; 3 - свердло; 4 - втулка кондукторна; 5 - деталь; 6 - віброголовка; 7 - кулачок; 8 - варіатор; 9 - шків; 10 - коробка подач
Рисунок 4.1 - Кінематична і гідравлічна схема віброствердильної установки

Жорсткий кінематичний зв'язок між кутовою швидкістю шпинделя і частотою коливань свердла здійснюється гітарою змінних коліс І, черв'ячним редуктором і кулачком 7, що надає свердлу за допомогою віброголовки коливань необхідної частоти.

Зміна амплітуди коливань свердла здійснюється кутовим переміщенням кулачка 7.

Гідравлічна система установки складається з системи створення робочого тиску 4 МПа віброголовки і системи подачі ЗОР тиском 4-Ю МПа.

Технічна характеристика установки:

Діаметр свердління, мм	- 3-15
Глибина свердління, мм	- до 150

Швидкість різання, м/хв	- до 40
Подача свердла, мм/об	- 0,01-0,2
Частота коливання свердла, Гц	- 10-150
Амплітуда коливань свердла, мм	- 0,1-0,5
Продуктивність свердління, мм/хв	- 5-150

4.3. Оснащення роботи

Для проведення роботи використовуються:

1. Вібросвердлильна установка КТС-250.
2. Заготовки з важкооброблюємих матеріалів (наприклад, нержавіючої сталі І2ХІ8Н9Т і інших).
3. Свердла одно- і двохкромочні для обробки глибоких отворів (матеріал ріжучої частини свердл - твердий сплав ВКВ).
4. Частотомір для визначення частоти обертання шпинделя.
5. Набір змінних зубчатих коліс.
6. Калібр-пробки для визначення діаметрів отворів.
7. Інструменти для налаштування верстату.

4.4 Методика проведення роботи

1. Ознайомитись з конструктивними особливостями вібросвердлильної установки.
2. Ознайомитись з конструкціями і геометричними параметрами свердл для глибокого свердління.
3. Вибрати і розрахувати параметри режиму вібросвердління: швидкість різання V , частоту обертання n , подачу S , частоту f , величину $(k + l)$.
4. Задати необхідні параметри режиму різання.
5. Виконати обробку деталей.
6. Визначити точність обробки.

4.5 Техніка безпеки

1. При виконанні роботи керуватись "Інструкцією з техніки безпеки при виконанні робіт в лабораторіях кафедри технології машинобудування".
2. Роботу виконують в спецодязі /халат і головний убір/.
3. Включати установку тільки з дозволу учбового майстра чи викладача.
4. Вібросвердління виконувати з опушеним відкидним кожухом.

4.6 Зміст звіту

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Кінематична і гідравлічна схеми вібросвердлильної установки.

4. Ескіз свердл для глибокого свердління.
5. Розрахунки параметрів режиму вібросвердління.
6. Результати вимірювання точності отвору.

4.7 Питання для самостійної підготовки

1. Суть процесу вібросвердління.
2. Умова подрібнення стружки. .
3. Параметри режиму вібросвердління.
4. Область використання процесу вібросвердління.
5. Основні вузли вібросвердильної установки.
6. Конструктивні геометричні параметри свердл для глибокого свердління.

4.8 Література

1. Подураев В.Н., Камалов В.С. Физикохимические методы обработки. - М.:Машиностроение, 1973. - с. I05-T09.
2. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник. - М.:Машиностроение, 1976. - с.80-82.
3. Горохов В.А., Никитенко М.Ф. Установка для вибрационного сверления. - М.:Станки и инструмент, 1976. - с. 32-33.

5 Лабораторна робота № 5

АЛМАЗНЕ ВИГЛАЖУВАННЯ

5.1 Мета роботи

Ознайомитись з принципом алмазного виглажування. Визначити вплив режимів обробки на шорсткість поверхні.

