

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 Вдосконалення конструкції механізму різання гарячекатаної  
штаби летючих ножиць

---

Виконав: магістрант групи 8.1332-1

Лисенко С.М.

(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 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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 кафедру А.О. Власов

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**Завдання**

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Лисенко Сергія Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Вдосконалення конструкції механізму різання гарячекатаної штаби летючих ножиць  
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 13 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи цеху гарячоїпрокатки тонкого листа
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз науково-технічних рішень підвищення надійності конструкції вузлів летючих ножиць; 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. Барабанні летючі ножиці – 2А1; 2. Диференційний редуктор – 2А1; 3. Станина ножиць с супортами – А1; 4. Головний привід ножиць 2 А1 5. Плакати дослідницької частини – 2А1;

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)

С.М. Лисенко

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Т.О. Васильченко

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Лисенко С.М. Вдосконалення конструкції механізму різання гарячекатаної штаби летючих ножиць.

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

В

р

о

б

о

Т

Ключові слова: КРИВОШИПНО-ВАЖЕЛЬНІ ЛЕТЮЧІ НОЖИЦІ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, МЕХАНІЗМ РІЗАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ

п

## ABSTRACT

р

Lusenko S.M. Improvement of the desing of the cutting mechanism of the ot-rolled staff of the fling scissors.

а

Qualifying final work for master's degree in specialty 133 - Sectoral engineering, scientific supervisor T.O.Vasylchenko. Zaporozhye National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2023

і

The main weaknesses of the design of flying scissors are analyzed in the work. Calculated basic parameters of scissors. Obtained by an experimental confirmation of the reliability of the calculations performed. The process of cutting the sheet metal with flying scissors in a hot state is investigated.

а

It is proposed to modernize the cutting mechanism by simplifying the design of the node for adjusting the position of the knife on the upper drum relative to the

о

diameter and width while simultaneously increasing the reliability of the knife attachment in the drum groove.

Keywords: CRYPRO-HIGH SPEED LESIONS, MODERNIZATION, MECHANISM OF CUTTING, MODELING

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 Огляд та аналіз науково-технічних рішень щодо підвищення надійності конструкції вузлів летючих ножиць	10
1.1 Область застосування барабанних летючих ножиць та їх місце в технологічному процесі	10
1.2 Огляд та аналіз існуючих конструкцій летючих ножиць	14
1.3 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень	19
1.4 Обґрунтування обраного напрямку роботи	27
2 Розрахунок основних параметрів ножиць	28
2.1 Енергодинамічні розрахунки	28
2.2 Перевірка зубчастого зачеплення на міцність	35
2.3 Розрахунок болтового з'єднання	40
2.4 Розрахунок барабана на міцність	40
3 Дослідження основних параметрів ножиць	49
3.1 Побудування моделі ножиць та дослідження їх параметрів та показників	49
3.1.1 Основи роботи в <u>ABAQUS Student Edition</u>	49
3.2 Порядок створення моделі та розрахунку	50
3.3 Врахування пружної деформації станини на результати моделювання	54
3.4 Розробка модернізованої конструкції кріплення ножа до барабану ножиць.	60
4 Охорона праці	66

4.1	Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища	66
4.1.1	Характеристика ступеню безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації	65
4.1.2	Заходи щодо захисту від виявлених небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища	69
4.2	Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії	70
4.2.1	Мікроклімат	71
4.2.2	Освітлення виробничих приміщень	71
4.2.3	Виробничий шум, виробнича вібрація	72
4.2.4	Пожежна безпека	73
4.2.5	Електробезпека	74
4.2.6	Виробничі випромінювання	76
	Загальні висновки і рекомендації	77
	Список використаних джерел	79
	Список використаних креслень	83
	Додатки	84

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Найбільш перспективним і актуальним шляхом зниження собівартості продукції є шлях модернізації, оскільки в даний час для металургійних підприємств, і для країни в цілому, гостро стоїть проблема в зменшенні часу простоїв обладнання.

Стан гарячої прокатки НШСГП-1680 в цеху гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ) був пущений в експлуатацію в травні 1938 року. З цього часу базові деталі робочих клітей і основних агрегатів стану не замінювали. За моральним та технічним станом обладнання знаходяться на незадовільному рівні.

Конструкція ножиць, які встановлені між чорною і чистою групою клітей стану не забезпечує якісного різку штаби товщиною більше 6 мм, ножиці не дозволяють регулювати швидкість в процесі різання для регулювання температури по довжині штаби.

Великий фізичний знос устаткування ножиць, що суттєво впливає на збільшення виробничих витрат, великий відсоток відсортуння металу за якістю різання, а також відносно невеликий діапазон розрізуваних товщин призводять до того, що питання, пов'язані з вдосконаленням конструкції і підвищення надійності ножиць є актуальними.

**Мета і задачі роботи.** Метою роботи є підвищення надійності конструкції летючих ножиць, зменшення відсортуння металу, що розрізається за якістю різання і розширення діапазону розрізуваних товщин за рахунок вдосконалення конструкції механізму різання.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

1. Провести аналіз стану питання, визначити основні проблеми, притаманні процесам повздовжнього та поперечного різання листових матеріалів на ножицях, а також визначити шляхи їх рішення; провести аналіз стану питання, визначити основні проблеми;
2. Розрахувати основні параметри ножиць.



3. Встановити закономірності впливу параметрів ріжучої машини на енергосилові показники процесу різання та якість листового металопрокату;
4. Розробити модернізовану конструкцію кріплення ножа до барабанів ножиць.

**Об'єкт дослідження** – барабанні летючі ножиці.

**Предмет дослідження** – процес різання листового прокату летючими ножицями в гарячому стані.

**Метод дослідження.** Руйнування матеріалу моделювали методом виключення елементів з розрахунку після вичерпання ресурсу пластичності відповідно до діаграми пластичності.

**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 84 сторінки, 11 рисунків, 3 таблиць, 30 найменувань використаних джерел, додатків.

# 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ВУЗЛІВ ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ

## 1.1 Область застосування барабанних летючих ножиць та їх місце в технологічному процесі

Летючі ножиці призначені для різки металу на ходу, тобто в процесі його переміщення зі значною швидкістю. В багатьох випадках працездатність летючих ножиць визначає продуктивність роботи прокатного стану в цілому.

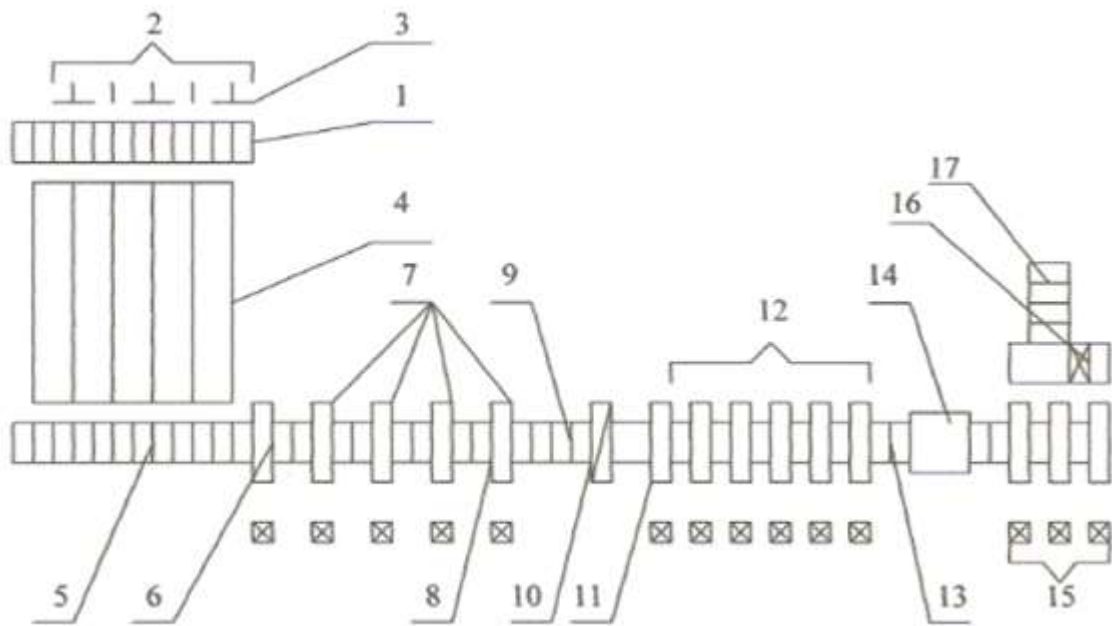
Типовим прикладом використання даного типу ножиць у виробництві є технологічна схема цеху прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь».

Обтискний цех і цех гарячої прокатки тонкого листа розташовані між собою в безпосередній близькості і пов'язані між собою конвеєром для транспортування гарячих слябів. Це сприяє застосуванню способу транзитної прокатки слябів, тобто відсутня необхідність в їх підігріві і гарячого посаду.

Так як на безперервному тонколистовому стані всі 10 робочих клітей розташовані одна за одною, прокатуваний метал рухається на стані суцільним потоком по одній лінії. Схема розташування обладнання стану НШСГП 1680 представлена на рисунку 1.1

Сляби транспортуються з обтискного цеху з температурою 1150 ° С, потрапляють на пічний рольганг стану і далі транспортуються до робочих клітей чорнової групи.

У чорновій групі стану розкат знаходиться одночасно лише в одній кліті, а в чистовій групі у всіх 6-ти клітях.



1 - верхній пічний рольганг; 2 - товкачі печей; 3 - товкач слябів 4 - методичні печі; 5 - нижній пічний рольганг; 6 - чорновий окалиноломач; 7 - кліті чорнової групи; 8 - вертикальні кліті (еджери); 9 – проміжний рольганг; 10 – ножиці; 11 - чистовий окалиноломач; 12 - чистові кліті; 13 - розкатний рольганг; 14 -душуючі пристрої; 15 – моталки; 16 – приймальний стіл; 17 -відвідний конвеєр

Рисунок 1.1 – Схема розташування неперервного тонколистового стану гарячої прокатки 1680.

Перше обтиснення відбувається в чорновому окалиноломачі з горизонтальними валками, максимальне обтиснення в цій кліті становить 5-20,% але не перевищує 35 мм. Після окалиноломача встановлена розширювальна кліть, в якій проводиться розбивка розкату - прокатка слябів уздовж їх ширини за один прохід. Надалі розкат обтискається в інших клітях чорнової групи. Так як інші чорнові кліті універсальні, то розкат знаходиться одночасно в горизонтальних і вертикальних валках.

Обтиснення в вертикальних валках універсальних клітей невелике до 25 мм. У цих клітях відбувається вирівнювання ширини розкату. При прокатці в

вертикальних валках велика частина обтисненого металу переходить в напливи біля бокової кромки розкату (на нижню і верхню поверхні розкату).

З подальшим обтисненням в горизонтальних валках метал напливів переходить в розширення і тільки частково йде в витяжку. Практично обтиск в вертикальних валках зменшують ширину розкатів на величину розширення. При стисненні в вертикальних валках поліпшується якість країв розкатів за рахунок їх деформації, а також поліпшує поверхню прикрайкових ділянок.

Для отримання продукції з поверхнею високої якості необхідно видалити окалину з гарячого металу при прокатці, щоб вона не вминалась в метал. З цією метою на виході з окалиноломача, а також перед першою чистовою кліттю встановлюють колектори з соплами (установка гідрозбиву окалини), через які на поверхню штаби, що проходить між ними, направляють плоскі струмені води високого тиску. Сила удару струменя повинна бути 8,7-19,6 Н, що відповідає тиску води в системі не менше 12-15 МПа. Струмені води направляють на поверхню проти руху штаби під кутом.

Передня і задня частина розкату після прокату в чорновій групі клітей, мають неправильну форму, меншу товщину і більш низьку температуру в порівнянні з основною його довжиною. Тому передню і задню частину необхідно обрізати. Перед чистовою групою клітей встановлені летючі ножиці барабанного типу

У процесі транспортування розкату по проміжному рольгангу на його поверхні утворюється шар вторинної окалини, яка зламується в чистовому окалиноломачі, встановленому перед чистовою групою клітей. Для руйнування вторинної окалини необхідно незначне обтиснення, яке може бути забезпечено притисненням верхнього валка окалиноломача пружиною.

Після окалиноломача штаба надходить до першої кліті чистової групи (кліть № 5) і далі - до всіх інших клітей.

На стані між останніми клітями встановлені петлетримачі. Вони служать для підтримування петлі і постійного заданого натягу між клітями.

Для охолодження штаби після її виходу з 10-ї кліті чистової групи і регулювання температури перед змотуванням в рулони на відповідному рольгангу,

між останньою кліткою і моталками, встановлені пристрої що подають воду на верхню і нижню поверхні штаби, при її русі по відповідному рольгангу.

Охолодження металу необхідно для поліпшення якості металу, та запобігання виникненню дефектів змотування штаби, так як температура кінця прокатки  $790^{\circ}\text{C}$ , а температура змотування  $650^{\circ}\text{C}$ . Після проходження через душуючі пристрої штаб змотується моталками в рулон і транспортується на стелажі де остигає до температури  $50^{\circ}\text{C}$  або перевозиться по підземному транспортеру в ЦХП-1

Для забезпечення якісного профілю проводиться обов'язкова перевалка робочих і опорних валків клітей стану, а прокатка проводиться строго по ширині, тобто після перевалки прокатуються спочатку широкі штаби, а потім ширина штаб поступово зменшується і прокочуються найбільш вузькі штаби.

Для отримання штаб з мінімальною поперечною різновтовщинністю робочі валки мають опукле профілювання. У міру вироблення опорних валків опуклість робочих валків збільшується.

До складу допоміжного обладнання входять: лівий і правий рольганг з шлепперним пристроєм; летючі ножиці з доданим обладнанням для порізки гарячекатаних штаб на листи, ножиці з нижнім різом; згортаючі машини №1, 2 і 3, душуюча установка; моталки №1, 2 і 3 з кантувачем рулонів, прийомними візками, приймачами рулонів, конвеєром і крокуючою балкою до них; моталки №4,5 і 6 з кантувачем рулонів до них; відповідного конвеєра; підйомно-поворотних столів; вагового рольганга з електронно-тензометричної системи зважування рулонів і приймального рольганга.

Летючі ножиці лівого і правого рольгангів призначені для різання штаб товщиною від 2 до 6 мм і шириною від 850 до 1500 мм на листи довжиною від 1500 до 6000 мм.

Ножиці з нижнім різом мають розміри ножа  $10 \times 1700$  мм. Межа міцності розрізаємого листа не більш  $65 \text{ кг} / \text{мм}^2$ . Товщина розрізається листа 10,2 мм; ширина розрізається листа 1520 мм; число різів за хвилину 12.

Стан обладнаний різною апаратурою і системами, що допомагають отримати штаби відповідно до вимог стандартів.

## 1.2 Огляд та аналіз існуючих конструкцій летючих ножиць

Найпростішою конструкцією летючих ножиць є барабанні, будова та принцип роботи яких полягає у наступному: на двох барабанах по їх твірній радіально закріплені ножі. Штаба рухається безперервно та подається до роликів, що подають. При зустрічі верхнього та нижнього ножів відбувається різання.

Дані ножиці відрізняється простотою конструкції та надійністю експлуатації, проте вони мають суттєвий недолік, що відіграє особливу роль при різанні товстої штаби. Зважаючи на те, що рух ножів відбувається по круговій траєкторії в момент різання вони зустрічаються зі штабою під деяким кутом, внаслідок чого виникають великі динамічні навантаження і площина різання не є вертикальною; з цієї ж причини установка одного ножа похило (як на гільйотинних ножицях) з метою зменшення динамічних зусиль при різанні зустрічає великі труднощі.

Для того щоб площина різання штаби була б можливо більш рівною і вертикальної (особливо при різанні товстих штаби) і можна було б при цьому застосувати гільйотинне різання (один ніж розташувати похило по відношенню до іншого), необхідно, щоб ножі в період різання зближувалися, залишаючись паралельними один одному, і становили кут  $90^\circ$  з рухомої штабою.

Цим вимогам задовольняють важільна-кривошипні летючі ножиці, ножі яких рухаються по складній еліпсоподібним траєкторії, а на ділянці різання ця траєкторія майже збігається з горизонтальним рухом штаби (ножі рухаються поступально, зближуючись по вертикалі).

