

Міністерство освіти та науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання

(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Дослідження шляхів підвищення стійкості волочильного інструменту

Виконав: магістрант групи 8.1332

Клименко Ю.Є.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою Власов А.О.

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Клименко Юрію Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Дослідження шляхів підвищення стійкості волочильного інструменту
керівник магістерської роботи к.т.н., доц. Васильченко Т.О.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 11 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи цеху волочильного обладнання
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз науково-технічних рішень щодо підвищення стійкості волочильного інструменту та обґрунтування обраного напрямку роботи; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Волочильна машина – 2А1; 2. Привод волочильної машини– 1А1; 3. Намотувальний апарат – А1; 4. Вузол тягового ролика – 1А1 5. Результати досліджень– 1А1;

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
2	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
3	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
4	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.2023 – 27.05.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.2023 – 15.09.2023	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.2023 – 16.10.2023	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.2023 – 17.11.2023	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.2023 – 30.11.2023	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.2023 – 03.12.2023	
7	Попередній захист проекту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент

_____ (підпис)

Ю.Є. Клименко

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

_____ (підпис)

Т.О. Васильченко

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кліменко Ю.В. Дослідження шляхів підвищення стійкості волочильного інструменту.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник Й.К. Васильченко Т.О. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2023.

У роботі розглянуто основні принципи процесу волочіння і деякі конструкції установок. Реальні передумови для підвищення стійкості волочильного інструменту за рахунок зменшення зусиль волочіння і сил тертя в осередку деформації досягаються при процесах волочіння, що проводяться в умовах вібраційного навантаження осередку деформації. Описані різні способи одержування механічних коливань різних частот. Експериментальним шляхом набуті величини і значення оптимального режиму віброволочіння. Виявлено залежності ефективності вібронавантаження від параметрів процесу.

Ключові слова: ВОЛОЧІННЯ, ЗНОШУВАННЯ, ТЕРТЯ. ВОЛОКИ, ВІБРОВОЛОЧІННЯ, ПРОТИНАТЯГ.

ABSTRACT

Klimenko S.V. Research on ways to increase the stability of the drawing tool. Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 – Industrial engineering, scientific adviser T.A. Vasilchenko Zaporozhye National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

The paper examines the basic principles of the drawing process and some designs of installations. Real prerequisites for increasing the stability of the drawing

tool due to the reduction of drawing forces and frictional forces in the center of deformation are achieved during drawing processes carried out under conditions of vibration load of the center of deformation. Various methods of obtaining mechanical vibrations are described. different frequencies. The values and values of the optimal mode of vibration drawing were experimentally obtained. The dependence of the efficiency of the vibration load on the process parameters was revealed.

Key words: DRAG, WEAR, FRICTION. DRAG, VIBRATION DRAG, RESISTANCE.

Зміст

Вступ	8
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ВОЛОЧИЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	10
1.1 Огляд існуючих способів волочіння, опис технологічного процесу та сортамент продукції	10
1.2 Аналіз структури волочильного обладнання та його технічних характеристик	13
1.3 Конструкція волочильного інструменту та основні види його поломок	15
1.4 Вплив технологічних факторів на стійкість волок	27
1.5 Пропозиції щодо підвищення енергоефективності процесу і надійності обладнання та обґрунтування обраного напрямку	30
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	37
2.1 Розрахунок потужності привода волочильної машини	37
2.1.1 Розрахунок потужності необхідної на саме волочіння	37
2.1.2 Розрахунок потужності, необхідної на подолання сил тертя в тягових шайбах	47
2.1.3 Розрахунок потужність, необхідної на вигин дроту	48
2.1.4 Розрахунок потужності холостого ходу та повної потужності	50
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	67
3.1 Опис дослідної установки	67
3.2 Дослідження впливу параметрів віброволочіння на енергосилові параметри процесу	69
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	76
4.1 Аналіз потенційних шкідливих факторів виробничого середовища	76
4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії	77

	7
4.2.1 Мікроклімат	77
4.2.2 Освітлення виробничих приміщень	78
4.2.3 Виробничий шум, виробнича вібрація	79
4.3.4 Виробничі випромінювання	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	94
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	98
ДОДАТКИ	99

Вступ

Сталевий холодноотягнутий дріт є найбільш затребуваним видом метизної продукції і знаходить широке застосування в машинобудуванні, будівництві та інших галузях народного господарства як напівфабрикат для подальшої переробки або у вигляді готового продукту [1]. Сучасна ринкова економіка пред'являє принципово нові вимоги до якості продукції, що випускається. В даний час виживання будь-якого підприємства, його стійке становище на ринку товарів та послуг визначаються рівнем конкурентоспроможності. У свою чергу конкурентоспроможність пов'язана з двома показниками - рівнем ціни та рівнем якості продукції. Надійність роботи волочильного обладнання та довговічність його вузлів, а саме швидкозношуваного основного робочого інструменту – волок – значно впливає на ціноутворення кінцевої продукції та на її конкурентоспроможність. Основний шлях підвищення конкурентоспроможності дроту полягає у залученні інноваційних розробок та технологій у діюче виробництво, які б дозволили отримувати дріт кращої якості за менших витрат. Тому стабільно зростаючий попит на якісний сталевий дріт сьогодні вимагає від її виробників нових підходів до подальшого розвитку та вдосконалення технології волочіння. Одним із перспективних напрямків збільшення стійкості волочильного інструменту за рахунок поліпшення умов тертя в осередку деформації є застосування віброволочіння. Необхідність розробки та впровадження у виробництво інноваційних технологічних процесів виробництва сталевого дроту з високим рівнем міцнісних та пластичних властивостей визначає актуальність проведення даної роботи.

Мета і задачі дослідження: збільшення стійкості волочильного інструменту для підвищення ефективності процесу волочіння.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях підвищення стійкості волочильного інструменту;

- виконати розрахунок основних технологічних параметрів процесу та також провести розрахунок вузлів стана на міцність;
- дослідити види зношування волок;
- визначити вплив амплітуди коливань на процес волочіння і зусилля волочіння;
- дослідити вплив протинатягу на процес волочіння з коливанням;

Предмет дослідження – технологічні параметри процесу віброволочіння сталевого дроту..

Об'єкт дослідження – волочильний інструмент.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально- економічного розвитку регіонів України» (Запоріжжя, ЗНУ, 2023)..

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 99 сторінок, 25 рисунків, 10 таблиць, 26 найменувань використаних джерел, додатки.

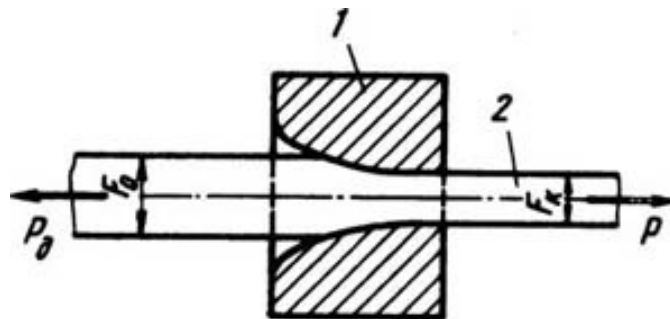
Робота виконана на кафедрі металургійного обладнання та в лабораторіях кафедри обробки металів тиском Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні, Запорізького національного університету.

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ВОЛОЧИЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

Огляд існуючих способів волочіння, опис технологічного процесу та сортамент продукції

Волочіння дроту – це процес обробки металу тиском, що характеризується поступовим однократним або багаторазовим протягуванням останнього через спеціальний волочильний інструмент, призначений для поетапного зменшення поперечного перерізу вихідної заготовки.

Для початку процесу волочіння передній кінець заготовки загострюють для вільної задачі його в отвір волоки. Після захвату кінця заготовки тягнучим пристроєм її протягують зі швидкістю $v = 0,4 \dots 20$ м/с. При цьому чим меншим є діаметр проволочки та чим більш пластичним є матеріал, тим вище швидкість волочіння. Принципова схема волочіння наведена на рис.1.1.



1 - волока; 2 - дріт; F_0 – площа поперечного перерізу на вході у волоку; F_k – площа поперечного перерізу на виході з волоки

Рисунок 1.1 - Принципова схема волочіння

Волочіння дроту значно ошадливіше інших способів тому, що при волочінні відсутні втрати металу в стружку, можна одержати дріт певного діаметра із заданими властивостями. Як заготівля для волочіння застосовується

продукція прокатного виробництва - катанка, одержувана прокатом литих заготівель певного перетину.

Волочінням отримують дріт: надтонкий - 0,008...0,1 мм, тонкий - 0,11...0,4 мм, середньої товщини - 0,45... 1,0 мм, товстий - 1,1...6 мм, калібрувальний метал - 7... 148 мм; тягнуті труби з зовнішнім діаметром 1...360 мм і товщиною стінки 0,1... 10 мм.

Форма профілів, які одержують волочінням представлена на рис.1.2.

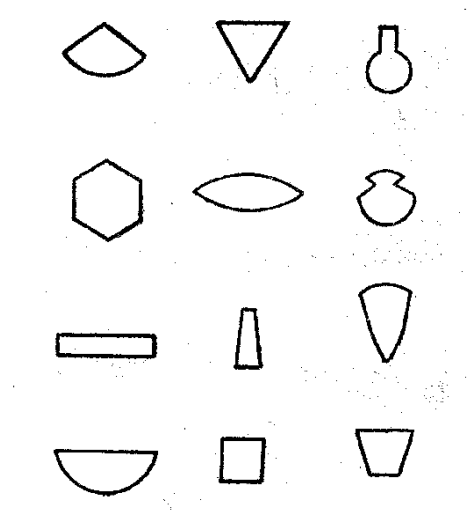


Рисунок 1.2 – Профілі фасонного дроту

При волочінні значна частина енергії (за деяким даними, до 90%), затрачуваної на процесі волочіння в результаті зовнішнього тертя й пластичної деформації, перетворюється в тепло, що значно нагріває деформований метал, волоку й змащення. Надмірне нагрівання металу, що протягується, (>150-200°C) погіршує умови волочіння через вигорання змащення, а в сталевому дроту може викликати деформаційне старіння металу. Також негативний вплив робить висока температура на стійкість волочильного інструмента, що нагрівається значно вище, ніж дріт.

Умови роботи й пов'язані з ними вимоги до виробів із дроту досить різноманітні. У канаті, наприклад, дріт не повинен руйнуватися від впливу знакозмінних навантажень і стиратися; у пружині - вона повинна бути досить пружною, щоб пружина витримувала прикладені навантаження без зміни

розмірів; у нагрівальному елементі необхідна постійна робота дроту при високих температурах. Дуже часто від дроту потрібно висока корозійна стійкість, гарна електропровідність і здатність пручатися складним навантаженням. У ряді випадків дріт повинен мати цілий комплекс різних властивостей.

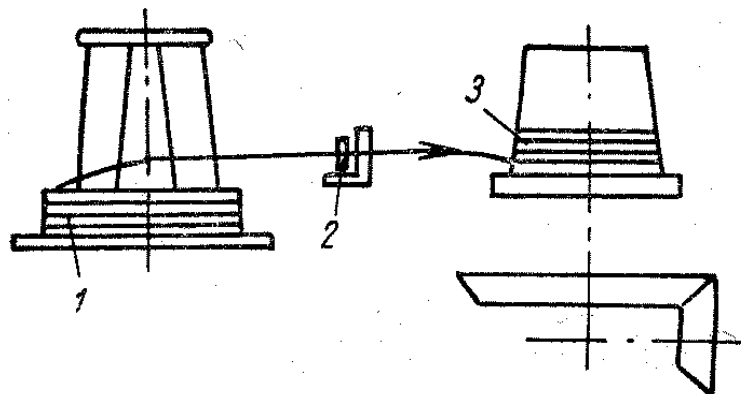
Якість готового дроту визначається властивостями обраного для волочіння металу, а також змінами його властивостей у процесі переробки.

Процес волочіння супроводжується не тільки зміною геометричної форми й розмірів заготівлі, але й істотними змінами фізико-механічних властивостей і структури оброблюваного металу.

У промисловості найбільше широко використовують два способи волочіння дроту - одноразовий і багаторазовий.

Одноразовим називається таке волочіння, коли дріт у кожний даний момент часу протягується тільки через одну волоку, тобто дріт за одну операцію, за одне заправлення змінює свій перетин один раз. Схематично одноразове волочіння представлено на рис. 1.3.

У сучасних дровових цехах одноразове волочіння застосовують порівняно рідше внаслідок низької продуктивності цього способу й неекономічного використання виробничих площ. Воно застосовується головним чином при протяганні товстого дроту, складних профілів, дроту із складнодеформуемого металу й з дуже низькою границею міцності.

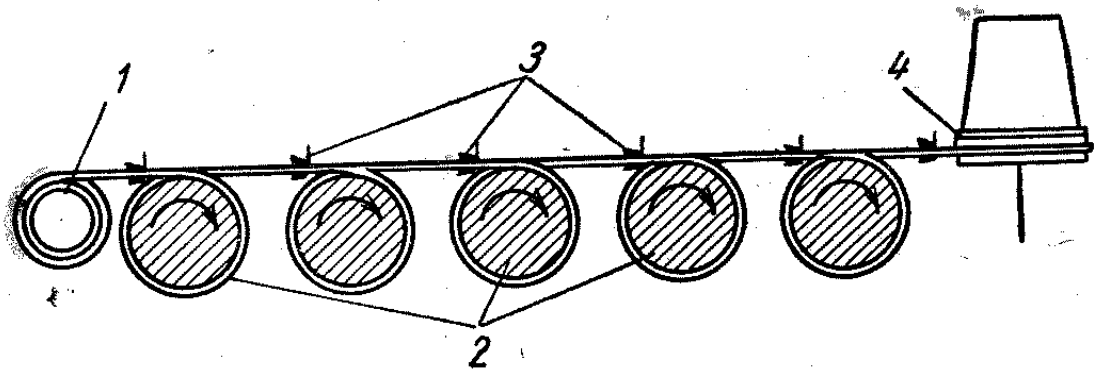


1 - фігурка із дротом; 2-2- волоки; 3-приймальня барабан із протягненим дротом

Рисунок 1.3 - Схема одноразового волочіння

Багаторазовим називається таке волочіння, коли дріт проходить послідовно через кілька волочильних отворів, змінюючи за одну операцію свій перетин багато разів (до 22), тобто дріт у кожний даний момент часу обробляється в декількох волоках.

Схема багаторазового волочіння наведена на рис. 1.4. Цей спосіб, як найбільш продуктивний, є основним у виробництві дроту.



1— фігурка із дротом; 2 — проміжні тягові шайби; 3 - волоки; 4 — прийомний барабан із протягненим дротом

Рисунок 1.4 - Схема багаторазового волочіння

Відомі й інші способи одержання дроту, а саме безфільтрний - до нього відноситься виготовлення дроту шляхом зменшення діаметра суцільного профілю розтяганням при перемотуванні дроту з однієї катушки на іншу, яка обертається з більшою швидкістю, чим перша. Цей спосіб не знайшов масового застосування, тому що утруднено одержання точного профілю.

1.2 Аналіз структури волочильного обладнання та його технічних характеристик

Волочильна машина типорозміру СМВ- 1-9М призначена для виробництва мідного дроту з катанки шляхом багаторазового волочіння з ковзанням і

прийомом дроту круглого й фасонного перетину намотувальним апаратом. Зовнішній вигляд волочильної машини СВМ 1-9 М представлений на рис. 1.5.



Рисунок 1.5- Зовнішній вигляд волочильної машини СВМ 1-9М

Основні елементи волочильної машини СВМ 1-9М:

- 1) козли розмотувальні;
- 2) поворотний кран;
- 3) зтяжний станок;
- 4) намотувальний апарат;
- 5) тяговий конус;
- 6) волочильна машина;
- 7) привод волочильної машини.

Технічна характеристика волочильної машини СМВ 1-9М

- кількість волок, шт	9;
- кількість тягових роликів, шт	9;
- кількість щаблів на роликах, шт	1;
- діаметр тягових роликів, мм	350;
- діаметр тягового вихідного ролика, мм	450;
- охолодження тягових роликів	емульсія й технологічне змащення;
- машинні витяжки (кінематичні)	
$\lambda_2=1,163$; $\lambda_3=1,373$; $\lambda_4=1,063$; $\lambda_5=1,057$; $\lambda_6=1,120$; $\lambda_7=1,152$; $\lambda_8=1,158$; $\lambda_9=1,064$;	
- швидкість волочіння на тяговій шайбі	
для міді й алюмінію (стандартний двигун), м/с	3,255;
	4,843;
	8,01;
для алюмінію із крановим двигуном	2,14;
	3,18;
	5,27;
- потужність стандартного електродвигуна машини, кВт	110;
- потужність кранового електродвигуна машини, кВт	80;
- габаритні розміри машини, мм	13100x3535x3475;
- діаметр вихідної заготівлі, мм	7, 2-12;
- діаметр готового виробу, мм	4, 1-5,9.

Конструкція волочильного інструменту та основні види його поломок

Головним робочим інструментом при волочінні є волокнисті різноманітної конструкції. При виробництві порожніх виробів зі стоншеною стінкою крім волок до волочильного інструмента відносяться оправлення (довгі і короткі).

Незалежно від конструкції волокнисті її окремі ділянки мають свою форму і найменування. Поздовжній розріз профілю найбільше часто застосовуваної конічної волокнисті (див. рис. 1.6) складається з наступних

ділянок: деформуюча або робоча зона III має конічну форму з кутом при вершині 2α . Перед робочою зоною знаходиться мастильна зона II, що заповнена технологічним змащенням. За деформуючою зоною розташований калібрувальний пасок, IV, що має циліндричну форму. Вихідна зона або V виконується у формі конуса з кутом β або частіше сферичної форми.

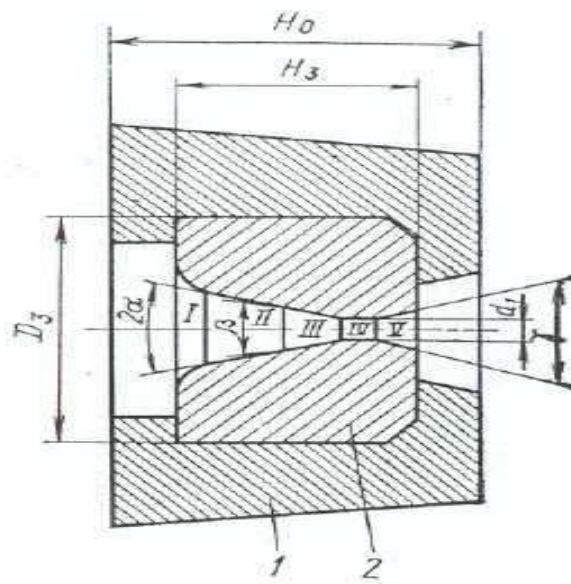


Рисунок 1.6 – Розріз волоки

Вважається, що найбільш оптимальним профілем деформуючої зони волочильного каналу є конус. Кут робочого конуса 2α приймається рівним $8...24^\circ$, причому він повинний бути тим менше, чим вище твердість і менше перетин металу, що протягається, а також чим менше значення витяжки і коефіцієнта контактного тертя.

Довжина робочого конуса приймається $0,5...0,7$ від діаметра одержуваного виробу. Довжина паска, що калібрує, $fr = (0,3...1) d$. При волочінні сталевому дроту найбільшу експлуатаційну стійкість показали волоки з $\beta=0,5$.