5.2 Інформація для самостійної підготовки

Виглажування являється одним із методів фінітної обробки поверхнево-пластичним деформуванням (ППД). Заключається цей метод в пластичному деформуванні оброблюваної поверхні алмазним інструментом. Алмазний кристал механічно закріплюється в корпусі виглажування.

При обробці нерівності поверхні, які залишились від попередньої обробки частково або повністю згладжуються, тобто зменшується висота мікрошарів поверхонь, підвищується твердість поверхневого шару, в ньому створюються стискуючі напруги. Властивості поверхні, що виглажена, забезпечують високі експлуатаційні властивості: зносостійкість, міцність і ін.

Особливістю алмазного виглажування на відміну від інших методів обробки ППД являється використання алмазу, який має наступні властивості:

надзвичайно висока твердість, низький коефіцієнт тертя по металу, мінімальна висота мікронерівностей, до якої може бути відполіровано алмаз, висока тепло-стійкість.

Алмазне виглажування звичайно проводять на токарних верстатах з використанням спеціальних пристосувань. На рисунку 5.1 приведена схема такого пристосування, яке закріплюється в різцетримачі токарного верстату.

Алмазний виглажувач 1 закріплюється в отворі валика 2, який переміщується в корпусі пристосування 6. Зусилля виглажування забезпечується гафрованою пружиною 3.

Стиснення пружини здійснюється регулюючим гвинтом 8 і фіксується контргайкою 4. Величина зусилля виглажування задається в залежності від умов виглажування. Переміщення виглажувача передається за допомогою стержня 7 на індикатор 5. За показаннями індикатору, з допомогою тарировочного графіку (рисунок 5.2) встановлюють необхідне зусилля виглажування.

Основним фактором, який визначає якість обробленої поверхні, являється зусилля виглажування, в зв'язку з чим можливі три режими виглажування: виглажуючий при умові $P < 80\text{Н}$; зміцнюючо виглажуючий $80 < P < 160\text{Н}$; зміцнюючий $160 < P < 240\text{Н}$ необхідний режим виглажування визначається метою обробки.

Сила виглажування ,

$$P = h\varepsilon HVR^2$$

де $\varepsilon = h/R$;

h – абсолютне проникнення алмазу в поверхню;

R – радіус робочої частини алмазу, мм;

HV – твердість матеріалу по Вінкерсу, Па.

Відносне проникнення рекомендують вибирати в слідуючих межах, мм: при вигладжуючому режимі - 0,0015 для незагартованих сталей і кольорових сплавів і 0,003 для загартованих сталей; при зміцнюючому режимі відповідно 0,0045 і 0,007.

Радіус закруглення алмазу вибирається в залежності від твердості матеріалу оброблюваної деталі. Чим більша твердість матеріалу, тим менше значення радіусу. Але зусилля виглажування повинно бути в межах приведених вище. Збільшення зусилля вище 250 Н приводить до збільшення тертя і падіння стійкості алмазу.