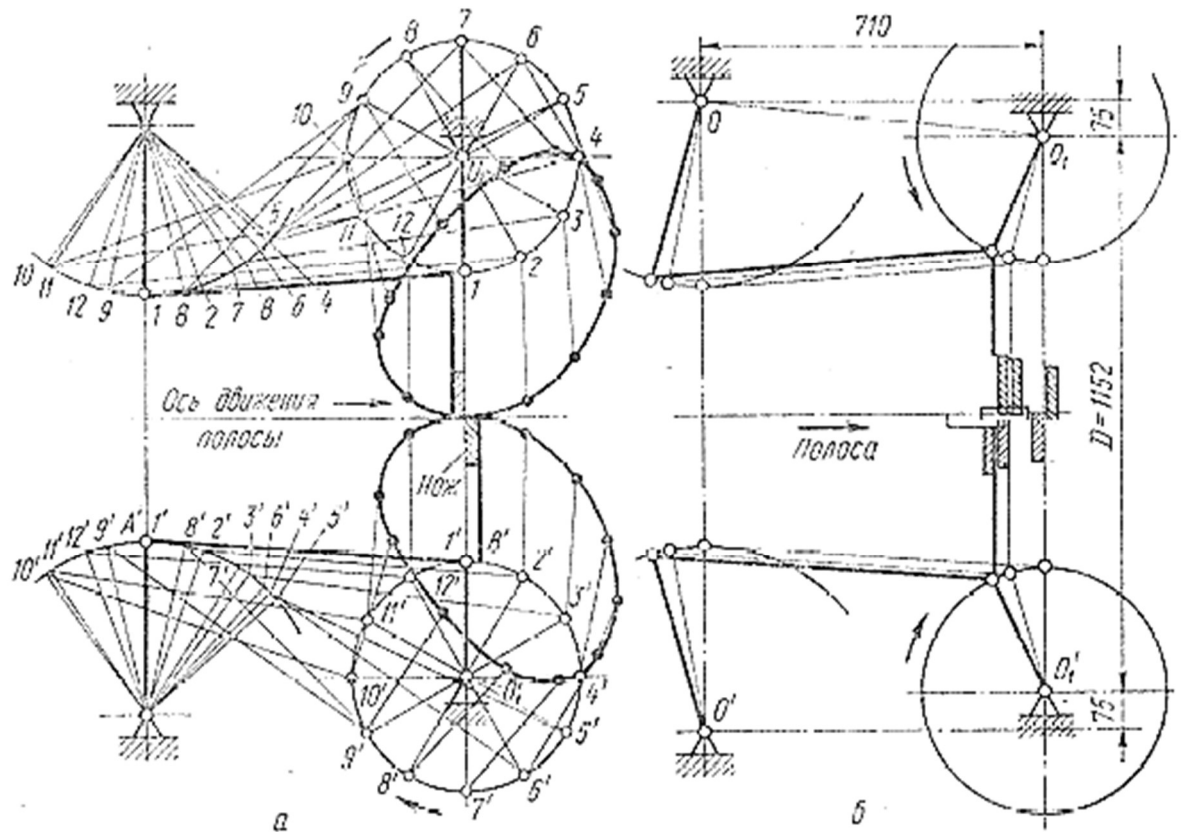


Рисунок 1.2 – Кривошипна-важільні летючі ножиці

На рисунку 1.2 наведено схеми ріжучого механізму важільна-кривошипних летючих ножиць. Жорсткі важелі ABC і A'UЗ' шарнірно з'єднані в точках А і А' з важелями (сережками) АТ і А'О', а в точках в і В' з кривошипами ВОх н У Ои центри яких В і В' обертаються по колах навколо центрів Ох і Оі.

При обертанні шарнірів В і В' по колах важелі АВ н А'В' будуть гойдатися вправо і вліво разом з сережками АТ і А'О' при цьому ножі, закріплені на коротких плечах жорстких важелів ABC н А'УЗ, будуть рухатися по складних траєкторіях у вигляді похилих витягнутих еліпсів; на ділянці різання ці траєкторії стають досить пологими (майже горизонтальними), тому ножі будуть рухатися майже горизонтально поступально, залишаючись паралельними один одному: завдяки цьому площа різання буде вертикальною, а з метою зменшення зусиль різання один з ножів (зазвичай верхній) можна встановлювати похило по відношенню до іншого. Бічний зазор між ножами можна регулювати зміною відстані між шарнірами А і Про; для цього шарнір Про встановлений на ексцентрикової осі.

Супорт з ножем встановлений на роликів підшипниках, розташованих на кінцях осі 2; остання ексцентрично закріплена на бічних втулках 5, спираються на роликів підшипники, встановлені в бічні стійки станини ножиць. Втулки 3 торцями з'єднані з бічними шестернями 4, що знаходяться в зачепленні з двома провідними бічними шестернями 5 ( $i = 3,94$ ) на валу б; останній приводиться від електродвигуна потужністю 630 кВт через редуктор ( $I = 2,54$ ) і видовжену зубчасту муфту.

Для усунення вигину штаби при різанні передбачений пружинний притиск.

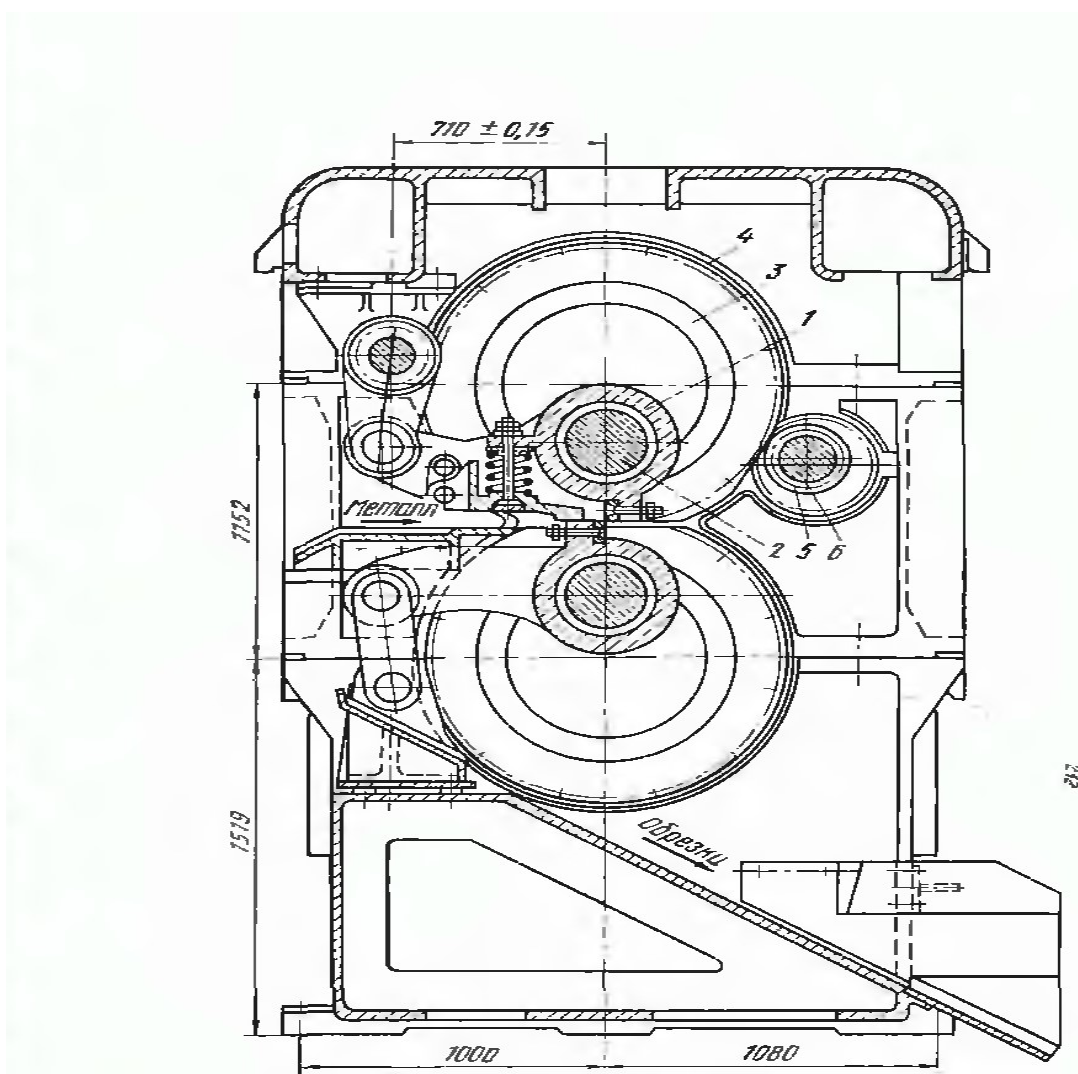


Рисунок 1.3 – Важільна-кривошипні летючі ножиці для різання гарячої штаби.

Ножиці призначені для обрізання на ходу переднього і заднього кінців у гарячої штаби (950-1000 °С) товщиною до 28 мм і шириною до 1550 мм і



встановлені перед чистовим окалиноломачем безперервної чистової групи широкоштабового стану 1700. Ножиці працюють з автоматичним пуском на кожний різ перед включенням двигуна ножі займають строго фіксоване положення, контрольоване сельсином. Швидкість руху штаби 0,62 м/с; довжина ножів 1700 мм, верхній ніж похилий (1 : 50); окружна швидкість піхов відповідає швидкості штаби; перекриття ножів 3-5 мм; точність різання+ 25 мм; обрізки довжиною 300-500 мм падають вниз і по жолобу направляються в короб, встановлений в колодязі фундаменту. Летючі ножиці 425 x 1700 призначені для обрізки переднього кінця штаби (розкату перед чистової групою. Застосовуються для того, щоб площина різання штаби була більш рівною і вертикальної, що необхідно при різанні товстих штаб, ножи в період різання зближуються паралельно один одному і складають з рухомої штабою кут, рівний 90°.

#### Характеристика ножиць

-тип.....	.....кривошипні
- переріз штаби, що розрізається, мм.....	.....(18÷25)x(600÷1500)
- температура штаби, не менш°C.....	.....900
-довжина ножів, мм.....	.....1700
- колова швидкість ножів, м/с.....	.....від 0,46 до 1,38
- перекриття ножів, мм.....	.....2.7
-уклон верхнього.....	.....1:140
- потужність двигуна, кВт.....	.....110
- число обертів двигуна, об/хв.....	.....500

Суттєвим недоліком розглянутих вище ножиць є велика інерційність механізму різання при нерівномірному русі ножів, тому такі ножиці застосовують для різання штаби при швидкості не більше 2 м/с.

Ножиці для різання тонкої штаби, подібні розглянутим вище, але мають спеціальний механізм пропуску різку, застосовують при тих же швидкостях для безперервного різання тонкого холодної штаби (товщиною 2,5—8 мм) на листи мірної довжини (при товщині менше 2,5 мм доцільно застосовувати більш прості барабанні летючі ножиці). Через інерційність рухається зворотно-поступального

механізму різання на цих ножицях не допускається робота з великим випередженням або відставанням ножів, як на барабанних ножицях. Для нормальної роботи цих ножиць необхідно дотримання умови, щоб на ділянці різання, швидкість ножів була тільки на 1-3 % більше швидкості руху штаби. Тому на ножицях для холодного різання застосовують ще один спеціальний механізм, призначений для вирівнювання швидкості ножів і штаби в момент різання.

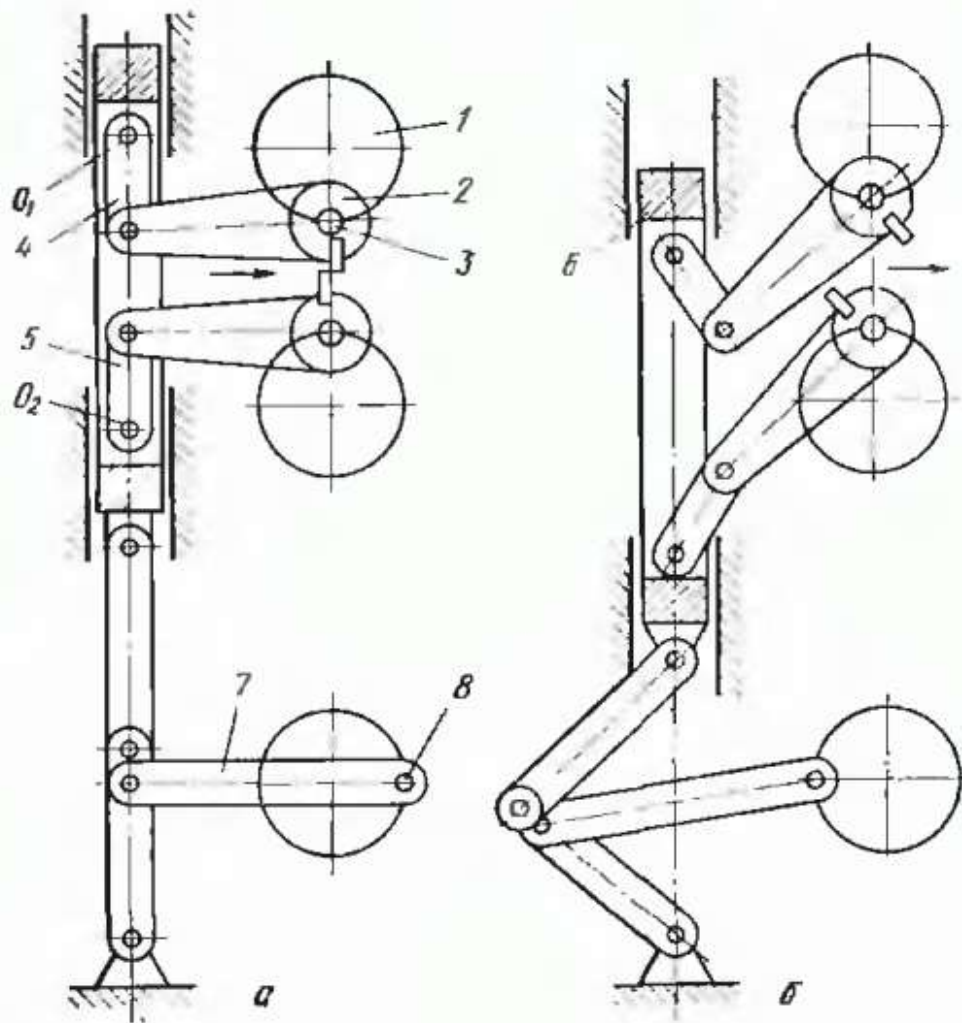


Рисунок 1.4 - Схема ріжучого механізму летючих важільна-кривошипних ножиць з ковзаючим кривошипом.

При безперервному обертанні бічних приводних барабанів 1 супорти 2, шарнірно з'єднані з кривошипами 3, будуть здійснювати плоске зворотно-поступальний рух; при цьому ножі будуть описувати еліпсоподібні траєкторії, що перетинаються в момент різання, тобто різання штаби буде відбуватися за

кожен оберт кривошипа 3, серезки 4 н 5 здійснюють коливальний рух відносно шарнірів  $O_1$  і  $O_2$ .

Ці шарніри розташовані в бокових вертикальних пустотілих штангах 6, які можуть переміщатися по напрямних вниз і вгору (так звані ковзні кривошипи) за допомогою шатунно-кривошипного механізму 7.

Якщо не потрібно різати штабу, бічні стойки 6 опускаються вниз; при цьому ножі розійдуться; верхній ніж разом зі своїм супортом відхилиться вправо, і нижній вліво; при безперервному обертанні приводних барабанів 1 ножі, як і раніше, будуть описувати еліптичні траєкторії, але вони не будуть перетинатися між собою на ділянці різання.

Якщо потрібно різати штабу не за кожен оборот барабанів 1, а через один оборот (різання листів «подвійної довжини»), то відповідно після кожного різання треба опускати в крайнє нижнє положення бічні стойки 6 н потім після одного обороту кривошипів 3 і пропуску одного різання піднімати їх вгору в початкове положення для того, щоб наступний різ стався наприкінці другого обороту кривошипів 3.

### 1.3 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень

Стан гарячої прокатки НШПС-1680 в цеху гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ) був пущений в експлуатацію в травні 1938 року. З цього часу базові деталі робочих клітей і основних агрегатів стану не замінювали. За моральним та технічним станом обладнання знаходяться на незадовільному рівні.

Основними недоліками роботи летючих ножиць є те, що конструкція ножиць застаріла і не забезпечує якісного різання штаби товщиною більше 6 мм. Ножиці не дозволяють регулювати швидкість в процесі різання для регулювання температури по довжині штаби. Великий фізичний знос устаткування ножиць суттєво впливає на збільшення виробничих витрат, великий відсоток

відсортування металу за якістю різання, а також відносно невеликий діапазон розрізуваних товщин.

Подальший літературний пошук буде спрямований на дослідження конструкторських рішень щодо поліпшення експлуатаційних характеристик ножиць і підвищення якості різу за рахунок збільшення терміну служби ножів.

В роботі [1] запропонована конструкція, яка на відміну від відомих ножиць дає можливість зменшити знос ножів. При різних діаметрах барабанів (і відповідно кіл різу, описуваних ріжучими крайками ножів) ніж, встановлений на барабані меншого діаметра (наприклад, на нижньому) робить більшу кількість оборотів в одиницю часу (це необхідно для рівності відстані, яку проходить кожним ножом між різами) і має велику кутову швидкість. Саме тому нижній ніж повинен при здійсненні різу бути попереду (по ходу, руху штаби) верхнього ножа. Технічною задачею винаходу є продовження терміну служби ріжучого інструменту і зниження виробничих витрат при різанні штабової сталі на мірні довжини.