Мастильна зона для полегшення надходження змащення в процесі волочіння виконується конічної форми з кутом $\beta=40...60^\circ$. При подовженій

мастильній зоні, а отже, і зменшеному куті нахилу утворюючої завдяки зниженню інтенсивності відгону змащення гідродинамічний ефект змащення підвищується. Вихідна распушка збільшує твердість волоки і приймається сферичної або конічної форми. В останньому випадку кут α — $60\ldots 90^\circ$, а її довжина береться не менш $0,15$ від загальної висоти волоки.

Для збільшення стійкості волок проти стирання їх роблять із твердих сплавів металокерамічним способом (з карбідів вольфраму і титана, іноді ванадію, молібдену, танталу, бора й ін.). Застосовують також волоки з керамічних твердих сплавів — мікроліта, термодорунда, що відрізняються високою зносостійкістю й у той же час їхня вартість у багато разів нижче звичайних волок з вольфрамових сплавів. При волочінні щонайтоншого сталевих дроту (менш $0,2$ мм) для виготовлення волок застосовують технічні алмази. Усі ці матеріали поряд з високою твердістю і стійкістю проти стирання відрізняються низькою в'язкістю. Щоб уникнути руйнування такої волоки в процесі роботи, неї укладають з попереднім затягуванням (запресовуванням і ін.) в обойму з досить в'язанням і міцної сталі. При цьому помітно зменшуються напруги, що розтягують, у кільцевому напрямку волоків момент волочіння або виключаються напругами стиску з боку обойми.

Поряд з такою конструкцією одинарною волоки в останні роки широке застосування одержують збірні волоки, що забезпечують волочіння в умовах гідродинамічного тертя. На рис. 1.7 показана збірна волока з убудованою мильницею. Як змащення використовується мильний порошок іноді з добавкою порошкоподібної сірки (до $1/3$ маси). Збірна волока, поліпшуючи умови змащення, забезпечує підвищення продуктивності волочильних станів до 30% ; знижує до 20% витрата енергії на волочіння і збільшує стійкість у $3\ldots 4$ рази і більш.

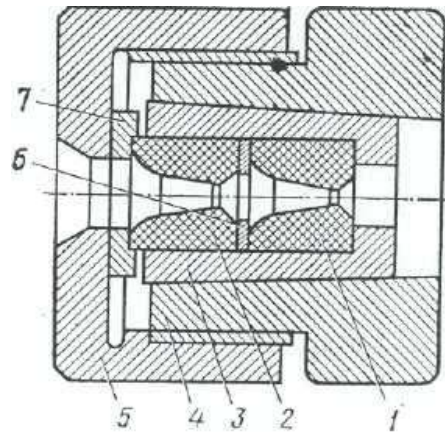


Рисунок 1.7 - Збірна волока для волочіння дроту в режимі гідродинамічного тертя: 1 – робочий твердосплавний вкладиш; 2 – напірний вкладиш; 3 – затискнавулка; 4 – корпус; 5 – гайка; 6 – ущільнення; 7 – завзята шайба

При волочінні прутків і труб великих перетинів волоки виготовляють без обойми з інструментальної сталі (графітізована сталь, сталь У8, У12, Х15, Х12М и ін.). Різні оправлення і стрижні, застосовувані при волочінні порожніх виробів, виготовляють з інструментальних сталей і твердих сплавів. Для збільшення стійкості сталевих оправлень їх звичайно хромують, а іноді цианують або цементують і завжди термічно обробляють для підвищення твердості.

Фото волок представлені на рис.1.8.



Рисунок 1.8 – Волочильні волоки

Успіх операції волочіння визначається безліччю факторів. Дуже часто ці фактори і їхній реальний вплив не можуть бути безпосередньо обмірювані, що залишає контроль і вдосконалювання процесу відкритим для безлічі припущень, кількість яких можна скоротити шляхом аналізу дефектів, що залишаються у волоках після використання.

Найбільшими типами зношування, що зустрічаються є:

- утворення тріщин;
- абразивне зношування;
- притирочне зношування (іноді назване виносом часток);
- корозійне зношування;
- заїдання й утворення дрібної фракції.

Іноді плутають тріщини й подряпини. Подряпини звичайно прямі й часто не проходять через всю волоку. Крім того, вони мають дно і їхні кінці різко перериваються. Тріщини звичайно йдуть до будь якого краю волоки, мають зубчастість границь, і часто мають дрібні відколи уздовж країв. У випадку, коли тріщина закінчується в межах волоки, кінці сходяться.

Волоки для волочіння зроблені з дуже крихких матеріалів. Це значить, що вони схильні до розтріскування під дією термічних або механічних ударів. Механічний стрес впливає в напрямку волочіння й тому провокує тріщини лише певного типу. Однак тепловий удар гірше визначити, тому він може викликати руйнування (тріщини) різних типів (рис.1.9). Тріщини, викликані перегрівом, можуть бути випадкові як по розміру, так і по напрямку, і зазвичай їх безліч. Такі тріщини стають концентраторами напружень, і тоді механічні сили викликають швидкий ріст (розвиток) тріщин. Будь-яке руйнування може бути ініційовано або збільшено тепловим ударом, навіть коли він за формою нагадує дефект, викликаний механічними проблемами.

Поздовжні тріщини проходять через всю волоку. Якщо хоч одна така тріщина виявлена, то наявність, щонайменше, ще однієї тріщини можна припустити. Такі тріщини виникають, коли сила, необхідна для деформації

дроту, більше, ніж міцність матеріалу волоки і її оправи, а також з ростом величини одиничного обтиснення. У деяких серйозних випадках може знадобитися перепроєктування волоки або зміна величини обтиснення.

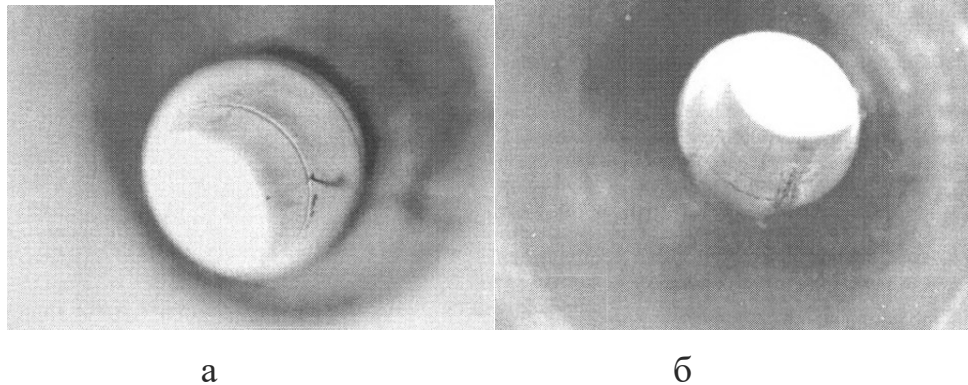


Рисунок 1.9 – Поздовжні (а) і поперечні (б) тріщини

У доповненні до міцності матеріалу волоки, міцність оправи стає дуже важливою характеристикою в протистоянні даному виду руйнувань. Правильна оправа робить більше, ніж просто підтримує вставку волоки. Вона фактично поміщає вставку волоки під попереднє стискаюче навантаження, протилежно спрямовану силі впливу дроту, що піддається волочінню.

Руйнування від розтягання починається з кільцевої тріщини, що найімовірніше зароджується на дні кільця зношування. У дійсності такі тріщини важко визначити на ранній стадії розвитку через ефект, що маскує, кільця зношування (рис.1.10). Якщо така тріщина виникла, вона розвивається до повного руйнування волоки. Руйнування при розтяганні відбуваються, коли волока залишається в стані занадто довго або, імовірно, через волоку проходить грубий зварений шов або включення. Найчастіше, вони починаються з кільця зношування, що стає занадто глибоким, і викликає концентрацію напруг. Деякі матеріали, з яких виготовляються волоки, мають більшу опірність такому некоректному обігу, але звичайно ця проблема не ставиться до фактора вибору матеріалу волоки - вона є сигналом для поліпшення контролю процесу волочіння. Більшу частину руйнувань при розтяганні можна уникнути дотримуючи нормальних умов експлуатації волок.

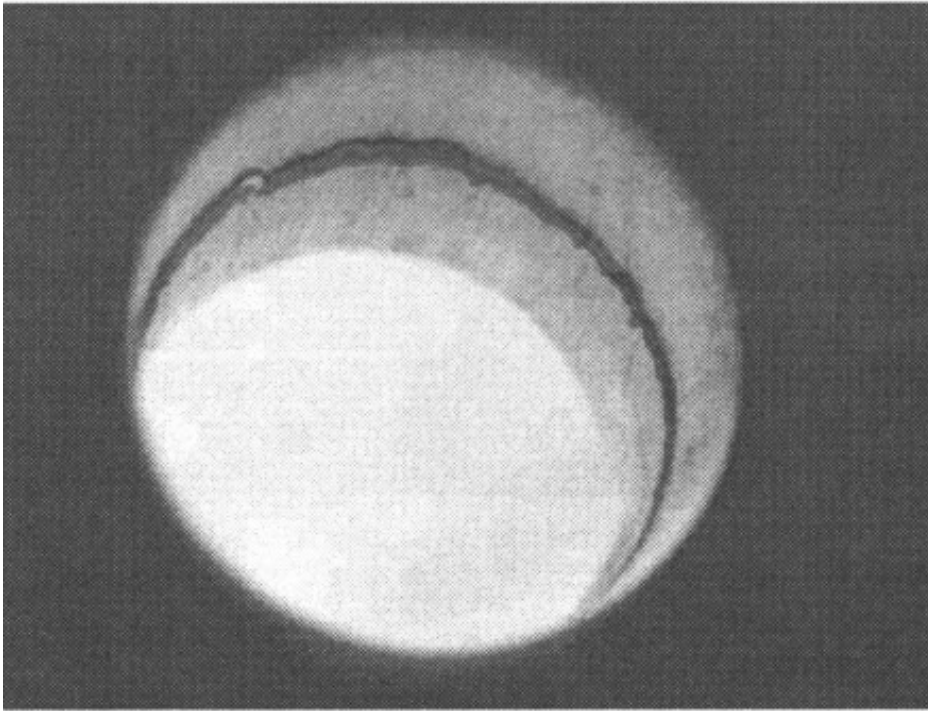


Рисунок 1.10 – Кільце зношування

Руйнування при зрушенні подібно руйнуванню при розтяганні, але має форму конуса. Його іноді називають вирвана задня частина. Даний вид руйнування відбувається, звичайно, через погані умови волочіння.

Викрашування вихідної зони волоки відрізняється від наведених вище прикладів тим, що цей дефект локалізується на перетинанні циліндричної частини волоки й вихідної зони.

Викрашування вихідної зони іноді викликається включеннями або звареними швами на дроті. Воно також може бути викликано неправильною формою розпушки. Гострий кут з боку вихідної розпушки являє собою слабку ділянку й легко скрашується. Волоку з руйнуваннями такого типу можна відновити (перешліфувати), якщо проблема виявляється досить швидко.

В основному, нерівності на поверхні однієї деталі видаляють матеріал з поверхні другої деталі, якщо ці дві деталі перебувають у ковзному контакті. Наскільки швидше одна частина викликає зношування другої частини, залежить від співвідношення енергії. Таким чином, незважаючи на те, що матеріал волоки набагато твердіше дроту, що піддається волочінню, волока, проте, буде

зношуватися в процесі волочіння дроту. Абразивне зношування, на відміну від інших видів зношування й руйнування, повинно уважатися звичайним і неминучим. Однак, його можна знизити до мінімуму, приділяючи велику увагу умовам волочіння.

Абразивне зношування волоки можна визначити по подряпинах, які тягнуться по всій довжині робочої зони волоки в напрямку волочіння дроту. Якщо поява таких подряпин викликано звичайним зношуванням, вони можуть бути дуже маленькі і непомітними, побачити їх можна тільки при великому збільшенні. Фактично, поверхня буде здаватися відполірованою, хоча й трохи неправильної форми, якщо розглядати її при невеликому збільшенні. Однак, подряпини, викликані забрудненням змащення або дефектами поверхні дроту, звичайно бувають більшого розміру і їх легко можна побачити. Тому, якщо бороздки у волоці можна розглянути в оптичний мікроскоп при збільшенні 30-60 раз, необхідно перевірити якість змащення й поверхню дроту - заготівлі. Не всі бороздки у волоці викликані абразивним зношуванням. Винос часток або деякі дефекти матеріалу волоки можуть привести до утворення бороздок, що поширюються від цього дефекту через всю частину волоки, що залишилася. Ключем до цього є те, що такі бороздки звичайно більш округлені, і часто починаються нижче зони контакту, а не в зоні контакту.

Ще одна причина виникнення бороздок пов'язана з перегрівом волоки. Такий перегрів часто виникає, коли волока працює в режимі недостатнього змащення, що, у свою чергу, відбувається через те, що волока забивається маленькими часточками. Такі бороздки звичайно досить великі й численні. Це приводить до швидкого руйнування волоки. І знову, це не є нормальним абразивним зношуванням.

Багато оксидів металів мають абразивні властивості. Тому брудне змащення, окислений дріт або включення на поверхні дроту можуть дуже значно збільшити абразивне зношування й, таким чином, скоротити термін служби волоки. Оскільки стирання відбувається, коли деталі вступають у контакт один з одним, на нього може вплинути міцність мастильної плівки і її взаємодія із цими

поверхнями. Це значить, що правильний вибір змащення й правильна експлуатація її, грають винятково важливу роль у зниженні абразивного зношування. Крім того, необхідно вводити змащення у вхідну зону волоки так, щоб дріт міг захопити якнайбільше змащення в робочу зону.

Приработне зношування, у випадку використання полікристалічних алмазних волок відноситься до видалення часток. Основна відмінність від абразивного зношування полягає в тім, що видаляється матеріал, що, являє собою певні частки, які визначаються структурою матеріалу волоки. При абразивному зношуванні розмір часток, що видаляються, визначається станом поверхні. Приработне зношування іноді має такий же механізм як стирання, оскільки між дротом і часточкам, що виносяться, може існувати зв'язок.

Винос часток з полікристалічної алмазної волоки легко визначити візуально, тому що в такому випадку є глибокі ямки, які мають приблизно такий же розмір, як частки в даній волоці-заготівлі. Однак, у тих випадках, коли волока залишається в роботі занадто довго, вона руйнується настільки, що окремі раковинки ховаються під загальним руйнуванням. Саме гірше в процесі викрашування часток - це те, що раковинки утворюють крапки напруги, які провокують випадання додаткових часток. У таких випадках є тенденція до утворення великих бороздок, що може привести до руйнування волоки.

У випадку приработного зношування в матеріалі волоки із часточками дуже маленького розміру, таких як карбід вольфраму або полікристалічний алмаз із ультра-дрібним зерном, окремі раковинки можуть бути не видні в оптичний мікроскоп. Однак можна помітити загальний матовий вид.

Матеріал дроту, матеріал волоки й змащення - усі відіграють важливу роль у цьому виді ушкоджень. Матеріал дроту з матеріалом волоки забезпечать сили, які необхідні для переміщення окремих часток. Змащення може протидіяти таким силам і захищати від стирання. Важливу роль грає температура в районі робочої зони полікристалічної волоки або волоки з карбиду вольфраму, тому що це може привести до додаткових внутрішніх напружень, які руйнують зв'язок між частками. Більша частина полікристалічних волок також має каталізатор, що

допомагає алмазним часткам зчіплюватися один з одним. Цей же каталізатор допомагає зворотній реакції, так що зв'язок між алмазними частками погіршується при високій температурі.

Легко поплутати прироботне зношування з абразивним зношуванням, оскільки в результаті поверхня має подібний вигляд у багатьох матеріалах, використовуваних для виробництва волок. Однак важливо розрізняти ці два види зношування, щоб можна було вжити правильних заходів. Наприклад, полікристалічні алмазні волокни з ультра-дрібним зерном мають гарну зносостійкість при волочінні дуже твердих матеріалів, таких як шинний корд, але їхня стійкість дуже погана при волочінні дуже м'яких матеріалів, таких як мідь. Причина в тім, що опір абразивному зношуванню цілком гарне, а опір полікристалічних алмазів з ультра-дрібним зерном прироботному зношуванню дуже погане. Стирання є домінуючим чинником при волочінні твердих матеріалів, у той час як притирання є домінуючим чинником при волочінні м'яких матеріалів. Знаючи це, можна правильно вибрати матеріал волоки для волочіння даного матеріалу. Незнання цієї особливості може привести до вибору матеріалу волоки, ґрунтуючись на досвіді роботи з іншим матеріалом і при інших умовах волочіння.

Корозійне зношування важко зрозуміти без знання хімії. У простому викладі, віно відбувається, коли атоми однієї частини з'єднуються хімічним шляхом з атомами іншої частини, що перебуває з нею в контакті, і виникає нова хімічна сполука, що потім відділяється від однієї або обох частин. Корозійне зношування, в основному, визначається хімічною взаємодією матеріалу дроту й матеріалу волоки. Крім того, оскільки це хімічний процес, на нього можуть робити вплив матеріали, що перебувають у змащенні, будь то присадки або тверді частки.

Корозійне зношування у волоках виглядає як гладка, але трохи нерівномірна поверхня. Корозійне зношування має тенденцію бути швидким і непередбаченим.

У монокристалічних матеріалах, таких як природні алмази, корозійне зношування відбувається, швидше за все у кристалічних ґратах. У результаті, робочий конус і циліндр, у поперечному перерізі можуть прийняти форму багатокутника, а не кола. У менш складних ситуаціях робочий конус може прийняти форму квітки. Абразивне зношування також має місце в монокристалічних алмазах, але результат не так явно виражений.

У полікристалічних матеріалах корозійне зношування важко відрізнити від абразивного зношування візуально, оскільки там можуть бути присутнім обидва види зношування. Однак є кілька візуальних підказок. У полікристалічному алмазі звичайне абразивне зношування майже відразу ж утворить кільце зношування при незначному зношуванні в іншій частині робочої зони. Потім, оскільки абразивне зношування триває, це кільце зношування збільшується у бік циліндра. При корозійному зношуванні вся поверхня швидко зношується при незначному кільці зношування.

Матеріали алмазних волок найчастіше кородують з матеріалами, що утворюють стійкі карбіди, наприклад, залізом, нікелем і вольфрамом. Корозійний вплив підсилюється сильними окислювачами, такими як нітрати, що перебувають у воді й у змащенні. Частки карбіду вольфраму рідко піддаються хімічному впливу. Але сполучний кобальт схильний до корозійного впливу з боку хімікатів, що перебувають у змащенні. Ці хімікати включають хлор, фтор, сірку й нітрати. Діють чи ні ці хімічні елементи на кобальт, залежить від їхньої хімічної формули. Часто вони становлять частину складної речовини, що не вступає в реакцію з кобальтом. Температура в робочій зоні відіграє важливу роль, тому що більша частина корозійних процесів у волочінні дроту прискорюється, як тільки вони перейшли певний граничний рівень температури.

Фреттинг-корозія - це зварювання двох матеріалів, що перебувають у ковзному контакті один з одним. При волочінні дроту вона проявляється у двох формах залежно від того, на що виявляється вплив: на дріт або на волоку. Фреттинг-корозія на волоці, що також відома як адгезійне зношування. На відміну від корозійного зношування в цьому випадку не утвориться ніяких нових

з'єднань, хоча в цей процес залучені деякі сили на атомному рівні. Має місце щось начебто механічного зв'язку або зварювання, що забезпечує захват часток матеріалу з поверхні волюки. Поводження комбінації матеріалу дроту й матеріалу волюки, у цьому випадку, має велике значення, але також велику роль грає стан змащення й температура.

