

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему: *Оптимізація продуктивності неперервного стану холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь» і удосконалення технології виробництва холоднокатаного рулонного прокату*

Виконала: студентка II курсу, групи 8.1369-з оmt
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

Т.О. Зубковська

(ініціали та прізвище)

Керівник

доц. каф. ОМТ, с.н.с., к.т.н.

В.М. Проценко

Рецензент

зав. каф. ОМТ, проф, д.т.н.

В.О. Явтушенко

Запоріжжя
2020

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

Інженерний навчально-науковий інститут

Кафедра _____ обробки металів тиском _____

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Спеціальність _____ 136 «Металургія»
(код та назва)

Освітньо-професійна програма Обробка металів тиском
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОМТ

_____ д.т.н. Явтушенко О.В.

“ _____ ” _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТЦІ

_____ Зубковська Тетяна Олександрівна _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи *Оптимізація продуктивності неперервного стану холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь» і удосконалення технології виробництва холоднокатаного рулонного прокату*

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «25» 05. 2020 р. № 597-с

2. Строк подання студентом роботи _____ 01 грудня 2020 року _____

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Метою магістерської роботи є оптимізація продуктивності неперервного стану холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь» шляхом виявлення доцільних меж підвищення швидкості і маси рулонів стану, що проектуються; розробка програми для виконання розрахунків за наведеною методикою із застосуванням сучасних комп'ютерних програм; підвищення площинності

штаб при прокатуванні шляхом застосування валків з регулярним мікрорельєфом поверхні.

Виконати аналіз новітніх досягнень в технології прокатного виробництва, проаналізувати стан технології прокатки в ЦХП-1. Розробити технічні рішення щодо підвищення продуктивності неперервного стана холодної прокатки, запропонувати валки з регулярним мікрорельєфом поверхні. Розрахувати енергосилові параметри прокатки. Виконати розрахунки на міцність і деформацію валків прокатної кліти кварто. Розрахувати економічні показники, проаналізувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Креслення стана НСХП-1680 і кліти кварто, схеми SVC процесу (безперервна зміна профілю штаби), рельєф поверхні валків, графіки енергосилових параметрів, схеми до розрахунку валків на міцність і вигин, результати аналізу МСЕ деформацій і напружень валків кліти кварто, графіки залежності продуктивності стана від маси рулону і швидкості прокатування.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

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

7. Дата видачі завдання 30.09.2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, загальна частина.	14.09.20-02.10.20	
2.	Технологічна і механічна частини.	05.10.20-30.10.20	
3.	Охорона праці, економічна частина, висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	02.11.20-01.12.20	

Студент

_____ (підпис)

Зубковська Т.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Проценко В.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Нормоконтролер

_____ (підпис)

Явтушенко О.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: 116 с., 48 рис., 23 табл.; використано літературних джерела 22.

Об'єкт дослідження – неперервний стан холодної прокатки 1680 металургійного заводу ПАТ «Запоріжсталь» та оптимізація його продуктивності в залежності від маси рулонів і швидкості прокатування.

Мета роботи – оптимізація продуктивності неперервного стана холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь» шляхом виявлення доцільних меж підвищення швидкості і маси рулонів стана, що проектуються; розробка програми для виконання розрахунків за наведеною методикою із застосуванням сучасних комп'ютерних програм; підвищення площинності штаб при прокатуванні шляхом застосування валків з регулярним мікрорельєфом поверхні.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків, які використовуються в прокатному виробництві. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020, використання комп'ютерних програм Mathcad Prime 6, Excel 2019.

Отримані результати і їх новизна – встановлено, що поверхня валків з регулярним мікрорельєфом забезпечує істотне зниження коефіцієнта тертя і знос валків, підвищення якості штаби. Продуктивність і економічність прокатного стана підвищується разом з підвищенням швидкості прокатки і маси рулонів тільки до деякої межі. Подальше підвищення цих параметрів, забезпечуючи деяке зростання продуктивності стана, робить його експлуатацію неекономічною, оскільки темпи зростання капітальних і експлуатаційних витрат випереджають темпи зростання продуктивності стана.

Отримані результати рекомендуються для впровадження на неперервному стані холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» з метою підвищення продуктивності і техніко – економічних показників виробництва.

ХОЛОДНА ПРОКАТКА, НАПРУЖЕННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, СТАН, КЛІТЬ, ПРОКАТНІ ВАЛКИ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ СТАНА.

Abstract

The explanatory note of the master's thesis contains: 116 pages, 48 fig., 23 tab.; references 22.

Research object – a continuous camp of cold rolling 1680 steel «Zaporizhstal» PSC works and optimization of its performance depending on the mass of rolls and speed of rolling.

The work purpose – optimization of performance of a continuous camp of cold rolling of 1680 steel «Zaporizhstal» PSC by identification of expedient limits of increase in speed and mass of rolls of the projected camp; development of the program for performance of calculations for the given technique with application of modern computer programs; increase in the plane of strips when rolling by application of rolls with a regular microrelief of a surface.

Methods of calculations are standard techniques of calculations which are used in rolling production. Calculations and computer modeling in the CAD system AutoCAD Mechanical 2020, use of the computer Mathcad Prime 6, Excel 2019 programs.

The received results and their novelty – it is established that the surface of rolls with a regular microrelief provides significant decrease in coefficient of friction and wear of rolls, improvement of quality of a strip. Performance and profitability of the rolling mill increases together with increase in speed of rolling and mass of rolls only to some limit. Further increase in these parameters, providing some increase in productivity of a camp, does its operation uneconomical as growth rates of capital and operating costs advance growth rates of performance of a camp.

The received results are recommended for introduction on a continuous camp of cold rolling 1680 steel «Zaporizhstal» PSC for the purpose of increase in performance and technical and economic indicators of production.

COLD ROLLING, TENSION, DEFORMATION, CAMP, CAGE, ROLLING ROLLS, MODELLING, PERFORMANCE

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	10
1.1 Технологічний процес прокатки штаб в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»	10
1.2 Опис конструкцій і роботи основного устаткування ЦХП-1	13
1.3 Аналіз параметрів режиму деформації на НСХП 1680	20
1.4 Аналіз вузьких місць та заходи щодо реконструкції	22
1.5 Стани нескінченної прокатки	27
1.6 Новітні досягнення в технології прокатного виробництва	31
2 ДОСЛІДНИЦЬКО - РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	41
2.1 Дослідження і розрахунок енергосилових параметрів при холодному прокатуванні тонких штаб	41
2.1.1 Розрахунок контактних напружень	41
2.1.2 Осередок деформації	46
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА: ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НЕПЕРЕРВНИХ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ	54
3.1 Загальні положення	54
3.2 Постановка задачі дослідження	55
3.3 Методика дослідження	55
3.4 Залежність продуктивності неперервного стана холодної прокатки від різноманітних параметрів	59
3.4.1 Залежність продуктивності прокатного стана від швидкості прокатки при різній масі рулонів штаби, що прокатується	59
3.4.2 Вплив темпів розгону і гальмування двигунів на продуктивність прокатного стана	62

3.4.3 Вплив величини зниженої швидкості прокатки при проходженні зварних швів на продуктивність прокатного стану	64
3.4.4 Вплив часу допоміжних і заправочних операцій на середньогодинну продуктивність прокатного стану	66
3.4.5 Вплив маси гарячекатаного рулону на середньогодинну продуктивність прокатного стану	68
3.4.6 Вплив товщини і ширини штаби на середньогодинну продуктивність прокатного стану	71
3.5 Результати дослідження та їх обговорення	71
4 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	74
4.1 Розрахунок валків листопрокатних станів на міцність і деформацію в середовищі AutoCAD Mechanical	74
4.1.1 Вступ	74
4.1.2 Постановка задачі	75
4.1.3 Методика дослідження	76
4.1.4 Результати досліджень	83
5 ЕКОНОМІКА ВИРОБНИЦТВА	92
5.1 Розрахунок виробничої програми прокатного стану	92
5.2 Розрахунок собівартості 1 тони прокату	96
5.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження устаткування ..	105
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	104
6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	104
ВИСНОВКИ	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	110
Додаток А - Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи	112

ВСТУП

Значне розширення виробництва і необхідність підвищення якості тонколистового холоднокатаного металу вимагають удосконалення існуючих і створення нових високопродуктивних та економічних широкоштабових станів холодної прокатки.

Найважливішими параметрами широкоштабового стана холодної прокатки є швидкість прокатки, маса рулонів, що прокатуються а також рівень механізації та автоматизації процесу прокатки [1, 2].

Продуктивність і економічність прокатного стана підвищується разом з підвищенням швидкості прокатки і маси рулонів тільки до деякої межі. Подальше підвищення цих параметрів, забезпечуючи деяке зростання продуктивності стана, робить його експлуатацію неекономічною, оскільки темпи зростання капітальних і експлуатаційних витрат випереджають темпи зростання продуктивності стана.

У зв'язку з цим при проектуванні нового обладнання велике значення має економічний аналіз технічних параметрів, що приймаються, для станів, що створюються і визначення економічних меж їх підвищення.

Тип прокатного стана і схема технологічного процесу, як правило, визначаються сортаментом і заданою продуктивністю, а швидкість прокатки і масу рулону вибирають звичайно на основі прикидочних розрахунків. Потім за допомогою економічного розрахунку визначають ефективність вибраних вихідних даних. Цей звичайний шлях вибору, незважаючи на накопичений досвід, часто буває недостатньо об'єктивним, оскільки не може врахувати складної залежності і взаємодії усіх параметрів прокатного стана і процесу прокатки. Тому обрані дані не завжди забезпечують отримання максимально можливої продуктивності і найкращих техніко-економічних показників роботи обладнання.

Для підвищення якості продукції прокатники у всьому світі, перш за все в Японії, Німеччині, США, а також в країнах Латинської Америки, Індії і Китаю, давно приступили до глобальної модернізації прокатного обладнання.

По всьому світу розповсюдилися такі технології як “литво-прокатки” CVC - неперервне регулювання товщини штаби в процесі прокатки, нескінченна прокатка.

Аналіз численних прикладів модернізації прокатного обладнання, приведених в літературі, показує, що модернізація не в змозі кардинально змінити ситуацію в боротьбі за якість прокату. Причини цього закладені в неможливості зміни традиційної схеми прокатної кліти, яка має істотні конструктивні недоліки.

Сучасна прокатна кліть, наприклад, кварто, складається із станини, двох опорних валків, двох робочих валків, гідронатискних або електромеханічних пристроїв і механізмів противигину опорних і робочих валків. У такій кліті зовнішні сили, що створюють зусилля прокатки, прикладаються до шийок валків, тобто на їх кінцях. З боку штаби на валки діють реактивні сили, що викликають в них великі моменти, що згинають. В результаті у валках виникає небезпечна напруга, яка сприяє виникненню мікротріщин в робочому шарі і його руйнування.

В даний час до продукції широкоштабових станів холодної прокатки висуваються жорсткі вимоги, пов'язані з необхідністю підвищення її конкурентоспроможності на світовому ринку, потреби якого в останнє десятиліття істотно змінилися. Основним критерієм, що визначає конкурентоспроможність продукції, є якість, яка забезпечується за рахунок мінімізації різнотовщинності і неплщинності штаби.

Якість профілю штаби (різнотовщинність і площинність) формується головним чином під час гарячої прокатки. Холодна прокатка мало змінює відносну величину поперечної різнотовщинності, але робить істотний вплив на площинність штаби, і в цьому питанні важлива роль належить раціональній вихідній профілізації валкового вузла [1, 2].

Мета роботи – оптимізація продуктивності неперервного стана холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь» шляхом виявлення доцільних меж підвищення швидкості і маси рулонів стана, що проектується; розробка програми для виконання розрахунків за наведеною методикою із застосуванням сучасних комп'ютерних програм; підвищення площинності штаб при прокатуванні шляхом застосування валків з регулярним мікрорельєфом поверхні.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічний процес прокатки штаб в умовах ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Неперервний стан холодної прокатки (НСХП) 1680 призначений для прокатки холоднокатаного листа товщиною 0,5...2,0 мм, швидкість прокатки - до 10 м/с, довжина бочки валків 1680 мм, діаметр робочих і опорних валків 510 і 1420 мм. Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 3300 кВт через шестеренну кліть. У якості підкату використовується гарячекатана штаба товщиною 2...3,8 мм з масою рулону до 15 т. Сумарне обтиснення на цих станах досягає 80 %. Цей стан є основним постачальником холоднокатаної листової сталі ПАТ «Запоріжсталь».

Після заправлення штаби в першу кліть прокатка ведеться на постійній заправній швидкості, поки передній кінець штаби пройде всі кліті і на моталці утворює 2...3 витка штаби. Потім швидкість підвищується до робочої, і рулон прокатується з постійною робочою швидкістю. Перед звареним швом швидкість прокатки вповільнюється. Потім робиться розгін стана до робочої швидкості, і далі все повторюється. При підході заднього кінця штаби швидкість прокатки зменшується з робочої до заправної, після чого задній кінець прокатується з постійною заправною швидкістю. Після паузи починається прокатка рулону.

Значна частина штаби прокатується зі змінною швидкістю, що впливає на параметри процесу прокатки: силу прокатки, натягнення штаби, товщину штаб, обтиснення, коефіцієнт тертя тощо.

Зварені шви прокатуються на вповільненій швидкості, через нестабільність механічних властивостей швів і зміну товщини. Якщо при проходженні зварених швів між валками швидкість прокатки не знижувати, то це веде до сильних ударів і може відбутися розрив штаби [3].

Для того щоб не знижувати швидкість прокатки при проходженні зварених швів, потрібно забезпечити однакові механічні властивості металу штаби і металу шва і мінімальну різнотовщинність підкату. Вирівнювання меж плинності матеріалу штаби і матеріалу шва може бути досягнуто зменшенням обтиснення по шву за рахунок зняття ґрата на мінус.