Сутність заявленого технічного рішення полягає в оптимізації положення ножів відносно один одного в момент скоєння різу і в завданні довжини кола різу верхнього ножа по його довшою межі, а також в можливості збільшення кута нахилу ріжучої кромки верхнього ножа. Виконання приводним з меншим діаметром нижнього барабана ножиць запобігає, як показали дослідження, загин у переднього кінця листа вниз, тобто усуває його застрягання між роликками відвідного рольганга ножиць.

Недоліком цієї конструкції є незахищеність тіла нижнього барабана від впливу теплової і променевої енергій гарячого прокату з температурою понад 1000 С, а також від можливого механічного впливу прокату зменшених товщин за рахунок провисання його між крайніми роликками вхідного і вихідного рольгангів, що викликає в тілі нижнього барабана появу термічних тріщин і вихід його з ладу.

Натомість, в роботі [2] запропоноване інше рішення для підвищення терміну служби нижнього барабана летючих ножиць.

Барабанні летючі ножиці складаються з верхнього барабана 1 і нижнього барабана 2, в яких встановлені прямі ножі 3 для обрізки заднього кінця прокату 4 і шевронні ножі 5 для обрізки переднього кінця прокату 4, лінії різку яких розташовані на осі барабанів. На зовнішній поверхні нижнього барабана 2 виконаний паз 6 з нижньою поверхнею 7, паралельною осі барабана. У пазу 6 жорстко закріплена пластина 8, у верхній і нижній поверхнях пластини 8 виконані порожнини 9 і 10, розташовані одна проти іншої. У верхній порожнині 9 пластини 8 жорстко закріплена вставка 11, виготовлена з термообробленої сталі. У нижній порожнині 10 пластини 8 посередині торцевих боковин виконані щілини 12, в яких встановлені сопла 13, службовці для підведення охолоджуючої води в порожнину 10. При цьому висота щілин 12 повинна бути меншою зазору, що утворюється між пластиною 8 і поверхнею паза нижнього барабана 7.

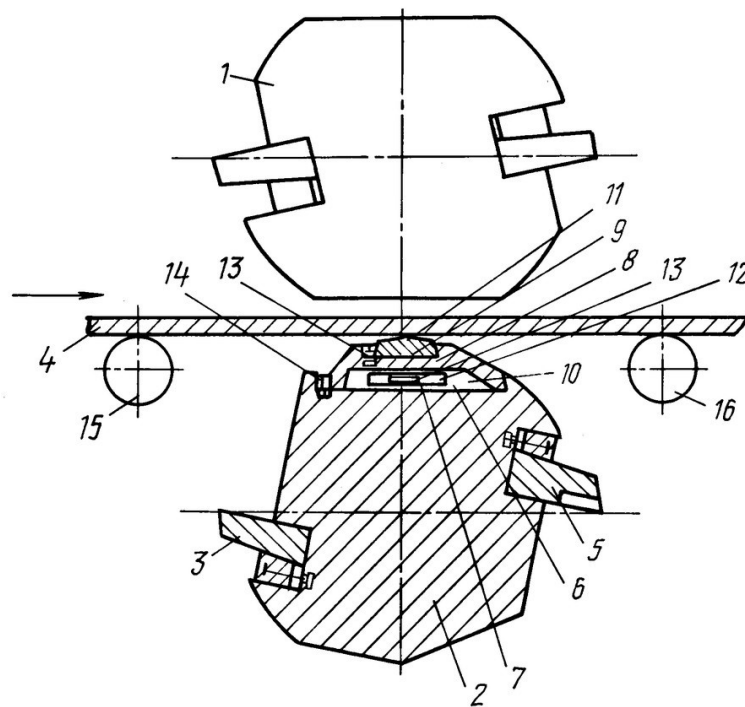


Рисунок 1.5 - Поперечний розріз барабанних летючих ножиць.

Кріплення пластини 8 до тіла нижнього барабана 2 і вставки 11 до пластині 8 можуть бути виконані у вигляді "хвоста" з одного боку і з іншого боку клинами 13 і 14.

Барабанні летючі ножиці працюють таким чином. Після обрізки переднього кінця гарячого прокату 4 шевронними ножами 5 верхній і нижній барабани летючих ножиць зупиняються в положенні очікування перед порізкою заднього кінця прокату 4. В інтервалі між різаними прокат вільно рухається між верхнім 1 і нижнім 2 барабанами летючих ножиць. При різанні щодо тонкого листового прокату можливо його провисання між роликками 15 вхідного рольганга і роликком 16 вихідного рольганга з оперттям і тертям по вставці 11, встановленої в пластині 8 нижнього барабана 2. У цьому положенні барабанів ножиць через сопла 13, розташовані з двох сторін порожнини 10, виконаної в пластині 8, через щілини 12 подається охолоджуюча вода в порожнину 10. При зміні положення нижнього барабана 2 при різанні заднього кінця прокату в порожнині 10 завжди залишається деякий обсяг води, що сприяє охолодженню пластини 8, в результаті якого зменшується процес теплового, променистого і механічного впливу рухомого прокату на тіло нижнього барабана 2 летючих ножиць.

Таким чином запропонована конструкція барабанних летючих ножиць дозволяє збільшити термін служби нижнього барабана за рахунок зменшення термічних тріщин в його тілі, а внаслідок цього зменшаться і витрати на ремонт, збільшиться міжремонтний час і в цілому збільшиться продуктивність станів гарячої прокатки.

В роботі [3] розглядається спосіб управління швидкісним режимом барабанних летючих ножиць при різі кінцевих ділянок розкату широкоштабового стану гарячої прокатки, в якому завдання на колову швидкість барабанів ножів синхронізовано зі швидкістю проміжного рольганга при різі переднього кінця розкату і зі швидкістю окалиноломача при різі заднього кінця.

В запропонованому способу управління швидкісним режимом барабанних летючих ножиць при різі кінцевих ділянок розкату широкоштабового стану гарячої прокатки вирішується завдання зниження поздовжніх зусиль летючих ножиць і суміжного з ними обладнання, що виникають в процесі різі через відмінності швидкостей гуркоти і ножиць. Дане завдання вирішується шляхом визначення швидкості ножа на початку різі, як напівсуми швидкостей ножа в

першій точці контакту двох ножів з гуркотом (початок різну) і останній точці контакту ножів один з одним на ділянці ширини розкату (кінець різну), причому розрахунок виробляють з умови рівності швидкості гуркоту і горизонтальних складових окружних швидкостей ножа в початковій і кінцевій точках різну в залежності від товщини і ширини розкату.

В роботі [4] також пропонується спосіб управління процесом різання. Зазвичай коефіцієнт синхронізації постійний і дорівнює 1.03, тобто можна вважати, що колова швидкість ножиць завжди, незалежно від типорозміру, на 3% вище швидкості гуркоту. Недоліком цього способу є наявність при різні поздовжніх динамічних зусиль. Ці поздовжні зусилля, наприклад на широкоштабовому стану 2000, досягають значних величин (до 100 т) і призводять до поломки обладнання, будівельних фундаментів самих летючих ножиць і суміжного з ними чистового окалиноломача. Поява подовжніх зусиль викликана нерівністю в процесі різну горизонтальної складової швидкості ножів зі швидкістю гуркоту. При цьому, у зв'язку зі зміною в процесі різну гуркоту кута положення ножа, горизонтальна складова швидкості ножа в залежності від товщини і ширини розкату змінюється на величину понад 10% від моменту початку різну (перший контакт гуркоту з двома ножами) до моменту закінчення різну (останній контакт ножів один з одним на ділянці ширини розкату), рівність зі швидкістю гуркоту порушується і з'являються поздовжні по відношенню до гуркоту зусилля, що впливають на летючі ножиці і суміжне з ними обладнання.

Відомі летючі ножиці кривошипного типу для різання гнутих профілів з механізмом вирівнювання швидкостей ножів [5]. У цьому пристрої, впливаючи на кути повороту кривошипних валів, в залежності від товщини металу, що розрізає профілю, на початку різну вирівнюють швидкість профілю та горизонтальну складову швидкості ножів. Недоліком способу, чинного в цьому пристрої, є неможливість його реалізації на летючих ножицях барабанного типу, що застосовуються перед чистовими клітями широкоштабових станів гарячої прокатки. Крім того, так як зазвичай дані барабанні ножиці мають шевронні ножі для різання переднього кінця розкату і похилий ніж для різання заднього кінця, розрахунок кута різну тільки в залежності від товщини розкату для синхронізації

швидкостей без урахування ширини буде приводити до невисокої точності рівності швидкостей гуркоту і ножів (похибка понад 10%), що викличе появу поздовжніх динамічних зусиль на летючі ножиці і суміжне з ними обладнання.

В роботі [6] розглядається спосіб управління швидкісним режимом установки летючих барабанних ножиць, в комплект яких входять ролики, що подають, і власне барабанні ножиці, при цьому кожний з пристроїв має індивідуальний електропривід, пов'язаний один з одним електричною системою управління для здійснення мірного різання штаби.

Для ножиць мірного різання довжина відрізаних листів є функцією числа обертів роликів і барабанів ножиць або, іншими словами, залежить від швидкості руху штаби в ножицях і проміжків часу між послідовними різаними.

У описуваній установці барабанних летючих ножиць зміна довжини відрізуваних листів досягається зміною середньої швидкості руху штаби при збереженні швидкості обертання барабанів постійної між послідовними різаними. Для збереження рівності швидкості штаби і швидкості ножів в процесі різання (одна з умов забезпечення точності довжини відрізуваних листів) ролики, що подають, отримують від приводу змінну кутову швидкість, значення якої при різанні відповідає умові синхронізації.

Недоліком даного способу управління швидкісним режимом установки летючих барабанних ножиць є нестабільний рух штаби при різких розгонах або гальмуванні.

Також відомий спосіб управління швидкісним режимом установки летючих барабанних ножиць [7]. В установці барабанних летючих ножиць по прототипу зміна довжини відрізуваних листів досягається зміною середньої швидкості обертання барабанів між послідовними різаними при збереженні швидкості руху штаби постійною.

Для збереження рівності швидкості штаби і швидкості ножів в процесі різання барабани отримують від приводу змінну кутову швидкість, значення якої при різанні вибирається з умов синхронізації.

У порівнянні з попереднім, спосіб, розглянутий в роботі [8] дозволяє зберегти швидкість руху штаби стабільною, уникнути її натирань і складань,



підняти точність довжини листів. Однак великі динамічні навантаження на привід ножиць від нерівномірно обертових барабанів при різі листів, довжина яких відрізняється від основної (основна довжина листа - це довжина, що дорівнює довжині кола, по якій обертається ріжуча кромка ножа), ведуть до необхідності різко знижувати швидкість ножиць і штаби в залежно від ступеня відхилення довжини листа від основою.

При цьому в даному способі управління швидкісним режимом максимальну швидкість ножиць при різних довжинах листів розраховують виходячи з конструктивних параметрів ножиць, в тому числі з конструктивно заданої кількості ножів на кожному барабані, що не змінюваного при різанні всього діапазону довжин листів.

В описуваному прикладі основна довжина листів складає 724 мм і на кожному з барабанів встановлено по одному ножа. Різка основної довжини здійснюється на швидкості 6,4 м/с. При різанні довжини 522 мм швидкість штаби знижується до 2,3 м/с, тобто продуктивність ножиць знижується майже в 3 рази.

В основу винаходу [8] поставлена задача підвищення продуктивності ножиць при одночасно високій якості поверхні штаби. Це завдання вирішується за рахунок технічного результату, який полягає в підвищенні швидкості різання ножиць при різі штаби на листи в широкому діапазоні їх довжин.

В результаті порівняльного аналізу запропонованого способу з прототипом встановлено, що вони мають такі загальні ознаки:

- штабі задають постійну швидкість переміщення від транспортуємого пристрою;
- барабанам ножиць задають змінну кутову швидкість;
- середнє значення кутової швидкості залежить від довжини відрізаємого листа;
- барабанам в процесі різі задають швидкість з умови синхронізації лінійних швидкостей ножів і штаби;
- максимальні швидкості різання ножиць визначають з умови допустимих динамічних навантажень в приводі ножиць від обертових зі змінною кутовою швидкістю барабанів;

а також відмітні ознаки:

- швидкості різання ножиць визначають виходячи з розбивки всього діапазону довжин відрізуваних листів на два інтервали;
- в одному інтервалі штабу ріжуть з використанням на кожному барабані одного ножа;
- в іншому інтервалі штабу ріжуть з використанням на кожному барабані двох ножів;
- граничну довжину листів між інтервалами визначають з умови рівності швидкостей різання ножиць з використанням одного або двох ножів на кожному барабані.

Таким чином, запропонований спосіб управління швидкісним режимом установки барабанних ножиць має нові умови виконання операцій.

Між відмітними ознаками і досягаємым технічним результатом існує причинно-наслідковий зв'язок.

Завдяки розбивці всього діапазону довжин відрізуваних листів на два інтервали і визначення швидкісних характеристик ножиць в кожному інтервалі з умови допустимих динамічних навантажень приводу ножиць від обертових зі змінною кутовою швидкістю барабанів дозволило здійснювати різ в кожному інтервалі з максимально високими швидкостями, що призвело до підвищення продуктивності установки барабанних летючих ножиць.

Вибір граничної довжини листів між інтервалами з умови рівності швидкостей різання ножиць з використанням одного або двох ножів на кожному дозволило визначити оптимальні за швидкостями різання інтервали діапазону відрізуваних довжин, що забезпечують високу швидкість різу в цих інтервалах і високу продуктивність ножиць.

Пропонований спосіб має винахідницький рівень, тому що цей спосіб управління швидкісним режимом установки барабанних летючих ножиць з електричним зв'язком для фахівців явно не впливає з рівня техніки.

## 1.4 Обґрунтування обраного напрямку роботи

Як видно з проведеного літературного огляду, проблема вдосконалення конструкції летючих ножиць досі вважається актуальною. Жодне з розглянутих технічних рішень в повному обсязі не розв'язує задачі, що ставляться сучасними умовами виробництва та постійно зростаючою конкуренцією. Першорядне значення у такому разі мають знання дійсних процесів, що виникають в елементах устаткування безперервних станів гарячої прокатки, причин виникнення значних динамічних навантажень, істотної різнотовщинності листа, питання вибору раціональних конструктивних і режимних параметрів, що забезпечують високу точність листа, максимальну продуктивність і довговічність устаткування. Тому наукове обґрунтування раціональних параметрів машин для різки прокату являє собою значну наукову проблему, що має важливе значення для країни.

Зважаючи на вищерозглянуте обґрунтування метою дослідження є підвищення надійності роботи та експлуатаційних показників барабанних летючих ножиць за рахунок вдосконалення конструкції механізму різання.

Для досягнення мети ми задаємо собі такі завдання:

1. Провести аналіз стану питання, визначити основні проблеми, притаманні процесам повздовжнього та поперечного різання листових матеріалів на ножицях, а також визначити шляхи їх рішення; провести аналіз стану питання, визначити основні проблеми;
2. Розрахувати основні параметри ножиць.
3. Встановити закономірності впливу параметрів ріжучої машини на енергосилові показники процесу різання та якість листового металопрокату;
4. Розробити модернізовану конструкцію кріплення ножа до барабанів ножиць.

## 2 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НОЖИЦЬ

### Характеристика ножиць

тип.....	барабанні кривошипні
переріз штаби, що розрізається ,мм.....	(18÷25)х(600÷1500)
температура штаби, не менше°С.....	900
довжина ножів, мм.....	1700
колова швидкість ножів, м/с.....	від 0,46 до 1,38
перекриття ножів, мм.....	2.7
уклін верхнього ножа .....	1:140
потужність двигуна, кВт.....	110
число обертів двигуна, об/хв.....	500

### 2.1 Енергодинамічні розрахунки

Метою проведення енергодинамічних розрахунків є визначення зусилля, моменти і потужності різання штаби з нержавіючої сталі на летючих ножицях .

Вихідними даними для розрахунку є геометрія штаби та механічні властивості матеріалу: товщина штаби  $h = 1,5$  мм, ширина штаби  $b = 1550$  мм, матеріал штаби — сталь Ст 4 з межею міцності 500 МПа.

Для зменшення динамічних навантажень при різанні верхній ніж приймаємо шевронним з кутом нахилу 1:140 ( $\tan \alpha = 0,007$ ;  $\alpha = 0.409^\circ$ )

Визначаємо зусилля різання  $P$  за формулою [9, стр.266]:

$$P = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \frac{2-\varepsilon_H}{2 \cdot \tan \alpha} \cdot \varepsilon_H \cdot \sigma_b \cdot h^2 \quad (2.1)$$

Де  $\sigma_b$ — межа міцності, МПа

$h$  – висота штаби, мм

$\varepsilon_H$ — відносна глибина заглиблення ножів

відбувається відрив нерозрізані частини металу;

$k_1$  - згідно рекомендацій [ 9,стр260 ] ;

$k_2, k_3$  — коефіцієнти, які враховують підвищення зусилля різання при затупленні ножів і збільшення;

$\alpha$  — кут нахилу ножів.

