

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

(другий (магістерський) рівень)

на тему Визначення оптимальних параметри волочіння, з метою зменшення зносу робочих поверхонь та зменшення обривності дроту

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362

Сеник Володимир Олександрович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Белоконь

“ 01 ” 05 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сеник Володимир Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекта) визначити оптимальні параметри волочіння, з метою зменшення зносу робочих поверхонь та зменшення обривності дроту

керівник роботи (проекту) Кругляк Дмитро Олегович к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “01” 05 2023 року № 385-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Розрахунок маршруту волочіння і діаметр заготовки зі сталі марки ст.3 для отримання дроту діаметром $d = 2$ мм на семиразовому волочильному стані 5/350 без ковзання. Швидкість чистового барабану $v_7 = 10$ м/с. Кінематичні витягання для 1 – 6 барабанів $\lambda_1 = 1,33$, для чистового $\lambda_7 = 1,31$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Літературний огляд. Розрахунково-дослідницька частина, Індивідуальне завдання, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення, презентаційний матеріал 16 слайдах (на 16 сторінках)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Літературний огляд</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Розрахунково-дослідницька частина</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Індивідуальне завдання</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Кругляк Д.О., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 01.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>		
2	<i>Реферат</i>		
3	<i>Літературний огляд</i>		
4	<i>Розрахунково-дослідницька частина</i>		
4	<i>Індивідуальне завдання</i>		
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>		
6	<i>Висновки</i>		

Студент _____ *В.О. Сенік*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Д.О. Кругляк*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 81 сторінки, 26 малюнків, 14 таблиць, 29 джерел.

Об'єкт розробки – волочильні інструменти, на стані багаторазового волочіння без ковзання.

Мета роботи – визначити оптимальні параметри волочіння, з метою зменшення зносу робочих поверхонь та зменшення обривності дроту при волочінні.

Метод дослідження та апаратура – аналітичний розрахунок та комп'ютерно-математичне моделювання технологічних та енергосилових параметрів волочіння з урахуванням типу волочильного інструменту.

Визначено технологічні та енергосилові параметри волочіння, з урахуванням типу волочильного інструменту.

Результати роботи можуть бути використані на багаторазовому волочильному стані для покращення технологічних та енергосилових параметрів волочіння.

ВОЛОКА, ВОЛОЧИЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, КАЛІБРУВАЛЬНА ЗОНА, ЗАГОТОВКА, ДРІТ, МАСТИЛА, ВТУЛКА, ПАРАМЕТРИ ДЕФОРМАЦІЇ МЕТАЛУ У ВОЛОКАХ, КОНТАКТНЕ ТЕРТЯ, НАПІВКУТ ВОЛОКИ, ШВИДКІСТЬ ВОЛОЧІННЯ, НАПРУГА ПЛИНУ, НАПРУЖЕННЯ ВОЛОЧІННЯ, ПОТУЖНІСТЬ, ОБТИСК.

THE ABSTRACT

Explanatory slip to master to work: 81 pages, 26 picture, 14 tables, 29 sources.

Object of development - drawing tools, on стане reusable drawing without sliding.

The purpose of work - to define(determine) optimum parameters drawing, with the purpose of reduction of deterioration of working surfaces and reduction breakage wire at drawing.

Research reception and equipment - analytical account and mathematical modeling technological and power force of parameters drawing in view of a type drawing of the tool.

Is determined technological and power force parameters drawing, in view of a type drawing of the tool.

The results of work can be used on reusable drawing-bench for improvement technological and power force of parameters drawing.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ Й СТАН ПРОБЛЕМИ.....	11
1.1 Типи станів та параметри деформації металу у волоках.....	11
1.1.1 Волочіння на станах з одним барабаном	11
1.1.2 Багаторазове волочіння без ковзання.....	14
1.1.3 Багаторазове волочіння дроту із ковзанням	18
1.2 Температура волочіння дроту	23
1.3 Швидкість волочіння дроту.....	24
1.4 Аналіз типів волочильних інструментів	25
1.4.1 Технічні характеристики і матеріал волок.....	25
1.4.2 Інструмент з однією волокою	31
1.4.3 Збірний інструмент для волочіння дроту.....	34
1.4.4 Особливості контактного тертя при волочінні, вільне введення мастила	38
1.4.5 Гідростатичне введення мастила.....	39
1.4.6 Інструмент для волочіння з гідродинамічною подачею мастила	41
2 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	44
2.1 Задачі дослідження	44
2.2 Методика дослідження.....	44
3 ОБРОБКА Й ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	45
3.1 Розрахунок технологічних та енергосилових параметрів волочіння	45
3.2 Дослідження напруження волочіння при різних параметрах деформації.....	52
3.2.1 Вплив типу технологічного інструменту на напруження волочіння	52
3.2.2 Вплив кута волоки на напруження волочіння.....	53
3.2.3 Вплив кута волоки та коефіцієнта витягання на напруження волочіння.....	55
3.3 Математична обробка даних	56
3.4 Оптимізація параметрів волочіння.....	58
3.5 Практична цінність	70
3.6 Розрахунок передбачуваного економічного ефекту	71
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	73
4.1. Виробнича санітарія.....	73
4.2 Заходи з пожежної безпеки	75

	7
4.3 Заходи по захисту навколишнього середовища.....	76
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Рисунок – рисунок;

мм – довжина, міліметри;

кВт – потужність, кіловат;

м/с – швидкість, метри за секунду;

% - відсотки;

$^{\circ}\text{C}$ – температура, градуси Цельсія;

Табл. – таблиця;

т – маса, тони;

ст. 70 – вуглецева сталь, зі змістом вуглецю – 0,67 – 0,75%;

БСт0 – сталь, групи Б зі змістом вуглецю не більше 0,23%;

г – маса, грами;

Н – сила, Ньютон;

ВСТУП

Волочінням називають спосіб обробки металу тиском, при якому оброблювальний метал у вигляді заготовки постійного повздовжнього перерізу вводиться в канал волочильного інструмента (волоки) і протягається (проволакується) крізь нього. Форма повздовжнього перерізу каналу однакова або близька до форми повздовжнього перерізу металу, що протягається. Переріз каналу плавно зменшується від місця входу металу в інструмент до місця виходу з нього. Вихідний переріз каналу завжди менше повздовжнього перерізу протягаємої заготівлі.

Процес волочіння прийнято характеризувати наступними основними геометричними показниками: а) витяжка; б) інтегральна деформація подовження; в) відносний обтиск; г) відносне подовження.

По своїй подібності всі ці показники в різних математичних виразах характеризують головну деформацію подовження осьового шару, що у процесі волочіння є максимальною стосовно поперечного і тому досить повно відбиває деформаційну сторону процесу.

Тому заготовка, проходячи крізь волоку, деформується, повздовжній переріз її змінюється, і вона після виходу з волоки приймає форму й розміри найменшого перетину каналу. Довжина смуги при цьому зростає прямо пропорційно зменшенню повздовжнього перерізу. Перед волочінням на спеціальних станах загострюють передній кінець заготівлі, призначеної для обробки, з таким розрахунком, щоб цей кінець легко входив у волоку й частково виходив з її протилежної сторони. Цей кінець захоплюють спеціальним тягнучим механізмом [1].

Волочіння є одним з найпоширенішим видом обробки металу тиском і використовується для зменшення повздовжнього перерізу металу, головним чином у холодному стані. Волочінням одержують дрід, профілі й труби з різних марок сталі - від технічно чистого заліза високо вуглецевих сталей і легованих марок сталі. Сортамент виробів виготовлених волочінням:

різноманітний дріт діаметром 0,002...0,16 м, прутки діаметром 20...100 мм, труби різних розмірів (від капілярних до діаметра 400мм), плоскі профілі.

Порівнюючи з механічною обробкою різанням, волочіння значно економічне, тому що воно не пов'язане із втратою металу в стружку. Порівнюючи з гарячою прокаткою, волочіння також має ряд переваг: можливість одержання профілю менше 5мм, однакового розміру по всій довжині продукції, що гаряча прокатка забезпечити не може, високої якості поверхні волочильної продукції; значне підвищення границь міцності за рахунок наклепу. Волочіння також використовують для калібровки розмірів прутків і одержання профілів різної форми.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ Й СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Типи станів та параметри деформації металу у волоках

Машини, що забезпечують виконання пластичної деформації металу при протяганні прутка крізь отвір з метою зміни розмірів і форми перетину вихідного продукту обробки, називають *волочильними станами*. Основними елементами їх є волочильний інструмент і тягнучий прилад. Принцип роботи волочильних станів може бути різним і визначається характером роботи тягнучого приладу. Стани можуть бути із *прямолінійним рухом металу*, що протягається, (ланцюгові, рейкові, гідравлічні й ін.) і з *намотуванням на барабан* (барабанні). Перший тип машин застосовують для волочіння профілів, змотування в бунти яких викличе певні труднощі (наприклад, крізь значні розміри поперечного перерізу прутка або можливості порушення форми його перетину). Барабанні волочильні стани використовують для волочіння дроту, а також суцільних і порожніх профілів із чорних і кольорових металів, якщо форма їхнього поперечного перерізу при цьому не порушується [3].

Для серійного волочіння дроту використовують стани різної конструкції. Класичними є стани однократного волочіння з ковзанням і без ковзання.

1.1.1 Волочіння на станах з одним барабаном

При однократному волочінні дріт протягають крізь одну волоку і змотують на вихідний барабан (рисунок 1.1). Стан однократного волочіння має розмотувач 1, з якого дріт (катанка) 2, проходить крізь запобіжне кільце 3 і обтискується у волоці 4 за рахунок протягування барабаном 5, який приводиться від електродвигуна 7. На стані установлені зйомник готових бунтів і гострильний станок (на рисунок не показані).

Порядок роботи на стані такий. Моток дроту (катанки) укладають на розмотувач 1, а далі тягнучим пристроєм падають до гострильної машини для гостріння переднього кінця з таким розрахунком, щоб дріт вийшов за межі

волоко тримача 4 на 80... 100 мм. Виступаючий кінець дроту захоплюють кліщами, які з'єднані ланцюгом з тягнучим барабаном 5, роблять намотку на барабан 6-7 витків дроту, стан зупиняють, звільняють передній кінець дроту від кліщів і його прикріплюють до одного зі штирів барабана (кліщі забирають). Після цього стан вмикають і продовжують волочіння із мастилом до виходу з волоки заднього кінця дроту. Із зупиненого барабана бунт готового дроту знімають зйомником. Для полегшення зйому барабан має конусний профіль із кутом $2 - 3^{\circ}$, а робоча частина, що сприймає значні навантаження, повинна мати високу твердість і добре відшліфовану поверхню.

Стани одноразового волочіння з вертикальним розташуванням барабана мають діаметр барабана 550 - 800мм, потужність двигуна 40 - 100кВт, швидкість волочіння від 0,7 до 4 м/с. На подібних станах протягують дріт діаметром 2 - 16мм із заготовки 6 - 22мм з частковими обтисками 15 -35%. Стани однократного волочіння з горизонтальним розташуванням барабана застосовують для виробництва дроту фасонного профілю.

При калібруванні дроту із легованих марок сталей волочіння бунтів роблять як у термічно обробленому стані, так і без термообробки. Режим деформації обумовлений маркою стали. Так, дріт з $d = 1 - 2,0$ мм зі сталей У7 – У13(А), У7А, 9ХС, ХВГ, ШХ6 – ШХ15, ХВ5 протягують за наступним режимом (підкат $d_0=8$ мм): $7,0 \rightarrow 6,2 \rightarrow 5,5 \rightarrow 4,8 \rightarrow 4,2 \rightarrow 3,7 \rightarrow 3,25 \rightarrow 2,8 \rightarrow 2,3 \rightarrow 2,0 \rightarrow 1,8 \rightarrow 1,6 \rightarrow 1,4 \rightarrow 1,25 \rightarrow 1,15$ мм. У процесі волочіння крізь кожні 1 – 3 протягання виконують рекристалізаційний відпал з метою підвищення пластичності й зниження величин границі текучості металу.

При волочінні більше міцних сталей типу 4Х9С2, 4Х10С2М (ЭИ107), 4Х14Н14В2М (ЭИ69) для отримання дроту діаметром $d=1,0$ мм із підкату $d_0=8$ мм застосовують 25 протягувань, а рекристалізаційний відпал роблять після кожного протягання.

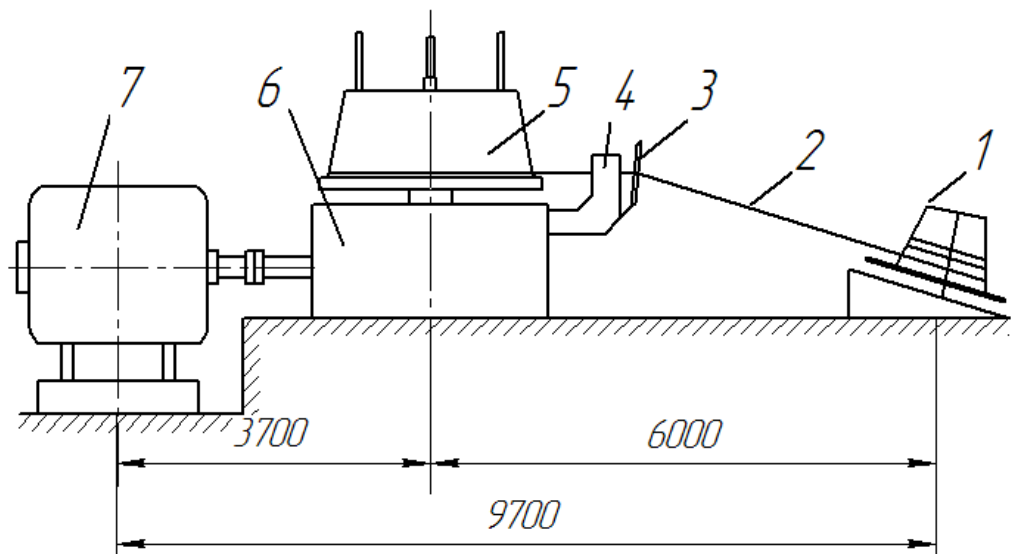


Рисунок 1.1. Схема стана одноразового волочіння: 1 - розмотувач; 2 - заготовка (катанка); 3 – запобіжне кільце; 4 - волокотримач із волокою; 5- тягнучий барабан; 6 – конічно-циліндричний редуктор; 7 - електродвигун постійного струму.

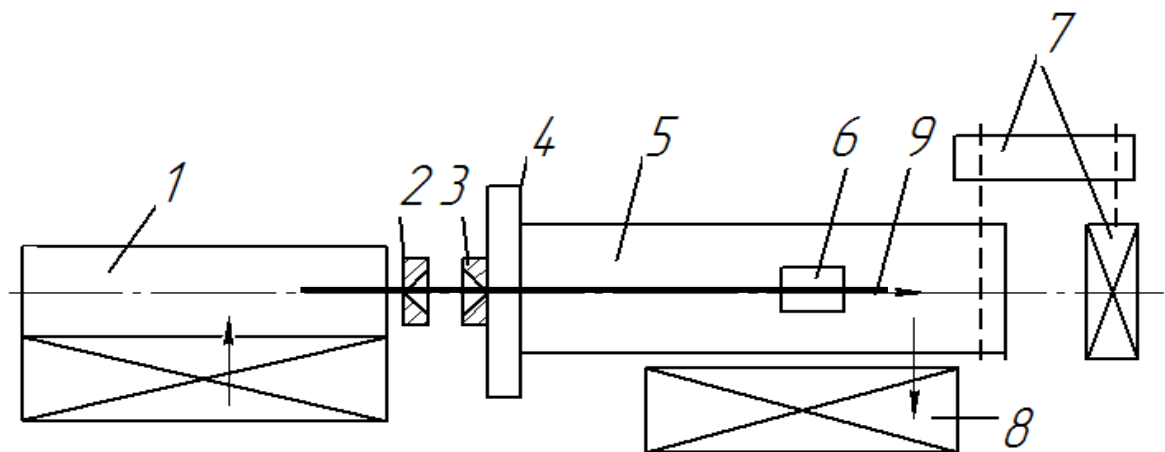


Рисунок 1.2. Схема ланцюгового стана періодичної дії для калібрування прутків діаметром $d \geq 15$ мм: 1 - прийомний стіл; 2 - штовхач прутків; 3 - волокни; 4 - стійка волокни; 5 - робочий стіл; 6 - тягнучий візок із кліщовим захватом; 7 - головний привід; 8 - кишеня для готових прутків; 9 - пруток.

З метою визначення припуску на шліфування при виготовленні шліфованої сталі і сріблянки після термообробки перед останнім протяганням відбирають 2 – 3 проби від партії для контролю глибини залягання поверхневих дефектів і обезвуглецевого шару. Для усунення указаних дефектів калібрований метал випускають з припуском для подальшого шліфування. При кінцевому діаметрі дроту $d = 1 - 2,0\text{мм}$ припуск на шліфування складає $0,1 \dots 0,15\text{мм}$; при діаметрі $d = 12 - 18\text{мм}$ припуск дорівнює $0,30 \dots 0,35\text{мм}$. Якщо після шліфування на дроті ще залишаються дефекти, то такий метал призначають на протягання на менший розмір.

На рисунку 1.2. показано схему ланцюгового волочильного стану для протягання (калібрування) прутків. На цьому стані передній кінець прутка 9 захоплюється клешнями візка 6 і ланцюговим пристроєм протягають крізь волоку 3, передній кінець заготовки примусово заштовхують пристроєм 2 у волоку. Таким способом деформують прутки з діаметром $d \geq 15\text{мм}$ [2].

1.1.2 Багаторазове волочіння без ковзання

При багаторазовому волочінні без ковзання (жорстке волочіння) протягується дріт, що, намотується на тягнучий барабан також, як при однократному волочінні, а не ковзає по ньому. Барабани станів багаторазового волочіння без ковзання, за винятком вихідного барабана, утворюють зусилля волочіння і передачу дроту до волоки наступного барабана (рисунку 1.3.).