Для зміни швидкості валків стана застосовують двигуни, що забезпечують швидкий розгін і зупинку.

При багаторазовому обтисненні штаби відбувається її значний розігрів, тому виникає необхідність примусового охолодження валків і штаби. Для охолодження використовують технологічне змащення. Змащення при холодному прокатуванні знижує коефіцієнт тертя між валками і штабою до 0,02...0,06, завдяки чому зменшуються сила прокатки і опір деформації. Прокатка зі змащенням забезпечує більше обтиснення, знижує витрати енергії, зменшує зношування валків, і підвищує якість листової сталі.

Змащення повинно добре прилипати до валків, забезпечуючи рівномірну плівку між валками і штабою що прокатується, і під час прокатки не повинне видавлюватися. Змащення утворює поділяючий ковзний шар між валками і штабою що прокатується. Змащення також повинно легко віддалятися з поверхні листової сталі після прокатки. Більш успішні вважаються емульсії на основі мінеральних мастил. Емульсія подається по обидва боки робочої кліті в місця контакту валків і штаби та на метал що прокатується. Для готування емульсій і подачі її на валки робочої клітей існує спеціальна установка. На стан емульсію подають за допомогою насосів. Для очищення емульсії використовують фільтри і магнітні сепаратори. Для охолодження емульсії використовують охолоджувачі. Ефективність змащення залежить не тільки від правильного вибору їхнього складу, але і від способу подачі на штабу і валки [3].

Холодна прокатка здійснюється зі значним натягом, що знижує силу прокатки, стабілізує процес прокатки і служить у якості регулюючого фактора товщини штаби.

Звичайно на штабу в першій кліті діє тільки передній натяг, а в останній і проміжній клітках діє передній і задній натяг. Між клітками натяг створюється за рахунок неузгодженості швидкостей, а передній натяг в останній кліті – моталкою.

Особливість холодної прокатки – це виникнення наклепу, в результаті чого різко зростають границя текучості, межа міцності і зменшується відносне подовження.

Холодна пластична деформація металу супроводжується значним виділенням тепла, тому температура штаби досягає $150...250^{\circ}\text{C}$ [3].

Прокатка на НСХП характеризується високими швидкостями деформації, які впливають на межу плинності. Але цей вплив незначний і його звичайно не враховують.

Натяг штаби істотно впливає на товщину штаби: зі збільшенням натягу товщина штаби зменшується. При стійкому процесі прокатки для забезпечення високої точності розмірів штаби по довжині доцільно підтримувати натяг у межах $0,2 - 0,4 \sigma_T$.

Механічні властивості підкату по довжині штаби розподіляються нерівномірно. Через неоднорідність хімічного складу в слябах у гарячекатаних рулонах виникає додаткова неоднорідність через різні режими охолодження кінців і середини штаби. Кінці штаби остигають швидше, у результаті межа міцності металу на початку і наприкінці рулону вище, ніж у середині, на $10...18\%$.

Зміна товщини і натяг штаби по фазі збігаються зі зміною зазору між валками через биття валків.

Швидкість прокатки впливає на поздовжню різнотовщинність через коефіцієнт тертя, границю текучості матеріалу, що прокатується, і внаслідок зміни товщини масляної плівки.

Зі збільшенням швидкості прокатки підвищується температура металу внаслідок теплового ефекту пластичної деформації. Збільшення температури

металу приводить до зниження межі плинності і до зменшення сили прокатки і товщини штаби.

Важливим завданням прокатки є одержання необхідних механічних властивостей, тому що структура і штампуємість листової сталі, визначаються режимом холодної прокатки. При критичному ступені деформації (наприклад, 7...10 % для сталі 08кп) при рекристалізації утворюються дуже крупні зерна. При малій ступені деформації, зерна гарячекатаного металу майже не дробляться, і далі ріст зерна не спостерігається, тому що відсутня рекристалізація. При збільшенні ступені деформації зерна фериту дробляться і витягаються в напрямку прокатки, відбувається розрив міжзеренної речовини, границі зерен майже зникають, цементит також витягається уздовж прокатки [4].

Межа міцності і межа плинності холоднокатаної відпаленої сталі зростає зі збільшенням ступеня деформації. При холодній прокатці сумарне обтиснення становить 50...80 %, а одержання необхідних механічних властивостей забезпечують підбором оптимального хімічного складу сталі і режиму відпалу.

1.2 Опис конструкцій і роботи основного устаткування ЦХП-1

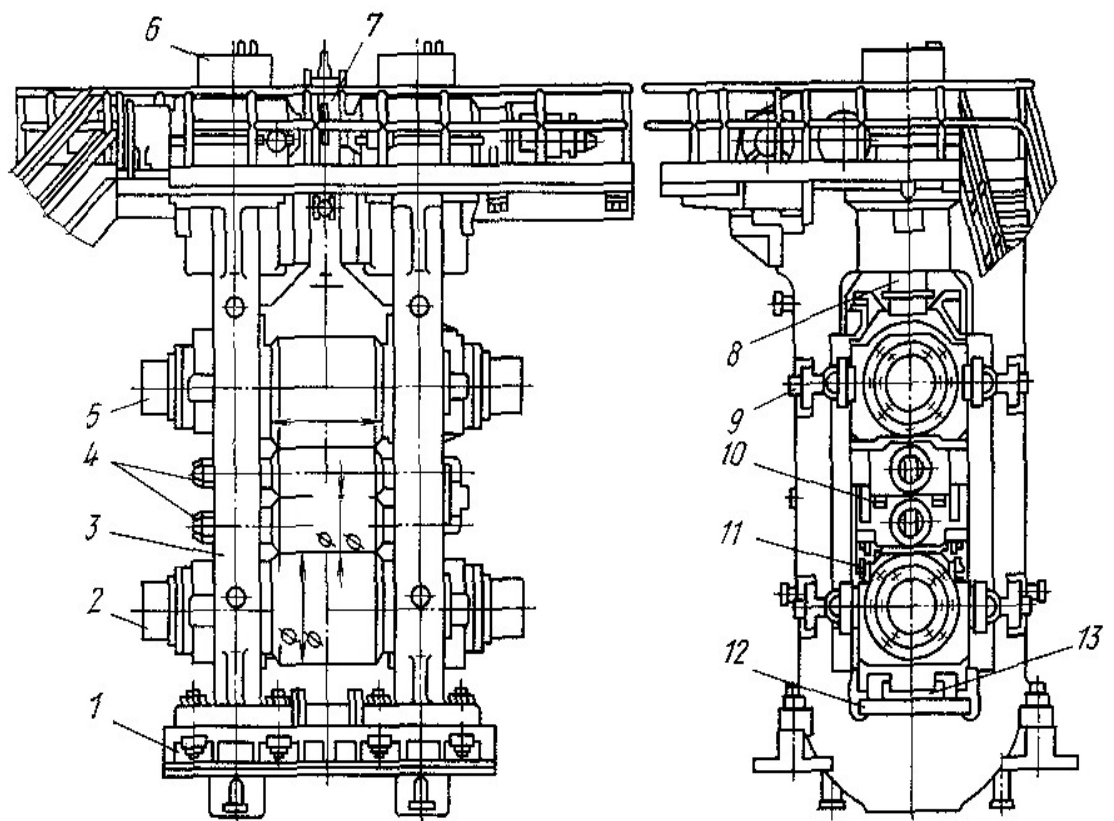
У прокатному відділенні відбувається прокатка в клітках закритого типу з робочими валками діаметром 465 - 510 мм, і опорними 1210 - 1420 мм. На рис 1.1 зображена прокатна кліть закритого типу НСХП 1680.

При зміні повного комплекту робочих і опорних валків застосовують гідравлічний пристрій, що врівноважує.

На рис 1.2 показаний загальний вид пристрою для гідравлічного зрівноважування верхніх робочого і опорного валків стана 1680. Зрівноважування робочих і опорних валків здійснюється за допомогою гідравлічних плунжерів 3, які розташовані між подушками опорних і робочих валків.

Шестеренна кліть, представлена на рис 1.3 і призначена для поділу крутного моменту на опорні валки. Шестеренні кліті роблять відкритими (зі знімною кришкою). Вони складаються з наступних основних елементів: станини; кришки; шестерень; подушок з підшипниками.

Станини і кришки відливають із модифікованого або високоміцного чавуну (марок ВЧ45-5, СЧ32-52); підшипники – бабітові або роликові конічні; шестерні виготовляють із кованої легованої сталі марок 40ХН, зуби піддають поверхневому гартуванню [5].



1 – плитовина; 2 – нижній опорний валок; 3 – станина; 4 – робочі валки; 5 – верхній опорний валок; 6 – натискний механізм; 7 – механізм врівноваження верхнього опорного валка; 8 – натискний гвинт; 9 – гідрозаслонка; 10 – гідроциліндр; 11 – направляючі бруси для зміни робочих валків; 12 – полоз'я для зміни опорних валків

Рисунок 1.1 – Прокатна кліть закритого типу НСХП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

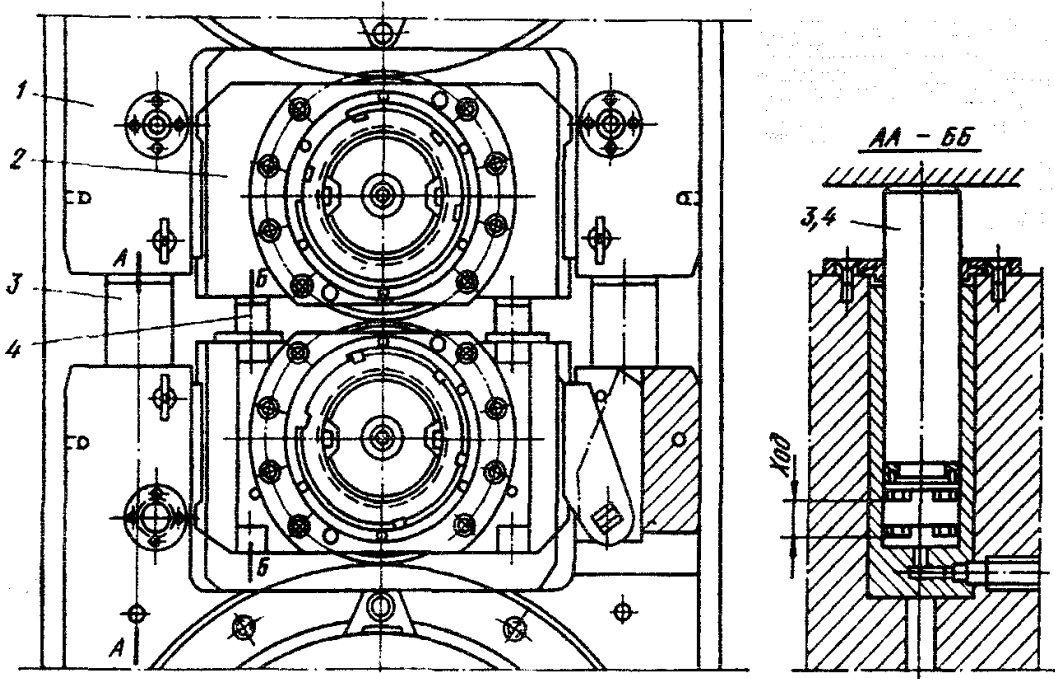


Рисунок 1.2 – Гідравлічне урівноважування верхнього робочого і опорного валків чотиривалкової кліті стана 1680

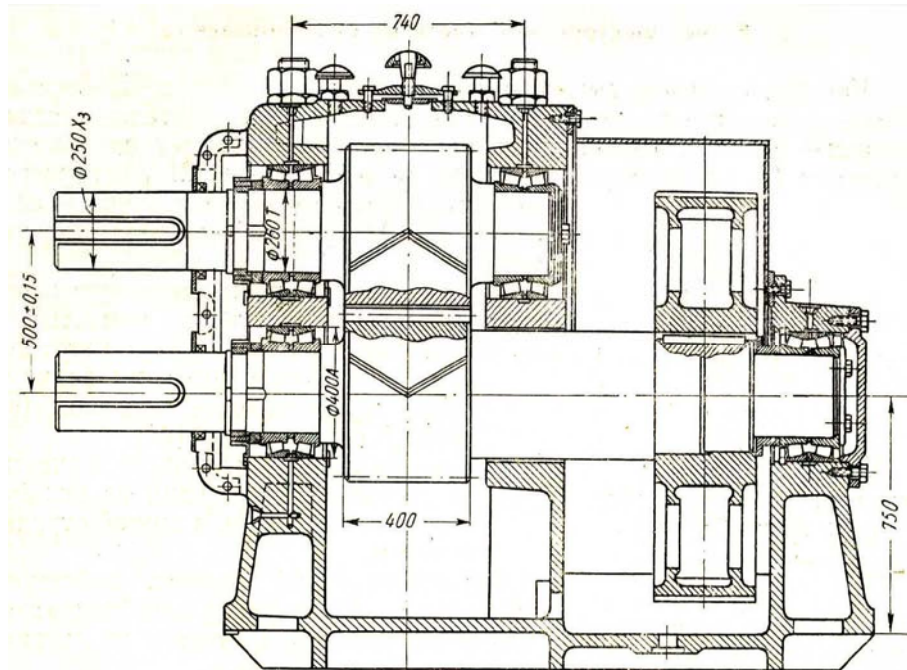
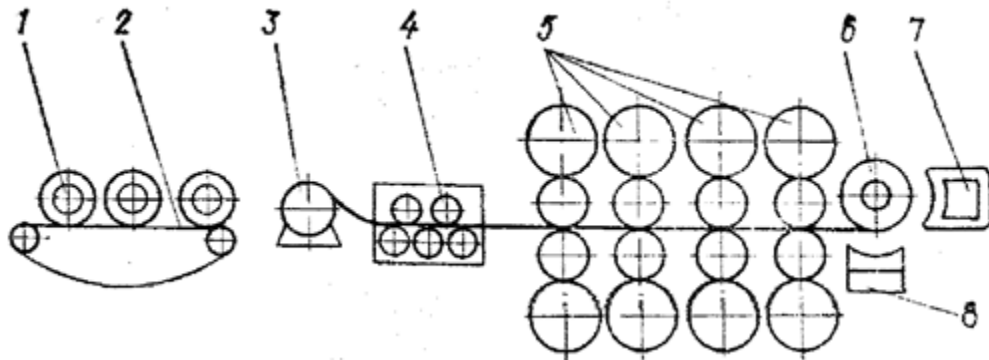


Рисунок 1.3 – Шестеренна кліть для привода валків чотиривалкової кліті стана 1680 конструкції НКМЗ

На рис. 1.4 зображена схема чотирьох клітьового неперервного стана холодної прокатки - 1680.



