

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Удосконалення технології холодного прокатування штаб з
урахуванням анізотропії пластичної течії низьковуглецевих сталей

Виконав: студент II курсу, групи 8.1361-омт
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

О.Є. Сагулякін

(ініціали та прізвище)

Керівник

доц. каф. МТЕТБ, с.н.с., к.т.н. В.М. Проценко

Рецензент

доц. каф. МТЕТБ, доц, к.т.н. А.В. Явтушенко

Запоріжжя – 2022 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
Спеціальність 136 «Металургія»
(код та назва)
Освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 08 ” 09 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Сагулякіну Олександрю Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Удосконалення технології холодного прокатування штаб з урахуванням анізотропії пластичної течії низьковуглецевих сталей**

керівник роботи (проекту) Проценко Віктор Максимович, к.т.н., с.н.с.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 06. 22 р. № 597-с

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Пічна частина. Організація виробництва. Заходи з поліпшення умов праці при виробництві холоднокатаних штаб.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідження анізотропії пластичної течії металу, зменшення енерговитрат і підвищення якості продукції, зниження поломок підшипників кочення робочих валків при прокатуванні штаб на реверсивному стані 1680 шляхом застосування валкового вузла кліті кварто з

несиметричним процесом прокатки, в якому осі робочих валків зміщені відносно осі опорних валків у протилежних напрямках.

Визначити основні тенденції розвитку і удосконалення технології виробництва штаб, заходи щодо забезпечення економії енергії і якості при виробництві. Розробити технічні рішення щодо підвищення якості продукції і зменшення енерговитрат. Вивчити анізотропію пластичної течії металу. Виконати розрахунки вигину валків при прокатуванні, розрахунки валків кліті кварто на міцність і деформацію. Проаналізувати організацію робіт на ділянці, потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори і розробити заходи щодо захисту від них.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схеми сучасних станів для холодної прокатки штаб, креслення основних видів кліті кварто, технологічна схема ЦХП-1, травильного відділення, розміщення обладнання в цеху, вигин валків в процесі прокатки, схеми до розрахунку валків кліті кварто на міцність і деформацію.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–6, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання 08.09.2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, загальна частина.	12.09.22 – 13.10.22	
2.	Спеціальна, механічна і пічна частини.	17.10.22 – 18.11.22	
3.	Організація виробництва, охорона праці, висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	21.11.22 – 09.12.22	

Студент

(підпис)

Сагулякін О.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Проценко В.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

Явтушенко А.В.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка бакалаврської роботи містить: 126 с., 41 рис., 24 табл.; використано літературних джерела 32.

Об'єкт дослідження – реверсивний стан холодної прокатки 1680 металургійного заводу ПАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи – дослідження анізотропії пластичної течії металу, зменшення енерговитрат і підвищення якості продукції, зниження поломок підшипників кочення робочих валків при прокатуванні штаб на реверсивному стані 1680 шляхом застосування валкового вузла кліті кварто з несиметричним процесом прокатки, в якому осі робочих валків зміщені відносно осі опорних валків у протилежних напрямках.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмному комплексі Mathcad Prime 8. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020.

Отримані результати і їх новизна – встановлено, що застосування валкового вузла кліті кварто з несиметричним процесом прокатки, в якому осі робочих валків зміщені відносно осі опорних валків у протилежних напрямках, забезпечить поліпшення якості прокатуваних штаб, зниження силових навантажень і енерговитрат при прокатуванні, зниження поломок підшипників кочення робочих валків. Розроблено алгоритм і програму розрахунку тензорних фізичних властивостей анізотропного матеріалу.

Отримані результати рекомендуються для впровадження на реверсивному стані холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» з метою зменшення енерговитрат, підвищення якості продукції, зниження поломок підшипників кочення робочих валків.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, ПЛОЩИННІСТЬ ШТАБИ, АНІЗОТРОПІЯ, НАПРУЖЕННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, РЕВЕРСИВНИЙ СТАН, КЛІТЬ КВАРТО, НЕСИМЕТРИЧНА ПРОКАТКА, МОДЕЛЮВАННЯ.

Abstract

The explanatory note of the bachelor thesis contains: 126 pages, 41 figures, 24 tables; 32 literary sources were used.

The object of research is the reversible state of cold rolling 1680 of the Zaporizhstal PJSC metallurgical plant.

The purpose of the work is to study the anisotropy of the plastic flow of metal, reduce energy consumption and improve the quality of products, reduce the breakdown of rolling bearings of work rolls when rolling the headquarters on a reversible mill 1680 by using a rolling assembly of a quarto cage with an asymmetric rolling process, in which the axes of the work rolls are shifted relative to the axis of the support rolls in opposite directions.

Calculation methods – standard calculation methods in the Mathcad Prime 8 software complex. Calculations and computer modeling in the CAD system AutoCAD Mechanical 2020.

The obtained results and their novelty - it was established that the use of a quarto cage rolling unit with an asymmetric rolling process, in which the axes of the working rolls are shifted relative to the axis of the support rolls in opposite directions, will ensure an improvement in the quality of the rolled bars, a reduction in force loads and energy consumption during rolling, and a reduction in bearing breakdowns rolling of work rolls. An algorithm and a program for calculating the tensor physical properties of an anisotropic material have been developed.

The obtained results are recommended for implementation on the reverse cold rolling mill of Zaporizhstal PJSC with the aim of reducing energy consumption, improving product quality, and reducing rolling bearing breakdowns of work rolls.

COLD ROLLING, SHAFT PLANE, ANISOTROPY, STRESS, DEFORMATION, REVERSIBLE STATE, QUARTO WELL, UNSYMMETRICAL ROLLING, SIMULATION.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	10
1.1 Характеристика цеху холодної прокатки ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»	10
1.2 Технологія виробництва тонколистового прокату	12
1.3 Технологічний процес прокатки на реверсивному стані 1680	17
1.4 Технологічна характеристика основного устаткування реверсивного стана холодної прокатки 1680	21
1.5 Дослідження анізотропії пластичної течії металу	32
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	55
2.1 Вступ	55
2.2 Новий комплект валків для кліти кварто	55
2.3 Особливості прокатки штаб на реверсивному стані з взаємним зсувом робочих валків	60
2.4 Заходи щодо реконструкції реверсивного стана 1680	63
2.5 Визначення вигину валків в процесі прокатування штаб	65
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	74
3.1 Розрахунок робочих і опорних валків кліти кварто на міцність і деформацію	74
4 ПІЧНА ЧАСТИНА	84
4.1 Одноступні газові ковпакові печі	85
4.2 Захисна атмосфера	90
5 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА	93
5.1 Організація робіт на ділянці	93
5.2 Розрахунок штату робітників	96
5.3 Система оплати праці робочих ділянки	97
5.4 Розрахунок річного фонду оплати праці робітників	99

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	102
6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів процесів виробництва	102
6.2 Розробка заходів захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів	106
6.3 Електробезпека	107
6.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки	111
ВИСНОВКИ	116
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	119
Додаток А – Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи	122

ВСТУП

Одною з найважливіших галузей промисловості України є чорна металургія. Незважаючи на розвиток нових матеріалів, наприклад, пластиків, кераміки, сталь зберігає роль основного конструкційного матеріалу.

Прокатне виробництво є кінцевим етапом всього металургійного циклу. Через прокатні цехи проходить близько 85 – 95% всього виплавленого металу. Прокатна продукція використовується практично у всіх галузях промисловості країни у вигляді готових виробів, або у вигляді заготовок для подальших переділів.

Публічне акціонерне товариство металургійний комбінат «Запоріжсталь» – один з найбільших індустріальних гігантів країни, продукція якого добре відома в багатьох країнах світу. Комбінат є виробником високоякісної металопродукції – чавуну, сталі, листового прокату, жерсті, гнутих профілів, будівельних матеріалів, товарів народного споживання [1].

Спираючись на багаторічний досвід свого розвитку, враховуючи неухильно зростаючі вимоги до якості продукції, а також світові тенденції розвитку металургії, на комбінаті постійно проводиться вдосконалення технологічних процесів і модернізація устаткування. Це дозволяє забезпечити виробництво продукції в повній відповідності до вимог національних і зарубіжних стандартів і успішно конкурувати з провідними металовиробниками на світовому ринку.

На ПАТ «Запоріжсталь» розроблена і впроваджується програма розвитку і вдосконалення виробничих потужностей, зокрема:

- 1) Реконструкція цеху холодної прокатки № 1 щодо холоднокатаного металу.
- 2) Реконструкція відділення білої жерсті з установкою сучасного обладнання для виробництва жерсті.

Висока якість продукції комбінату «Запоріжсталь» дозволяє мати постійних споживачів і розширювати географію поставок продукції.

Стани холодної прокатки служать для прокатки металів у холодному стані, тобто без нагрівання металу перед прокаткою. До цього способу обробки прибігають, коли необхідно одержати тонку стрічку, гладку блискучу поверхню штаби або стрічки, високу точність розмірів стрічки по перетину, більш високий ступінь однорідності властивостей металу. У процесі холодної прокатки можна в широкому діапазоні регулювати механічні властивості матеріалу вибором відповідних обтиснень і термічної обробки. Холодна прокатка металів одержала широкий розвиток, а холоднокатаний метал – широке застосування в багатьох галузях народного господарства [2].

Задачею металургії і машинобудування на перспективний період є вдосконалення традиційних і створення нових технологічних процесів, заснованих на принципах безперервності потоку і поєднання в єдині металургійні комплекси. Це забезпечить зростання виробництва і підвищення якості готового прокату при зниженні капітальних і поточних витрат на одиницю продукції, збільшення продуктивності праці з урахуванням захисту повітряного і водного басейнів.

Холоднокатану сталь одержують на неперервних і реверсивних станах. Сучасні неперервні стани мають у своєму составі 4-6 робочих клітей кварто й забезпечують прокатку штаб товщиною 0,1-3,8 мм. Продуктивність неперервних станів холодної прокатки досягає 1,5-2,5 млн. т у рік. При меншому обсязі виробництва (150-300 тис. тон на рік) встановлюють реверсивні стани, що відрізняються великою гнучкістю в роботі. Таким чином, тема проекту є актуальною.

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є вирішення важливої задачі – дослідження анізотропії пластичної течії металу, зменшення енерговитрат і підвищення якості продукції, зниження поломок підшипників кочення робочих валків при прокатуванні штаб на реверсивному стані 1680 шляхом застосування валкового вузла кліті кварто з несиметричним процесом прокатки, в якому осі робочих валків зміщені відносно осі опорних валків у протилежних напрямках.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика цеху холодної прокатки ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Цех холодної прокатки № 1 (ЦХП-1) призначений для виготовлення холоднокатаних листів та штаб з вуглецевої і легованої сталі розмірами:

- листи холоднокатані: 0,5 – 2,0×850 – 1500×1400 – 3800 мм;
- листи гарячекатані труєні: 1,0 – 3,0×1000 – 1500×1800 – 4200 мм;
- штаба холоднокатана в рулонах: 0,5 – 2,0×850 – 1550 мм.

У цеху холодної прокатки на неперервному чотирьохкільтовому стані 1680, двох однокільтових реверсивних станах 1680 і 1200 і двох неперервних вузькоштабових чотирьохкільтових станах 450 і 650 виробляється холоднокатаний лист, штаба і стрічка з вуглецевої, низьколегованої і легованої сталі.

Цех оснащений обладнанням для дресування, поперечного і подовжнього різання, що забезпечує постачання холоднокатаного прокату товщиною від 0,2 до 2,0 мм, шириною від 10 до 1500 мм і довжиною листа до 4000 мм, а також рулонів масою до 14,0 тон.

Цех складається з наступних відділень: травильне, прокатне, термічне, дресувальне, відділення жерсті. Схема цеху представлена на рис. 1.1.

Травильне відділення призначене для видалення окалини.

Прокатне відділення призначене для прокатки металу на задану товщину. До складу прокатного відділення входять неперервний чотирьохкільтовий стан 1680, а також реверсивні стани 1680 і 1200, і ділянка підготовки валків.

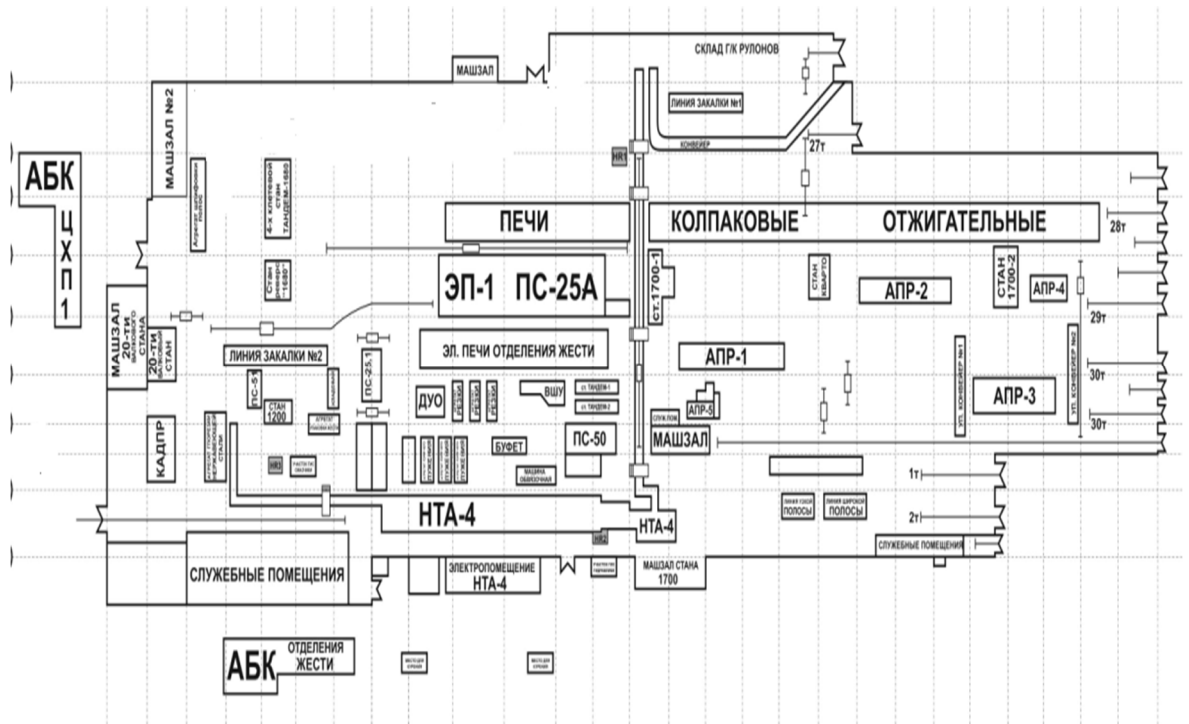


Рисунок 1.1 – План цеху холодної прокатки ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Неперервний чотирьохклітьовий стан 1680 складається з 4-х послідовно розташованих клітей кварто, що мають у своєму складі два опорних і два робочих валка, а також допоміжного обладнання: провідного прийомного пристрою, поворотного столу, розмотувача, моталки барабанного типу та ін. Реверсивний стан 1680 складається з кліті кварто й обслуговуючого її устаткування: конвеєра, що підводить рулони, перекидача, розмотувача, моталки. Реверсивний стан 1200 складається з 4-х валкової кліті й допоміжного устаткування, розмотувача, правильно - тягнучої машини, плоского проводкового столу, двох моталок.

У термічному відділенні проводиться відпал холоднокатаних рулонів в одностопних ковпакових печах, у захисній атмосфері азоту і водню.

Максимальна вага садки – 52 т (3 – 5 рулонів). У відділенні встановлено 249 стендів, які згруповані у 16 блоків. Блоки мають автономну систему подачі природного і захисного газів, повітря, води, електроенергії. Кожен стенд обладнаний циркуляційним вентилятором для створення конвекції захисного газу під муфелем. Також печі обладнані контрольно - вимірювальною

апаратурою, що забезпечує задані режими відпалу. У 2006 році введені в експлуатацію 18 нових термічних печей фірми «Ебнер», у яких здійснюється відпал листового прокату для надання йому більш високих якісних характеристик. Нові печі дозволяють випускати автомобільний лист. У цих печах відпал прокату здійснюється в середовищі сухого водню, що забезпечує такі механічні властивості, як висока чистота поверхні, пластичність і висока корозійна стійкість. У цілому за рік у нових печах фірми "Ебнер" відпалюється до 300 тисяч тон прокату.

Дресирувальне відділення складається з двох дресирувальних станів 1700 – 1 і 1700 - 2, трьох агрегатів поперечного різання АПР-1, АПР-2, АПР-3 і одного агрегату поздовжнього різання АПР-4, стану «кварто» і двох конвеєрів для упакування пачок металу. Дресировання забезпечує поверхневий наклеп, зменшення коробоватості і хвилястості.

Відділення жерсті складається з наступних ділянок: термічного, прокатного, що складається з двох неперервних чотирьохкільтьових станів 450 і 650.

Ділянка підготовки прокатних валків містить у собі два верстати для обдирання і два верстати для шліфування валків, машину для насічки поверхні, площадки для ревізії подушок і підшипників і стелажі зборки – розбирання валків.

1.2 Технологія виробництва тонколистового прокату

Усі технологічні переділи виробництва холоднокатаних листів і штаб з вуглецевих сталей істотно впливають на якість і властивості готової продукції. Так, при виплавці сталі повинні строго дотримувати хімічний склад. Розливання повинне здійснюватися так, щоб виключити утворення поверхневих дефектів на зливку, неметалічних включень усередині зливка і, отже, властивостей по всьому об'єму зливка. Тому в даний час розливання сталі, призначеної для виробництва прокату, часто здійснюється безупинним

способом на машинах безперервного лиття заготовок. Поряд з вирівнюванням властивостей досягається збільшення продуктивності, більш високий ступінь автоматизації, зниження видаткового коефіцієнта.

Структура, механічні властивості і геометрія листової сталі значною мірою закладаються при гарячому прокатуванні на неперервному широкоштабовому стані відповідним підбором деформаційних і температурно - швидкісних умов прокатки. Сучасні неперервні широкоштабові стани забезпечують можливість гарячої прокатки з прискоренням, що дозволяє стабілізувати температуру прокатки і значною мірою структуру і властивості по довжині розкату.

Технологія цеху холодної прокатки надзвичайно різноманітна і складна: вона включає наступні найважливіші технологічні операції: травлення, прокатку, відпал, дресирування, нанесення покриттів, різання й упакування.

Для видалення окалини з поверхні штаб використовують лінію соляно-кислотного травлення НТА № 4, яка була побудована у 2014 році. Схема НТА-4 представлена на рис. 1.1.

Травленню на НТА-4 підлягають гарячекатані рулоні, що надійшли з ЦГПТЛ наступних розмірів 1,0 – 6,0×850 – 1500 мм з вуглецевих сталей типу 0,8 – 20кп(пс), Ст5пс, 08Ю, 45, 55 тощо.

Перелік технологічних операцій на НТА-4:

1. Основні операції: правка і механічна очистка штаби від окалини, травлення штаби в соляно – кислотних розчинах, змив розчинів та сушіння штаби.

2. Допоміжні операції: вимірювання діаметру рулону та горизонтальне вирівнювання його перед травленням, вирізання передніх та задніх некондиційних кінців рулону, обрізання кромки протравленої штаби, вирізання частини зварки кінців штаби, маркування протравленої штаби, зважування протравлених рулонів.

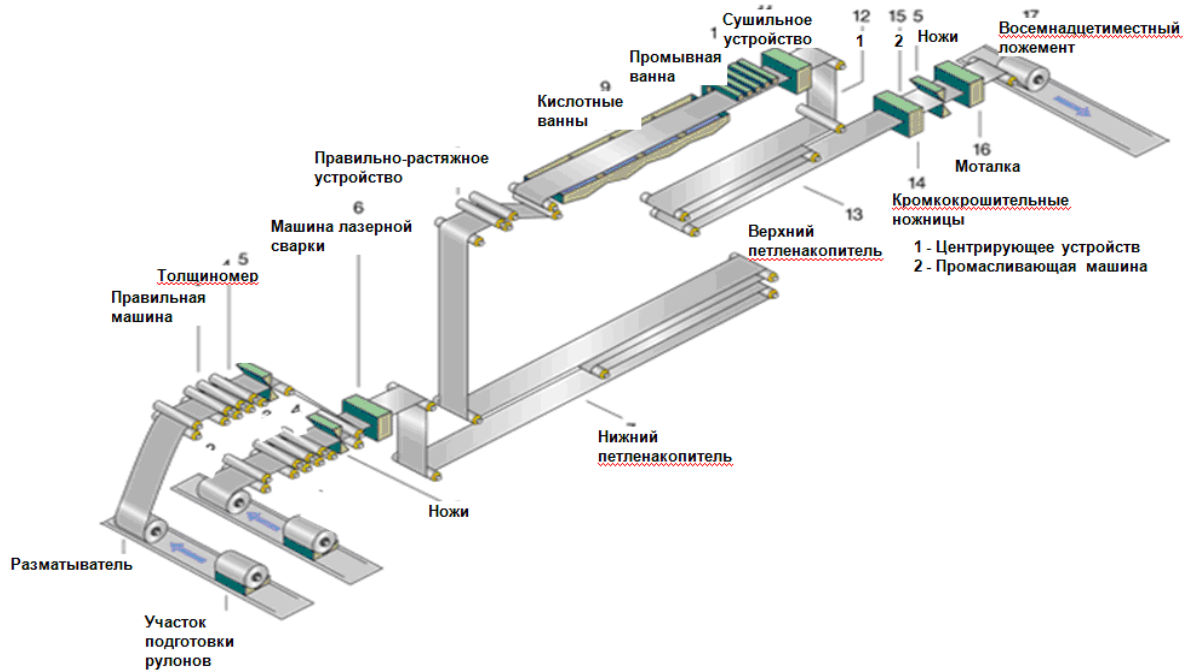


Рисунок 1.1 – Схема технологической линии непрерывного травильного агрегата НТА-4

Технологія холодної прокатки передбачає вибір сумарного ступеня обтиснення, що визначає структуру і властивості штаби після прокатки (розподіл міжклітьових натягів, сумарного обтиску і профілювань валків по клітям, швидкості прокатки). Це забезпечує якість штаби за геометрією, стійкості процесу прокатки і продуктивність стана, а також визначення послідовності операцій, необхідних для відповідного режиму прокатки, налаштування устаткування і проводки штаби через стан.

Режими прокатки задаються оператором УВМ, що розраховує відповідне налаштування стану. Розрахунок здійснюється завчасно до входу штаби у стан. Оператор має можливість скорегувати режими прокатки.

Сталі IV – V груп мають великий вміст вуглецю і більш високу границю текучості. Щоб уникнути перевантаження устаткування й обривши штаби рулони прокатуються на знижених швидкостях. При прокатуванні штаб зі сталей IV групи швидкість знижується на 15%, а для сталей групи V – на 25 %.

Для зменшення коефіцієнта тертя при прокатуванні і, як результат, зменшення зусилля прокатки, на штабу подається змащення. Для цього застосовують емульсію, виготовлену на емульсорі, пальмову олію тощо.

На станах холодної прокатки системи змащення працюють по замкнутому циклі. Після використання залишки емульсії направляють у збірники для повторного використання. На стан емульсію подають насосними установками, для очищення емульсії застосовуються фільтри і магнітні сепаратори, для охолодження емульсії використовують охолоджувачі.

Поряд з достатньою міцністю валки станів холодної прокатки повинні мати високу твердість, яка б забезпечила одержання листової сталі з чистою і гладкою поверхнею. Валки часто перешліфовують. Практично допускається зменшення діаметра валків на 3 – 5 %. Робочі валки виходять з ладу внаслідок природного зносу загартованого шару – викрашування, наварів, порізів, надавів і іноді через поломки. Точність прокатки холоднокатаних листів, як і гарячекатаних, оцінюють поздовжньою і поперечною різнотовщинністю. На точність розмірів холоднокатаних листів впливають жорсткість кліті, стабільність розмірів і профіль прокату, робота системи автоматичного регулювання товщини штаби тощо.

У холодному стані метали і сплави обробляють тиском:

- коли перерізи виробу малі і відбувається швидке зниження температури (прокатка тонких штаб (менше 2-х мм);
- для отримання холоднокатаної штаби підвищеної точності розмірів і високої якості поверхні.

Після холодної прокатки внаслідок наклепу вуглецева сталь стає твердою і має знижену пластичність. При цьому зерна металу витягуються у напрямку течії металу з утворенням текстури. Наявність текстури визначає анізотропію механічних і інших властивостей вздовж і поперек волокон прокатоної штаби.

З рис. 1.2 видно, що інтенсивне підвищення напруження течії металу (зміцнення) відбувається при обтисненнях до $\varepsilon \leq 25\%$.

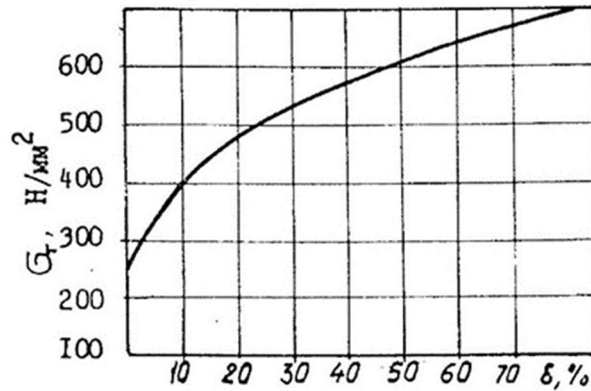


Рисунок 1.2 – Зміна напруження течії металу в холодному стані для сталі марки 08кп

Ймовірно в цьому інтервалі деформацій відбувається найзначніше викривлення кристалічної решітки, виникає найбільша кількість дефектів структури, що призводять до різкого зростання напруження течії металу. Спеціальні дослідження свідчать, що напруження течії змінюються вже при температурах в межах 75 – 300°C, яка має місце в процесі деформації. Сумарна деформація металу складає 60 – 80 %, після чого подальша пластична деформація ускладнена внаслідок високих значень напруження течії металу і погіршення пластичних властивостей металу. Подальша деформація можлива після відпалу (рекристалізації) металу, при якому зменшуються межа міцності і напруження течії, і збільшується відносне подовження.

Для усунення наклепу (зміцнення) й одержання структури, що забезпечує необхідні механічні і технологічні властивості, холоднокатану сталь піддають рекристалізаційному відпалу при 630 – 690°C. Після відпалу розкат піддають дресуванню, в результаті якого помітно поліпшується поверхня листової сталі. Якість поверхні дресувальної штаби залежить від вихідного стану поверхні, якості шліфування і насічки поверхні робочих валків. Наступними операціями обробки тонколистовий вуглецевої сталі є поперечне і подовжнє різання рулонів.

1.3 Технологічний процес прокатки на реверсивному стані 1680

Подача рулонів до стану

Рулони за допомогою скоби по одному подаються електромостовим краном на похилий холостий рольганг перед станом. Рулони встановлюються таким чином, щоб зовнішній виток був притиснутий тілом рулону до рольгангу.

По похилому прийомному рольгангу рулони подаються на поворотний стіл, що повертається на 90° , нахилиється і переміщує рулон на перекидач.

Нахилом перекидача (від пневматичного циліндра) рулон скачується на опорні ролики коліски розмотувача і їхнім обертанням повертається в положення, зручне для захвату відгиначем кінця зовнішнього витка рулону, після чого затискується бічними напрямними. Потім кінець зовнішнього витка рулону піднімається відгиначем у крайнє верхнє положення для заправлення в тягнучі ролики.

Налаштування стану

Налаштування стану повинне забезпечити: одержання штаби необхідної товщини, рівномірної в поперечному перерізі і по її довжині; оптимальний натяг; дотримання режимів обтиску, передбачених інструкцією. Після перевалки опорних чи робочих валків після довгострокової зупинки стану, коли валки були розведені на значну величину, вальцювальник стану включає натискний пристрій і, щоб уникнути утворення перекоосу валків, стежить за показаннями продуктиметрів, щоб опускання обох подушок верхнього опорного валка було строго однаковим.

Коли навантаження на двигун натискного пристрою досягне 20 – 40 А, поштовхом повертаються робочі валки і перевіряється обертання опорних валків. Якщо один з робочих валків не обертається, то знову включається натискний пристрій і валки додатково притискаються (приблизно до 50 А) до повного їхнього зіткнення.

Як тільки валки почнуть обертатися, відбувається запуск стана; при цьому валки поливаються емульсією по всій довжині бочки. При наявності зазору між робочими валками емульсія буде просочуватися на передню сторону по всій довжині бочки валка. При зіткненні валків емульсія, завдяки опуклості, буде віджиматися від середини до країв бочки валка.

Валки вважаються встановленими без перекосу, якщо відстані по їхніх краях у місцях проходження емульсії рівні. Контроль за правильною установкою валків у кліті в процесі прокатки здійснюється по напрямку переднього обтиснутого кінця штаби на виході його з кліті. Напрямок переднього кінця штаби після виходу його з кліті строго по осі прокатки свідчить про відсутність перекосу валків.

Зсув штаби усувається регулюванням натискних гвинтів; при зсуві штаби вправо від осі прокатки необхідно підняти правий чи опустити лівий гвинт.

Прокатка на стані

Разом із захопленим кінцем зовнішнього витка рулону відгинач піднімається до верхнього положення. Одночасно з цим під низ штаби підводяться два холостих ролики і притискають штабу до приводного тягнучого ролика. Кінець штаби подається на стаціонарний стіл, заправляється в роликову прес-проводку і за допомогою тягнучих роликів задається у валки стана, після чого колиска розмотувача опускається в крайнє нижнє положення.

При задачі штаби в стан і перемотуванню, або прокатці з обтиском у першому проході, бічні розсувні проводки (за розмотувачем і перед кліттю) повинні бути зведені на ширину штаби.

Передній кінець штаби пропускається через підняту прес-проводку і задається в розведені валки. Після виходу переднього кінця штаби з валків на 100 – 150 мм валки встановлюються за допомогою натискних гвинтів на необхідний обтиск, верхній стіл прес-проводки опускається і штаба на заправній швидкості подається до моталки.

Передній кінець штаби заводиться в зів барабану моталки, установлюється необхідний передній натяг і починається прокатка штаби на заправній швидкості. У цей час оператор заводить на штабу ізотопний товщиномір і за показниками товщиноміру налаштовує стан на необхідну товщину. Потім переводить стан на робочу швидкість і під час всього пропуску стежить за товщиною штаби, вносячи відповідні коригування в розчин валків.

Прокатка ведеться на номінальну товщину з допустимими по товщині – за ГОСТ 19904-90.

Перед виходом заднього кінця рулону з розмотувача стан переводиться на заправну швидкість, на якій працює до моменту, поки задній кінець штаби увійде в роликову прес-проводку. Стан перед його реверсуванням зупиняється з таким розрахунком, щоб задній кінець штаби не дійшов на 1,0 – 1,2 м до осі робочих валків. Наприкінці пропуску, перед реверсуванням, не допускається влучення необтисненого кінця штаби у валки, для чого в кожному пропуску забезпечується додатковий запас штаби довжиною 100 – 150 мм.

У момент зупинки стана (перед реверсуванням) бічні проводки обов'язково розводяться, щоб мати можливість приймати штабу на праву моталку при другому (зворотному) пропуску штаби через валки; роликова прес-проводка піднімається. Усі механізми стана реверсують на мінімальній швидкості поштовхами і передній кінець штаби (раніше колишній задній) задається в зів правої моталки.

Після захвату заднього кінця штаби правою моталкою і створення натягу вальцювальник вимірює товщину штаби ручним мікрометром і налаштовує стан на необхідну товщину. Для виміру товщини штаби ручним мікрометром стан зупиняється, налаштовується на задану товщину, потім працює на мінімальній швидкості; після корегування товщини по ізотопному товщиноміру переводиться на робочу швидкість, на якій працює до моменту, поки на моталці, що розмотує, залишається 10 – 15 витків. Потім стан переводиться на мінімальну швидкість, на якій проводиться прокатка до

максимально можливого розмотування рулону (на барабані моталки залишається 1,5 витка), після чого стан і моталка реверсують і прокатка ведеться в зворотному напрямку (на моталці, що розмотує, також залишається 1,5 витка).

Уповільнення і зупинка стана проводиться автоматично за допомогою безконтактної системи точної зупинки. При ручному керуванні оператори після кожного пропуску роблять (за показниками продуктиметрів) запис довжини штаби, за якою здійснюють уповільнення стану.

Зазначений порядок прокатки ведеться відповідно до числа пропусків, необхідних для одержання остаточної товщини штаби. Число пропусків повинно бути непарним, тому що задавання рулонів здійснюється з задньої сторони стана.