Особливість багаторазового волочіння зводиться до того, що на стані дріт протягують крізь декілька волок 3, розташованих послідовно одна за іншою. Крізь кожну волоку дріт простягають при наявності сухого мастила за допомогою тягнучого барабана 5. З кожного барабана дріт знімається через напрямні ролики 2 - за допомогою тягнучого зусилля наступного барабана і надходить у наступному волоку, а потім, готовий дріт з необхідним діаметром намотується на прийомний барабан (катушку) 6.

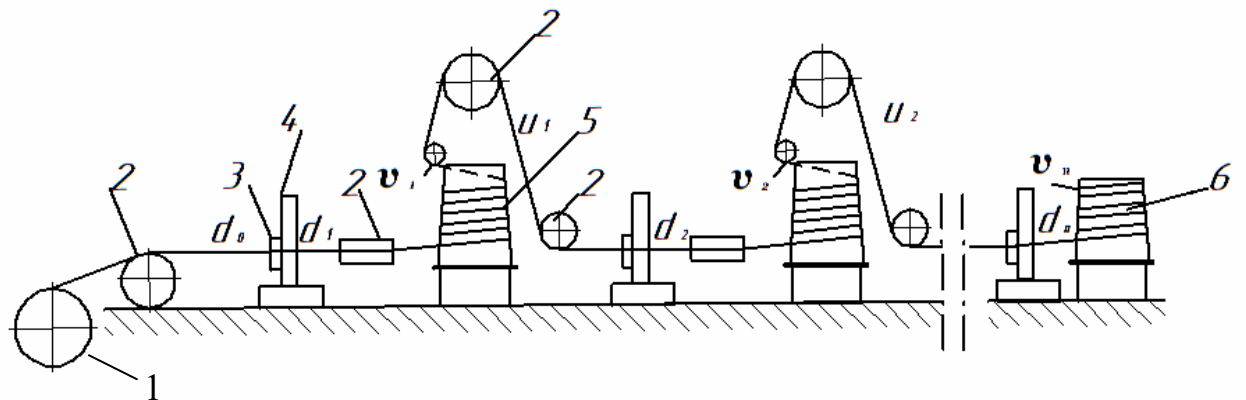
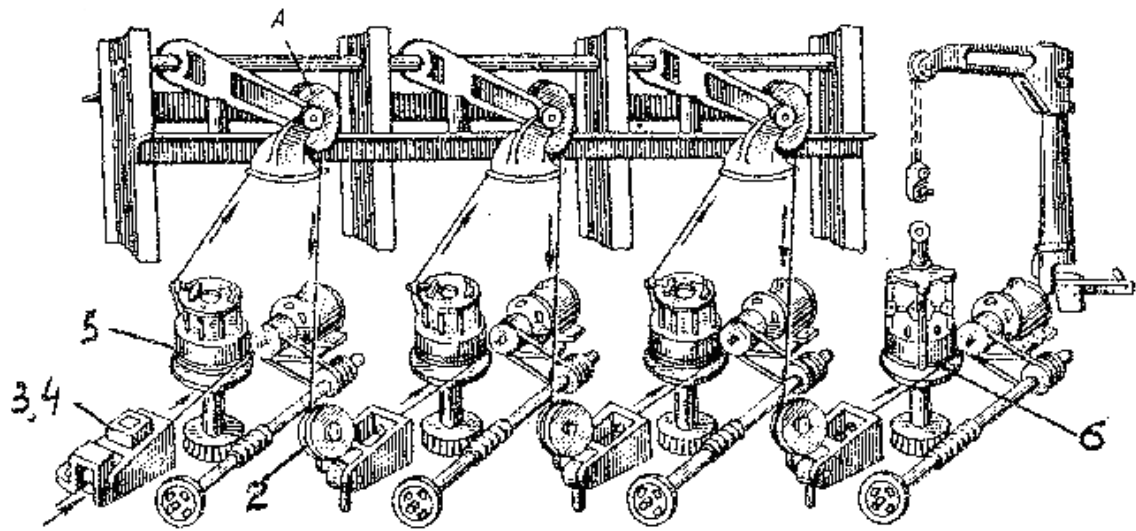


Рисунок 1.3. Схема стану багаторозового волочіння без ковзання: 1- бунт катанки; 2 - напрямний ролик; 3 - волокни; 4 - волокотримач; 5 - тягнучий барабан; 6 - тягнучий барабан для готового дроту
 Маємо: d_0 – діаметр вихідного дроту; d_i – діаметр дроту після волокни; v_i – колова швидкість барабана, рівна швидкості волочіння; u_i – швидкість знімання дроту з барабана (i – номер волокни).

Стани багаторазового сухого волочіння без ковзання у своєму складі мають 2 - 7 волок. Чим менший діаметр дроту, тим потрібна більша кількість волок. Так, для протягання маловуглецевого дроту діаметром $d_6=2\text{мм}$ із катанки $d_0 = 6,5\text{мм}$ потрібен стан шестикратного волочіння. При заправленні стана передній кінець дроту гострять вставляють у першу волоку, захоплюють кліщами й намотують на барабан. Оскільки діаметр барабана зменшується до вершини, то витки перемішаються по барабані знизу нагору й потім крізь ролики 2 передній кінець заправляють у наступну волоку й повторюють всі операції. Перед кожною волокою встановлена мильниця із сухим мастилом із порошку натрієвого мила. Кожний барабан приводиться до обертання від електродвигунів необхідної потужності.

Відношення швидкостей двох суміжних барабанів і обтиснень дроту у відповідних волоках повинно відповідати наступній умові:

$$\frac{q_i}{q_{i+1}} \geq \frac{v_{i+1}}{v_i} \quad \text{їде} \quad \mu_i \geq \lambda_i$$

де q_i й q_{i+1} – площі повздовжнього перерізу дроту до та після волок (протяжок); v_i й v_{i+1} – колові швидкості барабанів (швидкості волочіння) до та після волоки; λ_i – співвідношення швидкостей (передаточне число між сусідніми барабанами або кінематичне витягання).

При $\mu_i \geq \lambda_i$ процес волочіння іде з накопиченням дроту на наступному барабані. Це можливо в тому випадку, коли його швидкість виявляється недостатньою. Проте накопичення дроту на барабані не повинне бути значним, тому що витки будуть сходити із барабана. Ідеальним процесом багаторазового волочіння без ковзання є процес, при якому $\mu_3 = \lambda_3$ тобто процес, що йде без збільшення або зменшення запасу дроту на барабані. У даному процесі повністю дотримується закон сталості секундних об'ємів металу при волочінні.

Нормальним варто вважати процес волочіння, коли для нових волок встановлюють співвідношення ($E_1=1,05$)

$$\mu_3 = 1,05\lambda_3, \quad (1.1.)$$

У процесі зносу волок, при незмінних швидкостях барабанів, значення коефіцієнта витяжки зменшуються і $\mu_3 \rightarrow \lambda_3$, тобто процес волочіння прагне до ідеального [11].

При незмінній швидкості кожного барабана підбирають відповідні розміри волок. Так, для стану шестикратного волочіння при протягуванні дроту діаметром $d=2,0$ мм із катанки $d_0=6,5$ мм застосовують наступний режим деформації:

№ переходу	1	2	3	4	5	6
d, мм	5,2	4,15	3,3	2,7	2,28	2,0
μ	1,56	1,56	1,57	1,49	1,41	1,3
v, м/с	2,67	4,18	6,5	9,8	13,7	18,0

Відношення

$$\dot{A} = u_i / v_i, \quad (1.2.)$$

називають коефіцієнтом швидкості знімання (u_i - швидкість знімання дроту з даного барабана). Нормальним вважається процес коли $E < 1$. Швидкість знімання може бути визначена за виразом:

$$u_{i+1} = \frac{v_i}{\mu_i}, \quad \text{де} \quad u_1 = \frac{v_2}{\mu_2} \quad \text{є} \quad \text{д.а.}$$

Передаточне число λ_i (кінематична витягання) є постійним для даного стану при даному процесі волочіння, у той час як μ_i – величина перемінна, залежна від ступеня зносу волок, від пружної деформації дроту й від розмірів вихідного й кінцевого дроту [4]. В таблиці 1.1. подані параметри волочильних станів для протягування дроту з сухим та рідким мастилами.

Таблиця 1.1. Параметри волочильних станів

Діаметр дроту, мм	Швидкості для сталей м/хв		Тип стану
	низьковуглецева	Середньо- і високовуглецева	
0,2...0,4	600-1500	600-1500	15/200
0,3...0,6	600-1500	600-1500	13/250
0,4...0,8	600-1200	500-1000	8-9/250
0,8...1,4	500-1200	500-900	6-7/350
1,4...3,0	500-1000	450-900	5-6/500

3,0...6,0	300-750	200-500	3-4/550
4,0...7,0	200-400	150-300	1-2/650

1.1.3 Багаторазове волочіння дроту із ковзанням

Багаторазове волочіння із ковзанням застосовують при виробництві прямокутних профілів і дроту невеликого діаметра ($d < 1,0$ мм). Основна перевага даного процесу - порівняльна простота його здійснення: стани багаторазового волочіння із ковзанням мають менші розміри й вимагають менших матеріальних витрат на виготовлення, конструктивно менш складні, значно простіше й зручніше при заправленні дроту у стан. Волочіння із ковзанням успішно протікає в рідкому мастилі, в яке звичайно занурюють тягучі шківів, волоки й дріт, тобто в умовах набагато інтенсивного відведення тепла деформації.

До недоліків процесу волочіння із ковзанням відносять:

- додаткове тертя при ковзанні дроту по приводних шківів;
- знос (прорізання) робочої поверхні шківів дротом;
- деяке погіршення якості поверхні дроту.

Схема процесу волочіння із ковзанням показана на рисунку 1.4. і 1.5.

Кількість волок (шківів) залежить від розмірів профілю, що протягується, і може бути дорівнює 7 - 25. Передній кінець дроту гострять на спеціальній машині і з розмотуючої катушки 1 заправляють у першу волоку 2, захоплюють кінець кліщами і намотують на перший привідний тягучий шків 3 необхідну кількість витків (2 - 4 витка), а потім у такий же спосіб заправляють у наступні волоки (шківів) та в приймальну катушку 5 (рис 1.4.).

Швидкість руху дроту на кожному шківів залежить від швидкості її протягання крізь вихідну (останню) волоку і діаметра дроту в даній волоці. При протягуванні сталевого дроту діаметром $d = 0,3$ мм, максимальна швидкість на приймальній катушці $v_{\text{п}} \approx 20$ м/с і більше. Швидкість дроту після кожної волоки визначають виходячи із рівності секундних об'ємів металу, що проходять в одиницю часу крізь кожен волоку:

$$q_1 \cdot v_1 = q_2 \cdot v_2 = q_i \cdot v_i, \quad (1.3.)$$

тобто дотримується закон секундних об'ємів металу при волочінні.

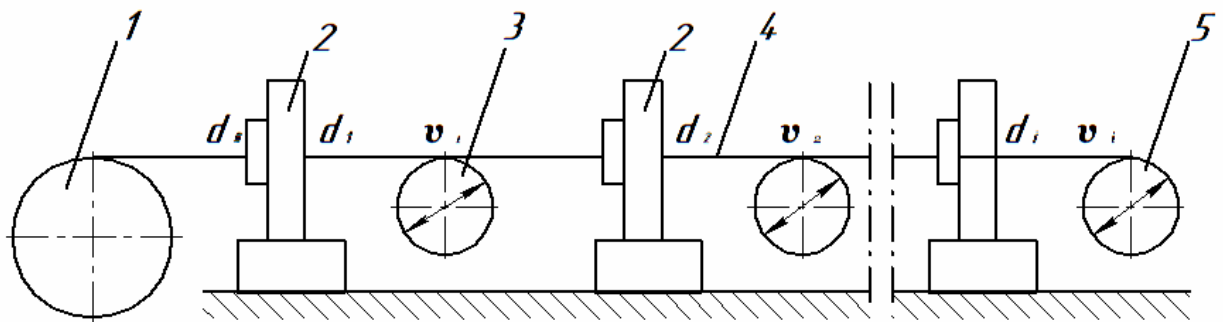


Рисунок 1.4. Схема стану для волочіння із ковзанням: 1 – розмотувальна катушка; 2 - волокни; 3 - тягнучий шків; 4 - дріт; 5 - приймальна катушка.

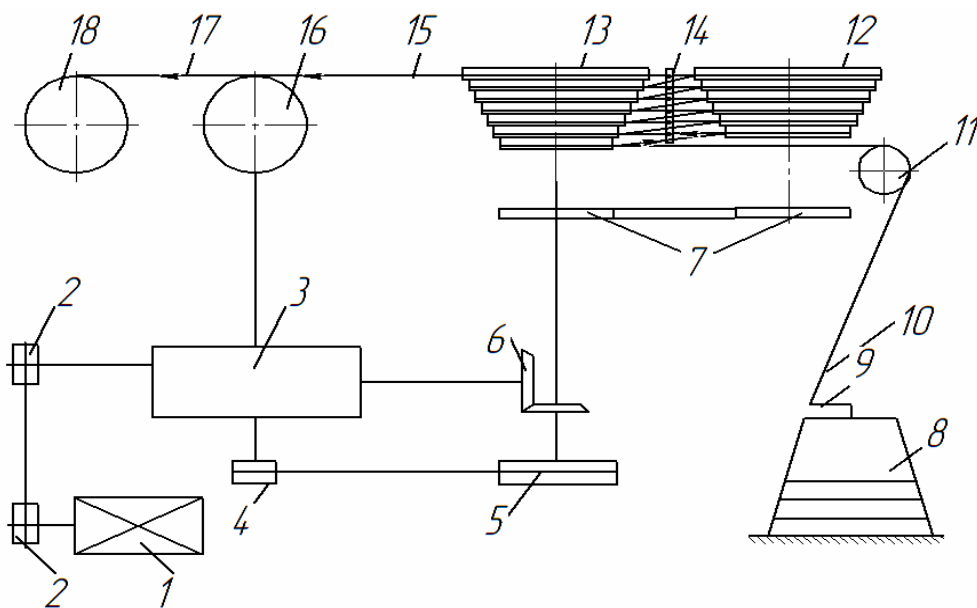


Рисунок 1.5. Принципова схема волочильного стану із ковзанням для тонкого дроту: 1 - двигун; 2 - шків; 3 - коробка швидкостей; 4 - шків привода чистового барабана; 5 - шків привода барабанів; 6 - конічна передача; 7 - циліндрична передача; 8 - нерухома розмоточна фігурка; 9 - поводок; 10 - заготовка; 11 - ролик; 12 - напрямний ступінчатий шків; 13 - тягнучий ступінчатий шків; 14 - волокотримач; 15 - готовий дріт; 16 - чистовий барабан; 17 - поводок для укладання витків дроту; 18 - катушка.

Тому що діаметр дроту зменшується від першої до останньої волоки, то швидкості волочіння v_i пропорційно зростають. Окружні швидкості тягнучих шківів послідовно зростають за рахунок збільшення обертів або їхніх діаметрів ($D_1 < D_2 < D_3 < \dots < D_i$) при загальному приводі усіх шківів (стани волочіння тонкого й найтоншого дроту з $d < 1,0\text{мм}$) або шляхом зміни передаточного відношення конічних редукторів для кожного барабана (наприклад, волочіння прямокутного мідного дроту) (рисунок 1.4.).

Принципова схема волочильного стана для протягання тонкого дроту ($d < 1,0\text{мм}$) представлена на рисунку 1.5. Привод шківів і чистового барабана робиться від двигуна 1 з потужністю від 7 до 60 кВт залежно від діаметра дроту і заготовки. Так, для волочіння дроту діаметром 0,2 - 0,35 мм із заготовки 0,7 - 1,0 мм на стані 11/200 (число волок / діаметр останнього шківа) із швидкістю 250 - 900 м/хв достатня потужність в 7 кВт. За допомогою ремінної передачі 2 обертання передається у коробку швидкостей 3, далі на конічну передачу 6, яка передає крутний момент крізь ремінну передачу 4, 5 на чистовий барабан 16 і на ступінчасті шківів 12, 13. Редуктор 7 забезпечує різні числа обертів ступінчастих шківів 12 і 13. У процесі волочіння заготовка 10 знімається з фігурки 8 за допомогою поводка 9 і крізь ролик 11 передається на тягнучий шків 13, з якого заготовка перемотується на напрямний ступінчастий шків 12, а потім протягується крізь першу волоку у волокотримачі 14. Аналогічно дріт передається в наступні волоки. З кожним обтиском діаметр дроту зменшується, а колова швидкість сходин шківів пропорційно зростає відповідно до необхідності дотримання сталості секундних об'ємів металу. Зміна колової швидкості щаблів збільшується за рахунок збільшення їхніх діаметрів. З останньої сходини дріт 15 протягується барабаном 16, що приводиться крізь шківів 5 і 4, і одночасно знімається на катушку 18. На катушці 18 дріт вкладається рядами за допомогою поводка 17. У процесі накопичення на катушці збільшується діаметр і швидкість намотування дроту. Для дотримання сталості швидкості намотки робиться автоматичне зменшення числа обертів катушки. Приймальні пристрої споряджені лічильниками довжини й

автоматичними пристроями зупинки стана при досягненні дроту заданої довжини. Витяжні шківів у машин ковзання виготовляють збірними або із твердого сплаву. Змінюваною частиною збірних шківів є робочі кільця. У процесі волочіння змазування і охолодження інструмента і шківів здійснюють емульсією (маслом) [4].

На станах із ковзанням швидкість дроту і окружна швидкість шківа різні. При цьому швидкість шківа $v_{ш}$ (рисунок 1.4.) завжди більше швидкості ділянки дроту v , що сходиться зі шківа ($v_{ш} > v$). При розрахунку режиму волочіння важливо правильно встановити величини абсолютного C_a і відносного $C_{от}$ ковзання, які рівні:

$$\tilde{N}_a = v_{\emptyset} - v; \quad \tilde{N}_{i\emptyset} = \frac{v_{\emptyset} - v}{v_{\emptyset}}.$$

Внаслідок $v_{\emptyset} > v$ і наявності ковзання волочіння дроту відбувається з протинатяганням, що відповідним чином впливає на зусилля волочіння у всіх переходах, крім першого. Виходячи зі сталості секундних об'ємів металу при волочінні при

$$\mu_i = \left(\frac{d_{i-1}}{d_i} \right)^2$$

і допускаємій швидкості ковзання $C_{отi}$ на попередньому шківі одержимо

$$d_{i-1} = d_i \sqrt{\lambda_i (1 + C_{i\emptyset^3})},$$

де i – номер волоки; λ_i – коефіцієнт кінематичної витяжки.