1 – протравлені рулони, 2 – транспортер, 3 – розмотувач, 4 – правильно-натяжна машина, 5 – валки робочих клітей, 6 – моталка, 7, 8 – колиска знімача

Рисунок 1.4 – Схема чотирьох клітьового неперервного стана холодної прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

Протравлені рулони 1 краном установлюються на ланцюговий транспортер 2, і передаються на розмотувач 3. Кінець штаби відгинається і задається в тягнучі ролики правильно-натяжної машини 4. Потім тягнучими роликами штаба задається у валки робочих клітей 5 (із заправною швидкістю).

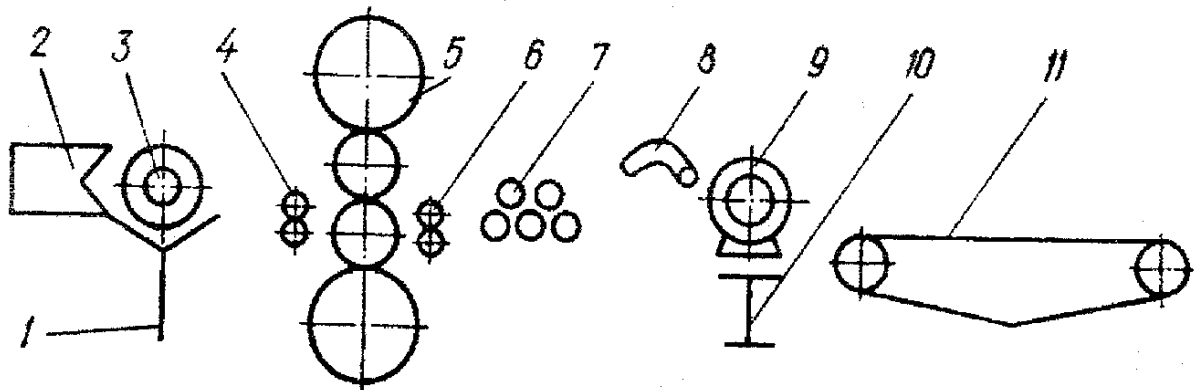
Штаба, пройшовши робочі валки 4-ї кліті, задається в барабан моталки 6. Після намотування 3...4 витків створюється натяг між 4 кліттю і моталкою, стан розганяється до робочої швидкості.

Після прокатки рулону, коли на головках розмотувача залишається два-три витка штаби, швидкість стана вповільнюється до заправної, після чого кінець штаби пропускають через робочі кліті. На барабані моталки кінець штаби фіксується колискою знімача 8, і рулон убирається на пакувальне сковзало, потім по ланцюговому конвеєрі рулони транспортуються в термічне відділення [6].

На рис. 1.5 представлена схема одноклітьового дресирувального стану 1700. Рулони подаються ланцюговим транспортером 11 з відділення відпалу.

З ланцюгового транспортера рулон кантується і механізмом подачі 10 подається на розмотувач 9. Передній кінець рулону відгибачем 8 відгинається і задається на заправній швидкості в правильно-тягнучу машину 7, а потім у натяжний пристрій 6. Пройшовши валки робочої кліти 5, передній кінець штаби проходить задній натяжний пристрій 4 і намотується за допомогою захлестувача 2 на барабан моталки 3.

На рис. 1.6 представлена схема агрегату поперечного різання, призначеного для порізу штаб з вуглецевих сталей товщиною 0,6...2,0 мм, шириною 700...1500 мм на листи довжиною 1...6 м зі швидкістю 1,5...6 м/с.



1, 3 – барабан моталки, 2 – захлестувач, 4 – натяжний пристрій, 5 – валки, 6 – натяжний пристрій, 7 – правильно-тягнуча машина, 8 – відгибач, 9 – розмотувач, 10 – механізм подачі, 11 – транспортер

Рисунок 1.5 – Схема одноклітьового дресирувального стану 1700

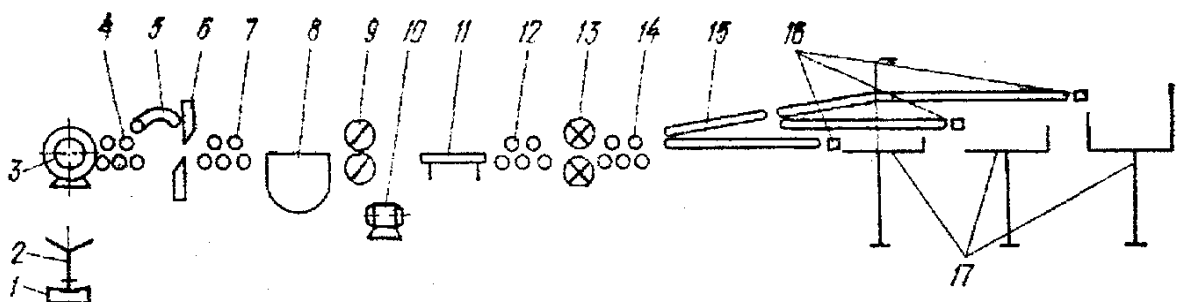


Рисунок 1.6 – Схема агрегату поперечного різання холоднокатаних штаб

За допомогою крана рулони встановлюються на конвеєр 1. Черговий рулон за допомогою пересувного гідравлічного стола 2 насувається на

консольний барабан розмотувача 3; останній автоматично розклинається (збільшується його діаметр) і повертається в положення, необхідне для відгинання переднього кінця штаби магнітним відгибачем 6, при цьому ролик 4 опускається. Передній нерівний кінець штаби (довжиною 1 - 2 м) відрізається гідравлічними гільйотинними ножицями 6, подається роликами 7 на похилий стіл 8 і скидається в бічний короб для обрізки.

Бічні крайки штаби відрізаються дисковими ножицями 9 і змотуються в тугі мотки кромкомоталкою 10. Остаточне виправлення штаби здійснюється другою правильною машиною 12, після чого штаба розрізається на листи мірної довжини летучими барабанними ножицями 13. Петлеві столи 8 і 11 призначені для забезпечення можливості вирівнювання швидкості дискових ножиців зі швидкістю обох правильних машин.

Пакетуючий пристрій 17 складається із трьох секцій: перша – для бракованих листів, а інші дві для придатних. Листи направляються на пакетуючі столи розподільним стрічковим транспортером 15. Над нижньою областю цього транспортера встановлені перемикаючі електромагніти. Перемикання цих магнітів здійснюється від імпульсу приладів 11 контролю якості поверхні штаби, розташованих перед другою правильною машиною. Перед надходженням на пакетуючі столи придатні листи промаслюються в пристроях 16 [6].

На рис. 1.7 представлена схема агрегату поздовжнього різання холоднокатаних штаб. Цей агрегат призначений для обрізки бічних крайок рулонної штаби і різання її на вузькі стрічки. Параметри вихідних рулонів: маса до 30 т, товщина штаби 0,4 - 2,0 мм, ширина 750 - 1550 мм. Готові вузькі рулони: маса до 10 т, зовнішній діаметр до 1600 мм, внутрішній діаметр 600 мм, ширина 80 мм і більше.

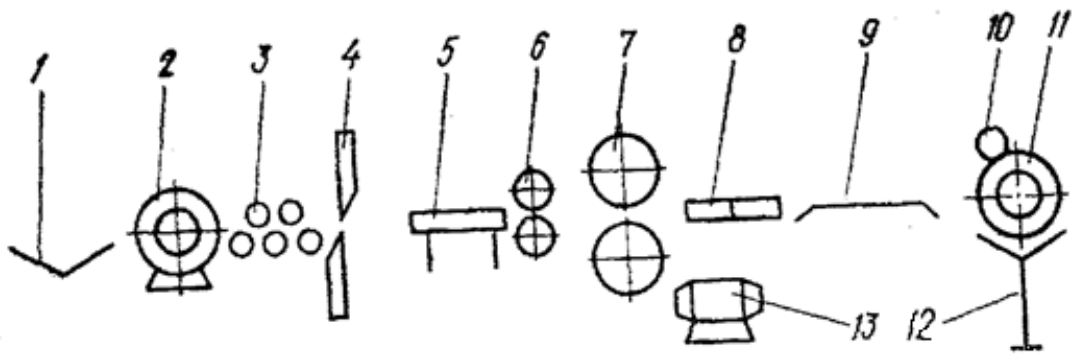


Рисунок 1.7 – Схема агрегату поздовжнього різання холоднокатаних штаб

Вихідний рулон зі стелажа 1 установлюється на барабан розмотувача 2, кінець штаби відгинається магнітним вигибачем 3 і обрізається ножицями 4, подається в пристрій, що промаслює, 5. Штаба проходить через контрольно-маркувальний стіл 6 і дисковими багатопарними ножицями 7 розрізається на вузькі стрічки; при заправленні агрегату візок машини 8 під'їжджає до дискових ножиців і схоплює кінець стрічок, затискаючи їх між своїми роликками, безпосередньо при виході стрічок з ножів ножиців. Потім при одночасному обертанні ножів ножиців візок по напрямних переміщається до моталки 11, перед якою спеціальним пристроєм стрічки розводяться друг від друга й задаються в щілину барабана. Формування рулону стрічки здійснюється на моталці за допомогою притискного ролика, що качає, 10. Рулони стрічок за допомогою пересувного піднімального стола 12 передаються на поворотний стіл і далі краном - на упаковку. При різанні стрічок на ножицях одночасно здійснюється обрізка бічних крайок, які змотуються на кромкомоталці 18 [5].

Барабанні ножиці є однією з основних машин для різання металу. Вони набули широкого застосування для холодного різання сталевих штаб товщиною до 3 мм. Пристрій і принцип роботи полягають у наступному. На двох барабанах по їх утворюючим радіально закріплені ножі (по одному або по трьох на кожному барабані). Штаба рухається безупинно і подається до ножиців роликками (або валками останньої кліті неперервного стана) з постійною швидкістю. При зустрічі верхнього і нижнього ножів відбувається

різання штаби. Для створення розриву між відрізними шматками штаби швидкість вихідного рольганга повинна бути більше швидкості штаби перед ножицями.

1.3 Аналіз параметрів режиму деформації на НСХП 1680

Слід зазначити, що створення необхідних умов для ведення ідеального процесу холодного прокатування на діючих станах пов'язане з труднощами організаційного і технологічного характеру. Ці труднощі полягають в прийнятих на кожному заводі режимах обтиснень, технологічних схемах, що склалися, традиціях і навичок персоналу. Тому сенс даного дослідження бачиться не тільки і не стільки у визначенні умов для ведення ідеального процесу холодного прокатування, скільки у виявленні оптимальних умов ведення процесу холодного прокатування як з енергетично сприятливої сторони, так і з боку отримання високої якості прокату (з низькою подовжньою і поперечною різнотовщинністю, хорошою планшетністю, високою точністю).

Вибір обтиснення

До холоднокатаних листів висуваються високі вимоги по планшетності і різнотовщинності, а також ряд інших вимог до якості листа, які виступають обмежуючим чинником при виборі режимів обтиснень.

Обтиснення в першій кліті

При прокатуванні в першій кліті заднє натягнення практично відсутнє, унаслідок чого штаба при великих обтисканнях погано центрується і має тенденцію зміщуватися убік від лінії прокатки [3]. Ця обставина обмежує обтискання в першій кліті. Крім того обтискання в першій кліті обмежується тим, що гарячекатаний підкат має істотну різнотовщинність (першу кліть необхідно використовувати для регулювання товщини штаби за допомогою САРТ і тому вона повинна мати резервну потужність для забезпечення

належного діапазону регулювання) [7].

Важливим доводом в захист знижених обтиснень в перших клітках неперервного стану є те, що ефект самовирівнювання різнотовщинності помітно виявляється лише тоді, коли деформаційне зміцнення металу порівняно невелике. Отже, зниження обтиснень в перших клітках сприяє самовирівнюванню подовжньої різнотовщинності.

Обтиснення в останній клітці стана

При виборі величини обтиснення в останній клітці безперервних станів враховують, що дуже велике обтиснення утрудняє надходження мастила в зону деформації, внаслідок чого погіршується якість поверхні. Іноді йдуть на збільшення обтиснення в останній клітці з тим, щоб мати між останньою і передостанньою клітками підвищену товщину штаби [4]. Це зменшує вірогідність обриву штаби при натягненні. Завдяки значній деформації в останній клітці температура штаби зростає і при змотуванні штаби в рулон складає близько 200°C. Це сприятливо позначається на якості профілю прокатої штаби, оскільки відбувається штаби розтягуванням при підвищеній температурі.

Обтиснення в останній клітці не може бути малим також тому, що з його величиною пов'язана якість регулювання товщини штаби на виході неперервного стану. Для умов роботи чотириклітьового стану 1700 Маріупольського меткомбінату при прокатуванні сталі з 2,0 на 0,5 мм відносне обтиснення в четвертій клітці складає 23%. При 20%-ній допустимій зміні натягнення штаби вальцювальник зможе відпрацювати відносну різнотовщинність штаби.

Вибір натягання штаби

Коливання обтиснень в першій клітці неперервного стану холодної прокатки (до 10 – 15 %), викликані подовжньою різнотовщинністю гарячекатаних штаб і роботою грубого регулятора товщини здійснюють істотний вплив на профіль і форму прокатаних штаб і весь процес прокатки.

