

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – Металургія

Тема роботи: «РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ДРОТУ ДІАМЕТРОМ 2 мм»

Виконав:
студент групи МТ-21-1 _____ Артем ПАЄВСЬКИЙ

Керівник випускної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Завідувач кафедри _____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг
2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійнийКафедра металургії чорних металів і ливарного виробництваОсвітньо-кваліфікаційний рівень: бакалаврСпеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню атестаційну роботу бакалавра

Пасвський Артем Валерійович1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення дроту діаметром 2 ммкерівник роботи: к.т.н., доцент Чубенко Вікторія Анатоліївназатверджено наказом по КНУ від « 04 » 03 2025 р. № 149с2. Строк подання роботи студентом « 01 » 06 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Сталь марки Ст 20 з хімічним складом; властивості матеріалу: границя міцності – 410 МПа, границя течії – 245 МПа, відносне подовження при розриві 25%, звуження – 55 %, густина в холодному стані 7859 кг/м³; швидкість волочіння 0,2-1,5 м/с; температура нагріву 100-700°C; тягове зусилля – 1500 Кн; барабанні волочильні стани; волока; частота вібрацій – 300 Гц.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питання, які потрібно розробити)

1. Аналіз процесів виробництва дроту: загальна характеристика, матеріал для виготовлення, способи волочіння, термічна обробка, обладнання та інструменти для волочіння.

2. Розробка оновленої технології волочіння дроту діаметром 2 мм: послідовність технологічних операцій, розрахунок параметрів волочіння, зусилля та напруження волочіння, розміри волочильного інструменту, визначення підвищення температури волочіння.

5. Перелік графічного матеріалу

Схема волочіння. Схема багаторазового волочіння дроту. Матеріал для виготовлення дроту. Профіль волоки. Режими волочіння дроту діаметром 2 мм. Розміри волок та їх елементів. Маршрут волочіння. Напруження та сили волочіння. Зміни швидкості та температури волочіння.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	20.01-29.01.2025
2	Аналіз виробництва дроту: загальна характеристика, матеріали для виготовлення дроту, способи волочіння	01.02-10.02.2025
3	Обладнання та інструменти для волочіння	10.02-25.05.2025
4	Термічна обробка при волочіння та обробні операції	26.02-10.03.2025
5	Розробка оновленої технології волочіння дроту діаметром 2 мм: послідовність технологічних операцій, маршрут волочіння	11.03-10.04.2025
6	Розрахунок технологічних параметрів волочіння. Визначення розмірів волочильного інструменту	11.04-30.04.2025
7	Зусилля та напруження волочіння. Визначення підвищення температури волочіння	01.05-20.05.2025
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2025
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2025
10	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2025

Дата видачі завдання «__20__»_____01_____2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Артем ПАЄВСЬКИЙ
(підпис)

Керівник випускної
кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Розробка технологічного процесу виготовлення дроту діаметром 2 мм»

Пояснювальна записка: 56 стор., 7 табл., 9 рис., 16 джерел.

Об'єкт дослідження: технологія холодного волочіння дроту.

Предмет дослідження: режими та параметри холодного волочіння дроту.

Мета роботи: розробити оновлену технологію виготовлення сталевих дротів 2 мм шляхом встановлення режимів холодного волочіння, що забезпечать суцільність матеріалу, точність розмірів виробу з одночасним збільшенням його міцності.

Методи дослідження: теоретичний аналіз процесу холодного волочіння, дослідження принципу дії обладнання та інструменту, розрахунковий метод визначення режимів обробки та енергетичних параметрів, експериментальний метод дослідження границі течії металу.

Результати роботи: проаналізовано призначення дроту та визначено матеріал для його виготовлення, виконано аналіз процесів холодного волочіння дроту, визначено обладнання та інструмент для виготовлення заданого виробу, виявлено послідовність операцій, що забезпечують отримання якісного дроту. Визначено кількість проходів та раціональні режими обтиснень при обробці. Виявлено взаємозв'язок між ступенем деформації та границею течії металу. Запропоновано заходи зі зменшення температури обробки та збільшення терміну служби волоки.

ХОЛОДНЕ ВОЛОЧІННЯ, ВОЛОЧИЛЬНИЙ СТАН, ВОЛОКА, СТУПІНЬ ДЕФОРМАЦІЇ, ВИТЯЖКА, ШВИДКІСТЬ ВОЛОЧІННЯ.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.Р			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Пасєвський						1	1
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.ПЗ	Пояснювальна записка	56		
3						
4			Графічна частина			
5			(Презентація)			
6	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.01	Матеріал для виготовлення			
7			дроту Сталь 20	1		
8	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.02	Схема волочіння	1		
9	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.03	Схема багаторазового			
10			волочіння дроту	1		
11	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.04	Профіль волоки	1		
12	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.05	Режими волочіння дроту	1		
13	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.06	Розміри волок та їх елементів	1		
14	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.07	Маршрут волочіння	1		
15	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.08	Напруження та сили волочіння	1		
16	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.09	Зміни швидкості та температури			
17			волочіння	1		
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

КНУ.РБ.136.25.14 9с-15.В0				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Паєвський			
Проб.	Чуденко			
Н.контр.	Чуденко			
Утв.	Сабельєв			

Лит.	Лист	Листов
р δ	1	1

Відомість об'єму матеріалів	
кваліфікаційної роботи	
Чертеж общего вида	

кафедра МЧМ/В	
група МТ-21-1	

Копировал	
Формат А4	

ЗМІСТ

	Стор
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ДРОТУ.....	9
1.1 Загальна характеристика і призначення дроту, що має діаметр 2 мм	9
1.2 Матеріал для виготовлення дроту.....	12
1.3 Способи волочіння дроту.....	14
1.4 Змащення при волочінні.....	18
1.5 Термічна обробка при волочінні.....	19
1.6 Обробні операції.....	22
1.7 Обладнання для волочіння.....	23
1.8 Інструмент для волочіння.....	28
1.9 Висновок до розділу.....	30
2 РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОЇ ТЕХОЛОГІЇ ВОЛОЧІННЯ ДРОТУ ДІАМЕТРОМ 2 мм.....	31
2.1 Послідовність технологічних операцій.....	31
2.2 Маршрут волочіння.....	32
2.3 Розрахунок технологічних параметрів волочіння.....	33
2.4 Визначення розмірів волочильного інструменту.....	40
2.5 Зусилля та напруження волочіння.....	43
2.6 Визначення підвищення температури волочіння.....	50
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.3						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Паєвський			ЗМІСТ			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Чубенко								1	2
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.		Чубенко									
Затвердив		Савельєв									

ВСТУП

Дріт є одним з найпоширювальним видом металопродукції, що використовується в багатьох галузях народного господарства. Через свою затребуваність дріт користується великим попитом у багатьох галузях промисловості. Дротові вироби застосовують при виготовленні ув'язуючого матеріалу, електричних проводів, електронних виробів, пружин, металовиробів, електродів, декоративних робіт, навіть в сфері художньої творчості тощо.

Аналіз сучасного стану доводить, що в світі існує тенденція до збільшення вимог до точності та якості зовнішньої і внутрішньої поверхні дротових виробів, до покращення механічних властивостей.

На сьогоднішній день зростає у світовому масштабі необхідність удосконалення існуючих технологій виготовлення дроту з метою заощадження матеріальних, трудових, енергетичних та екологічних ресурсів. Волочіння є одним з перспективних способів обробки металів тиском, що забезпечує виготовлення дроту. Але такий процес відбувається у досить важких умовах, де відбувається велика витрата волочильного інструменту. Саме витрата інструменту має суттєвий вплив на економічні показники, на режими волочіння, на якість отриманого дроту. Зношені та пошкоджені волокни призводять до виникнення проблем волочіння. Тому потрібно своєчасно передбачити зношення волокни та уникнути цієї проблеми.

Мета роботи – розробити оновлену технологію виготовлення сталевих дроту 2 мм шляхом встановлення режимів холодного волочіння, що забезпечать суцільність матеріалу, точність розмірів виробу з одночасним збільшенням його міцності.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.ВС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП			
Розробив	Пасвський							
Перевірив	Чубенко							
Рецензент								
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв							
						Літ.	Аркуш	Аркушів
							1	2
						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		

Для досягнення такої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення, класифікацію та способи отримання дроту;
- виявити обладнання та інструмент для отримання дротового виробу потрібних розмірів та якості;
- визначити кількість проходів, розрахувати коефіцієнти та параметри осередку деформації та розподілити її за проходами;
- визначити необхідні розміри волочильного інструменту та запропонувати дії зі збільшення терміну його служби;
- визначити зміцнення металу в залежності від ступеню обтиснення та вибрати раціональний;
- визначити зміни зусилля волочіння;
- визначити зміни швидкості обробки;
- визначити температуру обробки при волочінні.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.ВС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ДРОТУ

1.1 Загальна характеристика і призначення дроту, що має діаметр 2 мм

Дріт – це металевий виріб, що має вигляд довгої гнучкої нитки або тонкого прута. Дріт, як правило, має круглий поперечний переріз, але також зустрічається дріт прямокутного поперечного перерізу, овального, трапецієвидного, шестикутного. Виготовляють його зі сталі, міді, алюмінію, цинку та їх сплавів. Дріб можна одержувати процесами прокатування або, частіше, волочінням. Розмір дроту знаходиться в межах від соток часток міліметра до десятків міліметра.

Форма та розміри дроту стандартизовані. В залежності від його матеріалу та призначення, дріт має визначені властивості. Сталевий дріт часто використовують, як конструкційний матеріал, тому він повинен мати високу міцність і пружність та бути пластичним.

Сталевий дріт має вигляд гнучкої нитки необмеженої довжини з різною формою поперечного перерізу. До нього пред'являють вимоги з щільності, стійкості та міцності за усією довжиною.

Сталедротове виробництво уявляє собою процес волочіння, що складається з ряду послідовних технологічних операцій, при який гарячекатана катанка в мотках надходить до цеху і проходить процес волочіння при якому відбувається багаторазове протягування катанки через в інструмент волочильного стану – волоку.

Для забезпечення високої якості дроту, вихідний матеріал, що використовується для його виробництва повинен мати чисту зовнішню поверхню, однорідну внутрішню структуру, не мати задирок, волосовин, повинні

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ДРОТУ		
Розробив	Пасвський						
Перевірив	Чубенко						
Рецензент							
Н. контр.	Чубенко						
Затвердив	Савельєв				Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1.1	22

бути відсутніми усадкові раковини, мартенситних сегментів, ліквацию вуглецю, крихкості. Вихідний матеріал може поставлятися на виробництво в мотках або в бунтах.

Дріт може застосовуватися як готова продукція та як напівфабрикат для отримання метизних виробів.

Дріт класифікують за декількома ознаками: за формою поперечного перерізу, за хімічним складом матеріалу, за розмірами, за точністю.

За формою поперечного перерізу дріт класифікують на:

- дріт багатокутного поперечного перерізу (прямокутного, квадратного, трапецієвидного, шестикутного);
- фасонний поперечний переріз;
- трикутний профіль, до якого відносять V-подібний, клиновидний;
- круглий;
- спеціальні поперечні перерізи: зетовими, іксовими, овальними, періодичними.

Форма поперечного перерізу зумовлює його застосування. Дріт багатокутного поперечного перерізу може використовуватися при виготовленні пружин і пружинних шайб, металовиробів та різних голчастих елементів.

Дріт фасонного перерізу використовується в будівництві для отримання попередньо напруженої арматури, для захисту електричних кабелів.

Дріт трикутного поперечного перерізу використовують для виготовлення щілинних дротяних фільтроелементів у свердловинних фільтрах.

Дріт круглого поперечного перерізу є універсальним, його застосовують практично у всіх сферах: поліграфії, машинобудуванні, радіоелектроніці, будівництві тощо.

Для виготовлення дроту використовують вуглецеві та леговані сталі, сплави з особливими властивостями і кольорові метали. Його фізико-механічні властивості цілком залежать від хімічного складу матеріалу з якого даний виріб виготовляють.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виготовлення дроту, в залежності від його призначення можна використовувати усі марки вуглецевої сталі: низьковуглецеві, середньо- та високовуглецеві. Такі сталі крім заліза та вуглецю містять невелику кількість різних домішок: кремнію, марганцю, хрому, магнію, сірки, нікелю. Ці домішки як корисні так і шкідливі.

Леговані сталі та спеціальні сплави мають корисні добавки: нікель, алюміній, марганець, титан, молібден, мідь тощо. Через це, дріт, що виготовлений з таких матеріалів мають більш високо якісні фізичні та хімічні характеристики.