Після прокатки на остаточну товщину стан зупиняється, зів барабана моталки перед станом відкривається, звільнюється задній кінець штаби, валки розводяться на таку величину, щоб задній необтиснений кінець штаби вільно, без обтиску, пройшов через валки.

Дефекти при прокатуванні

Багато дефектів поверхні холоднокатаних штаб переходять з поверхні гарячекатаних штаб (плівки, залишки окалини, надриви тощо).

Однак у процесі холодної прокатки з'являються нові дефекти:

- «коробчастість» виникає внаслідок надмірно великої опуклості валків внаслідок їхнього перегріву, а також недостатнього обтиснення в останньому пропуску;

- "хвилястість крайки" – велике вироблення валків, надмірно велике обтиснення в останньому пропуску, неправильна установка (перекос валків), нерівномірне обтиснення по ширині штаби;

- "серповидність" – прокатка штаб зі складкою чи загнутою крайкою, надмірно велике обтиснення при прокатці, недостатній задній натяг штаби при прокатці, неправильне налаштування стана;

- "заворот крайки" – загин крайок бічними роликowymi проводками, при знятті з моталки нерівномірно змотаного рулону;
- "різнотовщинність" – неправильне налаштування стана, неправильний режим прокатки (обтиск, швидкості прокатки, змащення і неправильний тепловий режим валків), різнотовщинність гарячекатаної штаби;
- "тонкі листи" – недотримання режимів обтиснення, неправильне налаштування стану, неточна установка натискних гвинтів при переході з робочої швидкості на заправну;
- "відбитки" – навари і порізи на робочих валках, влучення металевих часток у прокатні валки, викрашування останніх;
- "подряпини" – від наварів, що виступають, гострих крайок, задирів на проводках, роликах і інших деталях устаткування, при терті витка об виток у нещільно і нерівно змотаному рулоні;
- "плями забруднень" – найчастіше це плями сажі, емульсії та мастила;
- "риски" – прослизання витків на моталках у момент реверсування при великій різниці натягів у попередньому і наступному пропусках;
- "злами" – злипання – зварювання витків штаби в рулоні при відпалі через високі температури і контактні напруги стиску, малої шорсткості поверхні холоднокатаної штаби;
- "вкатані металеві частки, раковина – вдав" – удавлення у поверхню штаби сторонніх предметів.

1.4 Технологічна характеристика основного устаткування реверсивного стана холодної прокатки 1680

До складу реверсивного стана холодної прокатки 1680 входить кліть "кварто" і обслуговуюче її устаткування: роликаний похилий конвеєр, що підводить, поворотний стіл, скидач рулонів, розмотувач, роликана прес-проводка, дві моталки барабанного типу і знімач рулонів.

Робочі валки приводяться до руху від електродвигуна, характеристика якого приведена в табл. 1.1. Привод відбувається через комбінований з шестеренної кліттю редуктор з передаточним числом 3,21, універсальне шпindelне з'єднання.

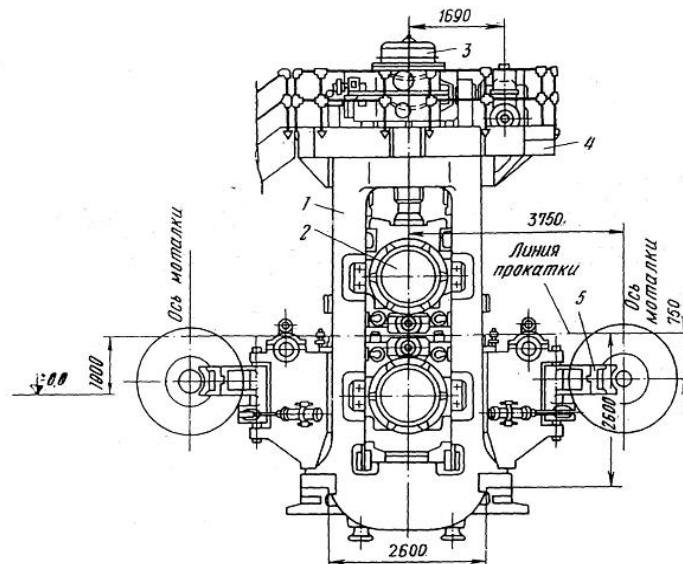
Таблиця 1.1 – Характеристика електродвигуна приводу робочих валків

Потужність, кВт	Обороти двигуна, об/хв	Номінальне навантаження, А
1650	300/600	3000

Швидкість прокатки на реверсивному стані 1680: заправна – до 0,5 м/с, мінімальна робоча – до 4,74 м/с.

Робоча кліть

Основною несучою частиною робочої кліті реверсивного стану холодної прокатки 1680 є станина, що являє собою дві масивні плити, прикріплені до фундаменту анкерними болтами. У станинах змонтовані подушки з підшипниками і валками, а також пристрій для переміщення верхнього валка по висоті і його фіксації, що направляють прес - проводки (рис. 1.3).

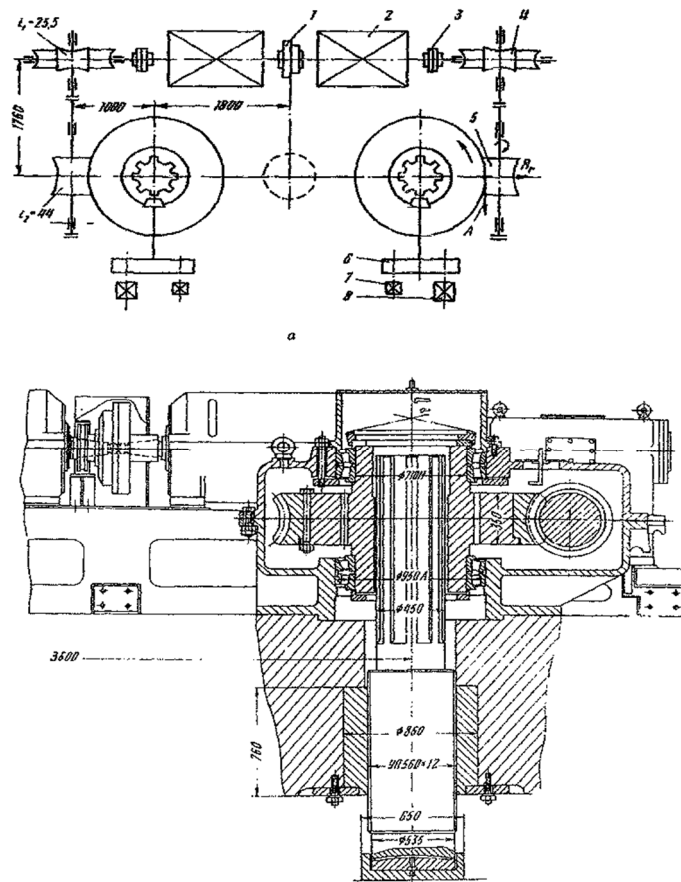


1 – вузол станини; 2 – валки з подушками; 3 – натискний механізм; 4 – площадка й огороження; 5 – поворотна опора барабана моталки.

Рисунок 1.3 – Схема робочої кліті реверсивного стану 1680 конструкції УЗТМ

Механізм натискних гвинтів

Механізм натискних гвинтів кліті приводиться в рух від двох електродвигунів потужністю 45 кВт, 775 об/хв, через два редуктори з передаточним числом 1100:1. Швидкість переміщення натискних гвинтів – 9,96 мм/хв. Електродвигуни натискного пристрою з'єднані електромагнітною муфтою для забезпечення спільної і роздільної роботи натискних гвинтів (рис. 1.4).



1 – електромагнітна муфта; 2 – електродвигун; 3 – зубцювата муфта; 4 – глобоїдний редуктор ($i=25,5$); 5 – глобоїдний редуктор ($i=44$); 6 – сельсин и командо - апарат; 7 – командо - апарат КА4658 ($i=30$); 8 - сельсин БД – 501

Рисунок 1.4 – Тихохідний натискний механізм чотирьохвалкового стана холодної прокатки 1680

Прокатні валки

Робочі валки - цільноковані із загартованою поверхнею бочки, опорні – з насадними бандажами.

Матеріал валків: робочих – сталь 9Х2МФ, 60Х2СМФ; опорних – бочки 9ХФ, серцевина – 40ХН2МА.

Твердість поверхні валків по Шору (ГОСТ 3541-79): робочих (бочка) – від 90 до 102 од.; опорних (бочка) – від 60 до 85 од. Робочі валки змонтовані на роликівих підшипниках, опорні встановлені на підшипниках рідинного тертя (ПРТ = 900 мм). Тривалість роботи опорних валків без перешліфовки не більш 2 тижнів. Після перевалки опорні валки піддаються обдиранню до повного зняття, наклепаного шару. Поверхні бочок робочих валків шліфовані по 7 – 8 класам (ГОСТ 2789 - 73). Валки шліфуються навкруги 25 марки 14А25НСМ 1 – 2.

Вимір шорсткості поверхні валків здійснюється переносним профілометром марки "Суртроник".

Опуклість робочого валка після шліфування вимірюється спеціальним приладом – пасометром (тип приладу ИУ-02, ИУ-05, ИУ-10, точність виміру складає 0,01 мм) у двох взаємно - перпендикулярних площинах через 100 мм за довжиною бочки валка. Припустимі відхилення від заданої величини опуклості не більш 0,01 мм. Аналогічно контролюється і профіль опорного валка. На валках, встановлених у кліть після їхнього профілювання, необхідно для забезпечення необхідного профілю штаби (листа) починати прокатку з більш широких штаб з поступовим переходом на більш вузькі. Прокатка широких штаб після вузьких не допускається.

Коротка технічна характеристика валків приведена в табл. 1.2.

Поворотний пристрій

Поворотний пристрій призначений для прийому рулонів з роликового похилого конвеєра, що підводить, повороту його навколо вертикальної осі на 180° і подачі на скидач рулонів.

Таблиця 1.2 – Характеристика робочих і опорних валків

Найменування валка	Розміри, мм				Вага, т
	бочки		шийки		
	діаметр	довжина	діаметр	довжина	
Робочі	510/470	1680	260	250	3,32
Опорний	1420/1370	1760	890/734 (конус)	780	31,65

Скидач рулонів

Скидач рулонів призначений для прийому рулонів поворотного пристрою, правильної установки їх щодо подовжньої осі розмотувача, скидання рулону в колиску розмотувача. Скидач складається з коліски рольгангу і пристрою, що переміщається.

Ємність рулонів, шт.	1
Ухил роликів рольганга, град.	
при прийомі рулону	3
при скиданні рулону	0
Кут повороту коліски при скиданні, град	23
Тиск стиснутого повітря, кПа	506
Швидкість переміщення упору, мм/с	13,4

Розмотувач

Розмотувач призначений для правильної установки рулону щодо подовжньої осі стана, повороту рулону в положення, що забезпечує можливість захвату зовнішнього кінця штаби відгиначем, відгинання кінця штаби відгиначем і завдання його в прес-проводку. Розмотувач складається з коліски, центрувача, електромагнітного відгинача, опорних роликів.

Швидкість підйому й опускання коліски, мм/с	20
Швидкість переміщення кареток центрувача, мм/с	84
Відстань між голівками конусів, мм:	
мінімальна	280

максимальна	1680
Найбільше зусилля затиску конусами центрувача, кН	100
Переміщення кареток від електродвигуна: потужність, кВт	30
частота обертання, об/хв	750
Піднімальна сила електромагніту, кН	20
Найбільший кут повороту важелів, град	62
Час опускання (підйому) важелів: при мінімальному діаметрі рулонів, с	2,5
Діаметр ролика, що тягне, мм	305
Окружна швидкість ролика, що тягне, м/с	0,5

Роликова прес - проводка

Роликова прес - проводка призначена для створення натягу штаби перед кліттю в процесі прокатки. Роликова прес-проводка складається з верхньої і нижньої рам, вузла роликів діаметром 180 мм, направляючого пристрою.

Переміщення верхнього столу прес-проводки у вертикальній площині відбувається від пневматичного циліндру діаметром 400 мм.

Моталка барабанного типу

Моталки барабанного типу (2 шт.) установлені з передньої і задньої сторін кліті і призначені для змотування штаби, що прокатується, і створення натягу штаби при прокатці (рис. 1.5).

Діаметр барабана в розціпленому стані, мм	760
Довжина барабана, мм	1790
Діаметр барабана, мм	200
Натяг штаби, створюваний моталкою, т	18
Привід кожної моталки від електродвигуна потужністю, л.с.	600

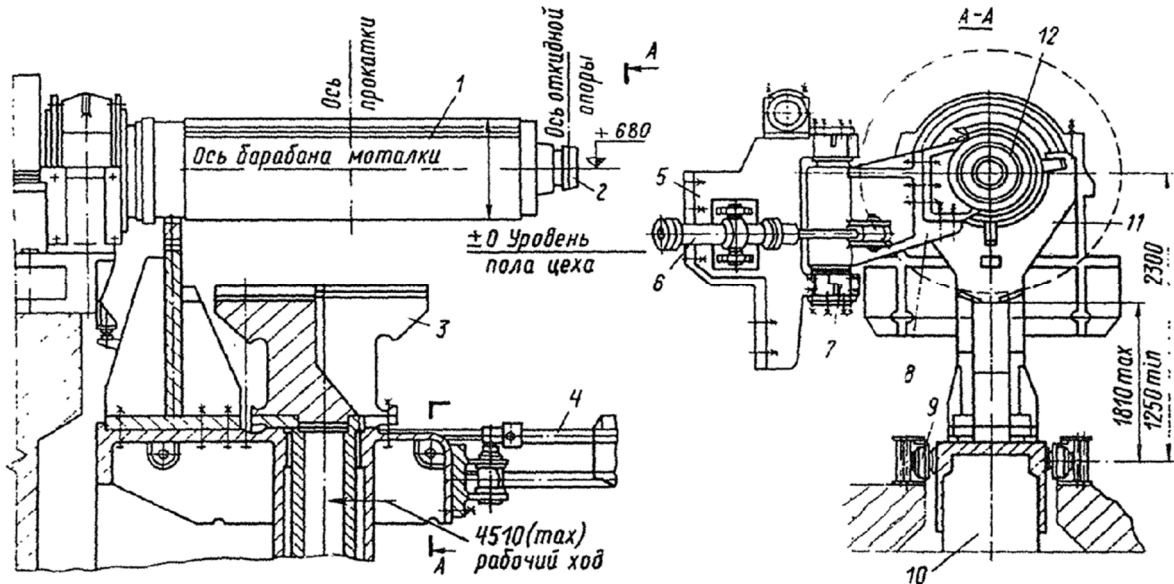
Число оборотів барабана моталки, об/хв:

мінімальне

28,5

максимальне

104,37



1 – барабан моталки; 2 – конічний роликпідшипник; 3 – стіл; 4 – рухомий настил; 5 – поворотна опора; 6 – циліндр гідравлічний; 7 – вісь; 8 – поворотний кронштейн; 9 – ковзанка; 10 – візок зі столом; 11 – зварена вилка; 12 – корпус підшипника

Рисунок 1.5 – Поворотна додаткова опора для консольного барабана моталки і знімач рулонів

Знімач рулонів

Знімач рулонів призначений для зняття рулону з барабана моталки і подачі його на відводячий конвеєр видачі рулонів. Знімач рулонів складається з візка з рухливою вилкою, колиски горизонтального циліндра і рухливого настилу.

Максимальна маса рулону, т	15
Максимальний зовнішній діаметр рулону, мм	1600
Швидкість переміщення візка, м/с	0,25
Швидкість підйому колиски, м/с	0,1
Швидкість кантування рулону, м/с	0,1

Тиск у гідросистемі знімача, МПа 0,32

Механізм перевалки опорних валків

Механізм перевалки опорних валків призначений для комплекту опорних валків з подушками.

Маса валків з подушками, т	106,6
Маса частин каретки, що переміщується, т	5,56
Розрахункове зусилля, що тягне, кГ	16880
Швидкість руху каретки, м/хв	2
Хід каретки, мм	4600
Передаточне число редуктора	253
Електродвигун:	
потужність, кВт	11
частота обертання, хв ⁻¹	685

На рис 1.6 зображено реверсивний стан холодної прокатки 1680, на рис. 1.7 – допоміжне обладнання стана, на рис. 1.8 – схема стана, на рис. 1.9 – схема робочої кліти стана 1680.

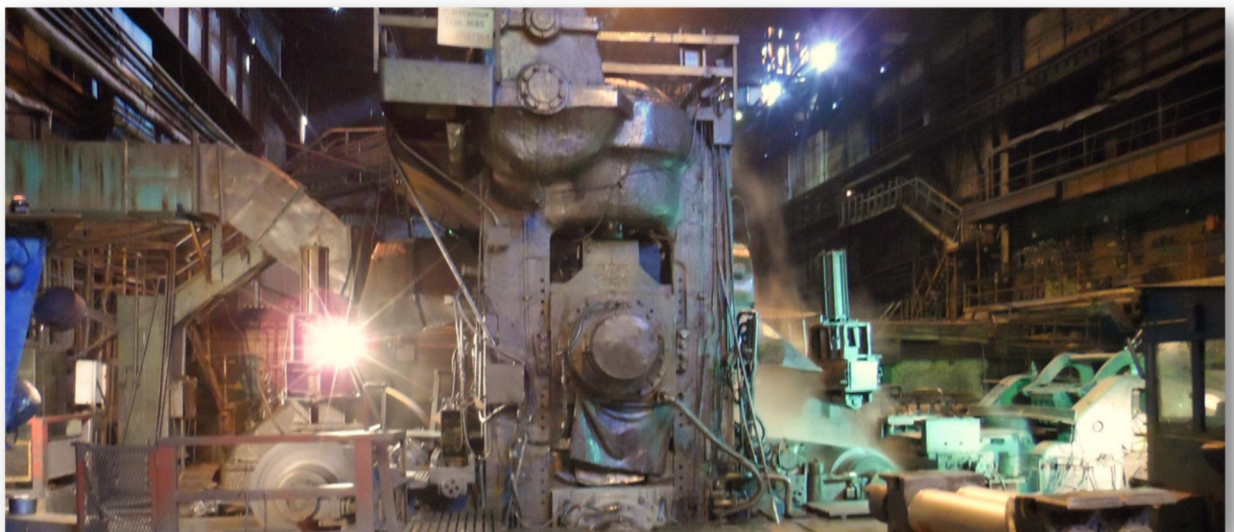


Рисунок 1.6 – Реверсивний стан холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

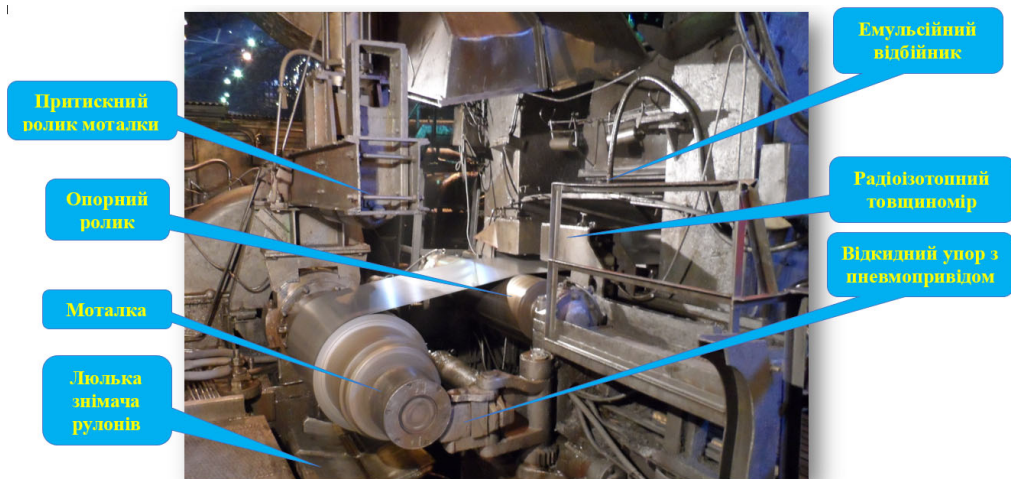
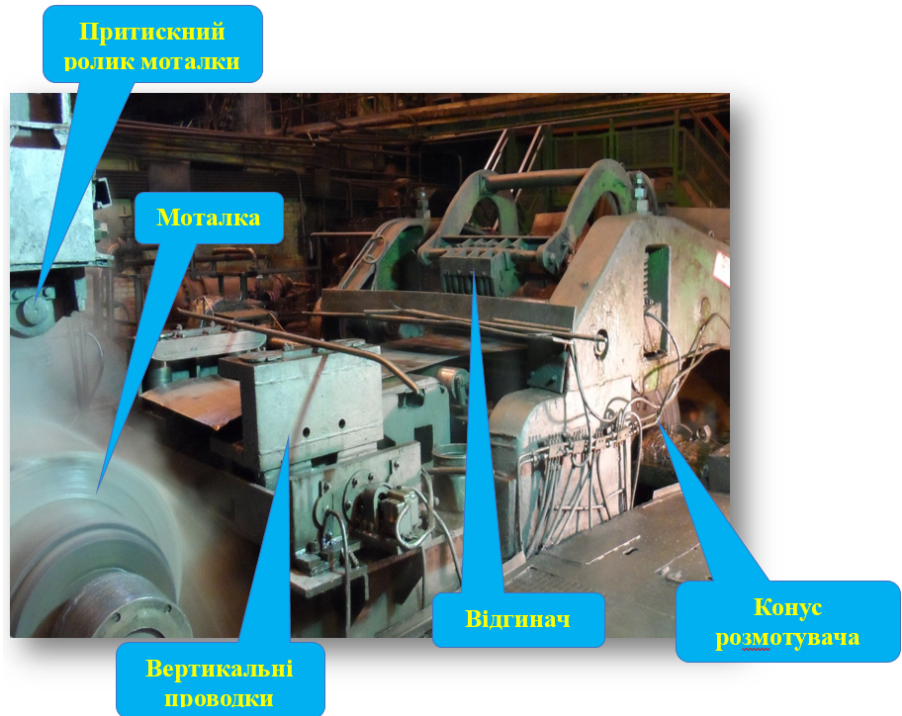
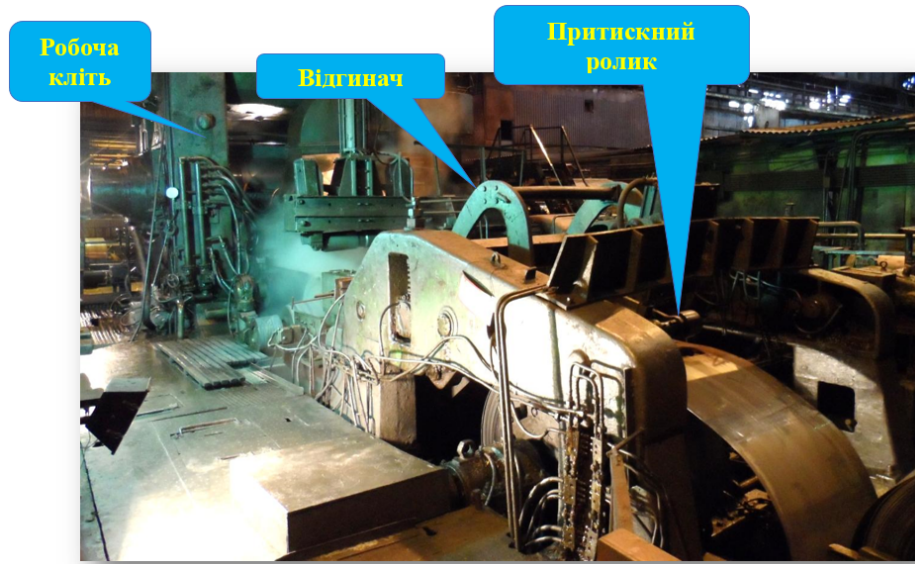
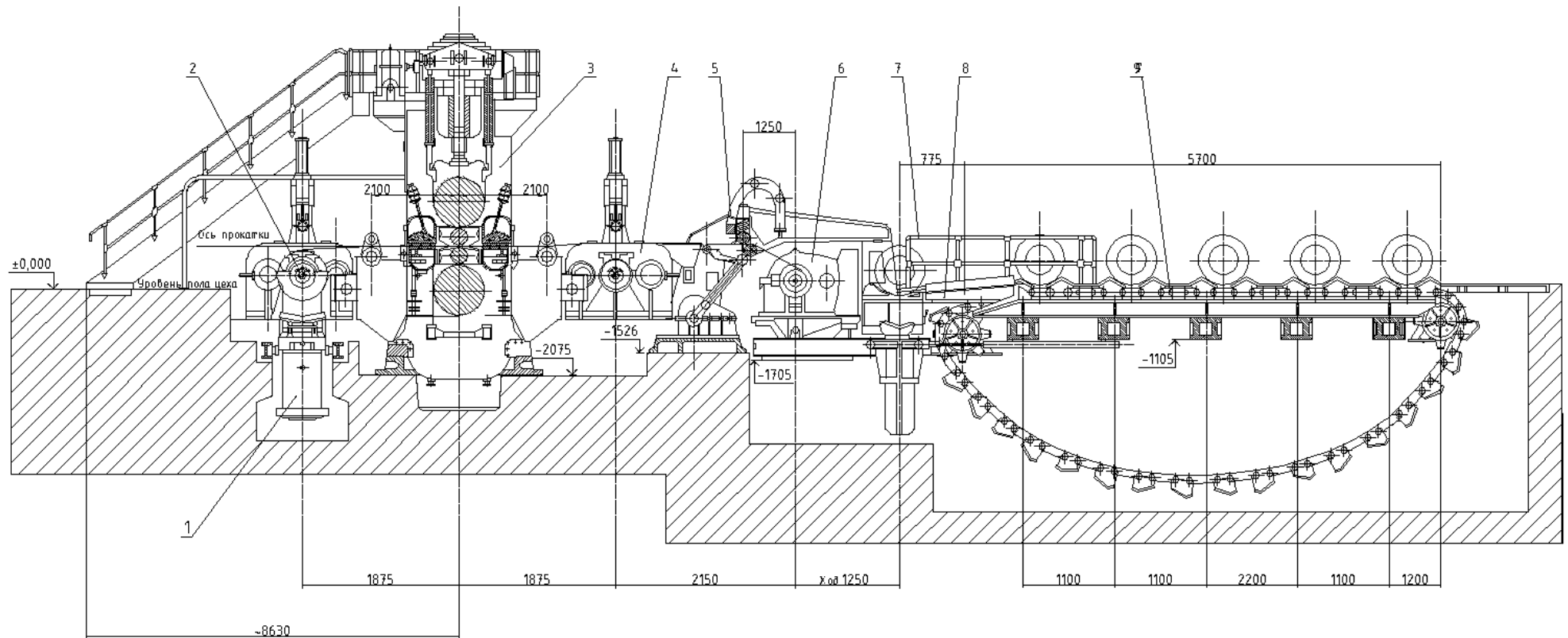
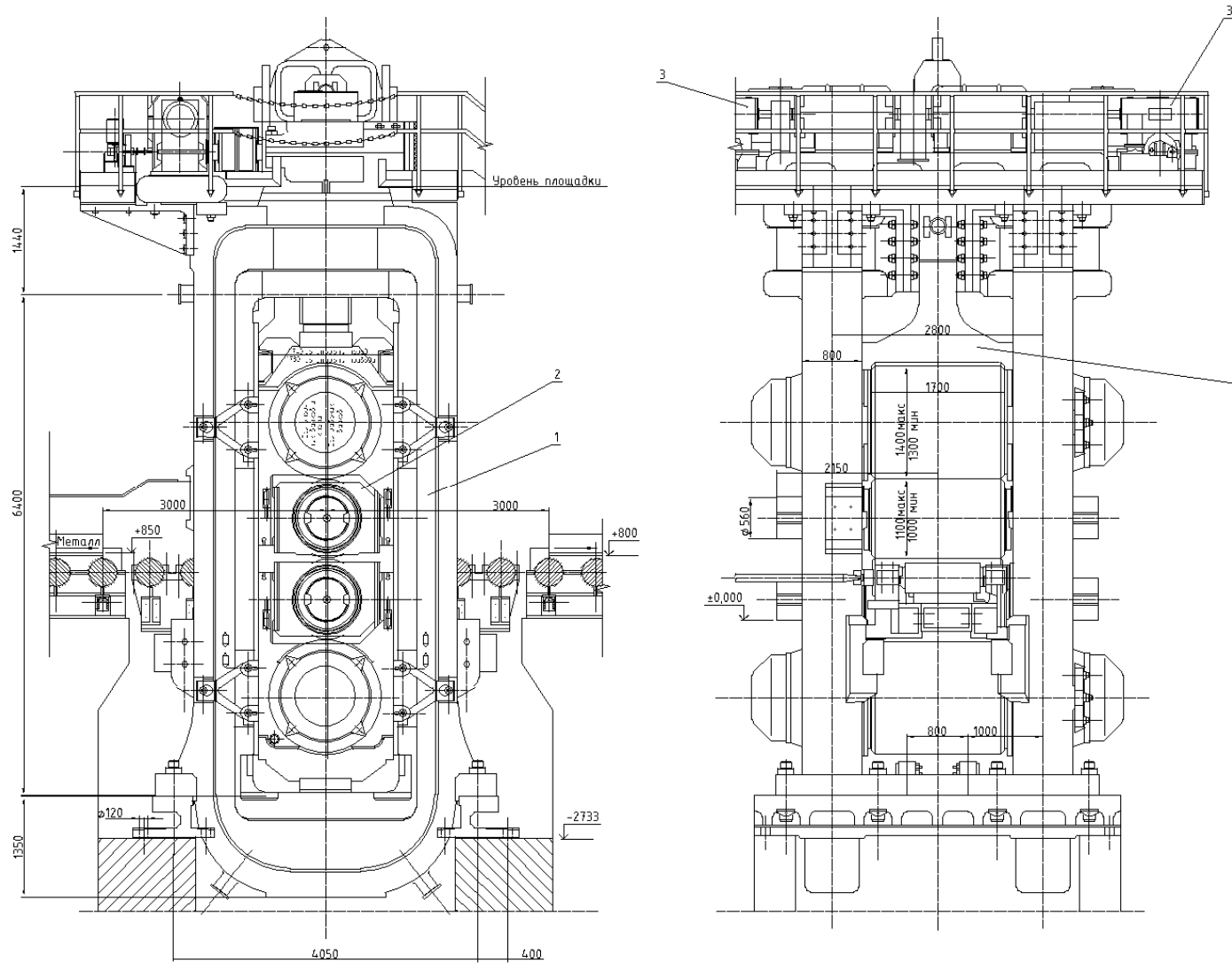


Рисунок 1.7 – Допоміжне обладнання реверсивного стана 1680



1 – візок; 2 – ліва моталка; 3 – робоча кліть; 4 – права моталка; 5 – важіль; 6 – барабан розмотувача; 7 – підйомний візок; 8 – приймальний стіл; 9 – ланцюговий транспортер

Рисунок 1.8 – Схема реверсивного стану 1680 ПАТ «Запоріжсталь»



1 – вузол станин; 2 – валки з подушками; 3 – натискний механізм; 4 – механізм врівноваження

Рисунок 1.9 – Схема робочої кліти стану 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

1.5 Дослідження анізотропії пластичної течії металу

Загальні відомості

Швидкий розвиток сучасної промисловості вимагає подальшого вдосконалення технологічних процесів на основі найважливіших досягнень науки, у тому числі і за рахунок повнішого використання властивостей оброблюваного матеріалу. У зв'язку з цим необхідні дослідження поведінки металу при різних стадіях технологічної обробки. При цьому слід виходити з того факту, що деформовані заготовки – листи, труби, профілі, прутки, кільця і т.п. – мають певну анізотропію механічних властивостей, яка багато в чому залежить від виду технологічного процесу отримання напівфабрикатів (волочіння, пресування, прокатка, розкочування, кування тощо) [3–8].

Багато деталей сучасних машин і приладів виготовляються методами листового штампування. При цьому використовуються метали і сплави різних структурних груп і марок. Більшість напівфабрикатів (листи, труби, профілі), отримані з цих матеріалів, мають явно виражену анізотропією механічних властивостей. Особливо вона характерна для алюмінієвих, магнієвих, титанових, берилієвих і інших сплавів.

Проте вплив анізотропії оцінити важко, оскільки технологічні розрахунки, в основному, проводять за формулами теорії пластичності ізотропних середовищ. Застосування цієї теорії дозволяє спростити розрахункові формули, хоча подібна простота може привести до грубих помилок, до неправильного вибору параметрів процесу. Особливо це відноситься до питань, пов'язаних з визначенням граничних можливостей матеріалу в тих або інших операціях обробки тиском.