При фреттинг-корозії поверхня волюки часто має довільний рисунок зношування. На поверхні є невеликі, дрібні, нерівномірні раковинки, які іноді виглядають як сніжинки, хоча для того, щоб побачити їх може знадобитися велике збільшення.

Фреттинг-корозія має відношення до переміщення матеріалу з поверхні дроту, а не з поверхні волюки. Матеріал дроту приварюється до поверхні волюки. Крім усього іншого, фреттинг-корозія значно збільшує тертя. Матеріалом, що наварюється, можуть також бути дрібні металеві частки, які раніше були вилучені із дроту, а також частки матеріалу цього ж дроту, переміщені по поверхні. Як і в попередньому випадку, головну роль тут грає матеріал дроту, матеріал волюки й змащення, а також - температура. Фреттинг-корозія легше визначна на поверхні дроту, чим на поверхні волюки. Поверхня дроту з типової фреттинг-корозією буде мати нерівномірні борозденки, які іноді мають конусоподібну форму й завершуються шматочками матеріалу дроту, які наварюються на поверхню. Також часто присутні так звані сліди вібрації. Ці сліди вібрації є результатом циклічного часткового приварювання дроту до матеріалу із задирами й наступного розриву зв'язку. Деякі з таких міток виявляються надривами поверхні й бувають досить глибокими.

Здрібнення часток - це не дефект волюки як такий, але тенденцію деяких матеріалів для волюк до утворення дрібних часток потрібно брати до уваги. По-перше, ці дрібні частки можуть забивати волюку, що приводить до погіршення поверхні дроту й обмеженню подачі змащення, що збільшує тертя, прискорює зношування й т.д.

По-друге, влучення дрібних часток у змащення утворює джерело матеріалу, що легко приварюється, що збільшує фреттинг-коррозію.

По-третє, дрібні частки легко окисляються, особливо якщо вони вступають у контакт із повітрям перед влученням у змащення. Оксиди алюмінію й міді є особливо абразивними матеріалами, вони укорочують термін служби волоки й та строк експлуатації інших деталей волочильного стану.

Четвертим видом впливу дрібних часток є зміна хімічних властивостей змащення. Більшість видів змащення до деякої міри реагує із дротом, щоб «прилипнути» до поверхні дроту. Однак, площа поверхні настільки мала, що дана реакція, як правило, не має істотного значення. Але з додаванням дрібних часток буквально кілометри поверхні можуть піддатися впливу, таким чином, ця реакція придбає велике значення. Одним з очевидних результатів стане поява мила або осаду, які можуть зробити механічний вплив на процес волочіння. Менш очевидним може бути той факт, що в результаті деяких із цих реакцій зі змащення можуть віддалятися корисні присадки, або ж вони можуть стати менш корисними. У деяких випадках, особливо це стосується міді, дрібні металеві частки можуть діяти як каталізатор, що сприяє нестабільності хімічного складу змащення. Дуже часто ці невлімовимі хімічні зміни проходять непомітно. Той факт, що щось не працює як звичайно, може бути відзначений, але причина цього залишається незрозумілою.

1.4 Вплив технологічних факторів на стійкість волок

Істотний вплив на напруження та силу волочіння надають умови тертя на контакті металу з інструментом і, отже, всі технологічні фактори, що викликають збільшення коефіцієнта (показника) тертя сприяють зростанню напруження та сили волочіння. Сили тертя, що виникають в осередку деформації між поверхнею протягуваного дроту і інструментом, значно впливають на процес волочіння: зусилля волочіння, а отже, і питома витрата потужності на волочіння, швидкість волочіння, надійність (безобривність) процесу волочіння, зношування волочильного інструмента й інші параметри багато в чому залежать від сили тертя.

Процес тертя при волочінні багато в чому відрізняється від звичайного тертя ковзання, що виникає в традиційних тертьових парах, і значно ускладнюється наступними причинами:

- досить великі питомі тиски, а тому подача змащення в зону деформації з метою створення умов рідинного або навіть напіврідинного тертя досить ускладнена;
- значні пластичні деформації металу що протягується;
- як правило, високі температури, особливо при волочінні важкодеформуємих металів з попереднім нагріванням заготовлі перед волочінням.

Розглядаючи процес волочіння, можна бачити, що взаємодія деформуємого тіла з волокою характеризується наявністю тертя ковзання по всій контактній поверхні. Це істотно впливає на силові умови процесу, викликає нерівномірний розподіл деформації по діаметру прутка, що протягується. При волочінні в деформаційній зоні центральні шари металу рухаються трохи швидше периферійних, що вказує на більшу нерівномірність розподілу напружень не тільки вздовж каналу, але й у його радіальних напрямках. Ця нерівномірність зростає зі збільшенням робочого кута волоки – одного із факторів, що викликають виникнення додаткових напружень. Значна нерівномірність напруженого стану при волочінні може призвести до руйнування металу. Тому волочіння ведуть через волоки з невеликими робочими кутами $5-12^\circ$ і з можливо більшими радіусами r закруглень, що утворюються у виході з каналу волоки.

Довжина калібрувального пояска сприяє збільшенню напруження волочіння внаслідок збільшення долі сил тертя, обумовлених максимальним значенням межі текучості на виході з осередку деформації. Збільшення кута робочого конуса зменшує напруження, проте чисельні експериментальні данні свідчать о більш складному випадку цього геометричного параметру. Так, за даними Ю.С. Зикова, при збільшенні кута конуса з 4° до 10° в початковий період сила волочіння знижується на 10... 15%, а після досягнення мінімуму α

= 7,5...8,5° - зростає. Це обумовлене тим, що при збільшенні кута зменшуються товщина шару змазки, яка захоплюється до осередку деформації разом з дротом.

Збільшення швидкості волочіння до 0,3... 15 м/с викликає майже лінійне збільшення коефіцієнта тертя від 0,05 до 0,08. А.П.Грудев пояснює це тим, що зі збільшенням швидкості волочіння у разі застосування порошкоподібної мастила погіршуються умови змащення і скорочується надходження її в осередок деформації внаслідок збільшення вібрації дроту, при якій мастило погано утримується на поверхні. Прямі досліди підтвердили зменшення товщини шару мастила зі збільшенням швидкості волочіння у збірних волоках з однією робочою та однією напірною волоками. За даними Н.Г.Решетникова, збільшення коефіцієнта витяжки з $\ln\mu = 0,1$ до $\ln\mu = 0,43$ збільшує коефіцієнт тертя при протягуванні дроту алюмінієвих сплавів на мастилi з мазуту в межах від 0,05...0,06 до 0,075. ..0,085.

На напруження волочіння значно впливає вихідний стан дроту. У роботах [3] досліджували умови волочіння мідного прямокутного дроту 1,8x8,5 мм із заготовлі 4,9x9,85 мм із застосуванням як мастила мильного порошку та шорсткість поверхні дроту $R_a = 0,5...4,4$ мкм. Збільшення шорсткості вихідної заготовки забезпечує поліпшення умов захоплення мастила та збільшення її товщини на деформованій смузі. Так, при збільшенні вихідної шорсткості R_a від 0,5 до 4,4 мкм товщина шару мастила у першому переході збільшується від 0,7 до 1,53 мкм. Після третього переходу товщина шару мастила мало залежить від шорсткості поверхні заготовки (Рис. 1.1).

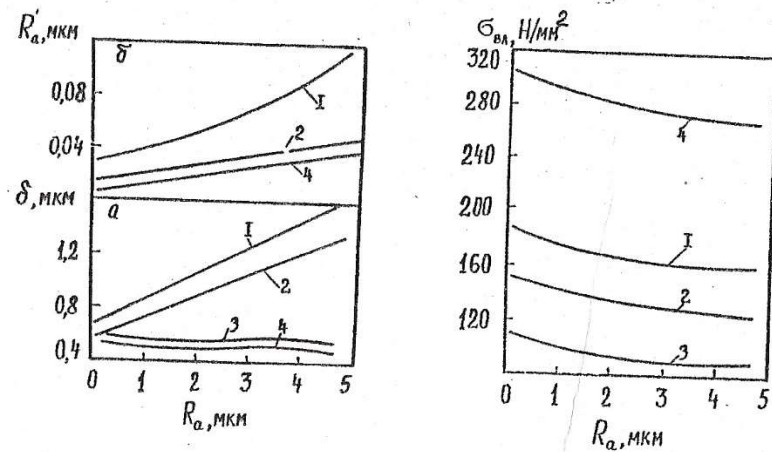


Рисунок 1.11 – Зміна: а – товщини шару мастила, б – висоти мікронерівностей профілю; 1 – 4 – номер проходу.

Згідно з експериментальними даними на напруження волочіння суттєвий вплив чинить протинатяг дроту, який створюється попередньою волокою або тяговою шайбою. Напруження протинатягу створюють у площині входу до осередку деформації додаткові напруження волочіння, які зменшують опір металу деформації. В залежності від умов волочіння наявність протинатягу знижує напруження волочіння на 10...30%.

1.5 Пропозиції щодо підвищення енергоефективності процесу і надійності обладнання та обґрунтування обраного напрямку

Із матеріалу викладеного в попередніх розділах можна зробити висновок, що сили тертя значно впливають на процес волочіння, якість дроту та стійкість волок, тому саме заходи, спрямовані на зниження сил тертя в осередку деформації сприятимуть підвищенню показників волочіння та сприятимуть підвищенню надійності волочильного обладнання в цілому.

Зниження коефіцієнта тертя при волочінні у виробничих умовах може бути досягнуте за рахунок:

- оптимальної геометрії й високої якості обробки поверхні волочильного інструмента;
- накладення вібрації на волоку;
- застосування неприводних обертових роликів волок, у яких тертя ковзання частково замінюється тертям кочення;
- застосування волочіння із противонатягом;
- подачі змащення в зону деформації під великим тиском;
- нанесення на поверхню дроту якісного підзмащуваного шару;
- інтенсивного охолодження дроту й інструмента.

Промислові дослідження свідчать про суттєвий вплив конструкції самого волочильного інструменту на умови тертя та енергосилові параметри. На даний час відомі різноманітні конструкції збірних волок. В.Л. Колмогоров та ін. розробили конструкцію збірного інструменту з однією робочою волокою, яка значною мірою покращила умови їх експлуатації.

Підбору оптимального профілю волоки присвячено багато робіт, так, відоме технічне рішення [7], в якому пропонується вхідну, обтискну та калібрувальну зону волоки виконувати єдиною поверхнею у вигляді частини однополосного гіперболоїда обертання, горловина якого знаходиться на перетині площин калібрувальної та обтискної зон (рис. 1.12). Автори заявляють про підвищення стійкості такої волоки у порівнянні із волоками радіального профілю, проте дані про практичну реалізацію такої конструкції не зазначені.

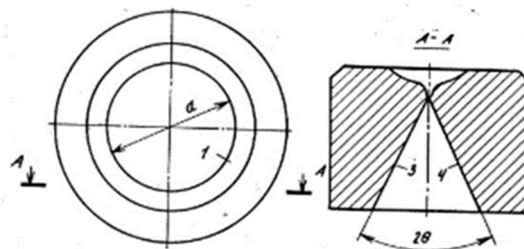


Рисунок 1.12– Волока з гіперболоїдним профілем

В роботі [5] розглядається можливість підвищення ефективності волочіння металу шляхом попереднього нанесення вихідної шорсткості на

поверхню заготівлі в неприводних прокатних роликах, там, де вони є, встановлених перед волочильним станом. Шорсткість доцільно наносити як перед першим переходом, а й у проміжних переходах. Висота вихідної шорсткості визначається вимогами якості поверхні готового продукту.

При волочінні із противонатягом ним виступає P_q є сила, прикладена до вхідного у волоку металу й спрямована убік, протилежну напрямку волочіння. При оптимальному співвідношенні величин n напруження волочіння й напруження противонатягу, що залежать від конкретних умов волочіння, знижується питомий тиск металу в зоні деформації й, як наслідок, зменшуються коефіцієнт зовнішнього тертя й зношування волочильного каналу.

Волочіння через обертову волоку зменшує коефіцієнт тертя при волочінні, але вимагає додаткових витрат потужності й спеціального складного привода, що обмежує застосування даного методу волочіння.

В роботі [8] запропоновано спосіб отримання дрібнозернистих напівфабрикатів волочінням із зсувом, при якому застосовується тягуча сила через дві послідовно розташовані конічні волокни з одночасним обертанням однієї з них. Обертання волокни забезпечує додаткову деформацію зсувом за допомогою заданого відносно осі обертання ексцентриситету, утвореного конусним каналом волок, проте недоліком цього способу є відсутність знеміцнення металу і поліпшення якості поверхні металу. Але даний спосіб також, як і попередній унеможливорює поліпшення якості поверхні металу.

Волочіння дроту через неприводні роликові волокни істотно знижує коефіцієнт зовнішнього тертя в зоні деформації, тому що при цьому способі волочіння тертя ковзання між поверхнею протягуємої проволочки і нерухливим волочильним інструментом заміняється тертям кочення (в опорах роликової волокни) між дротом і обертовими від дроту рухливими роликовими волокнами. Це дозволяє збільшити одиничні й сумарні обтиснення при волочінні дроту із складнодеформуємих металів і сплавів.

Даний метод застосовується також для волочіння дроту періодичного й фасонного профілю, по-перше, з вищевикладеної причини, а по-друге, у зв'язку з меншими витратами на виготовлення роликової волоки в порівнянні з витратами на виготовлення аналогічної монолітної фасонної волоки.

Відомий спосіб волочіння з попереднім ступенем деформації дроту на ролику на величину 0,3-1,4% три-чотирьократним обгинанням витяжного ролика, діаметр якого дорівнює 12,3 - 25,2 діаметра катанки [3]. Недоліком цього технічного рішення є підвищені енерговитрати на процес волочіння, витрати твердого сплаву інструменту внаслідок зносу та руйнування, витрати металу внаслідок обриву дроту внаслідок підвищеного опору волочінню в осередку деформації.

Вібраційне волочіння – волочіння з накладанням вібрацій на дріт або волоку, а в деяких випадках на дріт і волоку одночасно.

При оптимальній частоті вібрацій порядку 200-500 Гц зусилля волочіння може зменшитися на 35-45% за рахунок зменшення коефіцієнта зовнішнього тертя в зоні деформації.

Вже в перших роботах по дослідженню вібраційної обробки металів тиском відрізнялася корінна зміна умов контактного тертя при вібраційній деформації металу. Ю. П. Согришин [2], досліджуючи віброштампування, вважає, що вібраційний спосіб додатку навантаження перш за все характеризується пониженням контактного тертя, а це зменшує робочий тиск і приводить до більш рівномірного розподілу напруження і пластичних деформацій в деформованому об'ємі.

Досліджуючи віброволочіння сталевого дроту, автори спостерігали збільшення ефекту від вібрацій із зменшенням кута робочого конуса волочи. При віброволочінні профілю складної форми мало місце велике зниження сили волочіння, ніж при віброволочінні круглого дроту того ж перетину.

Таким чином, чим більше за інших рівних умов контактна поверхня осередку деформації, там помітніше виявляється чинник зниження контактного тертя при вібраційному навантаженні.

При проведенні експериментів по волочінню дроту з поперечними коливаннями виявлено, що вібрація дроту, який може виникнути на резонансній частоті або однієї з гармонік, приводить до різкого зниження сили волочіння. Умови виникнення резонансу визначаються частотою і амплітудою коливання хвилі, а також масою дроту і її гнучкістю, відстанню від волочи до органу, що тягне, і рушійними параметрами. Штучно збільшуючи масу дроту, можна досягти стійкої вібрації при будь-якому діаметрі і обжиманні. Для цього в експериментах на дріт після виходу її з волочи надягали ковзаючий вантаж, який утримувався при волочінні на певній, встановленій дослідним шляхом відстані від волочи.

При волочінні дроту (з 2,0мм до 1,89мм) сталі У9А з бейнітною структурою впровадження вібрації волоки знижувало силу волочіння в середньому на 15 %, а при поєднанні вібрації волоки і дроту зниження сили волочіння досягало 35% в порівнянні із звичним волочінням.

Можливість використання механічних вібраційних пристроїв для інтенсифікації процесу волочіння вельми багатоманітні. Ю. А. Боборикін проводив досліді по вібраційному волочінню мідного дроту, застосувавши для збудження коливань волочи ексцентриковий вібробуджувач. Р. М. Голубєв, Р. П. Дядечков і Б. Д. Хохряков для дослідження вібраційного волочіння сталевого дроту на Харцизьком сталедротяно-канатному заводі використовували ротаційно-імпульсний вібробуджувач. За допомогою різних передавальних пристосувань волочи повідомляли подовжні, поперечні і обертальні коливання з частотою до 313 Гц.

В роботі [4] пропонується спосіб виготовлення виробів в умовах резонансних коливань структурних часток металу, що включає підготовку металу і вплив на нього механічними коливаннями ультразвукової частоти для досягнення резонансу. До причин, що перешкоджають впровадженню даного методу відносять відсутність аналітичних залежностей для розрахунків частот вібрацій, що застосовуються до металів.

Відомий спосіб волочіння дроту з вібронавантаженням та технологічним мастилом, в якому вібронавантаження дроту забезпечують тягові шайби з гранями волочильних станів [5]. Дана конструкція шайби (рис.1).8 дозволяє вести процес волочіння з повздовжніми та поперечними коливаннями дроту, та тим самим знизити сили тертя в осередку деформації без використання ультразвукових генераторів.

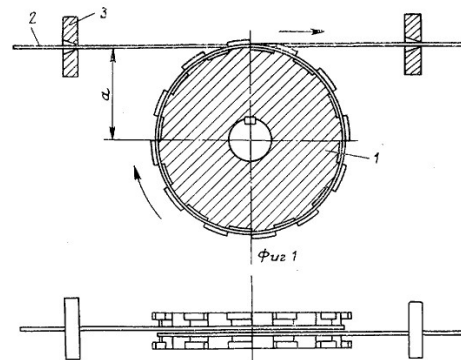


Рисунок 1.13 – Конструкція тягової шайби

Недоліком цього способу є наявність зносу граней шайби до повного їх зникнення, що призводить до втрати ефекту вібронавантаження дроту та підвищення енергосилових параметрів волочіння.

В роботі [6] розглядається спосіб волочіння дроту, який включає вібронавантаження дроту у процесі його протягнення крізь дві волоки. Недоліком цього способу є однобічноплосинне коливання дроту відносно лінії волочіння, яке призводить до нерівномірного навантаження по перетину дроту, що сприяє нерівномірному зносу волок.

Спосіб волочіння дроту з вібронавантаженням, в якому вібронавантаження дроту забезпечують тягові шайби з гранями волочильних станів [7] спрямований на зменшення технологічних зусиль, але є знос граней шайби до повного їх зникнення, та, внаслідок цього, втрачається ефект вібронавантаження дроту та підвищуються енергосилові параметри волочіння.