На станах з ковзанням швидкість ковзання становить 2 – 30%, зменшуючись до останньої волоки. Коефіцієнт кінематичної витяжки λ_i обумовлений конструкцією волочильного стана [2].

1.2 Температура волочіння дроту

У результаті пластичної деформації і контактного тертя в процесі протягування дріт і інструмент нагріваються до високих температур. Ступінь виділення тепла у осередку деформації і нагріву дроту і інструмента зумовлені конструкцією інструменту, міцністю матеріалу дроту, швидкістю волочіння та типом технологічного мастила. При калібруванні прутків $d = 8 - 10$ мм в одинарних волоках із сухим мастилом зовнішня температура обойми становить $\sim 250 - 360^{\circ}\text{C}$ в залежності від марки легованих сталей. Температура зовнішніх поверхонь корпусів збірних волок з діаметром $d=2$ мм (швидкість до 18 м/с) при непрямому охолодженні становить $130 - 150^{\circ}\text{C}$. Якщо збірні волок встановити безпосередньо в проточну охолоджуючу воду, то температура корпусів знижується до $70 - 85^{\circ}\text{C}$. Температура контактної шару самих тврдосплавних волок виявляється значно вище. За даними [5] за умови гідродинамічного тертя в осередку деформації (при $f = 0,01$) і швидкості волочіння $v = 20$ м/с, температура контактної шару може досягати $450 - 550^{\circ}\text{C}$.

Вважаючи, що вся робота пластичної деформації перетворюється в тепло, то підвищення температури для одиниці об'єму матеріального елемента протягом процесу деформування визначається рівняннями:

$$\dot{A} = \int_0^{\varepsilon} \sigma_{\delta}(\varepsilon) d\varepsilon;$$

$$\Delta t = \frac{\dot{A}}{c \cdot \gamma} = \frac{\int_0^{\varepsilon} \sigma_{\delta}(\varepsilon) d\varepsilon}{c \cdot \gamma}.$$

де A – робота пластичної деформації; ε – відносний обтиск в перерізі дроту; $\sigma_{\delta}(\varepsilon)$ – зміна границі текучості по довжині осередку деформації; c – теплоємність металу, що протягується; γ – загальна маса металу, що протягується; Δt - збільшення температури металу.

Відповідно до розрахунку по наведеним вище формулах встановлено, що залежно від величини обтиску і марки металу підвищення температури у переході може досягати $70 - 250^{\circ}\text{C}$. Режим, деформування необхідно проектувати таким чином, щоб середня температура по перерізу дроту не перевищувала 250°C для запобігання старіння сталевого дроту після волочіння.

1.3 Швидкість волочіння дроту

Чим вища швидкість волочіння, тим вище виробництво стана і техніко-економічні показники роботи. При багаторазовому волочінні виробництво стана визначається швидкістю проходження дроту крізь останню волоку. Проте сама величина швидкості волочіння зумовлена пластичними властивостями металу, типом інструменту і технологічним мастилом, які визначають величину сил тертя в осередку деформації. Відомо, що збільшення швидкості волочіння проводить до збільшення температури волочильного інструменту і погіршенню екранізуючої дії мастила. У ряді випадків при порівняно високих швидкостях волочіння, відбувається руйнування мастильного шару і налипання металу на поверхню інструмента. Особливо це спостерігається під час калі бровки металу з використанням одинарних волок.

В практичних умовах калібрування застосовують швидкості протягання в межах $0,5 - 2,5$ м/с; при волочінні дроту діаметром $d = 2$ мм із сухим мастилом – до 18 м/с; при волочінні тонкого дроту з рідким мастилом до 25 м/с. Граничні теоретичні швидкості волочіння при наявності гідродинамічної подачі мастила за даними роботи [6] при діаметрі дроту $d_k = 2$ мм і границі плину матеріалу $\sigma_T = 850 \text{ Н/мм}^2$ (низьковуглецева сталь) становить $\sim v \approx 45$ м/с. При більше високій швидкості досягається критична температура контактного шару. Для більшості металів і сплавів граничне значення температури контактного шару становить $t_k = 900^{\circ}\text{C}$, що відповідає температурі червоностійкості тврдосплавного матеріалу волок (BK6, BK8, BK10).

1.4 Аналіз типів волоочильних інструментів

1.4.1 Технічні характеристики і матеріал волок

Волока являє собою інструмент із воронкоподібним отвором (каналом), крізь який протягується метал (рис 1.6). Монолітна волока виготовляється зі сталі, твердосплавного матеріалу, алмазів і штучних алмазів і має чотири контактних ділянки каналу. Вхідна зона 1 довжиною $l_{ВХ}$ служить для полегшення введення заготовки у волоку і подання мастила у робочу зону. Поверхня зони повинна мати чистоту 0,6 – 1,25 Ra мкм, кут $40 - 50^{\circ}$ і довжину $l_{ВХ} = 1 - 1,5 d_k$ [7].

Робоча зона 2 служить для деформації металу й для зменшення впливу сил тертя на зусилля волочіння. Шорсткість поверхні повинна бути в межах 0,04 – 0,08 Ra мкм. Дослідженнями і практикою встановлені оптимальні кути $2\alpha_{\text{опт}}$ робочої зони. Вони трохи відмінні для волочіння різних матеріалів і розмірів дроту. Для вуглецевих сталей залежно від діаметра дроту застосовують наступні оптимальні кути волок:

d , мм	$2\alpha_{\text{опт}}$, град
0,2 – 1,0	8
1,0 – 3,5	10 – 12
3,0 – 5,0	10 – 12
5,1 – 8,0	12 – 16
>8,0	16

При волочінні кольорових металів оптимальні кути перебувають у межах $2\alpha_{\text{опт}} = 10 - 16^{\circ}$. Довжину l_p робочого конуса визначають виходячи з величин деформації металу й виконують її більшої, ніж довжину осередку деформації. У цьому випадку забезпечуються кращі умови захвату мастила. З урахуванням цього довжину l_p приймають для вуглецевих і леггованих сталей і сплавів у межах $l_p = (1,5 - 2) d_k$, а для кольорових металів $l_p = (1,1 - 1,3) d_k$, (табл. 1.2.)

На рисунок 1.6. зображена ідеальна форма каналу волоки із конусною робочою зоною і циліндричним калібруючим пояском 3. Однак на практиці, внаслідок коливання волки і притиру при шліфуванні волоки калібруючий поясок одержує кут у межах $\alpha = 1 \dots 2^{\circ}$, а робочий конус перемінний кут по

довжині l_p . Цьому також сприяє зниження радіальних напружень волочиння по довжині волокни. Внаслідок впливу указаних факторів профіль робочої ділянки l_p одержує радіальний профіль.

Таблиця 1.2. Розміри заготовок твердосплавних волок

Діаметр дроту d , мм	Форма	Розміри заготовлі, мм			Маса, гр.
		D	H	l_k	
1.5 – 6.15	11	22	18	1 – 1.2	90 – 91
1.0 – 3.6	9	16	14	0.3 – 0.8	36.6 – 38.2
0.65 – 1.0	5	8.5	7.0	0.6 – 1.0	5.52
0.27 – 0.65	3	8.0	5.0	0.3 – 0.6	3.55

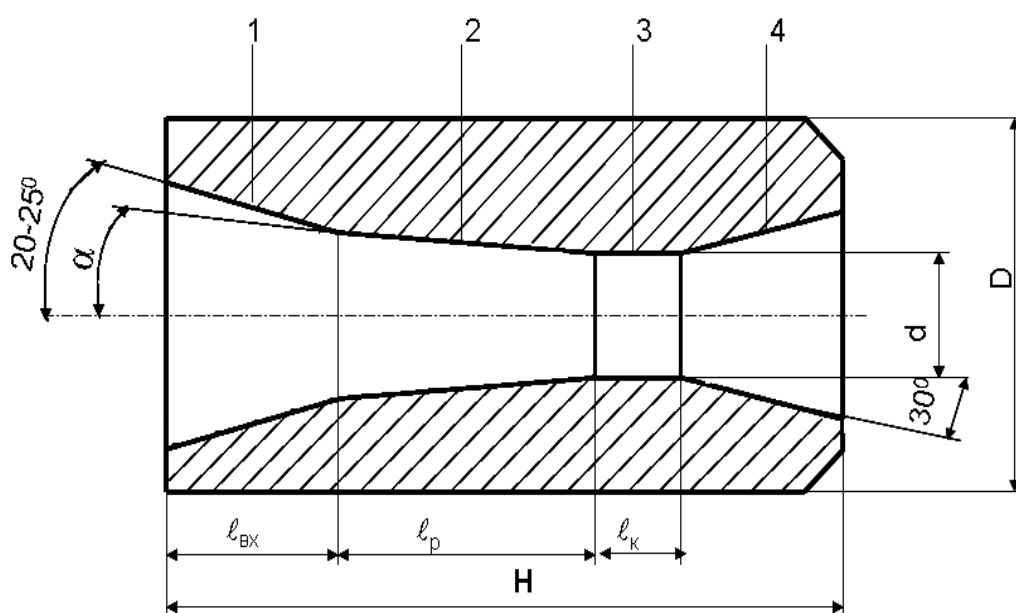


Рисунок 1.6. Волока: 1 – мастильний конус; 2 – робочий конус; 3 – калібруючий пояс; 4 – розпушка.

У ряді випадків (волочіння тонкого дроту ($d < 0,2 \dots 0,3$ мм)) спеціально виготовляють радіальний профіль робочого каналу волоки [1]. Радіальна форма є комбінацією каналів із великими і малими кутами, а тому вона більш універсальна. Канал конічної форми, придатний для великих обтисків, таким чином має великий кут α , при невеликих обтисках дає недостатню довжину контактної поверхні $l_p = \Delta d / \operatorname{tg} \alpha$ і швидко зношується. Зменшення кута α при невеликих обтисках сприяє збільшенню довжини l_p і, разом з цим, сил зовнішнього тертя.

Калібрувальна зона l_k служить для додання розмірам перерізу заготовки заданої точності і зменшення зношування вихідної частини волоки. Шорсткість поверхні повинна бути рівної $0,04 - 0,08 \text{ Ra}$ мкм. Довжина каліброваної зони зумовлена в основному матеріалом протягуємого дроту.

низьковуглецева сталь	$0,2 - 0,5 d_k$
високовуглецева сталь	$0,3 - 0,8 d_k$
мідь, срібло, латуні	$0,2 - 0,6 d_k$
нікелеві, титанові сплави, бронзи	$0,3 - 0,8 d_k$
алюміній і сплави	$0,2 - 0,4 d_k$

У практичних умовах пасок, що калібрує, у чистому виді відсутній. Існує плавний перехід контуру робочої зони до вихідної границі волоки.

Вихідна зона (розпушка) служить для запобігання металу, що протягується, від ушкодження при виході його із зони, що калібрує. Розпушка має кут виходу $60 - 70^\circ$, а довжину в межах $0,4 - 0,6 d_k$. Границі переходу однієї зони в іншу повинні бути плавними. Розміри заготовок волок дано у табл. 1.2.

Металокерамічні тверді сплави мають у своєму складі зерна карбиду вольфраму, які складають основу сплаву, скріплені в єдине ціле кобальтом. Для виготовлення волок методом гарячого пресування застосовують наступні металокерамічні тверді сплави: ВК2; ВК3; ВК6; ВК8; ВК10, де «В» означає карбід вольфраму, «К» - кобальт, цифра – зміст кобальту (%). Чим більше кобальту, тим менше твердості сплаву і тому сплави з більшим змістом вольфраму застосовують при волочінні тонких профілів з рідким мастилом. Деякі фізико-механічні властивості твердих сплавів наведені в табл. 1.3. Для

підвищення властивостей металокерамічних сплавів спікання порошків ВК виконують у вакуумі після ізостатичного пресування при $t=1600^{\circ}\text{C}$ і тиску 100 – 200 МПа [8]. При цьому у таких волоках майже повністю усувається пористість, збільшується однорідність розміру зерен карбиду у кобальтовій фазі і підвищується точність геометричних розмірів. Останнім часом знаходить застосування спосіб підвищення стійкості твёрдосплавних волок $d_k=0,6 - 1,0$ мм в 2 – 4 рази нанесенням на робочу поверхню плівки нітриду титану шляхом здійснення плазмо-механічної реакції у вакуумі.

Найбільш стійким проти стирання є природний (натуральний) алмаз - самий твердий з існуючих матеріалів (табл. 1.3). Волоки з алмазу незамінні при волочінні найтонкішого (мікронного) дроту.

Таблиця 1.3 Фізико-механічні властивості матеріалів для волок

Властивості	Алмази		Сплави	
	природний	штучний	ВК6	ВК8
Мікротвердість, Н/мм ²	9900	84300-98000	15700	15500
Межа міцності, Н/мм ² при згині	210-480	300	1420	1440
при стисненні	8680	7600	4600	-
Модуль пружності, Н/мм ²	960000	920000	610000	610000
Щільність, МН/м ³	29, 5-35	34, 2-34,7	145	145
Термостійкість, ⁰ С	700	700	-	-
Красностійкість, ⁰ С	-	-	1000	1000
Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^6$ см/см·град	0, 9-1,45	-	4,5	4,5
Твердість, HRC ₆₀	-	-	86 – 89	86 - 89

На початку 70-х років минулого сторіччя з'явилися і отримали широке поширення синтетичні полікристалічні алмазні волокни. Заготовки для таких волок одержують пресуванням і спіканням часток (порошку) як штучного (синтетичного), так і природного (натурального) алмазу [8]. Для виготовлення заготовок із синтетичного алмазу використовують порошок зернистістю 70 - 100 мкм для волок «грубого», 20 - 30 для «середнього» і 10 - 15 мкм - для «тонкого» волочіння. При цьому чим менше зернистість порошку, тим вище зносостійкість волок. Як сполучний матеріал при виготовленні (пресуванні,

спіканні) полікристалічних алмазних заготовок для волок найчастіше використовують порошок кобальту. Синтетична алмазна волока поєднує в собі твердість природного алмаза і міцність твердого сплаву (табл. 1.3). Волоки із синтетичного алмазу фірм Comрах (Компакс, США) і Syndie (Синди ПАР, Великобританія) отримали найбільше поширення за кордоном при волочінні дроту діаметром з $d = 0,25-24$ мм. У цей час у різних країнах твердосплавний інструмент практично повністю замінений більше стійким інструментом із синтетичних алмазів. Нижче наведені відомості порівняння експлуатаційної стійкості волок, виготовлених із заготовок, матеріалами яких є синтетичні алмази (СА), натуральні алмази (НА) і вольфрамо-кобальтовий сплав (ВК) (стійкість синтетичних алмазів прийнята за одиницю) [8]:

Матеріал і діаметри дроту	Матеріал волок	Збільшення стійкості штучних алмазів
Високолеговані сталі та сплави 0,29...9,9мм 0,8...1,15мм	НА ВК	4 10...12
Сталь 70 (металокорд) 0,17...0,9мм 0,3...0,9мм	НА ВК	4 15...25
Низьковуглецева сталь 0,8...3,3мм	ВК	40
Мідь 0,2...1,6мм 1,8...8,0мм	НА ВК	4...7 250...500
Алюміній 0,25...1,8мм 1,0...8,0мм	НА ВК	3 120...170

Для волочіння дроту діаметром 0,15 – 0,5 мм із тугоплавких матеріалів використовують волоки, оснащені синтетичними полікристалічними алмазами (СПКА) марок АСБ- 6-1, СВА-15Бу, СВГ (Росія). Матеріал СВГ можна використовувати при волочінні при температурах 750 - 800⁰С. Його отримують спіканням, при високих тисках і температурах, алмазних порошків ($\approx 95\%$) із ущільнюючими добавками. З перерахованих вище марок СПКА волоки типу СВГ мають більш високу зносостійкість, ніж СПКА «Компакс» при волочінні вольфрамового дроту марки ВА.

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

Збільшення експлуатаційної стійкості валок з полікристалічних алмазів у порівнянні з волоками з натурального алмаза й твердого сплаву ВК досягається завдяки довільній орієнтації кристалів (зерен) матеріалу у заготовках, внаслідок чого вони не мають анізотропії властивостей, яка викликає нерівномірний знос матеріалу. Волоки із синтетичних алмазів змонтовані в обоймах з високоміцних матеріалів, у тому числі, і із твердого сплаву ВК.

Для виготовлення і відновлення (перешліфовки) каналу волок застосовують в основному одне- і багатошпіндельні верстати вертикального виконання, у патрони яких встановлюють голки (притирання) з конусними робочими кінцями. Кут конуса дорівнює робочому конусу каналу волоки. Шліфування конусу і калібруючого пояску (циліндричним притиранням) виконують абразивною сумішшю (алмазний порошок емульсія) при обертальному і поступовому русі голки. Перешліфовку зношених волок виконують із метою видалення дефектів і додання робочої поверхні і розміру. При кожній перешліфовці діаметр калібруючого пояску збільшуються і волоки використовують для одержання більше товстого дроту.

Контроль розмірів каналу волок здійснюється різними способами [7,8]. Кут робочого конуса часто контролюється за відбитками на затягнутому крізь волоку м'якому дроті. Коли вимірюють d_0 і d по формулі визначають $\text{tg}2\alpha$:

$$\text{tg}2\alpha = (d_0 - d) / \ell_\delta$$

Діаметр калібруючого пояску замірюють шляхом затягування у волоку дроту із відповідного матеріалу і вимірюють його діаметра.

Шведською фірмою «Sandwik» (Сандвик) розроблений і серійно випускається профілограф PS200M, що дозволяє оперативно отримати профілограму каналу волок діаметром більше 0,5 мм.