Дріт класифікується за розміром. Розміром вважається діаметр дроту або умовної окружності, яка описує форму його поперечного перерізу. Ця величина використовується в розрахунках на міцність виробу, в розрахунку допустимих навантажень, але вона не єдина. Міцнісні характеристики дроту також залежать і від хімічного складу марки матеріалу з якого він виготовляється та від термічної обробки.

В залежності від розмірів дріт класифікується на:

- особливо товстий (діаметр понад 8 мм);
- товстий (діаметр від 6 мм до 8 мм);
- середній (діаметр від 1 мм до 6 мм);
- тонкий дріт (діаметр від 0,4 мм до 1 мм);
- найтонший (діаметр від 0,1 до 0,4 мм);
- щонайтонший (діаметр менше 1 мм).

В роботі досліджено процес виготовлення дроту розміром 2 мм, який відноситься до середнього розміру.

В роботі досліджено технологію виготовлення сталевих дротів діаметром 2 мм. Сталевий дріт – є найпоширеним видом дроту, що використовується майже в усіх галузях народного господарства. Сталевий дріт використовується для ув'язнення арматури при виготовленні залізобетонних виробів; служить сировиною для виробництва канатів різного призначення, можна використовувати для виготовлення різального інструменту: сталевий дріт

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

служить для виготовлення колючих огорожень шляхом намотування на нього шипів; для виконання зварювальних робіт промисловістю виготовляється зварювальний дріт; для виготовлення пружин використовують пружинний сталевий дріт. Деякі сталеві дроти мають оцинковане покриття, що забезпечує захист його від корозії і подовження його терміну експлуатації, в хімічній промисловості використовується неіржавіючий дріт.

1.2 Матеріал для виготовлення дроту

Для виготовлення сталевих дротів, що має діаметр 2 мм, будемо використовувати сталь марки Сталь 20.

Ця сталь відноситься до конструкційної сталі низьковуглецевої, якісної.

Така сталь має у своєму складі залізо, вуглець і деякі домішки, такі, як кремній та фосфор та невелику частку інших хімічних елементів таких, як марганець, нікель, хром, мідь (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад Сталі 20

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,17-0,25	0,17-0,27	0,35-0,60	<0,3	<0,4	<0,5	<0,25	<0,3	<0,08

Властивості цього матеріалу наступні:

- границя міцності – 410 МПа;
- границя течії – 245 МПа;
- відносне подовження при розриві 25%;
- звуження – 55 %;
- густина в холодному стані 7859 кг/м³.

Термічна обробка в залежності від призначення виробу може відбуватися на кінцевих стадіях виготовлення продукції, але вона може і не відбуватися. Таким чином дріт класифікується на термічно оброблений та не оброблений.

Призначення термічної обробки – зняття наклепу, усунення внутрішніх напружень металу. Це дозволяє покращити параметри в'язкості, пластичності, міцності.

Види термічної обробки:

- відпал – застосовується для нізко- та середньовуглецевих, для легованих сталей з метою надання підвищеної міцності дротовому виробу; процес відпалення може виконуватися без доступу кисню або з доступом кисню, в результаті чого змінюється колір дроту, чорний колір набуває дріт в результаті покриття його поверхні шаром окислу; такий дріт більш стійкий до корозійних процесів; нормалізаційний відпал проводять для середньо- та високовуглецевих сталей;
- відпуск це процес нагрівання сталі, яка є загартованою, до температури нижче критичної протягом визначеного часу та подальше його охолодження; в результаті відпуску матеріал зменшує свою крихкість і твердість, а в'язкість збільшує;
- покращення матеріалу – вміщає у собі дві операції – загартування та відпуск; при загартуванні матеріал нагрівають до температури, яка вище критичної, в результаті чого відбувається підвищення міцності та твердості металовиробів; після проведення відпуску загартувальний вплив пом'якшується, усувається залишкова напруга внутрішньої структури сталі;
- патентування – термічна операція, що застосовується для вуглецевого та легованого, заснована на тому, що матеріал нагрівають до температури 920°C і в подальшому піддають охолодженню у розчині солей;
- термомеханічна обробка – уявляє собою суміщення процесів волочіння та термічної обробки після чого потрібно обов'язково виконувати загартування та відпуск дроту.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Види термічно необроблюваного дроту наступні:

- холоднотягнутий дріт – виготовляється з катанки за допомогою операцій холодного волочіння; катанка протягується через формуючі її діаметр блоки волочильних станів та отримує витягування;
- холоднокатаний – це дріт точних розмірів та високої якості поверхні, операції з отримання такого дроту виконують при кімнатній температурі на спеціальних верстатах, що здійснюють пластичну деформацію виробу;
- гарячотягнутий – використовується в якості початкового матеріалу для отримання різних видів сталевих дроту, який виробляється за допомогою гарячого волочіння;
- калібрований дріт – це той дріт, що отримано за допомогою повторного волочіння з невеликими обтисненнями, в результаті чого отримується висока якість поверхні дроту, точні розміри з мінімальними відхиленнями.

За способом кінцевої обробки сталевий дріт поділяють на два види:

- з покриттям поверхні захисним шаром;
- без покриття поверхні захисним шаром.

Дріт, який не має покриття поверхні захисним шаром може як піддаватися термічній обробці, так і не піддаватися, а поставлятися необробленим. Деякі види дроту полірують.

З метою збільшення експлуатаційного терміну, знешкодити вплив агресивного навколишнього середовища, уберегти від пошкоджень, сталевий дріт покривають захисним шаром. Цей шар може бути металевим, або не металевим.

1.3 Способи волочіння дроту

Волочіння – це процес обробки металів тиском, при якому вихідний матеріал частіше в холодному стану протягують крізь отвір, який знаходиться у інструменті – матриці, поперечний переріз цього отвору має менші розміри, ніж

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поперечні розміри початкового матеріалу. В якості початкового матеріалу можна використовувати катані або пресовані заготовки, у яких розмір більший за розмір готового профілю.

Волочінням одержують дротові вироби, які мають точні розміри, потрібну точну геометричну форму, чисту гладку якісну поверхню. Виріб отримує поперечний переріз, який повністю відповідає отвору в матриці. Схему волочіння наведено на рис. 1.1

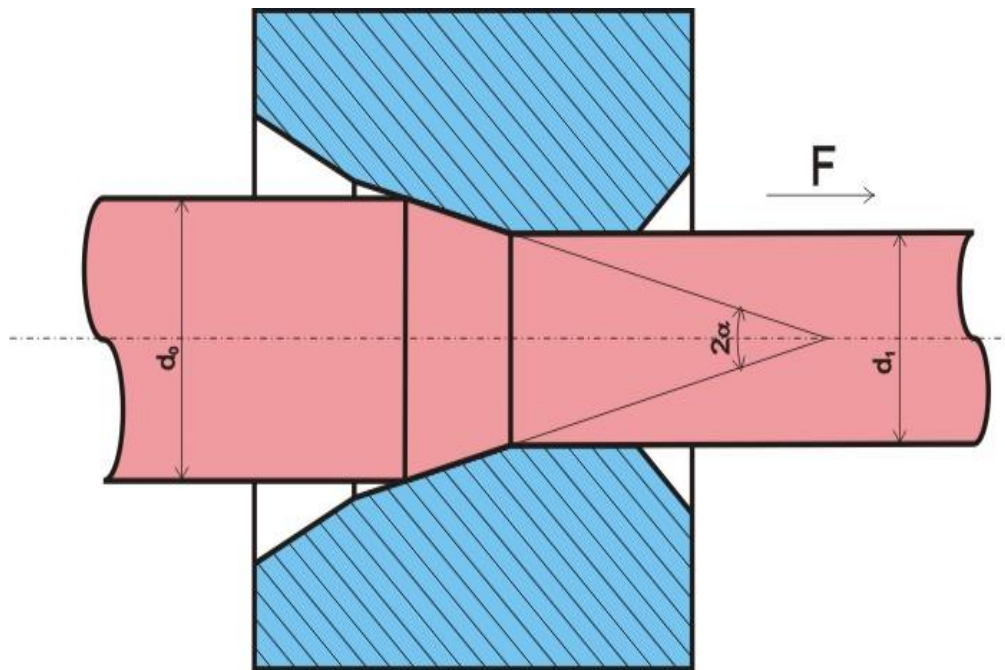


Рисунок 1.1 – Схема волочіння:

d_0 – діаметр початкового матеріалу; d_1 – кінцевий розмір профілю;

α – напівкут волочіння

Способи волочіння відрізняють в залежності від форми деформуючого інструменту:

- волочіння в монолітних волоках;
- волочіння у волоках, де є рухомі контактні поверхні;
- волочіння безпрофільне.

За умовами процесу волочіння класифікують на наступні види:

- волочіння з противонатягом; у цьому випадку натяжіння прикладено до заднього кінцю дровового виробу; виникає напруження противонатяжіння, яке досягає границі міцності матеріалу; тиск інструмента при волочінні з противонатяжінням зменшується;
- волочіння з підпором застосовується при виготовленні труб, або інших профілів, що мають суттєву площу поперечного перерізу; застосування підпору дозволяє зменшити силу волочіння та збільшити пластичність за рахунок створення відповідної схеми напруженого стану;
- вібраційне волочіння, де використовується вібраційна дія волоки або металу, що обробляється, або волоки разом з оброблюваним матеріалом; частота вібрацій при невеликій швидкості волочіння складає 300 Гц, що дозволяє зменшити силу волочіння на 40 %. У випадку збільшення швидкості волочіння, вібраційний ефект зменшується. Вібраційне волочіння для виготовлення дроту майже не застосовується;
- волочіння у волоках, що мають рухомі контактні поверхні застосовується при виготовленні будівельної арматури невеликих поперечних перерізів, для отримання некруглих профілів;
- ступінчасте волочіння відбувається за допомогою декількох волок, які встановлено і один блок; такий вид волочіння застосовується для отримання профілів, що мають складний фасонний поперечний переріз у тому випадку, коли важко, або неможливо отримати канал в одній волоці;
- волочіння з використанням попереднього підігріву оброблюваного матеріалу: при використанні підігріву зменшується сила волочіння і кількість проміжних термічних обробок. Обробка з підігрівом дозволяє збільшити одиничні та загальні обтиснення, що забезпечує збільшення продуктивності процесу, а також підігрів дозволяє отримати більш якісну структуру дроту. Такий вид обробки використовують для волочіння виробів з важкодеформуємих матеріалів. Нагрівання здійснюється гарячими газами, струмом високої частоти або контактним електронагрівом;

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- волочіння без використання волок – безпрофільне волочіння: цей вид обробки використовується для дроту, що має мікронні поперечні перерізи, які дорівнюють близько 5 мкм; суть такого волочіння полягає у тому, що заготовки збирають у пучок і нагрівають у вакуумі та розтягують поміж тяговими шайбами. Такий процес багаторазово повторюється до тих пір, коли отримується потрібний розмір поперечного перерізу; цей спосіб є дуже затратним, має низький вихідний коефіцієнт;

- волочіння з переохолодженням використовують для високолегованих сталей, що мають аустенітну, або аустенітно-феритну структуру; суть способу полягає у тому, що перед обробкою матеріал охолоджують до температури – 160...-180°C.

На схемі (рис. 1.2) показано принцип одноразового волочіння.

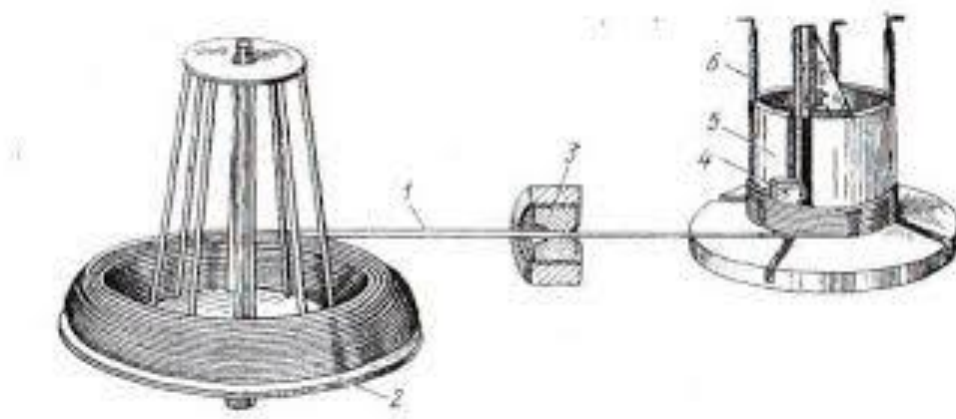


Рисунок 1.2 – Принцип волочіння:

1 – дріт; 2 – пристрій для розмотування дроту; 3 – волока;
4 – тягучі кліщі; 5 – обертовий барабан; 6 – спрямовувач

1.4 Змащення при волочінні

Змащення контактних поверхонь з метою зменшення коефіцієнту тертя та зусилля можна виконувати за допомогою мильного розчину, мильного порошку, графіту, водяною емульсією на основі олива тощо. Тип мастила залежить від типу волочильного обладнання, властивостей оброблюваного матеріалу, від кінцевих розмірів виробу, від швидкості волочіння.