Отже, підсумовуючи все вище зазначене, можна відмітити, що віброволочіння є досить перспективним методом поліпшення умов проведення процесу за рахунок зниження сил тертя, що сприятиме підвищенню стійкості

інструмента і підвищення надійності волочильного обладнання в цілому, тому в роботі буде спрямована в подальшому на дослідження саме цього напрямку і насамперед планується розв'язати наступні задачі:

- 1) розглянути основні типи зносу та визначити природу руйнування валок;
- 2) дослідити вплив амплітуди коливань на процес волочіння і зусилля волочіння;
- 3) дослідити вплив протинатягу на процес волочіння з коливанням;
- 4) визначити параметри процесу віброволочіння для забезпечення стійкості волочильного інструменту за рахунок зменшення сил тертя.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності привода волочильної машини

Вихідні дані до розрахунку:

Діаметр початкової заготівлі, мм	$d_0=8,5;$
Площа перетину початкової заготівлі, мм ²	$q_0=56,7;$
Початкова межа плинності заготівлі, МПа	$\sigma_{T0}=75;$
Коефіцієнт тертя проволока-волока	$f=0,04;$
Половина кута робочого конуса, град	$\alpha =7^0;$
Число витків на барабані	$m=4;$
Коефіцієнт тертя шайба-дріт	$f_{ш}=0,1;$
Коефіцієнт	$a_0=14;$
Коефіцієнт	$a_1=0,58;$
Швидкість волочіння на вихідному барабані, м/с	$V_k=8,01;$
ККД машини	$\eta =0,7.$

Повна потужність привода волочильної машини розраховується по формулі:

$$P_O = \frac{P_{ВЛ}+P_{ТР}+P_{ЗГ}}{\eta} + P_{ХХ}, \quad (2.1)$$

де $P_{ВЛ}$ – потужність необхідна на саме волочіння;

$P_{ТР}$ – потужність необхідна на подолання сил тертя в тягових шайбах;

$P_{ЗГ}$ – потужність необхідна на вигин дроту;

$P_{ХХ}$ – потужність холостого ходу;

η - ККД механізму (волочильної машини).

1.1 Розрахунок потужності необхідної на саме волочіння

1. Визначаємо коефіцієнт, що враховує силу тертя на шайбах:

$$\Gamma = e^{-2 \cdot \pi \cdot m \cdot f_{ш}}, \quad (2.2)$$

де e – експонента, $e=2,718$;

m - число витків на шайбі, $m=4$;

$f_{ш}$ – коефіцієнт тертя шайба-дріт, $f_{ш}=0,1$.

$$\Gamma = 2,718^{-2 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 0,1} = 0,0811.$$

2. Визначаємо швидкість дроту під час волочіння й швидкість шайб:

Швидкість волочіння на вихідному барабані $V_K = V_{П9} = 8,01$ м/с.

Для протікання нормального процесу волочіння приймаємо коефіцієнт відносного ковзання для всіх переходів рівним $C_B = 0,04$.

Вихідний розмір готового дроту приймаємо рівним $d_9 = 4,1$ мм.

Для 8 переходу

Швидкість шайб:

$$V_{Ш8} = V_{П9} / \lambda_9 = 8,01 / 1,064 = 7,524 \text{ м/с.}$$

Швидкість дроту:

$$V_{П8} = V_{Ш8} / (1 + C_{B8}) = 7,524 / (1 + 0,04) = 7,234 \text{ м/с.}$$

Діаметр дроту:

$$d_8 = d_9 \cdot \sqrt{\lambda_9 \cdot (1 + C_{B8})} = 4,1 \cdot \sqrt{1,064 \cdot (1 + 0,04)} = 4,313 \text{ мм.}$$

Для 7 перехода

$$V_{Ш7} = V_{Ш8}/\lambda_8 = 7,524/1,158 = 6,498 \text{ м/с};$$

$$V_{П7} = V_{Ш7}/(1 + C_{B7}) = 6,498/(1 + 0,04) = 6,248 \text{ м/с};$$

$$d_7 = d_8 \cdot \sqrt{\lambda_8 \cdot (1 + C_8)} = 4,313 \cdot \sqrt{1,158 \cdot (1 + 0,04)} = 4,733 \text{ мм.}$$

Для 6 перехода

$$V_{Ш6} = V_{Ш7}/\lambda_7 = 6,498/1,152 = 5,640 \text{ м/с};$$

$$V_{П6} = V_{Ш6}/(1 + C_{B6}) = 5,640/(1 + 0,04) = 5,423 \text{ м/с};$$

$$d_6 = d_7 \cdot \sqrt{\lambda_7 \cdot (1 + C_{B6})} = 4,733 \cdot \sqrt{1,152 \cdot (1 + 0,04)} = 5,181 \text{ мм.}$$

Для 5 перехода

$$V_{Ш5} = V_{Ш6}/\lambda_6 = 5,640/1,20 = 5,035 \text{ м/с};$$

$$V_{П5} = V_{Ш5}/(1 + C_{B5}) = 5,035/(1 + 0,04) = 4,841 \text{ м/с};$$

$$d_5 = d_6 \cdot \sqrt{\lambda_6 \cdot (1 + C_{B5})} = 5,181 \cdot \sqrt{1,20 \cdot (1 + 0,04)} = 5,592 \text{ мм.}$$

Для 4 перехода

$$V_{Ш4} = V_{Ш5}/\lambda_5 = 5,035/1,057 = 4,765 \text{ м/с};$$

$$V_{П4} = V_{Ш4}/(1 + C_{B4}) = 4,765/(1 + 0,04) = 4,582 \text{ м/с};$$

$$d_4 = d_5 \cdot \sqrt{\lambda_5 \cdot (1 + C_{B4})} = 5,592 \cdot \sqrt{1,057 \cdot (1 + 0,04)} = 5,862 \text{ мм.}$$

Для 3 перехода

$$V_{Ш3} = V_{Ш4}/\lambda_4 = 4,765/1,063 = 4,485 \text{ м/с};$$

$$V_{П3} = V_{Ш3}/(1 + C_{B3}) = 4,485/(1 + 0,04) = 4,312 \text{ м/с};$$

$$d_3 = d_4 \cdot \sqrt{\lambda_4 \cdot (1 + C_{B3})} = 5,862 \cdot \sqrt{1,063 \cdot (1 + 0,04)} = 6,162 \text{ мм.}$$

Для 2 переходу

$$V_{Ш2} = V_{Ш3}/\lambda_3 = 4,485/1,373 = 3,267 \text{ м/с};$$

$$V_{П2} = V_{Ш2}/(1 + C_{B2}) = 3,267/(1 + 0,04) = 3,142 \text{ м/с};$$

$$d_2 = d_3 \cdot \sqrt{\lambda_3 \cdot (1 + C_{B2})} = 6,162 \cdot \sqrt{1,373 \cdot (1 + 0,04)} = 7,362 \text{ мм.}$$

Для 1 переходу

$$V_{Ш1} = V_{Ш2}/\lambda_2 = 3,267/1,163 = 2,810 \text{ м/с};$$

$$V_{П1} = V_{Ш1}/(1 + C_{B1}) = 2,810/(1 + 0,04) = 2,702 \text{ м/с};$$

$$d_1 = d_2 \cdot \sqrt{\lambda_2 \cdot (1 + C_{B1})} = 7,362 \cdot \sqrt{1,163 \cdot (1 + 0,04)} = 8,095 \text{ мм.}$$

Приймаємо початковий діаметр заготовлі дроту рівним $d_0=8,5$ мм.

3. Визначаємо коефіцієнт витяжки:

$$\mu = \frac{d_0^2}{d^2}, \quad (2.3)$$

де d_0, d - відповідно діаметр дроту до й після волочіння.

$$\mu_1 = \frac{8,5^2}{8,095^2} = 1,102;$$

$$\mu_2 = \frac{8,095^2}{7,362^2} = 1,209;$$

$$\mu_3 = \frac{7,362^2}{6,162^2} = 1,427; \quad \mu_4 = \frac{6,162^2}{5,862^2} = 1,105;$$

$$\mu_5 = \frac{5,862^2}{5,592^2} = 1,099;$$

$$\mu_6 = \frac{5,59^2}{5,18^2} = 1,165; \quad \mu_7 = \frac{5,18^2}{4,73^2} = 1,98;$$

$$\mu_8 = \frac{4,733^2}{4,313^2} = 1,204;$$

$$\mu_9 = \frac{4,313^2}{4,1^2} = 1,107.$$

4. Визначаємо відносне обтиснення:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{d}{d_0}\right)^2, \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_1 = 1 - \left(\frac{8,095}{8,5}\right)^2 = 9,3\%;$$

$$\varepsilon_2 = 1 - \left(\frac{7,362}{8,095}\right)^2 = 17,3\%;$$

$$\varepsilon_3 = 1 - \left(\frac{6,162}{7,362}\right)^2 = 29,9\%; \quad \varepsilon_4 = 1 - \left(\frac{5,862}{6,162}\right)^2 = 9,5\%;$$

$$\varepsilon_5 = 1 - \left(\frac{5,592}{5,862}\right)^2 = 9\%;$$

$$\varepsilon_6 = 1 - \left(\frac{5,181}{5,592}\right)^2 = 14,2\%;$$

$$\varepsilon_7 = 1 - \left(\frac{4,733}{5,181}\right)^2 = 16,5\%;$$

$$\varepsilon_8 = 1 - \left(\frac{4,313}{4,733}\right)^2 = 17\%;$$

$$\varepsilon_9 = 1 - \left(\frac{4,1}{4,313}\right)^2 = 9,6\%.$$

5. Визначаємо межу плинності матеріалу після деформації:

$$\sigma_{T1} = \sigma_{T0} + a_0 \cdot \varepsilon_{\Sigma}^{a_1}, \quad (2.5)$$

де a_0, a_1 – емпіричні коефіцієнти, для міді при $\sigma_{T0}=75$ МПа, коефіцієнти дорівнюють $a_0=14, a_1=0,58$;

ε_{Σ} - сумарне відносне обтиснення.

$$\begin{aligned}\sigma_{T1-1} &= 75 + 14 \cdot 9,3^{0,58} = 126 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-2} &= 75 + 14 \cdot 26,6^{0,58} = 169 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-3} &= 75 + 14 \cdot 56,5^{0,58} = 220 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-4} &= 75 + 14 \cdot 66^{0,58} = 234 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-5} &= 75 + 14 \cdot 75^{0,58} = 246 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-6} &= 75 + 14 \cdot 89,2^{0,58} = 264 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-7} &= 75 + 14 \cdot 105,7^{0,58} = 284 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-8} &= 75 + 14 \cdot 122,7^{0,58} = 303 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T1-9} &= 75 + 14 \cdot 132,3^{0,58} = 313 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

6. Визначаємо середню межу плинності:

$$\sigma_T = \sigma_{Ti} + 0,67 \cdot (\sigma_{T1} - \sigma_{Ti}), \quad (2.6)$$

де σ_{Ti} - межа плинності матеріалу перед волокой;
 σ_{T1} - межу плинності матеріалу після деформації.

$$\begin{aligned}\sigma_{T-1} &= 75 + 0,67 \cdot (126 - 75) = 109 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-2} &= 126 + 0,67 \cdot (169 - 126) = 155 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-3} &= 169 + 0,67 \cdot (220 - 169) = 203 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-4} &= 220 + 0,67 \cdot (234 - 220) = 230 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-5} &= 234 + 0,67 \cdot (246 - 234) = 242 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-6} &= 246 + 0,67 \cdot (264 - 246) = 258 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-7} &= 264 + 0,67 \cdot (284 - 264) = 278 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-8} &= 284 + 0,67 \cdot (303 - 284) = 297 \text{ МПа}; \\ \sigma_{T-9} &= 303 + 0,67 \cdot (313 - 303) = 310 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

7. Визначаємо напруження волочіння по формулі Кербера-Ейхінгера:

$$\sigma_{BL} = \sigma_T \left[\left(1 + \frac{1}{\delta}\right) \cdot (1 - \mu^{-\delta}) + 0,77 \cdot tg\alpha \right], \quad (2.7)$$

де σ_T - середня межа плинності матеріалу;

α - напівкут робочого профілю волоки, $\alpha = 7^0$;

μ - коефіцієнт витяжки.

δ - коефіцієнт, що враховує тертя у волоці, $\delta = \frac{f}{tg\alpha} = \frac{0,04}{tg7^0} = 0,3259$;

$$\sigma_{BL1} = 109 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,102^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 24 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL2} = 155 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,209^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 52 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL3} = 203 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,427^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 110 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL4} = 230 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,105^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 52 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL5} = 242 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,099^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 53 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL6} = 258 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,165^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 75 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL7} = 278 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,198^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 91 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL8} = 297 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,204^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 99 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{BL9} = 310 \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{0,3259}\right) \cdot (1 - 1,107^{-0,3259}) + 0,77 \cdot tg7^0 \right] = 70 \text{ МПа}.$$

8. Визначаємо силу волочіння:

$$F_{Ш} = \sigma_{BL} \cdot q, \quad (2.8)$$

де σ_{BL} - напруження волочіння (МПа);

q – площа перетину дроту на виході з волоки (мм^2).

$$F_{III1} = 24 \cdot 51,4 = 1246 \text{ H};$$

$$F_{III2} = 52 \cdot 42,5 = 2230 \text{ H};$$

$$F_{III3} = 110 \cdot 29,8 = 3274 \text{ H};$$

$$F_{III4} = 52 \cdot 27 = 1392 \text{ H};$$

$$F_{III5} = 53 \cdot 24,5 = 1294 \text{ H};$$

$$F_{III6} = 75 \cdot 21,1 = 1590 \text{ H};$$

$$F_{III7} = 91 \cdot 17,6 = 1597 \text{ H};$$

$$F_{III8} = 99 \cdot 14,6 = 1445 \text{ H};$$

$$F_{III9} = 70 \cdot 13,2 = 926 \text{ H}.$$

9. Визначаємо потужність, необхідну на волочіння:

$$P_{BL} = \sum_{n=1}^{n=k-1} [F_{III} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III} + F_K \cdot V_K] / 1000, \quad (2.9)$$

де F_{III} – сила волочіння на шайбах;

V_{III} – швидкість волочіння на шайбах;

F_K – сила волочіння на вихідному барабані;

Γ – коефіцієнт, який враховує силу тертя на шайбах, $\Gamma = 0,0811$.

Формулу можна представити, як потужність затрачувану на саме волочіння на кожній волоці.

$$P_{BL} = (P_{BL1} + P_{BL2} + P_{BL3} + P_{BL4} + P_{BL5} + P_{BL6} + P_{BL7} + P_{BL8} + P_{BL9}) / 1000, \quad (2.10)$$

$$P_{BL1} = F_{III1} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III1} = 1246 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 2,8105 = 3217 \text{ Вт};$$

$$P_{BL2} = F_{III2} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III2} = 2230 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 3,267 = 6695 \text{ Вт};$$

$$P_{BL3} = F_{III3} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III3} = 3274 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 4,485 = 13490 \text{ Вт};$$

$$P_{BL4} = F_{III4} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III4} = 1392 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 4,765 = 6093 \text{ Вт};$$

$$P_{БЛ5} = F_{III5} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III5} = 1294 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 5,035 = 5987 \text{ Вт};$$

$$P_{БЛ6} = F_{III6} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III6} = 1590 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 5,640 = 8243 \text{ Вт};$$

$$P_{БЛ7} = F_{III7} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III7} = 1597 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 6,498 = 9535 \text{ Вт};$$

$$P_{БЛ8} = F_{III8} \cdot (1 - \Gamma) \cdot V_{III8} = 1445 \cdot (1 - 0,0811) \cdot 7,524 = 9989 \text{ Вт};$$

$$P_{БЛ9} = F_K \cdot V_K = 926 \cdot 8,005 = 7412 \text{ Вт}.$$

$$P_{БЛ} = \frac{3217+6695+13490+6093+5987+8243+9535+9989+7412}{1000} = 70,66 \text{ кВт}.$$

Розраховані значення представлені в табличному вигляді, табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Потужність затрачувана на волочіння

№ П/П	Кінематичні витяжки, λ	Швидкість шайб, м/с, $V_{ш}$	Швидкість волочіння, м/с $V_{п}$	Відношення ковзання, $C_{в}$	Діаметр дроту, мм, d	Коефіцієнт витяжки μ	Відносне обтиснення		Межа плинності, МПа, σ_{T1}	Середня межа плинності, МПа, σ_T	Напруження волочіння, МПа, $\sigma_{вл}$	Площа перетину дроту, мм ² , q	Сила волочіння, Н, $F_{ш}$	Потужність волочіння, Вт, $P_{вл}$
							За прохід ϵ , %	Сумарне ϵ , %						
0					8,500	---			75	75				
1	0	2,810	2,702	0,04	8,095	1,102	9,3	9,3	126	109	24	51,4	1246	3217
2	1,163	3,267	3,142	0,04	7,362	1,209	17,3	26,6	169	155	52	42,5	2230	6695
3	1,373	4,485	4,312	0,04	6,162	1,427	29,9	56,5	220	203	110	29,8	3274	13490
4	1,063	4,765	4,582	0,04	5,862	1,105	9,5	66,0	234	230	52	27,0	1392	6093
5	1,057	5,035	4,841	0,04	5,592	1,099	9,0	75,0	246	242	53	24,5	1294	5987
6	1,120	5,640	5,423	0,04	5,181	1,165	14,2	89,2	264	258	75	21,1	1590	8243
7	1,152	6,498	6,248	0,04	4,733	1,198	16,5	105,7	284	278	91	17,6	1597	9535
8	1,158	7,524	7,234	0,04	4,313	1,204	17,0	122,7	303	297	99	14,6	1445	9989
9	1,064	8,005	8,005	0,04	4,1	1,107	9,6	132,3	313	310	70	13,2	926	7412
													$P_{вл\Sigma}$	70,66

1.2 Розрахунок потужності, необхідної на подолання сил тертя в тягових шайбах

Потужність необхідна на подолання сил тертя в тягових шайбах

$$P_{TP} = \sum_{n=1}^{n=k-1} [F_{ш} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш} - V_{п})] / 1000, \quad (2.11)$$

Іншим образом формулу можна представити як потужність, затрачувану на подолання сил тертя в кожній тяговій шайбі.

$$P_{TP} = (P_{TP1} + P_{TP2} + P_{TP3} + P_{TP4} + P_{TP5} + P_{TP6} + P_{TP7} + P_{TP8}) / 1000, \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} P_{TP1} &= F_{ш1} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш1} - V_{п1}) = 1246 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (2,810 - 2,702) \\ &= 124 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP2} &= F_{ш2} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш2} - V_{п2}) = 2230 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (3,267 - 3,142) \\ &= 258 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP3} &= F_{ш3} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш3} - V_{п3}) = 3274 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (4,485 - 4,312) \\ &= 519 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP4} &= F_{ш4} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш4} - V_{п4}) = 1392 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (4,765 - 4,582) \\ &= 234 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP5} &= F_{ш5} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш5} - V_{п5}) = 1294 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (5,035 - 4,841) \\ &= 230 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP6} &= F_{ш6} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш6} - V_{п6}) = 1590 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (5,640 - 5,423) \\ &= 317 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP7} &= F_{ш7} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш7} - V_{п7}) = 1597 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (6,498 - 6,248) \\ &= 367 \text{ Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TP8} &= F_{ш8} \cdot (1 - \Gamma) \cdot (V_{ш8} - V_{п8}) = 1445 \cdot (1 - 0,0811) \cdot (7,524 - 7,234) \\ &= 384 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

$$P_{TP} = \frac{124+258+519+234+230+317+367+384}{1000} = 2,73 \text{ кВт.}$$

Представимо розраховані значення в табличному вигляді, табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Потужність, затрачувана на подолання сил тертя в тягових шайбах

№ п/п	Швидкість шайб, м/с, Vш	Швидкість волокіння дроту, м/с, Vп	Сила волокіння, Н, Fш	Потужність тертя, Вт, Pтр
1	2,810	2,702	1246	124
2	3,267	3,142	2230	258
3	4,485	4,312	3274	519
4	4,765	4,582	1392	234
5	5,035	4,841	1294	230
6	5,640	5,423	1590	317
7	6,498	6,248	1597	367
8	7,524	7,234	1445	384