1.4.2 Інструмент з однією волокою

Для волочіння труб, біметалічного дроту, алюмінію, міді, при калібруванні сталевих круглих і фасонних профілів застосовують одинарні волокни (рисунок 1.7.). При цьому використовують рідкі або сухі технологічні масла. На рисунку 1.7,а представлена волока, яка найбільш часто застосовується при волочінні. Закріплення твердосплавної волоки у корпусі роблять шляхом запресовування при температурі обойми 750 – 800⁰С. Корпус обойми виготовляють із вуглецевої або легваної сталі. Для обойми зі сталі оптимальними параметрами запресовування є температура $t = 600 - 620^0\text{C}$ і $\Delta d/d_B = 0,005 - 0,007$, при яких на волоку діють максимальні стискаючі радіальні напруження (d_B - зовнішній діаметр твердосплавної волоки; $\Delta d = d - d_0$ - різниця між зовнішнім діаметром волоки й внутрішнім діаметром d_0 обойми) [9].

Такий спосіб запресовування забезпечує практично повне усунення зруйнувань твердосплавних волок. Проте, порушення кріплення волок за рисунком 1.7,а викликає збільшення кількості їх руйнувань. Відомі роботи в галузі удосконалювання одинарних волок спрямовані на підвищення їх експлуатаційної стійкості. Приклади такого інструмента представлені на рисунку 1.7,б,в. В інструменті за рисунком 1.7,б кріплення волок у корпусі здійснюють у холодному стані за допомогою суцільної конусної втулки 3 шляхом запресовування її разом з волокою 1 у корпус 2.

Суміжні поверхні втулки та волокни мають сполучені конусні поверхні (М. А. Томшин і ін.). Недоліком такого інструмента є ускладнення виготовлення твердосплавної волоки з конусною зовнішньою поверхнею. Конструкції цього інструмента дозволяє багаторазово використовувати сталевий корпус після

повного зносу волок. В конструкції інструмента на рисунок 1.7, а після повної виробки волокни корпус повторно не використовується.

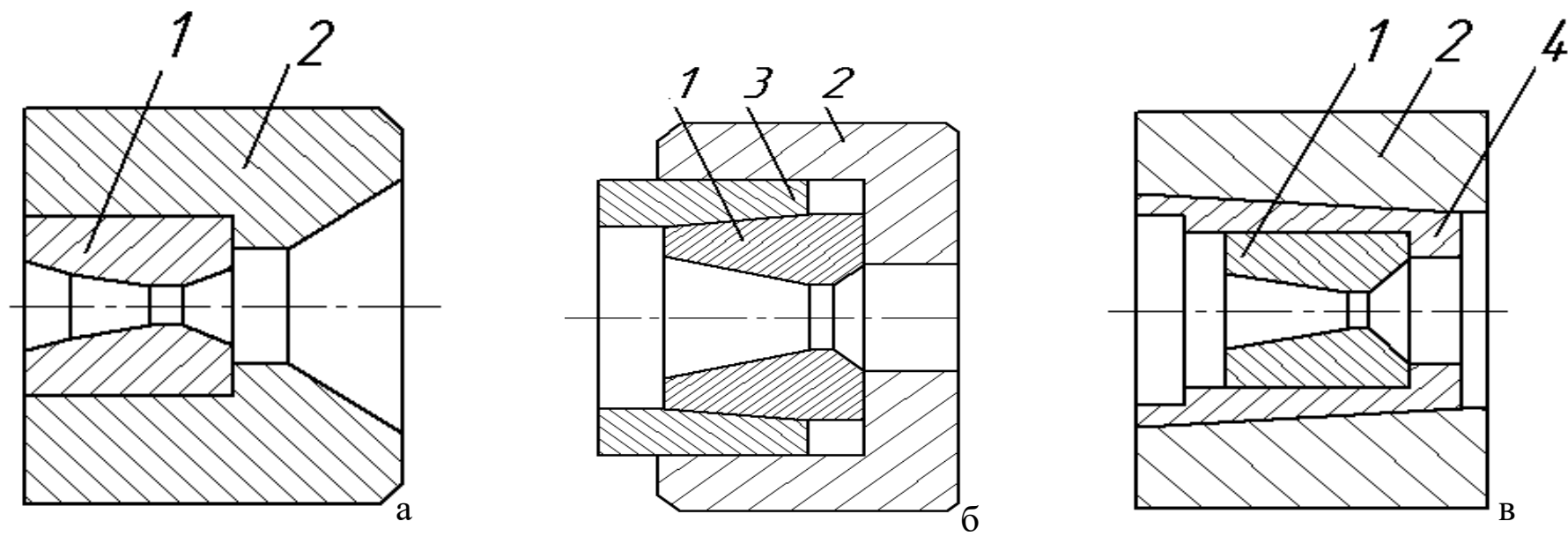


Рисунок. 1.7. Одинарні волокни: 1 - тврдосплавний вкладиш (волокна); 2 - сталевий корпус; 3 - конусна суцільна втулка; 4 - затискна (цангова з розрізом) втулка.

У калібрувальному цеху заводу «Днепроспецталь» застосовують інструмент за рисунок 1.7, в, у якому волока вільно встановлюється у цанговій втулці 3 з конічною зовнішньою поверхнею (Н. М. Чиглаков). При запресовуванні цангової втулки в корпус відбувається стиснення волоки і створення стискаючих радіальних напруг, які зберігають втулку від руйнування.

1.4.3 Збірний інструмент для волочіння дроту

В.Л. Колмогоров і ін. показують ефективність застосування збірних волок при протяганні дроту з легованих марок сталей на станах одне- і дворазового волочіння. Автори зауважують, що застосування збірних волок (рис 1.8.) замість одинарних волок (рис 1.7) забезпечує підвищення сумарного обтиску між переділами з 36 до 84%, зниження сили волочіння на 7% і підвищення стійкості волок у два рази. Однак перехід на збірні волокни, показані на рисунок 1.8, ускладнений внаслідок виробництва дрібних партій металу і частою їхньою зміною на новий профіль. З метою спрощення конструкції збірні волокни і заміни тільки обойми з робочої волокою запропоновані нові типи збірних волок. Конструкція таких волок представлений на рисунок 1.9.

При калібруванні дроту діаметром $d=2,3 - 7,0$ мм із різних сталей на стані 1/550 при використанні збірних волок отримано помітне поліпшення умов волочіння в порівнянні з одинарними волоками (таблиця 1.4.) (мастила: порошок натрієвого мила - 90%, порошок графіту - 10%):

- зниження сили волочіння на 20 - 27%;
- зниження питомої витрати електроенергії на 10 - 20%;
- підвищення зносостійкості робочих волок в 1,8 - 3 рази.

Зі збільшенням швидкості волочіння від 0,5 до 1,4 м/с температура волоки підвищується, а зусилля волочіння знижується на 12% в одинарні і на 17,4% у збірних волоках [16].

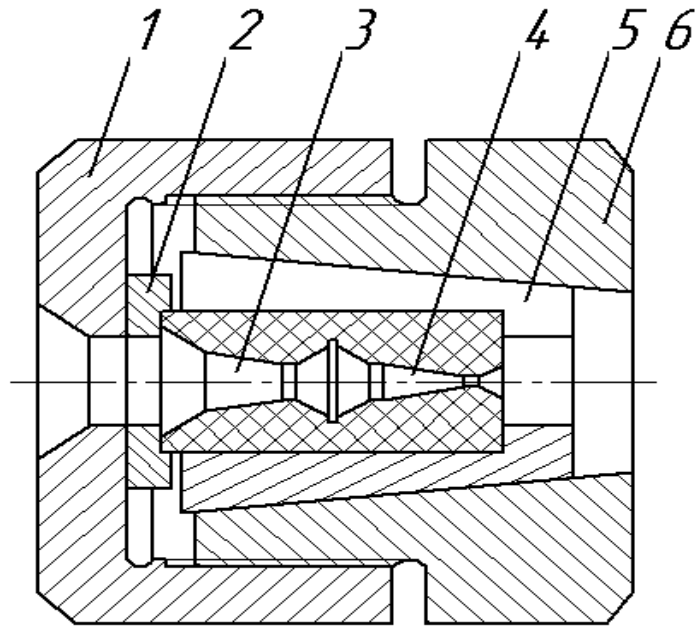


Рисунок.1.8. Збірна волока конструкції В.Л. Колмогорова і др.: 1-затискна гайка; 2-шайба; 3-напорна волока; 4-робоча волока; 5-цангова (розрізна) втулка; 6-корпус

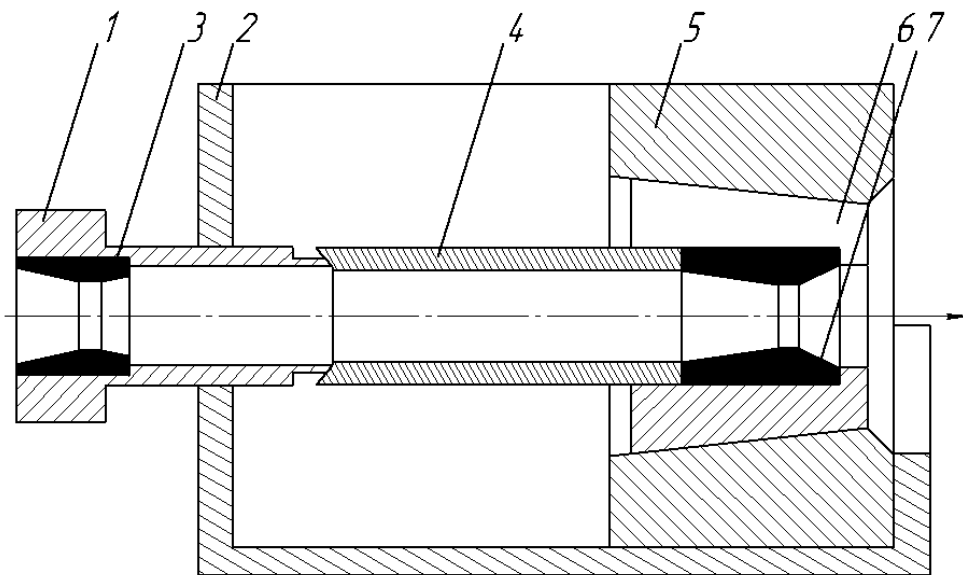


Рисунок. 1.9. Складений інструмент: 1 - затискний гвинт; 2 - волокотримач; 3 - напірна волока; 4 - напірна втулка; 5 - корпус; 6 - затискна (цангова) втулка; 7 - робоча волока.

Зменшення зусилля волочіння в одинарних волоках обумовлено зниженням опору відразу шорсткості поверхні дроту, а в збірній волоці ще й збільшенням товщини шару мастила і зниження коефіцієнта тертя. Із цих причин температура металу при волочінні в збірній волоці менше, ніж в одинарній. Однак характер впливу швидкості на зусилля волочіння обумовлений також спільним впливом матеріалу і розмірами дроту, типу мастила, типу інструмента [1, 15].

Для протягування дроту з вуглецевих і легованих марок сталей рекомендується також збірний інструмент за рисунок 1.10. Особливістю цього інструмента є надійне конусне ущільнення 7, що повністю виключає наявність зазорів для виходу мастила в напрямку волочіння. На збірному інструменті за рисунок 1.10 протягали дріт діаметром $d_k=2\text{мм}$ зі сталей марок Бст0М, Бст0 (стан 6/550) і дріт діаметром $d_k=3\text{мм}$ зі сталей марок Ст70 – 75 (стан UDSZA – 5000/5). В обох випадках використовували катанку діаметром $d_0=6,5\text{мм}$, порошок натрієвого мила і охолодження водою обойми з робочою волокою.

При волочінні низьковуглецевого дроту ($d_k=2\text{мм}$) зі швидкістю 18 м/с в останньому блоці зносостійкість робочих волок у порівнянні із серійним збільшилася в 2,4 – 3,1 рази, а зовнішня температура обойми становила всього 25 – 30⁰С (на серійних волоках температура обойми становила 130 – 170⁰С).

При протягуванні дроту зі ст.70 - 75 на стані 5000/5 збірний інструмент також виявився більш ефективним, чим серійний. Однак внаслідок більших контактних напружень, меншої швидкості волочіння (5,8 м/с) і меншому гідродинамічному тиску мастила зносостійкість збірного інструмента збільшилася в порівнянні із серійним у тільки 1,3 - 1,5 рази.

Таблиця 1.4. Результати експлуатації серійних і збірних волок при волочінні дроту з різних сталей ($v_b=0,5 - 1,4$ м/с)

Марка сталі	Діаметр дроту, мм		Кількість переходів	Середня стійкість волок, т/0,01мм зносу		Збільшення стійкості збірних волок	Умови волочіння
	d_0	d		Серійні волокни (рисунок 1.7)	Збірні волокни		
У12А	3,9	2,3	3	40	100	2,5	Холодне волочіння
9ХС	5,6	3,9	3	33	83	2,5	
ХВГ	4,5	2,8	3	30	75	2,5	
Р6М5	6,5	4,9	2	70	200	2,9	Тепле волочіння при $t=400-600^{\circ}\text{C}$
Р18	4,2	3,0	2	50	140	2,8	
ЭИЗ48	8,3	7,0	1	50	150	3,0	
30Х13	7,0	5,4	2	80	160	2,0	
12Х1 Н10Т	5,5	4,4	2	27	70	2,6	
95Х18	3,6	2,7	2	40	85	2,1	
95Х18	7,0	6,0	2	33	60	1,8	
95Х18	4,1	3,58	1	37	75	2,0	

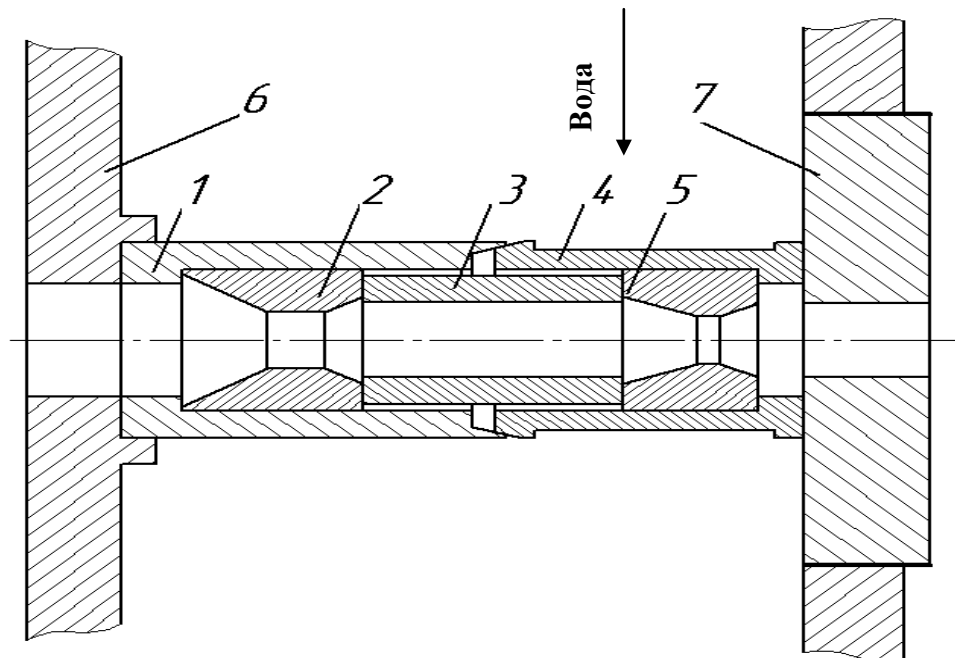


Рисунок 1.10 Складена водоохолоджувальна волока: 1 - корпус; 2 - напорна волока; 3 - напорна втулка; 4 - корпус робочої волоки; 5 - робоча волока; 6 - корпус мильниці; 7 - затискна гайка

1.4.4 Особливості контактного тертя при волочінні, вільне введення мастила

Тертя металу, що протягується, об стінки волочильного каналу затрудняє процес волочіння, тому сили контактного тертя необхідно всемірно зменшувати. Це досягається попередньою обробкою поверхні (травлення, анодирування, окислювання, нанесення різних покриттів), застосуванням мастил і створенням умов, що забезпечують виникнення рідинного тертя замість граничного і тим більше сухого. Численні спостереження показали, що виникнення рідинного тертя залежить від активності і в'язкості мастила, умов його введення в деформаційну зону, а також від швидкості волочіння, форми волочильного каналу і температури деформаційної зони, оскільки ці параметри впливають на властивості мастила і умови його введення [2].

Проте навіть при самих сприятливих умовах не вдається забезпечити рідинне тертя по всій контактній поверхні. На це вказує присутність у відпрацьованого мастила при всіх режимах процесу якогось, іноді досить значної кількості металевого пилу, що відділилася від поверхні металу, що протягується.

Ріст активності мастила стосовно протягуємого металу, а також підвищення до деякої межі його в'язкості зменшують сили тертя. Це встановлено в роботах Барона і Томпсона при волочінні латуні і Турре при волочінні міді і алюмінію. Зменшення сил тертя з підвищенням в'язкості мастила підтверджується також застосуванням при волочінні сталі мильного порошку, що в умовах волочіння являє собою високов'язку рідину [1].

У зв'язку з утворенням у входу в волочильний канал пружної зони із тривісним стиском нормальна напруга на контактних поверхнях на початку деформаційної зони може досягати величини, що помітно перевищує опір деформації металу, що протягується, у його стані у входу в канал $S_{тн}$. Тому для введення мастила між контактними поверхнями необхідно, щоб воно

подавалася під тиском, що трохи перевищує зазначену нормальну напругу. У традиційному процесі волочіння протягується полоса, що, проходить крізь деякий обсяг мастила, що перебуває під атмосферним тиском і розташованого у входу в волочильний канал. Мастило вводиться в деформаційну зону без додаткового зовнішнього впливу (вільно) тільки за рахунок зчеплення (адгезії) з протягуємим металом. При цьому одночасно значна частина мастила відганяється, мастильна плівка різко утоньшується, у багатьох місцях руйнується і тертя стає на деяких ділянках граничним і навіть сухим. Утоньшення плівки і можливості її руйнування підвищуються зі збільшенням кута волоки. Це показано И.Л. Перліним і А.И. Івановим [1], які порівнювали поверхні протягнутого дроту за інших рівних умов, але з кутами $\alpha=5$ і 15° .