При невеликих швидкостях волочіння перевагу надають сухим та напіврідким мастилам. В якості сухого мастила використовують мильний порошок з використанням натрієвого або калієвого милу. Цей вид мастила може використовуватися як з добавками різних наповнювачі у вигляді графіту, вапна, сірки, бури, кальцинованої соди. Також можна в якості змащення використовувати дисульфід молібдену або парафін.

В якості напіврідкого та рідкого змащення використовують мінеральні мастила та їх суміші, що мають рослинні оливи, або можна використовувати суміші з наповнювачами такими, як мильний порошок або графіт.

При високих швидкостях волочіння змащення повинно забезпечувати мінімальні сили тертя і безперервне охолодження волочильний інструмент та оброблюваний матеріал. Таку діє може надійно забезпечити різні емульсійні сполуки. Потрібно мати на увазі те, що чим більше швидкість волочіння, тим повинна бути меншою жирність емульсії.

З метою поліпшення роботи мастила та полегшення процесу відокремлення оброблюваного матеріалу від матеріалу волоки застосовують різні роз'єднувальні підмащення, що утворюють відокремлюючи шари, чим створюють два шари: нижній та верхній. Нижній шар уявляє собою молекулярний роз'єднувач, що складаються з поверхнево-активних речовин, верхній шар уявляє собою механічний роз'єднувач.

В якості нижнього підзмащувального шару можна використовувати жовтіння, де здійснюється покриття тонким шаром гідроксиду заліза,

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.10

обміднення, фосфатування. В якості верхнього шару використовується вапно, рідке скло, або бура.

1.5 Термічна обробка при волочінні

Початкова заготовка, не залежно від способу її отримання, перед процесом волочіння проходить ретельну попередню підготовку. Під час цієї підготовки здійснюється термічна обробка, видаляється окалина, що утворилася під час термічної обробки, підготування поверхні для утримання змащення під час волочіння та закріплення заготовки. Такі попередні операції повинні забезпечити оптимальне виконання пластичної деформації оброблюваного матеріалу, сприяти отриманню високоякісної зовнішньої поверхні дроту, зменшити витрати зусилля та енергії на процес волочіння, зменшити сили тертя та зношення волочильного інструменту.

Термічну обробку перед волочінням здійснюють з метою надання оброблюваному матеріалу необхідних пластичних властивостей, для створення оптимальної внутрішньої структури. Термічну обробку потрібно призначати такою, щоб у поєднанні з пластичною деформацією вона забезпечувала найкращі механічні властивості та інші характеристики дроту.

Вид термічної обробки залежить від хімічного складу матеріалу та призначення виробу. Застосовують наступні види: відпалення, нормалізацію та загартовування.

В процесі волочіння, особливо в холодному стані відбувається збільшення його напруження, зміцнення, поверхня металу набуває наклепу, що ускладнює подальшу його обробку. Під час процесу волочіння термічну обробку потрібно виконувати з метою зняття наклепу та покращення внутрішньої мікроструктури. Для цього виконують багаторазову термічну обробку в залежності від початкового матеріалу та кінцевої продукції та вимог до якості.

Готову продукцію також можна піддавати остаточній термічній обробці з метою надання металевому дроту необхідних механічних властивостей та внутрішньої структури.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.11

Перед волочінням дроту велику увагу приділяють підготуванню його зовнішньої поверхні. Здійснюють видалення окалини з поверхні матеріалу за допомогою механічного способу, хімічного та електричного, а також комбінуванням усіх цих способів.

Механічне очищення поверхні виробу від окалини, дріт або прутки піддають періодичним згинанням у різних площинах між згинаючими роликками, після цього поверхню матеріалу зачищають сталевими щітками. Цей спосіб є доволі економічним, він придатний для очищення поверхні, переважно дротового виробу з вуглецевої сталі. Під час згинання окалина швидко руйнується та відпадає.

Також в якості механічного способу очищення використовують дробеструйну обробку. При цьому способі, дріб, яка виготовлена з відбіленого або високоміцного чавуну, наносить удари по поверхні виробу, чим забезпечують розпушення та видалення окалини. Такий спосіб очищення матеріалу не вимагає додаткового травлення, частіше він застосовуються в калібрувальних цехах при виготовленні дроту.

Широке розповсюдження отримали хімічні способи видалення окалини через свою надійність. Але вони є менш економічними в порівнянні з механічними способами видалення окалини. При травленні вуглецевої і деяких легованих сталей використовують соляну або сірчану кислоту. Високолеговані сталі такі, як кислототривкі, нержавіючі тощо травлять у сумішах кислот: суміш соляної та сірчаної кислоти; суміш сірчаної та азотної кислоти. Мідь та її сплави травлять в 5...10% сірчаній кислоті при температурі 30...60°C.

Для надійного очищення металів від окалини виконують травлення в кислотах з додаванням присадок (інгібіторів травлення). Такі присадки значно зменшують швидкість розчинення основного металу, але не впливають на швидкість розчинення окалини, що дозволяє уникнути перетравлення. Такі присадки зменшують дифузію водню у метал, дозволяють зменшити загазованість травильних відділень, що поліпшує умови праці.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

Після того, як виконано травлення, оброблюваний матеріал ретельно промивають з метою видалення залишків розчину кислоти, шламу, солей заліза, травильної присадки, бруду. Процес промивання виконують відразу після травлення через те, що затримка з промиванням приведе до висихання травильного розчину та виділенню нерозчинених солей заліза. Промивання виконують спочатку в гарячій воді з метою забезпечення інтенсивного розчинення солей, потім у проточному струмені холодної води з метою забезпечення кращого видалення шламу під тиском, що складає близько 0,7 МПа.

Після того, як окалина повністю видалена, наносять змащувальний шар, який здатен добре утримувати змащення під час волочіння та запобігати налипанню металу на робочі поверхні волочильного інструменту.

В подальшому металовиріб сушать в спеціальних камерах при циркуляції повітря при температурі 300...350°C.

Сушіння дозволяє видалити вологу, усунути травильну крихкість, яка здатна виникнути від того, що частки водню, які утворилися при травленні дифундують в метал і призводять до погіршення його пластичних властивостей. Операції по підготуванню поверхні оброблюваного матеріалу до волочіння виконують в окремому спеціально ізольованому приміщенні.

Операції травлення та обробки поверхні дроту виконують на машинах періодичної та безперервної дії.

Машини безперервної дії забезпечують швидке та рівномірне травлення виробів будь-якого поперечного перерізу. Використання таких машин для травлення забезпечує найбільшу прогресивну обробку через те, що в під час обробки можна сполучати термічну обробку, видалення окалини, нанесення змащення. Утворюється потокова обробка, що забезпечує повну автоматизацію процесу, підвищує якість обробленого матеріалу та зменшує трудомісткість операцій.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.13

1.6 Обробні операції

Після цього в багатьох випадках виконують обробні операції під час яких відбувається правка, шліфування, полірування та залежно від призначення наносять захисне покриття: цинкування, лудіння, хромування, кадмірування, алітування тощо.

Правку готового дроту, звичайно, виконують на роликотправильних машинах, які можуть встановлювати як в потоці виробництва, так і окремо.

Шліфування зовнішньої поверхні прутків виконують після їх калібрування на глибину до 0,15...0,3 мм. Таке шліфування забезпечує видалення зовнішніх поверхневих дефектів, зняття знеуглецьованого шару, з метою отримання точних розмірів поперечного перерізу виробу тощо.

Під час розробки технології волочіння дроту складають технологічні карти, де вказують регламентацію усіх операцій. В технологічних картах розписують увесь технологічний процес волочіння за операціями, починаючи з підготування матеріалу до обробки, маршрут волочіння, види термічних обробок, що виконуються на початку технології, на проміжних операціях та кінцевих; вказують операції волочіння, їх послідовність, зміна розмірів поперечного перерізу виробу за кожним проходом на волочильному стані. У тому випадку, коли на одній установці отримують вироби такі, що мають різні розміри поперечного перерізу та різну форму профілю, то для кожного профілю потрібно скласти свій окремий маршрут волочіння. Перевага надається таким маршрутам волочіння, де вказується поступове зменшення величин поодиноких обтиснень відповідно до зменшення площі поперечного перерізу виробу та зміцнення металу та збільшення напруження волочіння.

Але бувають випадки, коли в першому проході зменшують величину обтиснення з метою формування надійного якісного мастильного шару.

Деформація матеріалу під час волочіння не повинна перевищувати максимально допустиму, яка обмежується міцністю переднього кінця дротового виробу, зниженням пластичності оброблюваного матеріалу через його нагартування. Величина максимальної деформації залежить від вихідної

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пластичності матеріалу, від застосованого мастила, якості поверхні початкового матеріалу та волокни.

1.7 Обладнання для волочіння

Процеси волочіння здійснюються на спеціальному обладнанні – волочильних станах. Таке обладнання у своєму складі мають дві основні частини: робочий інструмент, що має назву волокни та тягнучий пристрій, що забезпечує протягування вихідної заготовки через волочильний інструмент.

Волочильні стани класифікують за декількома ознаками:

- за принципом волочіння;
- за кількістю волок;
- за числом дротів, що одночасно обробляється;
- за розташуванням тягнучих шайб та барабанів;
- за системою управління.

Волочильні стани мають рід допоміжних пристроїв автоматизації та механізації.

За принципом волочіння стани розділяються на стани:

- з прямолінійним рухом оброблюваного матеріалу;
- з намотуванням оброблюваного матеріалу (барабанні волочильні стани).

Волочильні стани з прямолінійним рухом оброблюваного матеріалу використовують при виготовленні прутків та труб. В цьому випадку використовують наступні тягнучі пристрої: ланцюгові, рейкові, гвинтові. Тягове зусилля в них дорівнює 1500 Кн.

Барабанні волочильні стани використовують для отримання дроту та інших металовиробів, які змотуються у бунти. Ці волочильні стани поділяються на одноразові стани з одним приводним тягнучим барабаном і багаторазові.

На одноразовому стані процес волочіння відбувається з використанням однієї волокни. Робоча частина барабана сприймає великі навантаження, має велику твердість. Частіше барабан виконують із суцільною конусною частиною.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.15

Робочу частина барабану виготовляється полою з метою його полегшення та охолодження водою.

В багаторазових при волочінні використовується декілька барабанів, де послідовно встановлено декілька волок. Стани багаторазового волочіння мають свої переваги, що пов'язані з механізацією передачі дроту на подальше протягування. Також такі стани мають можливість збільшення швидкості волочіння на початковому барабані при збереженні швидкості руху дровового виробу з розмотувального барабану. Є можливість підвищення продуктивності такого волочильного стану за рахунок регулювання кратності роликів волочильної машини. Волочильний стан багатократного волочіння має здатність до покращення умов праці не порушуючи умови постачання мастила. Волочильний стан багатократного волочіння можна застосовувати для отримання найтоншого дроту.

Схема одноразового барабанного волочильного стану показана на рис. 1.3.

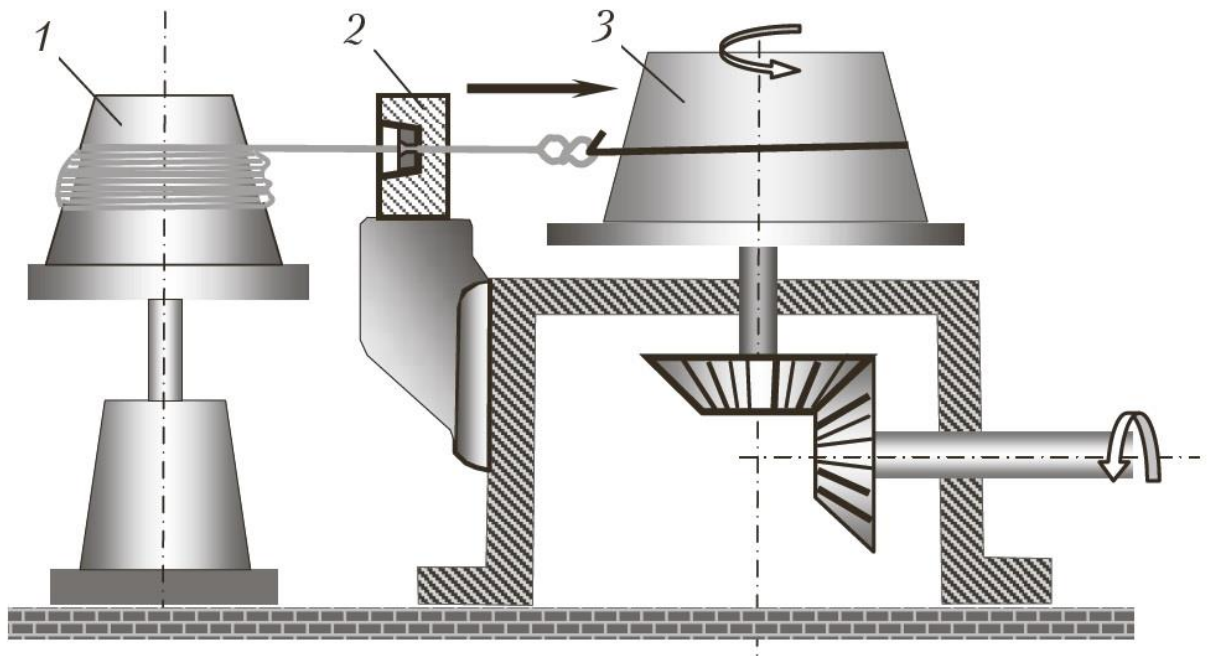


Рисунок. 1.3 – Схема барабанного волочильного стану:

1 – вертушка; 2 – волока; 3 – приймальний барабан

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На барабанних волочильних станах силу волочіння прикладають за допомогою намотування початкового матеріалу на барабан, що ефективно використовувати для виробів, які мають невеликий діаметр. Для великих поперечних розмірів такий варіант прикладення сили не приємний, особливо у тих випадках, коли його не можливо згинати. Тому силу прикладають за допомогою каретки з гаком, що з успіхом використовується на ланцюгових волочильних станах.