Приймаємо, згідно рекомендацій [ 9,стр268 ]:  $k_1 = 0.6$ ;  $k_2 = 1.1$ ;

$k_3 = 1.25$ ,  $\epsilon_H = 0.5$ .

Підставляючи чисельні значення в формулу(2.1) отримаємо:

$$P = 0,6 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \frac{2 - 0,5}{2 \cdot 0,07} \cdot 0,5 \cdot 500 \cdot 1,5^2 = 0,497 \text{ мН}$$

Хід ножів  $H$  визначаємо за формулою [ 9,стр.268 ]:

$$H = h + \frac{b}{2} \tan \alpha \quad (2.2)$$

де  $h$  — товщина штаби, мм;

$b$  — ширина штаби, мм;

$\alpha$  — кут нахилу ножів.

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.2) отримаємо:

$$H = 1,5 + \frac{1150}{2} 0.07 = 42 \text{ мм} \quad (2.2)$$

Згідно з формулою[ 9, с. 260] кут різання знаходиться як:

$$\cos \alpha_p = 1 - \frac{H}{2R} \quad (2.3)$$

де  $R$  - радіус кривошипа повзуна ножів, мм.

$H$  — хід ножів, мм.

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.3), отримаємо:

$$\cos \alpha_p = 1 - \frac{42}{800} = 0.9475; \alpha = 19^\circ \quad (2.3)$$

Кут прикладання зусилля різання за формулою [9,стор 260]:

$$\cos \beta = 1 - \frac{h - \left(1 - \frac{\varepsilon_H}{2}\right) + \Delta}{2 \cdot B} \quad (2.4)$$

де  $B$  — ваксимальна ширина штаби, при перекритті ножів  $\Delta=2,4$  мм отримуємо:

$$\cos \beta = 1 - \frac{1,5 - \left(1 - \frac{0,5}{2}\right) + 2,4}{2 \cdot 1550} = 0.99898; \beta = 7^\circ \quad (2.4)$$

Плече доданка максимального зусилля різання знаходимо за формулою [6,стор 260]:

$$\alpha = R \sin \beta \quad (2.5)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.5) отримаємо:

$$\alpha = 400 \sin 7 = 49 \text{ мм} \quad (2.5)$$

Максимальний статичний момент різання, згідно з формулою [9, стор. 268]:

$$M_{\text{ст.р.}} = \frac{2P\alpha}{\eta} \quad (2.6)$$

при ККД приводу  $\eta = 0.85$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.6) отримаємо:

$$M_{\text{ст.р.}} = \frac{2 \cdot 798 \cdot 0.049}{0.85} = 92 \text{ кНм} \quad (2.6)$$

$$V_{\Pi} = V_{\text{H}} = 2,5 \text{ м/с}$$

$$\omega_{\text{H}} = \frac{V_{\text{H}}}{R} \quad (2.7)$$

$$\omega_{\text{H}} = \frac{2.5}{0.4} = 6.25 \frac{\text{об}}{\text{сек}} \quad (2.7)$$

$$\omega = 3,125$$

Максимальна статична потужність різання (без урахування впливу махових мас):

$$N_{\text{рез}} = M_{\text{ст}} \cdot \omega \quad (2.8)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.8) одержимо:

$$N_{\text{рез}} = 92 \cdot 3,125 = 287,132 \text{кВт} \quad (2.8)$$

Таким чином двигун буде працювати без перевантажень, згідно з формулою [9, с. 268]:

$$K = \frac{N_{\text{рез}}}{N_{\text{дв}}} \quad (2.9)$$

де  $N_{\text{дв}}$  - потужність двигуна, кВт.

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.9) отримаємо:

$$K = \frac{287,132}{110} = 2,61 \quad (2.9)$$

Таким чином двигун буде працювати при короткочасною перевантаження.

Кут закінчення різання по формулі [9, с. 266]:

$$\cos \alpha_p' = 1 - \frac{h \cdot (1 - \varepsilon_H) + \Delta}{2 \cdot B} \quad (2.10)$$

при перекритті ножів  $\Delta=2.4$  мм формула (2.10) прийме вигляд:

$$\cos \alpha_p' = 1 - \frac{1,5 \cdot (1 - 0,5) + 2,4}{2 \cdot 1150} = 0,999; \alpha_p' = 3,3^\circ \quad (2.10)$$

Кутовий шлях різання визначаємо за формулою [9, стр.268]:

$$\varphi_p' = \alpha_p - \alpha_p' = 20,1 - 3,3 = 16,8 \quad (2.11)$$

$$\varphi_0 = \frac{\varphi \pi}{180} \approx 0,246 \text{ рад}$$

Тривалість різання визначаємо за формулою [9, стр.268]:

$$t_p = \frac{\varphi_0}{\omega} \quad (2.12)$$

$$t_p = \frac{0,246}{3,125} = 0,079 \quad (2.12)$$

Протягом шляху різання зусилля зростає від 0 до  $P_{max}$  і потім зменшується до нуля.

Середнє зусилля різання буде

$$P_{cp} = 0,7 P_{max} = 0,7 \cdot 497 = 348 \text{ кН} \quad (2.13)$$

Середній статичний момент різання

$$M_{\text{ст.рез.ср}} = 0,7 M_{\text{ст.рез.мах}} = 0,7 \cdot 92 = 64,4 \text{ кН} \quad (2.14)$$



Середня потужність різання

$$N_{\text{ср}} = 0,7N_{\text{max}} = 0,7 \cdot 287,132 = 201 \text{кВт} \quad (2.15)$$

Робота різання

$$A_{\text{рез}} = N_{\text{ср}} \cdot t_p = 201 \cdot 0,079 = 18 \text{кДж} \quad (2.16)$$

Після підрахунку за кресленням. знаходимо моменти інерції мас: двох шестерень приводу колінчатих валів  $2,43 \text{кН} \cdot \text{м}^2$ ; двох колінчастих валів  $0,39 \text{кН} \cdot \text{м}^2$ ; наведений до валу провідної шестерні  $182,88 \text{кН} \cdot \text{м}^2$ . Сумарний момент інерції на валу приводний шестерні ножиць  $185,7 \text{кН} \cdot \text{м}^2$ .

Кінетична енергія махових мас, що обертаються зі швидкістю:

$$E_0 = I \frac{\omega^2}{2} \quad (2.17)$$

де  $\omega^2 = 1,25$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.17):

$$E_0 = 185,7 \frac{1,25^2}{2} = 145 \text{кДж} \quad (2.17)$$

Таким чином, кінетична енергія махових мас в

$$\frac{E_0}{A_{\text{рез}}} = \frac{145}{18} = 8 \text{ разів більше роботи різання. Звідси можна зробити висновок,}$$

що процес різання буде відбуватися за рахунок енергії махових мас приводу ножиць.

Після закінчення різання кінетична енергія системи дорівнює:

$$E_1 = E_0 - A_{\text{рез}} = 145 - 18 = 127 \text{кДж} \quad (2.18)$$

Кутова швидкість:

$$\omega = \sqrt{\frac{2E_1}{J}} \quad (2.19)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot 127}{185.7}} = 1.17 c^{-1} \quad (2.19)$$

Зниження власне швидкості в процесі різання визначаємо за формулою:

$$S = \frac{(\omega - \omega_1)}{\omega} \cdot 100\% = \frac{(1.25 - 1.04)}{1.25} \cdot 100\% = 16.8\% \quad (2.20)$$

тобто досить незначно.

Тривалість одного циклу різання при повороті супортів на  $360^\circ$ :

$$t_y = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} \quad (2.21)$$

$$t_{\text{ц}} = \frac{2 \cdot \pi}{1.25} = 5c \quad (2.22)$$

Час на прискорення махових мас за один оборот ножів:

$$t_y = t_{\text{ц}} - t_p \quad (2.23)$$

$$t_y = 5 - 0.196 = 4.804c \quad (2.23)$$

Прискорення при розгоні визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{t_y} \quad (2.24)$$

$$\varepsilon = \frac{0.21}{4.804} = 0.044c^{-2} \quad (2.24)$$

Динамічний момент на приводному валу ножиць, необхідний для розгону махових мас:

$$M_{\text{дин}} = \varepsilon \cdot J \quad (2.25)$$

$$M_{\text{дин}} = 185.7 \cdot 0.044 = 8.12 \text{кНм} \quad (2.25)$$

Номінальний момент електродвигуна при кутовій швидкості його:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (2.26)$$

де  $n$  — число обертів двигуна, об/хв.

Підставляючи чисельні значення у формулу отримаємо:

$$\omega = \frac{\pi \cdot 500}{30} = 52.3 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \quad (2.26)$$

$$M_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega} \quad (2.27)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу отримаємо:

$$M_{\text{дв}} = \frac{110}{52.3} \approx 2,1 \text{кНм} \quad (2.27)$$

$M_{\text{дв}} > M_{\text{дин}}$ , це означає, що двигун цілком забезпечить розгін махових мас за час між двома послідовними різами.

## 2.2 Перевірка зубчастого зачеплення на міцність

При перевірці зубців на міцність слід приймати наступний розрахунковий момент :

$$M_{\text{розр}} = \frac{M}{2} \quad (2.28)$$

$$M = M_{\text{рез}} + M_{\text{дин}} \quad (2.29)$$

$$M = 105 + 8,12 = 113,12 \text{ кНм} \quad (2.29)$$

Підставимо числові значення у формулу (2.28) :

$$M_{\text{розр}} = \frac{113,12}{2} = 56,56 \text{ кНм} \quad (2.28)$$

Припустимий крутний момент, виходячи з втомної міцності зубців колеса на вигин,

$$M_k = \frac{y_k \cdot m_H^2 \cdot z_k \cdot b_k \cdot \sigma_{-1}^{\text{III}} \cdot k_\varepsilon}{0.34 \cdot k_i (1 + \varphi') - \Phi_\sigma^{\text{III}} \cdot \eta_{\text{ш}} \cdot \cos \beta} \quad (2.30)$$

де :

$y_k$  - коефіцієнт форми зуба колеса;

$m_H$  - нормальний модуль зачеплення;

$z_k$  - кількість зубців колеса;

$b_k$  - ширина зуба колеса;

$\sigma_{-1}^{\text{III}}$  - границя втомної міцності матеріалу колеса при вигині та симетричному циклі навантаження;

$k_\varepsilon$  - коефіцієнт, що враховує ступінь перекриття;

$k_i$  - коефіцієнт навантаження при вигині;

$\varphi'$  - коефіцієнт, що враховує навантаження передачі моментом, що зворотний по знаку від робочого моменту електродвигуна;

$\Phi_\sigma^{\text{III}}$  - коефіцієнт, що враховує концентрацію навантажень;

$\eta_{\text{ш}}$  - коефіцієнт запасу міцності відносно границі втоми при вигині та нереверсивній роботі;

$\beta$  - кут нахилу зубців;

Коефіцієнт навантаження при вигині :

$$k_H = k_1 \cdot k_2 \cdot k_{3B} \cdot k_4 \quad (2.31)$$

де :

$k_1$  - коефіцієнт перевантаження;

$k_2$  - коефіцієнт концентрації навантаження;

$k_{3B}$  - коефіцієнт еквівалентного навантаження при вигині;

$k_4$  - коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження в зачепленні;

Коефіцієнт, що враховує концентрацію навантажень та масштабний фактор:

$$\Phi_\sigma^{\text{ш}} = \Phi_{\sigma 0} + \psi_\sigma \quad (2.32)$$

де:

$\Phi_{\sigma 0}$  - коефіцієнт, що враховує концентрацію напружень та масштабний коефіцієнт;

$\psi_\sigma$  - коефіцієнт;

Для матеріалу колеса п сталь 45 поліпшена :

$$\Phi_{\sigma 0} = 2,05; \psi_\sigma = 0.1$$

Підставимо числові значення :

$$\Phi_\sigma^{\text{ш}} = 2.05 + 0.1 = 2.15 \quad (2.32)$$

За формулою визначимо коефіцієнт  $k_H$  прийнявши такі значення коефіцієнтів :

$$k_1 = 1 ;$$

$$k_2 = 1 - \text{для відкритої передачі ;}$$

$$k_{3B} = 1 - \text{ножиці працюють у безперервному режимі ;}$$

$k_4 = 5$  - для прямозубих колес з ступенем точності 8 та коловою швидкістю зачеплення від 1 до 3 м/с.

Тоді :

$$k_H = 1 * 1 * 1 * 1.5 = 1.5 \quad (2.31)$$

Параметри, необхідні для підстановку у формулу такі :

$y_k = 0,15$ ;  $m_H = 7\text{мм}$ ;  $z_k = 120$ ;  $b_k = 75\text{мм}$ ;  $\sigma_{-1}^{\text{ш}} = 330\text{МПа}$ ;

$k_\varepsilon = 1$  - прямозуба передача ;

$\varphi' = 1$

$\eta_{\text{ш}} = 2,0$  -для сталевих відливок ;

$\beta = 0^\circ$  - прямозуба передача ;

Після підстановки чисельних значень отримаємо :

$$M_K = \frac{0,15 * (7 * 10^{-3})^2 * 120 * 0,75 * 330 * 10^6}{0,34 * 1,5 * 1 * 2,15 * 2 * \cos 0} = 99,5 \text{ кНм} \quad (2.30)$$

Оскільки максимальний допустимий момент  $M_K$  більше за розрахунковий момент  $M_{\text{розр}}$  тому перевірку вважаємо вірною.

Розрахунок зуб`їв редуктора на контактну и згинаючу витривалість:

$$P_{\text{пр}} = \frac{0,5d_1 \cdot \sin \alpha \cdot 0,5d_1 u \sin \alpha}{0,5d_1 \sin \alpha (1+u)} = \frac{d_1 u \sin \alpha}{2(u+1)} \quad (2.33)$$

$u = 2,54\text{м/с}$ ;  $d_1 = mz = 7 * 120 = 840\text{мм}$ ;  $\alpha = 45^\circ$

$$P_{\text{пр}} = \frac{840 * 2,54 * \sin 45}{2(2,54+1)} = 213 \quad (2.33)$$

$$\sigma_H = Z_m Z_H Z_\varepsilon \sqrt{K_H F_t \frac{(1+u)}{(d_1 b u)}} \leq \sigma_{\text{пр}} \quad (2.34)$$

$$Z_m = \sqrt{\frac{E_{np}}{\pi(1-\nu^2)}} = \sqrt{\frac{2E_1E_2}{\pi(1-\nu^2)(E_1+E_2)}} = 274 * 10^3 \quad (2.35)$$

$$Z_H = \sqrt{\frac{2}{\sin 2\alpha}} = 1.41 \quad (2.36)$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4-\varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4-1.76}{3}} = 0.86 \quad (2.37)$$

$$\varepsilon_\alpha \approx (1.88 - 3.2(1/z_1 \pm 1/z_2)) \cos \beta \approx 1.76 \quad (2.38)$$

$$\sigma_H = 1.41 * 0.86 * 274 * 10^3 \sqrt{\frac{1.16 * 7.06 * 10^3 (1+3.61)}{66 * 60 * 10^{-6} * 3.61}} = 541 * 10^6 \leq \sigma_{Hp} \quad (2.39)$$

$$\sigma_F = \frac{M_u}{W_x} = \frac{K_T * F_t * L}{b_a^2 / 6} = \frac{K_T * F_t * \mu * m}{b(\gamma * m)^2 / 6} = \frac{Y_F F_t}{b * m} \leq \sigma_{FP} \quad (2.40)$$

$$\sigma_F = \frac{Y_F F_t K_F}{b * m} \leq \sigma_{FP} \quad (2.41)$$

де: для прямозубих передач  $Y_F \approx 4,1 K_F \approx 1.4$

$$b = \psi_{bd} d_1 = 0.9 * 840 = 756 \text{ мм} \quad (2.42)$$

$$F_t = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 * 240 * 10^3}{840} = 0,57 * 10^3 \quad (2.43)$$

$$\sigma_F = \frac{4,1 * 1,4 * 0,57 * 10^3}{10^{-3} * 840 * 7} = 67.6 * 10^{-6} \text{ Па} \leq \sigma_{FP} \quad (2.41)$$

### 2.3 Розрахунок болтового з'єднання

$$Q = \frac{P}{f} = \frac{\pi d_1^2}{4} \leq [\sigma_p] \quad (2.44)$$

$P$ -сила, Н

$f$ -коефіцієнт тертя = 0,2

$d_1$ - внутрішній діаметр різьби

$$Q = \frac{\pi \cdot 24^2}{4} = 582,78 \leq [\sigma_p] \quad (2.44)$$

### 2.4 Розрахунок барабана на міцність

Реакції опор барабана

Сума моментів всіх сил відносно точки В повинна дорівнювати нулю:

$$\begin{aligned} \sum M^B &= -R_A L + \sum q_i (b_i - a_i) (2L - a_i - b_i) / 2 + \sum F_i (L - c_i) - \sum M_i = \\ &= -R_A L + q_1 (b_1 - a_1) (2L - a_1 - b_1) / 2 - M_1 = -R_A \cdot 3.5 + 64.4 \cdot (2.6 - 0.93) \cdot (2 \cdot 3.5 - 0.93 - \\ &2.6) / 2 - 99.5 = \\ &= -R_A \cdot 3.5 + 64.4 \cdot 1.67 \cdot 1.735 - 99.5 = \\ &= -R_A \cdot 3.5 + 87.09578 = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow R_A = 87.09578 / 3.5 = 24.8845 \text{ кН}; \end{aligned}$$

Сума моментів всіх сил відносно точки А повинна дорівнювати нулю:

$$\begin{aligned} \sum M^A &= R_B L - \sum q_i (b_i - a_i) (a_i + b_i) / 2 - \sum F_i c_i - \sum M_i = \\ &= R_B L - q_1 (b_1 - a_1) (a_1 + b_1) / 2 - M_1 = R_B \cdot 3.5 - 64.4 \cdot (2.6 - 0.93) \cdot (0.93 + 2.6) / 2 - 99.5 = \\ &= R_B \cdot 3.5 - 64.4 \cdot 1.67 \cdot 1.765 - 99.5 = \\ &= R_B \cdot 3.5 - 289.32222 = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow R_B = 289.32222 / 3.5 = 82.6635 \text{ кН}; \end{aligned}$$



Для перевірки обчислимо суму проєкцій всіх сил на вертикальну вісь:

$$\begin{aligned}\sum Y &= R_A + R_B - \sum q_i(b_i - a_i) - \sum F_i = \\ &= R_A + R_B - q_1(b_1 - a_1) = \\ &= 24.8845 + 82.6635 - 64.4 \cdot (2.6 - 0.93) = \\ &= 24.8845 + 82.6635 - 107.548 = 0;\end{aligned}$$

Початкові параметри

Прогин над лівою опорою дорівнює нулю:  $w_0 = 0$ .