Аналіз опублікованих робіт показав, що, по-перше, теорія пластичності анізотропних тіл розроблена ще недостатньо повно. Багато питань вимагають подальшого рішення і вдосконалення. По-друге, поки вивчено обмежене число операцій листового штампування анізотропних металів, в основному, процеси

втяжки і частково – формування і згинання. І, по-третє, отримані різними дослідниками результати не систематизовані достатньою мірою.

Тензорне числення – математична теорія, що вивчає величини особливого роду – тензори. Одним з основних завдань тензорного числення є знаходження аналітичних формулювань законів механіки, геометрії, фізики, не залежних від вибору координатної системи.

Тензор характеризується певним рангом (валентністю) [3–8]. Найбільш простим є тензор нульового рангу. Він є скалярною величиною, його єдина компонента a не міняє свого значення при перетворенні базису (координатної системи). Тому тензор нульового рангу називають також інваріантом.

Вектор – тензор першого рангу. Його можна задати трьома числами a_j , які при переході від однієї прямокутної системи координат до іншої перетворюються по формулі $a'_i = a_{ii'} a_j$, де $a_{ii'}$ – косинуси кутів між новими і старими осями. Два індекси, що повторюються, означають підсумовування від 1 до 3 (у тривимірному просторі).

Тензором другого рангу називається будь-яка величина, що визначається дев'ятьма числами a_{ij} в декартовій системі координат, які при перетворенні базису міняються згідно із законом $a'_{ij} = a_{i'i} \cdot a_{j'j} \cdot a_{ij}$.

Тензорне числення виявилось дуже корисним при вивченні властивостей кристалів і полікристалічних тіл. Зазвичай ці властивості розділяють на два типи.

До першого типу відносять такі властивості, які не залежать від напрямку (щільність, теплоємність тощо). Їх можна описати скалярними величинами.

Властивості другого типу залежать від напрямку в матеріалі; тіло вважатиметься анізотропним по відношенню до них. Ці властивості виражаються за допомогою тензорів. В деяких випадках може статися так, що окремі характеристики, які, взагалі кажучи, відносяться до другого типу, для конкретного тіла будуть однаковими на всіх напрямках, і тоді воно є ізотропним по відношенню до них. Як приклад можна вказати на модулі

пружності і пластичності ізотропних середовищ, хоча в загальному випадку – це властивості другого типу.

Розрізняють польові і матеріальні тензори. Перші з них не залежать від даного середовища і її симетрії. Зокрема, до них відносяться тензори напруги і деформації. Один з них описує зовнішню дію на тіло, а другий – його реакцію на цю дію.

Матеріальні тензори характеризують властивості конкретного тіла. Тому анізотропія механічних властивостей може бути виражена тільки за допомогою матеріальних тензорів.

Це необхідно враховувати при аналізі тензорів і знаходженні їх інваріантів. Так, якщо розглядається матеріальний тензор, то зміну його компонент при повороті осей не слід зв'язувати, як це іноді роблять, з польовим тензором. Перетворення складових тензора анізотропії не можна ставити в залежність від напруженого стану. При всіх видах напруженого стану зміни компонент залишаються однаковими.

При проектуванні технологічних процесів обробки металів тиском доводиться вирішувати цілий комплекс питань, пов'язаних із знаходженням оптимальних умов виконання конкретної операції. У технічному відношенні ці умови виражаються через певні параметри, що характеризують даний процес:

1) силові параметри (зусилля, робота, потужність), які покладені в основу вибору устаткування і проектування інструменту;

2) параметри, що визначають допустимий ступінь деформації. Граничне формозмінення істотно впливає на вигляд і характер самого процесу виготовлення деталі. Знання допустимого ступеня деформації дозволяє розрахувати раціональне число і послідовність переходів штампування;

3) оптимальні розміри і форма заготовки, що забезпечують економічний розкрій матеріалу, задані властивості і якість готового виробу. Правильний вибір розмірів і форми заготовки дає можливість зменшити об'єм або повністю ліквідувати окремі ручні і доводочні роботи;

4) точність, яку може забезпечити даний технологічний процес.

Слід підкреслити, що більшість параметрів взаємозв'язані і впливають один на одного. Наприклад, точність відштампованої деталі залежить від заданого ступеня деформації, докладеного зусилля (тиску), форми заготівки і інструменту.

Це говорить про необхідність комплексного вивчення всіх питань, що відносяться до розробки оптимальних режимів технологічного процесу виготовлення виробу. Насправді спостерігається декілька інша картина. До останнього часу велика увага приділялася визначенню зусилля деформації. Таке положення, мабуть, можна пояснити відносною нескладністю розрахунків силових параметрів. Методи визначення деформуючого зусилля, засновані на застосуванні теорії пластичності ізотропних середовищ, зараз достатньо вивчені і не викликають сумніву. Вони дають можливість розрахувати зусилля з помилкою, що не перевищує 15–20%, тобто відповідною коливанням механічних властивостей штампованого матеріалу [9, 10]. Якщо при цьому врахувати, що виробниче устаткування вибирається, як правило, із запасом на 25–30%, то таку точність розрахунків слід визнати задовільною.

Інші питання розрахунку технологічних параметрів, особливо коли вони пов'язані з граничним формозміненням і точністю обробки металів тиском, розроблені менш фундаментально.

Як відомо, такі широко поширені у виробництві аерокосмічної техніки напівфабрикати, як листи, стрічки, профілі, труби тощо, мають явно виражену анізотропію властивостей, що є наслідком кристалічної будови речовини і подальшого його текстуроутворення при пластичній деформації. Ігнорування цієї фундаментальної характеристики матеріалів в технологічних розрахунках не тільки знижує потенційні деформаційні можливості заготовок, але і призводить до цілого ряду інших небажаних явищ: підвищеній витраті металу, обмеженню гранично допустимої деформації, спотворенню форми, розмірів і зниженню експлуатаційних параметрів продукції. З іншого боку, раціональна

анізотропія є серйозним чинником інтенсифікації процесів формоутворення матеріалів і підвищення експлуатаційних характеристик виробів в певних напрямках [3, 4]. Проте в технологічних розрахунках процесів формоутворення деталей літальних апаратів, двигунів і інших виробів машинобудування до цих пір використовуються співвідношення теорії пластичності, заснованої на феноменологічному підході, куди не входять параметри кристалографічної текстури і константи кристалічної решітки, що є причиною виникнення анізотропії властивостей заготовок. Отже, немає і основи для безпосереднього аналізу деформаційних можливостей металу в конкретній операції, визначення умов формування і найбільш ефективного використання спрямованості властивостей заготовок. Такі можливості з'являються лише при використанні структурного підходу і апарату теорії пластичності анізотропних середовищ, в якій критерій пластичності є сумісним інваріантом тензора напруги і матеріального тензора, що враховує реальну структуру матеріалу.

Скорочення термінів і вартості розробки нових виробів і технологічних процесів можливо за рахунок активного використання чисельних методів і комп'ютерного моделювання при проектуванні [4].

Для того, щоб виявити властивості технічних полікристалічних металів необхідно спочатку дослідити властивості окремого кристалу, бо тільки цим шляхом ми отримаємо можливість вяснити, які з властивостей металічного агрегату беруть свій початок від його складових кристаликів, і які – від факту з'єднання їх в одне змішане ціле.

У даному розділі розглядаються питання оцінки різних коефіцієнтів, що характеризують властивості кристалів, їх величини і анізотропії, а також вибору оптимальних значень коефіцієнтів залежно від конкретних умов практичного застосування металу. Показано особливості застосування інженерних методів розрахунків в процесах обробки тиском анізотропних матеріалів.

Постановка задачі дослідження

При вивченні теорії обробки металів тиском однією з основних цілей є математичне моделювання і комп'ютерний аналіз анізотропії тензорних коефіцієнтів [14], що визначають роботу моно і полікристалічних матеріалів в різних умовах і режимах, вибір матеріалів з оптимальними характеристиками для конкретних наукових і інженерних рішень. Для фахівців металургійного профілю важливо уміти не тільки вибрати матеріал для реалізації поставленого інженерного завдання, але і використовувати його анізотропію, уміти визначити орієнтацію матеріалу з екстремальним значенням його робочої характеристики.

У зв'язку з цим, вирішення екстремальних задач, що реалізуються як аналітично, так і чисельними методами з використанням сучасних комп'ютерних програм, зокрема, програмного комплексу Mathcad Prime 8, є актуальним завданням [15, 16]. Це дозволяє всебічно вивчити поведінку матеріалу ще в процесі його розробки і обробки, аналізувати геометрію, проводити інженерні розрахунки, отримувати фотореалістичні зображення, здійснювати перевірку моделей без випробування експериментальних зразків і економити час дослідника.

Якщо властивості зразка, вирізаного з матеріалу, не залежать від його орієнтації, матеріал називається *ізотропним*. Інакше матеріал називають *анізотропним*. Залежно від того, який критерій приймається при ототожненні властивостей зразків, говорять про механічну, оптичну, теплову і інші види анізотропії. Кристали, наприклад, завжди анізотропні, це визначається їх внутрішньою будовою, оскільки атоми в кристалічній решітці розташовуються абсолютно певним чином. Знаючи будову кристалічної решітки, можна зробити деякі висновки про характер анізотропії, наприклад, вказати площини симетрії. Зразки, вирізані з кристала симетрично щодо такої площини, виявлять тотожні властивості. Технічні сплави складаються з кристалічних зерен, орієнтація яких неупорядкована і довільна. Тому в тілі, що

складається з великого числа таких зерен, не можна вказати якийсь переважний напрям, що відрізняється від інших. Полікристалічний метал поводить в середньому, як ізотропне тіло. При цьому, передбачається, що розміри зразка достатньо великі і він містить в собі достатньо багато кристалічних зерен. Малі зразки, що складаються з невеликого числа зерен, виявлятимуть різні властивості, але ця різниця абсолютно випадкова, вона залежить не від орієнтації зразка, а від випадкових орієнтацій складових його зерен [8, 10, 14].

У прокатаному металі зерна деформуються у напрямку прокатки, утворюється так звана *текстура*. Тому властивості зразків, вирізаних у напрямку прокатки і в поперечному напрямку, будуть різними. Така ж анізотропія виникає практично при всіх видах обробки металів тиском. Проте анізотропія пружних властивостей, пов'язана з наявністю текстури, невелика; різницею в модулях пружності стрижнів, осі яких орієнтовані у напрямку прокатки і в поперечному напрямку, можна нехтувати. Проте пластичні властивості для цих напрямів, межа пружності або межа плинності різняться вже помітно. Належна термічна обробка деформованого металу знімає анізотропію або, принаймні, зменшує її [10].

Коефіцієнт анізотропії K_L враховують, якщо перша головна напруга при вигині або розтягуванні – стисненні направлена перпендикулярно напрямку прокатування металу. При крученні анізотропію не враховують ($K_L = 1$). У табл. 1.3 наведено значення коефіцієнтів анізотропії в залежності від межі міцності металу.

Коефіцієнт анізотропії враховують при розрахунку межі витривалості матеріалу [10, 12].

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнтів анізотропії

Межа міцності σ_B , МПа	K_L
До 600	0,90
Від 600 до 900	0,86
Від 900 до 1200	0,83
Понад 1200	0,80

В процесі холодної пластичної деформації механічна енергія перетворюється на теплову енергію. Вказується, що сталеву штабу в осередку деформації при прокатуванні не можна розглядати, як ізотропний матеріал: межа текучості і механічні властивості металу по довжині дуги контакту змінюються [10].

Мета роботи

Метою даної роботи є розробка алгоритму і програми розрахунку тензорних фізичних властивостей матеріалу, зокрема, коефіцієнта теплового розширення і коефіцієнта тензочутливості монокристалів у програмному комплексі Mathcad Prime 8, оптимізація матеріалів через розуміння залежності властивостей від структури.

Розрахунок коефіцієнта теплового розширення монокристалу

Такі властивості анізотропних середовищ, як питома електропровідність і питомий опір, діелектрична проникність і поляризованість, теплопровідність і теплове розширення описують різні фізичні явища, але мають одну загальну властивість – їх всіх можна описати полярними симетричними тензорами другого рангу [3–8, 14].

Як приклад розглянемо теплове розширення монокристалу. При цьому слід розглянути наступні питання:

- які обмеження повинні бути накладені на вигляд тензора теплового розширення, щоб в просторі кристала могли існувати напрями \mathbf{n} , в яких теплове розширення дорівнює нулю?
- як виглядає характеристична поверхня теплового розширення кристалів?
- який вигляд має вказівна поверхня цієї властивості?
- як слід орієнтувати штабу у напрямку своєї товщини?

Методика дослідження

Як приклад розглянемо завдання визначення термостабільності кристала, що відноситься до класу 2, в умовах теплового розширення [14].

Оскільки теплове розширення, як і будь-яка тензорна фізична властивість кристалів, є неперервною функцією напрямку, то для визначення шуканих напрямів з нульовим значенням теплового розширення повинно виконуватися співвідношення $\alpha_{\mathbf{n}} = 0$. Це може відбуватися тільки у тому випадку, коли головні компоненти тензора теплового розширення мають різні знаки.

Теплове розширення кристалів описується симетричним тензором другого рангу $[\alpha_{ij}]$. Величина теплового розширення в довільному напрямку $\mathbf{n}(n_1, n_2, n_3)$ в кристалі визначається як $\alpha(\mathbf{n}) = \alpha_{ij}n_in_j$, або в матричній формі:

$$\alpha(\mathbf{n}) = (n_1 n_2 n_3) \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Величина $\alpha(\mathbf{n})$ досягає екстремальних значень в напрямках власних векторів тензора $[\alpha_{ij}]$, а ці екстремальні значення дорівнюють відповідним власним значенням тензора $[\alpha_{ij}]$. Якщо усі власні значення тензора $[\alpha_{ij}]$ позитивні (негативні), то і усі $\alpha(\mathbf{n})$ позитивні (негативні). Якщо серед власних

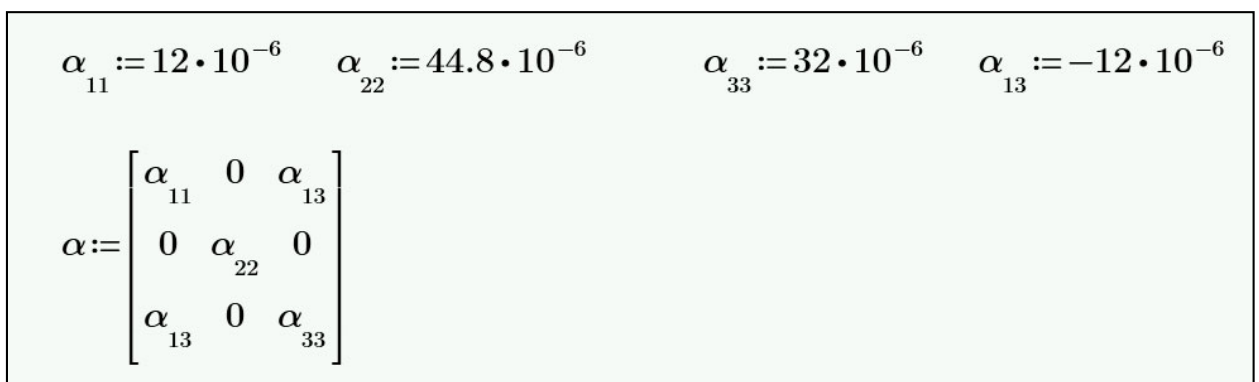
значень тензора $[\alpha_{ij}]$ є і позитивні і негативні, то $\alpha(\mathbf{n})$ також приймає і позитивні і негативні значення; при цьому на деякому конусі напрямків $\alpha(\mathbf{n}) = 0$.

Для кристалів, що відносяться до класу 2, в кристалофізичній системі координат в стандартній установці тензор $[\alpha_{ij}]$ має наступний вигляд:

$$[\alpha_{ij}] = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & 0 & \alpha_{13} \\ 0 & \alpha_{22} & 0 \\ \alpha_{13} & 0 & \alpha_{33} \end{bmatrix}, \quad (1.2)$$

де $\alpha_{11} = 12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$; $\alpha_{22} = 44,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$; $\alpha_{33} = 32 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Вирішимо задачу в програмному комплексі Mathcad Prime 8 [13, 14]. Вводимо тензор коефіцієнтів теплового розширення кристалів (рис. 1.10).



$$\alpha_{11} := 12 \cdot 10^{-6} \quad \alpha_{22} := 44.8 \cdot 10^{-6} \quad \alpha_{33} := 32 \cdot 10^{-6} \quad \alpha_{13} := -12 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha := \begin{bmatrix} \alpha_{11} & 0 & \alpha_{13} \\ 0 & \alpha_{22} & 0 \\ \alpha_{13} & 0 & \alpha_{33} \end{bmatrix}$$

Рисунок 1.10 – Введення коефіцієнтів теплового розширення кристалів

Для обчислення власних значень і власних векторів тензора $[\alpha_{ij}]$ скористаємося вбудованими функціями *eigenvals* і *eigenvec* (рис. 1.11).

Для візуалізації анізотропії коефіцієнта теплового розширення кристалів складемо функцію, яка реалізує, згідно виразу (1.1), обчислення значення коефіцієнта теплового розширення кристалів (у 10^{-6}K^{-1}) в довільному напрямку \mathbf{n} (рис. 1.12).

$n_{max} := \text{eigenvec}(\alpha, \lambda_1)$	$n_{max}^T = [0 \ 1 \ 0]$	Положення абсолютного максимуму теплового розширення
$n_{min} := \text{eigenvec}(\alpha, \lambda_3)$	$n_{min}^T = [0.906 \ 0 \ 0.424]$	Положення абсолютного мінімуму теплового розширення
$\theta_{min} := \arccos(n_{min_1}) \cdot \frac{180}{\pi} = 25.097$		

Рисунок 1.11 – Розрахунок значення і положення екстремумів коефіцієнтів теплового розширення кристалів

$$\alpha_n(\phi, \theta) := \left\| \frac{n \leftarrow \begin{bmatrix} \cos(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix}}{n^T \cdot \alpha \cdot n \cdot 10^6} \right\|$$

Рисунок 1.12 – Функція, що реалізує обчислення значення коефіцієнтів теплового розширення в довільному напрямку в кристалах

Результати дослідження

На рис. 1.13 представлена програма розрахунку коефіцієнта теплового розширення в програмному комплексі Mathcad Prime 8.

Побудова вказівної поверхні коефіцієнта теплового розширення кристалів, її стереографічної проекції, а також перетину вказівної поверхні площиною X_1X_3 представлено відповідно на рис. 1.14, 1.15, 1.16.

Точки X_1 і X_2 на рис. 1.15 – це виходи відповідних кристалофізичних осей; кристалофізична вісь X_3 направлена вгору від центру стереографічної проекції.

$\phi_0 := 0$	$\phi_1 := 2 \cdot \pi$	$N_\phi := 61$	Сітка напрямків на одичинній сфері
$\theta_0 := \frac{-\pi}{2}$	$\theta_1 := \frac{\pi}{2}$	$N_\theta := 61$	
$fs(\phi, \theta) := \alpha_n(\phi, \theta) \cdot \begin{bmatrix} \cos(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix}$			$S1 := \text{CreateMesh}(fs, \phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1, N_\phi, N_\theta)$
$\phi_0 := 0$	$\phi_1 := 2 \cdot \pi$	$N_\phi := 181$	Сітка напрямків
$\theta_0 := 0$	$\theta_1 := \frac{\pi}{2}$	$N_\theta := 91$	
$fc(\phi, \theta) := \begin{bmatrix} \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \cdot \cos(\phi) \\ \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \cdot \sin(\phi) \\ \alpha_n(\phi, \theta) \end{bmatrix}$			$C1 := \text{CreateMesh}(fc, \phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1, N_\phi, N_\theta)$

Рисунок 1.13 – Програма розрахунку коефіцієнтів теплового розширення в програмному комплексі Mathcad Prime 8

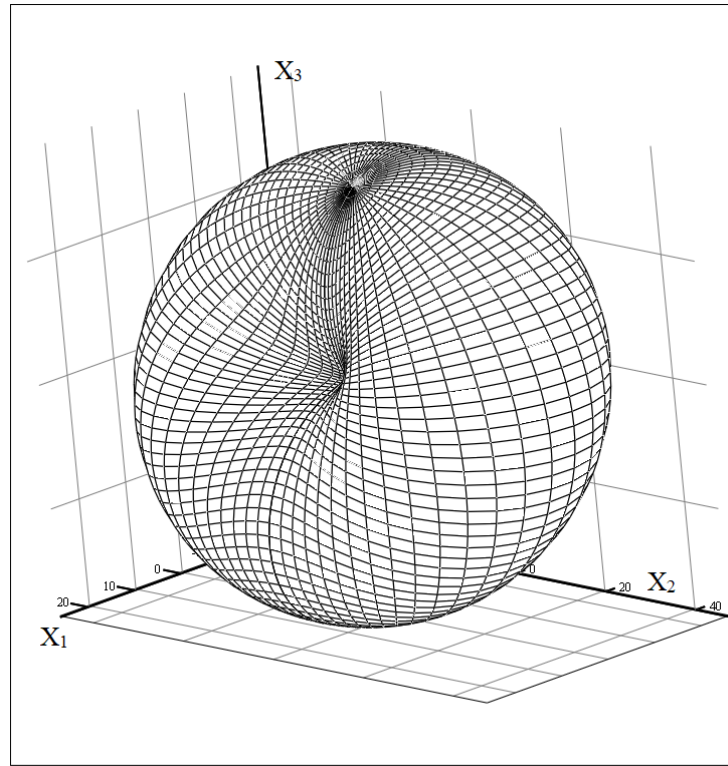
Таким чином, з результатів обчислень виходить:

а) найменше значення коефіцієнта теплового розширення, що дорівнює $6,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, спостерігається в напрямку, що знаходиться в площині X_1X_3 і що становить кут $25,1^\circ$ з віссю X_2 ;

б) найбільше значення коефіцієнта теплового розширення, що дорівнює $44,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, відповідає напрямку осі X_2 (Y – зріз);

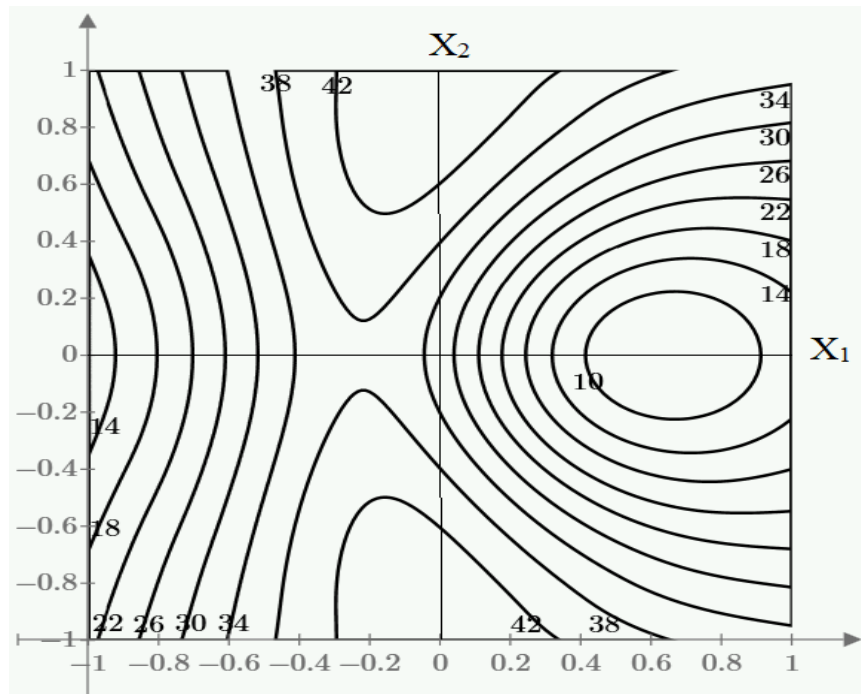
в) як видно з набутих значень головних коефіцієнтів теплового розширення кристалів, всі вони позитивні; отже, напрямів з нульовим значенням коефіцієнта теплового розширення в цих кристалах не існує.

Як впливає з рис. 1.11, тензор $[\alpha_{ij}]$ в системі своїх головних осей $X_1X_2X_3$ має три різні власні значення; симетрія вказівної поверхні коефіцієнта теплового розширення кристала – mmm , що узгоджується з принципом Неймана [5–8].



S1

Рисунок 1.14 – Вказівна поверхня коефіцієнтів теплового розширення кристалів



C1

Рисунок 1.15 – Стереографічна проекція вказівної поверхні коефіцієнтів теплового розширення кристалів (у 10^{-6} K^{-1})

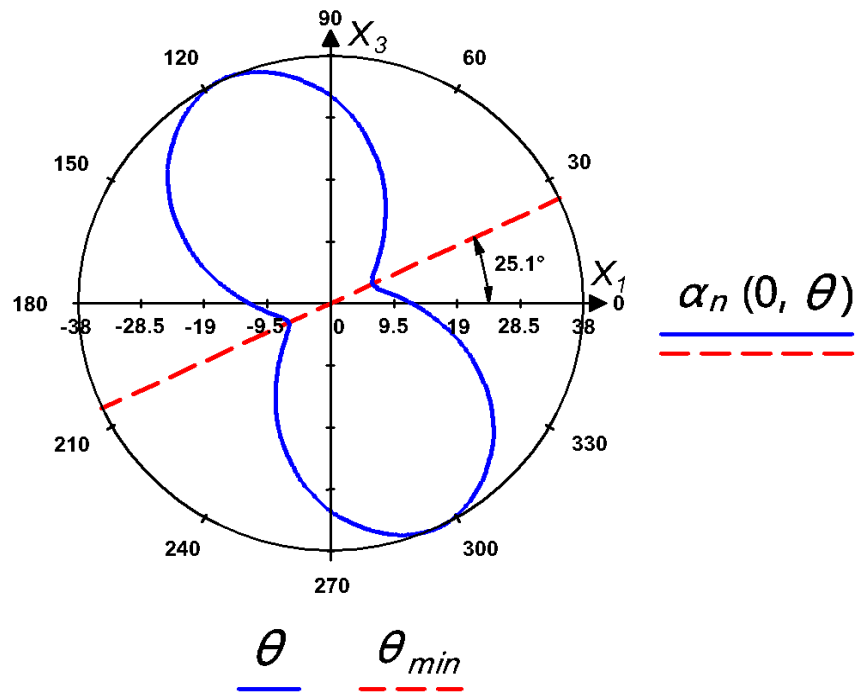


Рисунок 1.16 – Перетин вказівної поверхні коефіцієнтів теплового розширення кристалів площиною X_1X_3

Розрахунок тензочутливості датчика для вимірювання тиску

Електричні методи вимірювання деформацій засновані на реєстрації змінювання будь якого електричного параметру, який відбувається в датчику, встановленому на об'єкті, що досліджується. В обробці металів тиском найчастіше використовуються датчики опору, що мають назву тензорезисторів. Електротензометрія отримала широке застосування в процесах ОМТ для вимірювання повного зусилля деформації, питомих тисків металу на інструмент, сил тертя на контактних поверхнях і крутних моментів [17].

Усе більш широке застосування отримують напівпровідникові тензодатчики, які мають високі метрологічні і експлуатаційні характеристики [18]. Однією з основних характеристик напівпровідникових датчиків є тензочутливість.

В даному розділі роботи необхідно визначити орієнтацію напівпровідникового датчика механічних деформацій, що працює в режимі поздовжнього п'єзорезистивного ефекту (рис. 1.17 а), і який має максимальне значення коефіцієнта тензочутливості.

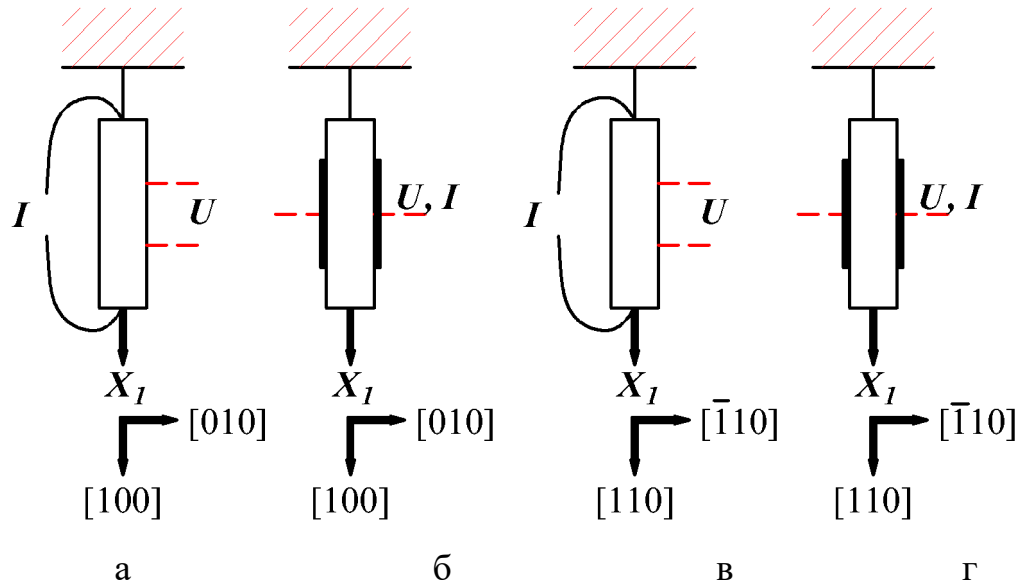


Рисунок 1.17 – Схематичне зображення поздовжнього (а, в) та поперечного (б, г) п'єзорезистивних ефектів

Для виготовлення датчика використовували кремній n-типу провідності з питомим електричним опором $\rho = 11,7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Методика дослідження

Коефіцієнт тензочутливості датчика механічних деформацій, що працює в режимі поздовжнього п'єзорезистивного ефекту визначається співвідношенням $K(\mathbf{n}) = \Pi(\mathbf{n}) \cdot E(\mathbf{n})$, де $\Pi(\mathbf{n})$ – подовжній п'єзорезистивний коефіцієнт, $\Pi(\mathbf{n}) = \Pi_{ijkl} n_i n_j n_k n_l$; $E^{-1}(\mathbf{n})$ – модуль Юнга у напрямку довжини датчика, паралельної одиничному вектору $\mathbf{n}(n_1 n_2 n_3)$, $E^{-1}(\mathbf{n}) = s_{ijkl} n_i n_j n_k n_l$.

Таким чином, задача зводиться до визначення максимальних значень функції $K(\mathbf{n})$ і напрямів \mathbf{n} , що відповідають цим значенням.

Для кремнію n-типу провідності з $\rho = 11,7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, що відноситься до класу m3m, $\Pi_{11} = -102,2 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дин}$; $\Pi_{12} = 58,4 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дин}$; $\Pi_{44} = -13,6 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дин}$; $s_{11} = 0,768 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дин}$; $s_{12} = -0,214 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дин}$; $s_{44} = 1,256 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{дин}$ [14].

Вирішимо задачу у програмному комплексі Mathcad Prime 8.

Введемо матриці п'єзорезистивних коефіцієнтів Π_{mn} і коефіцієнтів пружної податливості s_{mn} (рис. 1.18).

Складемо функцію, яка реалізує обчислення значення коефіцієнта тензочутливості K в довільному напрямку \mathbf{n} в кристалах (рис. 1.19).

$$\begin{array}{l}
 s_{11} := 0.768 \cdot 10^{-12} \quad s_{12} := -0.214 \cdot 10^{-12} \quad s_{44} := 1.256 \cdot 10^{-12} \\
 s_{mn} := \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ s_{12} & s_{11} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ s_{12} & s_{12} & s_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} \end{bmatrix} \\
 \Pi_{11} := -102.2 \cdot 10^{-12} \quad \Pi_{12} := 58.4 \cdot 10^{-12} \quad \Pi_{44} := -13.6 \cdot 10^{-12} \\
 \Pi_{mn} := \begin{bmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} & \Pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \Pi_{12} & \Pi_{11} & \Pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \Pi_{12} & \Pi_{12} & \Pi_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Pi_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Pi_{44} \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Рисунок 1.18 – Введення матриці коефіцієнтів пружної податливості кристалу і матриці п'єзорезистивних коефіцієнтів

$$K_n(\phi, \theta) := \frac{\left[\begin{array}{c} n \leftarrow \begin{bmatrix} \cos(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix} \\ nn \leftarrow \begin{bmatrix} n_1 \cdot n_1 & n_2 \cdot n_2 & n_3 \cdot n_3 & n_2 \cdot n_3 & n_1 \cdot n_3 & n_1 \cdot n_2 \end{bmatrix}^T \\ nn2 \leftarrow \begin{bmatrix} n_1 \cdot n_1 & n_2 \cdot n_2 & n_3 \cdot n_3 & 2 \cdot n_2 \cdot n_3 & 2 \cdot n_1 \cdot n_3 & 2 \cdot n_1 \cdot n_2 \end{bmatrix}^T \\ nn2^T \cdot \Pi_{mn} \cdot nn \\ nn^T \cdot s_{mn} \cdot nn \end{array} \right]}{nn^T \cdot s_{mn} \cdot nn}$$

Рисунок 1.19 – Функція, що реалізує розрахунок значення коефіцієнта тензочутливості K у довільному напрямку в кристалах

Результати дослідження

Розрахуємо і побудуємо вказівну поверхню коефіцієнта тензочутливості K (рис. 1.20), а також стереографічну і прямокутну проекції цієї поверхні (рис. 1.21 і 1.22).