Одна і та ж нерівномірність деформації при прокатуванні в області короба призводить до меншого в 1,2...1,4 рази відхилення штаби від плоского стану, чим при прокатуванні хвилястої штаби.

Переднє натягання діє на форму коробоватої штаби ефективніше, ніж на хвилясту штабу. У зв'язку з цим, зважаючи на специфіку роботи перших клітей і наявність достатнього запасу пластичності металу, розрахунок профілізацій і режиму обтиснень необхідно проводити з урахуванням прокатки в них штаб з деякою коробоватістю

Переднє натягання найбільш ефективно впливає на профіль і форму штаби в межах до 40 - 50 МПа. Подальше збільшення натягання з метою поліпшення їх площинності недоцільне [8].

Температурні умови прокатки

Процес холодної прокатки виявляється найбільш стабільним при температурі валків 55 – 60°C, яка забезпечується при температурі емульсії 45 – 50°C і її витраті 420 – 630 м³/год. При цьому гаряча емульсія має хорошу відмиваючу здатність. При охолодженні емульсією валків на штабі менше відкладається жирова, що призводить до утворення сажі при відпалі. Прокатка ж на емульсії з температурою вище 55°C викликає інтенсивне випаровування, яке перешкоджає візуальному спостереженню за профілем прокатуваних штаб.

В даний час на стані холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь» валки охолоджуються емульсією з температурою 45 – 50°C. Це дозволило збільшити продуктивність стана і на 0,5% кількість металу, відсортованого по дефектам площинності.

1.4 Аналіз вузьких місць та заходи щодо реконструкції

Неперервний чотириклітьовий стан 1680 ПАТ «Запоріжсталь» є високо механізованим станом з високим ступенем автоматизації. Проте стан має ряд недоліків, які заважають підвищенню обсягів виробництва і якості прокату.

1. Існуюча емульсійна система на стані – малопотужна, витрата емульсії 260 м³/год (на всі кліті). Через це погіршується якість прокату, а також відбувається перегрів валків і не забезпечується проектна швидкість прокатки 10 м/с.

Введення в мінеральні мастила 20-40 % жирових присадок, а також застосування, як змащувачів, прокатних емульсолів дозволяє забезпечити надійний захист штаби від дефектів при змотуванні в рулон і зменшити енерговитрати на прокатку. Використання емульсолів водорозчинного типу дозволяє підтримувати постійною концентрацію масляної фази в прокатній емульсії.

Основною причиною утворення сажі на поверхні прокату є залишки мастила. Для зменшення сажоутворення при відпалі ефективно застосування водорозчинних промаслюючих складів, прокатку шліфованими валками, якісне видалення емульсії з поверхні прокату.

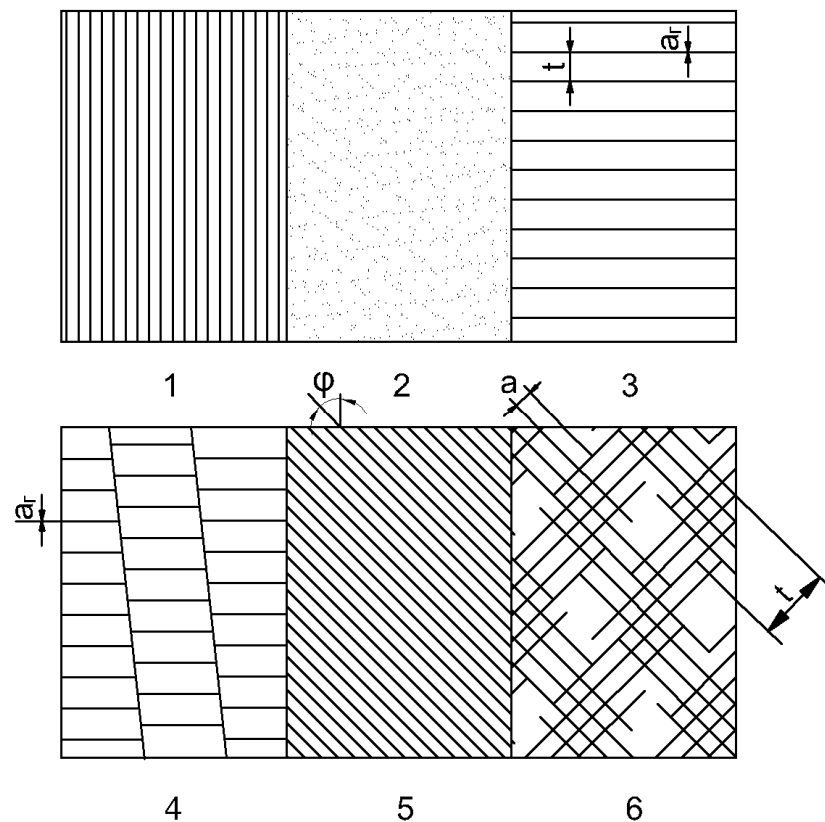
Пропонується реконструювати емульсійну систему стана з метою забезпечення витрати емульсії на стан 700 - 800 м³/год. Ця реконструкція дозволить підвищити продуктивність стана і поліпшити якість прокату.

2. Реконструювати існуючий агрегат для промаслення рулонів з установкою пристрою для промаслення сталевого прокату в електричному полі. Це дозволить збільшити швидкість промаслення з 1,5 – 3 м/с до 4 – 6 м/с, з меншою витратою мастила (щільність нанесення мастила – 1,5 г/м² на робочій швидкості).

3. Застосувати використання валків з регулярним рельєфом поверхні.

На неперервних станах холодної прокатки в першій і чистовій (4-та кліть на стані 1680), а іноді і в передчистовій клітях використовують робочі валки з насіченою поверхнею $R_a = 3 - 6$ мкм, а в проміжних клітях (3-я кліть на стані 1680) – валки зі шліфованою поверхнею ($R_a = 0,8 - 1,6$ мкм). Застосування насічених валків в кліті 1 обумовлено необхідністю покращення умов захвату штаби і запобігання пробуксовки валків по штабі в процесі прокатки. В чистовій і передчистовій клітях нанесення на поверхню штаби шероховатості запобігає зварюванню витків рулону в процесі рекристалізаційного відпалу в ковпакових печах.

Вплив рельєфу валків різного типу на параметри прокатки вивчався в лабораторних і промислових умовах [9]. Досліди проводилися на стані з валками діаметром 100 мм і окружною швидкістю $v \approx 0,3$ м/с. Поверхні типу 1, 5, 6 (рис. 1.8.) створювалися шліфуванням наждачним папером, а поверхня 2 - прокаткою наждачного паперу у валках. Поверхня типу 3 створювалася нанесенням на валок подовжніх рисок з різним кроком (довжина рисок по колу валка $a_r = 0,1...0,15$ мм, глибина $0,05...0,1$ мм). Поверхня типу 4 створювалася також при віброшліфуванні валка абразивним кругом ($a_r = 0,7...1,0$ мм, $t = 1...1,5$ мм). Прокатувалися штаби розмірами $H=1-1,3$ мм $B \approx 20$ мм без зміни зазору між валками. Технологічне мастило - емульсол Т. Під час прокатки випередження вимірювалося методом кернових відміток, силу прокатки - месдозами з тензометричними датчиками.



1 — шліфування при $\phi = 0$; 2 — насічка; 3 — хвилястий з подовжніми ризками; 4 - хвилястий із зміщеними подовжніми гранями; 5 - шліфування з $\phi > 0$; 6 - шліфування з $\phi < 0$ («клітка»).

Рисунок 1.8 – Рельєф поверхні валка

По дослідних величинах випередження і сили прокатки розраховувалися коефіцієнт тертя і середній нормальний тиск:

$$\gamma_c = \sqrt{Sh / R_c}; \quad (1.1)$$

$$f = 0,5\alpha_c / (1 - 2\gamma_c / \alpha_c); \quad (1.2)$$

$$p_{cp} = P / Bl_c; \quad (1.3)$$

де S — випередження; h — товщина штаби після прокатки; P — сила прокатки; B — середня ширина штаби в осередку деформації; R_c , l_c , α_c , γ_c - радіус валків, довжина дуги контакту, кут захвату та нейтрального перетину.

Результати досліджень, представлені на рис. 1.9, указують на помітний вплив рельєфу поверхні валка на параметри прокатки. При прокатуванні з обтиском $\varepsilon \approx 32\%$ (досліди 1-6) у шліфованих валках (рельєф типу 1) коефіцієнт тертя має мінімальне значення 0,074, а при прокатуванні у насічених валках (рельєф типу 2) коефіцієнт тертя максимальний 0,185, що обумовлене збільшенням опору ковзанню металу на поверхнях контакту в осередку деформації. При використанні регулярного рельєфу поверхні типу 3 коефіцієнт тертя зростає із збільшенням кроку подовжніх западин. Причому мінімальне його значення 0,075 (досвід 6) відповідає рельєфу з кроком западин $t = 3,6$ мм, коли величина кроку приблизно дорівнює довжині осередку деформації $l_c = 4,21$ мм. В цьому випадку умови деформації визначаються головним чином шорсткістю поверхні валків. Оскільки в досліді 6 шорсткість валка ($R_a = 0,7...0,78$ мкм) дещо більше, ніж в досліді 1 ($R_a = 0,44...0,65$ мкм), то коефіцієнт тертя і середній нормальний тиск дещо більше, а коефіцієнт витяжки декілька менше. При зменшенні кроку западин, що утрудняє ковзання металу по поверхні, особливо в зоні відставання, де кількість западин завжди більша, відбувається збільшення витяжки в зоні випередження і, разом з цим, збільшення коефіцієнту тертя (досліди 3-5).

Внаслідок неспівпадання в одному вертикальному перетині осередку деформації западин верхнього і нижнього валків, процес прокатки у валках з подібним рельєфом виявляється несиметричним і викликає появу в об'ємі подовжнього розтягуючого напруження, що деформується [9].

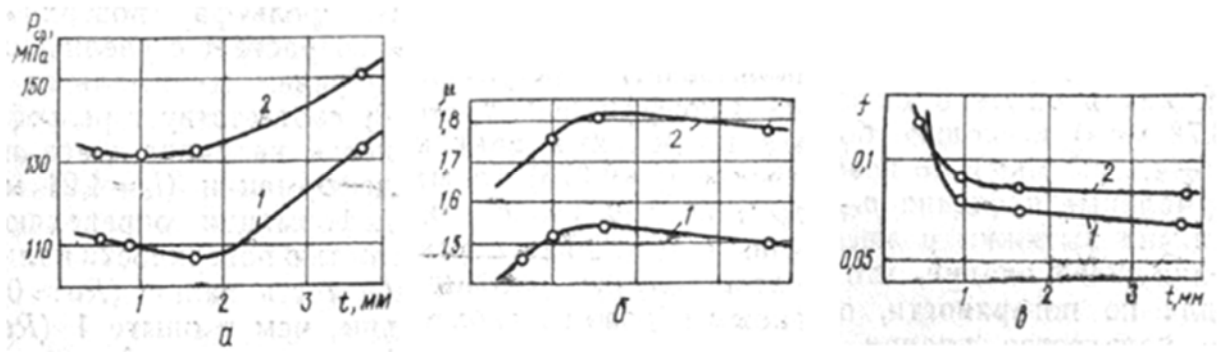


Рисунок 1.9 - Зміна середнього нормального тиску (а), коефіцієнта витяжки (б), коефіцієнта тертя (в) залежно від кроку подовжніх западин на поверхні валка при ϵ , %: 1 - 32; 2 - 41 (поверхня типу 3).

Наявністю подовжнього розтягуючого напруження можна пояснити великі значення коефіцієнта витяжки (1,52...1,54) при прокатці у валках з $t = 0,9...1,6$ мм в порівнянні з прокаткою в шліфованих валках ($\mu = 1,48$) (рис. 1.9, б, досліди 1, 4, 5). При цих же значеннях t отримані і мінімальні величини нормального контактного напруження (106,4 - 110,5 МПа проти 120,4 МПа в досліді 1).

Таким чином, при прокатуванні у валках з подовжніми западинами (рельєф 3) на поверхні існують оптимальні параметри рельєфу, які забезпечують максимальну витяжку штаби при однаковій шорсткості поверхні валків. При прокатуванні у валках з насіченою поверхнею коефіцієнт витяжки мінімальний, а середня нормальна напруга в 1,28-1,83 рази вище, ніж в дослідях 1, 3 - 6. Аналогічні залежності отримані при деформації металу з обтиском $\epsilon = 41$ % (рис. 1.9) і при повторних дослідженнях з обтиском $\epsilon = 25$ %, що підтверджує достовірність отриманих результатів. При прокатуванні в таких валках виступи на штабах виразно видно на профілеграмах, а їх висота дорівнює $R_t = 6...10$ мкм.

Валки з рельєфом типу 4 мають такі ж переваги, що і валки з рельєфом типу 3 і дозволяють підвищити стійкість штаби проти зсуву на край бочки.

Рельєф валків з косим орієнтуванням ліній западин і гребнів (тип 5, 6) виявляється енергоємнішим при будь-яких значеннях кута $\varphi > 0$ в порівнянні з рельєфом типу 1. Досліди показують, що прокатка у валках з таким профілем приводить до збільшення коефіцієнту тертя в 1,2 - 1,25 рази, а середнього нормального напруження в 1,1 - 1,13 рази у порівнянні з прокаткою у валках з $\varphi = 0$.

1.5 Стани нескінченної прокатки

Особливості використання технології нескінченної прокатки

Технологія *нескінченної прокатки* застосовується як на станах гарячої, так і на станах холодної прокатки. Останнім часом її стали застосовувати і на ливарно-прокатних агрегатах, що ще більше підвищило їх ефективність.