Розрахунок потужність, необхідної на вигин дроту

Потужність необхідна на вигин дроту

$$P_{3Г} = \sum_{n=1}^{n=k-1} \left[\frac{2(\sigma_T \cdot W_S \cdot V_{ш})}{r_{ПБ}} + \frac{\sigma_T \cdot W_S \cdot V_K}{r_{КБ}} \right] / 1000, \quad (2.13)$$

де σ_T - середня межа плинності матеріалу;

$r_{ПБ}$ - радіус проміжного барабана, $r_{ПБ}=0,175$ м;

$r_{КБ}$ - радіус кінцевого барабана, $r_{КБ}=0,225$ м;

W_S - момент опору дроту пластичному вигину,

$$W_S = W \cdot C = 0,1 \cdot d^3 \cdot C, \quad (2.14)$$

d - діаметр дроту після переходу;

C – емпіричний коефіцієнт для дроту круглого перетину, $C=1,7$;

Формулу можна представити як потужність, затрачувану на вигин дроту на барабанах.

$$P_{3Г} = (P_{3Г1} + P_{3Г2} + P_{3Г3} + P_{3Г4} + P_{3Г5} + P_{3Г6} + P_{3Г7} + P_{3Г8} + P_{3Г9})/1000, \quad (2.15)$$

З урахуванням вираження 2.15, одержимо:

$$P_{3Г1} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-1} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш1}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 109 \cdot 0,1 \cdot 8,095^3 \cdot 1,7 \cdot 2,810}{0,175} = 316 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г2} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-2} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш2}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 155 \cdot 0,1 \cdot 7,362^3 \cdot 1,7 \cdot 3,267}{0,175} = 392 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г3} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-3} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш3}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 203 \cdot 0,1 \cdot 6,162^3 \cdot 1,7 \cdot 4,485}{0,175} = 415 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г4} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-4} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш4}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 230 \cdot 0,1 \cdot 5,862^3 \cdot 1,7 \cdot 4,765}{0,175} = 428 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г5} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-5} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш5}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 242 \cdot 0,1 \cdot 5,592^3 \cdot 1,7 \cdot 5,035}{0,175} = 414 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г6} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-6} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш6}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 258 \cdot 0,1 \cdot 5,181^3 \cdot 1,7 \cdot 5,640}{0,175} = 394 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г7} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-7} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш7}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 278 \cdot 0,1 \cdot 4,733^3 \cdot 1,7 \cdot 6,498}{0,175} = 371 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г8} = \frac{2 \cdot \sigma_{Г-8} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_{Ш8}}{r_{ПБ}} = \frac{2 \cdot 297 \cdot 0,1 \cdot 4,313^3 \cdot 1,7 \cdot 7,524}{0,175} = 348 \text{ Вт};$$

$$P_{3Г9} = \frac{\sigma_{Г-9} \cdot 0,1 \cdot d^3 \cdot C \cdot V_K}{r_{КБ}} = \frac{310 \cdot 0,1 \cdot 4,1^3 \cdot 1,7 \cdot 8,005}{0,225} = 258 \text{ Вт}.$$

$$P_{3Г} = \frac{316+392+415+428+414+394+371+348+258}{1000} = 3,3 \text{ кВт.}$$

Таблиця 2.3 - Потужність, затрачувана на вигин дроту на барабанах

№ п/п	Діаметр дроту, мм, d	Середня межа плинності, МПа G _T	Момент опору перетину, мм ³ W _s	Швидкість шайб, м/с V _ш	Швидкість волочиння, м/с V _п	Потужність вигину, Вт P _{зГ}
0	8,500	75	104,4			
1	8,095	109	90,2	2,810	2,702	316
2	7,362	155	67,8	3,267	3,142	392
3	6,162	203	39,8	4,485	4,312	415
4	5,862	230	34,2	4,765	4,582	428
5	5,592	242	29,7	5,035	4,841	414
6	5,181	258	23,6	5,640	5,423	394
7	4,733	278	18,0	6,498	6,248	371
8	4,313	297	13,6	7,524	7,234	348
9	4,100	310	11,7	8,005	8,005	258

1.4 Розрахунок потужності холостого ходу та повної потужності

Потужність холостого ходу:

$$P_{ХХ} = (0,02...0,05)(P_{ВЛ} + P_{ТР} + P_{3Г}), \quad (2.16)$$

де $P_{ВЛ}$ – потужність необхідна на властиво волочиння, $P_{ВЛ}=70,66$ кВт;

$P_{ТР}$ – потужність необхідна на подолання сил тертя в тягових шайбах,
 $P_{ТР}=2,43$ кВт;

$P_{3Г}$ – потужність необхідна на вигин дроту, $P_{3Г}=3,3$ кВт.

$$P_{ХХ} = 0,02 \cdot (70,66 + 2,43 + 3,3) = 1,527 \text{ кВт.}$$

Повна потужність привода волочильної машини відповідно до формули (2.1) становить:

$$P_0 = \frac{70,66+2,43+3,3}{0,7} + 1,527 = 110 \text{ кВт.}$$

Таблиця 2.4 - Таблиця сумарних потужностей при волочінні

№ п/п	Потужність волочіння, Вт, P _{вл}	Потужність вигину, Вт, P _{зг}	Потужність тертя, Вт, P _{тр}	Потужність холостого ходу, Вт, P _{хх}	Сумарна потужність, Вт, P ₀
1	3217	316	124	73	5297
2	6695	392	258	147	10640
3	13490	415	519	288	20893
4	6093	428	234	135	9786
5	5987	414	230	133	9606
6	8243	394	317	179	12970
7	9535	371	367	205	14882
8	9989	348	384	214	15531
9	7412	258	0	153	11111
Σ	70661	3336	2433	1529	110015

2.2 Розрахунок вузла тягової шайби

В якості вихідних значень для розрахунку будемо використовувати сумарні значення потужностей при волочінні дроту з вихідної заготівлі діаметром 8,5 мм до дроту діаметра 4,1 мм (табл. 2.4).

Згідно таблиці максимальна потужність при волочінні, наведена до вала електродвигуна, спостерігається на тяговій шайбі №3, P₀=20893 кВт.

Відповідно до кінематичної схеми (рис.2.1) зробимо розрахунок початкових параметрів навантаження передачі (для 3 переходу при максимальному навантаженні).

Потужність на валу вала колеса (шайби) P_K , визначається як:

$$P_K = P_{ВЛ} + P_{ЗГ} + P_{ТР}, \quad (2.17)$$

где $P_{ВЛ}$ – потужність необхідна на саме волочіння, $P_{ВЛ}=13490$ Вт;

$P_{ЗГ}$ – потужність необхідна на вигин дроту, $P_{ЗГ}=415$ Вт;

$P_{ТР}$ – потужність необхідна на подолання сил тертя в тягових шайбах, $P_{ТР}=519$ Вт.

$$P_K = 13490 + 415 + 519 = 14424 \text{ Вт} \approx 14,4 \text{ кВт}.$$

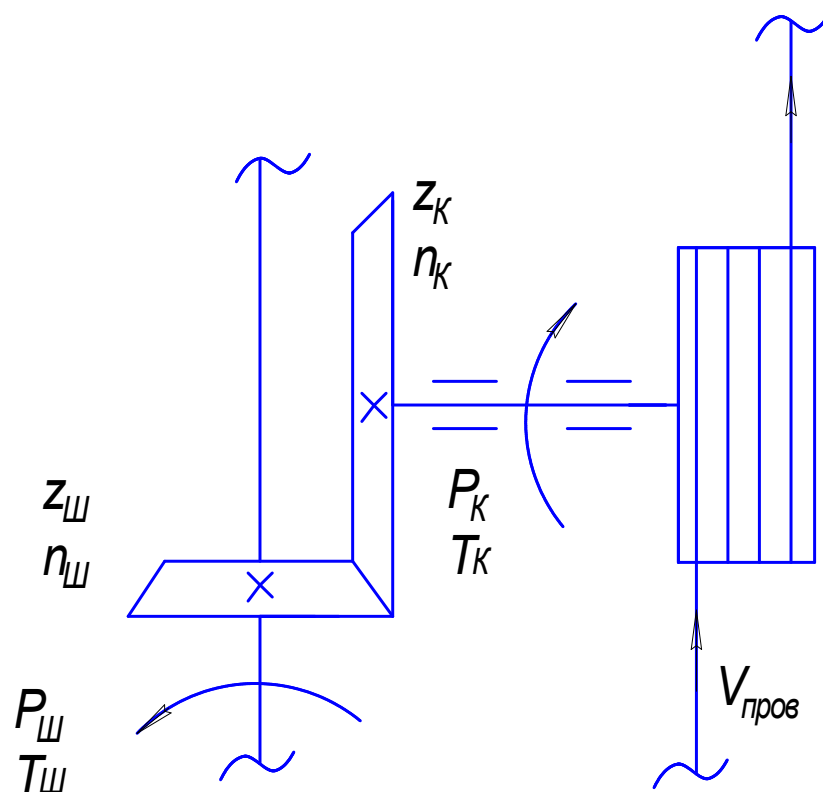


Рисунок 2.1 – Кінематична схема вузла конічної пари й тягової шайби

Число обертів колеса (шайби) виходячи зі швидкості обертання шайби №3:

$$n_K = n_{ШБ} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot V_{Ш}}{\pi \cdot d_{Ш}}, \quad (2.18)$$

где $V_{Ш}$ - швидкості обертання шайби №3, $V_{Ш}=4,485$ м/с;

$d_{Ш}$ – діаметр тягової шайби, $d_{Ш}=350$ мм.

$$n_K = n_{ШБ} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 4,485}{3,14 \cdot 350} = 244,8 \text{ хв}^{-1}.$$

Крутний момент на валу колеса, T_K :

$$T_K = \frac{9550 \cdot P_K}{n_K}, \quad (2.19)$$

где P_K - потужність на валу вала колеса (шайби), $P_K=14,4$ кВт;

n_K - число обертів колеса (шайби), $n_K=244,8$ хв⁻¹.

$$T_K = \frac{9550 \cdot 14,4}{244,8} = 562 \text{ Нм}.$$

Потужність на валу вала шестірні, $P_{Ш}$:

$$P_{Ш} = \frac{P_K}{\eta} = \frac{P_K}{\eta_{П} \cdot \eta_{ЗП}}, \quad (2.20).$$

где $\eta_{П}$ - ККД пари підшипників вузла тягової шайби, $\eta_{П}=0,99$;

$\eta_{ЗП}$ - ККД зубчастої конічний передачі вузла тягової шайби,
 $\eta_{ЗП}=0,99$;

$$P_{Ш} = \frac{14,4}{0,99 \cdot 0,99} = 14,7 \text{ кВт}.$$

Число зубів шестерні $Z_{III}=24$; колеса $Z_K=51$.

Передатне відношення зубчастої пари й число обертів шестерні:

$$U_{3II} = \frac{Z_K}{Z_{III}} = \frac{51}{24} = 2,125,$$

$$n_{III} = n_K \cdot U_{3II}, \quad (2.21)$$

$$n_{III} = 244,8 \cdot 2,125 = 520,2 \text{ хв}^{-1}.$$

Що відповідає паспортним даним на машину.

Крутний момент на валу шестерні, T_{III} :

$$T_{III} = \frac{9550 \cdot P_{III}}{n_{III}}, \quad (2.22)$$

где P_{III} - потужність на валу вала шестерні, $P_{III}=14,7$ кВт;

n_{III} - число обертів шестерні, $n_{III}=520,2 \text{ хв}^{-1}$;

$$T_{III} = \frac{9550 \cdot 14,7}{520,2} = 270 \text{ Нм}.$$

2.3 Розрахунок ортогональної конічної зубчастої передачі із круговими зубцями

Вихідні дані:

крутний момент на валу шестерні, Н·м	$T_2=270,$
крутний момент на валу колеса, Н·м	$T_3= 562,$
частота обертання вала шестерні, хв^{-1}	$n_2=520,2,$
число зубців	
шестерні	$z_1=24,$
колеса	$z_2=51,$

передаточне число	$u=2,125,$
термін служби привода, год	$L_h=10000,$
кратність пускового моменту електродвигуна	$\lambda =1,6.$

Таблиця 2.5 - Вибір матеріалів [1]

	Матеріал Сталь	МПа		Твердість HRC	Термообробка
		G_B	G_T		
Шестірня	40X	1600	1400	45...50	Об'ємне загартування
Колесо	40X	1000	800	45...50	Об'ємне загартування

Допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_H] = (\sigma_{H0}/S_H) \cdot K_{HL}, \quad (2.23)$$

де σ_{H0} – тривала межа контактної витривалості;

S_H - коефіцієнт безпеки;

K_{HL} – коефіцієнт довговічності.

для шестерні

$$\sigma_{H0} = 18HRC + 150 = 18 \cdot 50 + 150 = 1050 \text{ МПа [1]},$$

$$S_H = 1,1 [2], K_{HL} = 1 [2],$$

$$[\sigma_H]_1 = 1050/1,1 = 955 \text{ МПа},$$

для колеса

$$\sigma_{H0} = 18HRC + 150 = 18 \cdot 50 + 150 = 1050 \text{ МПа [1]},$$

$$S_H = 1,1 [2], K_{HL} = 1 [2],$$

$$[\sigma_H]_2 = 1050 \cdot 1/1,1 = 955 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруження вигину:

$$[\sigma_F] = (\sigma_{F0}/S_F) \cdot K_{FC} \cdot K_{FL}, \quad (2.24)$$

де σ_{F0} – тривала межа витривалості при вигині;

S_F – коефіцієнт безпеки;

K_{FC} – коефіцієнт впливу двобічного додатка навантаження;

K_{FL} – коефіцієнт довговічності:

для шестерні

$$\sigma_{F0} = 550 \text{ МПа [2]},$$

$$S_F = 1,75 \text{ [2]}, K_{FC} = 1 \text{ [1]}, K_{FL} = 1 \text{ [2]},$$

$$[\sigma_F]_1 = 550/1,75 = 314 \text{ МПа.}$$

для колеса

$$\sigma_{F0} = 550 \text{ МПа [2]},$$

$$S_F = 1,75 \text{ [2]}, K_{FC} = 1 \text{ [1]}, K_{FL} = 1 \text{ [2]},$$

$$[\sigma_F]_2 = 550/1,75 = 314 \text{ МПа.}$$

Модуль торцевий:

$$m_{tn} = 6,62 \text{ мм.}$$

Середні діаметри:

$$d_{m1} = m_{tn} z_1 = 6,62 \cdot 24 = 158,88 \text{ мм;}$$

$$d_{m2} = m_{tn} z_2 = 6,62 \cdot 51 = 337,62 \text{ мм.}$$

Модуль нормальний:

$$m'_{nm} = d'_{m1} \cos \beta_n / z_1, \quad (2.25)$$

де d'_{m1} – середній діаметр шестерні, $d'_{m1} = 158,88$ мм;

β_n – кут нахилу зубців, $\beta_n = 25^0$;

z_1 – число зубців шестерні, $z_1 = 24$;

$m'_{nm} = 158,88 \cos 25^0 / 24 = 6$ мм.

Приймаємо $m_{nm} = 6$ мм.

Фактичне передаточне число:

$U_\phi = z_2 / z_1 = 51 / 24 = 2,125$.

Кути ділительних конусів:

$\varphi_2 = \arctg u_\phi = \arctg 2,125 = 65^0$;

$\varphi_1 = 90^0 - \varphi_2 = 90^0 - 65^0 = 25^0$.

Швидкість у зачепленні:

$$V = \pi \cdot d_{m1} \cdot n_2 / (60 \cdot 10^3), \quad (2.26)$$

де d_{m1} – середній діаметр шестерні, $d_{m1} = 158,88$ мм;

n_2 - частота обертання вала шестерні, $n_2 = 520,2$ хв⁻¹;

$V = 3,14 \cdot 158,88 \cdot 520,2 / (60 \cdot 10^3) = 4,32$ м/с.

Сили в зачепленні:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_2}{d_{m1}} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 270}{158,88} = 3400 \text{ Н};$$

$$F_r = \frac{F_t \cdot (\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \phi_1 - \sin \beta_n \cdot \sin \varphi_1)}{\cos \beta_n}$$

$$= \frac{3400 \cdot (\operatorname{tg} 20^\circ \cdot \cos 25^\circ - \sin 25^\circ \cdot \sin 25^\circ)}{\cos 25^\circ} = 570 \text{ H};$$

$$F_a = \frac{F_t \cdot (\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \phi_1 + \sin \beta_n \cdot \cos \varphi_1)}{\cos \beta_n}$$

$$= \frac{3400 \cdot (\operatorname{tg} 20^\circ \cdot \sin 25^\circ + \sin 25^\circ \cdot \cos 25^\circ)}{\cos 25^\circ} = 2010 \text{ H};$$

де $\alpha = 20^\circ$ – кут зачеплення;

β_n – кут нахилу зубців, $\beta_n = 25^\circ$.

Коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\varepsilon_\alpha = [1,88 - 3,2(z_1^{-1} + z_2^{-1})] \cdot \cos \beta = [1,88 - 3,2(24^{-1} + 51^{-1})] \cdot \cos 25^\circ = 1,53.$$

Перевірочний розрахунок зубців на витривалість по контактних напругах

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV} \cdot K_{H\alpha}}{\nu_H \cdot d_{m1} \cdot b'}} \cdot \sqrt{\frac{U^2 \phi - 1}{U^2 \phi}} \leq [\sigma_H], \quad (2.27)$$

де Z_H – коефіцієнт, що враховує форму сполучення поверхонь зубців у полюсі зачеплення, $Z_H = 1,77 \cos \beta = 1,77 \cdot \cos 25^\circ = 1,6$;

Z_M – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів коліс, для сталевих коліс $Z_M = 275$;

Z_ε – коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній, $Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}} =$

$$\sqrt{\frac{1}{1,53}} = 0,8;$$

$K_{H\beta}$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження, $K_{H\beta} = 1,02$ [2];

v_H – емпіричний коефіцієнт несучої здатності,
 $v_H=1,22+0,22 \cdot u=1,22+0,22 \cdot 2,125=1,69$ [2];

K_{Hv} - коефіцієнт динамічного навантаження в зачепленні, при твердості зубців $HV > HRC_1 50$ і $HV > HRC_2 50$ $K_{Hv}=1,01$ [2];

$K_{H\alpha}$ - коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубами,
 $K_{H\alpha}=1,13$ [2];

b' - ширина зубчастого вінця, $b'=60$ мм;

$[\sigma]$ - допустима контактна напруга

$[\sigma]=0,5([\sigma]_1+[\sigma]_2)=0,5(955+955)=955$ МПа.

$$\sigma_H = 1,6 \cdot 275 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{3400 \cdot 1,02 \cdot 1,01 \cdot 1,13}{1,69 \cdot 158,88 \cdot 60}} \cdot \sqrt{\frac{2,125^2 - 1}{2,125^2}} = 164 \text{ МПа} < [\sigma_H] =$$

955 МПа.

Умова виконана.