Схема багатократного волочіння показана на схемі (рис. 1.4), де видно, що для отримання потрібного дроту використовується 3 волокни та три котушки. На рисунку 1.4 показано схему трикратного волочіння.

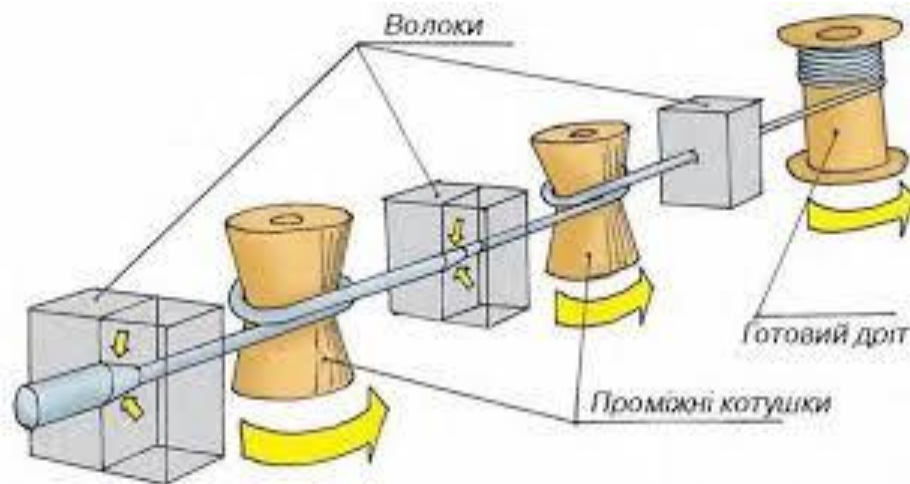


Рисунок 1.4 – Схема багаторазового волочіння

На рис. 1.5 наведено схему ланцюгового волочильного стану.

Ланцюгові волочильні стани, що мають прямолінійний рух тягнучого пристрою використовують для волочіння прутків та труб, які складають у бунти.

В процесі волочіння на цьому волочильному стані кінець прутка протягують крізь отвір у матриці 1 і захоплюють кліщами 2, які закріплюють у каретці 3. Ця каретка за допомогою тягового кріюку 4 переміщується ланцюгом 5, що приводиться в рух від зірочки 6, яка набуває обертальний рух від електричного двигуна 8 за допомогою редуктору 7.

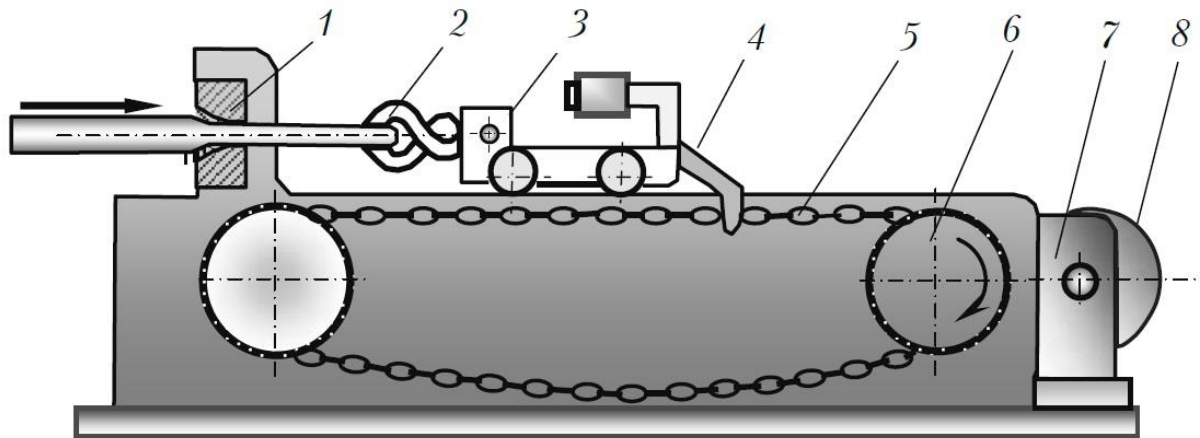


Рисунок 1.5 – Схема ланцюгового волочильного стану:

1 – волока; 2 – кліщі; 3 – каретка; 4 – тяговий кріюк; 5 – ланцюг;
6 – провідна зірочка; 7 – редуктор; 8 – привід

Загальний вигляд волочильного стану наведено на рис. 1.6.



Рисунок. 1.6 – Загальний вигляд волочильного стану

На рисунку 1.7 показано послідовне розташування декількох барабанів, що забезпечують багаторазове волочіння.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

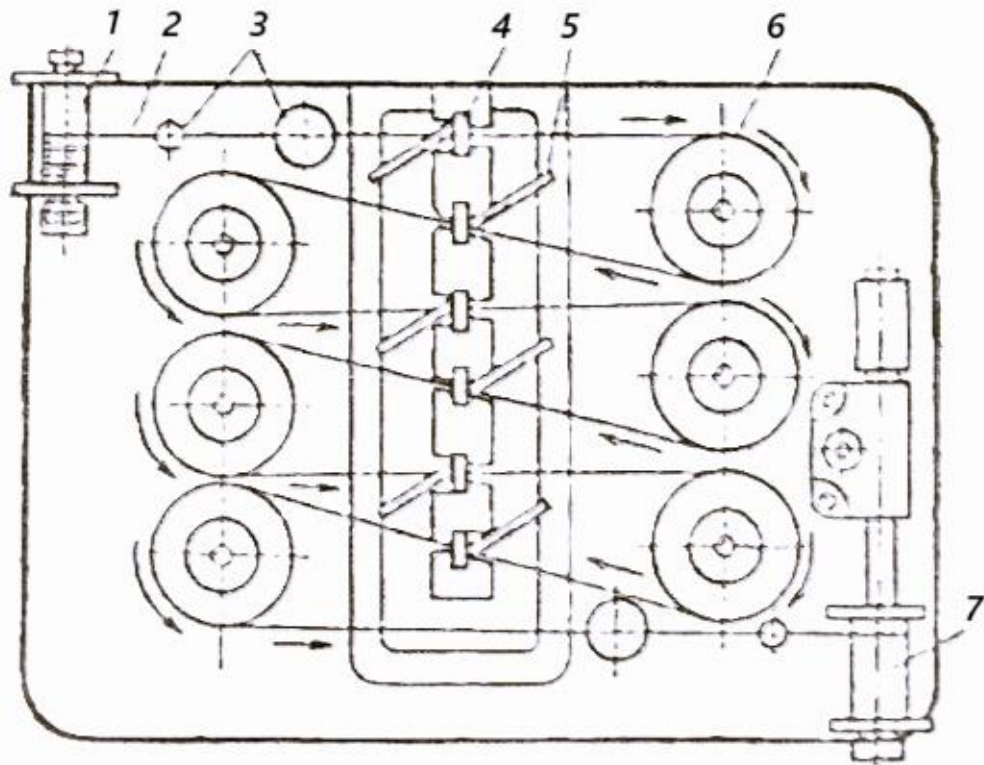


Рисунок 1.7 – Схема розташування багаторазового волочильного стану:

- 1 – котушка для подачі матеріалу; 2 – дріт, що калібрується;
 3 – направляючі ролики; 4 – фільтри (волоки); 5 – трубки для подачі
 рідкого мастила; 6 – ролики; 7 – приймальна котушка

При волочіння дроту часто застосовують машини магазинного типу з двоступінчастими барабанами. Ці барабани мають різні діаметри. Під час роботи вони обертаються на одному валу, що забезпечує однакову швидкість обертання для обох барабанів, але через різницю в діаметрах, вони отримують різну окружну швидкість. Це забезпечує постійну кінематику процесу та постійний витяг.

Двоступінчасті волочильні барабани мають переваги в порівнянні з одноступінчастими через те, що при рівній виробничій площі є можливість збільшити величину обтиснення більш як в два рази. При цьому енергетичні витрати за один прохід зменшуються на 10...20 % у порівнянні з волочінням на одноступінчастому барабані і втрати потужності розподіляється на два проходи.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.8 Інструмент для волочіння

В якості інструменту для волочіння використовується волока (рис. 1.8). Волока має всередині наскрізний отвір, який складається з чотирьох зон: вхідної зони, деформуючої, калібрувальної, вихідної зони. Усі зони мають конічну зону за виключенням калібруючої. Величина кута між утворюючими конуса деформуючої зони залежить від типу вихідного матеріалу та його властивостей.

Вхідна зона має також назву мастильної. Через цю зону подається мастило до робочої деформуючої зони. Ця зона забезпечує усунення можливості задирання початкового матеріалу, що подається у волоку о край деформуючої зони.

При проходженні матеріалу робочої деформуючої зони відбувається його пластична деформація з метою отримання заданих розмірів та форми. При проходженні матеріалу цієї зони відбувається зменшення поперечного перерізу виробу та збільшується його довжина.

Калібруюча зона служить для підвищення точності розмірів отриманого виробу та забезпечення їх однорідності.

Вихідна зона забезпечує вільний вихід обробленого матеріалу з фільєри. Це можливо завдяки наявності зворотного конусу у вихідній зоні.

Усі сусідні зони не повинні мати гострі переходи з однієї до іншої зони. Це забезпечує наявність закруглень, утворених між перерходами.

В якості матеріалу для виготовлення волоки можна використовувати інструментальну сталь, твердий сплав, а для волочіння тонкого дроту можна використовувати технічні алмази для виготовлення робочої частини волоки.

Для виготовлення волочильного інструменту, в залежності від призначення, використовують інструментальні сталі, тверді сплави, технічні алмази.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.20

Для виготовлення круглого дроту, який має діаметр 2 мм, можна використовувати твердий сплав. Для отримання такого дроту зупинимося на твердому сплаві карбідно вольфрамової групи марки ВК 3. Вони відмінно підходять для волочіння дроту з низьковуглецевої сталі середніх розмірів, до яких відноситься дріт, що має діаметр 2 мм.

Такі сплави мають достатньо високу твердість в поєднанні зі достатньою стійкістю до зношення при терті з металічними матеріалами при волочінні.

Такі сплави не мають високої здатності до пластичної деформації при кімнатній температурі, що дозволить виготовити якісні вироби волочінням. Такі сплави мають високу границю міцності при стисненні. Такі сплави доволі стійкі до дії агресивного середовища.