Суть технології нескінченної прокатки полягає в тому, що заготовки (або рулони) перед завданням в першу кліть прокатного стану зварюються між собою. В цьому випадку в стані прокатується фактично нескінченна штаба.

Дана технологія передбачає наявність додаткового устаткування на стані, такого як зварювальна машина. Також у разі холодної прокатки встановлюється накопичувач для штаби між зварювальною машиною і першою кліткою, який необхідний для того, щоб не зупиняти процес прокатки під час зварки двох рулонів між собою.

Переваги технології нескінченної прокатки наступні:

- відсутність втрат часу між проходами двох рулонів, що підвищує продуктивність стану;
- відсутність необхідності відрізання головної і хвостової частини рулону, що дозволяє зменшити відходи металу в обрізь;
- незмінно високі швидкості прокатки завдяки безперервності процесу, стабільність роботи устаткування і скорочення числа поломок;
- стабільні технологічні умови, що підвищує якість продукції;
- збільшення терміну служби прокатного устаткування;
- зниження потреби в техобслуговуванні, запчастинах і витратних матеріалах;
- можливість намотування рулонів більшої ваги або на замовлення;
- виробництво рулонів більшого розміру без необхідності внесення дорогих модифікацій в інше устаткування [10].

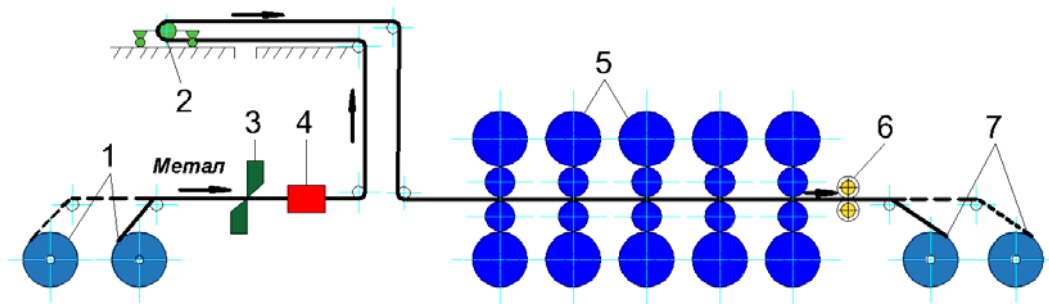
Розглянемо можливості застосування нескінченної прокатки на станах різного типу.

Нескінченна прокатка на станах холодної прокатки

На станах холодної прокатки прокатують штабу в рулонах, які поступають з широкоштабового стана гарячої прокатки (ШСГП). Перед прокатуванням штабу піддають травленню, щоб видалити з неї окалину, після чого проводиться прокатка в реверсивному одноклетьовому або безперервному стані, у складі якого є 3...6 клітей. Застосування технології нескінченної прокатки можливе тільки на безперервних станах.

Продуктивність такого стана нескінченної прокатки вища, ніж на звичайному (порулонної прокатки), завдяки відсутності проблем, пов'язаних з прокаткою кінців штаб і втрат часу на їх заправку. Крім того, значно знижується вірогідність пошкодження валків, за рахунок виключення удару переднього кінця штаби об валки.

Приведемо схему стана 1420 нескінченної прокатки на одному із заводів Японії (рис. 1.10).



1 – розмотувач; 2 – петлевий пристрій; 3 – ножиці; 4 – зварювальна машина; 5 – робочі кліті; 6 – летючі ножиці; 7 – моталок.

Рисунок 1.10 – Схема стана нескінченної прокатки 1420:

Головна частина цього стана - традиційний набір машин і механізмів, що входить до складу безперервного агрегату: розмотувач, правильна машина, ножиці для вирівнювання кінців, зварювальний агрегат з гратознимачем і петлевий пристрій.

Технологічний процес проводиться за наступною схемою. Гарячекатані травлені рулони мостовим краном від вихідної частини безперервного травильного агрегату перевозяться до розмотувачів прокатного стана.

Після установки рулону на барабан розмотувача проводиться відгортання, центрування і заправка переднього кінця штаби в правильну машину. Завдання рулону в один з розмотувачів і підготовка переднього кінця штаби проводять під час розмотування штаби з іншого розмотувача.

Після обрізання кінця попереднього рулону і початку наступного рулону проводиться їх зварювання на стикозварювальній машині. Обов'язковою умовою є рівна товщина кінців рулонів, яка контролюється спеціальним пристроєм.

Стикозварювальна машина (рис. 1.11) призначена для зварки встик оплавленням кінців суміжних штаб без попереднього підігріву і забезпечення процесу безперервної прокатки.

Режим зварки (настройка машини) визначаються електронно-обчислювальною машиною. Для ідентифікації швів пробиваються отвори діаметром 20 мм по центру штаби. Після зварки штаба розганяється до 750 м/хвил і подається в *петлевий накопичувач*, необхідний для забезпечення безперервності процесу прокатки під час зварки кінців штаб. Петлевий накопичувач містить станції, що тягнуть, і систему натяжних механізмів, centruючих і підтримуючих роликів для накопичення близько 800 метрів штаби (рис. 1.12).

Поки йде зварка кінців рулонів, витрачається штаба з накопичувача, після зварки запаси штаби в накопичувачі заповнюються за рахунок вищої швидкості розмотування рулону.

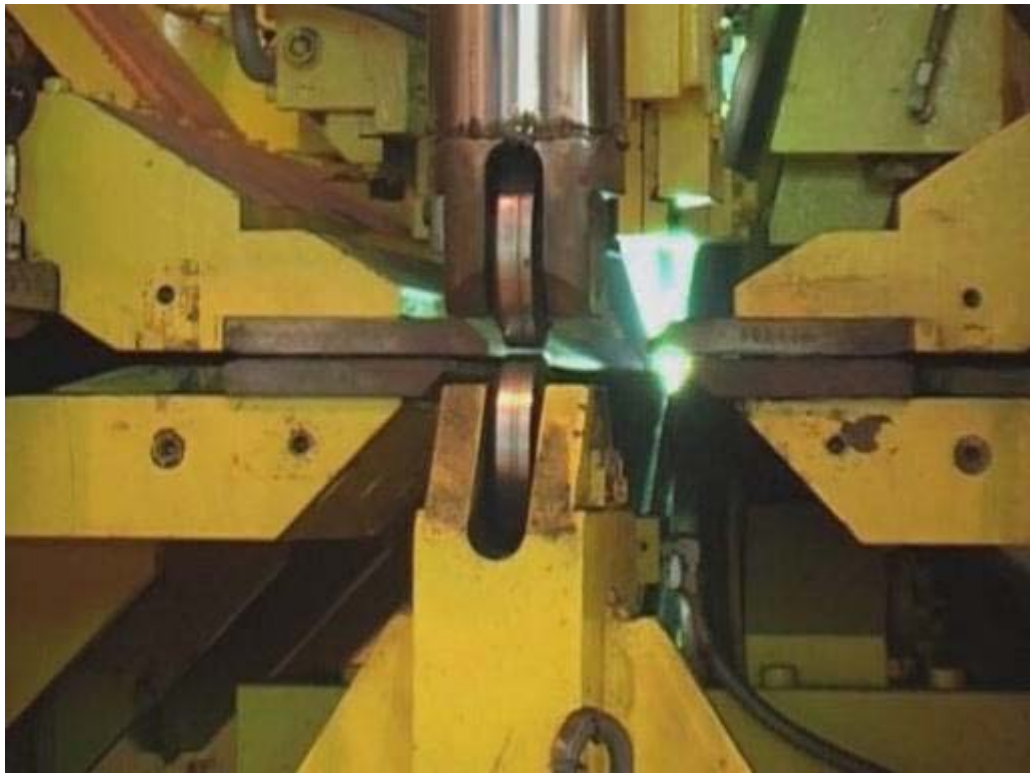


Рисунок 1.11 – Стыковувальна машина стана холодної прокатки



Рисунок 1.12 – Петлевий накопичувач

За накопичувачем є натяжні ролики, які створюють заднє натягнення. Перед першою кліттю також встановлено обладнання, необхідне при переводі стана в режим порулонної прокатки металу.

Таким чином, прокатка штаби в робочих клітках здійснюється безперервно. На стані нескінченної прокатки заправна швидкість необхідна тільки один раз, в решту часу прокатка ведеться з постійною робочою швидкістю. Проте при прокатуванні швів доводиться зменшувати швидкість щоб уникнути обривів. Таким чином, тільки шви вносять деяку нестабільність в процес прокатки [10].

1.6 Новітні досягнення в технології прокатного виробництва

Прогрес в прокатному виробництві грає визначальну роль в машинобудуванні, рівень якого характеризує стан вітчизняної економіки. Технології прокатки, ступінь їх досконалості і новизни, технічні характеристики прокатного устаткування в значній мірі визначають якість готового прокату.

Гаряча і холодна прокатка широких штаб є завершальними операціями в процесі виробництва прокату. Саме на цій стадії виникають проблеми з якістю, від якої залежить ціна і об'єм реалізації готової продукції.

Метою модернізації сучасного листопрокатного виробництва є, перш за все, підвищення якості продукції і продуктивності прокатних станів. Для цього встановлюються гідронатискні пристрої (ГНП) замість традиційних електромеханічних, упроваджуються системи противигину валків, осьового і кутового зрушення валків, використовуються досконаліші схеми автоматичного регулювання товщини штаби.

У літературі [11] звертається увага на такі технології, як литво тонких слябів, прокатка надтонкої гарячекатаної штаби, безперервне литво і прокатка товстого листа, прокатні кліті з розширеним діапазоном настройки, нові системи автоматизації. Важливим технічним досягненням на думку фахівців є створення нового безперервного агрегату литва і прокатки Luna на заводі фірми ABS (Acciaierie Bertoli Safau, Удіне/Італія).

Нова технологія включає безперервний процес литва, прокатки, відпалу, випробування, правки, дробеструйної обробки, обробки і упаковки прокату.

Міні-завод розрахований на випуск круглих і квадратних заготовок з вуглецевих, низьколегованих, корозійно стійких, підшипникових і пружинних сталей для машинобудування і автомобільної промисловості.

Розроблена фірмою SMS-DEMAG (Дюсельдорф) технологія високоякісної прокатки (High-Tech-Rolling) представляє набір оптимально узгоджених між собою модулів в замкнутій системі [11]. Технологія SVC (безперервна зміна профілю штаби) займає в ній ключову позицію. High-Tech-Rolling є сукупністю виконавчих механізмів і систем регулювання. Для регулювання товщини штаби передбачені гідравлічні натискні механізми, а для отримання бажаного профілю використовується технологія бочкоподібності валка, що безступінчасто змінюється. За допомогою SVC на кожній клітці точно встановлюються значення бочкоподібності, закладені в програмі прокатки. У поєднанні з швидкореагуючим пристроєм протівигину валків виходить виконавська система з високою динамікою регулювання товщини і профілю штаби. На рис. 1.13 показана стратегія виробництва штаб, а на рис. 1.14 – схема регулювання товщини, профілю і планшетності на широкоштабовому стані гарячої прокатки фірми Thyssen Stahl AG в Бескерверті (Німеччина).

На клітках F3 - F5 встановлені системи SVC, а на клітках F3 – F7 системи вигину робочих валків. Задані ЕОМ, що управляє, (див. рис. 1.13) виробничі дані приймаються ЕОМ регулювання міжвалкового зазору валків і товщини штаби і ЕОМ регулювання профілю і планшетності штаби.

ЕОМ регулювання міжвалкового зазору і товщини штаби розраховує значення для попередньої установки міжвалкового зазору валків і передає відповідні значення на систему регулювання натискним гідравлічним механізмом клітей F1-F7. ЕОМ профілю і планшетності розраховує, виходячи з прийнятих даних, значення для попередньої установки міжвалкового зазору валків і видає їх на пристрій позиційного регулювання системи переміщення SVC. Така ж інформація поступає на регулювальні контури профілю, які у свою чергу передають задані значення для відповідної системи протівигину робочих валків.

Сигнали коректування, що поступають з вимірювального приладу планшетності, приймаються відповідними системами регулювання, після чого спрацьовують системи протівигину робочих валків [11].