Це ж показали Ренджер і Уистрейч, що вимірювали питомий електроопір контактної поверхні при волочінні крізь канали з різними кутами. Товщина мастильної плівки залежить від швидкості волочіння, тому що зі зміною швидкості міняються температура і адгезійні властивості мастила.

У деяких умовах застосовують так звані підмастильні шари, що зменшують відгін мастила.

Крім вільного введення мастила, розроблені і застосовуються два способи примусового введення, що забезпечують створення умов рідинного тертя: гідростатичний і гідродинамічний. Іноді ці способи застосовуються спільно.

1.4.5 Гідростатичне введення мастила

Гідростатичним називається введення, при якому підвищений тиск мастила у входу в канал створюється спеціальним насосом високого тиску. При цьому способі виключається необхідність у забезпеченні умов для виникнення гідродинамічного ефекту, у результаті чого напруга тертя практично не залежить від швидкості волочіння. Цей спосіб був удосконалений В.Ф. Мосеевим і А.А. Коростеліним.

Дослідження, проведені А.А. Коростеліним, показали, що гідростатичне введення мастила має наступні переваги в порівнянні із традиційним введенням мастила:

1. знижується напруга волочіння; при волочінні алюмінієвого дроту - до 39%.
2. збільшується товщина мастильної плівки; при цьому, коли тиск мастила у входу в канал помітно перевищує опір деформації металу, що протягується, перед початком пластичної деформації спостерігається рясне (фонтануюче) викидання мастила на стороні виходу. Таке викидання спостерігалось при волочінні алюмінієвого дроту і тиску мастила 10 кг/мм^2 .
3. знижується температура дроту на виході: при волочінні алюмінієвого дроту - приблизно на 20%, а при волочінні сталевого дроту - приблизно на 15%.
4. зменшується обривність і підвищується стійкість волоки; так, при волочінні сталевого дроту із границею текучості 50 кг/мм^2 , незважаючи на недостатню величину тиску мастила ($\sim 25 \text{ кг/мм}^2$ замість необхідних $\sim 50 \text{ кг/мм}^2$), спостерігалось значне зменшення обривності і збільшення стійкості волок більш ніж у два рази.

У той же час гідростатичне введення мастила викликає наступні основні труднощі:

- необхідність застосування і обслуговування насосів досить високого тиску;
- складність заправлення дроту у волоки і створення необхідного тиску на початку процесу. Була спроба ліквідувати цю трудність примусовою подачею мастила безпосередньо на контактну поверхню крізь тонкі радіальні канали в тілі самої волоки, однак це не дало помітного ефекту і викликало труднощі у виготовленні волок з такими каналами.

Ці труднощі обмежують застосування гідростатичного введення мастила і його використовують тільки в тих умовах, які виключають можливість застосування інших способів волочіння з рідинним тертям.

1.4.6 Інструмент для волочіння з гідродинамічною подачею мастила

Волочильний інструмент з однією волокою (рисунок 1.7.) не забезпечує процес волочіння з гідродинамічним тертям в осередку деформації і підвищеною товщиною шару мастила. Підвищення товщини шару мастила знижує величини сил тертя при волочінні. Одним зі способів підвищення товщини шару змащення при волочінні - гідродинамічна подача мастила в осередок деформації, при якій товщина шару мастила може перевищувати сумарну висоту шорсткостей металу і інструменту. Гідродинамічна (примусова) подача мастила в осередок деформації реалізується шляхом застосування нагнітачів, установлених перед робочою волокою [5]. Нагнітачі у вигляді трубок (напорних волок) забезпечують самонагнітання мастила у робочу волоку самого дроту, що рухається. В.М.Колмогоровим та ін. запропонована конструкція збірної волоки, що дозволяє робити волочіння дроту при гідродинамічній подачі мастила - порошку натрієвого мила (рисунок 1.8.).

При запресовуванні конусної втулки разом з волоками у корпус б відбувається радіальне стиснення волок і створення в них радіальних стискаючих напружень, які запобігають руйнуванню робочої волоки 4. У збірному інструменті напорна волока 2 має отвір на 0.03 - 0,1мм більше, ніж сама початкова заготовка, завдяки чому технологічне мастило нагнічується у порожнину перед робочою волокою і утворює тиск, достатній для примусової подачі її в осередок деформації [17].

Це збільшує товщину шару мастила, знижує силу тертя, підвищує зносостійкість інструмента. За даними промислових досліджень, у порівняно з волочінням в одинарній волоці (рисунок 1.7.), волочіння в збірній волоці дозволило знизити витрату електроенергії на 20 - 50%, підвищити зносостійкість інструмента в 2,5 - 6 разів, а продуктивність станів на 30 - 50%.

У процесі експлуатації збірних волок за рисунок 1.8. виявився ряд недоліків, основними з яких є наступні:

- можлива відмінність зовнішніх діаметрів напорної і робочої волок (більший діаметр напорної волоки виключає радіальне стиснення робочої волоки цанговою втулкою, що сприяє її зруйнуванню);
- витік мастила із зони пластичної деформації крізь проріз у цанговій втулці і зниження гідродинамічного тиску її перед робочою волокою;
- недостатнє охолодження самих твердосплавних волок при побічному охолодженні (охолодження водою самого волокотримача);
- недостатня довжина напірного елемента, що не забезпечує високого тиску мастила перед робочою волокою;

не економічність застосування вказаного інструмента при протяганні малотонажних партій легованого металу, внаслідок частої його заміни.

Удосконалення збірного волочильного інструмента надалі було спрямовано на досягнення герметизації предочагової зони й поліпшення умов охолодження.

Зупинимося докладніше на умовах гідродинамічного нагнітання технологічного мастила (порошок натрієвого мила) у осередку деформації робочої волоки (рисунок 1.10. та 1.11). У процесі руху дроту 1 мастила 4 захоплюється її поверхнею й примусово подається у осередок деформації.

Напорна волока 2 або насадка (трубка) перешкоджає відтискуванню мастила проти руху дроту і в мастильному клині 7 (на вході в робочу волоку) створюється вертикальна сила P , з якою мастило давить на дріт. При достатній силі P створюються зовнішні нормальні напруги, що досягають напруги плинності забезпечуючи деформацію металу та в утворившийся зазор входить технологічне мастило 5 з товщиною шару h_0 . Товщина шару h_0 мастила і напруги p_0 залежить від величини зазору 4 в напорній волоці (насадці) і істотно зростають зі зменшенням зазору δ_H (рисунок 1.12). При цьому, чим довша насадка, тим більше напруга p_0 .

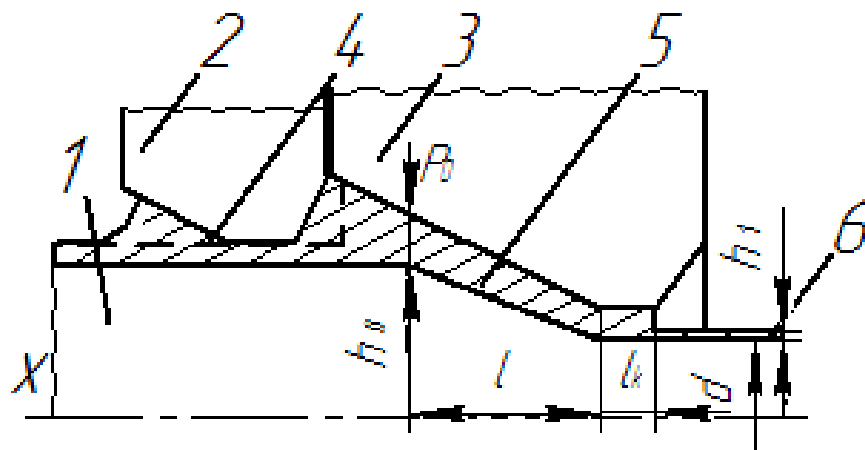


Рисунок 1.11. Схема волочиння з технологічним мастилом: 1-дріт; 2-напорна волока; 3-робоча волока; 4-шар мастила в напорній волоці; 5-шар мастила робочої волоки; 6-шар мастила на дроті.

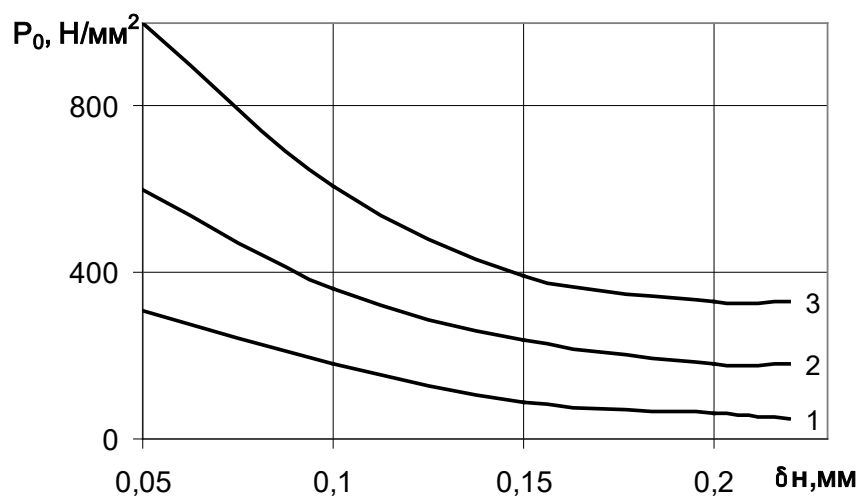


Рисунок 1.12. Нагнітаюча спроможність насадок при використанні сухого мастила ($d=2\text{мм}$, $v=0,35\text{м/с}$; збірна волока). Довжина насадки (мм): 1-5; 2-10; 3-20.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАВДАННЯ Й МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Задачі дослідження

1. Вивчення типи волочильних інструментів.
2. Вивчення впливу різних факторів на напруження волочіння при волочінні дроту.
3. Дослідження напруження волочіння при різних параметрах деформації:
 - вплив типу технологічного інструменту на напруження волочіння;
 - вплив кута волоки на напруження волочіння;
 - вплив кута волоки та коефіцієнта витягання на напруження волочіння.
4. Оптимізація параметрів волочіння.
5. Визначити тип волочильного інструменту при використанні якого буде зменшено знос робочої поверхні волок та зменшення обривності дроту.

2.2 Методика дослідження

В магістерській роботі були використані методики:

1. Ніколаєва В.О. – розрахунок технологічних та енергосилових параметрів волочіння дроту на стані багаторазового волочіння без ковзання;
2. Дослідженні напруження волочіння при різних параметрах деформації: вплив типу технологічного інструменту на напруження волочіння; вплив кута волоки на напруження волочіння; вплив кута волоки та коефіцієнта витягання на напруження волочіння;
3. Розрахунок повного факторного експерименту по методу Боксу – Уилстона.

3 ОБРОБКА Й ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Розрахунок технологічних та енергосилових параметрів волочіння

Розрахувати маршрут волочіння і діаметр заготовки зі сталі марки ст.3 для отримання дроту діаметром $d = 2\text{мм}$ на семиразовому волочильному стані 5/350 без ковзання. Швидкість чистового барабану $v_7 = 10\text{ м/с}$. Кінематичні витягання для 1 – 6 барабанів $\lambda_i=1,33$, для чистового $\lambda_7=1,31$ (рисунок 1.3.).

Розрахунок проводиться проти ходу волочіння в семи волоках, приймаємо коефіцієнт запасу дроту на барабані $E=1,05$.

1. Діаметр калібруючого пояску визначаємо за формулою:

$$d_{i-1} = d_i \sqrt{E \lambda_i};$$

$$d_3 = 3,29 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,33} = 3,87\text{мм};$$

$$d_0 = 5,44 \cdot \sqrt{1,05 \cdot 1,33} = 6,43\text{мм} \Rightarrow 6,5\text{мм}$$

Для інших волок: $d_5=2,77\text{мм}$, $d_4=3,28\text{мм}$, $d_2=4,57\text{мм}$, $d_1=5,41\text{мм}$.

2. Коефіцієнти витягання за переходах обчислюємо із формули (3.1), а відносний обтиск за формулою (3.2.):

$$\mu_1 = \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^2 \quad (2.2.1)$$

$$\varepsilon_1 = 1 - \left(\frac{d_1}{d_0} \right)^2 \quad (2.2.2)$$

де d_0 – діаметр дроту після протягання в волоці; d_1 – діаметр дроту до протягання в волоці;

$$\mu_1 = \left(\frac{6,5}{5,44} \right)^2 = 1,45;$$

$$\varepsilon_1 = 1 - \left(\frac{5,44}{6,5} \right)^2 = 0,31;$$

$$\mu_3 = \left(\frac{4,6}{3,89} \right)^2 = 1,4;$$

$$\varepsilon_3 = 1 - \left(\frac{3,89}{6,5} \right)^2 = 0,65;$$

$$\mu_7 = \left(\frac{2,35}{2} \right)^2 = 1,38.$$

$$\varepsilon_7 = 1 - \left(\frac{2}{6,5} \right)^2 = 0,91.$$

Решта величин подані у таблиці 3.1.

3. Границя текучості металу визначаємо за методикою В.А.Ніколаєва [2]:

$$\sigma_{0i} = \sigma_{TO} + \Delta\sigma_T \cdot k_\varepsilon; \quad (222.3)$$

де $\Delta\sigma_T$ – ступінь зміцнення металу при обтисненні; k_ε – коефіцієнт, враховуючий вплив відносного обтиску.

На основі обробки дослідних даних отримаємо: вуглецеві, низьколеговані сталі:

$$\left. \begin{aligned} C_{\dot{Y}} &= \tilde{N} + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{W}{4}; \\ \sigma_{TO} &= 210 + 263C_{\dot{Y}}; \\ \Delta\sigma_0 &= 209 + 460\tilde{N}_{\dot{Y}}. \end{aligned} \right\} \quad (222.4.)$$

Нам дана сталь 3, вуглецевий еквівалент котрої $C_s=0,27$ (вміст $C=0,18$, $Mn=0,47$, $Si=0,21$).

$$\left. \begin{aligned} C_{\dot{Y}} &= 0,18 + \frac{0,47}{6} + \frac{0,21}{24} = 0,27; \\ \sigma_{TO} &= 210 + 263C_{\dot{Y}} = 210 + 263 \cdot 0,27 = 281 \text{ МПа}; \\ \Delta\sigma_0 &= 209 + 460\tilde{N}_{\dot{Y}} = 209 + 460 \cdot 0,27 = 333 \text{ МПа}. \end{aligned} \right\}$$

Коефіцієнт k_ε визначають наступним способом:

$$\left. \begin{aligned} \text{äëÿ } \varepsilon = 0 \dots 0,4 \quad k_\varepsilon &= 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{0,4}\right)^{1,5+C} \\ \text{äëÿ } \varepsilon = 0,41 \dots 0,7 \quad k_\varepsilon &= 1 + 0,87(\varepsilon - 0,4)^{0,5}. \end{aligned} \right\} \quad (222.5)$$

де C – вміст вуглецю в сталі.

$$k_{\varepsilon 1} = 1 - \left(1 - \frac{0,31}{0,4}\right)^{1,5+0,18} = 0,92;$$

$$k_{\varepsilon 3} = 1 + 0,87(0,65 - 0,4)^{0,5} = 1,43;$$

$$k_{\varepsilon 7} = 1 + 0,87(0,91 - 0,4)^{0,5} = 1,62.$$

Визначаємо границю текучості для кожного переходу за формулою (3.3):

$$\sigma_{\delta 1} = 281 + 333 \cdot 0,92 = 584 \text{ Í / ì }^2;$$

$$\sigma_{\delta 3} = 281 + 333 \cdot 1,43 = 755 \text{ Í / ì }^2;$$

$$\sigma_{\delta 7} = 281 + 333 \cdot 1,62 = 817 \text{ Í / ì }^2.$$

4. Швидкість волочіння v в стані без ковзання дорівнює круговим швидкостям відповідних барабанів.

$$v_7 = 10 \text{ ì / ñ};$$

$$v_3 = 4.32 / 1.33 = 3.24 \text{ ì / ñ};$$

$$v_1 = 2.44 / 1.33 = 1.83 \text{ ì / ñ}.$$

5. Напряга волочіння в загальному вигляді:

$$\sigma_{\text{вл}} = k_H \cdot k_{\text{CM}} \cdot k_V \cdot k_{\text{П}} \cdot k_a \cdot \sigma_T \left[(1 + \delta) \ln \mu + 0.77 \text{tg} \alpha_{\text{cp}} \right] \quad (\text{III.6})$$

де σ_T – середня межа плинності металу в осередку деформації; μ – коефіцієнт витягання; k_H – коефіцієнт, враховуючий вплив типу технологічного інструменту; k_{CM} – коефіцієнт, враховуючий типу технологічного мастила; k_V – коефіцієнт, враховуючий вплив швидкості волочіння; $k_{\text{П}}$ – коефіцієнт, враховуючий противонатягання при волочінні дроту ($k_{\text{П}} = 0,7 - 1,0$); k_a – коефіцієнт, враховуючий вібронагруження дроту ($k_a = 0,75 - 0,9$);

Коефіцієнт k_V визначається із виразів:

$$\text{при } v \leq 2 \text{ м/с} \quad k_V = 1,35 - 0,18 \cdot v;$$

$$\text{при } v = 2 - 11 \text{ м/с} \quad k_V = 1 + 0,0172(v - 2)^{1,8}. \quad (\text{III.7})$$

В формулі (3.6) коефіцієнт δ ураховує вплив умов тертя в осередку деформації і дорівнює:

$$\delta = f / \text{tg} \alpha_{\text{cp}}; \quad (\text{III.8})$$

де f – середній коефіцієнт тертя в осередку деформації.

В загальному випадку коефіцієнт тертя визначається із виразу:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_M; \quad (\text{III.9})$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, залежний від діаметра дроту;

k_B – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив коефіцієнта витяжки; k_M – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив матеріалу дроту.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює (при $\mu > 1,2$):

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } d = 1.0 - 4.0 \text{ мм} \quad f_0 = 0.021(d - 0.57); \\ \text{при } d = 4 - 7 \text{ мм} \quad f_0 = 0.014(9.15 - d). \end{array} \right\} \quad (III.10)$$

Поправочний коефіцієнт k_B визначається із виразу (при $\mu < 1,2$):

$$k_B = 1 + 55(1.2 - \mu)^2; \quad (III.11)$$

При $\mu > 1,2$ коефіцієнт $k_B = 1.0$

Поправочний коефіцієнт k_M для відпаленої сталі без вапнування дорівнює $k_M = 0,88$, а для катанки (заготовки) після вапнування можна приймати $k_M = 3 - 3,5$ (тільки для першого переходу). Для зміцненої сталі $k_M = 1,0$.