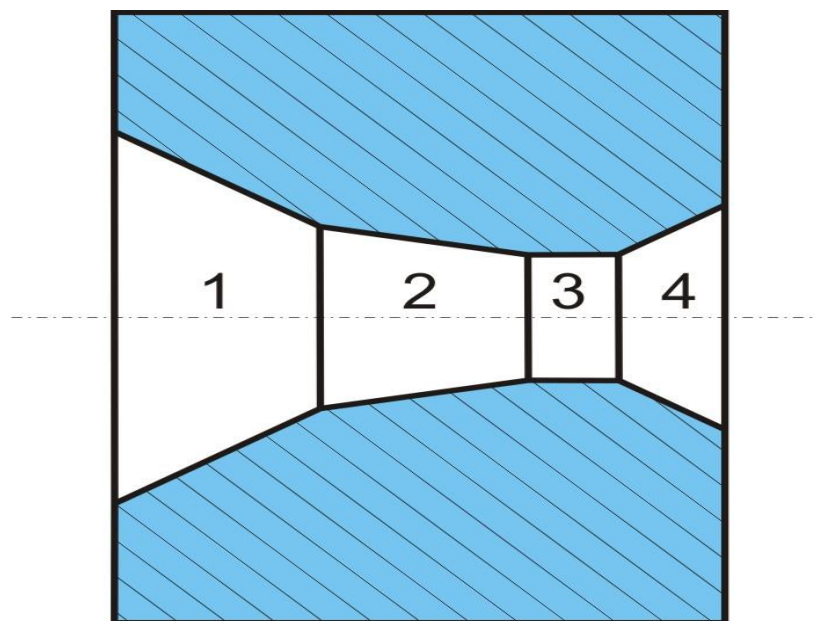


Рисунок 1.8 – Інструмент для волочіння:

1 – вхідна зона; 2 – деформуюча зона; 3 – калібрувальна зона;
4 – вихідна зона

Перед волочінням кінець початкового матеріалу загострюють для того, щоб він мав змогу вільно входити в отвір волоки і вільно виходив після обробки з іншого боку. Після загострення, кінець захоплюють тяговим механізмом волочильного стану, який протягує початковий матеріал крізь отвір у матриці.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.9 Висновок до розділу

Проаналізовано призначення сталевому дроту, його класифікацію, матеріал для виготовлення. Віддано перевагу сталевому круглому дроту з низьковуглецевої сталі 20. Така сталь має добру міцність та пластичність, і добре піддається обробці волочінням в холодному стані.

Виявили матеріал початкової заготовки для виготовлення дроту 2 мм, де було прийнято використовувати гарячекатану заготовку, що має розмір 6 мм.

Проаналізовано обладнання, що використовується для волочіння, визначили його класифікацію, принцип діє, будову, конструкції. Перевагу надано багато барабанному волочильному стану.

Проаналізовано інструмент, що використовується для волочіння, досліджено його будову, визначено його складові частини, досліджено матеріал, що використовується для виготовлення вологи.

Віддано перевагу монолітним волокам з твердосплавного матеріалу марки ВКЗ.

Досліджено способи волочіння і надано перевагу способу волочіння з противонатяжінням.

Такі дослідження дають підстави розробити оновлену технологію виготовлення дроту діаметром 2 мм, де потрібно скласти маршрут волочіння та визначити усі коефіцієнти та параметри осередку деформації.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.01.АПВД	Аркуш
						1.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВОЛОЧІННЯ ДРОТУ ДІАМЕТРОМ 2 ММ

2.1 Послідовність технологічних операцій

Для отримання якісного дроту, що має розмір – діаметр 2 мм, перевага надається волочінню в холодному стані, при кімнатній температурі.

При волочінні використовують наступні технологічні операції:

1) Попередній відпал початкового матеріалу, що забезпечує отримання дрібнозернистої структури металу та підвищення його пластичності;

2) Травлення заготовок в попередньо нагрітому розчині сірчаної кислоти з метою видалення окалини, яка має негативний вплив на процес волочіння через те, що викликає збільшення зношення в матриці;

3) Нанесення підзмащувального шару на поверхню оброблюваного матеріалу. Для цього використовують процеси міднення, фосфатування.

4) Промивання обробленої заготовки в нейтральному травильному розчині.

5) Загострення кінцю заготовки за допомогою ковальського молоту або пресу з метою пропуску через отвір у матриці та захоплення кліщами волочильного обладнання.

6) Пластична деформація волочінням під час якої оброблюваний матеріал послідовно протягують через послідовно зменшуючи отвори у матриці з метою отримання дроту потрібної форми поперечного перерізу та розмірів.

7) Термічна обробка з метою усунення наклепу – відпал, який здійснюється 70...85 % обтиснення для сталевих дротів.

8) Обробка готового дроту, де здійснюється обрізання кінців, правка, розрізання на мірні довжини, нанесення покриття.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ОНОВЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВОЛОЧІННЯ ДРОТУ	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив		Пасвський							
Перевірив		Чубенко					2.1	22	
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.		Чубенко							
Затвердив		Савельєв							

В якості вихідного матеріалу для виготовлення дроту використаємо катану заготовку, що має діаметр 6 мм.

2.2 Маршрут волочіння

При складанні маршруту волочіння потрібно враховувати також і мінімальну поодинокую деформацію матеріалу, за якою пластична деформація не може здійснюватися на усю площину поперечного перерізу виробу та проникнути до глибини шарів металу через, те, що виникають залишкові знакозмінні напруження: розтягуючи на поверхні матеріалу та стискаючи усередині. Потрібно визначати раціональну величину обтиснення з врахуванням можливості зменшення кількості проходів при волочінні.

Розробляючи маршрут обробки на станах багаторазового волочіння, потрібно враховувати кінематику волочильного стану, де витяжки матеріалу за один прохід повинні збігатися з частотою обертання та розмірами діаметру нижнього барабану. Особливо важливо враховувати кінематику волочильного обладнання для станів, які працюють з ковзанням через те, що без такого врахування процес буде не можливий.

Кінематику волочильного стану можна не враховувати у тому випадку, коли обладнання має автоматичне регулювання швидкостей, де може бути порушення відповідності прийнятих витяжок і заданих швидкостей.

При складанні маршруту волочіння особливу увагу приділяють вірному визначенню швидкості волочіння, яка залежить від декількох параметрів: від властивості оброблюваного матеріалу, від матеріалу волоки, від мастила, що використовується для змащення, від форми та розмірів виробу тощо. Так, при волочінні низьковуглецевих сталевих виробів швидкість волочіння може досягати 40 м/с. але така швидкість не є раціональної через можливі пошкодження. Більш сприятливою вважають швидкість волочіння, яка дорівнює від 0,2 до 1,5 м/с. Для забезпечення оптимальних умов волочіння при збільшенні швидкості обробки, потрібно використовувати якісне мастило і забезпечити

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.2

інтенсивне відведення теплоти. З метою попередження обриву на початку процесу волочіння використовують зменшення швидкості обробки.

Швидкість волочіння на стані безперервного багатократного волочіння повинна забезпечити постійність секундних об'ємів металу на всіх проходах при обробці на даному обладнанні, при якому через кожну волоку повинен проходити постійний об'єм оброблюваного матеріалу за одиницю часу. Для цього потрібна синхронізація швидкостей тягнучих барабанів. Більшість безперервних станів працює з ковзанням дроту на тягнучих барабанах. При цьому окружна швидкість на кожному проміжному барабані повинна бути завжди більшою за швидкість руху дроту на цьому барабані. Але при сковзанні дроту по барабану має негативні наслідки через те, що відбувається швидке зношення барабанів. Такі стани мають великі витрати енергії на процес обробки. З метою зменшення цього недоліку використовують стани з накопиченням дроту на проміжних барабанах з верхнім зніманням дроту.

Великий вплив на отримання якісної продукції має температура волочіння. Зазвичай волочіння відбувається в холодному стані. Але у випадку обробки виробів із важкодеформуємих матеріалів таких, як вольфрамових, молібденових, тугоплавких сплавів, магнію, титану, танталу використовується тепле волочіння, матеріал попередньо нагрівають до температури 100...700°C.

Під час волочіння температура обробки здатна підвищуватися.

2.3 Розрахунок технологічних параметрів волочіння

Пластична деформація матеріалу при волочіння здійснюється на невеликій ділянці, що має назву осередку деформації, де і відбуваються основні процеси зміни форми та розмірів початкового матеріалу.

Процес волочіння характеризується наступними технологічними параметрами та показниками: напівкут волочіння; початковий розмір дроту d_0 ; кінцевий діаметр дроту d_k ; початкова площа поперечного перерізу F_0 ; кінцева площа поперечного перерізу дроту F_k ; витяжка; коефіцієнт зменшення

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.3

поперечного перерізу k ; відносне обтиснення ε ; відносне подовження або витяжка λ ; коефіцієнт зняття металу η ; довжина осередку деформації.

Для визначення цих коефіцієнтів та параметрів використовують формули: напівкут волочіння α в залежності від форми профілю визначають за формулами:

– для виробів круглого перерізу:

$$\alpha = \arcsin \sqrt{\frac{2,6f\varepsilon}{2-\varepsilon}}, \quad (2.1)$$

– для фасонних профілів:

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta h_i}{l}, \quad (2.2)$$

де f – коефіцієнт тертя, який дорівнює 0,1;

Δh_i – величина обтиснення за один прохід;

– витяжка визначається за формулою:

$$\lambda = (d_0/d_k)^2 = F_0/F_k, \quad (2.3)$$

– коефіцієнт зменшення перерізу визначається за формулою:

$$k = (d_1/d_0)^2; \quad (2.4)$$

– відносне обтиснення розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_k}{F_0} = \frac{d_0^2 - d_k^2}{d_0^2}, \quad (2.5)$$

– відносне подовження залежить від форми профілю, для виробів круглого поперечного перерізу визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{F_0 - F_k}{F_1} = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_1^2}, \quad (2.6)$$

– для фасонних профілів відносне подовження знаходять за формулою:

$$\lambda = 1 + 1,02F_1^{-0,311} \left(\frac{P_{пр}}{P_{кр}} \right)^{-0,403} - 0,022lnt, \quad (2.7)$$

де $P_{пр}$, P_k – периметри профілю та рівновеликого за площею круга, тобто повинна виконуватися умова: $F_{пр} = F_k = F_1$;

t – інтегральна кривизна контуру, яка залежить від його форми, наприклад, для прямокутної смуги $t=1$; для круглого профілю $t=1$; для кутового профілю $t=1,5$; для профілю з пазами $t=3,226$.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт зняття металу визначається за формулою:

$$\eta = \frac{d_0 - d_k}{d_0}. \quad (2.8)$$

Довжина осередку деформації в залежності від форми поперечного перерізу виробу визначається за формулами:

– для виробів круглого перерізу:

$$l_d = \frac{d_0 - d_k}{2 \tan \alpha}, \quad (2.9)$$

– для фасонних профілів можна використовувати наступні формули:

$$l = \frac{d_{кр} (\sqrt{\lambda} - 1)}{2 \tan \alpha}, \text{ або } l = \frac{F_K}{P_{CP}} \sqrt{\frac{\lambda^2 - 1}{2,6f}}, \quad (2.10)$$

де $d_{кр}$ – кінцевий діаметр рівновеликого круга, або приведений діаметр профілю. Такий приведений діаметр можна розрахувати за наступною формулою:

$$d_{кр} = \sqrt{\frac{4F_K}{\pi}}, \quad (2.11)$$

P_{CP} – середній периметр профілю в осередку деформації, можна визначити за формулою:

$$P_{CP} = (P_{пр} + P_{к}) / 2; \quad (2.12)$$

Δh_i – обтиснення розглядуемого елемента профіля.

Для приблизних розрахунків можна використовувати наступне: довжина калібруючої зони дорівнює 1...5 мм, вихідної зони складає 3...8 мм, довжина робочого конусу приймають на 2...7 мм більшу за довжину осередку деформації.

Для отримання дроту, що має кінцевий діаметр 2 мм з круглої катанки, яка має діаметр 6 мм, розрахуємо необхідні коефіцієнти та параметри.

Для профіля круглого поперечного перерізу його площу знаходимо за формулою:

$$F = \pi r^2, \quad (2.13)$$

де r – радіус профілю.

Радіус катанки дорівнює 3 мм; радіус готового дроту дорівнює 1 мм.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставив потрібні значення, отримаємо:

- площа початкового матеріалу дорівнює – $F_0 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,26 \text{ мм}^2$;
- площа потрібного дроту дорівнює – $F_k = 3,14 \cdot 1^2 = 3,14 \text{ мм}^2$.

Сумарний коефіцієнт витяжки при волочінні потрібного дроту знаходимо за формулою (2.3) і отримаємо:

$$\lambda = 28,26 / 3,14 = 9.$$

Для отримання якісних виробів і оптимальних режимів обробки потрібно загальний коефіцієнт витяжки розподілити між чотирьома проходами. Для цього потрібно використовувати волочильний стан, що має чотири волокни.

Коефіцієнт витяжки розподіляємо між чотирьома проходами приблизно рівномірно і отримаємо, що за першим проходом витяжка λ_1 буде дорівнювати 1,8, після другого проходу λ_2 буде також дорівнювати 1,8, а на третьому проході витяжку зменшуємо λ_3 буде дорівнювати 1,7, після четвертого проходу коефіцієнт витяжки буде дорівнювати $\lambda_4 = 1,634$.

Площа поперечного перерізу виробу після першого проходу буде дорівнювати:

$$F_1 = F_0 \lambda_1 = 28,26 / 1,8 = 15,68 \text{ мм}^2.$$

При цьому отримується виріб круглого поперечного перерізу, що має діаметр $d_1 = 4,46 \text{ мм}$.