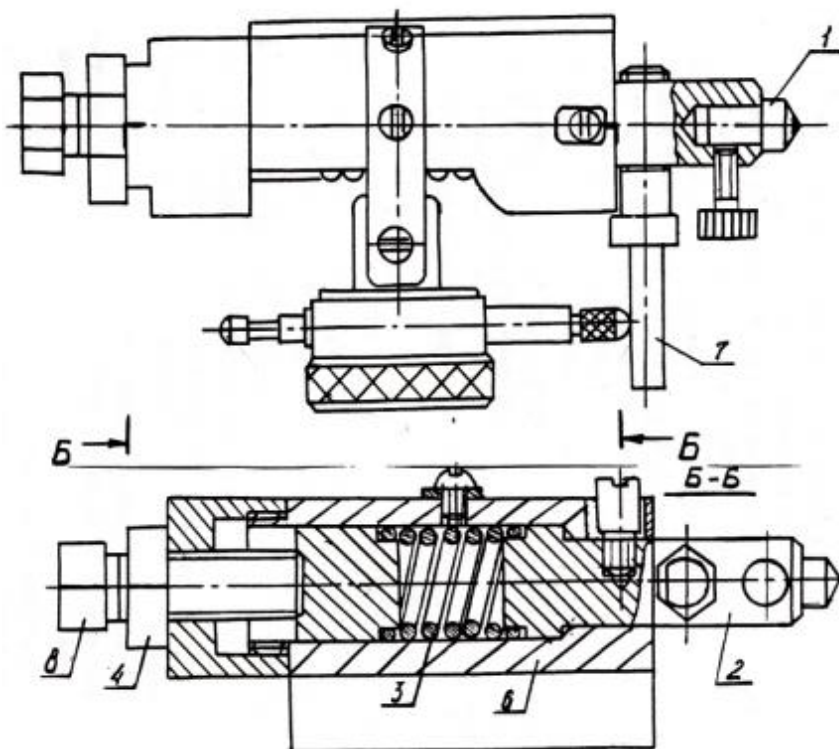


Рисунок 5.1 – Схема пристрою для алмазного вигладжування

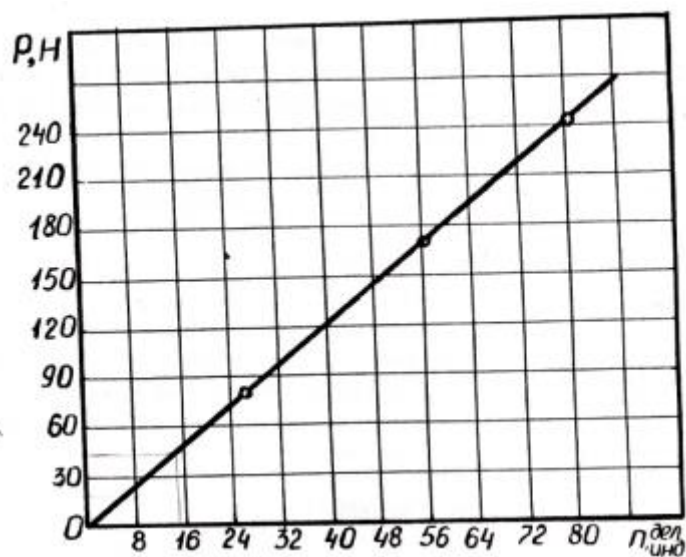


Рисунок 5.2 – Таріровочний графік

Швидкість вигладжування, щоб уникнути інтенсивного зношування алмазу рекомендують не більше 180-300 м/хв. Подальше збільшення швидкості зв'язано з необхідністю безперервного охолодження інструменту.

Подачу рекомендується вибирати в наступних межах: 0,02-0,06 мм/об для загартованих сталей, 0,02-0,09 мм/об для незагартованих сталей і бронзи і 0,02-0,15 мм/об для алюмінієвих сплавів. Повторні проходи вигладжування незначно покращують якість виглаженої поверхні.

При алмазному виглажуванні закріплення інструменту може бути пружним або жорстким. Точність виглажування залежить від вихідної шорсткості. Зміну розмірів деталей можна приблизно визначити за формулою

$$\Delta d = (1,1-1,5) R_{z \text{ вих.}}$$

Крім вихідної шорсткості на зміну розміру при виглажуванні впливає сила виглажування. З ростом сили збільшуються ступінь залишкової деформації і зміна розмірів оброблюємої деталі. Подача, швидкість, число проходів впливають на зміну розмірів в меншій мірі. Припуск, як правило, на алмазне виглажування не призначається.

Шорсткість виглаженої поверхні залежить від сили виглажування, подачі, швидкості, вихідної шорсткості.