Результати розрахунку показують (рис. 1.23 і 1.24), що коефіцієнт тензочутливості даних кристалів кремнію приймає тільки негативні значення; найбільший по абсолютній величині коефіцієнт тензочутливості досягається в напрямках $\langle 100 \rangle$ ($|K| = 133$), найменший – в напрямках $\langle 111 \rangle$ ($|K| = 7,9$). Таким чином, для отримання максимального значення коефіцієнта тензочутливості, датчик механічних деформацій, що працює в режимі поздовжнього п'єзорезистивного ефекту, необхідно орієнтувати уздовж напрямку типу $\langle 100 \rangle$.

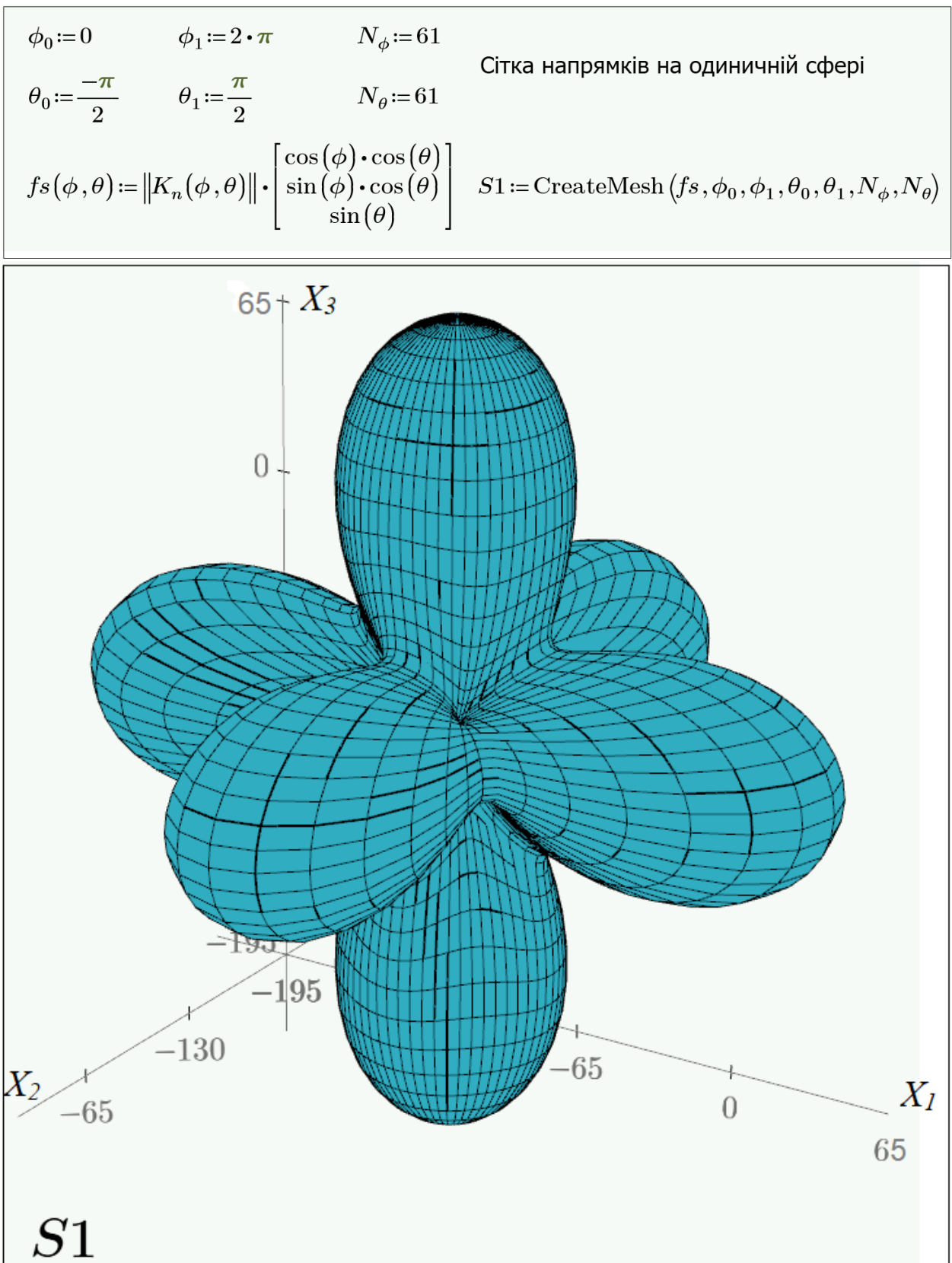


Рисунок 1.20 – Вказівна поверхня коефіцієнта тензочутливості K у кремнії n -типу провідності с $\rho = 11,7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

$$\begin{aligned} \phi_0 &:= 0 & \phi_1 &:= 2 \cdot \pi & N_\phi &:= 181 \\ \theta_0 &:= 0 & \theta_1 &:= \frac{\pi}{2} & N_\theta &:= 91 \end{aligned}$$

Сітка напрямків на одиничній сфері

$$fs1(\phi, \theta) := \begin{bmatrix} \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \cdot \cos(\phi) \\ \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \cdot \sin(\phi) \\ K_n(\phi, \theta) \end{bmatrix}$$

$$C1 := \text{CreateMesh}(fs1, \phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1, N_\phi, N_\theta)$$

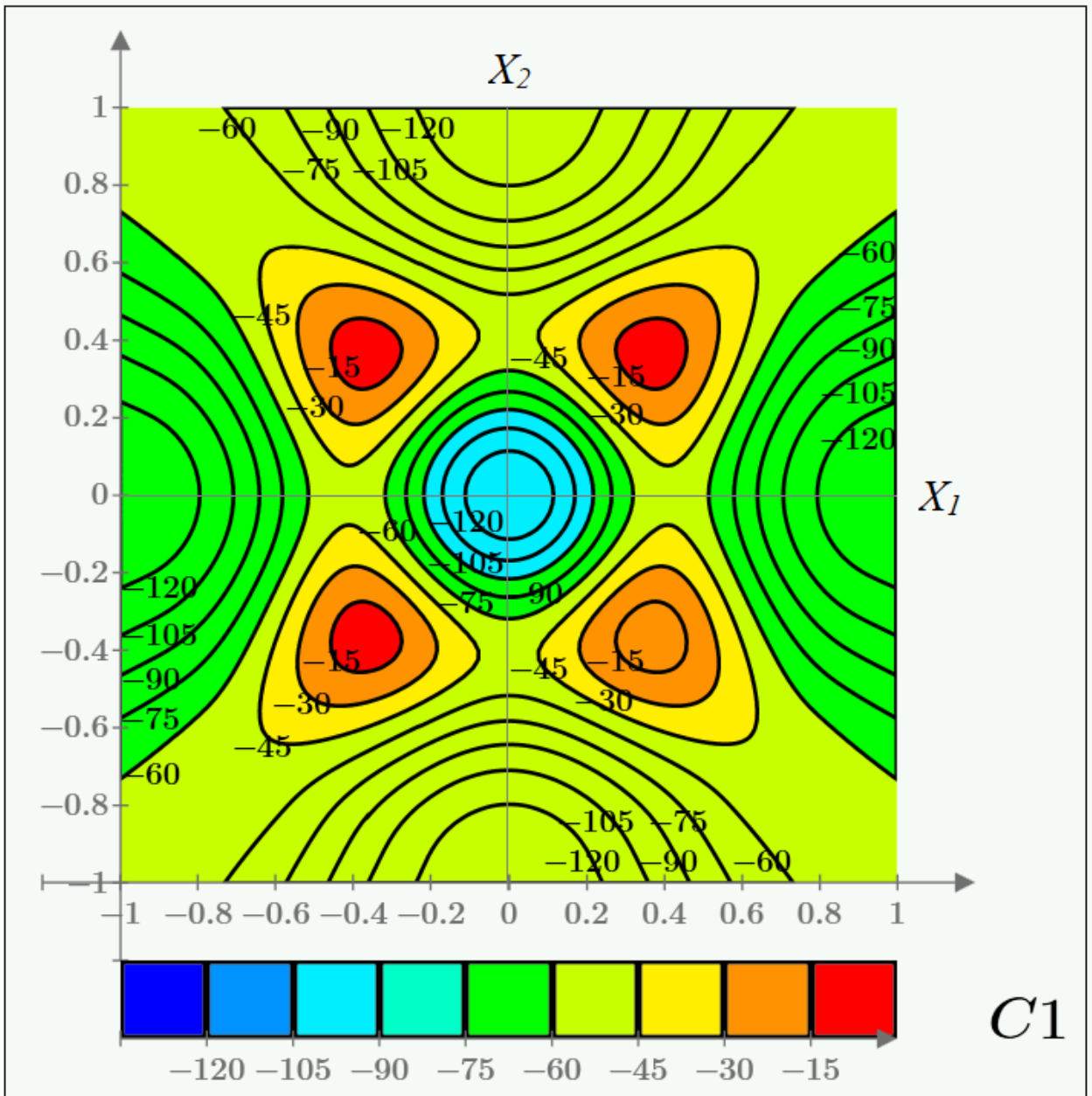


Рисунок 1.21 – Стереографічна проєкція вказівної поверхні коефіцієнта тензочутливості K у кремнії n -типу провідності з $\rho = 11,7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$

$$\phi_0 := 0 \quad \phi_1 := 90 \quad N_\phi := 91$$

Сітка напрямків на одиничній сфері

$$\theta_0 := 0 \quad \theta_1 := 90 \quad N_\theta := 91$$

$$fs2(\phi, \theta) := K_n \left(\phi \cdot \frac{\pi}{180}, \theta \cdot \frac{\pi}{180} \right) \quad C2 := \text{CreateMesh}(fs2, \phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1, N_\phi, N_\theta)$$

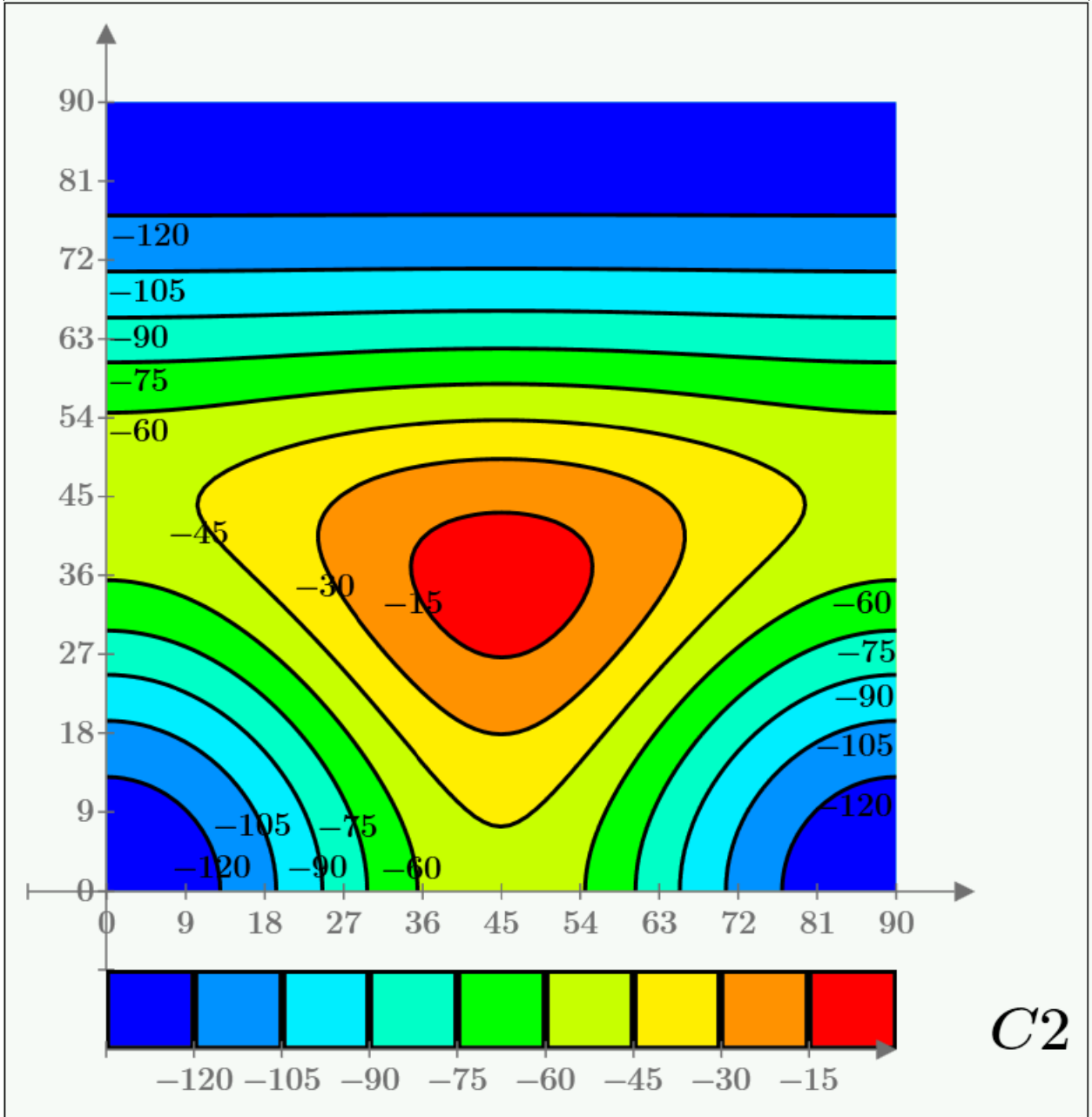


Рисунок 1.22 – Прямокутна проекція вказівної поверхні коефіцієнту тензочутливості K для кремнію n-типу провідності з $\rho = 11,7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$

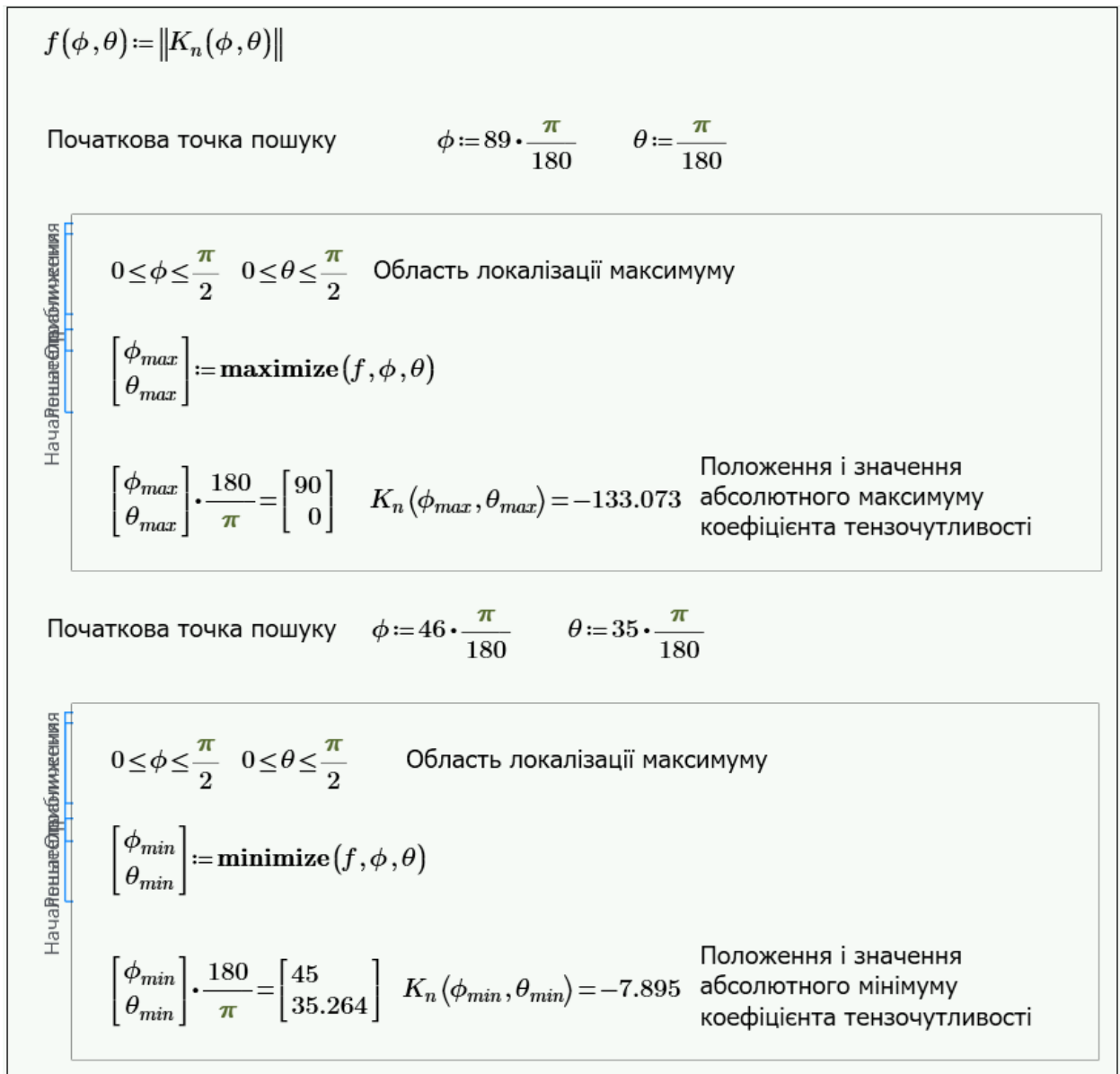


Рисунок 1.23 – Розрахунок екстремумів коефіцієнту тензочутливості K для кремнію n -типу провідності з $\rho = 11,7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

Висновки

Розроблено алгоритм і програму розрахунку тензорних фізичних властивостей матеріалу, зокрема, коефіцієнта теплового розширення і коефіцієнта тензочутливості в програмному комплексі Mathcad Prime 8.

Для візуалізації анізотропії коефіцієнта теплового розширення кристалів складена функція, яка реалізує, згідно виразу (2.1), обчислення значення коефіцієнта теплового розширення кристалів (у 10^{-6} K^{-1}) в довільному

напрямку \mathbf{n} . Виконана побудова вказівної поверхні коефіцієнта теплового розширення кристалів, її стереографічної проекції, а також перетину вказівної поверхні площиною X_1X_3 .

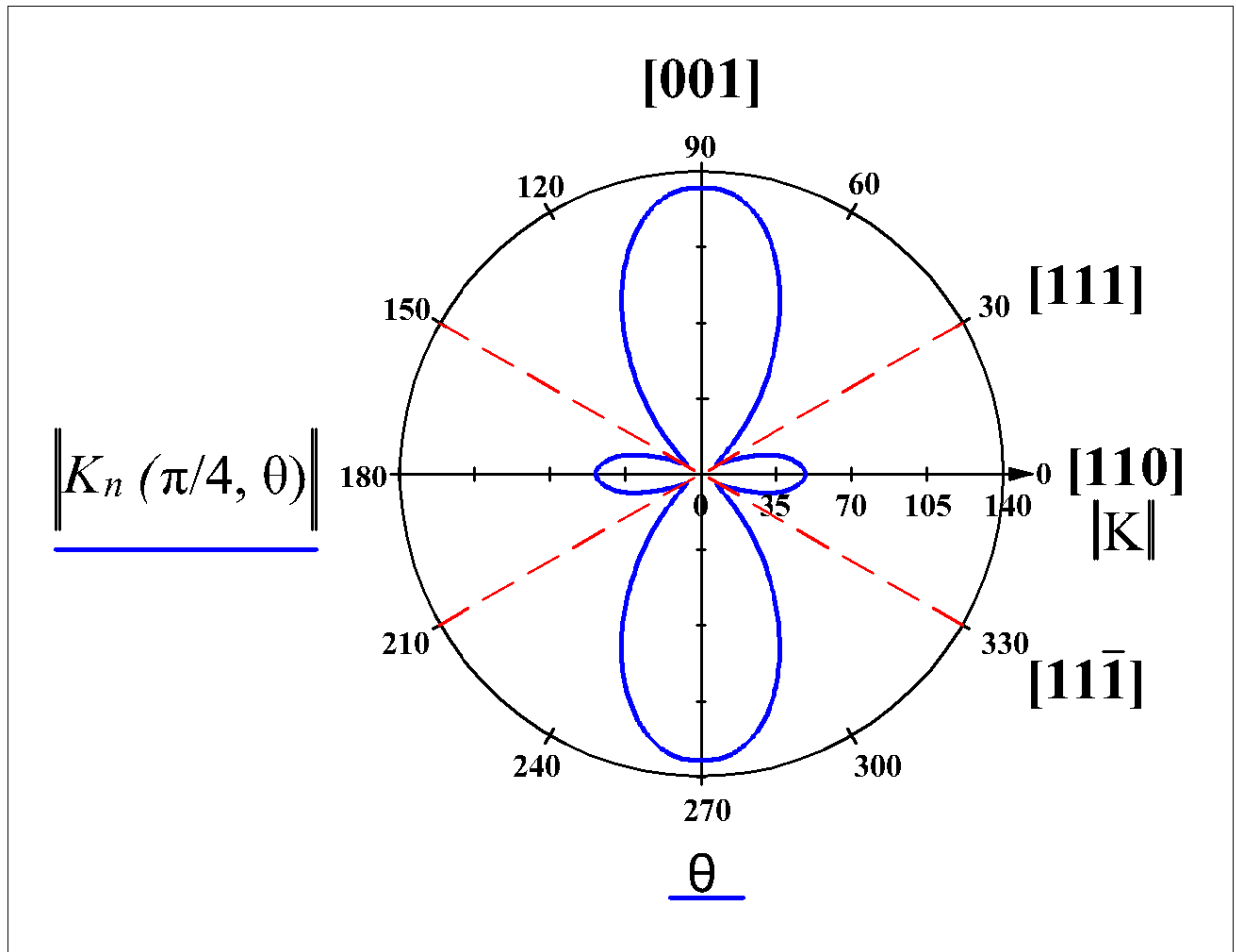


Рисунок 1.24 – Анізотропія модуля коефіцієнту тензочутливості K у площині $[0\bar{1}0]$ для кремнію n -типу провідності з $\rho = 11,7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$

Знайдено найменше значення коефіцієнта теплового розширення, що дорівнює $6,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, яке спостерігається в напрямку, що знаходиться в площині X_1X_3 і що становить кут $25,1^\circ$ з віссю X_2 ; і найбільше значення коефіцієнта теплового розширення, що дорівнює $44,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, відповідне напрямку осі X_2 (Y – зріз).

Для візуалізації анізотропії коефіцієнта тензочутливості кремнію n -типу складено функцію, яка реалізує обчислення значення коефіцієнта тензочутливості K в довільному напрямку \mathbf{n} в кристалах.

Розраховано і побудовано вказівну поверхню коефіцієнта тензочутливості K , а також стереографічну і прямокутну проекції цієї поверхні.

Результати розрахунку показують (рис. 1.23 і 1.24), що коефіцієнт тензочутливості кристалів кремнію приймає тільки негативні значення; найбільший по абсолютній величині коефіцієнт тензочутливості досягається в напрямках $\langle 100 \rangle$ ($|K| = 133$), найменший – в напрямках $\langle 111 \rangle$ ($|K| = 7,9$). Таким чином, для отримання максимального значення коефіцієнта тензочутливості, датчик механічних деформацій, що працює в режимі подовжнього п'єзорезистивного ефекту, необхідно орієнтувати уздовж напрямку типу $\langle 100 \rangle$.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Вступ

Однією з умов успішної господарської діяльності і розвитку металургійної галузі в Україні є виробництво конкурентоздатних високорентабельних видів металопродукції. До таких видів металопродукції повною мірою відноситься сталевий листовий прокат. Проблема ресурсозбереження набуває особливої актуальності в умовах кризи металургійної галузі. Таким чином, ресурсозбереження в широкому розумінні цього слова є найважливішою умовою забезпечення конкурентоспроможності металургійного підприємства в умовах ринкової економіки. В даний час енерговитрати і витрати матеріальних ресурсів на українських металургійних підприємствах істотно перевищують аналогічні показники провідних зарубіжних фірм.

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є вирішення важливої задачі – зменшення енерговитрат і підвищення якості продукції, зниження поломок підшипників кочення робочих валків при прокатуванні штаб на реверсивному стані 1680 шляхом застосування валкового вузла кліті кварто з несиметричним процесом прокатки, в якому осі робочих валків зміщені відносно осі опорних валків у протилежних напрямках.

2.2 Новий комплект валків для кліті кварто

Відомий винахід [19], що відноситься до прокатного виробництва, а точніше, до конструкції клітей для прокатки штаб, листів та сортових профілів.

У якості аналога цього винаходу використовується відомий комплект кліті кварто, в якому осі робочих і опорних валків розташовані в одній вертикальній площині [20, с. 108, рис. 51]. Недоліком цього комплекту кліті кварто є недостатня стійкість (звалювання, зміщення) робочих валків і поява

перекосів щодо опорних валків, особливо, при нерівності заднього (T_0) і переднього (T_1) натягувань. При цьому можливий випадок, коли від дії горизонтальних осьових сил відбувається руйнування підшипників кочення, розміщених в подушках робочих валків [20].

Найбільш близьким, що заявляється є комплект валків кліті кварто, який включає робочі та опорні валки, де робочі валки зміщені щодо опорних валків в напрямку прокатки на однакову відстань. При цьому осередок деформації симетричний щодо поздовжньої осі штаби – симетричний процес прокатки [20, с. 108, рис. 50]. У практичних умовах для підвищення стійкості осі робочих валків зміщують щодо осей опорних валків у напрямку прокатки на $a = e_3 - e_1 = 2 - 20$ мм по ходу прокатки, відповідно нижнього і верхнього робочих валків.

Недоліком такого комплекту кліті кварто є те, що з різних причин (неоднакові зазори між поверхнями подушок і внутрішніми поверхнями станин, нерівномірний знос подушок робочих валків і змінних планок станин або лап подушок опорних валків) може виникнути горизонтальний перекіс осей робочих і опорних валків. Таким чином, в цій кліті відсутнє самовстановлення робочих валків відносно один одного. Виникаючі при цьому горизонтальні осьові сили сприяють руйнуванню підшипників шийок робочих валків, а також відбувається нерівномірна деформація кромки штаби, яка призводить до утворення різнотовщинності і неплоскостності штаби.

В основу запропонованого нового комплекту валків кліті кварто поставлено завдання створення такого комплекту, в якому за рахунок нового розташування робочих валків відносно опорних валків, забезпечується зниження впливу перекосів робочих валків та разом з цим підвищення точності та площинності штаб і зниження випадків руйнування підшипників робочих валків.

Для вирішення поставленого завдання у комплекті валків кліті кварто прокатного стана зі зміщенням осей робочих валків відносно осей опорних

валків, один робочий валок (наприклад, нижній) зміщено в напрямку прокатки штаби відносно іншого робочого валка (наприклад, верхнього).

На рис. 2.1 представлена схема розташування комплекту валків прокатної кліти кuartо з верхнім 1 і його віссю 2 і нижнім 3 з його віссю 4 робочими валками, які зміщені один щодо другого і щодо опорних валків 5, 6 з віссю 7 по напрямку прокатки штаби 8.

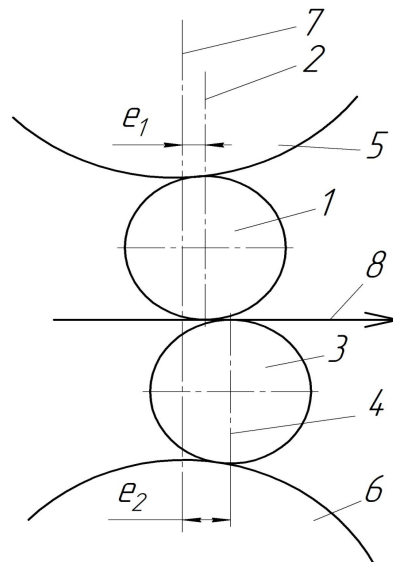


Рисунок 2.1 – Схема розташування комплекту валків відповідно до [19]

На рис. 2 представлений осередок деформації штаби 8 в робочих валках 1 і 3 зі зміщеними осями 2, 4 відносно один до другого.

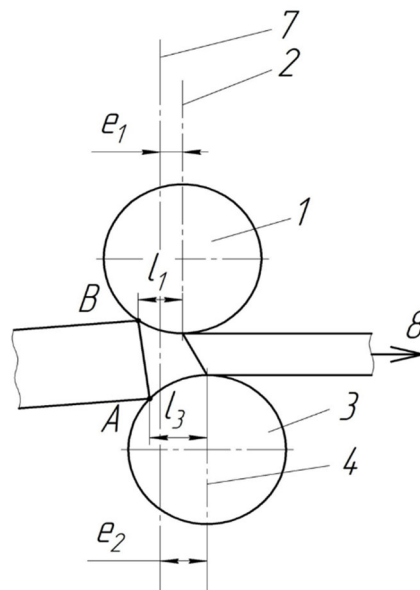


Рисунок 2.2 – Осередок деформації штаби відповідно до [19]

Відмінною особливістю запропонованого розташування робочих валків 1, 3 щодо опорних валків і один щодо другого (рис. 2.1, 2.2) є різне зміщення осей 2 і 4 робочих валків 1, 3 щодо осі 7 опорних валків 5, 6 на величину $a = e_3 - e_1 = 2 - 20$ мм при $m = e_1/e_3 < 1,0$.

На рис. 2.2 показано несиметричний осередок деформації при прокатуванні штаби 8. На відміну від прототипу (симетричний процес) в пропонованому комплекті валків прокатної кліти кварто за рахунок взаємного зміщення осей і самих робочих валків 1, 3 довжина осередку деформації на них різна. З геометричних співвідношень довжина дуги контакту осередку деформації l_3 на нижньому валку 3 більше, ніж довжина l_1 на верхньому валку 1. При цьому, момент контакту штаби з валками 1 і 3 різний у часі. У контакт з нижнім валком штаба входить (точка А) пізніше, ніж входить в контакт з верхнім валком (точка В) (де l – довжина дуги контакту осередку деформації на відповідних валках).

Внаслідок різних параметрів довжин дуг контакту з боку верхнього і нижнього валків відомі зони відставання і випередження на контактах різні і це зумовлює появу в осередку деформації різних швидкостей течії шарів металу і внутрішніх поздовжніх напружень розтягу. Крім того, внаслідок відмінності кутів початкового контакту штаби з робочими валками 1 і 3 будуть різні і горизонтальні складові окружної швидкості валків в точках контакту А і В. При цьому матимемо $v_{1x} < v_{3x}$ (де v_{1x} і v_{3x} – горизонтальні складові окружної швидкості v_1 і v_3 валків відповідно в точках А і В).

Таким чином, у пропонованому комплекті валків кліти кварто присутні всі ознаки несиметричного процесу прокатки, коли в осередку деформації, за рахунок різних швидкостей течії металу на верхньому і нижньому валках, виникають внутрішні напруження розтягу і поздовжні сили [21, 22]. Наявність напружень, що розтягують і горизонтальних поздовжніх сил в осередку деформації забезпечує самовстановлення робочих валків відносно один до другого і зменшення навантажень на підшипники робочих валків.

Створений таким чином несиметричний осередок деформації і наявність в ньому поздовжніх напружень розтягу зменшує вплив контактних сил тертя, знижує рівень поздовжніх напружень, що підпирають і, отже, зменшує величини середніх нормальних контактних напружень і енергосилові параметри прокатки.

Наявність внутрішніх поздовжніх напружень, що розтягують, зменшує вплив горизонтального перекосу осей робочих валків на осередок деформації, забезпечує підвищення точності товщини і зменшення неплоскостності штаб.