Після другого проходу площа поперечного перерізу дроту буде дорівнювати:

$$F_2 = F_1 \lambda_2 = 15,68 / 1,8 = 8,7 \text{ мм}^2.$$

При цьому отримується діаметр поперечного перерізу профілю $d_2 = 3,32 \text{ мм}$.

Після третього проходу отримаємо:

$$F_3 = F_2 \lambda_3 = 8,7 / 1,7 = 5,12 \text{ мм}^2.$$

Після третього проходу отримаємо дріт, що має діаметр $d = 2,55 \text{ мм}$.

З метою отримання точного виробу розміром 2 мм, потрібно забезпечити отримання площі поперечного перерізу на четвертому проході $F_4 = 3,14 \text{ мм}^2$.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього уточнюємо коефіцієнт витяжки на третьому проході:

$$\lambda_3 = \frac{F_3}{F_4} = \frac{5,12}{3,14} = 1,632.$$

Такий розрахунок дає підстави відкоректувати коефіцієнт витяжки на четвертому проході, томі визначаємо, що коефіцієнт витяжки на четвертому проході $\lambda_4 = 1,632$ забезпечить отримання вірного профілю діаметром 2 мм.

Розрахунки показали послідовне зменшення площі поперечного перерізу виробі, і відповідно зменшення діаметру оброблюваного матеріалу.

Відносне обтиснення розрахуємо за формулою (2.5) і отримаємо загальне відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{6-2}{6} = 0,66.$$

Після першого проходу відносне обтиснення буде дорівнювати:

$$\varepsilon_1 = \frac{6-4,46}{6} = 0,257.$$

Після другого проходу відносне обтиснення буде дорівнювати:

$$\varepsilon_2 = \frac{4,46-3,32}{4,46} = 0,256.$$

Після третього проходу відносне обтиснення буде дорівнювати:

$$\varepsilon_3 = \frac{3,32-2,55}{3,32} = 0,23.$$

Після четвертого проходу відносне обтиснення буде дорівнювати:

$$\varepsilon_4 = \frac{2,55-2,0}{2,55} = 0,216.$$

Розрахунок показав, що на перших двох проходах ступінь деформації майже однакова, на останніх проходах вона зменшується.

Напівкут волочіння дорівнює для отримання виробу круглого поперечного перерізу знаходиться за формулою (2.1) і дорівнює для першого проходу:

$$\alpha = \arcsin \sqrt{\frac{2,6 \cdot 0,1 \cdot 0,257}{2 - 0,257}} = \arcsin 0,17 = 10^\circ;$$

Для другого проходу напівкут волочіння буде дорівнювати:

$$\alpha = \arcsin \sqrt{\frac{2,6 \cdot 0,1 \cdot 0,256}{2 - 0,256}} = \arcsin 0,18 = 10^\circ.$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.7

Для третього проходу напівкут волочіння буде дорівнювати:

$$\alpha = \arcsin \sqrt{\frac{2,6 \cdot 0,1 \cdot 0,23}{2 - 0,23}} = \arcsin 0,18 = 10^\circ.$$

Для четвертого проходу напівкут волочіння буде дорівнювати:

$$\alpha = \arcsin \sqrt{\frac{2,6 \cdot 0,1 \cdot 0,216}{2 - 0,216}} = \arcsin 0,19 = 11^\circ.$$

Розрахунок показав, що напівкут волочіння за проходами не змінюється.

Коефіцієнт зменшення перерізу визначимо за формулою (2.4), де загальний коефіцієнт зменшення висоти буде дорівнювати:

$$k_\Sigma = (2/6)^2 = 0,11.$$

За першим проходом отримаємо: $k_1 = (4,46/6)^2 = 0,55$;

За другим проходом: $k_2 = (3,32/4,46)^2 = 0,55$.

За третім проходом: $k_3 = (2,55/3,32)^2 = 0,567$.

За четвертим проходом: $k_4 = (2,0/2,55)^2 = 0,615$.

З розрахунків видно, що коефіцієнт зменшення перерізу на перших двох проходах однаковий. Це забезпечується однаковим ступенем деформації. В наступних проходах цей коефіцієнт збільшується.

Загальний коефіцієнт зняття металу визначимо за формулою 2.8, і отримаємо:

$$\eta = \frac{6-2}{6} = 0,66.$$

Цей коефіцієнт розподіляється між трьома проходами:

Після першого проходу коефіцієнт зняття металу буде дорівнювати:

$$\eta = \frac{6-4,46}{6} = 0,257.$$

Після другого проходу коефіцієнт зняття металу буде дорівнювати:

$$\eta = \frac{4,46-3,32}{4,46} = 0,256.$$

Після третього проходу коефіцієнт зняття металу буде дорівнювати:

$$\eta = \frac{3,32-2,55}{3,32} = 0,23.$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після четвертого проходу коефіцієнт зняття металу буде дорівнювати:

$$\eta = \frac{2,55-2,0}{2,55} = 0,216.$$

З розрахунків видно, що коефіцієнт зняття металу відповідає ступеню обтиснення і на перших двох проходах майже однаковий, а на останніх зменшується.

Довжину осередку деформації знайдемо за формулою 2.9 і отримаємо для першого проходу:

$$l_d = \frac{6-4,46}{2tg10} = 4,4 \text{ мм};$$

для другого проходу довжина осередку деформації буде дорівнювати:

$$l_d = \frac{4,46-3,32}{2tg10} = 3,26 \text{ мм};$$

для третього проходу

$$l_d = \frac{3,32-2,25}{2tg10} = 3,05 \text{ мм};$$

для четвертого проходу довжина осередку деформації буде дорівнювати:

$$l_d = \frac{2,72-2,0}{2tg10} = 2,1 \text{ мм}.$$

Таким чином, з розрахунків видно, що довжина осередку деформації зменшується від проходу до проходу. Таке зменшення обумовлено зменшенням розміру виробу.

Виконуючи чотири проходи за розрахованими режимами отримаємо вірний профіль дроту.

Розподіл режимів обробки за проходами наведено в табл. 2.1

З таблиці 2.1 видно усі коефіцієнти та параметри, що потрібно витримати для отримання профілю дроту діаметром 2 мм.

Для отримання якісного дроту потрібно виконати чотири проходи з використанням чотирьох волок, що наведено в таблиці.

В таблиці прослідковується поступове зменшення діаметру вихідної катанки і, відповідно площі поперечного перерізу за кожним проходом, що забезпечує отримання якісного кінцевого дроту.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Режими волочіння дроту діаметром 2 мм

Прохід	d, мм	F, мм ²	k	ϵ	λ	η	α	l_d , мм
Катанка	6,0	28,26	-	-		-	-	
1 прохід	4,46	15,68	0,55	0,257	1,8	0,257	10	4,40
2 прохід	3,32	8,7	0,55	0,256	1,8	0,256	10	3,26
3 прохід	2,55	5,12	0,567	0,230	1,7	0,230	10	3,05
4 прохід	2,0	3,14	0,616	0,216	1,632	0,216	10	2,01
Загальні коефіцієнти			0,11	0,66	9,0	0,66		

Відносне обтиснення зменшується на останніх проходах, на перших воно майже не змінне. Таке зменшення необхідно виконувати через зміцнення матеріалу при холодному волочінні, у протилежному випадку можливі тріщини і навіть руйнування.

Коефіцієнт витяжки також зменшується на останніх проходах, що відповідає величині обтиснення.

Коефіцієнт зменшення висоти також поступово зменшується, що забезпечує отримання якісного профілю.

Напівкут волочіння майже залишається постійним і знаходиться у межах 10°, що достатньо добре забезпечити входження матеріалу у волоку і виконання його змащення.

Довжина осередку деформації зменшується від чорнової до чистової волоки, що відбувається через те, що зменшується діаметр та поперечний переріз оброблюваного матеріалу.

2.4 Визначення розмірів волочильного інструменту

Для визначення потрібної довжини волоки необхідно врахувати довжину осередку деформації, довжину калібруючої частини, довжини вихідної зони, довжину робочого конусу. За практичними даними рекомендується довжину калібруючої ділянки приймати 1...5 мм, вихідної - 3...8 мм, довжина робочого конусу на 2...7 мм більше, ніж довжина осередку деформації.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для отримання заданого дроту потрібно використовувати чотири волокни.

Для першої волокни приймаємо наступні значення:

- довжина вхідної зони дорівнює 4 мм,
- довжина калібруючої зони дорівнює 3 мм,
- вихідної зони складає 5 мм,
- довжина робочого конусу приймемо на 3 мм більшу за довжину осередку

деформації, тобто $3+4,4=7,4$ мм.

Після розрахунку, отримаємо довжина першої волокни дорівнює:

$$L_{b1}=3+5+7,4+4,0=19,4 \text{ мм}$$

Для другої волокни будемо використовувати наступні значення:

- довжина вхідної зони складає 3 мм
- довжина калібруючої зони дорівнює 3 мм,
- вихідної зони складає 5 мм,
- довжина робочого конусу приймемо на 3 мм більшу за довжину осередку

деформації, тобто $3+3,26=6,26$ мм.

Після розрахунку, отримаємо загальну довжину другої волокни:

$$L_{b2}=3+5+6,26+3,0=17,26 \text{ мм}$$

Для третьої волокни

- довжина вхідної зони дорівнює 3 мм,
- довжина калібруючої зони дорівнює 2 мм,
- вихідної зони складає 4 мм,
- довжина робочого конусу приймемо на 2 мм більшу за довжину осередку

деформації, тобто $2+3,05=5,05$ мм.

Після розрахунку, отримаємо довжина третьої волокни дорівнює:

$$L_{b3}=2+4+5,05+3,0=14,0 \text{ мм.}$$

Для четвертої волокни отримаємо розміри:

- довжина вхідної зони дорівнює 2 мм,
- довжина калібруючої зони дорівнює 2 мм,
- вихідної зони складає 2 мм,

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.11

- довжина робочого конусу приймемо на 2 мм більшу за довжину осередку деформації, тобто $2+2,01=4,01$ мм.

Після розрахунку, отримаємо довжина другої волоки дорівнює:

$$L_{b4}=2+2+4,01+2,0=10,01 \text{ мм.}$$

Таким чином, для отримання якісного виробу потрібно зробити три проходу з використанням трьох волок: чорнової, напівчистої, та чистої, які будуть мати відповідні довжини: перша волока має довжину 19,4 мм, друга волока має довжину 17,26 мм, третя волока має довжину 14,05 мм і четверта чистова волока має загальну довжину 10,01.

Результати розрахунку потрібних розмірів волок та їх складових частин наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розміри волок та їх елементів

№ проходу	d, мм	l_d , мм	$l_{вх}$, мм	$l_{деф}$, мм	$l_{кал}$, мм	$l_{зв\ кон}$, мм	$L_{заг}$, мм
1 прохід	4,46	4,3	5	7,4	3,0	5,0	19,4
2 прохід	3,32	3,26	3	6,26	3,0	5,0	17,26
3 прохід	2,55	3,05	2	5,05	2,0	4,0	14,05
4 прохід	2,0	2,01	2	4,01	2,0	2,0	10,01

Процес волочіння відбувається у важких умовах. Через це інструмент швидко зношується через те, що має на нього діють найбільші навантаження. Тому потрібно запропонувати способи збільшення терміну служби волочильного інструменту.

З метою підвищення зносостійкості твердосплавного вольфрам карбідового інструменту на його поверхню нанесемо напилення порошком карбиду титана (TiC). Дослідження показали, що таким чином, збільшується твердість зовнішньої поверхні волочильного інструменту до HRC 89...92. Зносостійкість було підвищено у 5 разів.

У ряді випадків для підвищення зносостійкості валок із твердого сплаву на їхню поверхню наносять шляхом напилювання порошок карбиду титану (TiC) і

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.Р0ТВД	Аркуш
						2.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нітриду титану (TiN). При цьому твердість покриття (HRC) TiC-89...91 і TiN-89...95. Застосування покриття забезпечує підвищення зносостійкості валок у 3-8 разів.

2.5 Зусилля та напруження волочіння

Волочіння відбувається завдяки прикладенню тягнучого зусилля, що викликає примусове протягування матеріалу крізь канал волочильного інструменту, де відбувається звуження профілю та зменшення площі поперечного перерізу виробу. При цьому здійснюється подовження початкового матеріалу.

В умовах холодного волочіння вуглецевих сталей, їх міцність збільшується, а пластичність зменшується. Тягнуче зусилля P при волочінні прикладають до переднього кінця дроту, називають силою волочіння. До заднього кінця катанки прикладають силу протинатягу Q . Прикладення сили протинатягу дозволяє зменшити нормальні контактні напруження, що виникають в зоні деформації, що дозволяє підвищити стійкість волочильного інструменту – волоки.