Коефіцієнт тертя для калібрування сталі визначається із виразу ($\mu < 1,2$, $d > 7,0$ мм)

$$f = 0.078 \cdot k_B \cdot k_M; \quad (III.12)$$

При розрахунку напруги волочіння і коефіцієнта тертя в формулах (3.6) и (3.9) треба використовувати середню величину напівкута волоки, яка визначається за формулою:

$$\text{tg } \alpha_{cp} \cong 0.93 \cdot \alpha - 0.007; \quad (III.13)$$

де α – напівкут робочого конуса волоки. ($\alpha = \Delta d / 2\ell_p$) [14].

Приймаємо $k_H = 1$; $k_{CM} = 1$; $k_{II} = 1$; $k_A = 1$; $k_B = 1$; $k_M = 1$.

По формулі (2.4.10) визначаємо f_0 для кожного переходу:

$$f_1 = 0.014(9.15 - 5.41) = 0.052;$$

$$f_3 = 0.021(3.87 - 0.57) = 0.069;$$

$$f_7 = 0.021(2 - 0.57) = 0.03.$$

Т.к. $k_B = 1$; $k_M = 1$, то з формули (3.9) $f = f_0$.

Із формули (3.7) визначаємо k_v для кожного переходу:

$$k_{v1} = 1.35 - 0.18 \cdot 1.83 = 1.02;$$

$$k_{v3} = 1 + 0.0172(3.24 - 2)^{1.8} = 1.03;$$

$$k_{v7} = 1 + 0.0172(10 - 2)^{1.8} = 1.73.$$

Приймаємо $\alpha_{0,1}=6^0$ ($\alpha=0.105$ рад), $\alpha_{2-7}=5^0$ ($\alpha=0.087$ рад) і визначаємо за формулою (3.13) середню величину α_{cp} , а за формулою (3.8) коефіцієнт δ для кожного переходу:

$$\text{tg}\alpha_{cp0,1} \cong 0.93 \cdot 0.105 - 0.007 = 0.091;$$

$$\text{tg}\alpha_{cp2-7} \cong 0.93 \cdot 0.087 - 0.007 = 0.074.$$

$$\delta_1 = 0.052 / 0.091 = 0.58;$$

$$\delta_3 = 0.069 / 0.074 = 0.94;$$

$$\delta_7 = 0.03 / 0.074 = 0.41.$$

Із формули (3.6) отримаємо напругу волочіння для кожного переходу [16]:

$$\sigma_{вл1} = 1.02 \cdot 584[(1 + 0.58)\ln 1.45 + 0.77 \cdot 0.091] = 388 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma_{вл3} = 1.03 \cdot 755[(1 + 0.94)\ln 1.4 + 0.77 \cdot 0.074] = 545 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma_{вл7} = 1.73 \cdot 817[(1 + 0.41)\ln 1.38 + 0.77 \cdot 0.074] = 713 \text{ Н / мм}^2.$$

При цьому коефіцієнт запасу міцності за межею текучості дорівнює:

$$\gamma = \sigma_{m1} / \sigma_{вл}; \quad (III.14)$$

$$\gamma_1 = 584 / 388 = 1.5;$$

$$\gamma_3 = 755 / 546 = 1.38;$$

$$\gamma_7 = 817 / 713 = 1.15.$$

6. Силу волочіння для кожного переходу знаходимо із виразу:

$$P = \sigma_{вл} \cdot \pi \cdot d_i^2 / 4; \quad (III.15)$$

$$P_1 = 388 \cdot 3.14 \cdot 5.41^2 / 4 = 8910 \text{ Н};$$

$$P_3 = 545 \cdot 0.785 \cdot 3.87^2 = 6417 \text{ Н};$$

$$P_7 = 713 \cdot 0.785 \cdot 2^2 = 2240 \text{ Н}.$$

7. Потужність волочіння за переходами знаходимо із виразу (3.16):

$$N = N_{xx} + P_v / 1020\eta; \quad (III.16)$$

Приймаємо $N_{xx}=0$; $\eta=0.95$.

$$N_1 = 8910 \cdot 1.83 / 1020 \cdot 0.95 = 17 \text{кВт};$$

$$N_3 = 6417 \cdot 3.24 / 1020 \cdot 0.95 = 21 \text{кВт};$$

$$N_7 = 2240 \cdot 10 / 1020 \cdot 0.95 = 23 \text{кВт}.$$

Розрахункові данні заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Параметри деформації при волочінні дроту $d=2\text{мм}$

№ барабанів	λ_i	d, мм	M	ε_Σ	σ_T , Н/мм ²	$\sigma_{\text{вд}}$, Н/мм ²	γ_{II}	P, Н	v, м/с	N, кВт
		6,5								
1	1,33	5,41	1,45	0,31	584	388	1,5	8910	1,83	17
2	1,33	4,57	1,4	0,50	706	482	1,46	7920	2,44	20
3	1,33	3,87	1,4	0,65	755	545	1,38	6417	3,24	21
4	1,33	3,28	1,4	0,75	782	546	1,43	4600	4,32	20
5	1,33	2,77	1,4	0,82	799	568	1,41	3426	5,74	20
6	1,33	2,35	1,4	0,87	810	628	1,29	2714	7,63	21
7	1,31	2,00	1,38	0,91	817	713	1,15	2240	10	23

3.2 Дослідження напруження волочіння при різних параметрах деформації

3.2.1 Вплив типу технологічного інструменту на напруження волочіння

На напругу волочіння впливає багато факторів:

$$\sigma_{вл} = k_{и} \cdot k_{см} \cdot k_{v} \cdot k_{п} \cdot k_{a} \cdot \sigma_T \left[(1 + \delta) \ln \mu + 0.77 \operatorname{tg} \alpha_{cp} \right]$$

де σ_T – середня межа плинності металу в осередку деформації; μ – коефіцієнт витягання; $k_{и}$ – коефіцієнт, враховуючий вплив типу технологічного інструменту; $k_{см}$ – коефіцієнт, враховуючий типу технологічного мастила; k_v – коефіцієнт, враховуючий вплив швидкості волочіння; $k_{п}$ – коефіцієнт, враховуючий противонатягання при волочінні дроту ($k_{п}=0,7 - 1,0$); k_a – коефіцієнт, враховуючий вібронагруження дроту ($k_a = 0,75 - 0,9$) [16];

Одним із факторів який впливає на напругу волочіння є $k_{и}$ – коефіцієнт, враховуючий вплив типу технологічного інструменту. На основі досліджень

Коефіцієнт $k_{и}$ дорівнює:

одинарна волока	$k_{и} = 1.0$
збірна волока з одним робочим вкладишем (волока В.Л. Колмогорова)	$k_{и} = 0,85 - 0,9$
збірна волока з конусним з'єднанням	$k_{и} = 0,7 - 0,75$
збірна волока з двома робочими вкладишами(без цангової втулки)	$k_{и} = 0,7 - 0,72$

Коефіцієнт $k_{см}$ дорівнює:

порошок натрієвого мила (ПНМ)	$k_{см} = 1,0$
графіт	$k_{см} = 0,95$
індустріальне мастило І – 12	$k_{см} = 1,4$
індустріальне мастило І – 12	$k_{см} = 1,2$
соняшникове гідрогенізоване мастило (СГМ)	$k_{см} = 1,2$
емульсол ЭШП	$k_{см} = 1,13$
хлорпарафін	$k_{см} = 1,16$

Для наочності розрахуємо напруга волочіння в 1, 3 та 5 переході з:

- а) одинарна волока $k_{и} = 1$;
- б) збірна волока з конусним з'єднанням $k_{и} = 0,75$;
- в) збірна волока з двома робочими вкладишами(без цангової втулки) $k_{и} = 0,72$.

Переход 1:

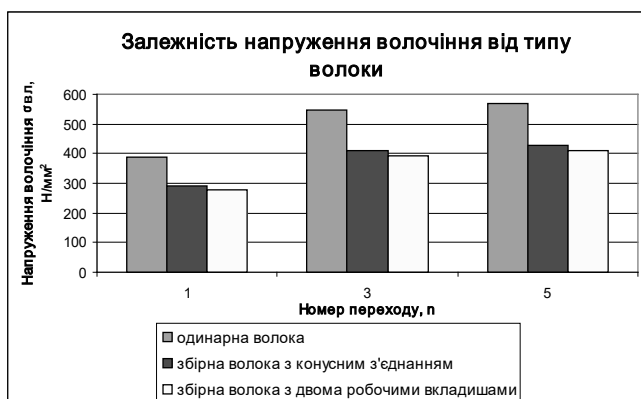
- а) $\sigma'_{вл1} = \sigma_{вл} \cdot k_{и} = 388 \cdot 1 = 388 \text{ Н / мм}^2$;
- б) $\sigma'_{вл1} = \sigma_{вл} \cdot k_{и} = 388 \cdot 0,75 = 291 \text{ Н / мм}^2$;
- в) $\sigma'_{вл1} = \sigma_{вл} \cdot k_{и} = 388 \cdot 0,72 = 280 \text{ Н / мм}^2$.

Переход 3:

- а) $\sigma'_{вл3} = \sigma_{вл} \cdot k_u = 545 \cdot 1 = 545 \text{ Н / мм}^2$;
- б) $\sigma'_{вл3} = \sigma_{вл} \cdot k_u = 545 \cdot 0,75 = 409 \text{ Н / мм}^2$;
- в) $\sigma'_{вл3} = \sigma_{вл} \cdot k_u = 545 \cdot 0,72 = 393 \text{ Н / мм}^2$.

Переход 5:

- а) $\sigma'_{вл5} = \sigma_{вл} \cdot k_u = 568 \cdot 1 = 568 \text{ Н / мм}^2$;
- б) $\sigma'_{вл5} = \sigma_{вл} \cdot k_u = 568 \cdot 0,75 = 426 \text{ Н / мм}^2$;
- в) $\sigma'_{вл5} = \sigma_{вл} \cdot k_u = 568 \cdot 0,72 = 409 \text{ Н / мм}^2$.



Як видно з діаграми при застосуванні збірної волоки з двома робочими вкладишами (без цангової втулки) $k_u = 0,72$, напруження волочиння менше чим при одинарній волоці $k_u = 1$.

3.2.2 Вплив кута волоки на напруження волочиння

Величина кута вхідного конуса волоки справляє помітний вплив на напруження і силу волочиння і, як йдеться із формул, вплив його двоякий. Аналіз формули (3.17) і подібних їй показує, що при малих кутах α напруження $\sigma_{вл}$ і сила P зростає із зменшенням кута, а при великих кутах α напруження $\sigma_{вл}$ — зростає із збільшенням кута.

$$\sigma_{вл} = \sigma_m \left[\left(1 + \frac{1}{\delta} \right) (1 - \mu^{-\delta}) + 0,77 \text{tg} \alpha \right] \quad (3.17)$$

За даними [13] величина оптимального кута волочиння визначається формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{opt}} = \sqrt{(\sqrt{3}) / 4 [f(1 - \sigma_o / \sigma_m) \ln \mu]}$$

Волочіння при оптимальному куті α_{opt} забезпечує мінімальні витрати електроенергії, знос волок, знижує обривність дроту. Як випливає із формули, оптимальний кут збільшується із збільшенням коефіцієнта витягання, але знижується при збільшенні заднього натягування.

Вплив кута α на напруження волочіння зумовлено одночасним впливом нормальних напружень σ_n та сил тертя τ . Так, при $\alpha=0$ процесу протягування дроту перешкоджають лише дотичні напруження τ , а при $\alpha > \alpha_{\text{opt}}$ протягуванню перешкоджають нормальні напруження σ_n (горизонтальні складові напруження τ зменшуються). Отже, збільшення кута $\alpha \rightarrow 0$ сприяє зниженню впливу горизонтальних нормальних складових τ і σ_n та мінімальні величини напруження волочіння $\sigma_{\text{вл}}$.

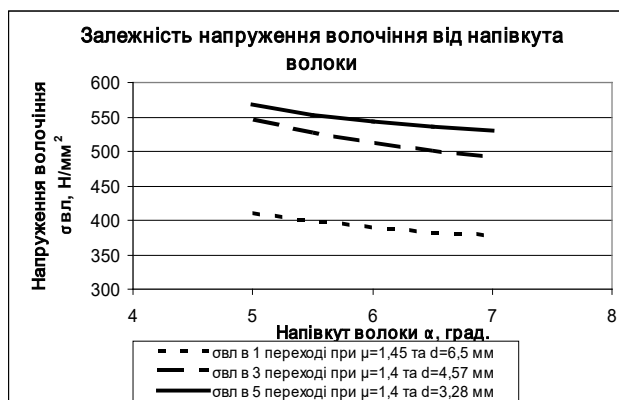
Розрахуємо вплив напівкута волоки на напруження волочіння в 1, 3 та переходах з напівкутом волоки α рівним:

а) 5^0 ; б) $5,5^0$; в) 6^0 ; г) $6,5^0$; д) 7^0 .

Данні заносимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 Залежність напруження волочіння від напівкута волоки.

Номер переходу/ напівкут волоки α	Напруження волочіння				
	5	5,5	6	6,5	7
1	409	397	388	382	377
3	545	526	511	499	490
5	567	554	544	536	531



З графіку залежності напруження волочіння від напівкута волоки видно, що зі збільшенням напівкута та діаметру дроту напруження волочіння зменшується.

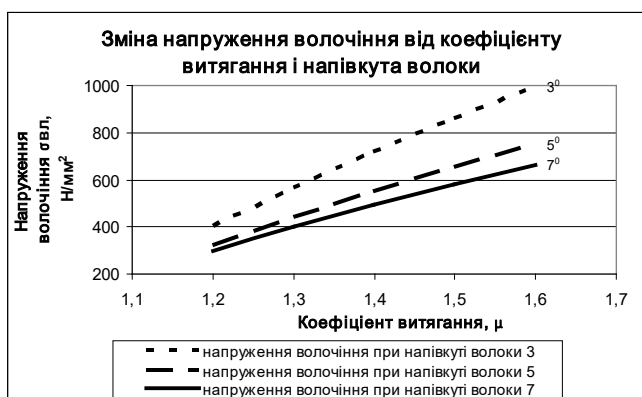
3.2.3 Вплив кута волоки та коефіцієнта витягання на напруження волочіння

Розрахуємо вплив коефіцієнта витягання і напівкута волоки на напруження волочіння для

- напівкута α , який дорівнює:
 - а) 3° ; б) 5° ; в) 7° .
 - коефіцієнту витягання μ рівного:
 - а) 1,2; б) 1,3; в) 1,4; г) 1,5; д) 1,6
- Отримані данні заносимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3. Вплив коефіцієнта витягання і напівкута волоки на напруження волочіння

Номер переходу/ коефіцієнт витягання μ	Напруження волочіння				
	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
1	401	566	719	861	994
3	317	437	548	652	748
5	297	399	494	582	664



З графіку залежності напруження волочіння від коефіцієнта витягання і напівкута волоки видно, що зі збільшенням напівкута волоки напруження волочіння збільшується.

3.3 Математична обробка даних

Для виконання планування 2-х факторного експерименту необхідно виконати досвідченні прокатки при заданих мінімальних і максимальних рівнях аргументу й крім того визначити функцію при зоряній крапці (x_c) (рисунок 3.1.). Однак обмеження кількості експериментів у цьому методі обробки даних не дозволяє одержувати адекватної залежності. Планований експеримент виконують із метою економії матеріалу, ресурсів, зразків, електроенергії, трудових витрат.

У такий спосіб економія матеріальних ресурсів погіршує якість наукового експерименту.

Більш достовірні експерименти одержують у випадки одержання експериментальних даних залежно від варіюємих параметрів з досить невеликою зміною інтервалу аргументу між верхнім і нижнім рівнем.

У даному дослідженні при декількох факторах, що варіюють, на кожному параметрі досліджується функція $y = f(x)$ $y = f(z)$ $y = f(\varepsilon)$.

Отримані експериментальні матеріали [4] піддаються математичній обробці [13] з метою отримання математичних залежностей. Як приклад нижче наведена графічна залежність середньої температури t волочіння залежно від швидкості v волочіння (рисунок 3.2).

З графіка 3.2. беремо $x_1=0,5$, $y_1=66$;

$$x_2=1,5, \quad y_2=92.$$

Лінійна залежність для збірної волоки прийматиме вид:

$$y_x = y_1 + (y_2 - y_1) \cdot \left(\frac{x_i - x_1}{x_2 - x_1} \right)^{0,7};$$

$$y_x = 66 + (92 - 66) \cdot \left(\frac{x_i - 0,5}{1,5 - 0,5} \right)^{0,7} = 66 + 26 \left(\frac{x_i - 0,5}{1} \right)^{0,7} = \underline{66 + 26(x_i - 0,5)^{0,7}};$$

$$\text{при } x_i = 1 \quad y_x = 66 + 26(1 - 0,5)^{0,7} = 82,005;$$

$$\text{при } x_i = 0,75 \quad y_x = 66 + 26(0,75 - 0,5)^{0,7} = 75,852.$$

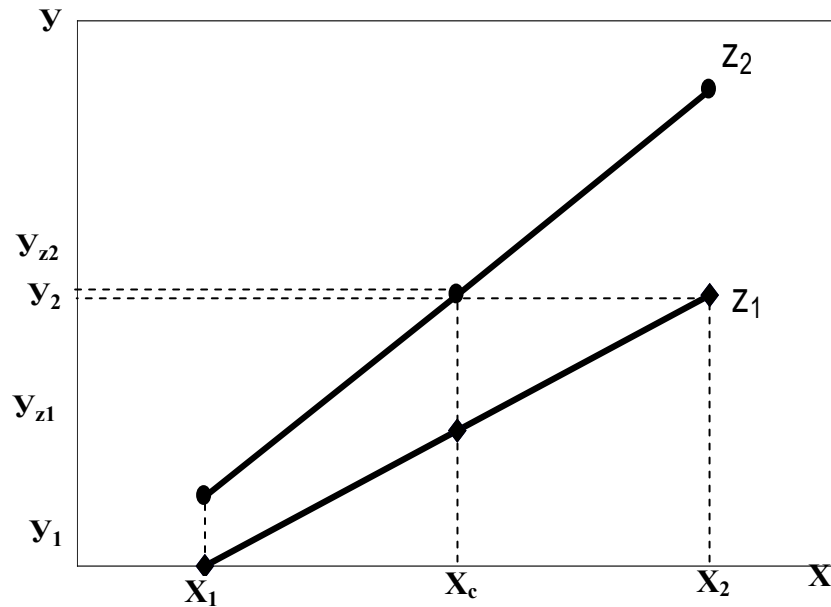


Рисунок 3.1. Приклад математичної обробки даних (двох факторний експеримент).