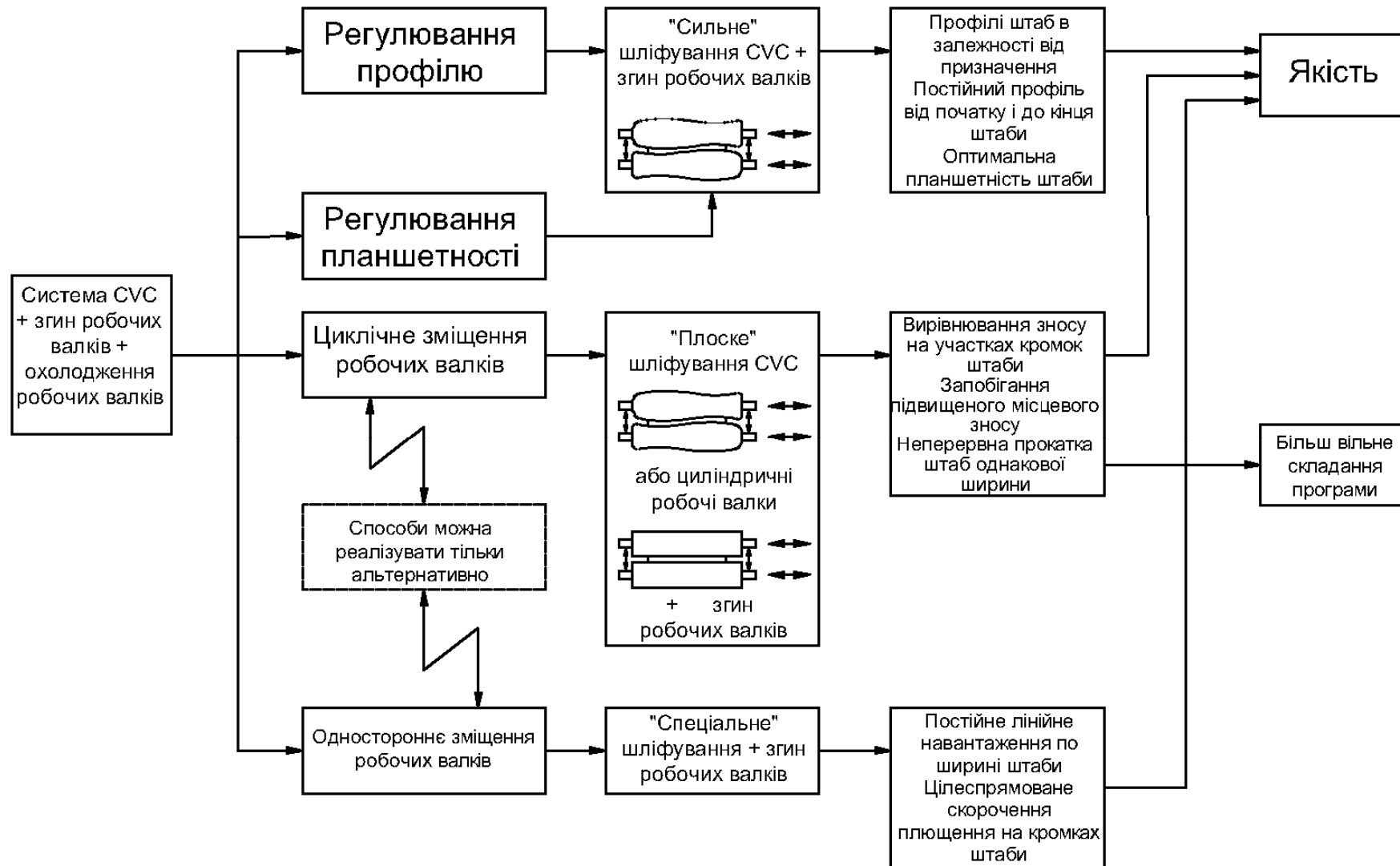


Рисунок 1.13 – Стратегія виробництва штаб найвищої якості

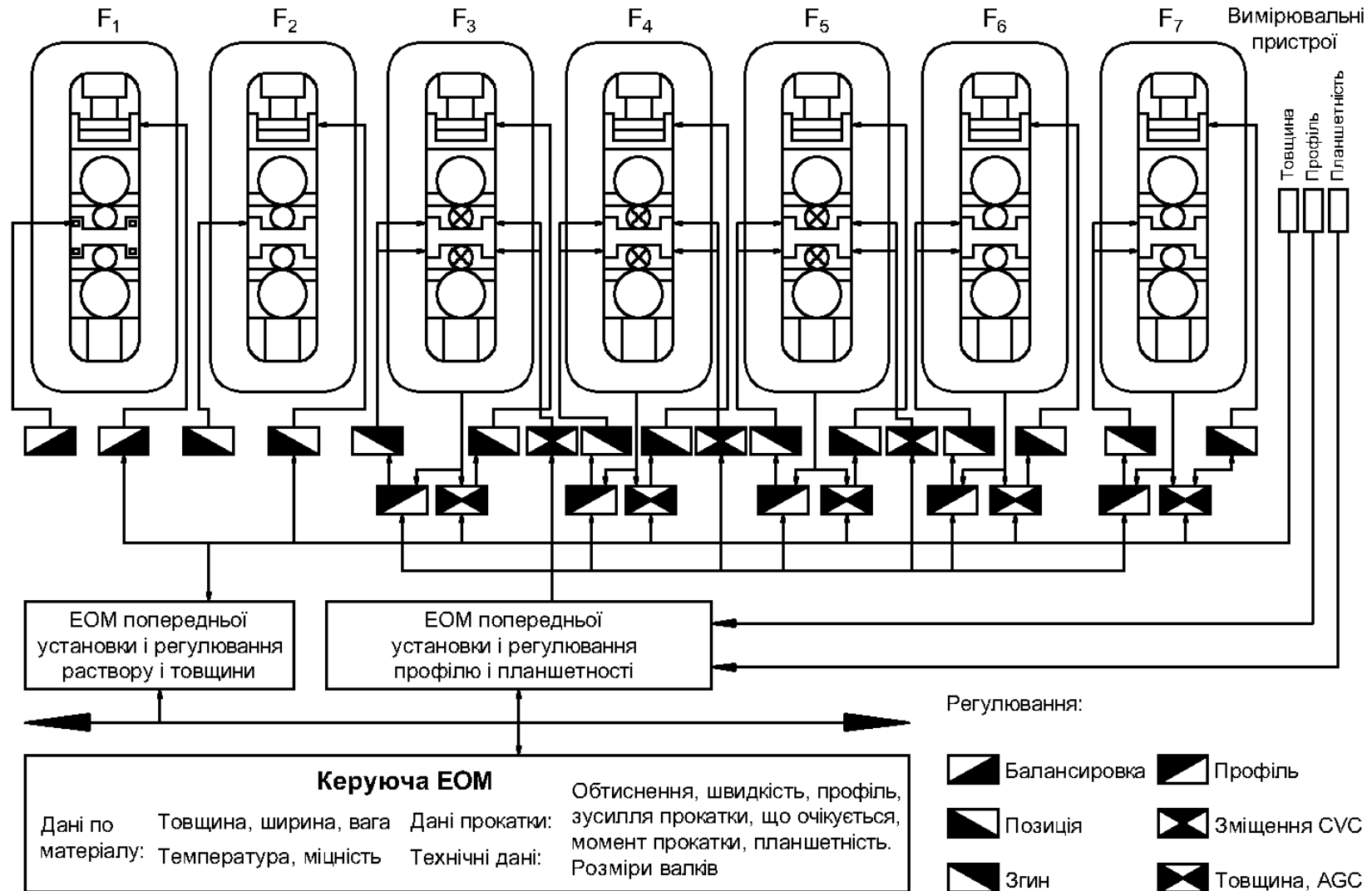


Рисунок 1.14 – Інтегровані пристрої регулювання товщини, профілю і планшетності на широкоштабовому стані гарячої прокатки фірми Thyssen Stahl AG в Беккерверте

Принцип дії системи CVC полягає в наступному (рис. 1.15) [11].

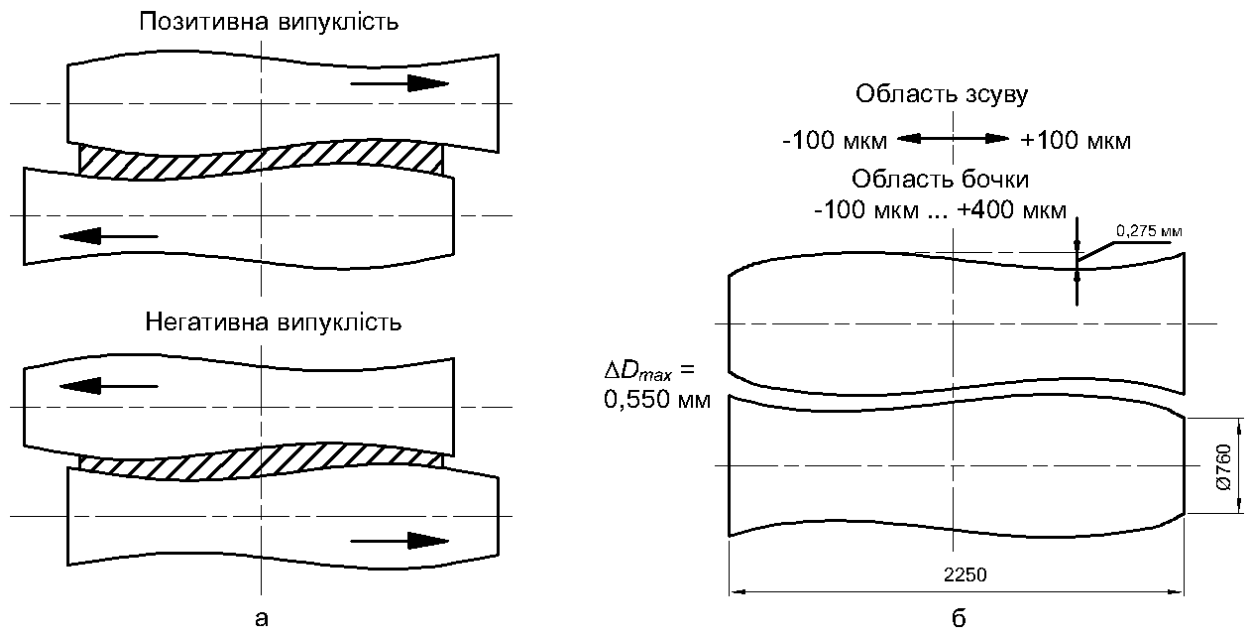
Верхній і нижній робочі валки мають S - образний профіль, ідентичний для обох валків. Валки зміщені щодо один одного на 180° , тому вони доповнюють один одного, утворюючи параболічно симетричний контур міжвалкового зазору. При подовжньому взаємному зсуві відбувається *геометрична* зміна контуру міжвалкового зазору з ефектом негативної або позитивної випуклості валка залежно від напрямку зсуву. Оскільки сумарний зсув вибирається плавно, то випуклість валка змінюється безперервно відповідно до умов прокатки.

Відповідно до технології CVC в перших клітках стана гарячої прокатки форма міжвалкового зазору настроюється на потрібний профіль штаби, який витримується в останніх клітках, що забезпечує її планшетність. Для цього використовується *противигин* робочих валків. На рис. 1.15 показано співвідношення між необхідною зміною зусиль противигину і прокатки залежно від ширини штаби. Таким же чином автоматично витримується постійним контур міжвалкового зазору і профіль штаби при зміні зусилля прокатки по довжині штаби.

При односторонній хвилястості кромки автоматично приводяться в дію натискні механізми останньої клітки, які повертають валки до тих пір, поки штаба не стане рівною.

Із-за місцевого зносу робочих валків, особливо при прокатуванні штаб з високоміцного матеріалу, в профілі штаби можуть виникати випуклі плями або потовщення на кромках штаби, які на стані холодної прокатки приводять до непоправних дефектів планшетності, а на стані гарячої прокатки - до поперечної разнотолщинності штаби. Для усунення даного дефекту застосовують циклічне зрушення робочих валків.

Із-за пружного сплюснення валків в області кромки штаби часто виникає зменшення профілю. Це явище усувають шліфовкою контура робочого валка на певну довжину. При максимальній ширині штаби валки мають мінімальну випуклість бочки.



а – принцип неперервної зміни штаби (НЗШ); б – конструкція валків НЗШ для стану гарячої прокатки; в – залежність між величиною зсуву і регулюємою випуклістю за допомогою системи НЗШ; г – конструкція валків НЗШ для дресирувального стану; д – застосування системи CVC у різних схемах прокатки штаб; е – прокатний стан з CVC; ж – осьове переміщення валків в підшипниках Моргойла на кліті ДУО

Рисунок 1.15 – Принцип дії системи CVC

У разі прокатки вузьких штаб, при зрушенні валків відбувається зміна випуклості валка - вона збільшується. Таким чином, компенсується природний прогин робочих і опорних валків і створюються умови для регулювання планшетності на останній кліті [11].

У тандем - станах холодної прокатки планшетність штаби при правильному розподілі обтиснення визначається останньою кліттю, тому в неї вбудована система CVC, що працює спільно з системами противигину робочих валків і натискних гідравлічних механізмів.

Як приклади реалізації технології High-Tech-Rolling і технології CVC фірмою СМС Шлоеманн Зімаг Акциенгезельшафт можна привести широкоштабовий стан гарячої прокатки 2050 мм (введений в експлуатацію в 1990 р.) і стан холодної прокатки (1988 р.) в Китаї.