Перевірочний розрахунок зубців на витривалість при вигині:

$$\sigma_{F1} = \frac{Y_{F1} \cdot F_t \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV}}{v_F \cdot b \cdot m_{nm}} \leq [\sigma_F], \quad (2.28)$$

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} (Y_{F2} / Y_{F1}) \leq [\sigma_F], \quad (2.29)$$

де Y_F - коефіцієнт, що враховує форму зуба, $Y_{F1}=3,8$, $Y_{F2}=3,7$ [2];

$K_{F\beta}$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження,
 $K_{F\beta}=1+1,5(K_{H\beta}-1)=1+1,5(1,02-1)=1,03$;

K_{FV} - коефіцієнт динамічного навантаження, при $HV > HRC_1 = 50$ і $HV > HRC_2 = 50$ $K_{FV}=1,03$;

v_F - коефіцієнт несучої здатності, $v_F=0,94+0,08u_2=0,94+0,08 \cdot 2,125=1,11$.

$$\sigma_{F1} = \frac{3,8 \cdot 3400 \cdot 1,03 \cdot 1,03}{1,11 \cdot 60 \cdot 6} = 34 \text{ МПа} < [\sigma_F]_1 = 314 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{F2} = 34(3,7/3,8) = 33 \text{ МПа} < [\sigma_F]_2 = 314 \text{ МПа}.$$

Умова виконана.

Коефіцієнти зсуву:

$$X_1 = 2 \cdot \left(1 - \frac{1}{u_\phi^2}\right) \sqrt{\cos^3 \beta_n / z_1} = 2 \cdot \left(1 - \frac{1}{2,125^2}\right) \sqrt{\cos^3 25^\circ / 24} = 0,186;$$

$$X_2 = -X_1 = -0,186.$$

Остаточні розміри шестерні та колеса, мм:

$$m_{te} = m_{nm} / ((1 - 0,5K_{bc}) \cos \beta_n) = 6 / ((1 - 0,5 \cdot 0,285) \cos 25^\circ) = 7,72;$$

$$h_{ae1} = m_{te} \cdot \cos \beta_n (1 + X_1) = 7,72 \cdot \cos 25^\circ (1 + 0,186) = 8,3;$$

$$R_e = 0,5 \cdot m_{te} (z_1 + z_2) = 0,5 \cdot 7,72 (24 + 51) = 289,5;$$

$$h_e = m_{te} (2 \cdot \cos \beta_n + 0,2) = 7,72 (2 \cdot \cos 25^\circ + 0,186) = 15,4;$$

$$h_{ae2} = 2 \cdot m_{te} \cdot \cos \beta_n - h_{ae1} = 2 \cdot 7,72 \cdot \cos 25^\circ - 8,3 = 5,5;$$

$$h_{fe1} = h_e - h_{ae1} = 15,4 - 8,3 = 7,1;$$

$$h_{fe2} = h_e - h_{ae2} = 15,4 - 5,5 = 9,9;$$

$$d_{e1} = m_{te} \cdot z_1 = 7,72 \cdot 24 = 185,28;$$

$$d_{e2} = m_{te} \cdot z_2 = 7,72 \cdot 51 = 393,72;$$

$$d_{ae1} = d_{e1} + 2 \cdot h_{ae1} \cdot \cos \varphi_1 = 185,28 + 2 \cdot 8,3 \cdot \cos 25^\circ = 200,3;$$

$$d_{ae2} = d_{e2} + 2 \cdot h_{ae2} \cdot \cos \varphi_2 = 393,72 + 2 \cdot 5,5 \cdot \cos 65^\circ = 398,4;$$

$$d_{fe1} = d_{e1} - 2 \cdot h_{fe1} \cdot \cos \varphi_1 = 185,28 - 2 \cdot 7,1 \cdot \cos 25^\circ = 172,4;$$

$$d_{fe2} = d_{e2} - 2 \cdot h_{fe2} \cdot \cos \varphi_2 = 393,72 - 2 \cdot 9,9 \cdot \cos 65^\circ = 385,4;$$

$$b = 60.$$

2.4 Перевірочний розрахунок шпонок на зминання й зріз

Приймаємо призматичні шпонки виконання В із плоскими торцями за ДСТ 8789-78.

Таблиця 2.6 - Параметри шпонкових з'єднань

Вал	Ділянка	Символ, мм	Крутний момент, Н·м	Розміри шпонки, мм		
				b×h×l	t ₁	t ₂
Вал тягової шайби №3	колесо	d=65	T ₃ =562	18x11x70	7	4,4
	шайба	d=65	T ₃ =562	18x11x70	7	4,4

Перевірка шпонки на зминання:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot T_3 \cdot 10^3}{d \cdot t_2 \cdot l_p} < [\sigma_{см}], \quad (2.30)$$

де T₃ – крутний момент на валу колеса (шайби), T₃=562 Нм;

d - діаметр ділянки вала під колесом, d=65 мм;

t₂ – глибина паза для втулки, t₂=4,4 мм;

l – робоча довжина шпонки, l=70 мм.

[σ_{см}] - допустиме напруження на зминання, [σ_{см}]=180 МПа [1].

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 562 \cdot 10^3}{65 \cdot 4,4 \cdot 70} = 56 \text{ МПа} < [\sigma_{см}] = 180 \text{ МПа}.$$

Перевірка шпонки на зріз:

$$\tau_{ср} = \frac{2 \cdot T \cdot 10^3}{d \cdot b \cdot l_p} \leq [\tau_{ср}], \quad (2.31)$$

де b – ширина шпонки, b=18 мм;

[τ_{ср}] - допустиме напруження на зріз, [τ_{ср}]=120 МПа [1].

$$\tau_{cp} = \frac{2 \cdot 562 \cdot 10^3}{65 \cdot 18 \cdot 70} = 14 \text{ МПа} < [\tau_{cp}] = 120 \text{ МПа}.$$

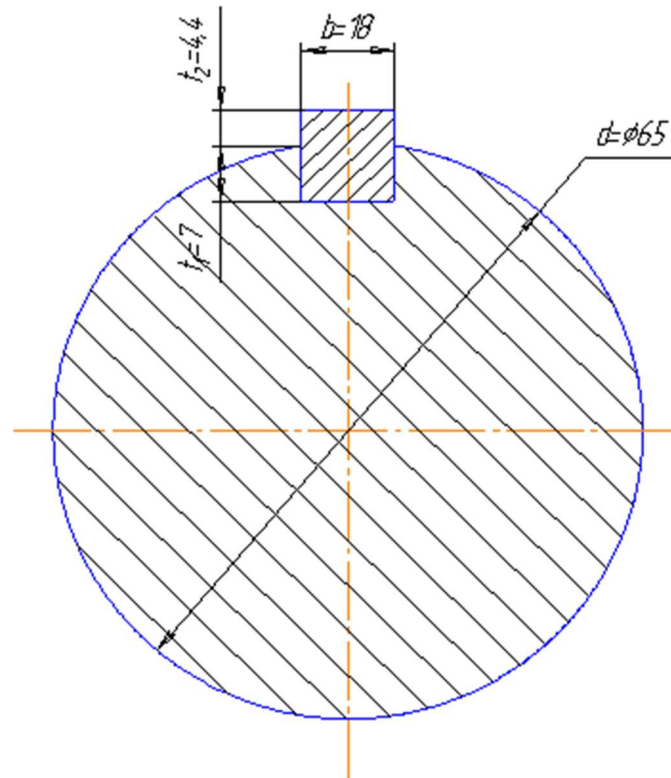


Рисунок 2.2 - Схема до розрахунку шпонки

Умови на зминання й зріз виконуються.

Так як геометричні розміри шпонкових з'єднань під колесом і шайбою збігаються, то додатково розраховувати шпонку під тяговою шайбою немає необхідності. Приймаємо, що умова на зминання й зріз виконується й для шпонки під тяговою шайбою.

2.5 Вибір посадки під маточину конічного колеса й тягової шайби

Вихідні дані:

крутний момент на валу колеса, Н·м

$T_3 = 562,$

діаметр вала

під колесом, мм	d=65,
під шайбою, мм	d=65,
діаметр (d ₂)	
колеса, мм	d _{m2} =337,62,
шайби, мм	d _ш =350,
довжина маточини	
під колесом, мм	l=80,
під шайбою, мм	l=60,
клас чистоти поверхні	8,
коефіцієнт тертя	f=0,08

Визначаємо тиск на посадковій поверхні q , що забезпечує передачу заданого крутного моменту:

$$q = \frac{2 \cdot T_3 \cdot k}{\pi \cdot d^2 \cdot l \cdot f}, \quad (4.32)$$

де T_3 - крутний момент на валу колеса, $T_3 = 562$ Н·м;
 d - діаметр вала, $d = 65$ мм;
 l - довжина маточини, $l = 80$ мм;
 k - коефіцієнт запасу зчеплення, $k = 1,5$.

$$q = \frac{2 \cdot 562 \cdot 1,5 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 65^2 \cdot 80 \cdot 0,08} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 20 \text{ МПа}.$$

Визначаємо розрахунковий натяг:

$$\delta_p = q \cdot d \cdot 10^3 \frac{C_1 + C_2}{E}, \quad (4.33)$$

де C_1 і C_2 – коефіцієнт Ляме для охоплюваної і охоплюваної деталі;
 E – модуль пружності матеріалу, для сталі $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм²;

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \nu_1 = \frac{65^2 + 0}{65^2 - 0} - 0,3 = 0,7;$$

$$C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \nu_2 = \frac{337,62^2 + 65^2}{337,62^2 - 65^2} + 0,3 = 1,37,$$

$\nu_1, \nu_2 \mu$ – коефіцієнт Пуассона для охоплюваної і охоплювачій деталей,
для сталі $\nu_1 = \nu_2 = 0,3$.

$$\delta_p = 20 \cdot 65 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,7 + 1,37}{2,1 \cdot 10^5} = 12,8 \text{ мкм.}$$

Визначаємо мінімальний вимірюваний натяг посадки:

$$\delta_p(R_{Z1} + R_{Z2})_{min}, \quad (4.34)$$

де R_{Z1}, R_{Z2} шорсткість поверхні, $R_{Z1} = R_{Z2} = 3,2$ мкм [1].

$$\delta(3,2 + 3,2)_{min}$$

Цьому найменшому натягу відповідає посадка $\varnothing 65 \frac{H7}{s6}$,

найменший натяг $\delta_{min} 29$ мкм;

найбільший натяг $\delta_{max} 78$ мкм.

Під тяговою шайбою розрахунок зробимо відповідно до вищевикладеної методики.

Визначаємо тиск на посадковій поверхні q , що забезпечує передачу заданого крутного моменту:

де T_3 - крутний момент на валу шайби, $T_3 = 562$ Н·м;

d - діаметр валу, $d = 65$ мм;

l - довжина маточини, $l = 60$ мм;

k - коефіцієнт запасу зчеплення, $k = 1,5$.

$$q = \frac{2 \cdot 562 \cdot 1,5 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 65^2 \cdot 60 \cdot 0,08} = 26 \frac{H}{мм^2} = 26 \text{ МПа.}$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \nu_1 = \frac{65^2 + 0}{65^2 - 0} - 0,3 = 0,7;$$

$$C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \nu_2 = \frac{350^2 + 65^2}{350^2 - 65^2} + 0,3 = 1,37,$$

$$\delta_p = 26 \cdot 65 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,7 + 1,37}{2,1 \cdot 10^5} = 16,6 \text{ мкм.}$$

$$\delta(3,2 + 3,2)_{min}$$

Цьому найменшому натягу відповідає посадка $\varnothing 65 \frac{H7}{s6}$,

найменший натяг $\delta_{min} 29$ мкм;

найбільший натяг $\delta_{max} 78$ мкм.

2.6 Перевірка валу на витривалість для небезпечного перерізу

Вихідні дані [1]:

матеріал валу сталь 45;

межа міцності, МПа $\sigma_B = 883$;

межа плинності, МПа $\sigma_T = 638$;

межа витривалості матеріалу при вигині із симетричним циклом зміни напруги, МПа

$$\sigma_{-1} = 432 ;$$

межа витривалості матеріалу при крутінні із симетричним циклом зміни напруги, МПа $\tau_{-1} = 255$.

Під колесом (тяговою шайбою)

Концентрація напружень викликана наявністю шпонкової канавки шириною $b = 18$ мм, $t_1 = 7$ мм; найбільший згинальний момент $M = 0$ Н·мм і крутний момент $T_3 = 562$ Нм = 562000 Н·мм, діаметр валу $d = 65$ мм.

Полярний момент опору перетину:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 (d - t_1)^2}{2d}, \quad (4.35)$$

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 65^3}{16} - \frac{18 \cdot 7(65-7)^2}{2 \cdot 65} = 50640 \text{ мм}^3.$$

Амплітудне й середнє напруження дорівнюють:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2 \frac{T_3}{W_p}}, \quad (4.36)$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2 \frac{T_M 562000}{W_p 50640}} \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт безпеки в перетині по крутінню:

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1} K_L}{K_\tau / (\beta \cdot \varepsilon_\tau) \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_m}, \quad (4.37)$$

де K_τ - ефективний коефіцієнт концентрації напруг при крутінні для вала в місці шпонкового паза, $K_\tau = 2,05$ [1];

K_L - коефіцієнт довговічності, $K_L = 1,05$;

β - коефіцієнт, що враховує зміцнення поверхні - накатка сталевим роликом, $\beta = 1,6$ [1];

$\varepsilon_\tau = 0,78$ - масштабний фактор при крутінні [1];

$\psi_\tau = 0,06$ [1];

$\tau_m = 0$ - при симетричному циклі зміни напруг крутіння.

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1} K_L}{K_\tau / (\beta \cdot \varepsilon_\tau) \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_m} = \frac{255 \cdot 1,05}{2,05 / (1,6 \cdot 0,78) \cdot 5,5 + 0,06 \cdot 0} = 29.$$

Загальний коефіцієнт безпеки по втомлюваній міцності для перетину:

$$s = s_\tau = 29 > [s] = 2,5.$$

Що відповідає рекомендаціям.

ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Опис дослідної установки

Випробування процесу волочіння з вібраційним навантаженням дроту проводилось на волочильній установці, схема якої зображена на рис. 3.1. Заготівка з бухти 1 протягується через передчистову волоку 2, яка служить для створення противонатягу, і чистову волоку 4. При русі дріт 6 тисне на вібратор 3, який і передає дроту коливання. Після виходу з чистової волоки 4 готовий профіль 7 намотується на тягнучий барабан 8. Ролик–вібратор діаметром 20мм і шириною 8мм має ексцентричний отвір. Характеристики використаних роликів–вібраторів приведені в табл.3.1.

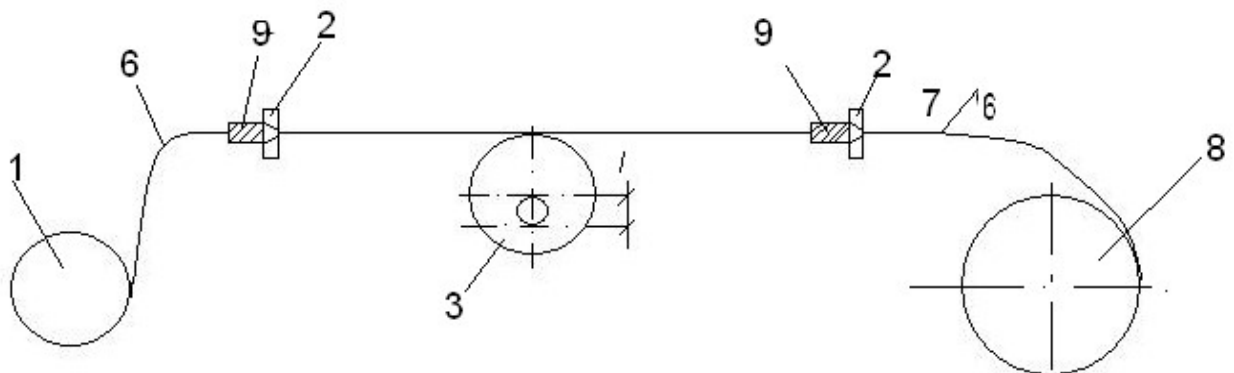


Рисунок 3.1 - Схема волочильної установки для дослідження процесу волочіння з вібронавантаженням протягнутого дроту.

Таблиця 3.1 - Характеристика роликів вібраторів

Номер ролика	Діаметр ролика $d, \text{мм}$	Величина ексцентриситету: $l, \text{мм}$	Частота вібрації, Гц	Амплітуда коливань
1	Без ексцентриситету			
2	20	0,3	53	0,3
3	20	0,6	53	0,6
4	20	1	53	1
5	25	0,6	42,4	0,6

В якості заготівки використовувався круглий в сталевий дріт діаметром d_0 , рівним 2,15мм. Волочіння проводили у волоках з твердого сплаву ВК8; в передчистовій волоці діаметром d_1 забезпечуючи обтиск металу з коефіцієнтом витяжки μ_1 , а в чистовій, діаметром d_2 , з коефіцієнтом витяжки μ_2 . Дріт протягували на волочильній установці із швидкістю 0,33м/с; як технологічну емульсію використовували мильний порошок. Силу волочіння вимірювали за допомогою тензOMETричних мездоз 9. Мездози 9 були протаровані на універсальній розривній машині УГ20/2.

Загальний вигляд цієї установки представлений на рис.3.2.





Рисунок 3.2 – Загальний вид волочильної установки

3.2 Дослідження впливу параметрів віброволочіння на енергосилові параметри процесу

Початкові дані і результати дослідження процесу волочіння з вібронавантаженням протягнуваного дроту зведені до таблиці 3. 2.

№ Досліду	l, мм	d ₀ , мм	d ₁ , мм	μ ₁	d ₂ , мм	P ₁ , Н	μ ₂	α ₂ , мм	P ₂ , мм	σ _B , Н/мм ²	σ _{B2} , Н/мм ²	P _Σ , Н	α ₃ , мм	P ₃ , Н
1	б/р	2,15	2,10	1,024	1,91	186,2	1,1	5,5	385,04	53,82	169,0	571	6	420
2	0,3	2,15	2,10	1,024	1,91	186,2	1,1	5,4	377,99	53,82	132,16	564	8,5	595
3	0,6	2,15	2,10	1,024	1,91	186,2	1,1	5	349,86	53,82	122,33	536	7,5	525
4	0,6	2,15	2,10	1,024	1,91	186,2	1,1	5	349,86	53,82	122,33	536	7,5	525
5	1	2,15	2,10	1,024	1,91	186,2	1,1	4,7	228,99	92,06	115,03	415	8	560
6	1	2,15	2,05	1,049	1,91	303,8	1,07	1	69,97	144,73	24,47	373,8	6,5	455
7	1	2,15	1,97	1,09	1,91	441	1,03	0,5	34,99	144,76	12,23	476	6	420
8	б/р	2,15	2,10	1,024	1,91	186,2	1,099	8,6	560,06	53,82	195,8	746,2	8,5	595
9	б/р	2,15	1,97	1,049	1,91	303,8	1,073	2,5	175,02	144,73	61,195	478,8	6	420
10	б/р	2,15	1,85	1,091	1,91	441	1,031	1,8	126,01	144,76	44,06	567	5,5	385,2
11	б/р	1,91	1,77	1,032	1,62	333,54	1,142	7	490,05	124,15	37,87	823,6	9,5	665,4
12	б/р	1,91	1,70	1,097	1,62	578,8	1,093	4,3	301,03	235,3	146,12	879,8	6,5	455
13	б/р	1,91	1,85	1,124	1,62	686,7	1,048	2,5	175,05	302,7	84,95	861,8	3,5	245
14	1	1,91	1,85	1,032	1,62	333,54	1,042	3	210,02	124,15	101,94	545,5	9,5	665,4
15	0,6	1,91	1,85	1,032	1,62	333,54	1,142	3,2	224,02	124,15	108,74	555,5	9,5	665,4
16	0,3	1,91	1,85	1,032	1,62	333,54	1,142	3,9	273,04	124,15	132,53	606,5	9,5	665,4

У першому ряду дослідів досліджувався впливи амплітуди коливань на процес волочіння і зусилля волочіння. В результаті цього дослідження було одержано залежність зусилля волочіння від амплітуди коливань (рис.3.3). В якості заготовки був використаний сталевий відпалений дріт з діаметрами: $d_0=2.15\text{мм}$, $d_1=2.10\text{мм}$ і $d_2=1.91\text{мм}$.