Раціональне співвідношення взаємного зміщення робочих валків $m = 0,10 - 0,60$ обумовлено ступенем впливу його на напружений стан металу в осередку деформації. При $m = 1,0$ маємо симетричний процес прокатки та відсутність внутрішніх напружень, що розтягують, а при $m = 0$ ($\epsilon_1 = 0$) виникають максимально можливі напруження, що розтягують в осередку деформації, тобто досягається максимальний ефект зниження навантажень. Однак при такому співвідношенні $m = 0$ робочий валок 1 повністю втрачає свою стійкість щодо опорного валка і збільшується ймовірність поломок підшипників робочих валків. При пропонованому раціональному зміщенні робочих валків в межах $m = 0,10 - 0,60$ забезпечується і стійкість робочих валків і ефективно зниження енергосилових параметрів прокатки штаб.

Таким чином, в порівнянні з прототипом пропонований валковий комплект кліті кварто забезпечує зменшення кількості поломок підшипників кочення робочих валків, сприяє поліпшенню площинності і підвищенню точності товщини штаби та знижує енергосилові параметри прокатки.

2.3 Особливості прокатки штаб на реверсивному стані з взаємним зсувом робочих валків

Відомий винахід [23], що відноситься до прокатного виробництва, зокрема до прокатки штаб і листів.

Найближчим аналогом до цього винаходу є валковий вузол, в якому осі робочих і опорних валків розташовані в одній вертикальній площині [20, с. 108, рис.51].

Недоліком цього валкового вузла являється нестійкість (звалювання) робочих валків відносно опорних валків, при нерівності заднього (T_0) і переднього (T_1) натягнень. Якщо $T_0 > T_1$, то робочі валки разом з подушками звалюються у бік сили T_0 заднього натягнення. При цьому можливий випадок, коли від дії горизонтальної сили T_0 і горизонтальної складової сили $P_{оп}$ від опорного валка відбувається руйнування підшипників кочення робочих валків [24 с. 155, рис.74, с.183, рис.90].

Найбільш близьким прототипом до валкового вузла з взаємним зсувом робочих валків [23] є валковий вузол кліті кварто, який включає робочі і опорні валки з подушками, і в якій осі робочих валків зміщені відносно опорних валків в одному напрямі [20, с. 108, рис.50].

Недоліком такого валкового вузла, є те, що при невеликому взаємному перекосі робочих валків виникають осьові сили, що руйнують підшипники шийок валків і виникає нерівномірна деформація кромки штаби, що приводить до збільшення неплочинності штаби. Особливо це виявляється при реверсивному прокатуванні штаби, тобто коли штаба рухається в напрямі, протилежному зміщенню робочих валків відносно опорних. В цьому випадку реактивна сила від штаби зсовує робочі валки разом з подушками до упору в поверхні лап подушок опорних валків. Сумарна горизонтальної і осьової сил у ряді випадків приводить до руйнування підшипників кочення робочих валків.

В основу корисної моделі [23] поставлено завдання створення такої конструкції валкового вузла, в якому за рахунок нового розташування робочих валків відносно опорних забезпечується зниження впливу перекосів робочих валків і разом з цим підвищення площинності штаб і зниження руйнування підшипників робочих валків.

Для вирішення поставленого завдання у валковому вузлі кліті кварто, який включає робочі і опорні валки з подушками і зміщенням осей робочих валків відносно осі опорних валків, осі робочих валків зміщені відносно осі опорних валків в протилежному напрямі.

На рис. 2.3 представлена схема валкового вузла з опорними валками 1, 2 і подушками 3, 4, в яких розташовані подушки 5, 6 з робочими валками 7, 8 які деформують штабу 9, 10.

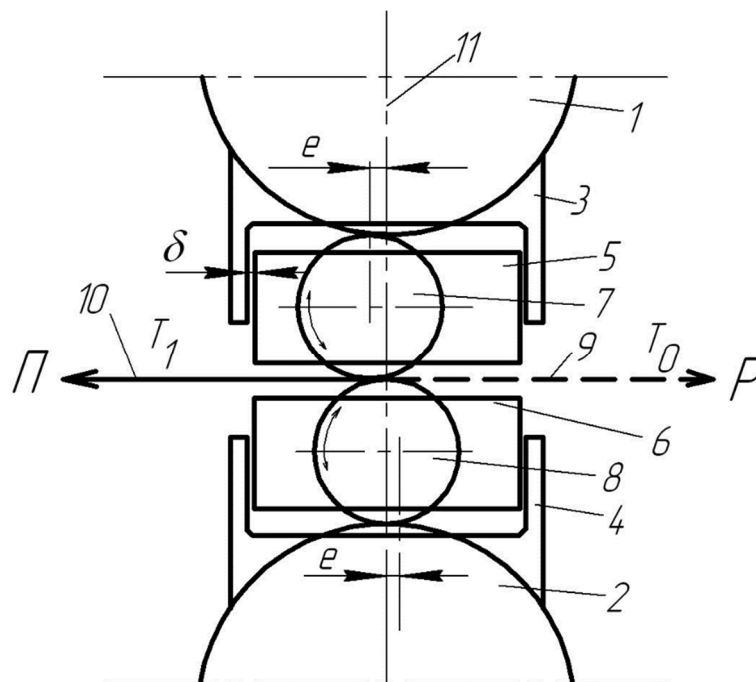


Рисунок 2.3 – Схема валкового вузла відповідно до [23]

На рис. 2.4 показані робочі валки 7, 8 і осі відповідно опорних валків 11 і робочих валків 12, 13.

Відмінною особливістю валкового вузла (рис. 2.3) є зміщення осей робочих валків 7, 8 відносно осі 11 опорних валків 1, 2 на величину e , рівну e

= 5 – 10 мм. Подушки робочих валків встановлюють в подушках опорних валків з монтажним зазором $\delta \leq 0,5$ мм. Стрілками на валках показано напрям обертання валків при прямому прокатуванні (П) – суцільна лінія, при реверсивному прокатуванні (Р) – пунктирна лінія. Символами T_0 і T_1 позначені відповідно сили заднього і переднього натягання.

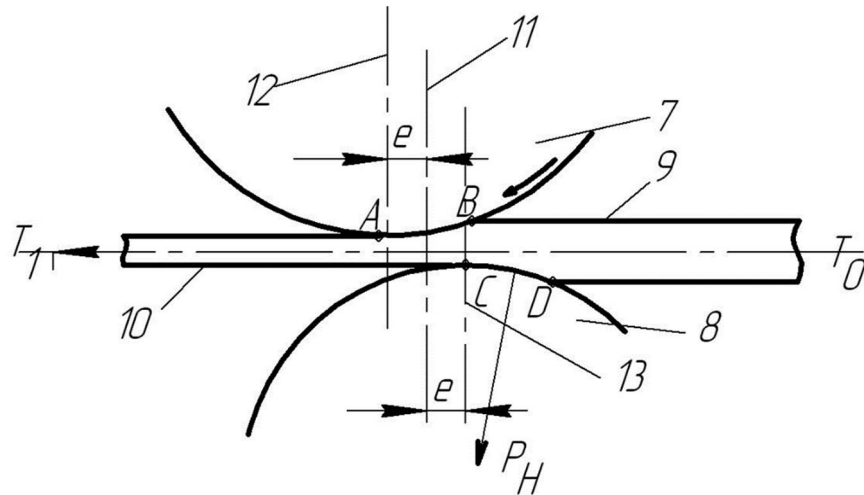


Рисунок 2.4 – Схема розташування робочих валків по відношенню до осі опорних валків відповідно до [23]

На рис. 2.4 показано в збільшеному масштабі осередок деформації при прокатуванні вхідної штаби 9 на кінцеву товщину штаби 10. На відміну від прототипу (симетричний процес) [20, с. 108, рис.50] у валковому вузлі, що запропонований за рахунок протилежного, відносно осі опорних валків, зміщення осей і самих робочих валків 7, 8, осередок деформації АВДС має велику довжину. Причому дуга контакту АВ з боку верхнього робочого валка 7 зміщена по ходу прокатки відносно дуги контакту СД з боку нижнього робочого валка 8. Крім того, момент захвату штаби валками 7 і 8 різний в часі. У контакт з нижнім валком штаба входить раніше (точка Д), ніж входить в контакт з верхнім валком (точка В). Таким чином, в даному осередку присутні усі ознаки несиметричного процесу прокатки, в осередку деформації якого виникають внутрішні розтягуючі напруження [25 с.19; с.142]. Збільшення сумарної (з боку обох валків) довжини дуги контакту і наявність розтягуючих

напружень нівелює (послаблює) вплив на процес прокатки перекосу робочих валків відносно опорних валків.

З рис. 2.3, 2.4 також слідує, що верхній робочий валок 7, зміщений по ходу прокатки, реактивна сила від штаби притискатиме до опорного валка своєю бочкою, а не подушками 5 до лап подушок 3 опорного валка 1. На нижній робочий валок 8 з боку штаби на довжині дуги контакту СД діятиме сила P_n , що притискує його до опорного валка 2, а горизонтальна її складова перешкоджатиме зміщенню робочого валка 8 з подушками 6 у бік лап подушок 4 опорного валка 2. Це забезпечує зниження ймовірності поломок підшипників кочення, в яких встановлені шийки робочого валка. Наявність додаткових поздовжніх внутрішніх розтягуючих напружень, що нівелюють дію перекосу осей робочих валків на осередок деформації, у свою чергу, забезпечує зменшення неплщинності штаб.

Таким чином, у порівнянні з прототипом валковий вузол кліті кварто нової конструкції забезпечує зниження поломок підшипників кочення робочих валків і неплщинності штаби.

2.4 Заходи щодо реконструкції реверсивного стана 1680

При прокатуванні широкоштабової сталі в клітях кварто або багатовалкових клітях крім симетричного процесу прокатки (опорні і робочі валки розташовані по одній вертикальній осі) часто використовуються переваги несиметричних процесів прокатування.

Так, наприклад, прокатні кліті оснащуються системами осьового зсуву робочих валків, у тому числі і з застосуванням клітей SVC, що забезпечує управління профілем штаби в процесі прокатування. При переміщенні валків в осьовому напрямку, протилежному один одному, можливо отримати або потовщення або стоншування середньої частини міжвалкового зазору.

На станах з постійним напрямом прокатки часто установку подушок з підшипниками робочих валків проводять так, щоб робочі валки були зміщені

(на 5 – 10 мм) щодо опорних валків у напрямку руху металу. Практика показує, що при цьому досягається велика стійкість положення робочих валків, тобто більш правильне зіткнення робочих і опорних валків по створюючих їх циліндрових поверхнях. Це відбувається за рахунок того, що горизонтальна складова сил прокатки притискує робочі валки до опорних, а натягнення штаби (переднє і заднє) або зменшує, або збільшує притиснення до опорних валків.

Авторами [23] запропонований валковий вузол кліті кварто, у якому осі робочих валків зміщені щодо осі опорних валків в протилежних напрямках. У такій кліті (рис. 2.3) верхній робочий валок 7, зміщений по ходу прокатування, реактивна сила від штаби притискує його до опорного валка його бочкою, а не подушками 5, до лап подушок 3 опорного валка 1. На нижній робочий валок 8 з боку штаби по довжині дуги контакту СД діє сила P_n , яка притискує його до опорного валка 2, а горизонтальна її складова перешкоджає зсуву робочого валка 8 з подушками 6 в сторону лап подушок 4 опорного валка 2.

Основною причиною виникнення несиметричного процесу є відмінність умов захвату кінця розкату верхнім і нижнім валками і при цьому довжини дуг захвату на валках виявляються неоднаковими, тобто виникає характерний несиметричний процес з нахилом штаби на вході в осередок деформації, і взаємний зсув верхньої і нижньої частин шарів металу в осередку деформації за рахунок наявності додаткової розтягуючої напруги в осередку деформації. А це у свою чергу призводить до зниження середньої нормальної контактної напруги.

Взаємний протилежний зсув валків в горизонтальній площині може бути застосований на реверсивних станах холодної і гарячої прокатки листів та штаб, що забезпечить поліпшення якості (площинності) прокатуваних штаб, зниження силових навантажень при прокатуванні, зниження поломок підшипників кочення робочих валків.

2.5 Визначення вигину валків в процесі прокатування штаб

Якість листової (штабової) продукції оцінюють відповідністю необхідного хімічного складу, мікроструктури, показників механічних властивостей (межі міцності і текучості, відносного подовження, твердості), різнотовщинності і неплщинності.

Вихідна поперечна різнотовщинність холоднокатаної штаби обумовлена наявністю декількох постійно діючих факторів:

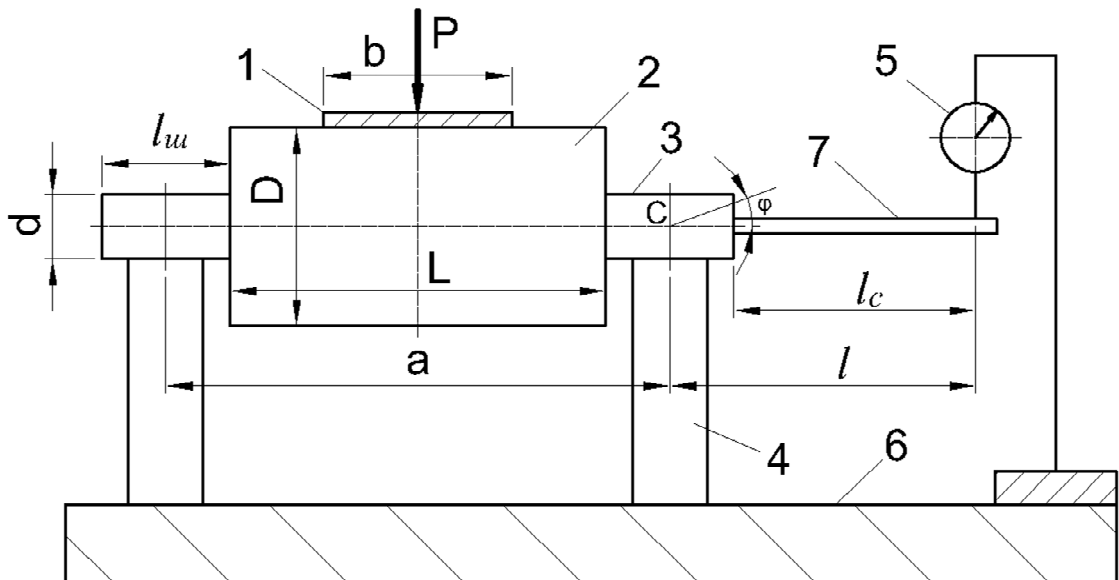
- наявністю вигину робочих і опорних валків, величина якого визначається силовими, геометричними параметрами валків і штаби, системою профілюванням валків. Фактори, що збільшують вигин валків призводять до збільшення поперечної різнотовщинності штаб;

- при прокатуванні кінцевих ділянок штаб (переднього і заднього) без натягу збільшується сила прокатки, вигин валків і поперечна різнотовщинність штаб;

- нераціональним профілюванням валкового комплекту без урахування ширини штаби – призводить до нерівномірного розподілу міжвалкового тисків і тисків під штабою, що викликає нерівномірний знос валків і нерівномірні обтиснення, і товщини штаби по ширині.

Експериментальна частина

Для вимірювання вигину валка використовували лабораторну установку, представлену на рис. 2.5. Ця установка має валок 2, що спирається шийками 3 на опори 4, які в свою чергу встановлені на плиту 6 рухомої траверси пресу типу УПГ - 20 / 2. Валок через штабу 1 навантажують зусиллям $P=10 - 50$ кН, а вигин валка вимірюють індикатором 5 з використанням стрижня - подовжувача 7 [26].



1 - штаба; 2 – валок, вигин якого досліджується; 3 - шийка валка; 4 - опора; 5 - індикатор; 6 - опорна плита; 7 – стрижень-подовжувач

Рисунок 2.5 – Установка для визначення вигину валка

Установка має наступні параметри (мм):

Діаметр валка – $D = 53$;

діаметр шийки – $d = 17$;

довжина бочки валка – $L = 100$;

довжина шийки валка – $l_{ш} = 34$;

довжина стрижня – $l_c = 170$;

ширина штаб – $b = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$;

відстань – $a = 134$;

навантаження – $P = 10, 20, 30, 40, 50$ кН.

Вигин краю бочки валка щодо точки «С» визначимо з виразу

$$y_1 = y \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} \quad (2.1)$$

де y – відхилення кінця стрижня, що вимірюється індикатором; $l_{ш}$ – довжина шийки; l – довжина, що визначається за виразом

$$l = l_c + 0,5 \cdot l_{ш} = 170 + 0,5 \cdot 34 = 187 \text{ мм}, \quad (2.2)$$

де l_c – довжина стрижня вимірювача до осі індикатора.

Вигин валка щодо точки «С» при вигині його по параболічній кривій дорівнює:

$$W_c = y_1 \cdot \left(\frac{a}{l_{\text{ш}}}\right)^2 \quad (2.3)$$

Вигин валка щодо краю бочки;

$$W_6 = W_c \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 \quad (2.4)$$

Визначимо вигин валка W_δ при різних навантаженнях P і різній ширині штаби b , що наведені вище. В ході експерименту були отримані наступні значення параметру «у», наведені у табл. 2.1, які використовуються при розрахунку вигину валка для різних $P = 10 - 50$ кН, за формулою (2.1).

Для ширини штаби 10 мм:

$$y_{1P1} = y_{P1} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,0193 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00176 \text{ мм};$$

$$y_{1P2} = y_{P2} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,0386 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00351 \text{ мм};$$

$$y_{1P3} = y_{P3} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,058 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00527 \text{ мм};$$

$$y_{1P4} = y_{P4} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,0773 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00703 \text{ мм};$$

$$y_{1P5} = y_{P5} \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2 \cdot l} = 0,0966 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00878 \text{ мм}.$$

Таблиця 2.1 – Експериментальні значення параметра “у”, отримані при навантаженнях валка $P = 10 - 50$ кН і при ширині штаби $10 - 90$ мм

Ширина штаби, мм	Значення "у" (мм) при навантаженні P, кН				
	10	20	30	40	50
10	0,0193	0,0386	0,0580	0,0773	0,0966
20	0,0193	0,0385	0,0578	0,0770	0,0963
30	0,0192	0,0383	0,0575	0,0766	0,0958
40	0,0190	0,0381	0,0571	0,0761	0,0951
50	0,0189	0,0377	0,0566	0,0754	0,0943
60	0,0187	0,0373	0,0560	0,0746	0,0933
70	0,0184	0,0369	0,0553	0,0737	0,0922
80	0,0182	0,0364	0,0545	0,0727	0,0909
90	0,0179	0,0358	0,0537	0,0716	0,0895

Тепер знаходимо вигин валка відносно точки «С» по формулі (2.3):

$$W_{CP1} = y_{1P1} \cdot \left(\frac{a}{l_{III}}\right)^2 = 0,00176 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0273 \text{ мм};$$

$$W_{CP2} = y_{1P2} \cdot \left(\frac{a}{l_{III}}\right)^2 = 0,00351 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0546 \text{ мм};$$

$$W_{CP3} = y_{1P3} \cdot \left(\frac{a}{l_{III}}\right)^2 = 0,00527 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0818 \text{ мм};$$

$$W_{CP4} = y_{1P4} \cdot \left(\frac{a}{l_{III}}\right)^2 = 0,00703 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,1091 \text{ мм};$$

$$W_{CP5} = y_{1P5} \cdot \left(\frac{a}{l_{III}}\right)^2 = 0,00878 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,1364 \text{ мм}.$$

Вигин валка відносно краю бочки буде дорівнювати по формулі (2.4):

$$W_{6P1} = W_{CP1} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0273 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0152 \text{ мм};$$

$$W_{6P2} = W_{CP2} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0546 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0304 \text{ мм};$$

$$W_{6P3} = W_{CP3} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0818 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0456 \text{ мм};$$

$$W_{6P4} = W_{CP4} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,1091 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0608 \text{ мм};$$

$$W_{6P5} = W_{CP5} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,1364 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,076 \text{ мм.}$$

Будуємо графік залежності $W_6 = f(P)$ – рис. 2.6.

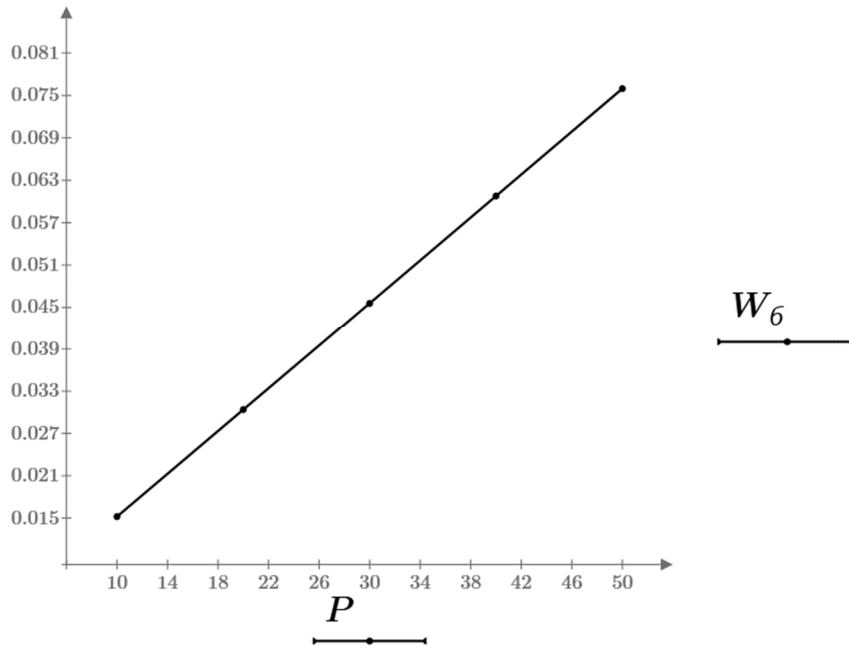


Рисунок 2.6 – Залежність вигину бочки валка W_6 , мм, від навантаження на валок P , кН

Аналогічні розрахунки виконують для штаб іншої ширини відповідно до параметрів табл. 2.1. Результати розрахунків заносяться до табл. 2.2 і будуються графіки, наведені на рис. 2.7.

Рисунок 2.7 показує, що чим ширше штаба, тим менше вигин валка, але ширина штаби слабо впливає на вигин. Значно сильніше на вигин валка впливає навантаження, тобто сила прокатки (рис. 2.6).

Далі розраховуємо очікувану величину вигину валка по теоретичній формулі [27]:

$$f = \frac{P}{384 \cdot E \cdot J_1} \cdot \left[8 \cdot a^3 - 4 \cdot a \cdot b^2 + b^3 + 64 \cdot c^3 \cdot \left(\frac{J_1}{J_2} - 1 \right) \right]; \quad (2.5)$$

де P – навантаження, Н; E – модуль пружності: для сталюого валка дорівнює $2,15 \cdot 10^{11}$ Н/м²; J_1 і J_2 – момент інерції перетину бочки і шийки валка відповідно, м⁴; a – відстань між опорами валка, м (рис. 2.5); b – ширина штаби, м; c – половина довжини шийки валка $l_{ш}$, м.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків за експериментальними даними вигину валка при різних навантаженнях на нього і при використанні штаби різної ширини

Ширина штаби, мм	Прогин валка W_6 , мм, при різних навантаженнях P				
	$P=10$ кН	$P=20$ кН	$P=30$ кН	$P=40$ кН	$P=50$ кН
10	0,0152	0,0304	0,0456	0,0608	0,0760
20	0,0151	0,0303	0,0454	0,0606	0,0757
30	0,0151	0,0301	0,0452	0,0603	0,0753
40	0,0150	0,0299	0,0449	0,0598	0,0748
50	0,0148	0,0297	0,0445	0,0593	0,0742
60	0,0147	0,0293	0,0440	0,0587	0,0734
70	0,0145	0,0290	0,0435	0,0580	0,0725
80	0,0143	0,0286	0,0429	0,0572	0,0715
90	0,0141	0,0282	0,0422	0,0563	0,0704



Рисунок 2.7 – Залежність вигину валка від ширини штаби при різних навантаженнях

Для розрахунку приймаємо наступні значення: $E = 2,15 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$;

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot D^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 0,053^4 = 3,873 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4;$$

$$J_2 = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 0,017^4 = 4,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$\frac{J_1}{J_2} = 94,473;$$

$a = 0,134 \text{ м}$; $c = 0,017 \text{ м}$.

При $b = 10 \text{ мм}$, тобто $0,01 \text{ м}$ і $P = 10 \div 50 \text{ кН}$, тобто $10000 \div 50000 \text{ Н}$ отримаємо за формулою (2.5):

$$f_{P_1} = \frac{10000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 1,519 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0152 \text{ мм};$$

$$f_{P_2} = \frac{20000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 3,039 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0304 \text{ мм};$$

$$f_{P_3} = \frac{30000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 4,558 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0456 \text{ мм};$$

$$f_{P_4} = \frac{40000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 6,078 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0608 \text{ мм};$$

$$f_{P_5} = \frac{50000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7}} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)] = 7,597 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,076 \text{ мм};$$

Отримані дані заносимо до табл. 2.3 і порівнюємо з експериментальними даними (табл. 2.2). Будуємо графік залежності вигину бочки валка f від навантаження на валок P і наносимо його на рис. 2.6. У даному випадку результати табл. 2.2 і 2.3, а також графіки на рис. 2.6 співпадають.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків за теоретичною формулою вигину валка при різних навантаженнях на нього і при використанні штаби різної ширини

Ширина штаби, мм	Теоретичний прогин валка f (мм) при навантаженнях:				
	$P=10$ кН	$P=20$ кН	$P=30$ кН	$P=40$ кН	$P=50$ кН
10	0,0152	0,0304	0,0456	0,0608	0,0760
20	0,0151	0,0303	0,0454	0,0606	0,0757
30	0,0151	0,0301	0,0452	0,0603	0,0753
40	0,0150	0,0299	0,0449	0,0598	0,0748
50	0,0148	0,0297	0,0445	0,0593	0,0742
60	0,0147	0,0293	0,0440	0,0587	0,0734
70	0,0145	0,0290	0,0435	0,0580	0,0725
80	0,0143	0,0286	0,0429	0,0572	0,0715
90	0,0141	0,0282	0,0422	0,0563	0,0704

За допомогою комп'ютерної програми Mathcad будуємо контурний графік, зображений на рис. 2.8. На цьому графіку по горизонтальній осі відкладено значення ширини штаби b (мм), по вертикальній осі – значення навантаження P (кН). На самому графіку зображено зони з однаковою

Таким чином, експериментальні дані по вигину валка в результаті навантаження при прокатуванні співпадають з даними, отриманими за теоретичною формулою, наведеною у літературі [27].

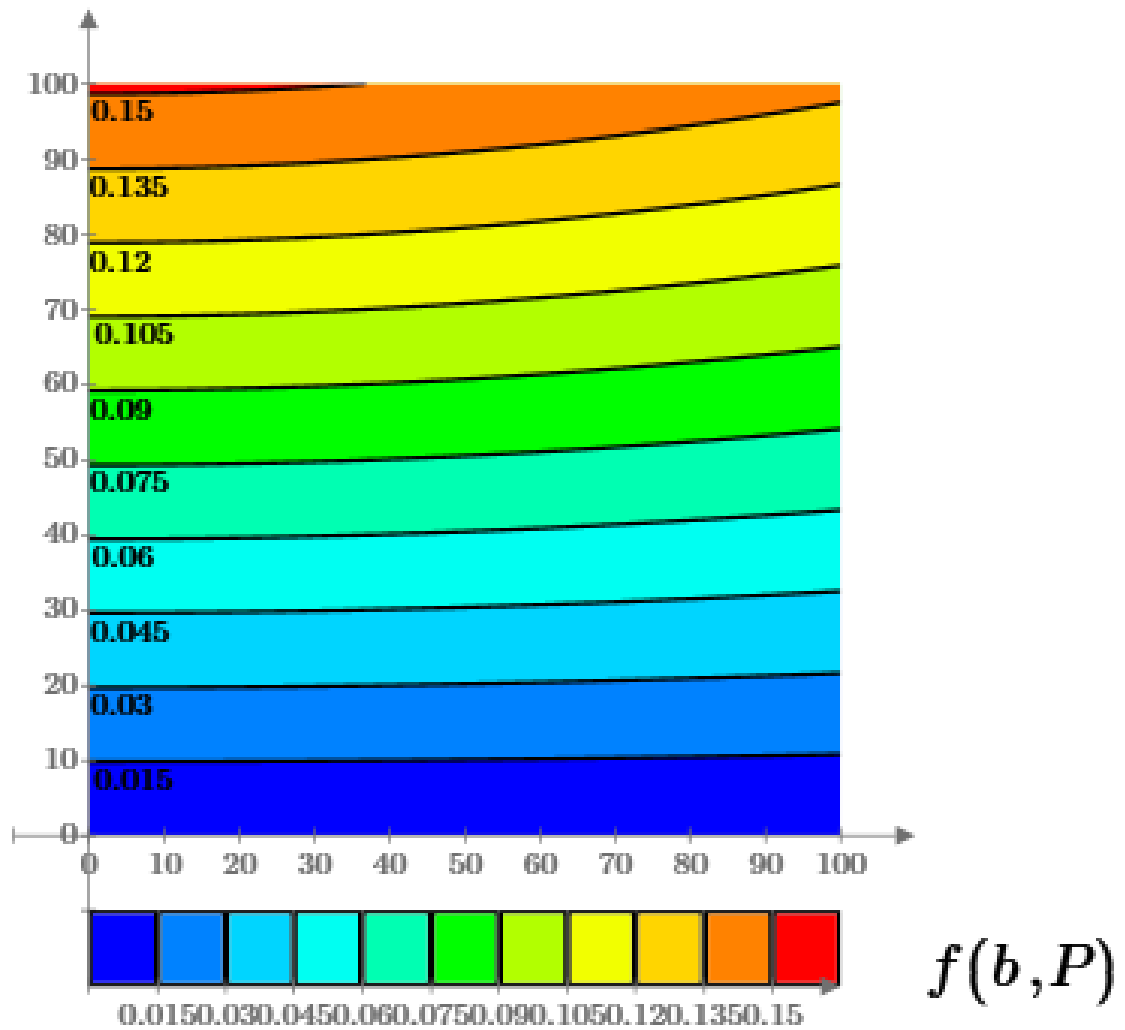


Рисунок 2.8 – Контурний графік залежності вигину валка f (мм) від ширини штаби b (мм) і навантаження P (кН)

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок робочих і опорних валків кліті кварто на міцність і деформацію

У даному розділі розглядається можливість автоматизації проектування валків прокатних станів з виконанням необхідних розрахунків в системі САПР AutoCAD Mechanical [28]. AutoCAD Mechanical 2020 автоматизує багато стандартних проектних задач, таких як створення компонентів механізмів, нанесення розмірів і формування специфікацій, підтримує міжнародні стандарти оформлення креслень, включає засоби проектування деталей машин типу «тіло обертання», бібліотеку стандартних деталей по багатьом міжнародним стандартам.

Вихідні дані для розрахунку беремо з паспорта ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Спочатку виконуємо розрахунки за стандартною методикою наведеною у літературі [27, 29]; потім виконуємо комп'ютерне моделювання в AutoCAD Mechanical і порівнюємо отримані результати.

Перевірку валків прокатного стана 1680 здійснюємо по трьом небезпечним перетинам [27]:

- опорний валок по центральному перетину (I – I), в якому діє максимальний згинаючий момент і перетину, в якому шийка валка переходить в бочку (II – II), оскільки тут має місце різкий перепад напружень вигину;
- робочий валок по перетину привідного кінця (III – III), яке має мінімальну площу і ослаблене конструкторським виконанням (двома лисками).

Розрахункова схема валкового вузла, а також результати розрахунків лінії прогину і епюр моментів представлено на рис. 3.1. Оскільки опорні валки кліті не є приводними, перевіряємо їх тільки на вигин.