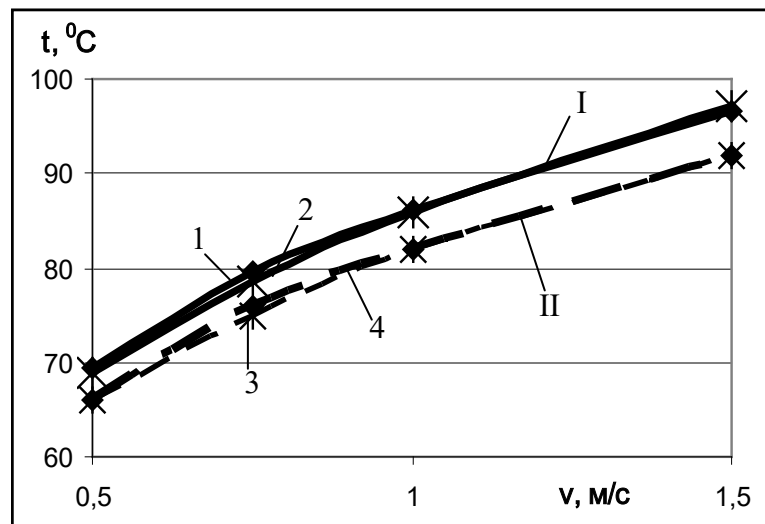


Рисунок 3.2. Вплив швидкості на температуру дроту із сталі марки У8А діаметром $d=2,3\text{мм}$. Волоки I – одинарна; II – збірна. 1, 3 – теоретичні данні; 2, 4 – експериментальні данні.

Знайдемо коефіцієнт впливу типу інструменту K:

$$Z_1=k_1=69/66=1,0455$$

$$Z_2=k_2=97/92=1,0544$$

$$K=(k_1+k_2)/2=(1,0455+1,0544)/2=1,0499$$

Рівняння в загальному виді прийме вид:

$$\underline{y_x = K \cdot [66 + 26(x_i - 0,5)^{0,7}] \Rightarrow t = K \cdot [66 + 26(v_i - 0,5)^{0,7}]}$$

$$\text{при } x_i = 1 \quad y_x = K \cdot [66 + 26(x_i - 0,5)^{0,7}] = 1,0499 \cdot [66 + 26(1 - 0,5)^{0,7}] = 86,097;$$

$$\text{при } x_i = 0,75 \quad y_x = K \cdot [66 + 26(x_i - 0,5)^{0,7}] = 1,0499 \cdot [66 + 26(0,75 - 0,5)^{0,7}] = 79,637.$$

3.4 Оптимізація параметрів волочіння

З метою вивчення впливу напруги волочіння від напівкута волоки, коефіцієнта витяжки й коефіцієнта тертя використовуємо повний факторний експеримент по методу Боксу – Уилстона [18]. Необхідно вибрати оптимальні коефіцієнти.

Параметр оптимізації напруга волочіння $\sigma_{вл}$.

Досліджувані фактори, характер їх зміни і схеми кодування наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. - Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	α	μ	f
Код	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	5	1,425	0,0475
Інтервал варіації	2	0,025	0,0025
Нижній рівень (закодоване значення -1, -)	3	1,4	0,045
Верхній рівень (закодоване значення +1, +)	7	1,45	0,05

Складання плану експерименту

При складанні плану ПФЕ треба стежити, щоб не було повторів. Щоб уникнути повторів дослідів, скористаємось принципом, в роботі [21] в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Матриця повного факторного експерименту 2^3

Номер дослідів	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	-	+
4	+	-	-	+
5	+	+	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	-	-
8	+	-	-	-

Фактор, позначений « X_0 » – так називаємо фіктивну змінну – вводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт « b_0 ».

Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб в кожному стовпці містилося рівне число мінусів і плюсів. Умова виконується.

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту дослідів слід дублювати. Частіше дублюють не всі дослідів, а тільки дослідів на основному рівні. В цьому випадку розрахунок дисперсії дослідів S_y проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1}$$

де n – кількість дублів на основному рівні;

i – номер дубля;

Y_{oi} – значення параметра оптимізації в i -ом дублі;

Y_o – середнє арифметичне результатів всіх дублів;

f_1 – число мір свободи ($f_1 = n - 1$).

Побудова математичної моделі. Після реалізації всіх дослідів матриці планування по їх результатах будують математичну модель процесу, що вивчається. Для цього при використанні ПФЕ розраховуємо коефіцієнти регресії рівняння по формулі:

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N}$$

де b_j – значення j -го коефіцієнта регресії

X_{jn} – значення j -го чинника в n -ом досвіді в кодованому вигляді;

Y_n – значення параметра оптимізації в n -ом досвіді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті одержують модель, яка має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_jX_j$$

У матриці планування, що реалізовується, отримані наступні результати (табл. 3.6.).

Таблиця 3.6. - Результати дослідів

Дослід	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	388	482	545	546	568	628	713	720

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей.

$$b_0 = 1/8 \cdot [388 + 482 + 545 + 546 + 568 + 628 + 713 + 720] = 573,75 ;$$

$$b_1 = 1/8 \cdot [388 - 482 + 545 - 546 + 568 - 628 + 713 - 720] = -83,5 ;$$

$$b_2 = 1/8 \cdot [388 + 482 - 545 - 546 + 568 + 628 - 713 - 720] = -57,25 ;$$

$$b_3 = 1/8 \cdot [388 + 482 + 545 + 546 - 568 - 628 - 713 - 720] = -20,25 ;$$

Таким чином, одержана лінійна модель має заздалегідь наступний вигляд:

$$y = 573,75 - 83,5 \cdot X_1 - 57,25 \cdot X_2 - 20,25 \cdot X_3$$

Статистичний аналіз моделі. Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджуваного об'єкту.

Аналіз складається з двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значущість коефіцієнтів регресії. У статистиці прийнято здійснювати перевірку значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стюдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів:

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{bi}$$

де S_{bi} – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}$$

t_{D, f_1} – значення критерію Стюдента, яке вибирається залежно від рівня значущості D і числа мір свободи при визначенні дисперсії дослідження f_1 .

Значення коефіцієнтів регресії порівнюємо з і ті, які виявляються оп абсолютній величині менше довірчого інтервалу, виключають з рівняння.

Дослід	y_e	$ y_{oe} - y_o $	Δy_e^2
9	357	7	49
10	366	2	4
11	369	5	25
	$y_0 = 364$		$\sum \Delta y_e^2 = 78$

$$f_1 = 3 - 1 = 2$$

$$S_y^2 = \frac{78}{2} = 39$$

На другому етапі остаточно одержане рівняння перевіряємо на адекватність, тобто його придатність для опису об'єкту дослідження.

Розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії Δb_i . Для цього спочатку визначимо S_{bi} .

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{39}{8}} = \pm 2,21$$

Вибираємо для $\alpha = 0,05$ $\alpha = 0,05$ і $f_1 = 2$ значення критерію Стюдента, рівне 4,3 [18]. Визначаємо для кожного сплаву довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 2,21 = \pm 9,5;$$

Таким чином у всіх випадках, в одержаних рівняннях коефіцієнти виявилися статично значущими, і рівняння набувають остаточно наступного вигляду:

$$y = 573,75 - 83,5 \cdot X_1 - 57,25 \cdot X_2 - 20,25 \cdot X_3;$$

Тепер перевіряємо адекватність одержаних моделей в цілому. Для цього підставляємо в одержане рівняння послідовно для всіх дослідів значення « X_i » в кодованому вигляді, які беремо з таблиці 3.5. Для визначення дисперсності неадекватності складаємо розрахункову таблицю 3.7. Таблицю 3.7. складаємо виходячи з алгоритму перевірки одержаного рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкту дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По одержаній моделі визначають по черзі для всіх дослідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації ($y_{расч}$). Для цього в рівняння підставляємо значення чинників в кодованому вигляді;

2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{расч})^2}{f_2}$$

де $f_2 = N - K'$, K' – число коефіцієнтів моделі, включаючи b_0 .

3. Визначають розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним, яке вибирають з таблиці в роботі [18] залежно від рівня значущості D і числа мір свободи f_1, f_2 .

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}$$

Таблиця 3.7. - Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		dy	dy ²
	Експеримент	Розрахунок		

1	388	412,75	24,75	612,5625
2	482	453,25	28,75	826,5625
3	545	527,25	17,75	315,0625
4	546	567,75	21,75	473,0625
5	568	579,75	11,75	138,0625
6	628	620,25	7,75	60,0625
7	713	694,25	18,75	351,5625
8	720	734,75	14,75	217,5625
				2994,5

$$S_{\text{fäää}}^2 = \frac{2994,5}{8-4} = 748,63;$$

$$F_{f_1, f_2}^{\text{dän÷}} = \frac{748,63}{39} = 19,2;$$

З таблиці [19] для $D = 0,05$; $f_1 = 2$ і $f_2 = 4$ знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 19,25. Таким чином, умова адекватності моделі $F^{\text{расч}} < F^{\text{табл}}$ виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень середньої напруги волочіння в залежності від коефіцієнтів. При цьому слід пам'ятати, що одержана модель описує процес волочіння тільки у вивчених межах варіювання факторів.

Інтерпретація результатів. Одержана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої точки вивченого факторного простору.

Крім того, одержану залежність можна представити графічно у вигляді впливу окремих чинників на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що вся решта чинників фіксує на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення чинника X_2 і X_3 в кодованому вигляді (із знаком «-»). Потім в перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення чинника X_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто -1; 0; +1 і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність $\sigma = 573,75 - 83,5 \cdot \tilde{O}_1$;

Визначимо y для випадків, коли $X_1 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення y , рівні:

$$y_1=657,25; \quad y_2=573,75; \quad y_3=490,25.$$

Аналогічно представимо графічну залежність напруження волочиння від коефіцієнту витягання (чинник X_2) для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд: $\sigma = 573,75 - 57,25 \cdot \tilde{O}_2$;

Визначимо y для випадків, коли $X_2 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення y , рівні:

$$y_1=631; \quad y_2=573,75; \quad y_3=516,5.$$

Аналогічно представимо графічну залежність напруження волочиння від коефіцієнту тертя (чинник X_3) для випадку, коли решта $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вигляд: $\sigma = 573,75 - 20,25 \cdot \tilde{O}_3$;

Визначимо y для випадків, коли $X_3 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Набудемо відповідно значення y , рівні:

$$y_1=594; \quad y_2=573,75; \quad y_3=553,5.$$

Будуємо одержані графічні залежності.

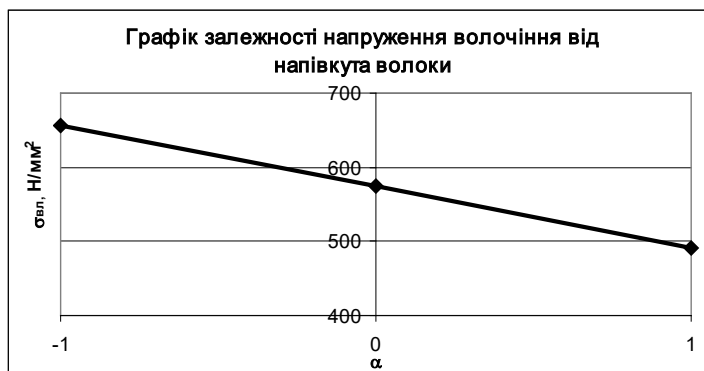


Рисунок 3.3 Графік залежності напруги волочиння від напівкута волоки (X_1).

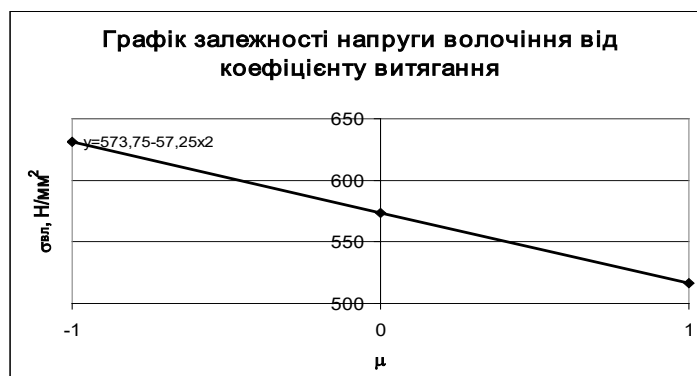


Рисунок 3.4. Графік залежності напруги волочиння від коефіцієнту витягання (X_2).

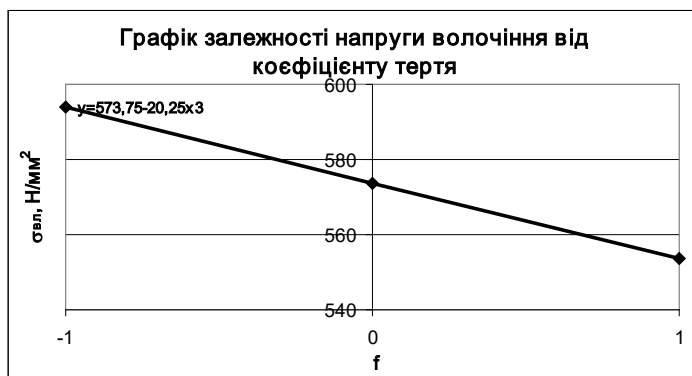


Рисунок 3.5 Графік залежності напруги волочіння від коефіцієнту тертя (X_3).



Рисунок 3.6. Поверхня отримана в кодованому виді $y = 573,75 - 83,5 \cdot X_1 - 57,25 \cdot X_2$

Переходячи к виміру в натуральнім масштабі отримаємо формулу при допомозі формули переходу :

$$b_{н.д.} = \frac{b_{к.д.}}{\Delta X_i}$$

Шаг: X_1 3; 7 $\Delta X=2$
 X_2 1,4; 1,45 $\Delta X=0.025$



Рисунок 3.7. Поверхня отримана в натуральному виді $\sigma_{\hat{a}\hat{e}} = 4430,5 - 41,75\alpha - 2290\mu$

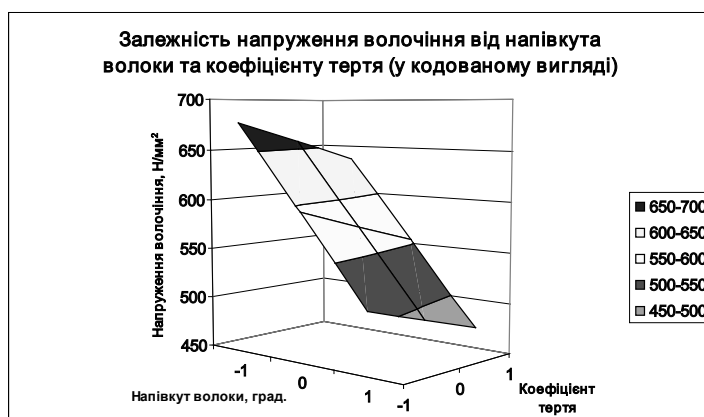


Рисунок 3.8. Поверхня отримана в кодованому виді $y = 573,75 - 83,5 \cdot X_1 - 20,25 \cdot X_3$

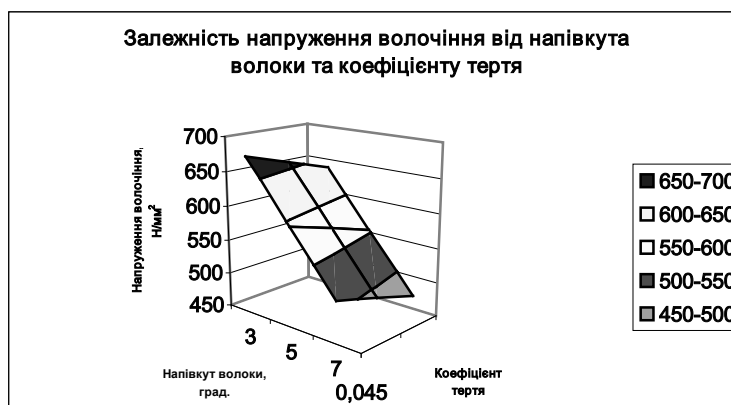


Рисунок 3.9. Поверхня отримана в натуральному вигляді1.

$$\sigma_{вл} = 4430,5 - 41,75\alpha - 8100f$$



Рисунок 3.10. Поверхня отримана в кодованому виді

$$y = 573,75 - 57,25 \cdot X_2 - 20,25 \cdot X_3$$

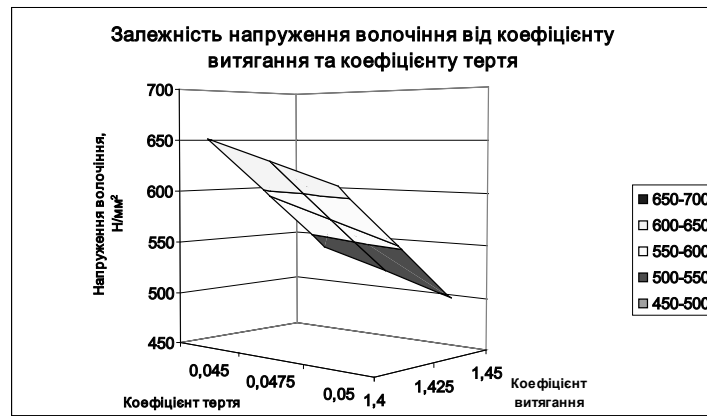


Рисунок 3.11. Поверхня отримана в натуральному вигляді1.

$$\sigma_{вл} = 4430,5 - 2290\mu - 8100f$$

Висновки:

1. Використовуючи математико-статистичний метод при постановці завдання, у процесі експериментування й при обробці отриманих даних істотно скоротили строк рішення й підвищили якість одержання результатів для вибору напруги волочіння.