Використання технологічного мастила дозволяє зменшити коефіцієнт тертя, силу волочіння та зменшити зношення волоки, чим збільшується термін її служби.

При волочінні приділяють особливу увагу напруженню та силі волочіння. Для визначення таких показників використовують наступні припущення:

1. Деформація з'являється в геометричній площині входу оброблюваного матеріалу в осередок деформації та закінчується в геометричній площині виходу.
2. Швидкість деформації в будь-якого перерізі дроту однакова, змінюється вона тільки у напрямку волочіння.
3. В розрахунках використовується гіпотеза плоских перерізів, яка наголошує на те, що перерізи, які були плоскі до деформації, залишаються плоскими після деформації. Але дослідження показують, що в деяких випадках

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

ця гіпотеза не може використовуватися. Експерименти з координатної сіткою показали, що вертикальні лінії при волочінні мають значний вигин.

Розглянемо дію нормальних напружень в осередку деформації при волочінні дроту (рис. 2.1).

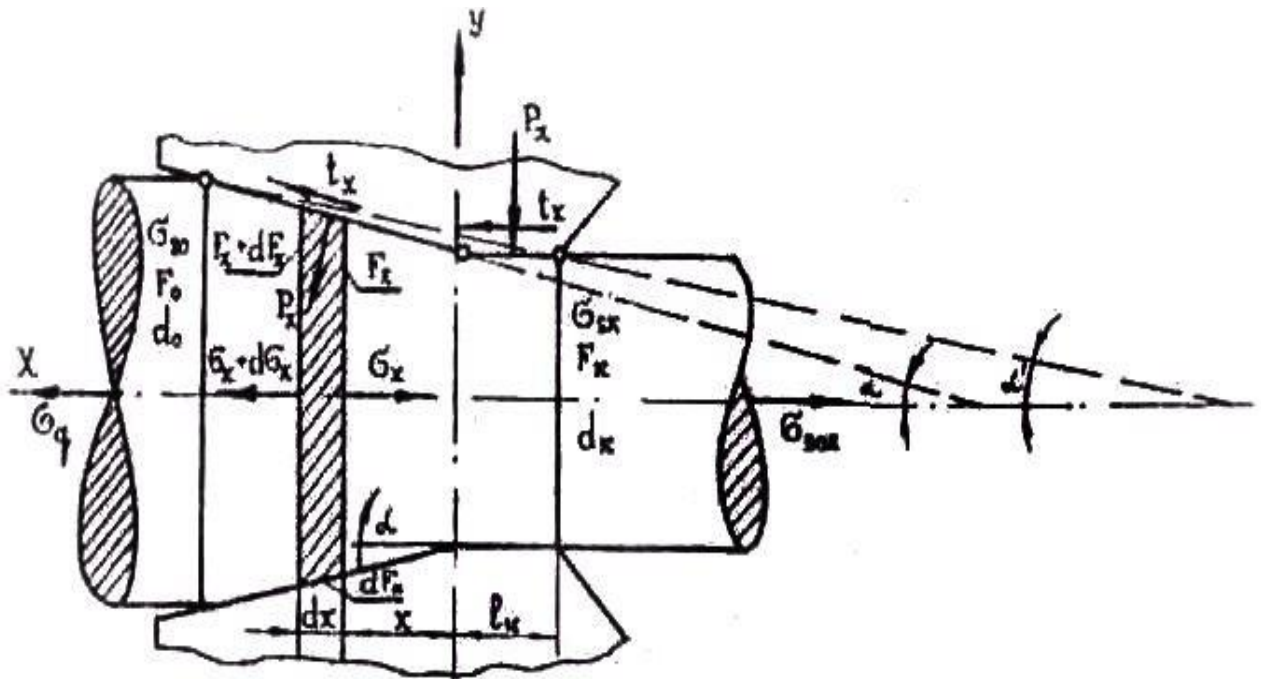


Рисунок 2.1 – Схема дії сил в осередку деформації під час волочіння

Рівняння рівноваги елементарного об'єму металу буде мати вид:

$$\sigma_x F_x + (\sigma_x + d\sigma_x)(F_x + dF_x) + p_x \sin \alpha dF_k + \tau_x \cos \alpha dF_k = 0, \quad (2.14)$$

де σ_x – нормальні розтягуючі напруження;

p_x – питомий тиск;

τ_x – сила контактного тертя;

α – напівкут волоки;

F_x – площа поперечного перерізу дроту на відстані x від площини входу.

Із закону контактного тертя Амонтона Кулона маємо:

$$\tau_x = f p_x, \quad (2.15)$$

використовуючи поточне значення витяжки, що дорівнює: $\lambda = \frac{F_0}{F_x}$, отримаємо наступне рівняння:

$$\frac{d\sigma_x}{d\lambda_x} + \frac{\sigma_x}{\lambda_x} - \frac{p_x}{\lambda_x} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha) = 0. \quad (2.16)$$

Наближена умова пластичності запишеться у вигляді для різнойменної схеми, яка описує напружений стан запишеться у вигляді:

$$\sigma_1 + \sigma_3 = \sigma_{sx}. \quad (2.17)$$

Вертикальна складова питомого тиску та сили тертя запишеться у вигляді:

$$\sigma_2 = \sigma_3 p_x \cos \alpha + \tau_x \sin \alpha = p_x (\cos \alpha + f \sin \alpha). \quad (2.18)$$

При прийнятих припущеннях, можна стверджувати, що:

$$\sigma_x + p_x = \sigma_{sx}, \quad (2.19)$$

де σ_{sx} – поточне значення границі течії металу з урахуванням його зміцнення.

Границя течії при холодному волочінні приймає значення:

$$\sigma_{sx} = \sigma_{s0} + m(\lambda_x + 1), \quad (2.20)$$

де m – модуль зміцнення металу.

З рівняння 2.20, отримаємо, що модуль зміцнення дорівнює:

$$m = \frac{\sigma_{sk} - \sigma_{s0}}{\lambda - 1}, \quad (2.21)$$

де σ_{s0} – початкове значення границі течії обробляемого матеріалу;

σ_{sk} – кінцеве значення границі течії матеріалу, що обробляється.

Дослідження показали, що при холодному волочінні відбувається зміна властивостей початкового матеріалу.

Результати дослідження наведено в табл. 2.3.

Таким чином, з таблиці 2.3 видно, що при збільшенні ступеню обтиснення границя міцності і течії металу зростають, а відносне подовження зменшується, тобто відбуваються зміцнення металу.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.15

Таблиця 2.3 – Зміна властивостей низьковуглецевої сталі марки Сталь 20 в залежності від ступеню обтиснення

Ступень обтиснення, %	Границя міцності, МПа	Границя текучості, МПа	Відносне подовження, %
0	410	245	40
25	500	290	30
50	650	420	15
70	780	660	4

Це явище потрібно враховувати при складанні маршруту волочіння (табл. 2.4) з метою отримання потрібних властивостей готового виробу.

Також при побудові технологічного процесу потрібно враховувати те, що при зміцненні металу збільшуються втрати зусилля волочіння, в результаті чого зростають витрати енергії, збільшуються коефіцієнти тертя, підвищується температура обробки, що дає підстави для збільшення зношення інструменту та зменшення його строку служби, виникає можливість обриву дроту під час його виготовлення.

Таблиця 2.4 – Маршрут волочіння

Параметри маршруту	Діаметр катанки, мм	Швидкість волочіння, м/с	№ блоку			
			1	2	3	4
Діаметр дроту, мм	6,0	2,5	4,46	3,32	2,55	2,0
Обтиснення, %			25,7	25,6	23,0	21,6
Кут волоки, град			10	10	10	10
Витяжка при волочінні			1,8	1,8	1,7	1,632
Швидкість волочіння, м/с			4,5	8,1	13,77	22,24

Готовий дріт складають в бунти, які мають ваги 1000 кг.

Після операції волочіння, відбувається контроль якості отриманого дроту. Його перевіряють на точність розмірів, овальність, тимчасовий опір матеріалу деформації.

Сила волочіння визначається за формулою:

$$P_B = F_K n_{\sigma b} \sigma_T, \quad (2.22)$$

де $n_{\sigma b}$ – коефіцієнт напруженого стану, розраховується за формулою:

$$n_{\sigma b} = \left(1 + f \frac{\Pi_{cp} l}{F_0 - F_1}\right) \ln \frac{F_0}{F_1}, \quad (2.23)$$

σ_T – опір деформації матеріалу;

F_K – площа дуги контакту, яка визначається за формулою:

$$F_K = \pi d_{cp} l_d, \quad (2.24)$$

де d_{cp} – середній діаметр, який дорівнює: $d_{cp} = 0,5(d_i + d_{i+1})$.

Тоді, формулу 2.24 можна записати у вигляді:

$$F_K = 0,5\pi(d_i + d_{i+1})l_d. \quad (2.25)$$

Опір деформації при холодному волочіння після кожного проходу збільшується в залежності від марки сталі та величини обтиснення і визначається за формулою Третьякова:

$$\sigma_i = \sigma_{T0} + a\varepsilon_{\Sigma}^m, \quad (2.26)$$

де σ_{T0} – границя течії до деформації;

ε – ступінь обтиснення;

a, m – реологічні коефіцієнти залежать від марки матеріалу.

Виконаємо розрахунок для кожного проходу за формулою (2.26), виходячи з того, що початкова границя течії для якісної сталі марки Сталь 20 дорівнює: $\sigma_{T0}=248$ МПа, коефіцієнти $a=100$, $m=0,64$.

Після першого проходу отримаємо:

$$\sigma_1 = 248 + 100 \cdot 0,257^{0,64} = 267 \text{ МПа.}$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.17

Після другого проходу отримаємо:

$$\sigma_2 = 267 + 100 \cdot 0,256^{0,64} = 288 \text{ МПа.}$$

Після третього проходу отримаємо:

$$\sigma_3 = 288 + 100 \cdot 0,23^{0,64} = 293 \text{ МПа.}$$

Після четвертого проходу отримаємо:

Після третього проходу отримаємо:

$$\sigma_3 = 293 + 100 \cdot 0,216^{0,64} = 301 \text{ МПа.}$$

Таким чином, ми бачимо, що відбулося зміцнення матеріалу в результаті пластичної деформації, що відбувається під час волочіння.

Опір деформації за кожним проходом буде змінюватися і дорівнювати.

Коефіцієнт напруженого стану визначимо за формулою (2.23):

Після першого проходу коефіцієнт напруженого стану дорівнює:

$$n_{\sigma b1} = \left(1 + 0,1 \frac{3,14 \cdot 4,46 \cdot 4,4}{28,26 - 15,68}\right) \ln \frac{28,26}{15,68} = 1,088.$$

Після другого проходу коефіцієнт напруженого стану буде дорівнювати:

$$n_{\sigma b2} = \left(1 + 0,1 \frac{3,14 \cdot 3,32 \cdot 3,26}{15,68 - 8,7}\right) \ln \frac{15,68}{8,7} = 1,05.$$

Після третього проходу коефіцієнт напруженого стану буде дорівнювати:

$$n_{\sigma b3} = \left(1 + 0,1 \frac{3,14 \cdot 3,05 \cdot 5,12}{8,7 - 5,12}\right) \ln \frac{8,7}{5,12} = 1,02.$$

Після четвертого проходу коефіцієнт напруженого стану буде дорівнювати:

$$n_{\sigma b4} = \left(1 + 0,1 \frac{3,14 \cdot 2,01 \cdot 2,0}{5,12 - 3,14}\right) \ln \frac{5,12}{3,14} = 1,01.$$

Площа дуги контакту волоки з оброблюваним матеріалом буде визначатися за формулою (2.24) і дорівнювати:

Для першого проходу:

$$F_{k1} = 0,5 \cdot 3,14(6 + 4,46)4,4 = 72,26 \text{ мм}^2 = 0,000072 \text{ м}^2.$$

Для другого проходу:

$$F_{k2} = 0,5 \cdot 3,14(4,46 + 3,32)3,26 = 39,81 \text{ мм}^2 = 0,0000398 \text{ м}^2.$$

Для третього проходу:

$$F_{k3} = 0,5 \cdot 3,14(3,32 + 2,55)3,05 = 28,11 \text{ мм}^2 = 0,0000281 \text{ м}^2.$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після четвертого проходу отримаємо:

$$F_{k4} = 0,5 \cdot 3,14(2,55 + 2,0)2,01 = 14,35 \text{ мм}^2 = 0,00001435 \text{ м}^2.$$

Для визначення сили волочіння скористаємося формулою (2.22) і отримаємо для кожного проходу:

Для першого проходу:

$$P_{B1} = 72 \cdot 10^{-6} \cdot 1,09 \cdot 267 \cdot 10^6 = 20954 \text{ Н.}$$

Для другого проходу:

$$P_{B2} = 39,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,05 \cdot 288 \cdot 10^6 = 12035 \text{ Н.}$$

Для третього проходу:

$$P_{B3} = 28,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1,02 \cdot 292 \cdot 10^6 = 8369,3 \text{ Н.}$$

Для четвертого проходу:

$$P_{B3} = 14,35 \cdot 10^{-6} \cdot 1,01 \cdot 301 \cdot 10^6 = 4362,5 \text{ Н.}$$

Дані розрахунку занесемо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Напруження та зусилля волочіння

№ проходу	d, мм	ϵ	σ_T , МПа	$n_{\sigma b}$	F_k , м ²	P_B , кН
Катанка	6,0	-	248	-	-	
1 прохід	4,46	0,257	267	1,088	0,000072	20,954
2 прохід	3,32	0,256	288	1,05	0,0000398	12,035
3 прохід	2,55	0,23	293	1,02	0,0000281	8,3693
4 прохід	2,0	0,216	301	1,01	0,00001435	4,3625

З таблиці видно, що границя текучості збільшується за кожним проходом, що викликає збільшення опору деформації, коефіцієнт напруженого стану залишається майже незмінним через однакові умови деформації. Площа контакту отвору волоки з оброблюваним матеріалом суттєво зменшується через зменшення площі поперечного перерізу виробу, що обробляється. Сила волочіння також зменшується через зменшення довжини осередку деформації та площі контакту матеріалу та інструменту в осередку деформації.