Перетин I – I:

$$M_{\text{згин}} = \frac{P}{4} \cdot \left(a - \frac{b}{2} \right) = \frac{18}{4} \cdot \left(2,7 - \frac{1,2}{2} \right) = 9,45 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Напруження згинання розраховується по формулі:

$$\sigma_{\text{згин}}^{\text{оп}} = \frac{M_{\text{згин}}}{0,1 \cdot D_{\text{оп}}^3} = \frac{9,45}{0,1 \cdot 1,4^3} = 34,44 \text{ МПа.}$$

Вибираємо у якості матеріала валків сталь 55Х: межа міцності $\sigma_B = 550$ МПа. Допустиме напруження згину визначається по формулі:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{5} = \frac{550}{5} = 110 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{\text{згин}}^{\text{оп}} = 34,44 \text{ МПа} < 110 \text{ МПа} = [\sigma].$$

Коефіцієнт навантаження по згинанню визначається по формулі:

$$K = \frac{\sigma_{\text{згин}}^{\text{оп}}}{[\sigma]} = \frac{34,44}{110} = 0,313.$$

Перетин II – II:

Згинальний момент в перетині переходу шийки валка в бочку дорівнює:

$$M_{\text{згин}}^{\text{ш}} = \frac{P}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{L_b}{2} \right) = \frac{18}{2} \cdot \left(\frac{2,7}{2} - \frac{1,76}{2} \right) = 4,23 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Напруження згинання в перетині II-II шийки:

$$\sigma_{\text{згин}}^{\text{ш}} = \frac{M_{\text{згин}}^{\text{ш}}}{0,1 \cdot d_{\text{опш}}^3} = \frac{4,23}{0,1 \cdot 0,89^3} = 60,0 \text{ МПа.}$$

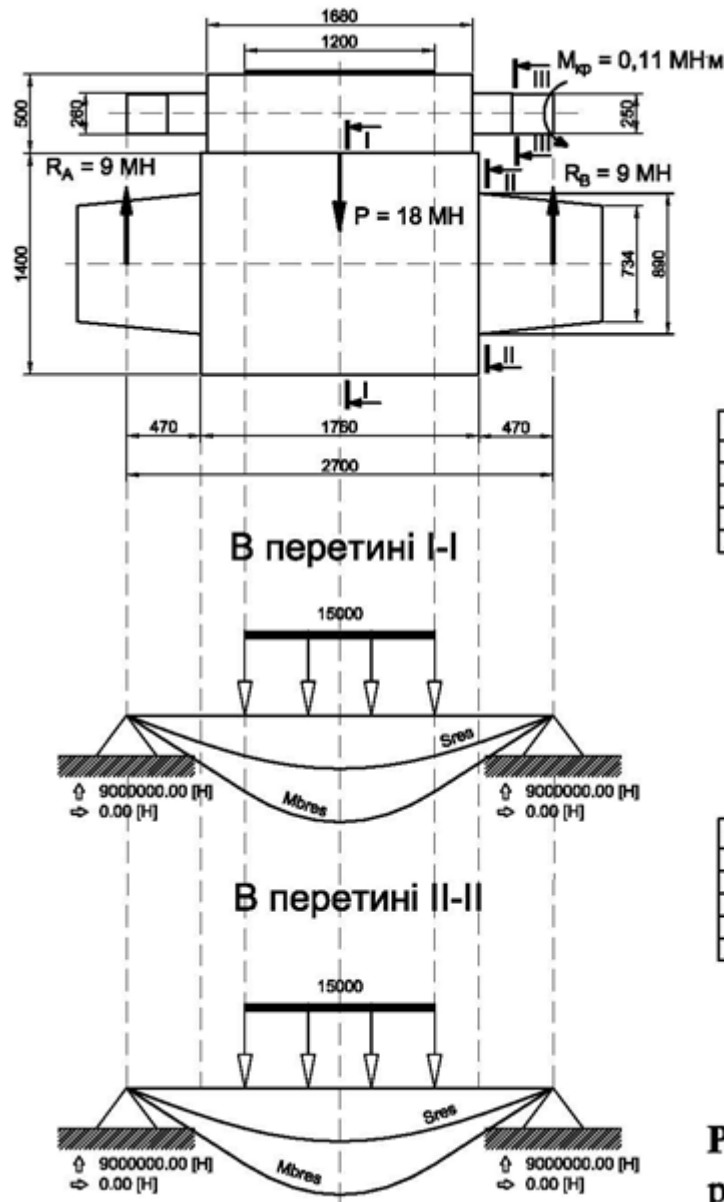
Напруження згинання в перетині II-II бочки:

$$\sigma_{\text{згин}}^{\text{б}} = \frac{M_{\text{згин}}^{\text{ш}}}{0,1 \cdot D_{\text{оп}}^3} = \frac{4,23}{0,1 \cdot 1,4^3} = 15,415 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{\text{згин}}^{\text{ш}} = 60,0 \text{ МПа} < 110 \text{ МПа} = [\sigma],$$

$$K = \frac{\sigma_{\text{згин}}^{\text{ш}}}{[\sigma]} = \frac{60,0}{110} = 0,545.$$

Робочі валки – привідні; перевіряємо тільки на крутіння по перетину привідного кінця, який має мінімальну площу і ослаблене конструкторським виконанням (двома лисками).



Ø цилиндра 1400	
I_1 [мм ⁴]	488574099031.7273
I_2 [мм ⁴]	488574099031.7273
S_x [мм ³]	700
S_y [мм ³]	700
A [мм ²]	1539380.4003

Ø цилиндра 890	
I_1 [мм ⁴]	30798525530.5251
I_2 [мм ⁴]	30798525530.5251
S_x [мм ³]	445
S_y [мм ³]	445
A [мм ²]	622113.8852

Момент инерции I_1 [мм ⁴]	188574099031.7273
Момент инерции I_2 [мм ⁴]	188574099031.7273
Момент инерции $I_{эф}$ [мм ⁴]	188574099032
Макс. рас. до кр. вол. [мм]	700
Запас прочности	10.0345
Предел текучести [Н/мм ²]	352
Модуль Юнга [Н/мм ²]	206843
Материал	Сталь SAE 5150
Макс. прогиб S_1 [мм]	0.172621
Макс. изгиб. момент Mb_1 [Н*м]	9.45 E6
Макс. прогиб S_2 [мм]	0
Макс. изгиб. момент Mb_2 [Н*м]	0
Макс. напряж. $Res.$ [Н/мм ²]	35.079
Макс. прогиб S_{res} [мм]	0.172621
Макс. изгиб. момент $Mbres$ [Н*м]	9.45 E6
Масш. линии прогиба	1955.1:1
Масш. линии изгиб. момента	1:14000

Момент инерции I_1 [мм ⁴]	30798525530.5251
Момент инерции I_2 [мм ⁴]	30798525530.5251
Момент инерции $I_{эф}$ [мм ⁴]	30798525531
Макс. рас. до кр. вол. [мм]	445
Запас прочности	2.5780
Предел текучести [Н/мм ²]	352
Модуль Юнга [Н/мм ²]	206843
Материал	Сталь SAE 5150
Макс. прогиб S_1 [мм]	1.056929
Макс. изгиб. момент Mb_1 [Н*м]	9.45 E6
Макс. прогиб S_2 [мм]	0
Макс. изгиб. момент Mb_2 [Н*м]	0
Макс. напряж. $Res.$ [Н/мм ²]	136.54
Макс. прогиб S_{res} [мм]	1.056929
Макс. изгиб. момент $Mbres$ [Н*м]	9.45 E6
Масш. линии прогиба	319.32:1
Масш. линии изгиб. момента	1:14000

Рисунок 3.1 - Розрахункова схема валкового вузла і результати розрахунків лінії прогину і епюр моментів

Перетин III – III:

Напруження крутіння в привідному кінці робочого валка:

$$\tau_{кр}^p = \frac{M_{кр}}{0,186 \cdot d_{пр.к}^3} = \frac{0,11}{0,186 \cdot 0,25^3} = 37,85 \text{ МПа.}$$

Напруження крутіння в шийці робочого валка:

$$\tau_{кр}^{ш.р} = \frac{M_{кр}}{0,186 \cdot d_{пр.ш}^3} = \frac{0,11}{0,186 \cdot 0,26^3} = 33,65 \text{ МПа.}$$

Напруження крутіння в бочці робочого валка:

$$\tau_{кр}^{б.в} = \frac{M_{кр}}{0,186 \cdot D_{б,р}^3} = \frac{0,11}{0,186 \cdot 0,5^3} = 4,73 \text{ МПа.}$$

Вибираємо у якості матеріала валків високолеговану ковану сталь 9Х2МФШ: межа міцності $\sigma_B = 750$ МПа. Тоді допустиме напруження згину:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{5} = \frac{750}{5} = 150 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження крутіння:

$$[\tau] = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86 \text{ МПа,}$$

$$\tau_{кр}^p = 37,85 \text{ МПа} < 86 \text{ МПа} = [\tau],$$

$$K = \frac{37,85}{86} = 0,44.$$

Коефіцієнти навантаження в небезпечних перетинах при розрахунку на статичну міцність: в перетині I-I – 0,313; в перетині II-II – 0,545; в перетині III-III – 0,44. Запас міцності (зворотна величина) відповідно для цих перетинів: 3,195; 1,835; 2,273. Умова міцності виконується во всіх перетинах валкового вузла, тобто валки мають достатню міцність.

Комп'ютерне моделювання в AutoCAD Mechanical починаємо із креслення розрахункової схеми валкового вузла (рис. 3.1). Потім запускаємо розрахунковий модуль «Линия прогиба» (рис. 3.2).

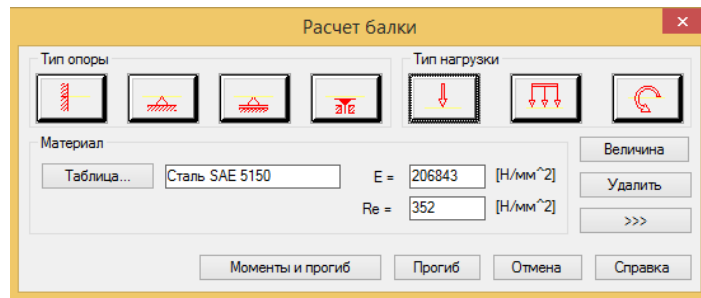


Рисунок 3.2 – Діалогове вікно «Линия прогиба»

Розрахунки виконуємо для двох балок: \varnothing 1400 мм (діаметр опорного валка) і \varnothing 890 мм (діаметр шийки опорного валка). Результати розрахунків у програмі AutoCAD Mechanical наведено на рис. 3.3. Епюру $\sigma_{\text{згин}}$ на рис. 3.3 отримано як різницю між епюрами двох балок: $\sigma_{\text{згин}}^{\text{max}} = 136,54$ – для балки \varnothing 890 мм і $\sigma_{\text{згин}}^{\text{max}} = 35,079$ для балки \varnothing 1400 мм (ці цифри наведено у таблицях на рис. 3.1). Таку ж форму буде мати і епюра лінії прогину (на рис. 3.3 не показана).

Як видно на рис. 3.1 і 3.3, результати розрахунків, отримані в результаті комп'ютерного моделювання, співпадають з цифрами у вищенаведеному розрахунку по [27, 29]. Відрізняються лише значення запасу міцності (див. табл. на рис. 3.1), що пояснюється тим, розрахунки в AutoCAD Mechanical виконуються відповідно до стандарту DIN ISO 76/281, в якому для відповідної сталі враховується значення межі текучості, а не межі міцності, як в [27, 29].

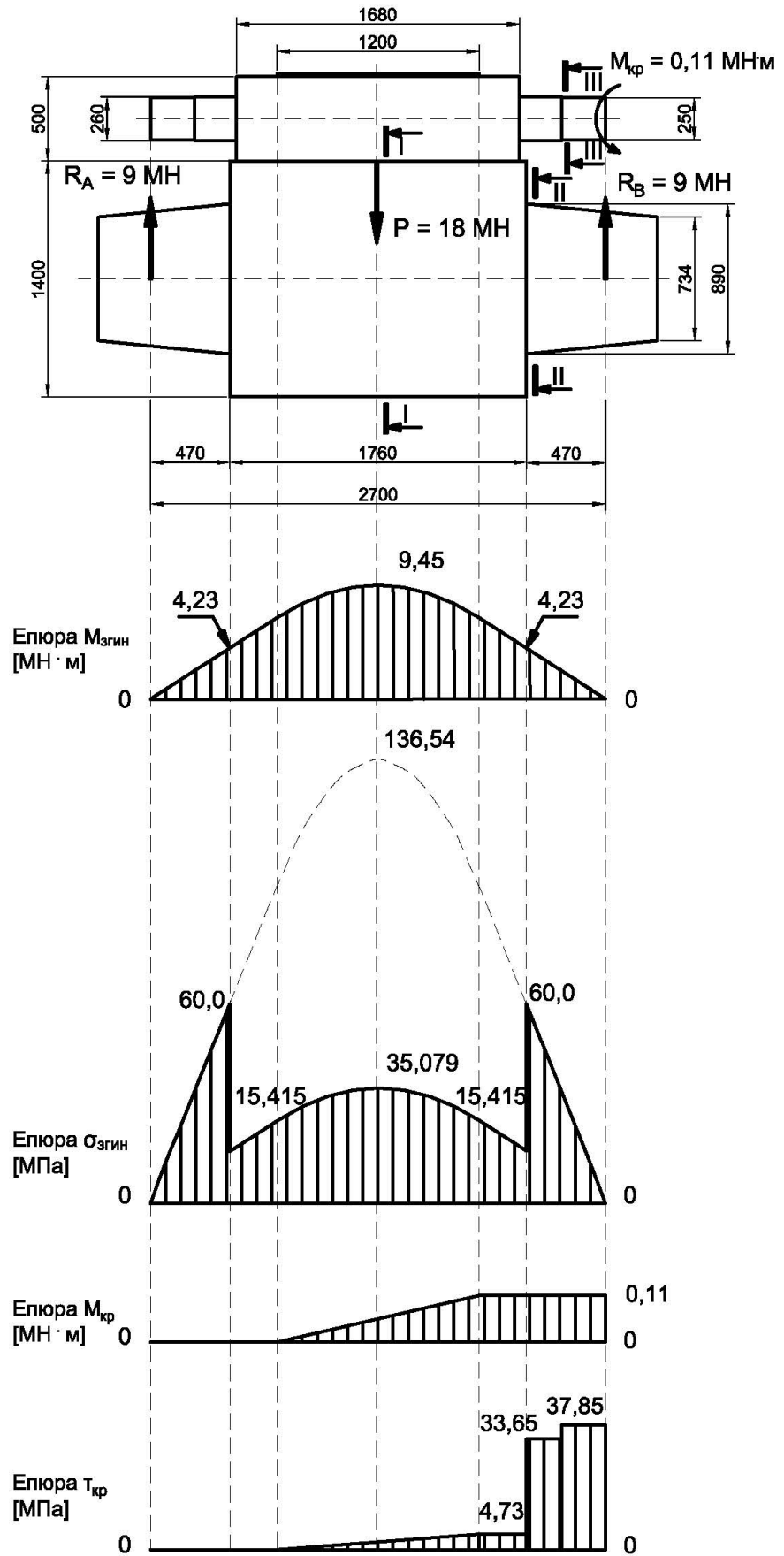


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема, епюри згинальних і крутних моментів і відповідні напруження

Далі виконуємо розрахунок деформацій і напружень опорного валка методом скінченних елементів (МСЕ). Розрахунковий модуль МСЕ є потужним засобом математичного рішення питань довговічності конструкцій. При використанні МСЕ об'єкт, що розраховується, розділяється на трикутники, і рішення задачі виконується за допомогою числової поліноміальної інтерполяції.

Таким чином можна швидко визначити розподіл напружень і деформацій в поперечному перетині при спільній дії окремих сил і розтягуючих навантажень з фіксованими або рухомими опорами. Модуль дозволяє будувати базову сіть, відобразити результати розрахунків у вигляді ізоліній, ізообластей, ліній головного напруження і деформованої сіті. Усі результати можна вставити у креслення в графічному і табличному вигляді.

На рис. 3.4 наведено діалогове вікно «Розрахунок по МСЕ 2D».

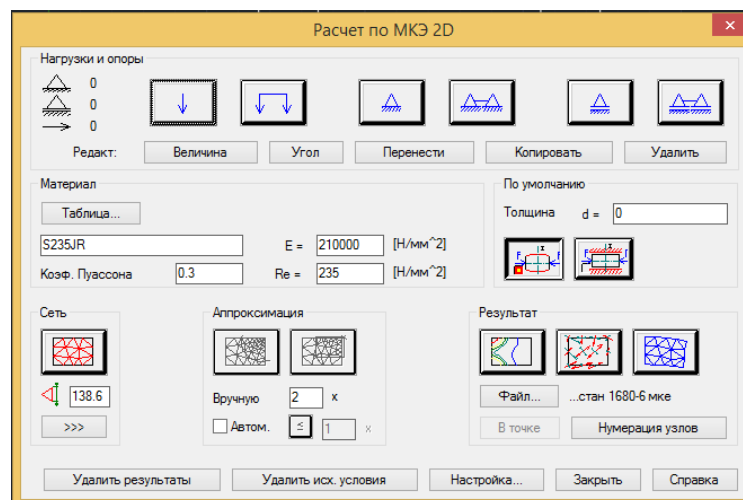


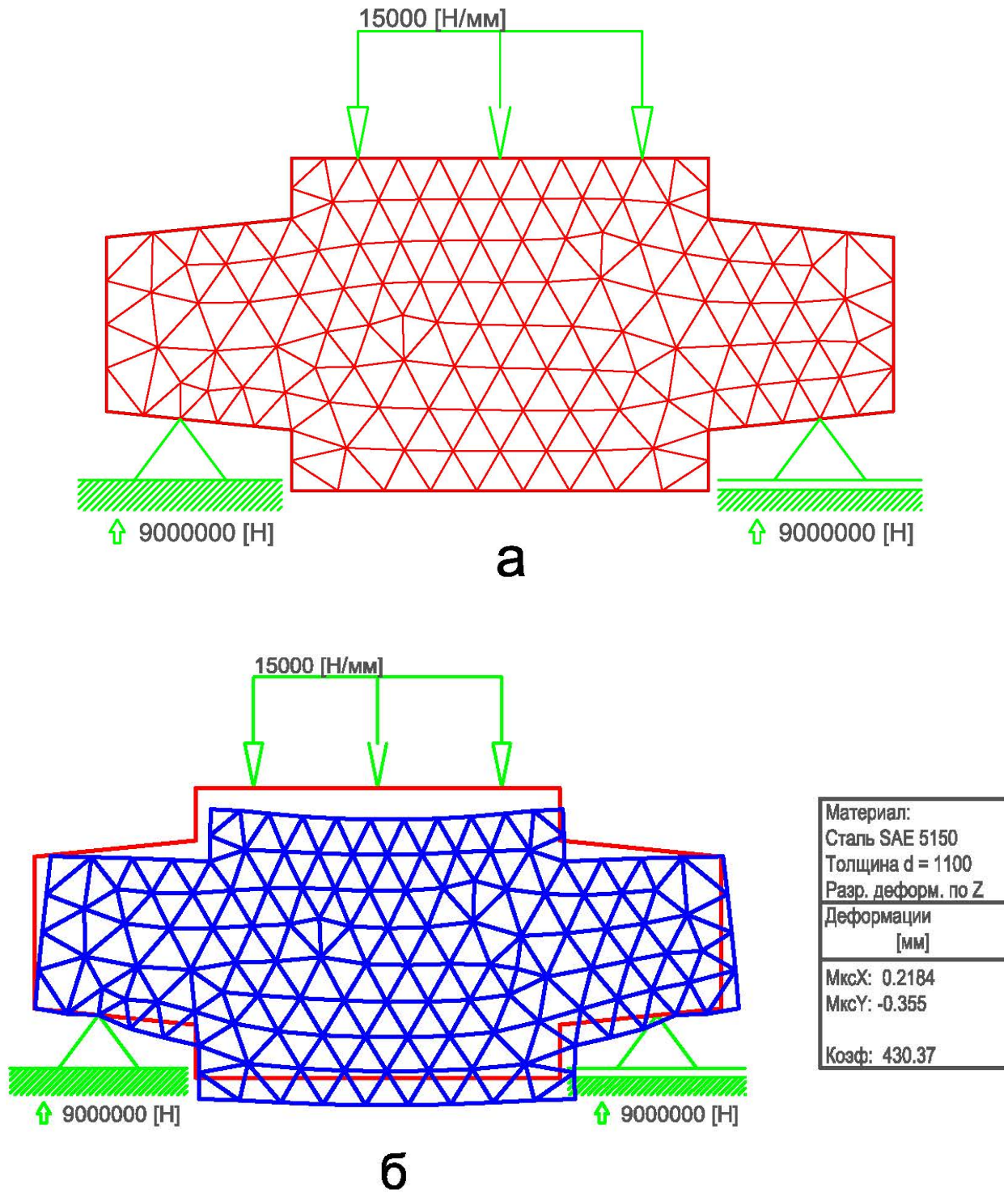
Рисунок 3.4 – Діалогове вікно «Розрахунок по МСЕ 2D»

Аналіз методом скінченних елементів (МСЕ) дозволяє виявляти проблемні зони в конструкції деталі (валка) і уникати тестування на дослідних зразках. На рис. 3.5 наведено результати аналізу МСЕ деформацій і напружень опорного валка чотирьохвалкової кліті, що зображений на рис. 3.3.

Розподілене навантаження 15 кН/мм від сили 18 МН діє на ширину штаби 1200 мм.

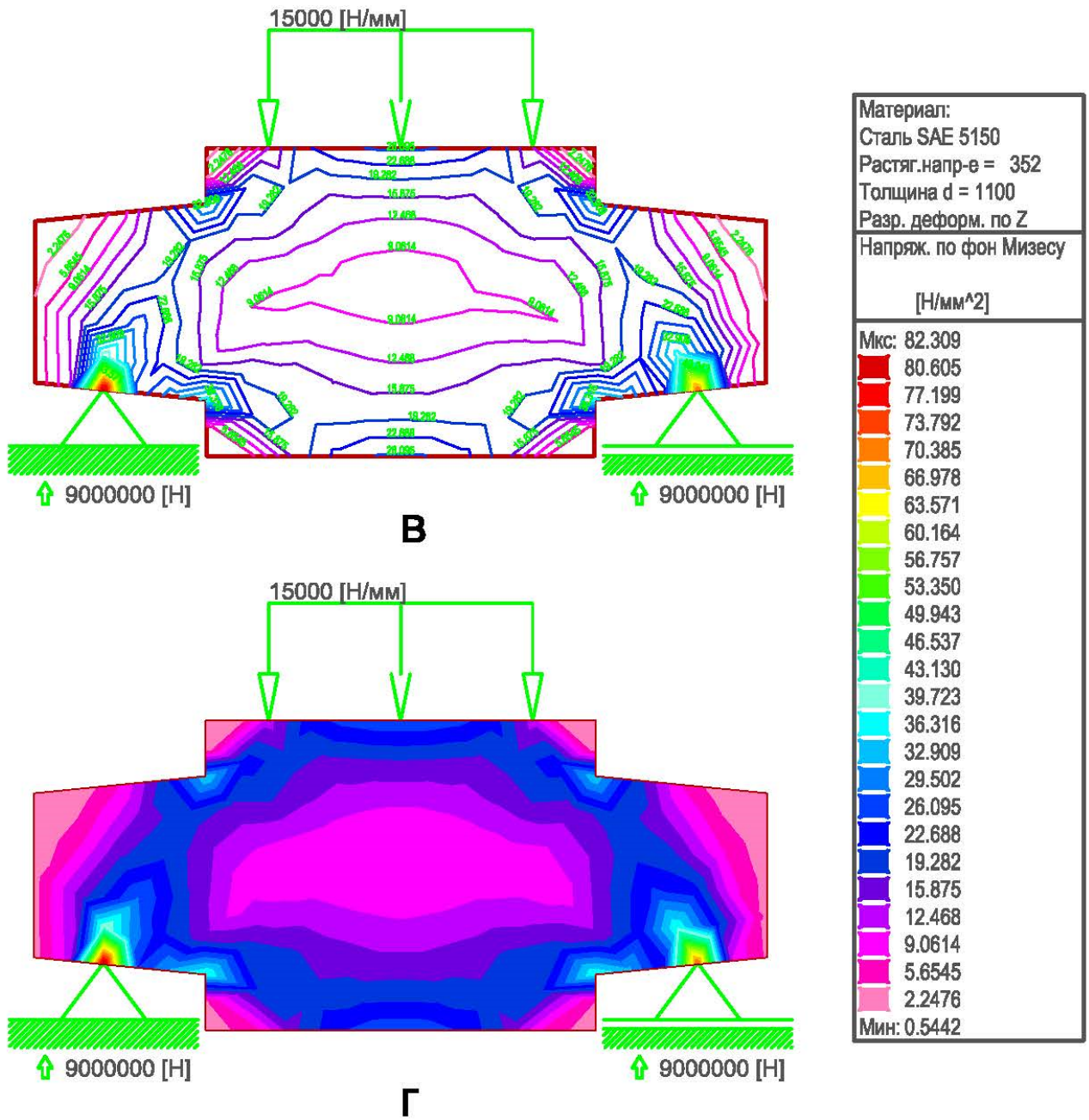
Для кращого огляду впливу сил і опор на валок, при розрахунку використовується коефіцієнт, який збільшує значення деформації. У таблиці на рис. 3.5 б його значення дорівнює 430,37. Напруження в деформованій сіті не відображаються. Максимальний вигин опорного валка по осі Y складає 0,355 мм. Сталь SEА 5150 – аналог вітчизняної сталі 55Х.

Аналіз напружень (за Мізесом) у перетині валка (рис. 3.5 в, г) показує, що найбільші напруження виникають в опорах, тобто в підшипниках валка. Крім того, великі напруги виникають у шийці опорного валка (перетин II-II на рис. 3.3), причому знизу більші, ніж зверху, оскільки там діють розтягуючі напруження. Центральна зона валка, а також периферійні кутові зони мають відносно невеликі напруження.



а – базова сіть у вигляді трикутників, на яку розділяється розраховуємий об'єкт; б - результати розрахунків у вигляді деформованої сіті;

Рисунок 3.5 – Результати аналізу методом скінченних елементів (МСЕ) деформацій і напружень опорного валка чотирьохвалкової кліті



в – результати розрахунків у вигляді ізоліній (ліній рівного напруження);
 г - результати розрахунків у вигляді ізоділянок (ділянок рівного напруження)

Продовження рисунку 3.5 – Результати аналізу МСЕ

4 ПІЧНА ЧАСТИНА

Термічне відділення цеху холодної прокатки № 1 (ЦХП–1), комбінату «Запоріжсталь» призначено для світлого рекристалізаційного відпалу щільнозмотаних холоднокатаних рулонів [1]. Відділення включає до свого складу 16 блоків печей. У складі блоків 2 – 12, 17 – 19 входить по 15 стендів, 6 нагрівальних ковпаків, 15 муфелей, комплект конвекторних кілець. Стенди блоків №2 і №19 обладнані вдосконаленими направляючими апаратами, крилатками і кільцями. До складу блоків №15, №16 входить по 21 стенду, 8 нагрівальних ковпаків, з 21 муфелем і комплектом конвекторних кілець.

Рекристалізаційний відпал застосовується для зняття наклепу з холоднокатаного металу і відновлення його пластичних властивостей. Приймання металу з прокатного відділення в термічне проводиться комплектно, строго по замовленням, по ваговим відомостям з додатком картки (партії) на кожен рулон. Рулони металу, що приймаються на відпал, повинні відповідати таким вимогам:

- мати щільно прилягаючі зовнішні і внутрішні витки;
- не мати звисаючих кінців;
- повинні бути щільно змотані без телескопічності і виступів окремих витків більше 15 мм;
- кожен рулон повинен бути перев'язаний окремою стрічкою;
- мати чітке маркування;
- бути очищеним на стані перед змотуванням від емульсії;
- внутрішні витки рулонів товщиною до 1,0 мм зі стана «Тандем» повинні бути закріплені скобою по всій ширині штаби.

Як відомо, властивості міцності маловуглецевої сталі пов'язані з величиною зерна: чим дрібніше зерно, тим вище межа плинності і твердість металу, а відносно подовження нижче. Ковпаковій печі, як садочному агрегату, властива нерівномірність нагрівання. Якщо навіть в результаті надзвичайно тривалої витримки вдалося б досягти абсолютно однакової

температури у всіх точках садки, то і це не дозволило б отримати рівномірності властивостей металу. При відпалі у ковпаковій печі садка отримує тепло зовні, а при охолодженні, віддає його в зворотному напрямку. Тому нагріта частина металу, що відпалюється, знаходиться протягом більш тривалого часу в інтервалі температур відпалу, ніж найхолодніша. Це положення при відпалі змотаних рулонів не може бути виправлено ніякими конструктивними або технологічними заходами. В результаті при відпалі в ковпакових печах неминуче деяке розходження в структурі, а отже, і у властивостях металу різних частин садки.

У зв'язку з цією особливістю відпалу металу у ковпакових печах, в ГОСТах (ДСТУ) та технічних умовах задають допустимі межі коливання властивостей для кожного виду відпалюємого металу залежно від його призначення. У відповідності з цими межами коливання властивостей металу, слід розробляти режим його термічної обробки і головним чином вибирати допустимий кінцевий перепад температур в садці при закінченні нагрівання і витримки. Задаючи режим термічної обробки, слід мати на увазі також режим холодної прокатки (ступінь обтиснення) і неминучі втрати пластичності металу при обробці (дресируванні, різанні, покритті тощо) [30].

4.1 Одностопні газові ковпакові печі

Для відпалу металу у відділенні встановлені одностопні газові ковпакові печі. Печі згруповані в блоки, у відділенні 16 блоків печей.

Для прискорення процесу охолодження під муфелем у відділенні використовуються ковпаки прискореного охолодження (КПО). Для видалення продуктів згоряння кожен блок має систему боровів, прийомні патрубки (по два на кожен стенд) і, для посилення тяги, димову трубу висотою 25 – 32 м з ежекторами біля основи.

Газові ковпакові печі опалюються природнім газом. Тиск газу в цеховому колекторі не менше 80 кПа. (0,8 атм.): оптимальне значення в умовах

стабільного завантаження відділення 0,85 – 0,9 атм., а в умовах різкого зменшення кількості ковпаків 0,90 – 0,95 атм.

В якості паливо – спалювальних пристроїв на ковпаках блоків 2 – 12 встановлено по 8, а на ковпаках блоків 15 – 19 – по 8 або 12 інжекційно - атмосферних пальників, розташованих тангенціально в один ярус в нижній частині нагрівального ковпака.

Продукти згоряння з-під нагрівального ковпака по двом димовідвідним трубам, обладнаним повітряними ежекторами, віддаляються в систему боровів і далі в димову трубу.

Повітря на ежектори подається від вентиляційної станції цеху з тиском в колекторі 3 – 4 кПа.

На печах блоків 2 – 4 і 15 – 19 застосовується безежекторна система - тяга створюється димовою трубою.

Між димовідвідними трубами нагрівального ковпака і димоприймальними патрубками боровів є розрив, що забезпечує незалежність тиску під нагрівальним ковпаком від розрідження в димопровідній системі.

Для зменшення підсосу повітря з навколишнього середовища в димопровідну систему на прийомних патрубках стендом передбачені відкидні кришки, які повинні бути закриті за відсутності на стенді працюючого нагрівального ковпака.

Муфель, виготовлений з жаростійкої сталі, забезпечує герметичність садки рулонів і тим самим захищає метал від окислюючої дії пічних газів. Матеріал муфеля сталь марок 12Х18Н10Т, 25Х14Г14С2Ю.