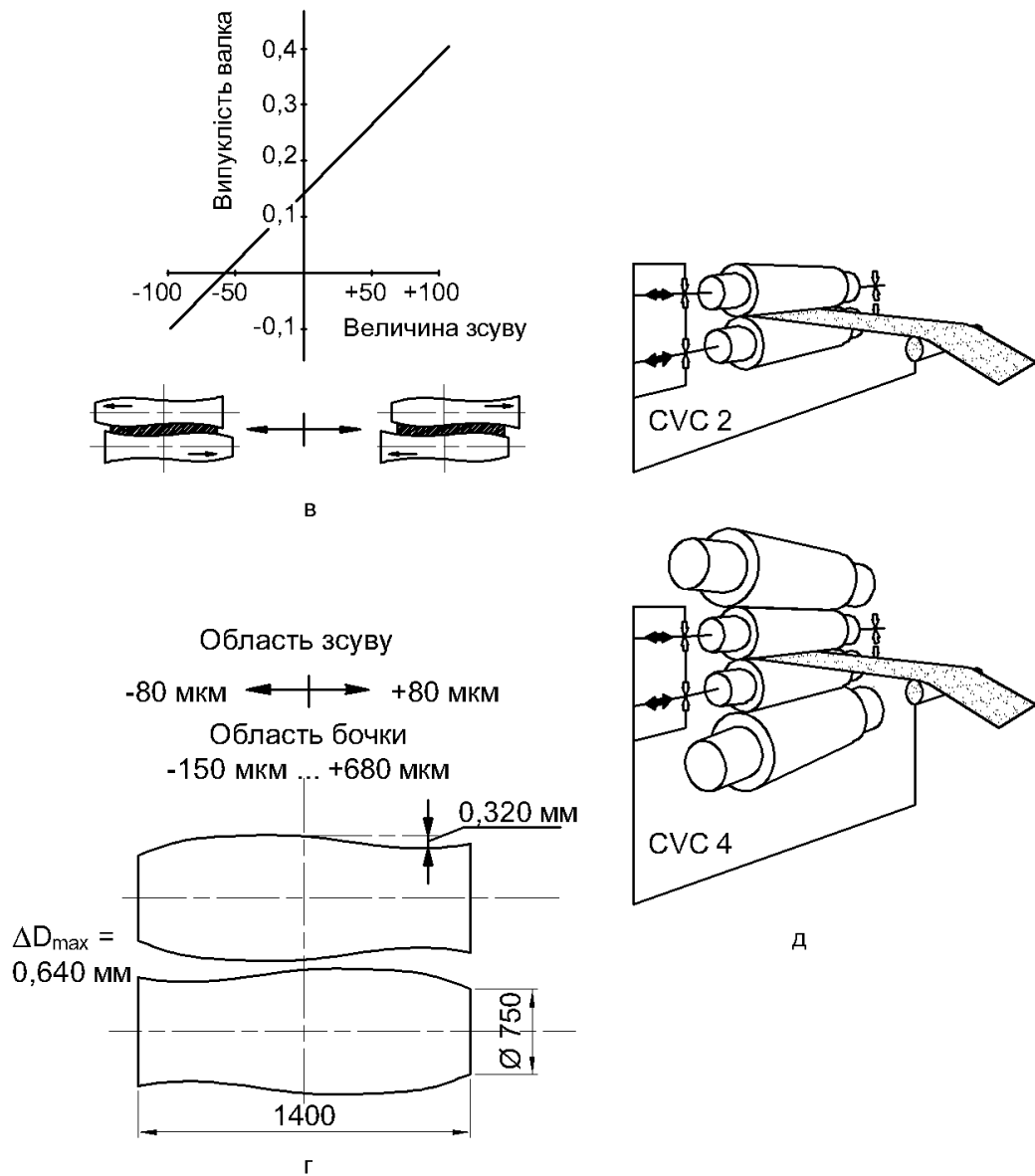
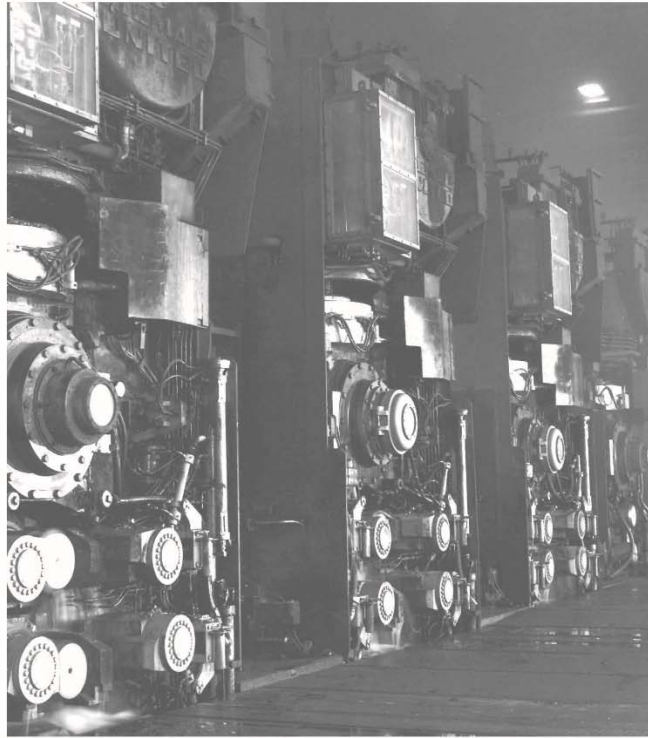


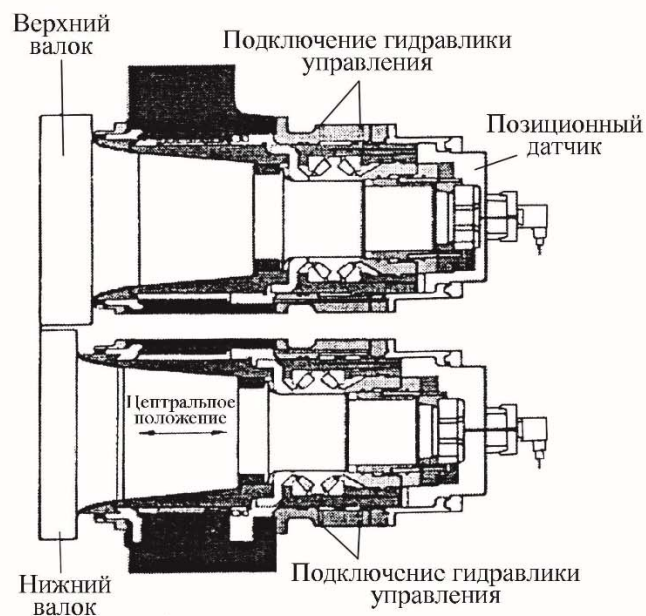
Рисунок 1.15 - Продовження

На стані гарячої прокатки, на ділянці чорнової групи, застосовані гідронатискні механізми, що використовуються як установочні органи в автоматичній системі регулювання ширини прокату. High – Tech-Rolling в чистовій групі клітей представлена установочними і регулюючими системами: гідронатискними механізмами, системою CVC і системою противигину робочих валків, спільна робота яких забезпечує високу якість кінцевої продукції (прокатки в полі допуску, мінімальна подовжня і поперечна різнотовщинність, висока планшетність). Усі сім чистових клітей оснащені гідромеханічними механізмами. Електромеханічні установочні механізми служать тільки для

компенсації зносу робочих валків і для переміщення валків при перевалці. Максимальне зусилля прокатки складає 45 МН на клітях F1 - F3 і 40 МН на F4 - F7. Швидкість електромеханічної установки валків 5 мм/с, гідравлічної, - 3 мм/с (рис. 1.15, 1.16). Всі чистові кліті оснащені системами CVC і системами вигину робочих валків. На рис. 1.15 показана сучасна кліть F3 [11].



е)



ж)

Рисунок 1.15 - Закінчення

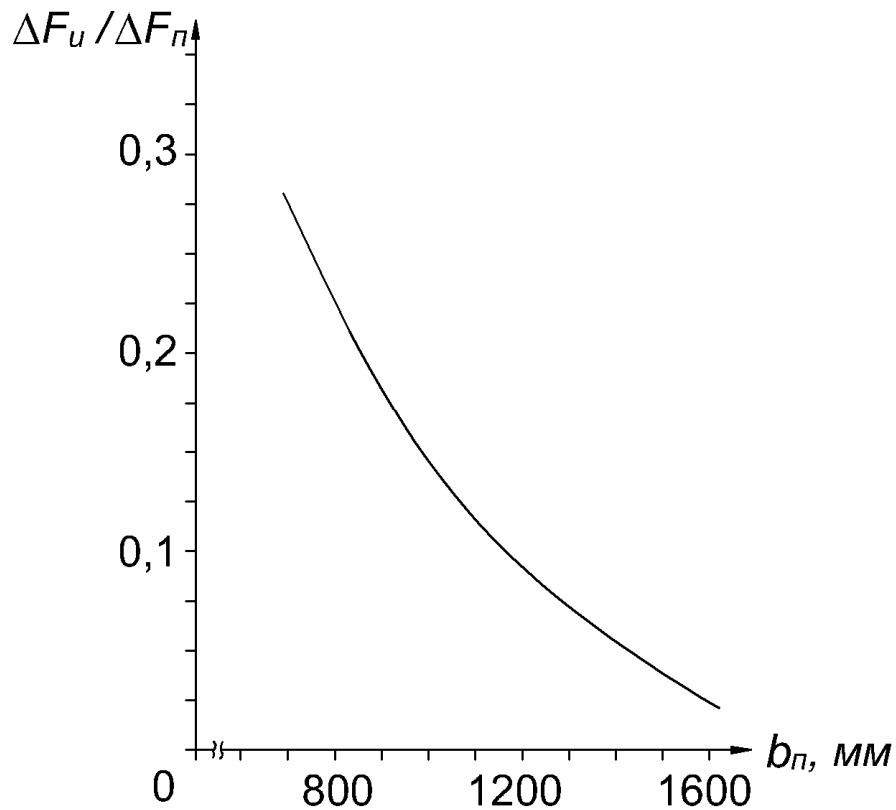


Рисунок 1.16– Залежність коефіцієнта кореляції ($\Delta F_u / \Delta F_n$) від ширини штаби:

ΔF_u і ΔF_n – зміна зусилля відповідно противигину і прокатки

На п'ятиклітьовому стані холодної прокатки фірми Шлоеманн – Зімаг прокатують травлену гарячекатану штабу завтовшки 1,8...6,0 мм з отриманням холоднокатаної штаби товщиною 0,3...3,5 мм, а також високолеговану сталеву штабу з високою межею міцності (рис. 1.17, 1.18). Ширина штаби складає 900... 1850 мм; максимальна швидкість прокатки 1900 м/хвил; ємкість накопичувача - 720 м. Для отримання максимальної якості (по планшетності і допускам) стан обладнаний системою SVC на кліті № 5 для безступінчастого регулювання міжвалкового зазору [11].

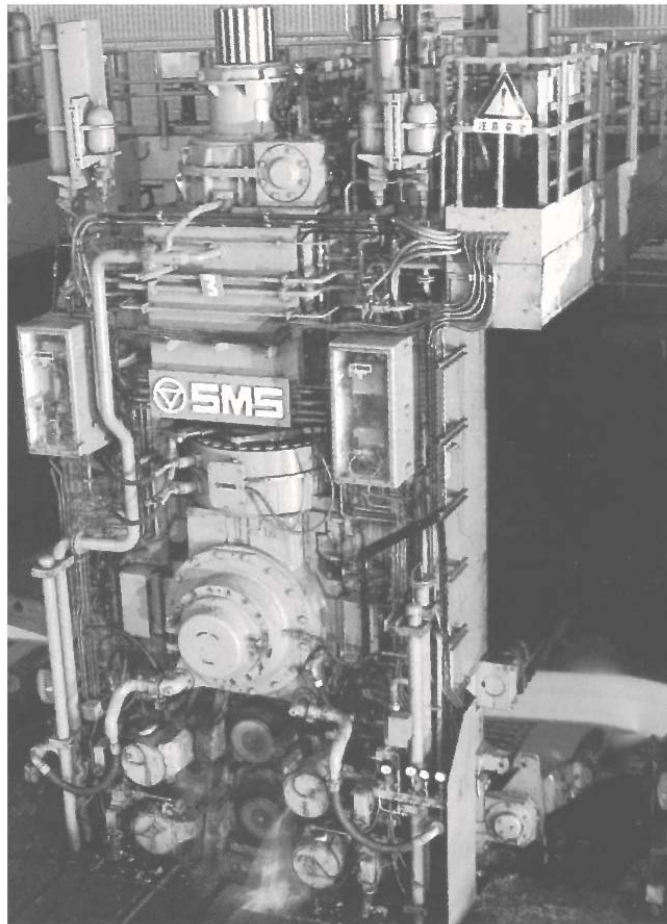


Рисунок 1.17 – Сучасна прокатна кліть F3



Рисунок 1.18 – Неперервний стан – тандем з пристроями для перевалки валків

2 ДОСЛІДНИЦЬКО - РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження і розрахунок енергосилових параметрів при холодному прокатуванні тонких штаб

2.1.1 Розрахунок контактних напружень

Розрахунок контактних нормальних напружень при прокатуванні тонких штаб може бути виконаний з використанням формул А.И. Целікова [6]: для зони відставання

$$P_0 = \frac{\sigma_T}{\delta} \left[(\xi_0 \cdot \delta - 1) \cdot \left(\frac{h_0}{h_x} \right)^\delta + 1 \right] \quad (2.1)$$

для зони випередження

$$P_1 = \frac{\sigma_T}{\delta} \left[(\xi_1 \cdot \delta + 1) \cdot \left(\frac{h_x}{h_1} \right)^\delta - 1 \right] \quad (2.2)$$

де σ_T - середня по осередку деформації напруга плинності, МПа:

$$\delta = \frac{2 \cdot f \cdot l_d}{\Delta h} \quad (2.3)$$

P_0 і P_1 - контактні нормальні напруження відповідно у зоні відставання і зоні випередження, МПа;

h_0 , h_1 , Δh – початкова і кінцева товщина штаби і абсолютне обтиснення, мм;

h_k - товщина штаби у довільному перетині осередку деформації, мм;

l_d – довжина осередку деформації, мм;

f – коефіцієнт тертя;

ξ_0 , ξ_1 – коефіцієнт заднього і переднього натягання.