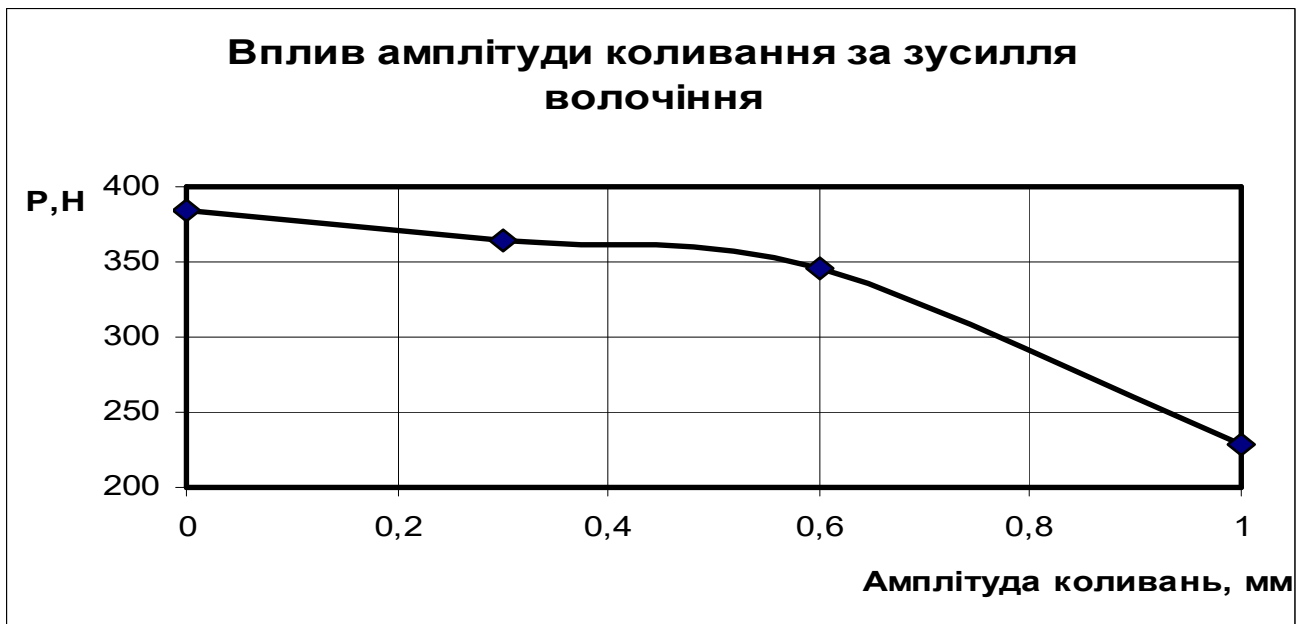


Рисунок 3. 3 - Вплив амплітуди коливання за зусилля волочіння

З аналізу отриманих результатів видно, що зі збільшенням амплітуди коливань зусилля волочіння зменшується.

У другій серії дослідів досліджували вплив протинатягу на процес волочіння з коливаннями. В результаті експерименту ми одержали оптимальну точку при якій зменшуються параметри волочіння (рис.3.4).

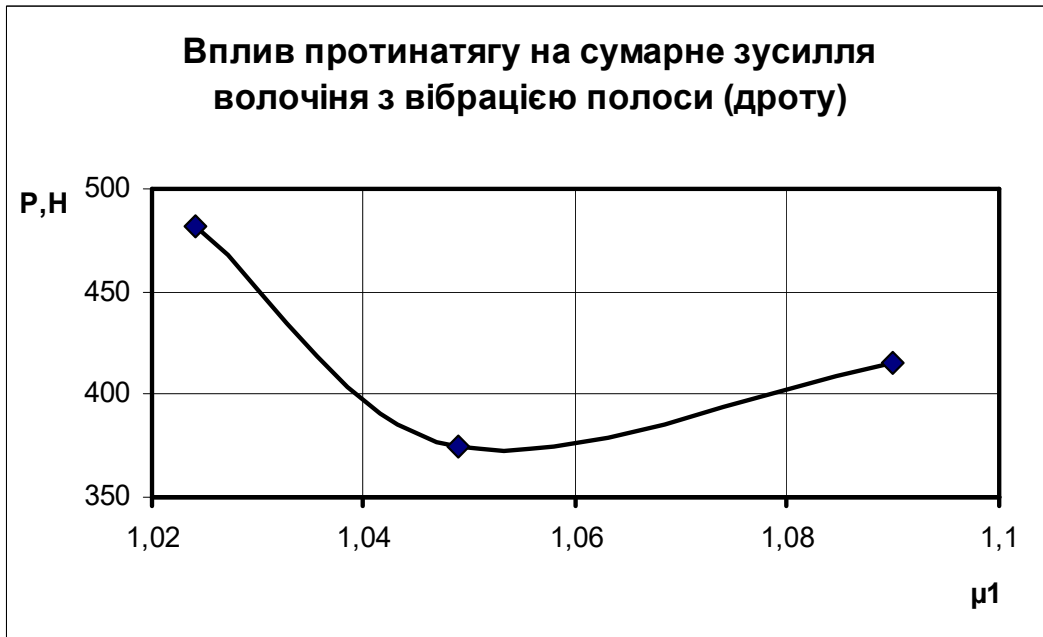


Рисунок 3. 4 - . Вплив протинатягу на сумарне зусилля волочіння з вібрацією полоси (дроту).

У третій серії дослідів досліджували так само вплив притинатягу на процес волочіння, але без впливу вібронавантаження дроту. Одержали залежність аналогічну залежності (рис.3.4), але з набагато більшими зусиллями волочіння. На залежності (рис.3.5) зіставили ці дві криві.

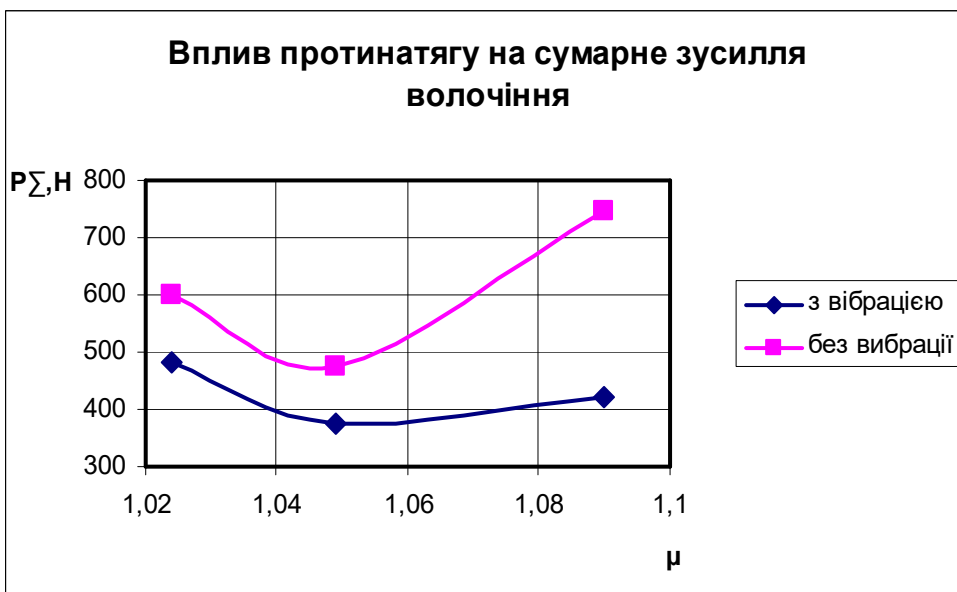


Рисунок 3.5 - Вплив протинатягу на сумарне зусилля волочіння

У четвертій серії дослідів досліджували вплив протинатягу на зусилля волочіння, при повторному волочінні дроту (рис.3.6).

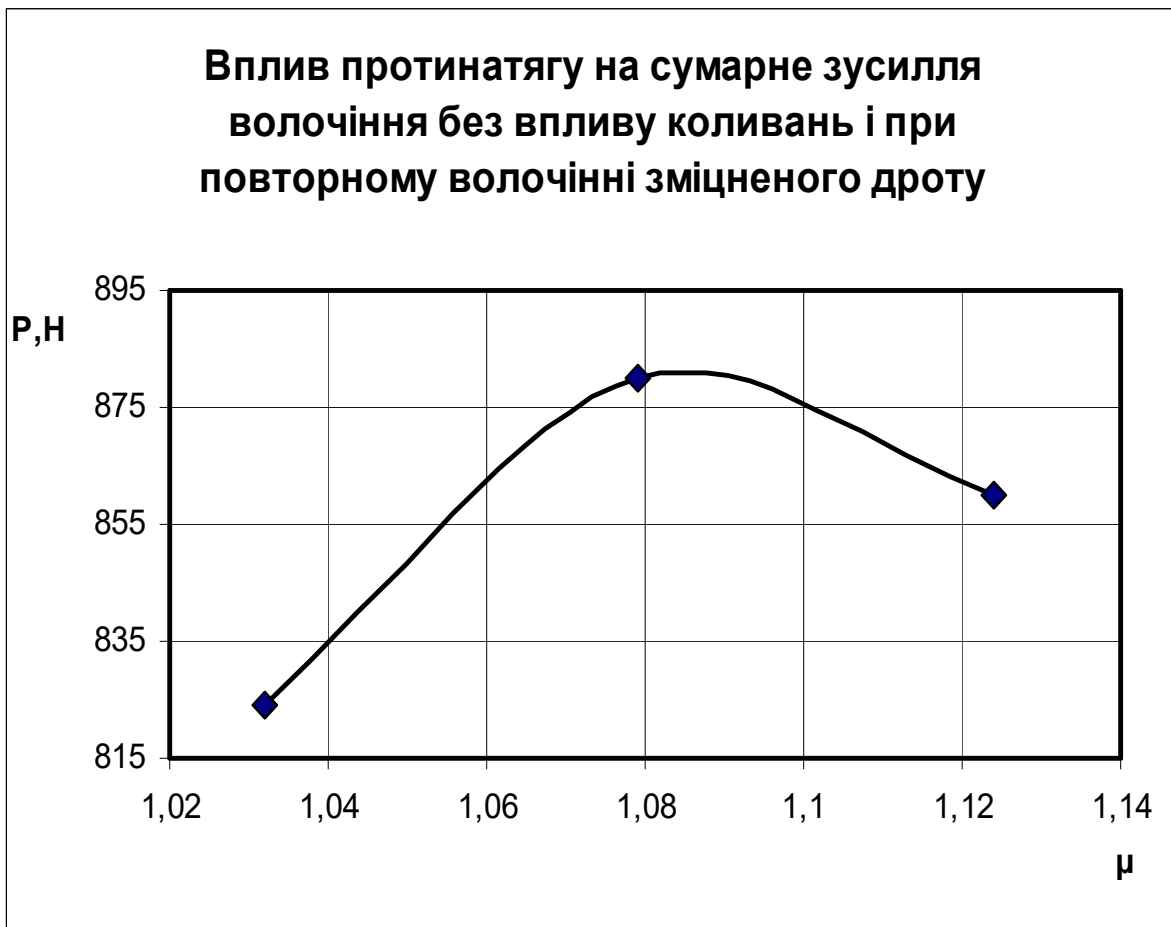


Рисунок 3.6 - Вплив протинатягу на сумарне зусилля волочіння без впливу коливань і при повторному волочінні зміцненого дроту

У п'ятій серії дослідів проводилося дослідження впливу амплітуди коливань на зусилля волочіння при повторному волочінні дроту. Вийшло, що амплітуда коливань сильно впливає на процес волочіння особливо при повторному волочінні дроту.

Зусилля волочіння на ролику з ексцентриситетом 1мм зменшується в 2,3 рази. Залежності зусилля волочіння від амплітуди представлені на рис.3. 7.



Рисунок 3. 7 - Вплив амплітуди коливань на зусилля волочиння, при повторному волочинні дроту.

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що у всіх дослідах сила волочиння знижується у міру збільшення амплітуди коливань і досягає мінімального значення при $l = 1$ мм. Зниження сили волочиння більш помітне при волочинні заготовки меншого діаметру при повторному волочинні. Найбільше зменшення сили волочиння в 2-3 рази досягнуте в досвіді при волочинні заготовки діаметром $1,91 \text{ мм}^2$ з $\mu = 1,142$.

Фізичний зміст зниження сили волочиння при використуванні ролика – вібратора пояснюється зниженням середнього протинатягу дроту. У разі обертання ролика з гранями або без ролика і руху проволікай кут нахилу і довжина відрізка дроту між чистовою волокою і вертикальною віссю ролика не змінюється. Внаслідок цього протинатяг дроту перед чистовою волокою постійно і визначається величиною обтискання в передчистовій волоці.

При використуванні ролика-вібратора протинатяг періодично змінюється, причому у момент збігу нижнього положення ролика-вібратора з його вертикальною віссю протинатяг дроту виявляється меншим, ніж без ролика,

і сила волочіння також зменшується. У момент збігу гребеня з вертикальною віссю ролика-вібратора збільшується відстань між волокою і точкою дотику дроту з роликом. Внаслідок цього протинатяг дроту збільшується, сприяючи підвищенню в даний момент підпираючих напружень у осередку деформації і сили волочіння.

Отже, при використуванні ролика-вібратора, середній протинатяг на довжині одного кроку грані буде дещо менше ніж протинатяг дроту без використування ролика. При цьому чим більше амплітуда коливань, тим більше зменшення притинатягу при переміщенні дроту з мінімального діаметру на максимальний і, отже, велике зниження сили волочіння.

Експерименти проведені на дослідженнях протинатягу показали, що вібрація помітно впливає на зниження сумарної сили волочіння. Але і розподіл обтиску між двома волоками, також істотно впливає на зниження сумарної (по двох волокам) сили волочіння. В даних дослідах був визначений оптимальний розподіл обтиску, тобто мінімуми на графіках залежності $P_{\Sigma}(d_1)$. Тобто розподіл обтиску на волоках також має велике значення в процесі волочіння.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Аналіз потенційних шкідливих факторів виробничого середовища

Виробництво дроту характеризується складністю й різноманітністю механічного устаткування, у зв'язку, з чим у виробничому процесі в основному мають місце небезпечні фізичні фактори та фізико-хімічні фактори.

Інструкція з охорони праці для робітників механослужби є документом, що встановлює вимоги безпеки при виконанні робітниками та службовцями покладених на них обов'язків, а також безпечного поведіння на робочих місцях і території цеху.

Розглянемо карту умов праці слюсаря-ремонтника дротового стана холодного волочіння (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці слюсаря-ремонтника дротового стана холодного волочіння

Фактори	Нормативне значення, ПДК, ПДУ	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов, і характер праці			Час дії фактора % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
1	3	4	5	6	7	8
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,012	1,2			94,6
2 клас безпеки						
Марганцю оксиди	0,3	0,39	1,3			94,6
Кислота сірчана	1,0	0,76				94,6
3-4 клас безпеки						
Масла мінеральні	5,0	9,2	4,2			94,6
II. Пил переважно фиброгенної дії, мг/м ³						
диоксид кремнію – (2 - 10%)	4,0	19,6		4,9		94,6

III. Шум, дБА	80	102			22	100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °С	16-27	36,2			9,2	94,6
- швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,5	0,36				94,6
- відносна вологість повітря, %	55	31				94,6
V. Робоча поза						
Змушені нахили корпусу більше 30 ⁰ (раз за зміну)	<100	135	135			
VI. Напруженість праці						
- тривалість зосередження, % до тривалості зміни	72	62,9				
- щільність сигналів у середньому за годину	<100	366	366			
Кількість факторів	-	-	5	1	2	-

Важкість праці – середня II,б.

Робочі місця мають у наявності: 5 факторів 1 ступеня, 1 фактор 2 ступені, 2 фактора 3 ступені. По показниках робоче місце варто вважати зі шкідливими й важкими умовами праці, що відповідає показникам списку №1 пункт 1.

Відповідно до списку №1: пенсійний вік по пільгових умовах, дається додаткова відпустка 14 днів, дається молоко й доплати згідно колективного договору.

Технічні рішення по виробничій санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робочих і обслуговуваних зонах приміщень метеорологічних умов і чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи її кількість у повітрі, все

устаткування закрите зонтами (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітряводів із пристроями для очищення повітря, що видаляється [39].

У прокатному виробництві має місце випар технологічного змащення. Для видалення цих пар за кліттю встановлюють витяжні зонти.

Також у прольоті ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і віддається через щілини вікон, дверей, воріт, ліхтарів.

Опалення побутових приміщень здійснюється за допомогою панелей (батарей) у яких як теплоносії використовують пару. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодопостачання. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оптимальні норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні при роботі середньої важкості

Період року	Параметри мікроклімату		
	$t, ^\circ\text{C}$	$W_{\text{пов}}, \text{ м/с}$	$\varphi, \%$
Холодний	17 – 19	0,3	60 – 40
Теплий	20 – 22	0,4	60 – 40

4.2.2 Освітлення виробничих приміщень

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності очей і може бути причиною їхніх захворювань і нещасних випадків [40].

На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого

освітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того або іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ) потужністю 800 Вт, та світильник – глибоковипромінювач.

Штучне освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими й неосвітленими місцями стомлює очі, сповільнює швидкість роботи й нерідко є причиною нещасних випадків.

Розряд зорової роботи: IV, середня точність, $E_H=200$ лк.

Освітленість повинна бути забезпечена не менш 75% максимуму, що досягається застосуванням комбінованого освітлення.

4.2.3 Виробничий шум, виробнича вібрація

Джерелами шуму на ділянці прокатки є: приводи ножиць, рольгангів, робочої кліті, кантувача; також шум виникає при ударах зливка об рольганг, робочі валки, упор ножиць.

Шум різної інтенсивності й частоти, довгостроково впливаючи на працюючих, приводить до зниження гостроти слуху, а згодом до розвитку професійної глухоти. Шум також негативно впливає на фізіологічні функції організму людини. Будучи зовнішнім подразником, що сприймається й аналізується корою головного мозку, шум приводить до перенапруги центральної нервової системи й розладу функцій внутрішніх органів і систем людини.

Для зменшення шуму в джерелі його утворення заміняють ударні взаємодії деталей ненаголошеними, зворотно–поступальні рухи – обертальними; демпфують коливання соударяючихся деталей і окремих вузлів агрегату шляхом зчленування їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою,

пробкою, бітумом, бітумними картонами, повстю, азбестом і ін.; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь.

Для ослаблення вібрацій всі агрегати, що створюють вібрації (робочі машини, двигуни, вентилятори й т.п.), установлюють на самостійних фундаментах, віброізолюваних від підлоги й інших конструкцій будівлі, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин або пружних матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітряводам і трубопроводах приєднання їх до вентиляторів і насосів виконується за допомогою гнучкої вставки із прогумованої тканини або гумового патрубка.

Як індивідуальний захист застосовуються навушники—малогабаритні для захисту від шуму з рівнем 110 дБА ДСН 3.3.6.037–99.