2. Отримані результати показали, що оптимальна напруга волочіння досягається при значенні коефіцієнта тертя й значенні напівкута волоки на основному рівні.

3. Умова адекватності моделі $F^{\text{дан}} < F^{\text{аде}}$ виконується і їй можна користуватися для розрахунку значень середньої напруги волочіння в залежності від коефіцієнтів [20].

3.5 Практична цінність

В магістерській роботі отримані теоретичні залежності впливу технологічних параметрів на зусилля волочіння які можуть бути використані в практичних умовах.

Проаналізовані типи волочильних інструментів. На основі розрахунків показана доцільність використання в практичних умовах складених волочильних інструментів для волочіння дроту.

Складений волочильний інструмент має такі переваги:

- товщина шару мастила збільшилась у 1,55...2 рази;
- забезпечує зменшення зносу робочої поверхні;
- зменшення обривності дроту у 1,3...1,6 рази;
- зменшення зруйнувань волок у 1,2...1,3 рази;
- зменшення сили волочіння на 20...27%;
- зменшення зусилля волочіння у 1,1...1,13 рази;
- зниження питомої витрати електроенергії на 10...20%.
- Підвищення зносостійкості робочих волок у 1,8...3 рази.

Зменшення зусилля волочіння в одинарних волоках обумовлено зниженням опору відразу шорсткості поверхні дроту, а в складеній волоці ще й збільшенням товщини шару мастила і зниження коефіцієнта тертя. Із цих причин температура металу при волочінні в складеній волоці менше, ніж в одинарній. Однак характер впливу швидкості на зусилля волочіння обумовлений також спільним впливом матеріалу і розмірами дроту, типу мастила, типу інструмента.

3.6 Розрахунок передбачуваного економічного ефекту

Для розрахунку економічної ефективності будемо розраховувати кількість спожитої електроенергії \mathcal{E} (формула VI.1) при волочінні в одинарних та збірних волоках.

$$\dot{Y} = (\dot{Y}_i - \dot{Y}_z) \cdot 0,25 = \left(\frac{\sum N_o}{m} - \frac{\sum N_z}{m} \right) \cdot 0,25 \quad (\text{VI.1})$$

де \mathcal{E}_o – спожита електроенергія при прокатуванні в одинарних волоках кВт/ч;

\mathcal{E}_z – спожита електроенергія при прокатуванні в збірних волоках кВт/ч;

ΣN_o – сумарна потужність в одинарних волоках, кВт;

ΣN_z – сумарна потужність в збірних волоках, кВт;

m – маса дроту, т.

Таблиця VI.1. Розрахунок потужності волочіння дроту в одинарній та збірній волоках (за всіма переходами).

№ переходу	Напруження волочіння σ_t , Н/мм ²	Зусилля волочіння Р, Н	Потужність волочіння, N, кВт
Напруження волочіння в одинарній волоці			
1	388	8910	17
2	482	7920	20
3	545	6417	21
4	546	4600	20
5	568	3426	20
6	628	2714	21
7	713	2240	23
			$\Sigma=144$
\mathcal{E}			16151 грн.
Напруження волочіння в збірній волоці			
1	323	7424	14
2	410	6732	17
3	463	5454	18
4	464	3910	17
5	483	2912	17
6	534	2307	18
7	606	1904	20
			$\Sigma=122$
\mathcal{E}			13696,5 грн.

З таблиці VI.1. видно, що при волочінні в одинарних волоках сумарна потужність більша, чим при волочінні в збірних волоках. Отже якщо

розрахувати кількість електроенергії \mathcal{E} яку слід використати при прокатці дроту $d=2\text{мм}$ в одинарних волоках і збірних, вийде що при прокатці в збірних волоках заощаджується 24540, 5 грн. в годину.

Розрахунок продуктивності стану

Розрахунок продуктивності стану визначаємо за формулою (VI.2.):

$$\dot{A} = \frac{3600 \cdot G}{T} \quad (\text{VI.2})$$

$$\dot{A} = \frac{3600 \cdot G}{t_i + t_{\bar{i}}} = \frac{3600 \cdot G}{\frac{l}{v} + t_{\bar{i}}};$$

$$l = \frac{G}{s \cdot q} = \frac{G}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot q} = \frac{4G}{\pi \cdot d^2 \cdot q} = \frac{4 \cdot 2}{3,14 \cdot 6,5^2 \cdot 7,85} = 7681,8 \quad \text{і}$$

$$\dot{A} = \frac{3600 \cdot 2}{\frac{7681,8}{10} + 120} = 8,1 \quad \text{ò/÷}$$

де t_m – машинний час, хв.;

$t_{\bar{i}}$ – час паузи, приймаємо 5 хв.;

l – довжина дроту, м;

v – швидкість волочіння, м/с;

G – маса дроту, т.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Виробнича санітарія

Згідно із санітарними нормами у цеху встановлено автоматичні установки газованої води, питні фонтани. Водопровідні крани, фонтанчики розміщують у проходах цеху з максимальною віддаленістю від робочого місця 70 метрів.

Влітку у цех постачають вітамінні напої. Передбачається і профілактичне питне водопостачання – газована підсолена вода.

Один з основних засобів по забезпеченню нормальних умов праці є створення вентиляції. Вентиляція може бути природною (аерація) та штучною. Аерацію здійснюють за допомогою витягувальних ліхтарів та криши будинку станового прогону на висоті 19 метрів. Висота ліхтарів 1,75 метрів.

Штучна вентиляція здійснюється у вигляді повітряних оазисів, повітряних завіс та повітряних душів.

У цеху для попередження проникання у приміщення зовнішнього холодного повітря на воротах встановлюють повітряно-теплові завіси. В прогону воріт під кутом до потоку, який надходить у приміщення подають струмись підігрітого (до 70 °С) повітря зі швидкістю до 12 м/с, в результаті на відстані від входу (до 20 м) створюється збільшений тиск теплого повітря.

На постах управління, у машинному залі, у травильному відділенні встановлена проточна (механічна) вентиляція. При кондиціонуванні повітря очищається від пилу та доводиться до необхідної температури та вологості.

Нормальний мікроклімат у кабінах кранів створюють шляхом теплоізоляції кабін та установки у них кондиціонерів.

На ділянках ковпакових печей та стану встановлені кімнати відпочинку для робочих. Вони споряджені витягувальною вентиляцією, лавками, столами.

У цеху передбачається як природне освітлювання так і штучне. На виробничих ділянках природне освітлення здійснюється через вікна у стінках

будинку та через ліхтарі будинку. В якості штучного освітлення у цеху застосовують лампи ДРЛ (ртутні лампи високого тиску) та лампи глибоко випромінювальні. Застосовують комбіноване освітлення цеху, також передбачене аварійне освітлення. Так як цех закриті приміщення, то чищення світильників робиться 2 – 4 рази на місяць. Згідно Сніп 11 – 4 – 79 освітленості – $E = 500$ лк при комбінованій системі освітлення.

До захисту з боротьбою виробничого шуму відносять:

- застосування спеціальних амортизуючих прокладок при скріпленні вузлів обладнання;
- застосування звукоізолюючих та звукопоглинаючих матеріалів при будівництві приміщень для операторів постів керування;
- застосування індивідуальних засобів захисту (антифони, Беруні для захисту органів слуху).

Запобіганню вібрації передбачується:

- на ділянках зачищення металу установити агрегати вибіркового зачищення;
- забезпечити робітників індивідуальними засобами захисту (віброрукавицями, вібровзуттям);
- для робітників кожні 1 – 1,5 г робити короткогодінні перерви у роботі з активною гімнастикою рук.

По захисту від електромагнітних полів передбачається:

- встановлювати екрани, які повністю укривають високочастотну установку;
- високочастотною установкою управляти дистанційно;
- заземлити металеві частини улаштувань, металеві екрани, системи водоохолодження;
- в якості індивідуального захисту застосувати екранований костюм, взуття з металевими підошвами, металеву каску, захисні окуляри;

- при роботі на високочастотних установках застосовувати інструмент з діелектричними рукоятками.

4.2 Заходи з пожежної безпеки

Цех по пожежній небезпеці відноситься до категорії Г, також до першого ступеню вогнетривкості з межами вогнетривкості 1 година.

В волочильному виробництві основні процеси характеризуються споживанням великої кількості паливних газів, а продукція виробництва знаходиться у розжареному стані; протипожежна техніка має актуальне значення.

В якості засобів з пожежної безпеки передбачається:

1. Установити протипожежний провід з пожежними гідро кранами, які встановлюються на висоті 1,35 метрів від рівня підлоги (витрати води 10 м³/год);

2. Для гасіння паливно–змащувальних матеріалів у маслопідвалах, на кранах, у машинному залі встановити вуглекислотні вогнегасники типу ОУ – 2, ОУ – 5;

3. Для гасіння твердих паливних речовин встановити хімічні пінні вогнегасники типу ОП – 5.

Кількість вогнегасників: ОХП – 7 од., ОУ – 5 – 3 од., УП 1М – 1 од., ящики з піском – 2 од.

Для доступу на дах встановлені пожежні металеві сходи шириною 0,6 метрів.

У цеху розроблено план евакуації людей на випадок виникнення пожежі.

Для повідомлення пожежних підрозділів про виникнення у цеху пожежі передбачається телефонна та спеціальна електрична пожежна сигналізація (ЕПС).

При розрядах атмосферної електрики виникають пожежі, руйнуються будинки, виникають ненавмисні нещасні випадки з людьми. Заходи по захисту від блискавки:

- установити на будинку цеху блискавковідвід;
- застосувати заземлення (поверхні, комбіновані);
- від заносу високих потенціалів підземні металеві комунікації при вводі в захисний об'єкт з'єднати з заземлювачами захисту від електрообладнання.

4.3 Заходи по захисту навколишнього середовища

У процесі виробництва чавуна, сталі, прокату, дроту утворюється велика кількість відходів у вигляді шкідливих газів, пилу, шлаків, стічних вод. В волочильному виробництві пил та газу утворюються при роботі нагрівальних печей та на дільницях зачищення дроту.

Для очищення газів від пилу передбачено:

- установити циклони, інерційні пиловловлювачі, осаджувальні камери або фільтри (матерчаті, масляні, електричні), які забезпечують високу ступінь очищення від великих та малих фракцій пилу;
- для очищення повітря від пилу установлювати відцентрові скрубери;
- для очищення газу від хімічних з'єднань установити насадочний або безпосадочний абсорбер, де процес очищення виробляється за рахунок розпилення рідини по усьому перетину апарату.

Для зниження водоспоживання, а також зменшення кількості стічних вод необхідно удосконалити технологічний процес волочіння. Передбачається упровадити сухі методи очищення газів, застосувати повітряне охолодження агрегатів, регенерацію технологічних мастил. Зменшення кількості стічних вод також передбачається досягнути шляхом створення безстічних схем очищення та упровадження наукових норм вироблення.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані типи станів та параметри деформації металу у волоках. Принцип роботи волочильних станів може бути різним і визначається характером роботи тягнучого приладу. Стани можуть бути із *прямолінійним рухом металу*, що протягається, (ланцюгові, рейкові, гідравлічні й ін.) і з *намотуванням на барабан* (барабанні). Перший тип машин застосовують для волочіння профілів, змотування в бунти яких викличе певні труднощі (наприклад, крізь значні розміри поперечного перерізу прутка або можливості порушення форми його перетину). Барабанні волочильні стани використовують для волочіння дроту, а також суцільних і порожніх профілів із чорних і кольорових металів, якщо форма їхнього поперечного перерізу при цьому не порушується.

2. Проаналізовані типи волочильних інструментів. На основі розрахунків показана доцільність використання в практичних умовах складених волочильних інструментів для волочіння дроту. Складений волочильний інструмент має такі переваги: товщина шару мастила збільшилась у 1,55...2 рази; забезпечує зменшення зносу робочої поверхні; зменшення обривності дроту у 1,3...1,6 рази; зменшення зруйнувань волок у 1,2...1,3 рази; зменшення сили волочіння на 20...27%; зменшення зусилля волочіння у 1,1...1,13 рази; зниження питомої витрати електроенергії на 10...20%; підвищення зносостійкості робочих волок у 1,8...3 рази. Зменшення зусилля волочіння в одинарних волоках обумовлено зниженням опору відразу шорсткості поверхні дроту, а в складеній волоці ще й збільшенням товщини шару мастила і зниження коефіцієнта тертя. Із цих причин температура металу при волочінні в складеній волоці менше, ніж в одинарній. Однак характер впливу швидкості на зусилля волочіння обумовлений також спільним впливом матеріалу і розмірами дроту, типу мастила, типу інструмента.

3. Розраховані технологічні та енергосилові параметри волочіння. Побудовані залежності різних параметрів волочіння за переходами.

4. Дослідження напруження волочіння при різних параметрах деформації: впливу типу технологічного інструменту; впливу кута волоки та впливу коефіцієнта витягання.

5. Розглянуті питання охорони праці при проведенні дослідження. Встановлено, що застосування результатів роботи не погіршить стан охорони праці.

6. Розрахований потенціальний економічний ефект при застосуванні складеного волочильного інструменту. Встановлено що при використанні складеного волочильного інструменту економія електроенергії становить 24540,5 грн. в годину.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство / М. М. Сафьян, В. Л. Мазур, А. М. Сафьян, А. И. Молчанов. К.: Вища школа., 1988. 351 с.
- 2 Ніколаєв В.О. Теория и практика волочения металла. Уч. пособие по дисциплине «Теория ковочно-штамповочного и волочильного производства». Запорожье: ЗГИА, 2005. 148с.
- 3 Клапанов В.И. Тонколистовая высокоскоростная прокатка металла с экономичными технологическими смазками. Киев УМКВО, 1990.76 с.
- 4 Ніколаєв В.О. Технологія волочіння металу. Навч. посібник. – Запоріжжя, ЗДІА, 2003. 155с.
- 5 Технология прокатного производства / В. М. Клименко, А. М. Онищенко, А. А. Минаев, В. С. Горелик. Киев «Вища школа», 1989. – 311 с.
- 6 Патент Украины (декларационный). №14129, В21В1/36. Опубл. 25.04.1997.
- 7 Ионов С.М., Белосевич В.К. Эмульсии для холодной прокатки. Производство проката. 1999.№ 6. С. 3 6.
- 8 Клапанов В.И. Тонколистовая высокоскоростная прокатка металла с экономичными технологическими смазками. Киев УМКВО, 1990.76 с.
- 9 Ніколаєв В.О. Триботехника в процессах прокатки и волочения. Учебное пособие. Киев: УМК ВО, 1992. 156с.
- 10 Зыков Ю.С. Теория волочения сплошных профилей. Учебное пособие. Киев : УМК ВО, 1991. 166с.
- 11 Ніколаєв В.О., Васильєв О.Г. Коэффициент трения с учетом различных технологических параметров Изв. вузов. Черная металлургия, 2001. №7. 30с.
- 12 Патент Украины (декларационный). №58/89А,В21В1/22. Опубл. 15.07.2003.

13 Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Киев: Техника, 1975. 168с.

14 Николаев В.О., Васильев О.Г. Оценка методов определения коэффициента трения при волочении Изв. вузов. Черная металлургия, 1971, №7. 48 50с.

15 Николаев В.О., Таратута К.В. Возможность уменьшения трения при волочении стали в сборном инструменте Сталь, 2001, №8. С. 89 93с.

16 Николаев В.О., Васильев О.Г. Влияние технологических параметров на напряжение волочения Изв. вузов. Черная металлургия, 2001, №3. 29 32с.

17 Николаев В.О., Васильев О.Г. Повышение износостойкости волочильного инструмента Сталь, 1989, №2. С. 73 78с.

18 Серeda Б.П. Теория строения жидкого, кристаллического и аморфного состояния вещества. Учебное пособие. Запорожье: ЗГИА, 2003. 206с.

19 Фролов Я.В. Інтенсифікація режимів обтиснень при прокатці труб з вуглецевих та легованих сталей в інтервалі температур теплої деформації: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.05 / НМетАУ. Дніпропетровськ, 2003. 20 с.

20 Оптимізація процесів обробки металів тиском. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи для студентів ЗДІА спеціальності ОМТ / Укладачі Б.П. Серeda, І.В. Кругляк, Ю.О. Белоконь. Запоріжжя, 2006. 79с.

21 Серeda Б.П. Обробка металів тиском. Навч. посібник. Запоріжжя: видавництво ЗДІА, 2005. 243с.

22 Друян В.М., Гуляев Ю.Г., Чукмасов С.А. Теория и технология трубного производства: Учебник. Днепропетровск: РИА «Дніпро – ВАЛ», 2001. 544 с.

23 Демкин Ю.И. Заводская лаборатория, 1961, т. XXVII, № 8, с. 986.

24 Бернштейн М.Л. и др. Металловедение и термическая обработка, 1963, №5, с. 49.

25 Григоренко В.У. Холодна пильгерна прокатка труб: Навчальний посібник - Дніпропетровськ: НМетаУ, 2006 р. 48 с.

26 Ровинский Б.М. Изв. АН СССР, серия физ., 1953, т.XVII, №3, с. 333.

27 Панасейко С.П. Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах Запорожье: ЗГИА, 2002г. 56с.

28 Методические рекомендации к выполнению экономической части дипломного проекта по дисциплине “Организация, планирование и управление деятельностью предприятия”./ Разр.: Иващенко О. В. ЗГИА, 2004. 30 с.

29 Научные основы эффективных технологий производства тонкостенной длинномерной металлопродукции / Я.Д. Василев, В.У. Григоренко, В.Н. Данченко, А.В. Дементиенко, М.Л. Жадкевич, В.Е. Зеленский, В.И. Кравченко, А.С. Письменный, Ю.М. Правдин, А.Ю. Путноки. Днепропетровск: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. 353 с.