Кут повороту початкового перерізу  $\theta_0$  визначимо з умови нульового прогину над опорою В:

$$\begin{aligned}EIw_B = EIw(L) &= EI\theta_0 L + R_A L^3/6 - q_1(L - a_1)^4/24 + q_1(L - b_1)^4/24 + M_1(L - d_1)^2/2 = \\ &= EI\theta_0 \cdot 3.5 + 24.8845 \cdot 3.5^3/6 - 64.4 \cdot (3.5 - 0.93)^4/24 + 64.4 \cdot (3.5 - 2.6)^4/24 + 99.5 \cdot (3.5 - \\ &3.25)^2/2 = \\ &= EI\theta_0 \cdot 3.5 + 65.6308 = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow EI\theta_0 = -65.6308/3.5 = -18.7517 \text{ кНм}^2;\end{aligned}$$

Побудова епюр

Складемо аналітичні вирази  $Q(z)$ ,  $M(z)$ ,  $EI\theta(z)$  и  $EIw(z)$  для кожної ділянки і обчислимо їх значення в характерних точках.

**Ділянка I** ( $0 \leq z \leq 0.93$ ):

**Поперечна сила  $Q$ :**

$$Q_I(z) = R_A = 24.8845;$$

Значення  $Q$  на краях відрізка:

$$Q_1(0) = 24.8845 \text{ кН};$$

$$Q_1(0.93) = 24.8845 \text{ кН};$$

**Згинаючий момент  $M$ :**

$$M_1(z) = R_A z = 24.8845z;$$

Значення  $M$  на краях відрізка:

$$M_1(0) = 24.8845 \cdot 0 = 0;$$

$$M_1(0.93) = 24.8845 \cdot 0.93 = 23.1426 \text{ кНм};$$

**Кут повороту перерізу  $\theta$ :**

$$EI\theta_1(z) = EI\theta_0 + R_A z^2/2 = -18.7517 + 24.8845z^2/2 = 12.4423z^2 - 18.7517;$$

Значення  $EI\theta$  на краях відрізка:

$$EI\theta_1(0) = 12.4423 \cdot 0^2 - 18.7517 = -18.7517 \text{ кНм}^2;$$

**Ділянка II ( $0.93 \leq z \leq 2.6$ ):**

$$\begin{aligned} & 18.7517 + 12.4423z^2 - 64.4(z^3/6 - 0.465z^2 + 0.43245z - 0.13406) = \\ & = -10.7333z^3 + 42.3883z^2 - 27.8498z - 10.1182; \end{aligned}$$

Значення  $EI\theta$  на краях . На цій ділянці еюра  $M$  перетинає горизонтальну вісь. Знайдемо точку перетину:

$$EI\theta_{II}(0.93) = -10.7333 \cdot 0.93^3 + 42.3883 \cdot 0.93^2 - 27.8498 \cdot 0.93 - 10.1182 = -$$

$$7.99036 \text{ кНм}^2;$$

$$EI\theta_{II}(2.6) = -10.7333 \cdot 2.6^3 + 42.3883 \cdot 2.6^2 - 27.8498 \cdot 2.6 - 10.1182 = 15.3679 \text{ кНм}^2;$$

Локальний екстремум в точці  $z_2 = 2.24808 \text{ м}$ :

$$EI\theta_{II}(2.24808) = -10.7333 \cdot 2.24808^3 + 42.3883 \cdot 2.24808^2 - 27.8498 \cdot 2.24808 - 10.1182 = 19.551 \text{ кНм}^2;$$

На цій ділянці еюра  $\theta$  перетинає горизонтальну вісь. Знайдемо точку перетину:

$$EI\theta_{II}(z) = -10.7333z^3 + 42.3883z^2 - 27.8498z - 10.1182 = 0;$$

Корені кубічного рівняння знайдемо по формули Вієтта.

Наведемо рівняння до виду  $z^3 + az^2 + bz + c = 0$ , для чого розділимо його на  $-10.7333$ :

$$z^3 - 3.94922z^2 + 2.5947z + 0.942693 = 0;$$

$$a = -3.94922; b = 2.5947; c = 0.942693;$$

Обчислюємо  $Q$ ,  $R$  та  $S$ :

$$Q = (a^2 - 3b)/9 = 0.868023;$$

$$R = (2a^3 - 9ab + 27c)/54 = -0.102045;$$

$$S = Q^3 - R^2 = 0.643611;$$

$S > 0 \Rightarrow$  рівняння має три корені:

$$\varphi = \arccos(R/Q^{1.5})/3 = 0.565771 \text{ рад};$$

$$z = -2Q^{1/2}\cos(\varphi) - a/3 = -0.256593;$$

$$z = -2Q^{1/2}\cos(\varphi + 2\pi/3) - a/3 = 2.96796;$$

$$z = -2Q^{1/2}\cos(\varphi - 2\pi/3) - a/3 = 1.23785;$$

Корені  $-0.256593$  и  $2.96796$  не лежать всередині досліджуваної ділянки .

**Ділянка III** ( $2.6 \leq z \leq 3.25$ ):

**Поперечна сила  $Q$ :**

$$Q_{III}(z) = R_A - q_1(z - a_1) + q_1(z - b_1) = 24.8845 - 64.4(z - 0.93) + 64.4(z - 2.6) = -82.6635;$$

Значення  $Q$  на краях відрізка:

$$Q_{III}(2.6) = -82.6635 \text{ кН};$$

$$Q_{III}(3.25) = -82.6635 \text{ кН};$$

**Згинаючий момент  $M$ :**

$$M_{III}(z) = R_A z - q_1(z - a_1)^2/2 + q_1(z - b_1)^2/2 = 24.8845z - 64.4(z - 0.93)^2/2 + 64.4(z - 2.6)^2/2 = 24.8845z - 64.4(z^2/2 - 0.93z + 0.43245) + 64.4(z^2/2 - 2.6z + 3.38) = -82.6635z + 189.822;$$

Значення  $M$  на краях відрізка:

$$M_{III}(2.6) = -82.6635 \cdot 2.6 + 189.822 = -25.1029 \text{ кНм};$$

$$M_{III}(3.25) = -82.6635 \cdot 3.25 + 189.822 = -78.8341 \text{ кНм};$$

**Кут повороту перерізу  $\theta$ :**

$$EI\theta_{III}(z) = EI\theta_0 + R_A z^2/2 - q_1(z - a_1)^3/6 + q_1(z - b_1)^3/6 = -18.7517 + 24.8845z^2/2 - 64.4(z - 0.93)^3/6 + 64.4(z - 2.6)^3/6 = -18.7517 + 12.4423z^2 - 64.4(z^3/6 - 0.465z^2 +$$

$$0.43245z - 0.13406) + 64.4(z^3/6 - 1.3z^2 + 3.38z - 2.92933) = \\ = -41.3317z^2 + 189.822z - 198.767;$$

Значення  $EI\theta$  на краях відрізка:

$$EI\theta_{III}(2.6) = -41.3317 \cdot 2.6^2 + 189.822 \cdot 2.6 - 198.767 = 15.3679 \text{ кНм}^2;$$

$$EI\theta_{III}(3.25) = -41.3317 \cdot 3.25^2 + 189.822 \cdot 3.25 - 198.767 = -18.4117 \text{ кНм}^2;$$

На цій ділянці еюра  $\theta$  перетинає горизонтальну вісь. Знайдемо точку перетину:

$$EI\theta_{III}(z) = -41.3317z^2 + 189.822z - 198.767 = 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow z = (-189.822 \pm (189.822^2 - 4 \cdot (-41.3317) \cdot (-198.767))^{1/2}) / (2 \cdot (-41.3317)) = (189.822 \\ \pm 3170.88^{1/2}) / 82.6635 = 1.61512; 2.97753;$$

Корінь 1.61512 не лежить всередині досліджуваної ділянки

**Ділянка IV** ( $3.25 \leq z \leq 3.5$ ):

**Поперечная сила  $Q$ :**

$$Q_{IV}(z) = R_A - q_1(z - a_1) + q_1(z - b_1) = 24.8845 - 64.4(z - 0.93) + 64.4(z - 2.6) = \\ = -82.6635;$$

Значення  $Q$  на краях відрізка:

$$Q_{IV}(3.25) = -82.6635 \text{ кН};$$

$$Q_{IV}(3.5) = -82.6635 \text{ кН};$$

**Згинаючий момент  $M$ :**

$$\begin{aligned}
 M_{IV}(z) &= R_A z - q_1(z - a_1)^2/2 + q_1(z - b_1)^2/2 + M_1 = 24.8845z - 64.4(z - 0.93)^2/2 + \\
 &64.4(z - 2.6)^2/2 + 99.5 = 24.8845z - 64.4(z^2/2 - 0.93z + 0.43245) + 64.4(z^2/2 - 2.6z + \\
 &3.38) + 99.5 = \\
 &= -82.6635z + 289.322;
 \end{aligned}$$

Значення  $M$  на краях відрізка:

$$M_{IV}(3.25) = -82.6635 \cdot 3.25 + 289.322 = 20.6659 \text{ кНм};$$

$$M_{IV}(3.5) = -82.6635 \cdot 3.5 + 289.322 = 0;$$

**Кут повороту перерізу  $\theta$ :**

$$\begin{aligned}
 EI\theta_{IV}(z) &= EI\theta_0 + R_A z^2/2 - q_1(z - a_1)^3/6 + q_1(z - b_1)^3/6 + M_1(z - d_1) = -18.7517 + \\
 &24.8845z^2/2 - 64.4(z - 0.93)^3/6 + 64.4(z - 2.6)^3/6 + 99.5(z - 3.25) = -18.7517 + \\
 &12.4423z^2 - 64.4(z^3/6 - 0.465z^2 + 0.43245z - 0.13406) + 64.4(z^3/6 - 1.3z^2 + 3.38z - \\
 &2.92933) + 99.5(z - 3.25) = \\
 &= -41.3317z^2 + 289.322z - 522.142;
 \end{aligned}$$

Значення  $EI\theta$  на краях відрізка:

$$EI\theta_{IV}(3.25) = -41.3317 \cdot 3.25^2 + 289.322 \cdot 3.25 - 522.142 = -18.4117 \text{ кНм}^2;$$

$$EI\theta_{IV}(3.5) = -41.3317 \cdot 3.5^2 + 289.322 \cdot 3.5 - 522.142 = -15.8284 \text{ кНм}^2;$$

**Прогин  $w$ :**

$$\begin{aligned}
 EIw_{IV}(z) &= EI\theta_0 z + R_A z^3/6 - q_1(z - a_1)^4/24 + q_1(z - b_1)^4/24 + M_1(z - d_1)^2/2 = - \\
 &18.7517z + 24.8845z^3/6 - 64.4(z - 0.93)^4/24 + 64.4(z - 2.6)^4/24 + 99.5(z - 3.25)^2/2 = - \\
 &18.7517z + 4.14742z^3 - 64.4(z^4/24 - 0.155z^3 + 0.216225z^2 - 0.13406z + 0.0311688) + \\
 &64.4(z^4/24 - 0.433333z^3 + 1.69z^2 - 2.92933z + 1.90407) + 99.5(z^2/2 - 3.25z + 5.28125)
 \end{aligned}$$

$$=$$

$$= - 13.7772z^3 + 144.661z^2 - 522.142z + 646.099;$$

Значення  $EIw$  на краях відрізка:

$$EIw_{IV}(3.25) = - 13.7772 \cdot 3.25^3 + 144.661 \cdot 3.25^2 - 522.142 \cdot 3.25 + 646.099 =$$

$$4.17237 \text{ кНм}^3;$$

$$EIw_{IV}(3.5) = - 13.7772 \cdot 3.5^3 + 144.661 \cdot 3.5^2 - 522.142 \cdot 3.5 + 646.099 = 0;$$

Реакції опор:

$$R_A = 24.88 \text{ кН};$$

$$R_B = 82.66 \text{ кН};$$

Внутрішні зусилля:

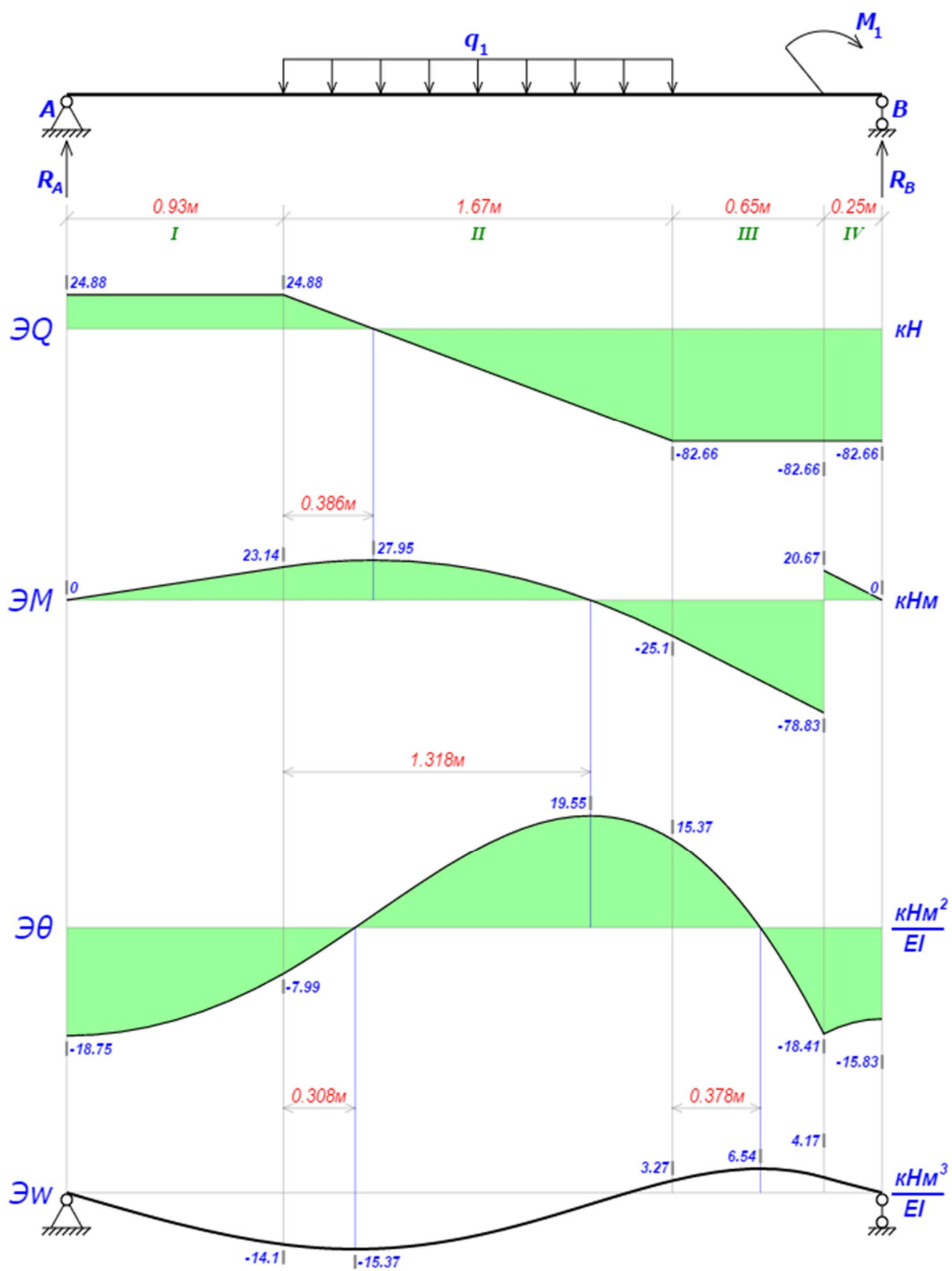
$$Q_{\max} = 82.66 \text{ кН};$$

$$M_{\max} = 78.83 \text{ кНм};$$

Переміщення:

$$\theta_{\max} = 19.55 \text{ кНм}^2/EI;$$

$$w_{\max} = 15.37 \text{ кНм}^3/EI;$$





## 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ НОЖИЦЬ

### 3.1 Побудування моделі ножиць та дослідження їх параметрів та показників

#### 3.1.1 Основи роботи в ABAQUS Student Edition

Центральним об'єктом при роботі в ABAQUS Student Edition є проект, під яким розуміється сукупність геометричних, фізичних і кінцево–елементних моделей тіл завдання, а також результати численних рішень. Проект може складатися з одного або декількох блоків, що реалізують окремі види інженерного аналізу. У свою чергу, блок складається з елементів – структурних частин блоку, відповідальних за певний етап аналізу. Можна виділити наступні етапи проведення інженерного аналізу:

– розробка моделі (препроцесінг). На цьому етапі здійснюється підготовка геометричної моделі, завдання матеріалу та його властивостей, генерація кінцево–елементної сітки, визначення фізичних умов моделювання. Кінцевим результатом етапу є модель, підготовлена для численних рішень;

– налаштування розв'язувача та рішення. На цьому етапі задаються необхідні параметри розв'язувача, параметри, що забезпечують конверсію ітераційного процесу, і запускається вирішувач. Кінцевим результатом етапу є чисельне рішення, отримане з заданою точністю;

– обробка результатів (постпроцесінг). На цьому етапі отримане чисельне рішення задачі використовується для візуалізації розподілу необхідних фізичних величин (напруг, деформацій, температур та ін). Кінцевим результатом етапу є набір графіків, анімацій, масивів значень, що представляють необхідні результати вирішення завдань.

– обробка результатів (постпроцесінг). На цьому етапі отримане численне рішення завдання використовується для візуалізації розподілу необхідних фізичних величин (напружень деформацій, температур та ін). Кінцевим

результатом етапу є набір графіків, анімацій, масивів значень, що представляють необхідні результати рішення задач.

### 3.3 Врахування пружної деформації станини на результати моделювання

Розвиток і вдосконалення методів розрахунку і можливостей сучасної обчислювальної техніки сприяє підвищенню значимості математичного моделювання процесів обробки тиском. На сучасному етапі підвищення якості виробленої продукції при одночасному зниженні енерговитрат вироблених технологічних операцій є одним з основних напрямків розвитку сучасного металургійного виробництва. Зокрема, в технологічних лініях виробництва товстих гарячекатаних листів дуже ефективним є застосування процесу гарячого різання. При цьому зростає актуальність застосування теоретичних досліджень для аналізу та оптимізації досліджуваного процесу, оскільки експериментальні дослідження процесів обробки тиском в промислових умовах пов'язані з цілою низкою фінансових і організаційних труднощів. Крім того, сучасні методи розрахунку здатні в максимально повній мірі відображати реальні фізичні процеси, що протікають в металі. Метод скінченних елементів (МСЕ), в даний час, все більш широко використовується при вирішенні різноманітних задач [13], в тому числі і при математичному моделюванні процесів обробки тиском.

Максимально повна ступінь відображення реального процесу в ході моделювання МСЕ можлива тільки при дотриманні певних умов. Стосовно до процесу різання металу на ножицях для отримання адекватних результатів моделювання також існує ряд вимог, які повинні враховувати особливості реалізації та протікання процесу [14].

Детальний аналіз теоретичних досліджень і експериментальних даних процесу гарячого різання на ножицях [15, 16] дозволяє вказати що ще один фактор потребує врахування в ході математичного моделювання. Так, отримані в роботі [15] теоретичні залежності сили різання мають істотні відмінності на початковому етапі процесу, коли в ході моделювання процесу має місце різке

(майже миттєве) зростання сили різання, що не відповідає результатам експериментів, де спостерігається плавне зростання сили з плином часу .

У класичному поданні процесу різання на ножицях [17, 18] виділяють три стадії: вмивання ножів в метал, зрушення (власне різ), зколювання. При цьому, як раз на етапі вмивання і спостерігається плавне збільшення сили різання.

Таким чином, спираючись на результати роботи [16], можна припустити, що процес вмивання супроводжується пружною деформацією станини ножиць, а її врахування в ході математичного моделювання дозволить наблизити результати теоретичних рішень до експериментальних і розширити уявлення про хід процесу різання.

Оскільки проведення експериментальних досліджень в умовах реального виробництва і рамках існуючого обладнання і моделей на кафедрі «Металургійного обладнання» неможливе, експериментальні значення для співставлення з результатами моделювання взяти з роботи [15].

Модель складається з трьох абсолютно жорстких недеформованих тіл - притиску, верхнього і нижнього ножів, а також бруса, що моделює лист і відрізану кромку. З метою врахування пружної деформації станини в модель введено пружний елемент, а для виключення значних динамічних коливань - в'язкий демпфер.

Деформуємий брус представляє собою сітку з ізопараметричних чотирикутних лінійних елементів з скороченої схемою інтегрування, що мають властивості суцільного деформованого середовища в умовах плоскої деформації.

Для опису пластичної течії матеріалу заготовки використовували співвідношення Воє [16].

З огляду на, що процес різання супроводжується великими пластичними деформація, в ході математичного моделювання використовували процедуру адаптації сітки в формулюванні Лагранжа-Ейлера [19]. Тертя між контактними поверхнями моделює закон тертя Кулона. При цьому коефіцієнт тертя є величиною постійною, що характеризує зв'язок між контактним тиском і еквівалентним дотичним (контактним) напругою.

На ліву бічну поверхню бруса накладали обмеження на його переміщенню уздовж осі X.

На рисунку 3.6 представлена модель барабанних летючих ножиць

Руйнування матеріалу моделювали методом виключення елементів з розрахунку, після вичерпання ресурсу пластичності відповідно до діаграми пластичності [19].

Вихідними даними для розрахунку були прийняті наступні: товщина розрізаємого листа – 1,5 мм, ширина відрізуваної кромки - 15 мм, номінальна температура процесу - 900 °С, швидкість різання - 28 мм /с.

З огляду на, що на основі цієї моделі вирішується плоска задача, то жорсткість станини ножиць бере участь в розрахунках і визначається як величина наведена до одиниці ширини заготовки, що розрізається.

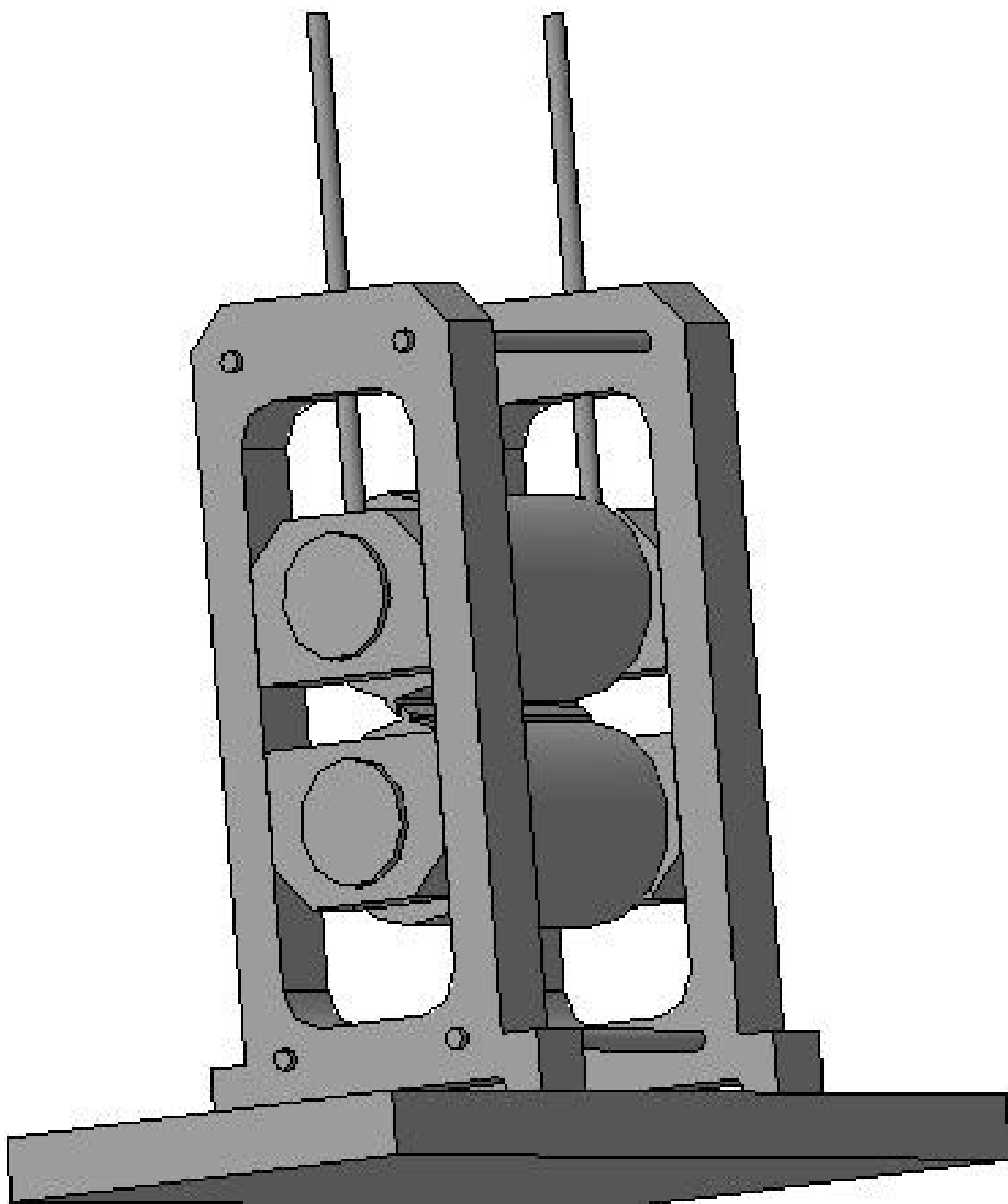


Рисунок 3.6– Модель ножиць

Як показав хід моделювання на етапі вмінання спостерігається зростання сили різання, проте впровадження ножів в метал збільшується незначно, оскільки відбувається пружна деформація станини (рисунок 3.7).

За результатами моделювання були отримані залежності зміни в часі сили різання, що припадає на 1 мм ширини і величини впровадження ножів в метал.

Для порівняння експериментальних і теоретичних даних на рисунку 3.8 представлені залежності зміни в часі сили різання, а на рисунку 3.9 величини входження ножів в метал.

Рисунок 3.8-Залежності зміни в часі сили різання, що припадає на 1 мм ширини за результатами експериментів (ForceExp1 і ForceExp2) і моделювання (ForceTheory)

Рисунок 3.9-Залежності зміни в часі величини впровадження ножів в метал за результатами експериментів (MoveExp1 і MoveExp2) і моделювання (MoveTheory)

Як можна бачити з представлених залежностей результати моделювання в цілому добре узгоджуються з експериментальними даними. Однак, на етапі власне різання можна спостерігати деяку відмінність по силі різання (див. рис. 3.8), що можна пояснити недостатньо дослідженим механізмом руйнування матеріалу для даної марки сталі при даній температурі. При цьому слід вказати, що в якості діаграми пластичності, згідно з якою моделюється процес руйнування, була взята діаграма для сталі близькою за хімічним складом сталі 09Г2С,

оскільки знайти такі дані для заданої при температурі різання не представляється можливим.

Таким чином, отримані результати вказують на необхідність врахування пружної деформації станини з метою отримання більш адекватних теоретичних рішень.

### 3.4 Розробка модернізованої конструкції кріплення ножа до барабану ножиць.

З аналізу усього попередньо викладеного видно, що недоліком конструкції барабанних летючих ножиць, які функціонують в цеху, є складність їх експлуатаційного обслуговування. Технічною задачею модернізації є зменшення відсотку витрати металу, що розрізається за якістю різання, зниження виробничих витрат при виготовленні пристрою, поліпшення експлуатаційних властивостей, а також розширення діапазону розрізуваних товщин.

Сутність запропонованого технічного рішення полягає в максимальному спрощенні конструкції вузла регулювання положення ножа на верхньому барабані відносно діаметра і ширини при одночасному підвищенні надійності кріплення ножа в пазі барабана.

Барабанні летючі ножиці запропонованої конструкції мають наступну будову ( рисунок 3.7 та 3.8).

Летючі барабанні ножиці складаються з станини 1, верхнього барабана 2 і нижнього барабана 3 із ножами, встановлених в станині на сферичних роликів підшипниках 5, 6, 7, 8 та зафіксовані в осьовому напрямку кришками 9, 10, 11, 12; косозубої передачі, що включає провідну шестерню 13 і ведену шестерню 14, ведуча шестірня 13 встановлена на шийці 15 нижнього барабана 3 і зафіксована від проворота в осьовому і радіальному напрямку.

Штаби подаються (наприклад, роликами, що обертається в різні боки) до барабанів 1 і 2 і при зближенні ножів 6 із штабою здійснюється її прорізання за

рахунок вертикального перекриття ножів. Відрізана передня по ходу руху частина штаби задається в профілегибочний агрегат.

На обох барабанах виконані несиметричні наскрізні поперечні пази шириною 45 мм, через які проходить вертикальна осьова площина барабанів, що виставлена від найближчої до неї межі паза на відстань  $S = 1,5$  мм. В пазах встановлені ножі і по три регулювальних клина шириною 36 мм кожен, через які проходять стяжні болти діаметром M10 x 1,5 мм. На верхньому барабані виконаний додатковий наскрізний паз з прямим кутом в поперечному перерізі, на вертикальній грані якого є три отвори для діаметрів регулювальних болтів M20 x 1,5 мм. Величина  $b = 26$  мм

Привід ножиць має потужність 290 кВт, швидкість руху штаби до 20 м/хв. штаба подається до ножиць роликами.

Ведена шестерня 14 встановлена на шліцевій втулці 16, жорстко закріпленої на шийці 17 верхнього барабана 2.

Механізм регулювання бічного зазору між ножами містить вузол осьового переміщення і фіксації веденої шестерні 14, який складається з гідравлічного циліндра 18, двосторонній шток 19 якого однією стороною закріплений на торці шийки 17 співвісно барабану. На іншій стороні двостороннього штока 19 встановлений вертлюг 20, зв'язує гідравлічний циліндр 18 з гідросистемою (на кресленні не показано). На двосторонньому штоку 19 встановлений поршень 21.

Корпус 22 гідравлічного циліндра 18 жорстко з'єднаний через обичайку 23 з веденою шестірнею 14.

З кришкою 24 гідравлічного циліндра 18 пов'язаний вузол фіксації корпусу 22 гідравлічного циліндра, що складається з гайок 25, 26, встановлених на різьбової частини двосторонньої штока 19, і упору 27.

Кінематичний зазор в косозубій передачі обраний за допомогою додаткової шестерні 28, встановленої в одному блоці з ведучою шестірнею 13 і пов'язаної з нею через пружинний вузол 29.

На рисунку 3.9 зображено поперечний розріз барабанних летючих ножиць.