Потрібно мати на увазі те, що можливість протягування прутка має обмежені умови: зусилля волочіння не повинно викликати на передньому кінці оброблюваного матеріалу пластичну деформацію. Такі дії можуть погіршити умови обробки, погіршити якість зовнішньої поверхні оброблюваного дроту, змінити технологічні показники, а навіть викликати розрив дроту, що недопустимо. Потрібно стежити за тим, щоб напруження, що виникає при розтяжінні не перевищувало границю течії металу.

2.6 Визначення підвищення температури волочіння

Волочіння здійснюється у холодному стані, тобто процес відбувається при кімнатній температурі.

При холодному прокатування температура обробці збільшується. Таке збільшення відбувається завдяки дії пластичної деформації.

Температуру в кінці процесу деформації визначають за формулою:

$$T_1 = T_0 + 0,3 \cdot 10^{-6} \varepsilon \sigma_b + 2,75 \cdot 10^{-6} \varepsilon \sigma_b \sqrt{dv}, \quad (2.27)$$

де T_0 – температура матеріалу, що обробляється до початку деформації °С;

ε – ступень деформації,

σ_b – опір матеріалу пластичній деформації, МПа;

d – кінцевий розмір виробу, м;

v – швидкість волочіння, м/с.

Для заданих умов волочіння:

- кінцевий діаметр виробу: $d_k = 2$ мм;

- швидкість волочіння $v = 2,5$ м/с;

- початкова температура $T_0 = 20$ °С;

- ступінь деформації визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0},$$

де Δd – абсолютне обтиснення, що розраховується: $\Delta d = d_0 - d_k = 6 - 2 = 4$ мм,

d_0 – розмір початкової катанки, що дорівнює $d_0 = 6$ мм.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
						2.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки отриманих значінь визначимо ступінь обтиснення $\varepsilon=0,67$.

Опір матеріалу пластичній деформації для низьковуглецевої сталі дорівнює: $\sigma_b=410$ МПа

За кожним проходом буде відбуватися окреме підвищення температури. З формули (2.27) видно, що на величину підвищення температури суттєвий вплив має ступінь деформації, яка була для кожного окремого проходу визначена раніше, діаметр виробу, що отриманий за кожним з проходів, швидкість обробки. Відома початкова швидкість, потрібно визначити швидкість за кожним окремим проходом. При проходженні від волюти до волюти швидкість буде збільшуватися з врахуванням витяжки матеріалу.

Початкова швидкість волочіння дорівнює 2.5 м/с.

В кожному наступному проході швидкість обробки v_i буде визначатися за формулою:

$$v_i = v_{i-1} \lambda, \quad (2.28)$$

де v_{i-1} – швидкість волочіння в попередньому проході.

В першому проході: $v_1 = 2,5 \cdot 1,8 = 4,5$ м/с.

В другому проході: $v_2 = 4,5 \cdot 1,8 = 8,1$ м/с.

В третьому проході: $v_3 = 8,1 \cdot 1,7 = 13,77$ м/с.

В четвертому проході: $v_3 = 13,77 \cdot 1,632 = 22,24$ м/с.

Температура після кожного проходу буде підвищуватися і отримає наступні значення:

За першим проходом:

$$T_1=20+0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,257 \cdot 410 \cdot 10^6 + 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 0,257 \cdot 410 \cdot 10^6 \sqrt{4,46 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5} = 92,1^\circ\text{C}.$$

За другим проходом:

$$T_2=92,1+0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,256 \cdot 410 \cdot 10^6 + 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 0,256 \cdot 410 \cdot 10^6 \sqrt{3,32 \cdot 10^{-3} \cdot 8,1} = 170,9^\circ\text{C}.$$

За третім проходом:

$$T_3=170,9+0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,23 \cdot 410 \cdot 10^6 + 2,75 \cdot 10^{-6} \cdot 0,23 \cdot 410 \cdot 10^6 \sqrt{2,33 \cdot 10^{-3} \cdot 13,77} = 255^\circ\text{C}.$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.02.РОТВД	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.21

За четвертим проходом:

$$T_4 = 255 + 0,3 \cdot 10^{-6} 0,216 \cdot 410 \cdot 10^6 + 2,75 \cdot 10^{-6} 0,216 \cdot 410 \cdot 10^6 \sqrt{2,0 \cdot 10^{-3} \cdot 22,24} = 351^\circ\text{C}.$$

Отримані результати занесемо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати визначення підвищення температури при волочінні

№ проходу	d, мм	λ	ε	ϑ , м/с	T, °C
Катанка	6,0	-	-	2,5	20
1 прохід	4,46	1,8	0,257	4,5	92,1
2 прохід	3,32	1,8	0,256	8,1	170,9
3 прохід	2,55	1,7	0,230	13,72	255
4 прохід	2,0	1,532	0,216	22,24	351

З таблиці 2.6 видно, що температура при волочінні суттєво підвищилася. Таке підвищення пов'язано з наслідками дії пластичної деформації під час обробки, з дією сил тертя в осередку деформації при контакті отвору інструменту з оброблюваним матеріалом, зі збільшенню швидкості обробки. Зменшення діаметру дроту дає підстави для зменшення температури, але суттєвих результатів не приносить.

Зменшити температуру нагрівання в осередку деформації можливо за рахунок введення в осередок деформації змащення, які буде одночасно відігравати роль і охолоджуючого середовища.

ВИСНОВКИ

В роботі було досліджено призначення сталевих дротів, його класифікацію, досліджено способи його отримання.

Було досліджено способи волочіння, розглянуто різні схеми обробки.

Надано перевагу процесу волочіння в холодному стані. Такий спосіб дозволить отримати продукцію заданих розмірів та потрібної якості.

В роботі було досліджено волочильне обладнання, їх типи, швидкісні умови роботи, принцип дії та параметри деформації. Визначено переваги і недоліки в роботі різних волочильних станів. Дійшли висновку, що принцип роботи волочильного стану визначається характером дії тягнучого устаткування. Виявлено, що стани можуть працювати з прямолінійним рухом та з намотуванням на барабан. Надано перевагу волочильному стану, що працює з намотуванням на барабан. Такі стани використовують переважно для волочіння потрібного нам дроту, що має діаметр 2 мм.

В роботі було проаналізовано типи волочильних інструментів. Виявлено їх будову, принцип дії, матеріали для виготовлення. Віддано переваги твердосплавного інструменту карбід вольфрамового типу з марки ВК8, що відмінно підходить для отримання дроту середньої товщини з низьковуглецевої сталі.

З метою підвищення зносостійкості твердосплавного вольфрам карбідного інструменту на його поверхню нанесено напилення порошком карбиду титана (TiC). Дослідження показали, що таким чином, збільшується твердість зовнішньої поверхні волочильного інструменту до HRC 89...92. Зносостійкість було підвищено в 5 разів.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.В				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Паєвський			ВИСНОВКИ		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Чубенко						1	2
Рецензент							Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.		Чубенко							
Затвердив		Савельєв							

Було досліджено технологічні параметри волочіння, що забезпечать з гарячекатаної катанки, яка має діаметр 6 мм, отримати якісний сталевий дріт, що має розмір 6 мм. Було визначено раціональні обтиснення, ступінь деформації, довжину осередка деформації, коефіцієнт зняття металу, коефіцієнт витяжки.

Розрахунки показали, що для отримання якісного дроту потрібно використати чотири проходи.

Було виконано дослідження зміни напруження в осередку деформації при волочіння та визначено їх зміни за проходами.

Було визначено силу волочіння, досліджено її зміни за проходами.

Визначено зміни швидкості обробки при волочінні, де видно, що за кожним проходом швидкість збільшується.

Було визначено температуру обробки, де видно, що вона суттєво збільшується від проходу до проходу. Це обумовлено внаслідок дії пластичної деформації та збільшенням швидкості обробки.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.В	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 136 «Металургія» усіх форм навчання / С.Г. Савельєв, Л.Н. Саїтгарєєв, В.А. Чубенко, Т.П. Ярош, І.Е. Скідін, А.А. Хіноцька. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2022. – 32 с.

2. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник / В.М. Данченко, В.О. Грінкевич, О.М. Головка – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.

3. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В.В. Попович, В.В. Попович. – Львів: Світ, 2006. – 624 с. – ISBN 966-603-452-2.

4. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / [навч. посібник для учнів проф. навч. зал.] / Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. К.: Либідь, 2002. – 328 с. – ISBN 966-06-0247-2.

5. Волоочильний стан. Волочіння // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш; за заг. ред. Р. А. Шмига. – Львів, 2010. – С. 57. – ISBN 978-966-7407-83-4.

6. Ніколаєв В.О. Технологія волочіння металу. Навч. посібник. – Запоріжжя: ЗДІА, 2003. – 155 с.

7. О.В. Грушко та Ю.О. Слободянюк, «Підвищення ефективності технологічного процесу волочіння дроту з маловуглецевих сталей», на 1-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019», Вінниця, ВНТУ, 13-15 травня 2019. – С. 80-81.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.Л			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Пасвський							
Перевірив	Чубенко						1	1
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв							

8. Ніколаєв В.О. Теорія обробки металів тиском: навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 112 с.
9. V. Tittel, M. Zelenay, L. Kudelas «Effect Of Drawing Angle Size Of A Die Onwire Drawing And Bunching Process», Metal, №5, pp. 23-29, 2012.
10. R. Fabik and P. Halfarová «Impact of drawing process parameters on uniformity of strain in spring wire», Metal, pp.50-52, 2011.
11. Афтанділянц Є.Г. Технологія обробки металів і сплавів тиском. Навчальне видання / Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко. – К: Видавничий центр НУБіП, 2020. – 60 с.
12. Обладнання прокатних цехів. Навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форми навчання / Укл. М.Г. Прищип. – Запоріжжя: ЗДІА, 2016. – 116 с.
13. Грушко О.В., Огородніков В.А., Слободянюк Ю.О., Grushko O.V., Ogorodnikov V.A., Slobodianiuk Yu.O., Грушко А.В., Огородников В.А., Слободянюк Ю.О. Деформовність маловуглецевого дроту в процесі його багатоступінчастого холодного волочіння. Грушко О.В. Деформовність маловуглецевого дроту в процесі його багатоступінчастого холодного волочіння [Текст] / О.В. Грушко, В.А. Огородніков, Ю.О. Слободянюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2019. – № 3. – С. 103-110.
14. Сивак Р.І., Огородніков В.А., Архіпова Т.Ф. Немонотонна пластична деформація в процесах обробки металів тиском. Сивак Р.І. Немонотонна пластична деформація в процесах обробки металів тиском [Текст]: монографія / Р.І. Сивак, В.А. Огородніков, Т.Ф. Архіпова. – Вінниця: ВНАУ, 2022. – 202 с.
15. Огородніков В.А., Кириця І.Ю., Перлов В.Є. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором. Огородніков В.А. Механіка процесів холодного пластичного деформування вісесиметричних заготовок з глухим отвором [Текст]: монографія / В.А. Огородніков, І.Ю. Кириця, В.Є. Перлов. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 164 с. – ISBN 978-966-641-217-4.
16. Літовченко, П.І. Технологія конструкційних матеріалів [Текст]: навч. посіб. / П.І. Літовченко, Л.П. Іванова. – Х.: НА НГУ, 2016. – 306 с.

					КНУ.РБ.136.25.149с-15.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2