Технічна характеристика газової ковпакової печі

Максимальна витрата газу на один ковпак, м³/Год:

для 8 – пальникового ковпака 62 – 68

для 12 – пальникового ковпака 90–100

Максимальна витрата газу на один пальник, м³/Год 8,4

Максимальна витрата повітря для двох ежекторів, м³/Год 400

Теплотворна здатність природного газу, ккал/м³ 8000

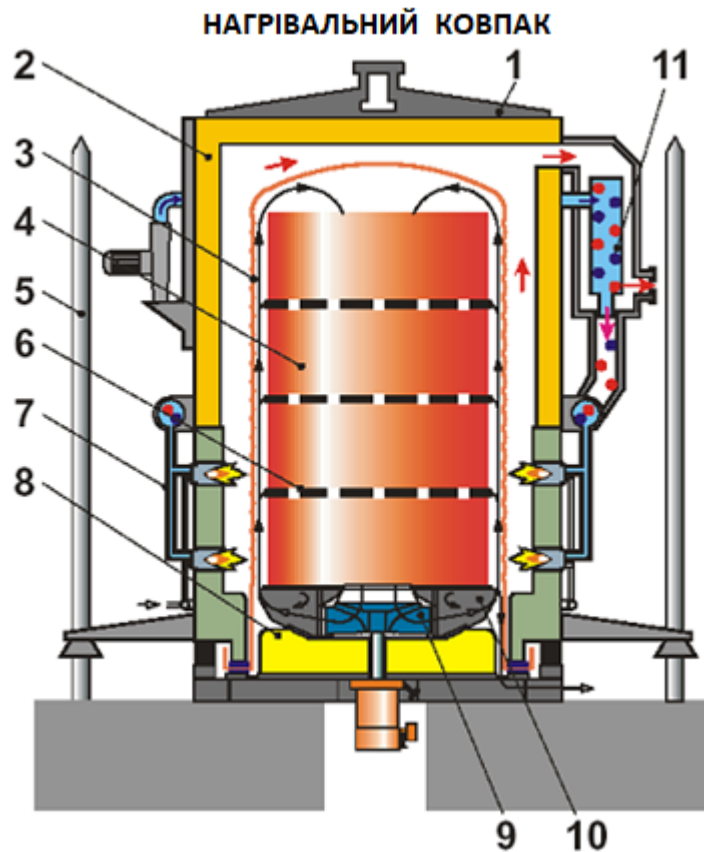
Мінімальний тиск захисного газу перед печами, кПа	0,6
Тиск природного газу, атм	0,8–0,95
Загальна кількість димових газів після ежекторів, м ³ /год:	
для 8 - пальникового ковпака	1300
для 12 - пальникового ковпака	1900
Максимальна кількість продуктів згоряння, м ³ /год:	
для 8 - пальникового ковпака	900
для 12 - пальникового ковпака	1500
Витрата захисного газу на один стенд, м ³ /год	8 – 15
Витрата води на охолодження двигуна, м ³ /год	2 – 2,5

Схема печі і охолоджуючого ковпака представлені на рис. 4.1. і 4.2.

Між рулонами і на опорну плиту направляючого апарату укладаються конвекторні кільця, щоб забезпечити інтенсивну теплопередачу між захисним газом і торцями рулонів. Зверху стопа рулонів закривається спеціальною кришкою.

Ковпак прискореного охолодження являє собою зварену металоконструкцію з вуглецевої сталі, циліндричної форми, з встановленими в нижній частині ковпака в спеціальних каналах трьома електровентильторами для інтенсифікації потоку охолоджуючого повітря, що омиває муфель печі. Вимірювання і регулювання температур в системі печі і садки проводиться за допомогою стаціонарної хромель - алюмелевої термопари і електронного потенціометру типу ФШЛ – 502.

Термопара для регулювання температури металу (стендова термопара) встановлена в спрямовуючий апарат. Робочий спай її виводиться до рівня нижнього конвекторного кільця. Термопара за допомогою компенсаційного дроту приєднується до одного з електронних потенціометрів (дванадцятикраткові прилади з прив'язкою до стендів), встановлених на щитах КВП в приміщеннях КРП. Регулювання температури в системі печі і садки здійснюється двопозиційним регулятором шляхом зміни подачі газу на пальники по сигналу стендової термопари.

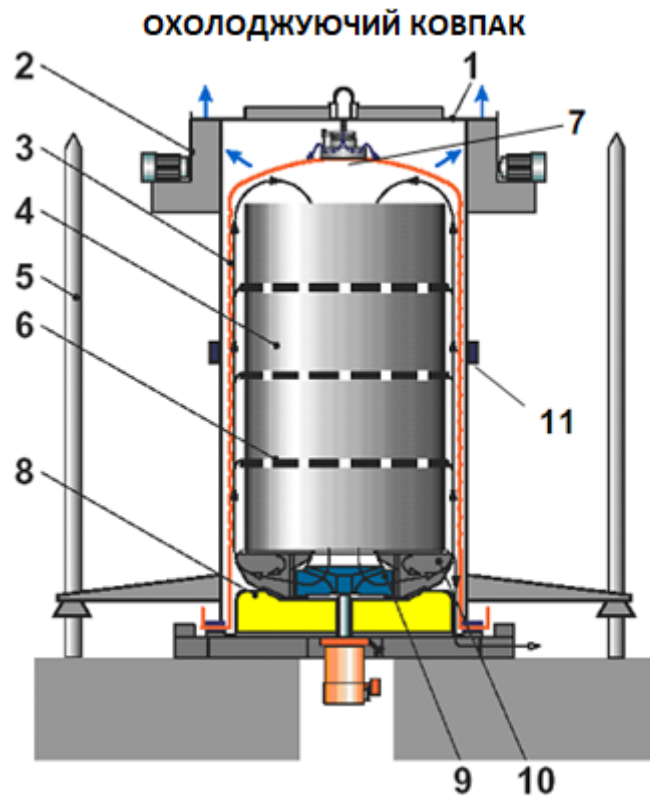


1 – корпус печі; 2 – футеровка; 3 – муфель; 4 – садка; 5 – направляюча стійка; 6 - конвекторне кільце; 7 – трубна розводка печі; 8 – стенд; 9 – стендовий вентилятор; 10 – направляючий апарат; 11 – рекуператор

Рисунок 4.1 – Ковпакова піч типу НОг 170-535 St-H2-B фірми «Ебнер»

Нагрівання металу відбувається при справно працюючих пальниках і здійснюється: тепловипромінюванням від нагрітої стінки муфеля, конвекцією від циркулюючого захисного газу.

Циркуляційний вентилятор направляє захисний газ в простір між стінкою муфеля і стопою металу, де газ нагрівається від стінки муфеля, піднімається вгору і, проходячи через конвекторні прокладки (кільця), нагріває торці рулонів, а потім опускається вниз. Така подача тепла є найбільш сприятливою, так як теплопровідність рулону в радіальному напрямку через прошарок повітря між витками значно (приблизно, в 10 разів) менше, ніж в напрямку осі.



1 – корпус охолоджуючого ковпака; 2 – вентилятор; 3 – муфель; 4 – садка; 5 – направляюча стійка; 6 – конвекторне кільце; 7 – водяний душ; 8 – стенд; 9 – стендовий вентилятор; 10 – направляючий апарат; 11 – розбризкувач

Рисунок 4.2 – Охолоджуючий ковпак ковпакової печі фірми «Ебнер»

Режими термічної обробки (температура і тривалість нагрівання, витримки, охолодження) холоднокатаних рулонів сталі марки 08КП наведена нижче.

ГОСТ	16523-97
Група (клас) точності	K260B
Тривалість гарячої продувки, кВт·год	10
Ширина штаби, мм	1200 – 1350
Вага рулону, т	11,5 – 14,0
Температура відпалу (товщина 0,9 – 2,0 мм), °С	710
Тривалість витримки зі стендової термопари, год	8 – 13
Загальна тривалість відпалу не менше, год	25
Тривалість охолодження, не менше, год:	

– зимовий період/літній період 42/44

Температура розпаковування, не більше, °С:

– під муфелем/під охолоджувальним ковпаком 140/140

4.2 Захисна атмосфера

Термічна обробка холоднокатаного металу, проводиться в спеціальній захисній атмосфері, що оберігає поверхню металу від окислення і знеуглецювання.

Печі термічного відділення працюють на HNx – газі. Цей газ виробляється на газозахисній станції на агрегатах 400 ПКН.

Виробництво захисного газу регламентується технологічною інструкцією I 236-3-12-2000.

Вихідним продуктом для одержання захисного газу на центральній станції, є природний газ, який спалюється в спеціальній камері з коефіцієнтом надлишку повітря 0,90 – 0,95, з подальшим очищенням продуктів горіння від CO_2 шляхом промивання їх розчином моноетаноламіна в спеціальному апараті – скрубєрі, очищенням продуктів горіння від CO в конверторі поличного типу з очищенням захисного газу від H_2O в загальностанційних системах осушення.

Система осушення газу холодом призначена для осушення газу шляхом його охолодження від 35 °С до 4 °С з подальшою адсорбційним осушенням газу до температури точки роси (т.т.р.) мінус 60°С. Блок осушення газу включає в себе два адсорбера, заповнені цеолітом.

Виробництво захисного газу відбувається з використанням технічного азоту, який додається в повітря, що горить, і в агрегати до установок очищення продуктів горіння від CO .

Склад HNx – газу, що виробляється агрегатами, наступний:

$\text{CO} \approx 0,1 \%$;

$\text{CO}_2 \approx 0,1 \%$;

$\text{H}_2 - 4,0 - 5,2 \%$ із забезпеченням в колекторі не менше 5,0 %

$O_2 \approx 0,001 \%$

N_2 – інше.

Захисний газ до стендів газових одностопних печей підводиться в двох місцях. По одній трубі основна кількість захисного газу підводиться під скоси направляючого апарату. Інша труба підводить захисний газ в порожнину між верхнім фланцем і валом вентилятора для уникнення підсосів по валу вентилятора. Газ з під муфеля видаляється через вихлопну трубу на стенді, з'єднану з димоходом. Тиск захисного газу під муфелем газової одностопної печі не нижче 0,6 кПа.

Для запобігання знеуглецювання, відпал холоднокатаних рулонів легованих і високовуглецевих марок сталі виробляється тільки на стендах печей, до яких подається суміш захисного і природного газу за допомогою пропорціонувальних пристроїв.

Регулювання додавання природного газу в захисний газ проводиться залежно від фактичної витрати захисного газу на відповідний стенд або групу стендів.

Суміш захисного і природного газів подається під муфель починаючи з холодної продувки. Відразу після зняття ковпака припиняється подача суміші HNx – газу (до зняття муфеля) з природним газом включається подача HNx – газу до зняття муфеля.

У разі відпалу рулонів з порушенням газового режиму, всі рулони даного відпалу контролюються на вміст вуглецю.

Таблиця 4.1 – Дефекти при термічній обробці металу, їх причини та засоби запобігання

Причини браку (дефекту)	Заходи щодо усунення
Відкладення сажі на поверхні відпаленого металу	

<p>Підвищення вмісту CO у змісті HNx – газі</p> <p>Окислення металу в процесі нагрівання за рахунок вологості емульсії, кисню під муфелем, що призводять до реакції</p> $3\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C}$ $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$	<p>а) стежити за газощільністю стенду і патрубків, підвідних і відвідних, захисний газ;</p> <p>б) створювати щільний піщаний затвор</p> <p>в) ретельно перевіряти муфель на герметичність;</p> <p>г) продувку муфельного простору HNx – газом проводити при тиску захисного газу під муфелем</p>
<p>Наявність емульсії на поверхні</p>	<p>Слідкувати за виконанням строку гарячої продувки</p>
<p>Кольори мінливості</p>	
<p>Нещільність піщаного затвору</p>	<p>Збільшити висоту піщаного затвора, просіяти пісок</p>
<p>Неякісний склад захисного газу (наявність кисню або вологи)</p>	<p>Відрегулювати склад і тиск захисного газу. Перевірити справність магістралей захисного газу, не допускати засмічень патрубків подачі захисного газу</p>
<p>Несправність муфеля</p>	<p>Перевірити муфель на газощільність</p>
<p>Зняття муфеля при температурі металу вище 160 °C</p>	<p>Дотримуватися заданої температури розпакування</p>
<p>Швидкий підйом ковпака після нагріву</p>	<p>Суворо дотримуватися терміну по тривалості підйому ковпака зі стенду</p>
<p>Непросушений стенд</p>	<p>Дотримуватися інструкції з осушення ковпаків і стендів</p>

5 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

5.1 Організація робіт на ділянці

Прокатний стан є основним агрегатом прокатного цеху. Прокатний стан обслуговує бригада робітників і від якості їх роботи залежить продуктивність стана і якість продукції.

Прокатний стан обслуговує бригада з старшого вальцювальника, вальцювальників і операторів на чистових і чорнових групах клітей. Старший вальцювальник керує веденням технологічного процесу прокатки, спостерігає за швидкістю прокатки, керує перевалкою валків, а також є відповідальним за безпеку праці робітників своєї бригади.

Вальцювальник веде технологічний процес прокатки, спостерігає за роботою обладнання і контрольно-вимірювальною апаратурою забезпечує її збереження і безперебійність роботи. Оператор поста управління веде режим обтиснень металу, управляє в процесі прокатки натискними гвинтами і регулює швидкість прокатки.

Відповідальним за роботу ділянки є старший майстер стана. В обов'язки старшого майстра входить:

- 1) організація та оперативне управління виробництвом;
- 2) раціональна розстановка персоналу своєї ділянки по робочих місцях і розподіл між ними обов'язків;
- 3) контролювати дотримання робітниками правил техніки безпеки, трудової та виробничої дисципліни;
- 4) виконувати якісно і у встановлений термін розпорядження і завдання керівництва;
- 5) забезпечити правильне і своєчасне оформлення первинних документів з обліку виробництва, робочого часу.

Старший майстер цеху має право:

– брати участь у вирішенні всіх питань що стосуються підлеглого персоналу (комплектація, підвищення кваліфікації, заробітної плати, умов праці, побуту та ін.);

– клопотати про заохочення або притягнення до дисциплінарної відповідальності підлеглих робітників;

– тимчасово відстороняти від роботи робітників, які не дотримуються інструкції з техніки безпеки, трудового розпорядку та виробничо-технічні.

На ділянці прокатного стана застосовується 3-х змінний 4-х бригадний графік виходів на роботу, що забезпечує безперервне виробництво.

Таблиця 5.1 – Безперервний 3-х змінний 4-х бригадний графік виходів на роботу

Зміни	Числа місяця														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г
2	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В
3	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б
Відпочинок	Г	В	Б	Б	А	Г	В	В	Б	А	Г	Г	В	Б	А

де А, Б, В, Г – бригади.

При такому графіку роботи після чотирьох днів роботи в одній зміні бригади мають 48 годин відпочинку. Чергування змін пряме, тобто бригади переходять з першої зміни в другу, з другої в третю, з третьої в першу. Відпочинок бригадам надається не в загальновстановлені вихідні, а в дні, що припадають за графіком. Робота у святкові та вихідні дні проводяться також як і у звичайні дні.

Перевагою такого графіка є забезпечення ритмічності роботи. Однак він має і суттєві недоліки: відсутність регламентованої перерви для відпочинку і прийняття їжі, обідньої перерви.

Заходи щодо поліпшення організації робіт на ділянці:

- 1 проведення щотижневого опитування робітників, з питань техніки безпеки та технологічної інструкції;
- 2 стежити за порядком на постах управління та на дільницях;
- 3 в зміни простоїв виробляти чистку обладнання, ремонт та огляд;
- 4 пофарбувати стан і пости в заспокійливі кольори;
- 5 участь у школах з обміну досвідом;
- 6 забезпечити безперебійні поставки сировини;
- 7 підвищувати кваліфікацію робітників.

Структура управління ділянкою прокатного стана наведена на рис. 5.1.

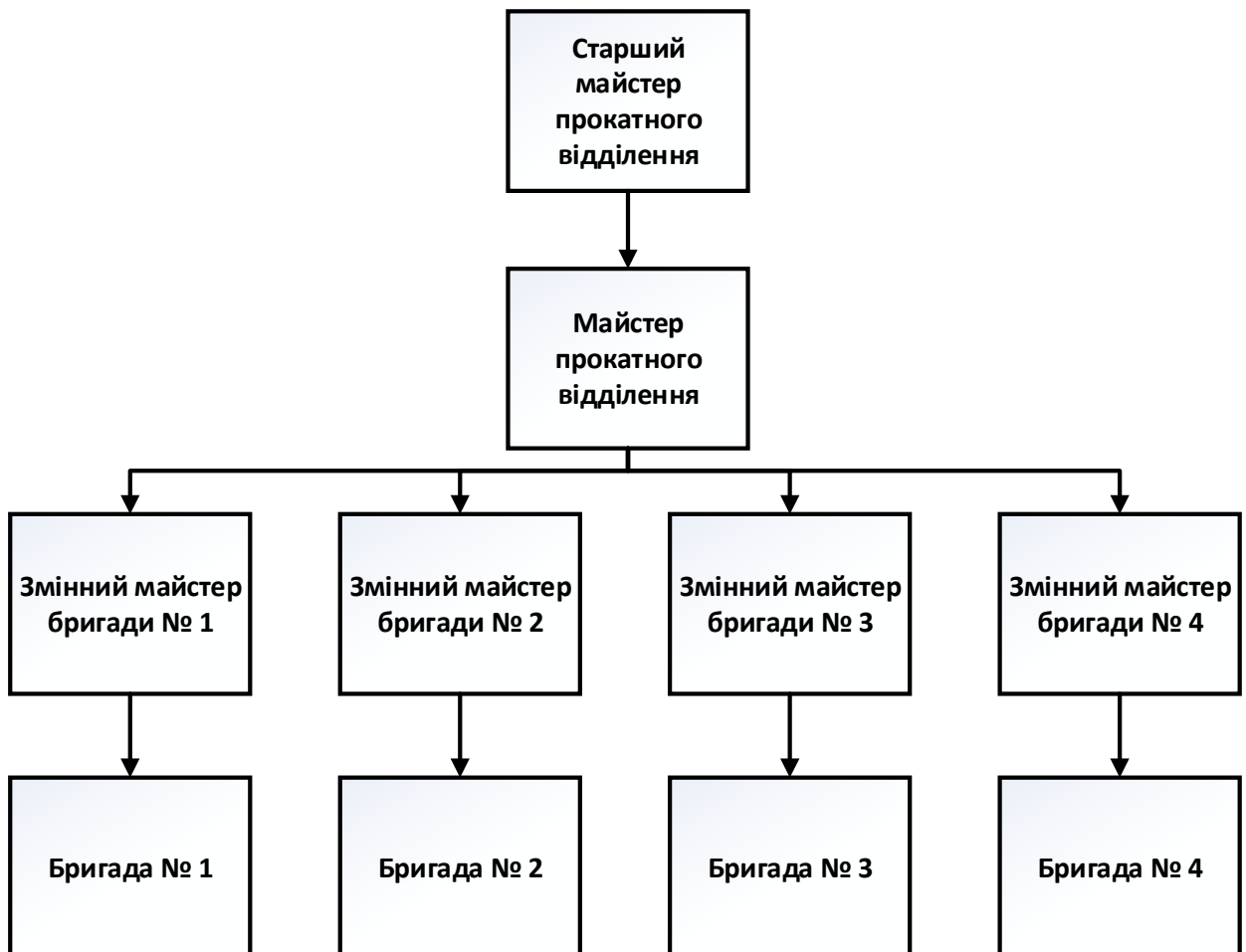


Рисунок 5.1 – Структура управління ділянкою прокатного стана

5.2 Розрахунок штату робітників

Чисельність робітників розраховується виходячи з графіка виходів і норм чисельності. Графік роботи безперервний тризмінний чотирьохбригадний.

Норма чисельності на ділянці прокатного стана дорівнює 9 чел.

Визначаємо змінний штат: $Ш_{см} = Н_{ч} = 9$ чел.

Визначаємо штат добовий: $Ш_{сут} = Ш_{см} \cdot С$,

де $С$ - кількість змін, $С = 3$.

$$Ш_{сут} = 9 \cdot 3 = 27 \text{ чел.}$$

Штат підмінний, необхідний для надання всій бригаді єдиного вихідного дня:

$$Ш_{подм} = Ш_{см}$$

$$Ш_{подм} = Ш_{см} = 9 \text{ чел.}$$

Визначаємо штат розстановочний:

$$Ш_{расст} = Ш_{подм} + Ш_{сут}$$

$$Ш_{расст} = 9 + 27 = 36 \text{ чел.}$$

Штат резервний, необхідний для заміни робітників у випадку хвороби, відпустки, виконання державних і громадських обов'язків:

$$Ш_{рез} = (Ш_{расст} \cdot \% \text{рез}) / 100\%$$

Для визначення відсотка резерву складаємо баланс використання робочого часу одного робітника на рік (табл. 5.2).

$$Ш_{рез} = 36 \cdot 17 : 100 = 6,12 \approx 6 \text{ чел.}$$

Визначаємо штат списковий:

$$Ш_{сп} = Ш_{расст} + Ш_{рез}; \quad Ш_{сп} = 36 + 6 = 42 \text{ чел.}$$

На підставі виконаних розрахунків складаємо штатний розклад робочих ділянок прокатного стана (табл. 5.3).

Таблиця 5.2 – Баланс використання робочого часу одного робітника на рік

Найменування показників	Показник	Примітки
Календарний час	365	
Вихідні дні	91,25	365:4
Невикористаний робочий час:		
Тарифна відпустка	273,75	365 - 91.25
Відпустка	31,5	(24+14+4)·3/4
Хвороба	5	
Виконання держ. обов'язків	1	
Відпустка по навчанню	1	
Інші невиходи за уважними причинами	2	
Всього	40,5	31,5+6+1+1+2
Фактичний час роботи	233,25	273,75 – 40,5
Коефіцієнт списочності	1,17	273,75:233,25
Відсоток резерву	17	1.17·100 - 100

5.3 Система оплати праці робочих ділянки

В даний час на металургійному комбінаті «Запоріжсталь» застосовується єдина двадцятирозрядна тарифна сітка. По цій сітці проводиться як оплата робочих, так і фахівців і керівних працівників. Тарифна сітка передбачає три варіанти тарифних ставок по кожному розряду. В даний час в основному застосовується середня тарифна ставка. На ділянці прокатного стана застосовується система сдільної форми: норма – план. При цій системі зарплата за тарифом рівна зарплаті сдільної. Премія нараховується при виконанні цехом плану на 100 %.

Преміювання проводиться за досягнення відсотка металу, прокатаного в межах допуску по бригаді за місяць 93,5 %, премія складе 20 %.

Таблиця 5.3 – Штатний розклад працівників дільниці прокатного стану

Найменування професії	Розряд	Дод. відпустка	Система оплати праці	Відсоток премії	Тривалість зміни, год.	Штат робітників					Бал шкідливості
						Змінний	Розстановочний	Резервний	Списочний	Часова тарифна ставка, грн.	
Вальцювальник стану холодної прокатки (х/п)	7	14	СП	20	8	1	4	1	5	9,87	20
Вальцювальник стану (х/п) 1, 4 кліть	6	14	СП	20	8	2	8	1	9	8,58	20
Вальцювальник стану (х/п) 2, 3 кліть	6	14	СП	20	8	2	8	1	9	8,58	20
Оператор головного поста управління стану х/п	6	14	СП	20	8	1	4	1	5	8,58	20
Оператор поста управління стану х/п (моталки)	5	14	СП	20	8	1	4	1	5	7,46	20
Сортувальник, датчик металу	5	14	СП	20	8	1	4	1	5	7,46	20
Оператор поста управління стану х/п (розматувач)	5	14	СП	20	8	1	4	1	5	7,46	20
ВСЬОГО						9	36	7	42		

На комбінаті «Запоріжсталь» існує декілька видів доплат:

- доплата за несприятливі умови складає 4,886 грн. за 1 бал шкідливості;
- доплата за змінний режим складає 1,482 грн. за 1 годину роботи;
- доплата за роботу у святкові дні.

У випадку якщо працівник тимчасово виконує іншу роботу і при цьому виконувана робота вище розряду, який має працівник, оплата праці йому проводиться по розряду виконуваної роботи.

5.4 Розрахунок річного фонду оплати праці робітників

Розрахунок виконується на основі штатного розкладу, системи оплати праці та баланс роботи часу одного робітника на рік [31].

Річний фонд оплати праці включає основну та додаткову оплату праці.

Основна заробітна плата

Зарплата по тарифу:

$$З_T = T_{с.зв} \cdot \Pi \cdot В \cdot Ш_{розст},$$

де $T_{с.зв}$ – середньозважена тарифна ставка за годину, грн;

Π – тривалість зміни, $\Pi = 8$ год;

$В$ – кількість виходів за рік, $В = 273,75$ днів;

$Ш_{розст}$ – штат розстановочний, чол.

$$T_{с.зв} = \frac{T_1 Ш_1 + T_2 Ш_2 + T_3 Ш_3 + T_4 Ш_4}{Ш_{розст}}$$

де T_1, T_2, T_3, T_4 – тарифні ставки за годину згідно з розрядом, грн;

$Ш_1, Ш_2, Ш_3, Ш_4$ – штат розстановочний робітників за розрядом, осіб.

$$T_{с.зв} = \frac{18,34 \cdot 4 + 15,95 \cdot 14 + 13,87 \cdot 29}{40} = 17,472 \text{ грн};$$

$$З_T = 17,472 \cdot 8 \cdot 273,75 \cdot 40 = 1530569,1 \text{ грн};$$

$$З_{осн} = З_T; \quad З_{осн} = 1530569,1 \text{ грн}.$$

Додаткова заробітна плата

Додаткова заробітна плата включає премію та доплати.

Зарплата преміальна:

$$З_{прем} = \frac{З_{осн} \cdot \%прем}{100\%},$$

де - $\%прем$ – розмір $\%$ премії при виконанні умов преміювання;

$$З_{прем} = \frac{1530569,1 \cdot 45}{100} = 688756,095 \text{ грн}.$$

Доплати:

Доплата за змінний режим роботи:

$$З_{зм} = Д \cdot \Pi \cdot В \cdot Ш_{розст}$$

де D – доплата за змінний режим роботи за кожну годину, $D = 2,98$ грн/год;

$$Z_{зм} = 2,98 \cdot 8 \cdot 273,75 \cdot 40 = 261048 \text{ грн.}$$

Доплата за несприятливі умови праці:

$$Z_{н.у} = K \cdot B \cdot П \cdot В \cdot Ш_{розст},$$

де K – доплата за роботу в несприятливих умовах праці за кожний бал шкідливості на робочому місці за кожну годину;

B - бал шкідливості, $B = 21$;

$K = 0,0983$ грн.

$$Z_{н.у} = 0,0983 \cdot 21 \cdot 8 \cdot 273,75 \cdot 40 = 180832,68 \text{ грн.}$$

Доплата за роботу в святкові дні

$$Z_{св} = T_{ср} \cdot П \cdot 3/4 \cdot E \cdot Ш_{розст},$$

де E – кількість святкових днів, $E = 10$ днів;

$3/4$ – означає, що за даним графіком кожний робітник відпрацює $3/4$ всіх святкових днів;

$$Z_{св} = 17,472 \cdot 8 \cdot 0,75 \cdot 10 \cdot 40 = 41932,8 \text{ грн.}$$

Доплата за керівництво бригадою:

$$D_{бр} = D_{бр} \cdot Ш_{бр} \cdot 12,$$

де $D_{бр}$ – доплата за керівництво бригадою за місяць, грн;

$Ш_{бр}$ - штат бригадирів;

12 кількість місяців в одному році.

$$D_{бр} = 210 \cdot 4 \cdot 12 = 10080 \text{ грн.}$$

Разом сума доплат становить:

$$\Sigma D = Z_{зм} + Z_{св} + Z_{н.у} + D_{бр};$$

$$\Sigma D = 261048 + 41932,8 + 180832,68 + 10080 = 493893,48 \text{ грн.}$$

Оплата тарифної відпустки становить:

$$Z_{відп} = \left(\frac{Z_{осн} + Z_{прем} + \Sigma D}{B} \right) \cdot B, \text{ грн.}$$

де B - тривалість тарифної відпустки 31,5 днів;

$$Z_{відп} = \left(\frac{1530569,1 + 688756,095 + 493893,48}{273,75} \right) \cdot 31,5 = 312205,98 \text{ грн.}$$

Оплата за час виконання державних і суспільних обов'язків:

$$Z_{\text{д.с.о.}} = \frac{Z_{\text{осн}} + Z_{\text{прем}} + \Sigma D}{B} \cdot C,$$

де C – тривалість виконання державних і суспільних обов'язків;

$$Z_{\text{д.с.о.}} = \frac{1530569,1 + 688756,095 + 493893,48}{273,75} \cdot 2 = 19822,6 \text{ грн.}$$

Додаткова оплата праці:

$$Z_{\text{дод}} = Z_{\text{прем}} + \Sigma D + Z_{\text{від}} + Z_{\text{д.с.о.}};$$

$$Z_{\text{дод}} = 688756,095 + 493893,48 + 312205,98 + 19822,6 = 1514678,155 \text{ грн.}$$

Річний фонд оплати праці (РФОП):

$$\text{РФОП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}};$$

$$\text{РФОП} = 1530569,1 + 1514678,155 = 3045247,255 \text{ грн.}$$

Середньомісячна оплата праці одного робітника:

$$Z_{\text{с.м.}} = \frac{\text{РФОП}}{Ш_{\text{чис}} \cdot 12};$$

$$Z_{\text{с.м.}} = \frac{3045247,255}{47 \cdot 12} = 5400 \text{ грн.}$$

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів процесів виробництва

Згідно статті 44 Закону України «Про охорону праці» передбачається відповідальність робітників та роботодавця за порушення законів та інших нормативно-правових актів про охорону праці у вигляді: дисциплінарної, адміністративної, кримінальної відповідальності відповідно до чинного законодавства, а також до сплати штрафу в судовому порядку.

У даному розділі дипломної роботи розглянуті і проаналізовані основні шкідливі і небезпечні чинники, які діють в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», наведено інформацію про діючі нормативно - правові акти з охорони праці, узагальнені питання пожежної безпеки.

ЦХП-1 відноситься до II б категорії за ДСН 3.3.6.042-99, так як витрата енергії працівника становить приблизно 178 ккал/год. На реверсивному стані холодної прокатки "1680" застосовується безперервний процес прокатки, тобто метал знаходиться відразу у всіх клітках, це зменшує час процесу прокатки і кількість допоміжних операцій, також знижує можливі випадки травматизму.

Слід зазначити, що умови роботи на реверсивному стані холодної прокатки "1680" ускладнюються тим, що робоча зона розташована в безпосередній близькості до стана і не захищена закритою кабіною. В повітрі можлива наявність високомолекулярних жирних кислот, окису вуглецю, хлору. Тому реверсивний стан холодної прокатки "1680" повинен бути обладнаний місцевими витяжками.

На даний момент близько 80 % працівників цеху працюють в умовах, які наведені в табл. 6.1. Їх робота відповідає III групі важкості (важкі фізичні роботи) [32].

Таблиця 6.1 – Характеристика мікроклімату виробничого приміщення

Параметри мікроклімату	Фактичні		Нормативні значення мікроклімату за ДСН 3.3.6 042-99	
	в холодну пору року	в теплу пору року	в холодну пору року	в теплу пору року
Температура, °С	10-20	до 35	18-19	20-22
Відносна вологість, %	56-65	58-66	не більше 75	не більше 75 (при 24°С)
Швидкість руху повітря, м/с	до 0,6	до 0,8	не більше 0,4	0,2-0,6

Небезпечними і шкідливими виробничими факторами на стані є: рухомі і обертові частини машин і механізмів; розпечений метал; підвищена запиленість повітря; небезпека електротравм; шум; вібрація.

Основні шкідливі компоненти, що забруднюють повітря - пил, оксид вуглецю, діоксид кремнію, сірчана та соляна кислота. Порівняльна характеристика вмісту цих речовин і їх гранично допустима концентрація у повітрі робочої зони наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Фактичні і нормативні концентрації шкідливих речовин

Показник	Запиленість, мг/м ³		Загазованість, мг/м ³		
	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CO	NO ₂	H ₂ S
В умовах цеху	12,2	0,22	2	0,03	0,001
ГДК (гранично-допустимі концентрації)	4,0	1,0	20,0	0,04	0,008
Клас небезпеки за ГОСТ 12.1.005-88	III	III	IV	II	II

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення [32]. Незадовільне освітлення обтяжує проведення

робіт, веде до зниження продуктивності праці і гостроти зору, що може бути причиною травматизму і захворювань очей.

Таблиця 6.3 – Характеристика приміщень по характеру зорової роботи і необхідної освітленості згідно ДБН В.2.5-28-2006

Приміщення	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк	
		Факт	Норматив
ЦХП-1	VII	90-120	150-200

У виробничих умовах джерелами шуму є: механізми прокатних станів, механізми кранів, ручні механізовані інструменти, електричні машини, компресори, підйомно - транспортне, допоміжне устаткування (вентиляційні установки, кондиціонери).

На ділянці реверсивного стана холодної прокатки «1680», внаслідок роботи обладнання, виникає підвищений шум – 92 дБ при нормі 80 дБ.

У прокатному цеху вібрація є неоднорідністю по спектру частот і непостійністю в часі. Локальна вібрація залежить від контакту оператора з тілом, що коливається. Виробничими джерелами локальної вібрації є ручні механізовані машини ударної та обертальної дії пневматичним або електричним приводом. Інструменти ударної дії засновані на принципі вібрації. До них відносяться молотки, пневмотрамбовки. До ручних механізованих машин обертальної дії відносяться шліфувальні, свердлувальні машини, пили електромоторів.