5.3 Оснащення роботи

Для проведення роботи використовується токарно-гвинторізний верстат 1А616, заготовки з сталі, алюмінію, латуні і інші матеріали. Пристрій для алмазного виглажування (рисунок 5.1). Оправка для установки заготовок, алмазні виглажувачі з радіусом алмазу 1, 2, 3 мм, профілограф-профілометр моделі 201.

5.4 Методика проведення роботи

1. Ознайомитись з конструкцією пристрою для алмазного виглажування (рисунок 5.1).
2. Встановити зразки, які виглажуються, на оправку.
3. Встановити потрібні режими алмазного виглажування: частоту обертання шпинделя з зразками, подачу, зусилля виглажування вибирається по таріровочному графіку. Закріпити в пристрої алмазний виглажувач з заданим радіусом алмаза.
4. Виконати обробку зразків.
5. Виміряти шорсткість R_a обробленої поверхні на профілографі - профілометрі моделі 201. Кожну поверхню виміряти в трьох різних перерізах. Результати вимірів занести до таблиці.

Таблиця 5.1— Результати вимірів шорсткості поверхні

Номер зразка	Базова довжина, мм	R_a , мкм			Середнє значення, мкм
		1	2	3	
1					
2					
3					

6. Побудувати залежності: $Ra=f(V)$; $Ra=f(P)$
 $Ra=f(S)$; $Ra=f(R)$
7. Зробити висновки про вплив режиму алмазного виглажування на шорсткість поверхні.

5.5 Техніка безпеки

1. При виконанні роботи керуватися "Інструкцією з техніки безпеки при виконанні робіт в лабораторіях кафедри ТМ".
2. Роботу виконують тільки в спецоязі, халат, головний убор.
3. Включення верстату зробити після викладача або учбового майстра.

5.6 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Описання процесу алмазного виглажування.
3. Схема пристрою для алмазного виглажування.
4. Режими алмазного виглажування.
5. Побудувати графіки залежності шорсткості поверхні від режиму алмазного виглажування.
6. Зробити висновки про вплив режиму алмазного виглажування на шорсткість поверхні

5.7 Питання для самостійної підготовки

1. Фактори, що впливають на шорсткість і точність поверхні при алмазному виглажуванні.
2. Основні способи обробки алмазним виглажуванням.
3. Експлуатаційні властивості виглажування поверхні.
4. Вибір сили виглажування.
5. Область використання процесу алмазного виглажування.

5.8 Література

1. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. - М.:Машиностроение, 1972. - 105 с.
2. Подураев В.Н., Каиалов В.С. Физикохимические методы обработки. - М. Машиностроение, 1973. - с. 93-94.

6 Лабораторна робота № 6

ВІБРООБКАТУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

6.1 Мета роботи

Ознайомитися з процесом віброобкатування. Виявити вплив режимів віброобкатування на формування мікрорельєфу і висоту мікронерівностей.

6.2 Інформація для самостійної підготовки

Віброобкатування являється одним із методів фінішної обробки поверхневим пластичним деформуванням (ППД). Під ППД розуміють обробку тиском, при якій деформується тільки поверхневий шарі металу. Віброобкатування, як і інші процеси віброобробки знаходять все більш широке використання при обробці деталей з жароміцних, жаротривких і корозійностійких сплавів на основі титану, кобальту, нікелю і інших металів.

Більшість процесів обробки ППД, які використовують в машино- і приладобудуванні, відрізняються нескладною кінематикою переміщення інструменту і характеризуються простотою направлення слідів обробки на поверхні деталей.

На рисунку 6.1 показані схеми обробки зовнішньої циліндричної поверхні обкатуванням, вигладжуванням, шаром і віброобкатуванням (рисунок 6.1, а).

При віброобкатуванні траєкторія руху інструменту представ ляє собою синусоїду, амплітуда якої дорівнює величині вібрацій шару $2l$, а довжина хвилі λ залежить від співвідношення між числом подвійних ходів інструменту і частотою обертання заготовки n_z .