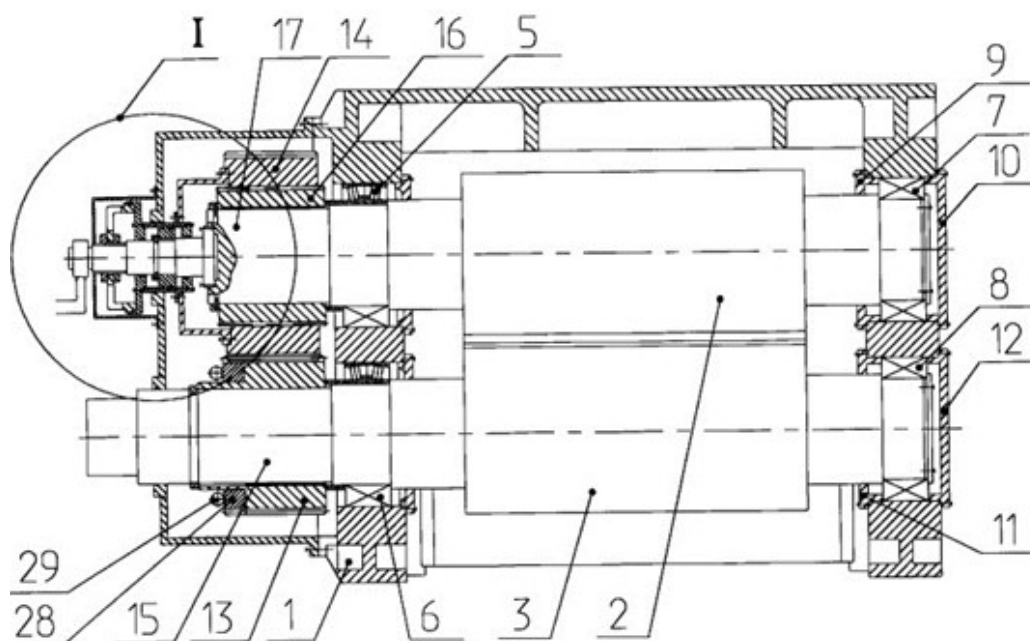


Рисунок 3.9– Повздовжній розріз по ножицям

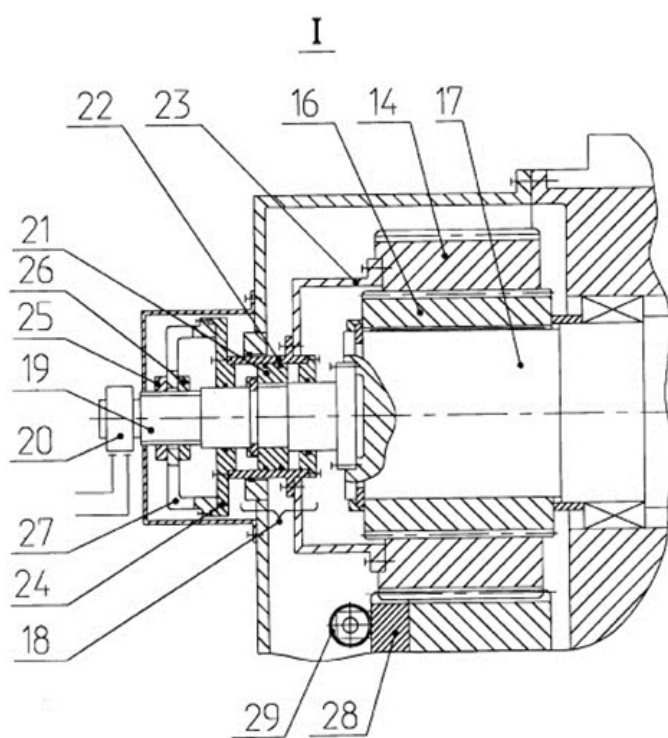
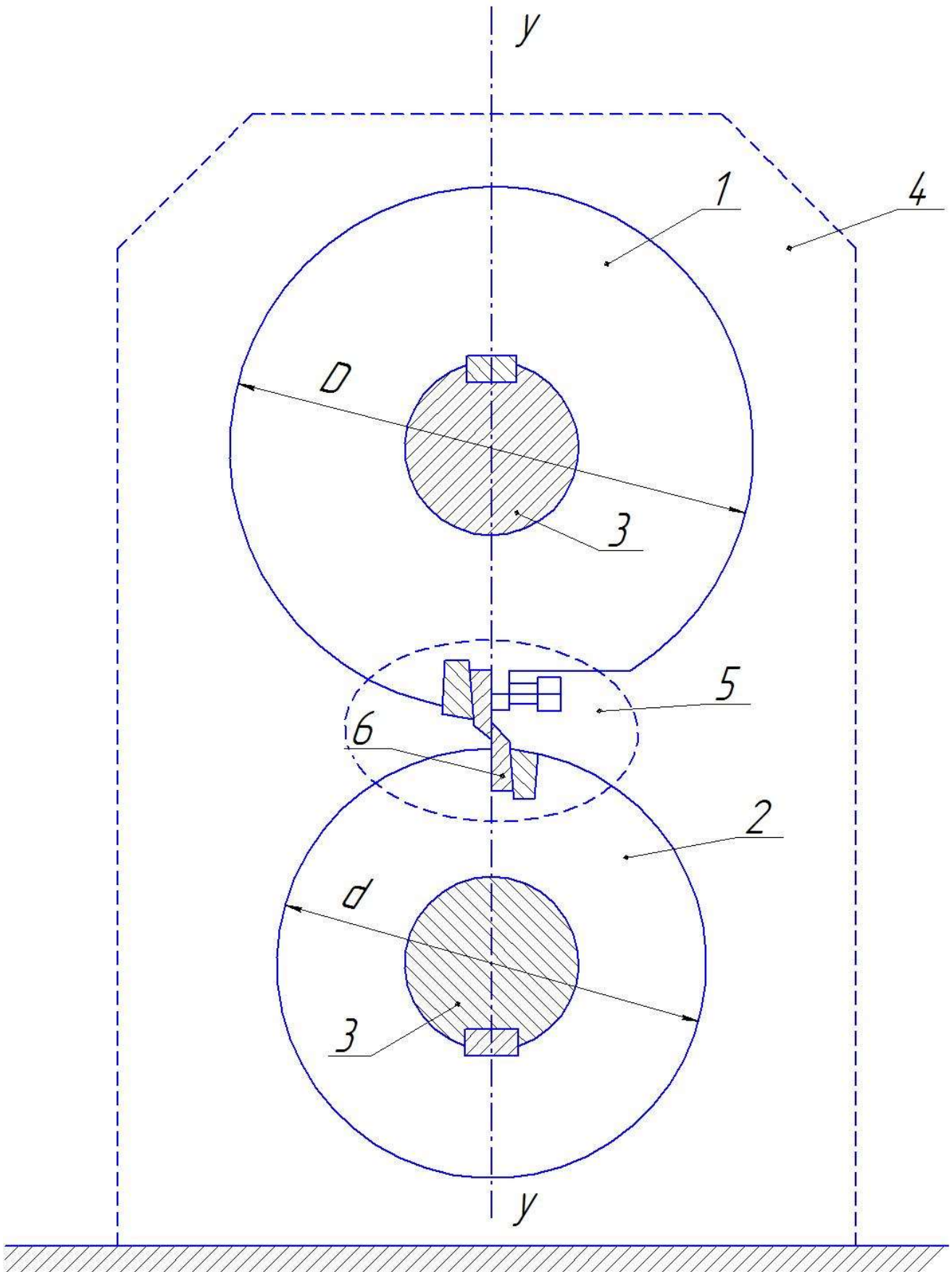


Рисунок 3.10 - Місце I по рисунку 3.9.

Рисунок 3.11 – Барабанні летючі ножиці



Барабанні летючі ножиці працюють наступним чином. Після обрізки переднього кінця гарячого прокату 4 ножами 5 верхній і нижній барабани

летючих ножиць зупиняються в положенні очікування перед порізкою заднього кінця прокату 4. В інтервалі між різаними прокат вільно рухається між верхнім 1 і нижнім 2 барабанами летючих ножиць. При порізці відносно тонкого листового прокату можливо його провисання між роликками 15 вхідного рольгангу і роликком 16 вихідного рольганга з обпиранням і тертям по вставці 11, встановленої в пластині 8 нижнього барабана 2. У цьому положенні барабанів ножиць через сопла 13, розташовані з двох сторін порожнини 10, виконаної в пластині 8, через щілини 12 подається охолоджувальна вода в порожнину 10. При зміні положення нижнього барабана 2 при різанні заднього кінця прокату в порожнині 10 завжди залишається деякий обсяг води, що сприяє охолодженню пластини 8, в результаті якого зменшується процес теплового, променевого і механічного впливу рухомого прокату на тіло нижнього барабана 2 летючих ножиць.

Осьові зусилля, що виникають в косозубій передачі і, отже, на ведучій шестірні 13, замикаються в нижньому барабані 3 на станину 1 через підшипники 8 і кришки 11, 12.

Осьові зусилля, що виникають на веденій шестірні 14, передаються через обичайку 23 на корпус 22 гідравлічного циліндра 18, а від нього через робочу рідину в штокові порожнинах гідравлічного циліндра 18 (рідина замкнута в цих порожнинах з допомогою гідросистеми) передається на двосторонній шток 19, а від нього на верхній барабан 2 і на станину 1 через підшипники 7, кришки 9 і 10.

Якщо гідравлічний циліндр 18 забезпечений додатковим вузлом фіксації корпусу 22 гідравлічного циліндра 18, то осьове зусилля від веденої шестерні 14 передається на верхній барабан 2 і через додатковий вузол фіксації корпусу 22 гідравлічного циліндра 18.

При необхідності регулювання бічного зазору між ножами змінюють положення веденої шестерні 14 в осьовому напрямку, що завдяки косозубої передачі веде до проворотів верхнього барабана 2 відносно нижнього барабана 3.

Зсув веденої шестерні 14 уздовж шліцевої втулки 16 здійснюється за допомогою гідравлічного циліндра 18.

Для цього одна з штокові порожнин гідравлічного циліндра 18 повідомляється зі зливом, а в іншу подається рідина під тиском.

Корпус 22 гідравлічного циліндра 18 зміщується щодо двостороннього штока 19 і, отже, верхнього барабана 2, змінюючи його кутове положення щодо нижнього барабана 3. Після налаштування гідравлічний циліндр 18 замикається в певному положенні корпусу 22 з допомогою гідросистеми і фіксує ведену шестерню 14 в осьовому напрямку на шліцеві втулці 16.

Якщо гідравлічний циліндр 18 не забезпечений додатковим вузлом фіксації корпусу 22, то всі операції з переміщення і фіксації веденої шестерні 14 можуть проводитися дистанційно і без зупинки ножиць.

Якщо гідравлічний циліндр 18 забезпечений додатковим вузлом фіксації корпусу 22, то операції зсуву веденої шестерні 14 повинні передувати зупинка ножиць, розфіксація корпусу 22, зміщення веденої шестерні 14 від гідравлічного циліндра 18 і знову фіксація корпусу 22.

З усього вищевикладеного можна зробити висновок, що описувані летючі барабанні ножиці мають більш просту конструкцію з двохопорними нижнім і верхнім барабанами, в них усунені зазори в ланцюзі "ведена шестерня - верхній барабан", що зменшило динамічні навантаження в опорі барабана, а отже, призвело до збільшення надійності роботи ножиць. Запропонована конструкція барабанних летючих ножиць дозволяє збільшити термін служби нижнього барабана за рахунок зменшення термічних тріщин в його тілі, а внаслідок цього зменшаться витрати на ремонт, збільшиться міжремонтний час і в цілому збільшиться продуктивність станів гарячої прокатки.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища.

4.1.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу, рівня механізації й автоматизації

Прокатне виробництво характеризується складністю технологічного процесу й різноманітністю механічного встаткування, що містить обертальні та рухомі деталі і механізми. В зв'язку з цим у виробничому процесі в основному мають місце небезпечні фізичні фактори. Фізико-хімічні фактори діють тільки при нагріванні металу перед прокаткою й вогневому зачищенню поверхні прокату: оксиди, хромовий ангідрид, діоксид азоту, мастила мінеральні.

Нагрівання металу в цеху здійснюється в регенеративних нагрівальних печах з різним напрямком полум'я. Конструктивні особливості нагрівальних печей виключають ймовірність вибуху газу в робочому просторі печі. Певну небезпеку представляє операція видалення шлаку з нагрівальних печей.

Для прокатного цеху характерна також велика протяжність і розкиданість обслуговуваних механізмів, що мають дистанційне керування і розташованих на висоті і в підвальних приміщеннях, що, зрозуміло, знижує видимість і чутність світлової та звукової сигналізації, ускладнює прийом попереджувальних сигналів.

При експлуатації прокатних станів можливі наступні небезпеки: захоплення валками або обертовими шпинделями і сполучними муфтами частин одягу і кінцівок вальцювальника і механічні пошкодження відлітаючими осколками металу і окалини.

При відхиленні параметрів процесу прокатки від заданих, наприклад нерівномірному нагріванні слябів і заготовок, неправильного калібрування або розточці валків, різної швидкості обертання валків, виникає нерівномірність деформації з різними проявами – викривлення розкату в горизонтальній і вертикальній площинах, руйнування металу і т. д. Викривлення решт розкату може призвести до виникнення ударів, поломки устаткування і травмування персоналу.

Прокатка на чорновому і чистовому безперервних станах супроводжується викидами часток окалини з великою швидкістю, осколків металу та бризок шлаку. Відлітаючі частинки руйнують скління постів керування і можуть травмувати операторів-вальцювальників і персонал біля станів.

Виникнення і прояв небезпечних, і шкідливі виробничих факторів ЦГПТЛ зв'язані зі специфікою технології, застосовуваного устаткування і технологічних процесів. Виробничі процеси на території різних ділянок цеху проходить в умовах підвищеної температури, і високого рівня запиленості, загазованості, значного шуму і вібрації.

У цеху спостерігається високий рівень запиленості та загазованості повітря (табл. 4.1). Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони у вигляді газів, парів і пилу не повинен перевищувати ГДК встановлені ДСТУ 12.1.005-88. При перевищенні ГДК можливі пневмосклероз, бронхіальна астма, емфізема легенів, рак дихальних шляхів. Великий вплив на організм людини надає теплове випромінювання, що виходить від нагрітого металу, а так само виникаюче у ході різноманітних термічних процесів прокатного виробництва. Величина явних тепловиділень на різноманітних дільницях цеху більше  $23 \text{ Вт/м}^3$ , тому згідно НПАОП 0,03-3,01-71 цех відносять до класу гарячих. Робочі прокатного стану піддаються періодичним впливів інфрачервоного випромінювання.

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого процесу. Професія - черговий слюсар, робоче місце – чорнова кліть.

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	2	3	4	5	6	7	
1	Шкідливі хімічні речовини:						
	1-й клас безпеки						
	Бензопірен	0,00015	0,00028	1,8			85
	2-й клас безпеки						
	оксиди Mn	0,3	1,05		3,5		89
	3-4-й клас безпеки						
	діоксид азота	5,0	20,42		4,08		82
оксид вуглецю	20,0	31,2	1,56	4,084		87	
сірководень	10,0	21,5	2,15			80	
2	Пил, переважно фіброгенної дії. мг/м <sup>3</sup>	2	3,5	1,75			82
4	Шум, дБА	80	85	5			83
8	Температура повітря, °C	27/18	30	3			80
	Термічний період випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	4000			4000	81

Кількість шкідливих факторів – 9. Із них 1 ступеня – 5; 2 ступеня – 3; 3 ступеня – 1.

1. Гігієнічна оцінка умов праці – III клас 3 ступеню
2. Оцінка технічного і організаційного рівня – робоче місце відповідне технологічній документації і проекту організації робіт.
3. Атестація робочого місця – відноситься до шкідливих, що відповідає списку № 1.

4. Пільги та компенсації: пенсія за списком №1, надбавка до зарплати – до 24%, додаткова відпустка – 15 діб.

Вплив на організм теплового випромінювання вище встановлених норм викликає порушення теплового балансу організму, теплові удари, опіки і більш важкі травми.

У ЦГПТЛ широко використовуються електроустановки, тому можливі різного ступеня тяжкості електротравми, виникнення опіків різного ступеня, внутрішніх пошкоджень і крововиливів.

#### 4.1.2 Заходи щодо захисту від виявлених небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Наведена вище характеристика основних шкідливих і небезпечних факторів змушує звернути увагу на проведення наступних заходів щодо оздоровлення умов праці:

- автоматизація технологічного процесу;
- обдування робочих місць за рахунок подачі охолодженого повітря;
- механізація трудомістких робіт;
- заземлення всіх металевих частин електроустаткування;
- застосування звукобійного облицювання;
- застосування захисних кожухів і екранів.

Організаційні заходи:

- планові перевірки ізоляції електроприладів виконавчих механізмів;
- проведення поточних інструктажів з техніки безпеки.

Заходи захисту від її шкідливих чинників:

1. Запиленість – витяжна вентиляція, респіратор – Росток, Тополь.



2. Загазованість – універсальні респіратори: «Тополь», РУ-60.
3. Шум – беруши, протишумні шоломи.

## 4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

### 4.2.1 Мікроклімат

Вентиляція це система заходів і обладнань, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робітників, допустимих метеорологічних умов і чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природню й механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи її кількість у повітрі, усе встаткування закрите зонтами (витяжна вентиляція), з'єднаними за допомогою повітряводів з обладнаннями газопило очищення.

Також у прольоті прокатних станів використовують природню вентиляцію повітря. У такому виді вентиляції повітря надходить і віддається через жалюзійні отвори і ліхтарі на криші будівлі цеху.