Таблиця 6.4 – Оцінка чинників виробничого і трудового процесу
слюсаря - механіка

№ з/п	Чинники виробничої середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Шкідливі і небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії чинника за зміну, %
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : небезпеки 1 клас небезпеки 2 клас небезпеки 3 - 4 класи (SO ₂ – сірчистий ангідрид)	– – 5	– – 12,3	– – 2,46	– – –	– – –	– – 80
2.	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	10	–	2,5	–	85
3.	Вібрація (спільна і локальна), дБ	–	–	–	–	–	–
4.	Шум, дБА	80	92	–	14	–	–
5.	Інфразвук, дБ	–	–	–	–	–	–
6.	Ультразвук, дБ	–	–	–	–	–	–
7.	Мікроклімат в приміщенні: • температура повітря °С • швидкість руху повітря, м/с • відносна вологість, % • інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	18-22 0,2-0,6 75 –	10-35 0,6-0,8 56-66 –	2 – – –	– – – –	– – – –	100 – – –
8.	Атмосферний тиск	760	760				100
9.	Важкість і напруженість праці	2	2				100

Висновок: в таблиці 6.1 приведений перелік небезпечних та шкідливих факторів; таким чином є в наявності 3 чинники 1 – 2 – 3 ступеня.

6.2 Розробка заходів захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Роботи на стані пов'язані з низкою шкідливих і виробничих факторів. На ділянці прокатного стана – це, такі фактори, як шум при роботі клітей, а також при змотуванні штаб на моталках. Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки у вуха, беруші і шумові навушники. В табл. 6.5, 6.6 приведені технічні рішення по виробничій санітарії.

Таблиця 6.5 – Перелік технічних і санітарно-гігієнічних заходів захисту виробничого середовища і робочих місць

№ з/п	Небезпечні або шкідливі чинники	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
1.	Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабінки і перегородки, засоби ЗІЗ	Звукопоглинання і обгороджування, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму в приміщенні оператора на робочому місці
2.	Випаровування токсичної дії	Витяжна вентиляція	Примусове механічне відсмоктування пари мастил, що утворилася	Над станом
4.	Рухомі частки механізмів	Запобіжні пристрої, сітки, кожухи	Відключення і розрив ланцюга при перевантаженнях. Захист від зіткнення з рухомими частинами	Навколо устаткування
5.	Метал, що переміщається		Захист від травм при падінні металу і його переміщенні	

Таблиця 6.6 – Технічні рішення по виробничій санітарії

№ з/п	Вид технологічної операції	Обладнання	Небезпечні і шкідливі фактори	Можливі дії
1.	Прокатка	Стан	Валки, що обертаються, рухома штаба, рольганги, моталки, привод. Небезпечний рівень струму і напруги: $I=30\text{ А}$, $U=380\text{ В}$.	Травмування обслуговуючого персоналу при необачному контакті. Ураження електричним струмом при однофазному і двофазному дотику до струмоведучих частин.
2.	Транспортування металу	Мостовий, електромостовий кран	1. Рухомі механізми міст і візок крана 2. Метал, що транспортується, з масою до 5 тон.	Механічні ушкодження. Травми від падіння металу.
3.	Допоміжні операції	Газоутворення (мастилонапорні станції)	Горючі речовини, пари емульсолу.	Пожежна небезпека.

6.3 Електробезпека

Широке використання електричного струму для найрізноманітніших цілей додає питанням захисту від його дії на людський організм важливе значення.

Електробезпека – це комплекс заходів, спрямованих на запобігання ураженню людини електричним струмом.

Дія електричного струму на організм може викликати небезпечні для здоров'я наслідки і навіть привести до смерті. Небезпека посилюється тим, що наявність електричної напруги не може бути безпечно виявлена за допомогою

наших органів чуття. Ймовірність смертельного результату при ураженнях електричним струмом велика. Вагомий вплив робить зовнішнє середовище.

У металургійних цехах ймовірність ураження збільшується, оскільки, спостерігається середовище з підвищеною температурою, що веде до перегріву організму і зниження його опору. Пониження атмосферного тиску збільшує небезпеку дії електричного струму. При збільшенні вмісту вуглекислого газу в повітрі чутливість організму до дії струму збільшується.

Велика кількість повітря навколишнього середовища, а також навколишнє оточення можуть посилювати або послаблювати небезпеку ураження струмом. Так струмопровідний пил, що утворюється в цеху, руйнуючи діє на ізоляцію електроустановок, різко знижуючи її опір і створюючи загрозу переходу напруги на корпуси, станини, і тому не потрібні струмопровідні і металеві частки електроустаткування, до яких може торкатися людина.

Становий проліт відповідно до вимог ПУЕ БНіП 111-33-76 відноситься до зони класу В – 16 – це зони, розташовані в приміщеннях, в яких при нормальній експлуатації вибухонебезпечні суміші горючих газів або пари ЛЗР (легкозаймисті речовини) з повітрям не утворюються, а можливі тільки внаслідок аварій або несправностей.

Небезпека ураження електричним струмом виникає при експлуатації несправних електроустановок, порушенні ізоляції на силових і контрольних кабелях, електродвигунах, командоапаратах, кінцевих вимикачах.

Для захисту від небезпечного рівня напруги використовують такі захисні пристрої як: ізоляція і обгороджування струмоведучих частин, заземлення, занулення, блокування, запобіжники плавкі або дистанційні, магнітні пускачі. Принцип їх дії та призначення полягає в захисті від дотику до струмоведучих та металевих частин обладнання, від високих рівнів струму та управління двигунами на відстані. Встановлюються ці пристрої довкола струмоведучих частин, біля корпусів електродвигунів, на пультах управління, у електросхемах та лініях приводу.

Фактичне значення струму на ділянці $I = 5,9$ А, напруга відповідно $U = 220, 380$ В.

Вибір роду струму, величини напруги і струму електроприводів проводяться по основних техніко-економічних показниках.

При цьому враховуються будівельні витрати, первинна вартість устаткування, витрати на експлуатацію і ремонт, ступінь виконання необхідних умов пуску, гальмування реверсу, глибини і плавності регулювання швидкості обертання або інших параметрів надійності системи і простоти обслуговування, ККД, а також вимог пов'язаних з виконанням технологічного процесу.

Однією з основних причин ураження електричним струмом є пробій ізоляції.

При ушкодженні ізоляції електроустаткування напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині: на броні кабелю і т. д.), які в нормальному положенні не перебувають під напругою. При сполученні з металевими конструкціями, що опинилися під напругою, виникає небезпека ураження електричним струмом.

Нещасні випадки можливі також при дії електричного струму через дугу; безпосередньому зіткненні з відкритими струмопровідними частинами і приводами: випадковому, не викликаному виробничою необхідністю, або дії при помилковій подачі напруги під час ремонтів і оглядів; при дотику до металевих частин устаткування, що випадково опинилися під напругою; при тому, що стосується струмопровідних частин за допомогою предметів з низьким опором ізоляції; при зіткненні з будівельними деталями конструкцією, що випадково опинилися під напругою; при дії крокової напруги тощо.

Небезпеку електричних уражень створює різноманітне обладнання: електричний привід (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електрообладнання підіймально-транспортних пристроїв, електрифікований

внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, високочастотні і освітлювальні установки, переносний інструмент і так далі

Існують наступні заходи захисту від ураження електричним струмом:

- а) захист від дотику до струмоведучих частин;
- б) захист від дотику до обладнання, що випадково опинилося під напругою;
- в) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання).

У першому випадку, найбільш поширеному, конструктивно простою і дуже ефективною мірою захисту є захисне заземлення. Захисні функції заземлюючого пристрою полягають в зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, що опинилися випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпеку ураження людини, що доторкнулася до них.

Приєднання корпусів і інших конструктивних металевих частин електроустаткування до заземлюючого нульового дроту; називається захисним зануленням. Мета захисного занулення – перетворити пробій на корпус в коротке замикання між фазним і нульовим дротами, викликати тим самим протікання більшого струму через захист і швидко відключити пошкоджене обладнання від мережі.

Пристрій, що автоматично відключає електроустановку за час не більш 0,2 с. при виникненні в ній струмів великої сили, у тому числі при появі напруги на корпусі і інших металевих частках, називається захисним відключенням.

При обслуговуванні електроустановок застосовують основні і додаткові захисні засоби. До основних відносяться захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і при користуванні якими допускається безпосередній дотик до струмоведучих частин, що перебувають під напругою. До додаткових відносяться засоби захисту, що підсилюють дію основних засобів і що забезпечують безпеку при напрузі дотику і кроковій напрузі. До засобів індивідуального захисту відносяться: ізолююча штанга, ізолюючі кліщі, діелектричні боти, діелектричні рукавички, ізолюючі підставки тощо.

Для забезпечення безпечної, безаварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно поряд з досконалим їх оснащенням засобами захисту так організувати їх експлуатацію, щоб була виключена будь-яка можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу.

Систематично повинні проводитися огляди електроустановок. В деяких випадках (у випадках необхідності) проводяться перемикання в електроустановках.

Схема мережі, а отже і режим нейтралі джерела струму, що живить цю мережу, вибираються по технологічних вимогах, а також за умовами безпеки.

По технологічних вимогах і за умовами безпеки найоптимальнішою є чотиридротова мережа з глухозаземленою нейтраллю, оскільки вона дозволяє використовувати дві робочі напруги – лінійну і фазну. Від чотиридротової мережі 380 В можна жити як силове навантаження – трифазну або однофазну, включаючи її між фазними дротами на лінійну напругу 380В, струм і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим дротами, тобто на фазну напругу 220 В.

6.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

До заходів по запобіганню пожежам і обмеженню поширення вогню відносять:

- 1 правильний вибір ступеня вогнестійкості будівель і межі вогнестійкості, окремих його елементів;
- 2 ухвалення відповідно до норм величин площі між протипожежними перешкодами;
- 3 дотримання протипожежних розривів між будівлями.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені шляхи евакуації і евакуаційні виходи допустимої протяжності і ширини, розміри дверних отворів, що забезпечують достатню пропускну спроможність, необхідне число сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів.

Швидка локалізація і гасіння пожеж досягається пристроєм відповідних засобів зв'язку з пожежною сигналізацією, наявністю надійних джерел протипожежної дії, під'їздів і доріг до будівель.

Прокатний цех відноситься до категорій В і Г, пожежонебезпеки (ГОСТ12.1004-81), оскільки в ньому обробляють речовини (метал), що не згорають, але є горючі масла. По вогнестійкості прокатний цех відносять до I і II ступеням. Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будівель промислових підприємств визначається СНіП 2.09.02-85 залежно від категорії вибухонебезпечності виробництва, площі і висоти будівлі. Необхідний ступінь вогнестійкості громадських будівель визначається СНіП 2.08.01-85 залежно від площі і числа поверхів будівлі.

Будівельні матеріали і конструкції по займистості ділять на три групи: що не згорають, важкозаймисті і такі, що згорають. Протипожежні стіни в цеху є такими, що не згорають.

Для забезпечення безпечної евакуації в будівлі цеху розташовані евакуаційні виходи, ведучі з першого поверху назовні, в коридор, вестибюль. Їх число має бути не менше два і розташовані в протилежних місцях будівлі.

Найбільша відстань, що допускається, від найбільш віддаленого робочого місця до евакуаційного виходу для виробництва з категорією пожежонебезпеки Г, I і II ступенем вогнестійкості не нормується. Ширина шляхів евакуації визначається з розрахунку 0,6 м на 100 чоловік. Ширина проходів дорівнює 1 м, ширина коридорів не менше 1,4 м. Ширина дверей складає від 0,8 до 2,4 м. Марші і майданчики сходів відповідно рівні 1,75 і 2,4 м. Для гасіння пожеж в прокатному цеху застосовують тверді, рідкі і газоподібні речовини: воду, інертні гази, хімічну, легко-механічну піни, тверду вуглекислоту, пісок (вогнегасники типу ВХП-5, ВВ-10).

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для отримання, зберігання і подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні і штучні водоймища). Витрата води на зовнішнє пожежогасіння через гідрант для прокатного цеху категорії Г при об'ємі

будівлі 2000 – 4000 м² складає 10 л/с. У виробничих будівлях I і II ступенів вогнестійкості категорії Г внутрішнє протипожежне водопостачання не передбачають.

Виробничий процес в цеху по вибуховій, вибухопожежній і пожежній небезпеці, згідно НАПБ Б.07.005-86 відноситься до категорії «Г», тому що обробці піддаються непальні матеріали в розпеченому стані.

Будівля цеху побудована з непальних матеріалів (металоконструкцій, залізобетону, скла) і згідно ДБН В.1.1-7-2002 має II ступінь вогнестійкості.

В табл. 6.7 наведена класифікація виробничих дільниць, складів, приміщень, майстерень цеху по вибухопожежній та пожежній небезпеці за НАПБ Б.07.005-86 і класи зон по ПУЕ для приміщень і установок.

Вибухонебезпечна зона в цеху відсутня.

Пожежі в цеху можуть виникнути в результаті: заpalення електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих і коротких замиканнях; заpalення мастил при влученні в них іскор електричного або механічного походження, впливу тепла від нагрітих предметів, під дією відкритого вогню; на нагрівальній ділянці можливі заpalення і вибух газоповітряних сумішей; самозаймання промасленого ганчір'я; дія статичного або грозового розряду.

Таблиця 6.7 – Класифікація виробничих дільниць

Відділи, дільниці, стани, приміщення, майстерні, підвали	Категорія	Класифікація приміщень та установок по ПУЕ
Безперервний травильний агрегат	Г	
4-х клітьовий стан Тандем	Д	
Реверсивні стани 1680, 1200	Д	
4-х клітьові стани 450, 650	Д	
Дресирувальні стани 1700 – 1, 2	Д	
Дресирувальний стан Кварто	Д	
Агрегати поперечної різки АПР-1, 2, 3, 4, 5	Д	
Загартовувальні стани НЗА – 1, 2	Г	
Розділочний агрегат №1	Д	
Агрегат шліфування нержавіючої штаби	Д	
Масилопідвали прокатних і дресирувальних станів	В	П-1
Електромашинні зали	Г	
Електропідстанції у т.ч. внутрішньоцехові	Г	
Внутрішньоцехові трансформаторні підстанції, трансформаторні пункти, КТП	Г	
Електрокабельні приміщення	Г	
Приміщення станцій щитів управління	Г	
Термічне відділення	Г	

Небезпека виникнення пожежі в цеху зменшена в проекті наступними заходами: оснащенням систем керування електроустаткуванням автоматами максимального струмового захисту та плавкими запобіжниками; обмеженням кількості мастил добовою потребою; головні електродвигуни приводів оснащені системою замкнутої примусової вентиляції з очищенням повітря від щіткового пилу та охолодженням його; трансформаторні кіоски винесені за межі виробничого приміщення; олійні льохи обладнані системою припливно-

втяжної вентиляції, що видаляє пари олії і зменшуючи їх концентрацію в повітрі, електроустаткування і освітлення олійних льохів виконане іскровибухобезпечним; промаслене ганчір'я після використання збирається в металеві ящики з герметичними кришками, а наприкінці зміни вивозиться із цеху і спалюється в спеціально відведеному місці; статичний заряд направлений в землю по мережі заземлення.

Будівля цеху побудована з непальних матеріалів (металоконструкцій, залізобетону, скла) і згідно СНіП 2.01.02-85 має II ступінь вогнестійкості. Ймовірність поразки споруд блискавкою зменшена застосуванням системи захисту від блискавки II категорії, виконаної відповідно до СН 205-77.

Для гасіння можливих пожеж в цеху передбачені первинні засоби пожежогасіння, які перелічені в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Перелік необхідних первинних засобів пожежогасіння

Назва приміщень	Площа приміщення	Пінні вогнегасники ОВП	Вуглекислотні вогнегасники			Ящики з піском та лопатами
			ОУ-2	ОУ-5	УП-1	
Виробниче приміщення	78750 м ²	1	-	1	-	1
Машинний зал	6000 м ²	1	2	-	3	1
Пости керування	-	1	-	1	-	1
Електромостовий кран (на кабінку)	-	-	1	-	-	1
Вентиляційні установки	3 шт.	-	1	-	-	-

ВИСНОВКИ

1. У загальній частині дипломного проекту дана характеристика цеху холодної прокатки ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», зокрема основних його відділень. Проаналізовано сучасний стан і детально наведена технічна характеристика обладнання реверсивного стана холодної прокатки 1680, конструкція робочої кліті 4-х валкового стана, матеріал і розміри прокатних валків, технологічний процес прокатки, види дефектів холоднокатаного металу.

Встановлено, що стан має ряд недоліків пов'язаних з низькою продуктивністю стана, неякісним змотуванням штаби у рулон і великими енерговитратами при прокатуванні, що обумовлюється наступним:

- недостатня стійкість (звалювання, зміщення) робочих валків і поява перекосів щодо опорних валків, особливо, при нерівності заднього (T_0) і переднього (T_1) натягувань;

- горизонтальний перекіс осей робочих і опорних валків у зв'язку з відсутністю самовстановлення робочих валків відносно один одного;

- при невеликому взаємному перекосі робочих валків виникають осьові сили, що руйнують підшипники шийок валків і виникає нерівномірна деформація кромки штаби, що приводить до збільшення неплоскостності штаби.

У загальній частині виконано дослідження анізотропії пластичної течії металу. Розроблено алгоритм і програму розрахунку тензорних фізичних властивостей матеріалу, зокрема, коефіцієнта теплового розширення і коефіцієнта тензочутливості в програмному комплексі Mathcad Prime 8.

Для візуалізації анізотропії коефіцієнта теплового розширення кристалів складена функція, яка реалізує, обчислення значення коефіцієнта теплового розширення кристалів в довільному напрямку n . Виконана побудова вказівної поверхні коефіцієнта теплового розширення кристалів, її

стереографічної проекції, а також перетину вказівної поверхні площиною $X1X3$.

2. В спеціальній частині дипломного проекту у якості заходу реконструкції запропоновано застосування валкового вузла кліті кварто з несиметричним процесом прокатки, в якому осі робочих валків зміщені відносно осі опорних валків у протилежних напрямках, що забезпечить поліпшення якості (площинності) прокатуваних штаб, зниження силових навантажень і енерговитрат при прокатуванні, зниження поломок підшипників кочення робочих валків.

На лабораторній установці проведено дослідження щодо визначення вигину валків в процесі прокатування штаб. За допомогою комп'ютерної програми Mathcad Prime 8 проведено розрахунки очікуваної величини вигину валка за теоретичною формулою і побудовано тривимірні графіки. Встановлено, що експериментальні дані по вигину валка в результаті навантаження при прокатуванні співпадають з даними, отриманими за теоретичною формулою, наведеною у літературі.

3. В механічній частині наведено розрахунок робочих і опорних валків на міцність і деформацію. Застосовано систему САПР AutoCAD Mechanical 2020 для комп'ютерного моделювання валків, розрахунку моментів і прогинів, побудови епюр, визначення напружень і деформацій. Використаний метод скінченних елементів (МСЕ) дозволяє отримати результати розрахунків у наглядному вигляді і у багатьох випадках дозволяє уникати тестування на дослідних зразках.

4. У пічній частині дана характеристика термічного відділення ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», призначеного для світлого рекристалізаційного відпалу щільнозмотаних холоднокатаних рулонів. Наведено креслення ковпакової печі, дана характеристика захисної атмосфери. Проаналізовано дефекти при термічній обробці металу, їх причини та засоби запобігання.

5. В організаційній частині приведена система організації робіт на ділянці реверсивного стана 1680, графік виходів на роботу, структура

управління ділянкою прокатного стана. Виконано розрахунок штату робітників, річного фонду оплати праці. Наведена система оплати праці робочих ділянки.

6. У частині «Охорона праці та техногенна безпека» виконано аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів процесу виробництва прокатної продукції. Розроблено заходи захисту від дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Наведено заходи з пожежної та техногенної безпеки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сайт ПАТ «Запоріжсталь» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.zaporizhstal.com/>. – Дата доступу: 31.10.2022.
2. Скляр В. О. Інноваційні і ресурсозберігаючі технології в металургії : уч. посібне. Донецьк : ДонНТУ, 2014. 224 с.
3. Арышенский Ю. М. Теория листовой штамповки анизотропных материалов. Изд-во Саратовского ун-та, 1973. 112 с.
4. Костышев В. А., Ерисов Я. А. Исследование формирования анизотропии механических свойств в процессе производства раскатных колец. Известия вузов. Цветная металлургия. 2016. № 1. С. 32 – 38.
5. Ньюнхем Роберт Э. Свойства материалов. Анизотропия, симметрия, структура. Монография. Москва-Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2007. 652 с.
6. Robert E. Newnham. Properties of Materials: Anisotropy, Symmetry, Structure. Oxford : Oxford University Press, 2005. 378 p.
7. Kocks U. F., Tome C.N. and Wenk H.R. Texture and Anisotropy. Cambridge : Cambridge University Press (1998).
8. Lovett D. R. Tensor Properties of Crystals. Bristol : Institute of Physics Publishing (1999).
9. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. Учебное пособие для вузов. Москва : Наука, 1988. 712 с.
10. Робертс В. Л. Холодная прокатка стали. Пер. с англ. Монография. Москва : Металлургия, 1982. 544 с.
11. Zabelin I., Protsenko V.: Status of non-ferrous metal industry in Ukraine and problems in its development. Metallurgicheskaya i Gornorudnaya Promyshlennost 4, 75-78 (2003).
12. Panjkovic V. : Friction and the Hot Rolling of Steel. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press (2014).

13. Шинкин В. Н. Механика сплошных сред для металлургов. Учебник. Москва : Изд. Дом МИСиС, 2014. 628 с.
14. Переломова Н. В., Тагиева М. М. Задачник по кристаллофизике. Учебное пособие. Москва : Наука, 1982. 288 с.
15. Шестаков Н. А. Расчеты процессов обработки металлов давлением в Mathcad (решение задач энергетическим методом). Учебное пособие. Москва : МГИУ, 2008. 333 с.
16. Очков В. Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов. СПб : БХВ-Петербург, 2007. 368 с.
17. Чиченев Н. А., Кудрин А. Б., Полухин П. И. Методы исследования процессов обработки металлов давлением. Москва : Металлургия, 1977. 312 с.
18. Машиностроение. Энциклопедия. Измерения, контроль, испытания и диагностика / гл. ред. К. В. Фролов. – М. : Машиностроение, 1996. – Т. III-7. – 464 с.
19. Комплект валків кліті кварто: пат. 142044 Україна: МПК В21В 31/10 (2006.01). № u2019 11139; заявл. 14.11.2019; опубл. 12.05.2020, Бюл. №9.
20. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов : учебн. пособ. Москва : Металлургия, 1969. 464 с.
21. Николаев В. О., Мазур В. Л. Виробництво плоского прокату. Підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 320 с.
22. Николаев В. А., Скороходов В. Н., Полухин В. П. Несимметричная тонколистовая прокатка : монография. Москва : Металлургия, 1993. 192 с.
23. Валковый вузол кліті кварто: пат. 62723 Україна: МПК В21В 31/02 (2006.01). № u2011 02032; заявл. 21.02.2011; опубл. 12.09.2011, Бюл. №17.
24. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов : учебн. пособ. Москва : Металлургия, 1965. 464 с.
25. Теория и технология несимметричной прокатки : монография. / В. А. Николаев и др. Киев – Москва : Агенство «Информарт», 1996. 262 с.

26. Серета Б.П., Белоконь Ю.О., Оніщенко А.М. Технологічний інструмент обробки металів тиском : методичні вказівки до лабораторного практикуму. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 52 с.

27. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов : учебн. пособ. Москва : Металлургия, 1985. 376 с.

28. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунок валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі «AutoCAD Mechanical». Металургія : Збірник наукових праць. Запоріжжя , 2018. Вип. 2 (40). С. 85 – 90. URL: <http://www.zgia.zp.ua/index.php?page=4353&lang=u> (дата звернення: 05.04.2021).

29. Прицип М. Г. Обладнання цехів ОМТ : методичні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів для студентів ЗДІА спеціальності «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 76 с.

30. Соколов К. Н. Оборудование термических цехов. Киев; Донецк : Вища школа, 1984. 328 с.

31. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : вид. ЗДІА, 2014. 31 с.

32. Румянцев В. Р., Кутузова І. О. Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 132 с.

ДОДАТОК А

Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи

«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Науково-дослідна частина
Наукове товариство
студентів, аспірантів, докторантів
Рада молодих вчених

ЗБІРНИК
наукових праць студентів,
аспірантів, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2022»

Том V

*«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету»*

Запоріжжя
2022

Виконані дослідження показали, що вміст домішок та твердість губчастого титану, отриманого в апараті продуктивністю 3,8 т/цикл, значно нижче, ніж у губчастому титані, що отримується на ТОВ «ЗТМК» в апараті продуктивністю 0,88 т/цикл. Ці показники близькі до показників губчастого титану, який отримується на ПАТ «Корпорація ВСМПО-АВІБМА» та АТ «УКТМК» в апаратах цикловою продуктивністю 4,0 – 4,3 т.

Було досліджено і фізичні характеристики – щільність та пористість губчастого титану. Дослідження показали, що вони у різних точках блоку мають різні значення, збільшуючись зверху вниз від 1,08 до 3,20 г/см³. Найбільша щільність губки – у нижній частині блоку, а найменша – у гарнісажі.

Також вдалося збільшити кількість виходу криці з 89,0 до 92,0 %, тим самим зменшивши вихід гарнісажу з 11,0 до 8,0 %. Показник товарного губчастого титану збільшився з 99,5 до 99,8 %.

Такий спосіб використання суміщеного процесу на основі суміщеного апарату діаметром 1,5 м продуктивністю 3,8 т/цикл для отримання титанової губки, дозволить знизити витрати електроенергії, сировини та збільшити вихід товарного продукту.

За якістю одержуваного губчастого титану, розроблений апарат наближається до показників напівсуміщених апаратів діаметром 1,5 м, що експлуатуються на підприємствах Росії та Казахстані.

Результати досліджень процесу відновлення тетраклориду титану в апараті підвищеної циклової продуктивності показали, що цей процес дозволяє отримати високоякісну титанову губку, що відповідає вимогам світового ринку.

Література

1. Тэлин В. В., Теслевич С. М., Давыдов С. А., Шварцман Л. Я., Петрунько А. Н., Яценко А. П., Нарушин Г. А.. Основные результаты опытно-промышленных испытаний совмещенного процесса получения губчатого титана на КП «ЗТМК». *Титан*. 2005. С. 16-20;
2. Гармата В.А., Гуляницкий Б.С., Крамник В.Ю. и др. *Металлургия титана*. Москва: *Металлургия*, 1968. 643 с.

Сагулякін Олександр

студент 1-го курсу магістратури каф. ОМТ ІННІ

Наук. кер.: к.т.н., доц. Проценко В.М.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АНІЗОТРОПНИХ МАТЕРІАЛІВ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ MATHCAD PRIME 7

Вступ. Для фахівців металургійного профілю важливо уміти не тільки вибрати матеріал для реалізації поставленого інженерного завдання, але і

використовуючи його анізотропію, уміти визначити орієнтацію матеріалу з екстремальним значенням його робочої характеристики. Вирішення екстремальних завдань, що реалізуються як аналітично, так і чисельними методами з використанням сучасних комп'ютерних програм, зокрема, програмного комплексу Mathcad Prime 7, є актуальним завданням. Це дозволяє всебічно вивчити поведінку матеріалу ще в процесі його розробки і обробки, аналізувати геометрію, проводити інженерні розрахунки, отримувати фотореалістичні зображення, здійснювати перевірку моделей без випробування експериментальних зразків і економити час дослідника.

Метою роботи є розробка алгоритму і програми розрахунку тензорних фізичних властивостей матеріалу, зокрема, коефіцієнта теплового розширення і коефіцієнта тензочутливості монокристалів в програмному комплексі Mathcad Prime 7, оптимізація матеріалів через розуміння залежності властивостей від структури. Однією з основних цілей є оволодіння здатністю виконувати математичне моделювання і комп'ютерний аналіз анізотропії тензорних коефіцієнтів [1, 2], що визначають роботу моно і полікристалічних матеріалів в різних умовах і режимах, здійснювати вибір матеріалів з оптимальними характеристиками для конкретних наукових і інженерних рішень. У зв'язку з цим, вирішення екстремальних задач, що реалізуються як аналітично, так і чисельними методами з використанням сучасних комп'ютерних програм, зокрема, програмного комплексу Mathcad Prime 7, є актуальним завданням. Це дозволяє всебічно вивчити поведінку матеріалу ще в процесі його розробки і обробки, аналізувати геометрію, проводити інженерні розрахунки, отримувати фотореалістичні зображення, здійснювати перевірку моделей без випробування експериментальних зразків і економити час дослідника.

На рис. 1 представлена програма розрахунку коефіцієнта теплового розширення в програмному комплексі Mathcad Prime 7.

Побудова вказівної поверхні коефіцієнта теплового розширення кристалів представлено відповідно на рис. 2. Точки X_1 і X_2 – це виходи відповідних кристалофізичних осей; кристалофізична вісь X_3 направлена вгору від центру стереографічної проекції.

$\phi_0 := 0$	$\phi_1 := 2 \cdot \pi$	$N_\phi := 61$	Сітка напрямків на одичинній сфері
$\theta_0 := -\frac{\pi}{2}$	$\theta_1 := \frac{\pi}{2}$	$N_\theta := 61$	
$fs(\phi, \theta) := \alpha_n(\phi, \theta) \cdot \begin{bmatrix} \cos(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\phi) \cdot \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix}$			$S1 := \text{CreateMesh}(fs, \phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1, N_\phi, N_\theta)$
$\phi_0 := 0$	$\phi_1 := 2 \cdot \pi$	$N_\phi := 181$	Сітка напрямків
$\theta_0 := 0$	$\theta_1 := \frac{\pi}{2}$	$N_\theta := 91$	
$fc(\phi, \theta) := \begin{bmatrix} \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \cdot \cos(\phi) \\ \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \cdot \sin(\phi) \\ \alpha_n(\phi, \theta) \end{bmatrix}$			$C1 := \text{CreateMesh}(fc, \phi_0, \phi_1, \theta_0, \theta_1, N_\phi, N_\theta)$

Рисунок 1 – Програма розрахунку коефіцієнтів теплового розширення в програмному комплексі Mathcad Prime 7.

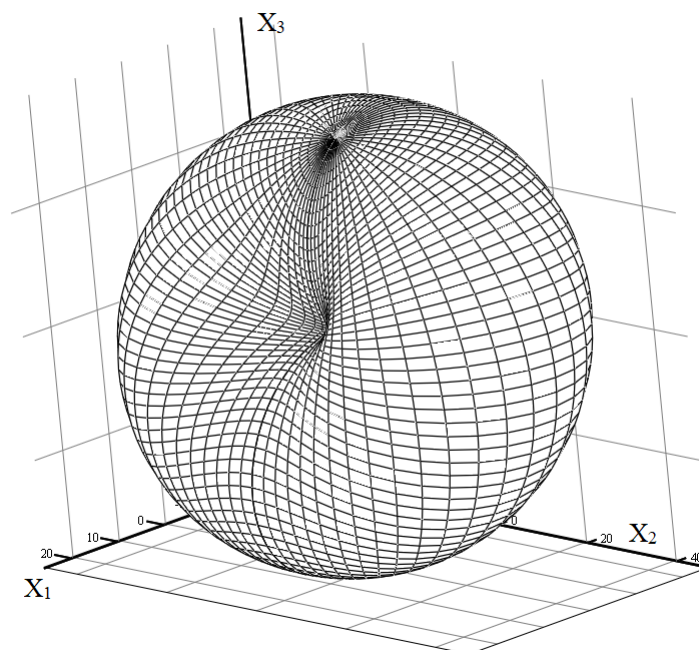


Рисунок 2 – Вказівна поверхня коефіцієнтів теплового розширення кристалів.

Література

1. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. METAL-2020. 29th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings. 2020. P. 440-445.

2. Belokon K., Belokon Y. The usage of heat explosion to synthesize intermetallic compounds and alloys. Ceramic Transactions. 2017. P. 109-115.

Ходунов Андрій

студент 1-го курсу бакалаврата ІННІ ЗНУ

Балабуха Євген

студент 1-го курсу магістратури ІННІ ЗНУ

Наук. кер.: к.т.н., доц. Таратута К.В.

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ЄДИНОЇ СИСТЕМИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ УКРАЇНИ З МІЖНАРОДНИМИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ СТАНДАРТАМИ

Актуальність досліджень. Єдина система конструкторської документації (ЄСКД) призначена для встановлення єдиних оптимальних правил, вимог і норм виконання, оформлення і обігу конструкторської документації. ЄСКД представляє систематизовану базу стандартів ГОСТ та ДСТУ в частині проектних конструкторських робіт. Враховуючи співробітництво підприємств України з міжнародними та європейськими