Можливі чотири види рельєфу поверхні при віброобкатуванні (рисунок 6.1, б): сліди інструменту не торкаються (вид 1), торкаються (вид 2), перетинаються (вид 3), накладаються один на одного (вид 4).

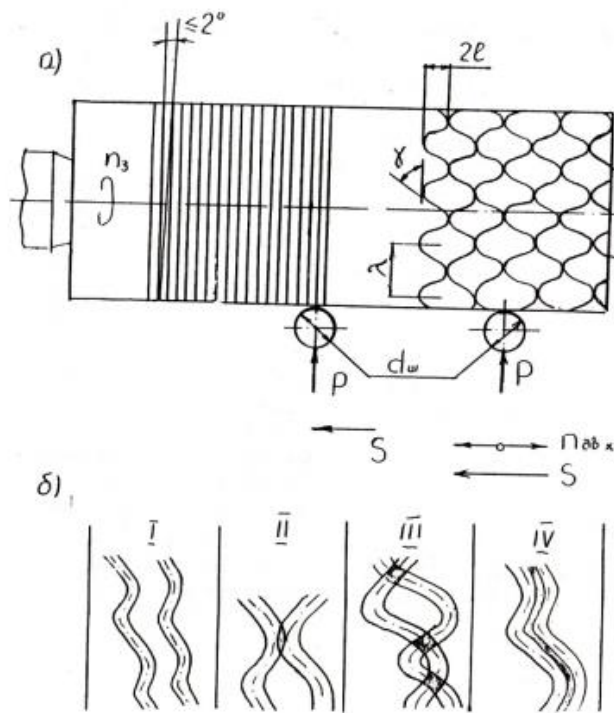
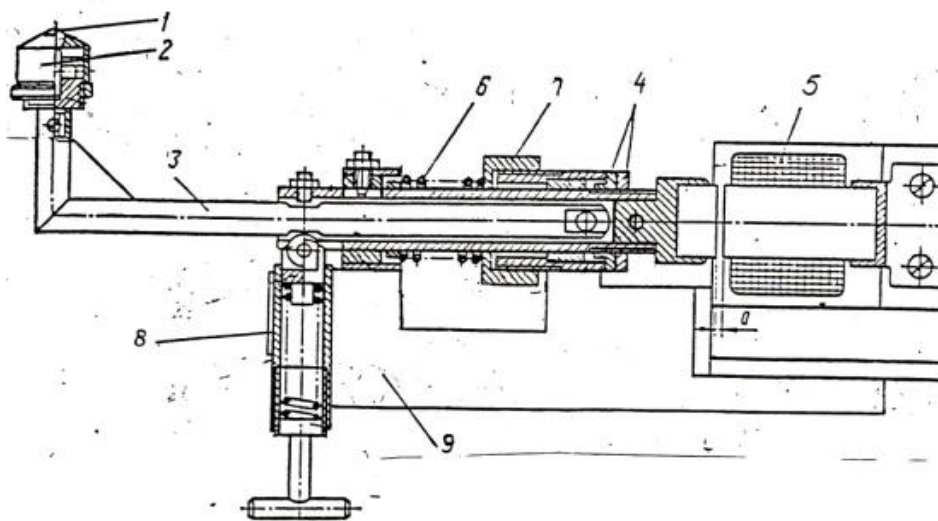


Рисунок 6.1 – Схема обробки зовнішньої циліндричної поверхні обкатуванням

До основних переваг віброобкатування можна віднести збільшення деформуючої дії шару, можливість створення тонко-регульованого мікрорельєфу поверхні, підвищення продуктивності обробки.

Віброобкатування здійснюється на токарно-гвинторізному верстаті ІА62 за допомогою спеціальної віброголовки.

На рисунку 6.2 показана вібраційна головка з електромагнітним приводом.