Опалення побутових приміщень і цеху здійснюється за допомогою панелей (батарей) у яких як теплоносії використовують пару, що поступає від цеху тепловодопостачання.

Ефективним засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідних до вимог БНіП передбачена вентиляція деяких робочих місць.

Допустимі параметри мікроклімату (ДСН 3.3.6.042-99) для робіт середньої важкості II б, теплий період року: температура, °С – 15/27; відносна вологість, % - 70 при  $t = 25^{\circ}\text{C}$ , швидкість руху повітря, м/с -  $V = 0,5-0,2$ .

### 4.2. 2 Освітлення виробничих приміщень

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й працездатності око й може бути причиною нещасних випадків і їх захворювань.(ДБН В.2.2.5-28-2006)

Характеристика приміщення чорнових клітей:

- характер робіт	середня точність
- розмір об'єкта розпізнавання, мм	(від 0,5 до 1)
- розряд зорової роботи	IV
- підрозряд роботи	B
- контрастність об'єкта розпізнавання	середня
- фон	середнє
- освітленість - $E_H$ –штучна,лк	300

Для ремонту встаткування передбачене штучне висвітлення.

На промислових підприємствах штучне висвітлення підрозділяється на робоче ( для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природнього висвітлення), аварійне ( для проведення роботи при аварійнім відключенні робочого висвітлення), евакуаційне (аварійне висвітлення для евакуації людей із приміщення при аварійнім відключенні робочого висвітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того або іншого виду висвітлення може використовуватися для чергового висвітлення.

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

Згідно ДБН і БНіП для приміщень, у яких проводяться роботи 6 розряду, тобто спостереження за ходом виробничого процесу, передбачається сполучене висвітлення.

Природне висвітлення нормується. Основним показником нормування служить коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Місто Запоріжжя перебуває в 4 поясі світлового клімату, тому КПО для нього буде обчислюватися по формулі:

$$KPO_{ln}^4 = KPO_{ln}^3 \cdot m \cdot e = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1,38\%, \quad (4.2)$$

де:  $KPO_{ln}^3$  - значення КПО для 3 поясу світлового клімату;

$m$  – коефіцієнт світлового клімату;

$e$  – коефіцієнт сонячності клімату.

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

В якості лам встановлюють світлодіоди типу LED, потужністю до 100Вт, світильники «Астра».

#### 4.2.3 Виробничий шум, виробнича вібрація

По походженню шум буває механічний, що виникає в результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на неодруженому й робочому ході; аерогідродинамічній, що виникає при більших швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, що виникає в результаті зіткнення твердих тіл; термічний, генеруючий при згорянні газоподібного палива в горілочних і форсуночних приладах.

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, який 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; демпфірують коливання сумісноударних 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 усі агрегати, що створюють вібрації (робочі машини, двигуни, вентилятори й т.п.), встановлюють на самостійних фундаментах, віброізолюючих від підлоги й інших конструкцій будинків, або на спеціально розрахованих амортизаторах зі сталевих пружин або пружних матеріалів. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по повітряводам і трубопроводам приєднання їх до вентиляторів і насосам проводиться за допомогою гнучкої вставки із прогумованої тканини або гумового патрубку.

#### 4.2.4 Пожежна безпека

Все виробництва згідно з будівельними нормами і правилами ДБН В1.1-7.2002 залежно від ступеня пожежної небезпеки поділяються на категорії А, Б, В, Г, Д. ЦГПТЛ відноситься до категорії пожежної небезпеки Г, пов'язані з обробкою негорючих речовин і матеріалів в гарячому, розжареному або розплавленому стані, і супроводжується виділенням тепла, систематичним виділенням іскор та полум'я.

При пожежі в електроустановках, які знаходяться під напругою застосовують порошки. Для гасіння пожеж на підприємствах споруджено мережу зовнішнього та внутрішнього протипожежного водопроводу, що складається із запасних резервуарів, насосної станції, водозабірних споруд, трас

трубопроводу, на яких через кожні 100 м розміщують пожежний гідрант. Внутрішній пожежний водопровід живиться від мережі зовнішнього водопроводу. Внутрішні пожежні крани для подачі води встановлених в шафках на площадках сходових кліток, у коридорах, обладнані пожежним рукавом завдовжки 10-20 м, пожежним стволом з сприском. До апаратів газового пожежогасіння належить пересувний вуглекислотний вогнегасник типу ВВ, ВП, призначений для гасіння палаючих матеріалів. Так само використовують ручні повітряно-пінні вогнегасники ВВП-5, ВВП-10.

У цеху є протипожежний інвентар у вигляді ящиків з сухим піском (не менше 5м<sup>3</sup>), щити з вогнегасниками, пожежними відрами, лопатами, баграми, ломами, шланги для кранів. Використання пожежного інвентарю та обладнання для господарських та інших потреб не зв'язних з пожежогасінням забороняється. Ступінь вогнестійкості – III, межа -0,25...2 години.

#### 4.2.5 Електробезпека

Тяжкість ураження електричним струмом залежить від цілого ряду чинників: значення сили струму, електричного опору тіла людини і тривалості протікання через нього струму, шляху струму, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини і умов навколишнього середовища,

Електричний опір організму людини падає при збільшенні струму і тривалості його проходження внаслідок посилення місцевого нагріву шкіри, що приводить до розширення судин, а, отже, до посилення постачання цієї ділянки кров'ю і збільшення виділення поту.

В цеху використовують напругу до 100 В (220,380 В).

Згідно з вимогами нормативних документів, безпека електроустановок забезпечується наступними основними заходами:

- 1) недоступністю струмоведучих частин;

- 2) належної, а в окремих випадках підвищену (подвійний) ізоляцією;
- 3) заземленням або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою;
- 4) надійним і швидкодіючим автоматичним захисним відключенням;
- 5) застосуванням знижених напруг (42 В і нижче) для живлення переносних струмоприймачів;

Засоби індивідуального захисту поділяються на ізолюючі, допоміжні та огорожувальні.

В цеху діють ізолюючі захисні засоби забезпечують електричну ізоляцію людини від струмоведучих частин і землі. Вони поділяються на основні (діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками) і додаткові (діелектричні калоші, килимки, підставки, спецодяг, особливо взуття).

До допоміжних можна віднести окуляри, протигази, маски, призначені для захисту від світлових, теплових і механічних впливів.

До огорожувальних відносяться переносні щити, клітки, ізолюючі підкладки, переносні заземлення і плакати. Вони призначені в основному для тимчасового огороження струмовідних частин, до яких можливо дотик працюючих.

#### 4.2.6 Виробничі випромінювання

Температурний режим у виробничих приміщеннях або в ізольованих його частинах залежить від величини тепловиділень устаткування, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів і готової продукції, а також від сонячної радіації, що проникає в цех через відкриті й засклені прорізи. Частина тепла, що зробив у цех, віддається назовні, а решта, так зване явне або надлишкове тепло, нагріває повітря робочих приміщень. Температура сяєбів до 600°C.

Робітники ЦГПТЛ постійно або періодично зазнають впливу інфрачервоного випромінювання (до  $4000 \text{ Вт/м}^2$  при нормі  $140 \text{ Вт/м}^2$ ). Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання й відстані від нього змінюється в широких межах.

Для поліпшення умов праці в гарячих цехах і захисту працюючих від теплового впливу застосовують наступні способи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджувальних екранів, рам, щитів, завіс і ін.; теплоізоляцію й охолодження робочих місць (постів керування, кабін машиністів кранів і ін.); природню й механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнених просторів печей, що перебувають у ремонті; водороспилення на робочих місцях і в приточних віконних прорізах; спецодяг і захисні щитки; 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.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь» показало, що барабанні летючі ножиці, які встановлені між чорною і чистою групою клітей стану, не забезпечують якісного різання штаби товщиною більше 6 мм, ножиці не дозволяють регулювати швидкість в процесі різання для регулювання температури по довжині штаби, а фізичний знос устаткування ножиць суттєво впливає на збільшення виробничих витрат.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що для підвищення надійності ножиць необхідно мати повну уяву про протікання процесу різання та отримати закономірності впливу параметрів ріжучої машини на енергосилові показники процесу різання та якість листового металопрокату.
3. За результатами моделювання встановлено, що в процесі різання тонколистових штаб на летючих ножицях в гарячому стані нижній ніж навантажений більшим крутним моментом, ніж верхній. Показано, що наявність сил зовнішнього опору практично не впливає на радіальне зусилля, що діє на ніж, але, в той же час, призводить до збільшення крутних моментів на ножах до повної зупинки розкату. Відзначено, що при визначенні проектних навантажень необхідно враховувати межу міцності матеріалу і коефіцієнт тертя.
4. Врахування пружної деформації станини ножиць в ході математичного моделювання дозволяє наблизити результати теоретичних рішень до експериментальних і розширити уявлення про хід процесу різання; стадія вмінання ножів в метал супроводжується пружною деформацією станини ножиць, що впливає на характер наростання сили різання; на



етапі вмивання спостерігається зростання сили різання, проте впровадження ножів в метал збільшується незначно; необхідні додаткові експериментальні та теоретичні дослідження з метою уточнення механічних і пластичних властивостей металів в гарячому стані.

5. Запропонована модернізація дозволяє збільшити термін служби нижнього барабана за рахунок зменшення термічних тріщин в його тілі, а внаслідок цього зменшаться витрати на ремонт, збільшиться міжремонтний час і в цілому збільшиться продуктивність станів гарячої прокатки. Отримані результати рекомендуються для ознайомлення і впровадження металургійними і машинобудівними підприємствами галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боровик П. В. Розвиток методів чисельного моделювання процесів різання металу на дискових ножицях. Збірник наукових праць Донбаської державної машинобудівної академії. Алчевськ, 2006. – Вип. 22. – С. 166-172.
2. Виробництво прокату в листопрокатному цеху N 3 (стан 2000) АТ Новолипецький металургійний комбінат (АТ НЛМК). Технологічна інструкція ТІ 106-ПГЛ. 3-01-96. Липецьк, 1996, 71 с.
3. Білоусов А.Ф. та ін. Летючі ножиці з механізмом вирівнювання швидкостей ножів. Сталь, 1988, N 6, с. 54-56.
4. Пат. 104285 Україна, МПК В23D35/00. Ніж шевронний / Коваленко В.І., Барабаш А.В., Калашников А.А., та ін.; заявник і патентовласник ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» – №201506097; заявл. 19.06.2015, опубл. 25.01.2016, Бюл №2
5. Куваєв В. М., Новодранова Н.О. Модель розрізання прокату барабаними летючими ножицями .Теория и практика металлургии. Днепр, 2017. –№ 1-2 (108- 109) – С. 67–70.
6. В.Д.Шейнкман і ін. Сучасні напрямки розвитку конструкцій летючих ножиць для різання жерсті. Збірник наукових праць ВНИИМЕТМАШ. Дослідження і вдосконалення процесів і машин для обробки прокату, М., 1990, с.107-108
7. Боровик П. В., Луценко В.А. Вибір апроксимації механічних властивостей при математичному моделюванні процесу гарячої різки на ножицях. Металургічні процеси і обладнання.– Донецьк, – 2011, – 2(24) – С. 5-9.
8. Боровік П. В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів: Навч. Посіб. Алчевськ: ДонДТУ, 2012. – 170 с.

9. Kuzmenko M. The choice of the rational structure model of intervals between rolling mills on continuous light-section rolling mill / O. Potap, O. Boyko, M. Kuzmenko, V. Dudkina // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №1-2. – С. 117-119
10. Кузьменко М.Ю. Автоматичне управління режимом прокатки з натягом на основі зміни струму якоря двигунів приводів валків / М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров, В.Б. Зворикін, О.І. Михальов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. –2017. – Випуск 5 (112). – С. 108-118.
11. Кузьменко М.Ю. Вибір раціональної структури моделі міжклітьового проміжку дрібносортного безперервного прокатного стану / М.Ю. Кузьменко, О.Ю. Потап, О.А. Бойко, В.В. Дудкіна // «Теория и практика металлургии» №1-2, Дніпро, 2015. - с. 114-116.
12. Kuzmenko M. Optimization of setting process of continuous sheet rolling / Mikhail Kuzmenko, Volodymyr Egorov, Olexandr Egorov, Oleg Potap, Olexandr Kryachko, Volodymyr Kuvaev // «Metallurgical and Mining Industry» №6, Dnipro, 2016. – s.15-19
13. Experimental and numerical studies for the forming groove and separating groove design in slit rolling process / D. H. Na, S. H. Cho, Y. Lee // Journal of Mechanical Science and Technology, 2011/ – №25 (9). – P. 2439-2446
14. Кузьменко М.Ю. Дослідження налаштування листового стану за енергетичним критерієм на комп'ютерній моделі / М.Ю. Кузьменко, О.П. Єгоров, О.Ю. Потап, В.О. Кузюков, О.П. Крячко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2017. –№2. –С. 83-81.
15. Патент на корисну модель №19194. Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортного стану / Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., Бешта О.С., Куваєв В.М., Політов І.В.; - № u201400580; Заяв. 21.01.2014; Опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12.

16. Боровік П. В. Задача оптимізації профілювання фасонного ножа / П. В. Боровік // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – № 12 (1337). – С. 15-19.
17. Пат. 63571 Україна, МПК В23D19/00. Дискові ножиці / Боровік П. В., Селезньов М.Є.; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – №201103732; заявл. 28.03.11; опубл. 10.10.11, Бюл. №19.
18. Патент на винахід №107908. Спосіб управління розкром прокату на безперервному дрібносортному стані/ Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., Бешта О.С., Куваєв В.М., Політов І.В.; - №a201406350; Заяв. 10.06.2014; Опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.
19. Патент на винахід №107536. Система автоматичного керування вирівнюванням прокату на холодильнику дрібносортного стана / Потап О.Ю., Єгоров О.П., Кузьменко М.Ю., Бешта О.С., Куваєв В.М., Політов І.В.; - №a201314423; Заяв. 09.12.2013; Опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1
20. Пат. 72820 Україна, МПК В23D19/00. Спосіб розташування дискових ножиць в потоці прокатного стану / Боровік П. В., Селезньов М.Є.; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – №201202702; заявл. 06.03.2012, опубл. 27.08.2012, Бюл №16.
21. Пат. 87339 Україна, МПК В23D19/00. Спосіб подачі листа в дискові ножиці гарячого різання / Боровік П. В., Селезньов М.Є.; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – №201306139; заявл. 17.05.2013, опубл. 10.02.2014, Бюл №3.
22. Пат. 90094 Україна, МПК В23D35/00. Комплект ножів для поперечного різання листового матеріалу / Боровік П. В., Селезньов М.Є.; заявники і 416 патентовласники Боровік П. В., Селезньов М.Є. – №201314896; заявл. 19.12.2013, опубл. 12.05.2014, Бюл №9.

23. Пат. 90095 Україна, МПК В23D35/00. Комплект ножів для поперечного різання листового матеріалу / Боровік П. В., Селезньов М.Є.; заявники і патентовласники Боровік П. В., Селезньов М.Є. – №201314897; заявл. 19.12.2013, опубл. 12.05.2014, Бюл №9.
24. Пат. 104285 Україна, МПК В23D35/00. Ніж шевронний / Коваленко В.І., Барабаш А.В., Калашников А.А., та ін.; заявник і патентовласник ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» – №201506097; заявл. 19.06.2015, опубл. 25.01.2016, Бюл №2.
25. Пат. 122009 Україна, МПК В23D19/00. Спосіб розташування дискових ножиць в потоці прокатного стана / Боровік П. В.; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – №201706423; заявл. 23.06.2017, опубл. 26.12.2017, Бюл №24.
26. Пат. 122024 Україна, МПК В23D35/00, В23F7/00. Спосіб поперечного різання листового матеріалу ножицями з шевронним ножем / Боровік П. В.; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – №201706464; заявл. 23.06.2017, опубл. 26.12.2017, Бюл №24.
27. Кузьмичов А. І. Оптимізаційні методи і моделі: практикум в Excel: Навч. посіб. / А. І. Кузьмичов – К.: ВПЦ АМУ, 2013. – 438 с.
28. Металопродукція. Методи вимірювання відхилів форми : ДСТУ 6026:2008 / ГОСТ 26677-2008. – Чинний від 2013-01-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 23 с. – (Держспоживстандарт України).
29. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін.. Основи охорони праці: Підручник. – 2-ге вид., допов. і перероб. – К.: Основа, 2006. – 444 с.
30. Протоєрейський О.С., Запорожець О.І. Охорона праці в галузі: Навч. посіб. К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 268 с.

СПИСОК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ			
№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Барабанні летючі ножиці. Загальний вид	2	A1
2	Диференціальний редуктор. Складальне креслення	2	A1
3	Станина ножиць з супортами. Складальне креслення	1	A1
4	Головний привід ножиць. Складальне креслення	2	A1
5	Плакат дослідницької частини	2	A1

## ДОДАТКИ