4.3.4 Виробничі випромінювання

Для поліпшення умов праці в гарячих цехах і захисту працюючих від теплового впливу застосовують наступні способи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджуємих екранів, рам, щитів, завіс і ін.; теплоізоляцію й охолодження робочих місць (постів керування, кабін машиністів кранів і ін.); природну й механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнутих просторів печей, що перебувають у ремонті; водорозпилення на робочих місцях і в приточних віконних прорізах; спецодяг і індивідуальні захисні пристосування – щитки, екрани, окуляри, світлофільтри; раціональну організацію режиму праці й відпочинку.

Ефективним засобом зниження шкідливого впливу теплових виділень є максимальне скорочення часу знаходження нагрітого металу й шлаків у виробничих приміщеннях.

При випромінюванні від відкритих джерел його інтенсивність не повинна перевищувати 140 Вт/м^2 при поразці не більше 25% поверхні тіла й обов'язковому використанні засобів індивідуального захисту, у тому числі засобів захисту особи й очей. Фактичне значення складає 1200 Вт/м^2

4.3 Аеродинамічний розрахунок вентиляції волочильного відділення

Завданням даного розрахунку є визначення втрат тиску в мережі.

Розрахункова схема вентиляції представлена на рисунку 4.1.

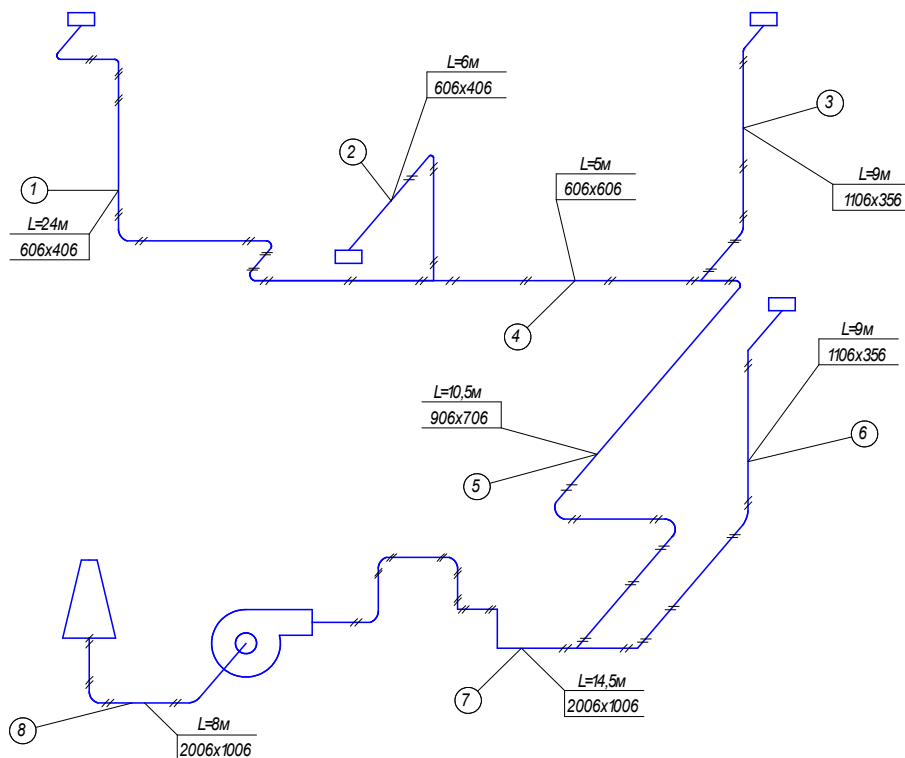


Рисунок 4.1 – Схема витяжної вентиляції.

Ділянка 1.

Довжина ділянки $L_1=24$ м

Швидкість руху повітря $v_1=5,5$ м/с

Визначаємо діаметр повітропроводу зі сторонами 606x406. Для повітропроводів прямокутного перетину зі сторонами a х b приймається

$$d = d_{\text{екв}} = \frac{2ab}{a+b}; \quad (4.1)$$

У такий спосіб з знаходимо

$$d_{\text{экв1}} = \frac{2 \cdot 606 \cdot 406}{606 + 406} = 486,24 \text{ мм}$$

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial 1} = \frac{v^2 \cdot \rho}{2}; \quad (4.2)$$

де ρ – щільність повітря, $\rho=1,293 \text{ кг/м}^3$.

$$P_{\partial 1} = \frac{5,5^2 \cdot 1,293}{2} = 19,56 \text{ Па}$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R1} = \frac{\lambda}{d} \cdot \zeta \rightarrow P_{\partial}; \quad (4.3)$$

де λ - безрозмірний коефіцієнт тертя, визначається по формулі:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{K_g}{d} + \frac{68}{R_e} \right)^{0,25}; \quad (4.4)$$

де K_g – абсолютна еквівалентна шорсткість, рівна середній величині виступів на внутрішній поверхні воздуховода, $K_g=0,15 \text{ мм}$;

R_e – число Рейнольдса визначається по формулі:

$$R = \frac{v \cdot d}{\nu}; \quad (4.5)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, $\nu=20,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

$$R = \frac{5,5 \cdot 0,486}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 1,3 \cdot 10^4$$

З (4.4) знаходимо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{486,24} + \frac{68}{13 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0187$$

З (4.3) визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R_1} = \frac{0,0187}{0,486} \cdot 19,56 = 0,75 \text{ Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{mp_1} = \Delta P_{R_1} \cdot l_1 = 0,75 \cdot 24 = 18 \text{ Па} \quad (4.6)$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{Z_1} = P_{\partial_1} \cdot \sum \zeta_1; \quad (4.7)$$

де $\sum \zeta$ - сума коефіцієнтів місцевого опору у фасонній частині повітропроводу на ділянці 1 $\sum \zeta = 1,86$.

Знаходимо

$$\Delta P_{Z_1} = 19,56 \cdot 1,86 = 36,38 \text{ Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{mp_1} + \Delta P_{Z_1} = 18 + 36,38 = 54,38 \text{ Па}$$

Ділянка 2.

Довжина ділянки $L_2=6$ м

Швидкість руху повітря $v_2=6,1$ м/с

Внутрішній діаметр витяжної вентиляції $d_{\text{ЕКВ } 2}=486,24$ мм

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial_2} = \frac{6,1^2 \cdot 1,293}{2} = 24,06 \text{ Па}$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R = \frac{6,1 \cdot 0,486}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 1,4 \cdot 10^4$$

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{486,24} + \frac{68}{14 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0185$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R_2} = \frac{0,0185}{0,486} \cdot 24,06 = 0,92 \text{ Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{mp_2} = 0,92 \cdot 6 = 5,52 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{Z_2} = 24,06 \cdot 0,42 = 10,11 \text{ Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_2 = 5,52 + 10,11 = 15,63 \text{ Па}$$

Ділянка 3.

Довжина ділянки $L_3=9$ м

Швидкість руху повітря $v_3=6,4$ м/с

Внутрішній діаметр витяжної вентиляції $d_{\text{ЕКВ } 3}=538,63$ мм

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial 3} = \frac{6,4^2 \cdot 1,293}{2} = 26,48 \text{ Па}$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R = \frac{6,4 \cdot 0,538}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 16,5 \cdot 10^4$$

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{538,63} + \frac{68}{16,5 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0178$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R_3} = \frac{0,0178}{0,538} \cdot 26,48 = 0,87 \text{ Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{mp_3} = 0,87 \cdot 9 = 7,83 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{z_3} = 26,48 \cdot 0,78 = 20,65 \text{ Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_3 = 7,83 + 20,65 = 28,48 \text{ Па.}$$

Ділянка 4.

Довжина ділянки $L_4=5$ м

Швидкість руху повітря $v_4=8,5$ м/с

Внутрішній діаметр витяжної вентиляції $d_{\text{ЕКВ } 4}=606$ мм

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial 4} = \frac{8,5^2 \cdot 1,293}{2} = 46,71 \text{ Па}$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R = \frac{8,5 \cdot 0,606}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 24,6 \cdot 10^4$$

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{606} + \frac{68}{24,6 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0166$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R_4} = \frac{0,0166}{0,606} \cdot 46,71 = 1,28 \text{ Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{mp_4} = 1,28 \cdot 5 = 6,4 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{Z_4} = 46,71 \cdot 4,02 = 187,77 \text{ Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_4 = 6,4 + 187,77 = 194,17 \text{ Па}.$$

Ділянка 5.

Довжина ділянки $L_5=10,5$ м

Швидкість руху повітря $v_5=9,2$ м/с

Внутрішній діаметр витяжної вентиляції $d_{\text{ЕКВ } 5}=793,59$ мм

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial 5} = \frac{9,2^2 \cdot 1,293}{2} = 54,72 \text{ Па}$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R = \frac{9,2 \cdot 0,793}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 34,9 \cdot 10^4$$

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{793,59} + \frac{68}{34,9 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0154$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R5} = \frac{0,0154}{0,793} \cdot 54,72 = 1,06 \text{ Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{mp5} = 1,06 \cdot 10,5 = 11,13 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{Z5} = 54,72 \cdot 0,84 = 45,96 \text{ Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_5 = 11,13 + 45,96 = 57,09 \text{ Па}.$$

Ділянка 6.

Довжина ділянки $L_6=9$ м

Швидкість руху повітря $v_6=9,8$ м/с

Внутрішній діаметр витяжної вентиляції $d_{\text{ЕКВ } 6}=538,62$ мм

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial 6} = \frac{9,8^2 \cdot 1,293}{2} = 62,09 \text{ Па}$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R = \frac{9,8 \cdot 0,538}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 25,2 \cdot 10^4$$

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{538,62} + \frac{68}{25,2 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0168$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R_6} = \frac{0,0168}{0,538} \cdot 62,09 = 1,94 \text{ Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{mp_6} = 1,94 \cdot 9 = 17,46 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{Z_6} = 62,09 \cdot 0,78 = 48,43 \text{ Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_6 = 17,46 + 48,43 = 65,89 \text{ Па}.$$

Ділянка 7.

Довжина ділянки $L_7=14,5$ м

Швидкість руху повітря $v_7=13,5$ м/с

Внутрішній діаметр витяжної вентиляції $d_{\text{ЕКВ } 7}=1342,22$ мм

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial 7} = \frac{13,5^2 \cdot 1,293}{2} = 117,83 \text{Па}$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R = \frac{13,5 \cdot 1,342}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 86,7 \cdot 10^4$$

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{1342,22} + \frac{68}{86,7 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0129$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R7} = \frac{0,0129}{1,342} \cdot 117,83 = 1,13 \text{Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{mp7} = 1,13 \cdot 14,5 = 16,38 \text{Па}$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{Z7} = 117,83 \cdot 5,52 = 650,42 \text{Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_7 = 16,38 + 650,42 = 666,8 \text{Па}$$

Ділянка 8.

Довжина ділянки $L_8=8$ м

Швидкість руху повітря $v_8=6,5$ м/с

Внутрішній діаметр витяжної вентиляції $d_{\text{ЕКВ } 8}=1342,22$ мм

Визначаємо динамічний тиск потоку

$$P_{\partial 8} = \frac{6,5^2 \cdot 1,293}{2} = 27,31 \text{ Па}$$

Визначаємо число Рейнольдса:

$$R = \frac{6,5 \cdot 1,342}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 41,7 \cdot 10^4$$

Визначаємо коефіцієнт тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,15}{1342,22} + \frac{68}{41,7 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,0142$$

Визначаємо питомі втрати тиску

$$\Delta P_{R8} = \frac{0,0142}{1,342} \cdot 27,31 = 0,29 \text{ Па/м};$$

Визначаємо втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{\text{тр } 8} = 0,29 \cdot 8 = 2,32 \text{ Па}$$

Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$\Delta P_{Z8} = 27,31 \cdot 0,72 = 19,66 \text{ Па}$$

Визначаємо загальні втрати тиску на ділянці витяжної вентиляції:

$$\Delta P_8 = 2,32 + 19,66 = 21,98 \text{Па}$$

Сумарні втрати тиску по всій довжині витяжної вентиляції:

$$H = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \dots + \Delta P_n$$

$$H = 54,38 + 15,63 + 28,48 + 194,17 + 57,09 + 65,89 + 666,8 + 27,98 = 1110,42 \text{ Па}$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. При розгляненні теоретичних аспектів проведення процесу волочіння виявлено, що сили тертя в осередку деформації значно впливають на процес волочіння, якість дроту та стійкість волок, тому саме заходи, спрямовані на зниження сил тертя в осередку деформації сприятимуть підвищенню стійкості волочильного інструменту і надійності волочильного обладнання в цілому.
2. Один із шляхів поліпшення триботехнічних умов протікання процесу волочіння є застосування вібрації.
3. В ході проведення експериментальних досліджень, встановлено, що сила волочіння знижується у міру збільшення амплітуди коливань і досягає мінімального значення при $l = 1\text{ мм}$. Зниження сили волочіння більш помітне при волочінні заготівки меншого діаметру при повторному волочінні. Найбільше зменшення сили волочіння в 2-3 рази досягнуте в досвіді при волочінні заготівки діаметром $1,91\text{ мм}$ з $\mu = 1,142$.
4. Вібрація помітно впливає на зниження сумарної сили волочіння, розподіл обтиску між двома волоками та на зниження сумарної (по двох волокам) сили волочіння. Визначений оптимальний розподіл обтиску, тобто мінімуми на графіках залежності $P_{\Sigma}(d_1)$.
5. Виявлено найбільш небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища на наведені рекомендацію по зменшенню їх впливу на персонал.
6. Результати роботи можуть бути використані не тільки на ПАТ «Запоріжсталь», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія процесів ОМТ. Частина II. Елементи теорії прокатного, трубного, ковальсько-штампувального та волочильного виробництв» освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 136 – «Металургія» спеціалізації – 136.3 «Обробка металів тиском» / Укл. О. П. Максименко. Кам'янське: ДДТУ, 2016. - 97 с
2. Розробка технології виробництва заготовок періодичного профілю вібраційним волочінням / О.О. Шаповал // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів машинобудуванні та металургії. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – №.35 (1257). – С. 84–89. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2519-2671
3. Lotous V.V. Excavator Bucket Teeth Strengthening Using a Plastic Explosive Deformation // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 4, pp. 363–368.
4. Kukhar V.V., Vasylevskiy O.V. Experimental research of distribution of strains and stresses in work-piece at different modes of stretchforging with rotation in combined dies // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – № 3. – pp. 71–78.
5. Ogorodnikov V.A., Savchinskij I.G., Nakhajchuk O.V. Stressedstrained state during forming the internal slot section by mandrel reduction // Tyazheloe Mashinostroenie – 2004. – № 12. – pp. 31– 33.
6. V. Sikulskiy, V. Kashcheyeva, Yu. Romanenkov, A. Shapoval Study of the process of shape-formation of ribbed double-curvature panels by local deforming // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 1 (88). – P. 43–49. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108190.
7. О. В. Грушко і Ю.О. Слободянюк, «Особливості формування показників якості обмідненого зварювального маловуглецевого дроту», Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, №47(1166), с. 25 – 28, 2015

8. Таратута К.В., Жук А.Я., Ніколаєв В.О. Інтенсифікація процесу волочіння за рахунок використання вібраційного навантаження дроту //Металлургическая и горнорудная промышленность.-2001.-№3.-С.18-21.
9. Пат. №42172А Україна, МКИ В21С1/14 . Спосіб волочіння дроту/ К.В. Таратута , А.Я. Жук, В.О. Ніколаєв (Україна). - №2000084702; Заявл. 07.08.2000; Опубл. 15.10.2001, Бюл. №9.-2с.
- 10.Пат. №42184А Україна, МКИ В21 С3/14. Пристрій для коливань дроту/ К.В. Таратута, А.Я. Жук, В.О. Ніколаєв (Україна). - №2000095366; Заявл. 19.09.2000; Опубл. 15.10.2001, Бюл. №9.-2с.
- 11.Пат. №37964А Україна, МКИ В21С3/14. Інструмент для волочіння дроту/ В.О. Ніколаєв, О.Г. Васильєв, К.В. Таратута (Україна). - №2000052659; Заявл. 11.05.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. №4.-3с.
- 12.Пат. 38756А Україна, МКИ В21С1/04. Спосіб волочіння дроту/ К.В. Таратута, А.Я. Жук, В.О. Ніколаєв (Україна). - №2000095365; Заявл. 19.09.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.-3с.
- 13.Пат. 39241А Україна, МКИ В21С3/14. Пристрій для колових коливань дроту/ К.В. Таратута, А.Я. Жук, В.О. Ніколаєв (Україна). - №2000084701; Заявл. 07.08.2000; Опубл. 15.06.2001, Бюл. № 5.-2с.
- 14.Пат. №43126А Україна, МКИ В21С3/14. Спосіб волочіння дроту/ В.О. Ніколаєв, К.В. Таратута, О.Г. Васильєв (Україна). - №2001031427; Заявл. 01.03.2001; Опубл. 15.11.2001, Бюл.№10.-3с.
- 15.Пат. №33831А Україна, МКИ В21 В27/02. Спосіб волочіння дроту/ В.О. Ніколаєв, К.В. Таратута, О.Г. Васильєв (Україна). - №99042123; Заявл. 15.04.1999; Опубл. 15.02.2001, Бюл. №1.-2с.
- 16.Пат. №35391А Україна, МКИ В21С3/14. Інструмент для волочіння дроту/ В.О. Ніколаєв, К.В. Таратута, О.Г. Васильєв (Україна). - №99105440; Заявл. 05.10.1999; Опубл. 15.03.2001, Бюл. №2.-2с.
- 17.Solovyova I.A. Development of multivariate technology, research and implementation of rational production modes of cold-deformed pipes: dis. ...

- cand. tech. Sciences: 05.16.05 / Soloveva Inna Anatolevna. - Dnepropetrovsk, 1987 .- 200 p.
18. Solovyova I.A. Designing of combined routes of production of colddeformed pipes / I.A. Solovieva, V.F. Balakin, Yu.M. Nykolayenko, K.S. Bilan // System technologies. - 2017. - № 4. - P. 56-62.
 19. Kucherenko V.R. Analysis of existing deformation modes during drawing and development of recommendations for their optimization: Research report / V.R. Kucherenko, E.V. Kondratiev, I.A. Solovyova. - Dnepropetrovsk: DMetI, 1976. - 91 p1.
 20. Sposob przerobki plastycznej pretow miedzianych: Пат. 143368 ПНР, МКИ С 22 F 1/08 / Grabianowski Andrzej, Danda Antoni, Ortner Balder; Polska Akademia Nauk, Instytut Podstaw Metallurgii. – № 242005; Заявл. 16.05.83; Опубл. 28.02.89.
 21. Кроль О.С. Тривимірне моделювання металорізальних верстатів та інструментального оснащення: навчальний посібник / О. С. Кроль, В. І. Соколов. – Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 160 с.
 22. Девін В. В. Моделювання напружено-деформованого стану стояка лемішного плуга з використанням методу скінчених елементів / В. В. Девін, В. С. Ткачук. // Збірник наукових праць подільського державного аграрно-технічного університету. – 2013. – №21. – С. 387–391.
 23. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>.
 24. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1-7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об'єктів%20будівни.pdf>.

- 25.Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: ЕльгаНіка–центр, 2003. – 280 с..
- 26.Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Форма т
1	Волочильна машина	2	A1
2	Привод волочильної машини	1	A1
3	Намотувальний апарат	1	A1
4	Вузол тягового ролика	1	A1
5	Результати досліджень	1	A1

ДОДАТКИ