1 – шар; 2 – накатна головка; 3 – шток; 4 – гайки; 5 – електропривод; 6 – зворотна пружина; 7 – гайка; 8 – механізм регулювання зусилля обробки; 9 – корпус.

Рисунок 6.2 – Вібраційна головка з електромагнітним приводом

Деформуючим елементом віброголовки являється шар 1 діаметром 5-12 мм, який закріплюється в змінному корпусі пакетної головки 2. Пакетна головка з'єднана з штоком 3, який вібрує з частотою 50 Гц і амплітудою в межах 0,4-1,2 мм. Амплітуда коливань інструменту регулюється шляхом зміни зазору А за допомогою гайок 4. Для здійснення вібрацій віброголовка забезпечена магнітним електроприводом 5, який живиться однофазною синусоїдальною напругою $V = 220 \text{ В}$ з частотою 50 Гц.

Регулювання зусилля коливання інструменту здійснюється зміною тиску пружин 6 за допомогою гайки 7. Зусилля обробки здійснюється за допомогою механізму 8, а також за допомогою переміщення віброголовки в напрямку перпендикулярному осі обертання заготовки. Це здійснюється рукояткою переміщення поперечного супорту токарно-гвинторізного верстату.

Регулювання зусилля коливання шару в межах 40-70 Н.

Віброголовка встановлюється в різцетримач токарно-гвинторізного верстату за допомогою корпусу 9.

6.3 Оснащення роботи

Токарно-гвинторізний верстат ІА62, заготовки: сталь, алюміній, бронза, пристосування для віброобкатування, оправка для установки заготовок, профілограф-профілометр моделі 201, лупа збільшення $\times 10$.

6.4 Методика проведення роботи

1. Ознайомитись з конструкцією віброголовки.
2. Встановити зразки на оправку.
3. Проточити зразки по зовнішній поверхні різцем з метою усунення биття їх по зовнішній поверхні.
4. Встановити необхідні режими віброобкатування: частоту обертання, подачу, амплітуду коливань шару, зусилля віброобкатування. Вибрати діаметр шару.
5. Провести обробку зразків.
6. Визначити характер мікрорельєфу.
7. Виміряти шорсткість обробленої поверхні, зразків на профілографі-профілометрі моделі 201. Кожний зразок вимірювати в трьох різних перерізах. Результати вимірювань занести в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1— Результати вимірів шорсткості поверхні

Номер зразка	Базова довжина, мм	Ra, мкм			Середнє значення, мкм
		1	2	3	
1					
2					
3					

8. Побудувати залежності: шорсткості R_a від швидкості V подачі S , зусилля P , $R_a=f(V)$; $R_a=f(S)$; $R_a=f(P)$; $R_a=f(R)$

9. Зробити висновки про вплив режиму віброобкатування на шорсткість поверхні.

6.5 Техніка безпеки

1. При виконанні роботи керуватись "Інструкцією з техніки безпеки при виконанні робіт в лабораторіях кафедри ТІР.
2. Включення верстату проводити тільки з дозволу викладача, або учбового майстра.

6.6 Зміст звіту

1. Мета роботи
2. Основні відомості про процес віброобкатування.
3. Схема утворення слідів віброобкатування.
4. Режим віброобкатування.
5. Графіки залежності шорсткості поверхні від режиму віброобкатування
6. Висновки про вплив режиму віброобкатування на шорсткість поверхні.

6.7 Питання для самостійної підготовки

1. Фактори, які впливають на якість поверхні при віброобкатуванні.
2. Принцип роботи віброголовки.
3. Експлуатаційні характеристики віброобкатування.
4. Схема утворення мікрорельєфу.
5. Область використання віброобкатування.

6.8 Література

1. Горохов В.А. Обработка деталей пластическим деформи-рованием. - Киев: Техніка, 1978. - 192 с.
2. Проскурянов Ю.Г. Упрочняюще-калибрующие методы обработки. - М.:Машиностроение, 1965. - 206 с.