Для визначення величини тисків у довільному перетині осередку деформації розроблена блок-схема розрахунку (рис. 2.1). Осередок деформації розбивається на ряд перетинів (від 0 до k). У кожному перетині визначається поточна висота штаби h , яка порівнюється з висотою штаби у нейтральному перетині h_γ . Висота h_γ визначається з умови рівності тисків P_0 і P_1 у цьому перетині з боку зони відставання і випередження:

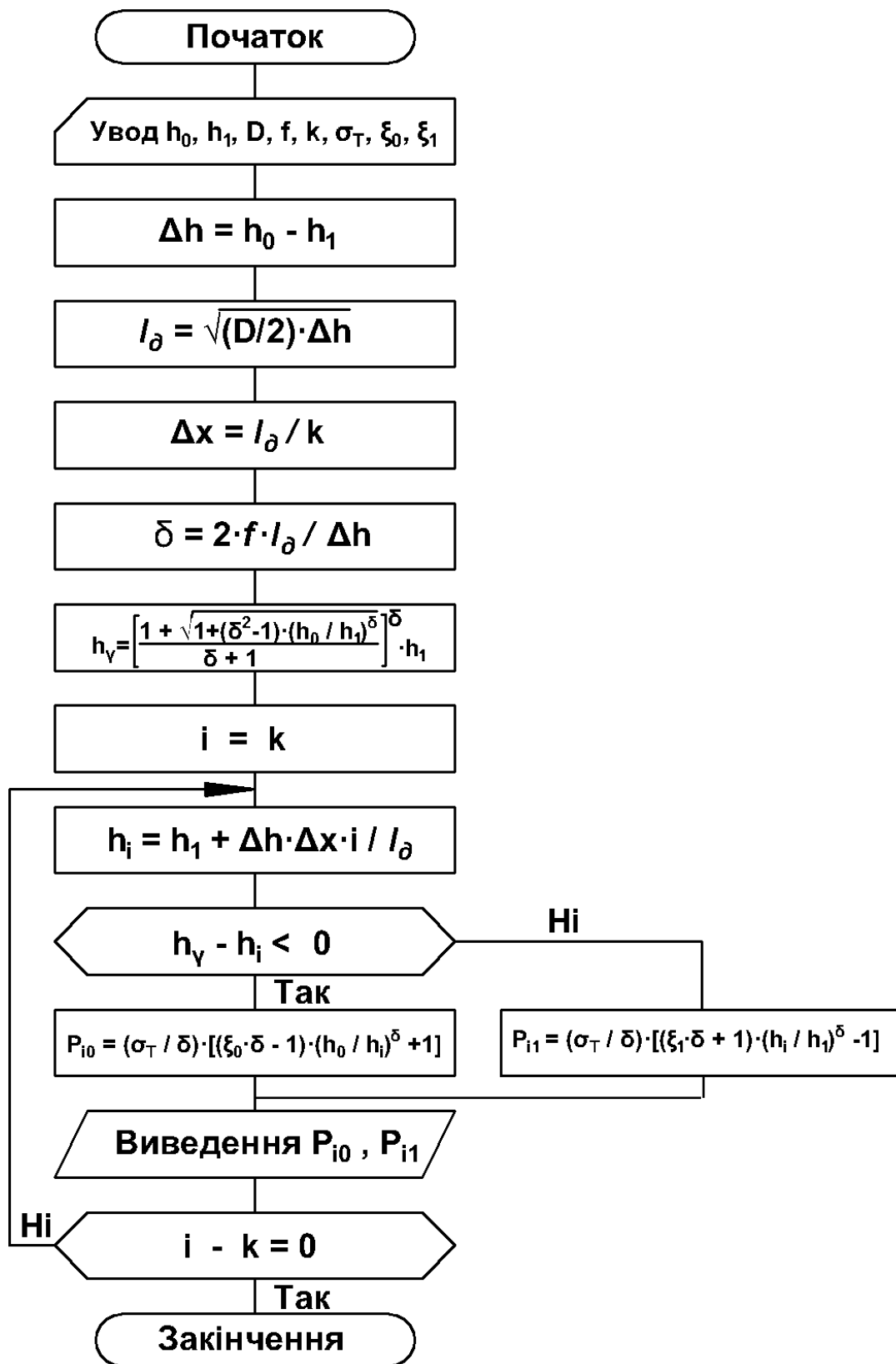


Рисунок 2.1 – Блок – схема розрахунку контактних напружень при поздовжньому прокатуванні штаб

$$h_{\gamma} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \cdot \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right]^{\frac{1}{\delta}} \cdot h_1 \quad (2.4)$$

Змінюючи різні параметри (обтиснення, коефіцієнт тертя, діаметр валків, коефіцієнт заднього і переднього натягання) і розбиваючи осередок деформації на будь яку кількість ділянок, можна чисельно визначити вплив кожного з перерахованих факторів на розподіл нормальних контактних напружень.

Розрахунок виконували у програмному комплексі Mathcad Prime 5 відповідно до блок-схеми, наведеної на рис. 1.1. Осередок деформації розбивався на 20 перетинів (показники k , i) і у кожному перетині розраховувалися контактні нормальні напруження P . Початкова товщина штаби 2 мм, кінцева – 1,5 мм. Діаметр валків 500 мм, коефіцієнт тертя 0,05. Далі наведено хід розрахунку у програмі Mathcad Prime 5 і програма розрахунку контактних напружень при поздовжньому прокатуванні тонких штаб.

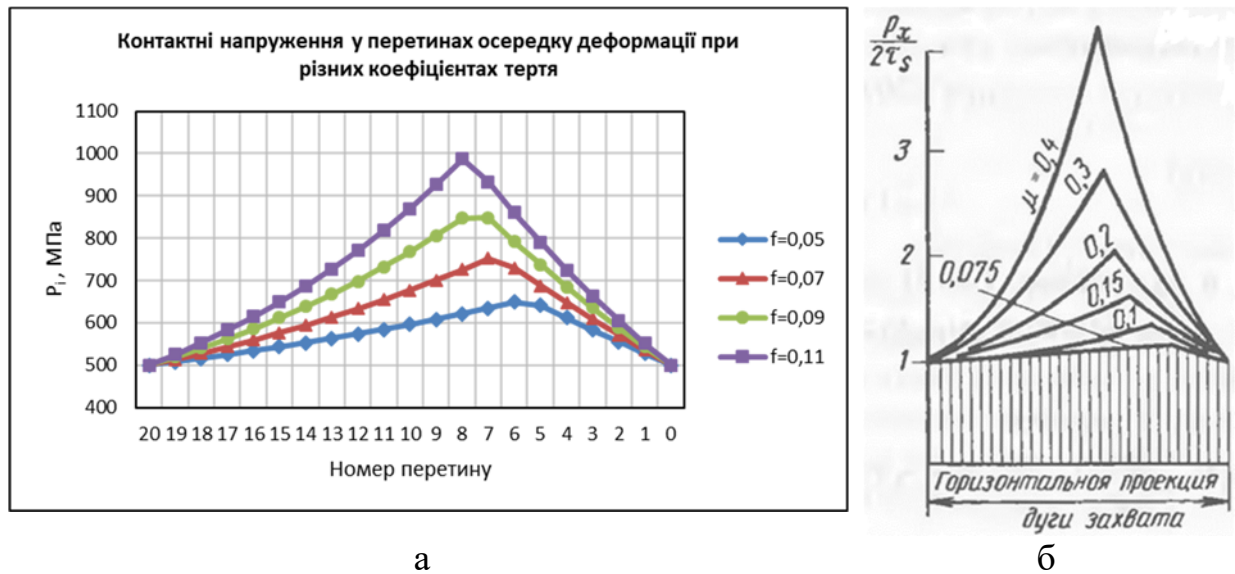
$$\begin{array}{l}
 h_0 := 2 \quad h_1 := 1.5 \quad D := 500 \quad f := 0.05 \quad k := 20 \\
 \\
 \sigma_T := 500 \quad \zeta_0 := 1 \quad \zeta_1 := 1 \quad \Delta h := h_0 - h_1 = 0.5 \\
 \\
 \varepsilon := \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 = 25 \quad l_{\partial} := \sqrt{\frac{D}{2} \cdot \Delta h} = 11.18 \quad \Delta x := \frac{l_{\partial}}{k} = 0.559 \\
 \\
 \delta := \frac{2 \cdot f \cdot l_{\partial}}{\Delta h} = 2.236 \quad h_{\gamma} := \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \cdot \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}} \cdot h_1 = 1.637
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 P := \text{for } i \in 0..20 \\
 \quad \left\| \begin{array}{l}
 h_i \leftarrow h_1 + \frac{\Delta h}{l_\partial} \cdot \Delta x \cdot i \\
 \text{if } h_\gamma - h_i < 0 \\
 \quad \left\| P_{0_i} \leftarrow \frac{\sigma_T}{\delta} \cdot \left((\zeta_0 \cdot \delta - 1) \cdot \left(\frac{h_0}{h_i} \right)^\delta + 1 \right) \right. \\
 \quad \left. \text{else} \\
 \quad \left\| P_{1_i} \leftarrow \frac{\sigma_T}{\delta} \cdot \left((\zeta_0 \cdot \delta + 1) \cdot \left(\frac{h_i}{h_1} \right)^\delta - 1 \right) \right. \\
 \quad \left. \text{stack}(P_1, \text{submatrix}(P_0, 6, 20, 0, 0)) \right. \\
 \quad \left. \max(P) = 648.561 \right. \\
 \end{array} \right. \\
 \end{array}
 = \begin{array}{l}
 500 \\
 527.245 \\
 555.048 \\
 583.411 \\
 612.336 \\
 641.825 \\
 648.561 \\
 634.509 \\
 621.12 \\
 608.353 \\
 596.171 \\
 584.54 \\
 573.426 \\
 562.802 \\
 552.638 \\
 542.909 \\
 533.591 \\
 524.661 \\
 516.099 \\
 507.884 \\
 500
 \end{array}
 \quad i := 0..20 = \begin{array}{l}
 0 \\
 1 \\
 2 \\
 3 \\
 4 \\
 5 \\
 6 \\
 7 \\
 8 \\
 9 \\
 10 \\
 11 \\
 12 \\
 13 \\
 14 \\
 15 \\
 16 \\
 17 \\
 18 \\
 19 \\
 20
 \end{array}$$

З метою виявлення впливу коефіцієнту тертя на величину і характер розподілу тисків по довжині осередку деформації, аналогічні розрахунки були виконані і для коефіцієнтів тертя 0,07, 0,09 і 0,11.

Результати розрахунків наведено у табл. 2.1 і на рис. 2.2. Як видно, отримані нами дані збігаються з літературними даними: чим більше коефіцієнт тертя, тим зростання контактного напруження у напрямку нейтрального перетину стає більш значним, а в наслідок цього очевидно, що зростає і сила прокатки. Діаметр валків має аналогічний вплив: зі збільшенням діаметру валків і, як наслідок, довжини дуги захвату, сила прокатки буде збільшуватися, а нейтральний перетин буде зміщуватися вліво на рис. 2.2. При натяганні штаби нормальний контактний тиск значно зменшується: чим більше сила натягання, тим менше сила прокатки. Натягання зі сторони входу металу в валки, так само, як і натягання зі сторони виходу його з валків викликає зменшення нормального контактного тиску.

Напряг прокатування



а – розрахункові дані; б – літературні дані [11]

Рисунок 2.2 - Епюри розподілу тисків по довжині осередку деформації при різних коефіцієнтах тертя

Таблиця 2.1 - Результати розрахунку контактних напружень у програмі Mathcad при різних коефіцієнтах тертя

№ перетину	Контактне напруження (МПа) при коефіцієнті тертя:			
	f=0,05	f=0,07	f=0,09	f=0,11
20	500,00	500,00	500,00	500,00
19	507,88	513,67	519,51	525,43
18	516,10	528,07	540,31	552,84
17	524,66	543,25	562,49	582,41
16	533,59	559,27	586,17	614,34
15	542,91	576,19	611,46	648,86
14	552,64	594,06	638,51	686,21
13	562,80	612,96	667,46	726,68
12	573,43	632,96	698,47	770,56
11	584,54	654,14	731,72	818,20
10	596,17	676,59	767,42	869,99
9	608,35	700,40	805,77	926,35
8	621,12	725,69	847,01	987,75
7	634,51	752,55	849,04	933,71
6	648,56	729,36	791,88	859,89
5	641,83	687,86	737,28	790,32
4	612,34	647,71	685,16	724,82
3	583,41	608,87	635,45	663,21
2	555,05	571,32	588,07	605,31
1	527,25	535,04	542,94	550,97
0	500,00	500,00	500,00	500,00

2.1.2 Осередок деформації

Алгоритм розрахунку характеристик осередку деформації

Алгоритм розрахунку розмірів осередку деформації представляє собою послідовність розрахунку вказаних нижче параметрів [6].

1. Абсолютний обтиск штаби

$$\Delta h = h_0 - h_1. \quad (2.1)$$

2. Відносний обтиск

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}. \quad (2.2)$$

3. Кут захвату

$$\alpha = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{D}}. \quad (2.3)$$

4. Довжина дуги захвату

$$l_d = \sqrt{\frac{\Delta h \cdot D}{2}} = \sqrt{\Delta h \cdot R}. \quad (2.4)$$

5. Ширина штаби після проходу b_1 і величина розширення Δb :

$$b_1 = b_0 + \Delta b; \quad \Delta b = \frac{0,4 \cdot \Delta h \cdot l_d}{h_0} = 0,4 \cdot \varepsilon \cdot l_d. \quad (2.5)$$

6. Площа контактної поверхні

$$A_k = 0,5 \cdot l_d \cdot (b_0 + b_1). \quad (2.6)$$

7. Коефіцієнт витяжки (визначається із умови постійності об'єму)

$$\lambda = \frac{h_0 \cdot b_0}{h_1 \cdot b_1}. \quad (2.7)$$

8. Довжина штаби після проходу

$$L_1 = \lambda \cdot L_0. \quad (2.8)$$

9. Коефіцієнт розширення і обтиснення

$$\xi = \frac{b_0}{b_1}; \quad \frac{1}{\eta} = \frac{h_0}{h_1}. \quad (2.9)$$

Дослідження впливу діаметру валків і обтиснення на характеристики осередку деформації при холодному прокатуванні штаб

Необхідно визначити вплив обтиснення на довжину осередку деформації і кут захвату при прокатці штаби в валках діаметром 400, 500, 600 і 700 мм, якщо обтиснення приймають наступні значення: 0,05; 0,1; 0,2; 0,4 і 0,8 мм. Побудувати графіки залежності довжини осередку деформації і кута захвату від обтиснення і діаметра валків.

Рішення

1. Розраховуємо довжину дуги захвату металу валками за формулою (табл. 2.2)

$$l_d = \sqrt{\Delta h \cdot R}.$$

Таблиця 2.2 – Зміна довжини дуги захвату від обтиснення і діаметра валків

Обтиснення Δh , мм	Довжина дуги захвату l_d , мм при діаметрі валків D_B			
	$D_B=400$ мм	$D_B=500$ мм	$D_B=600$ мм	$D_B=700$ мм
0,05	3,16	3,54	3,87	4,18
0,1	4,47	5,00	5,48	5,92
0,2	6,33	7,07	7,75	8,37
0,4	8,94	10,00	10,95	11,83
0,8	12,65	14,14	15,49	16,73

2. Розраховуємо кут захвату металу валками за формулою (табл. 2.2)

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}.$$

3. Використовуючи дані таблиць 2.2 і 2.3, будуємо графіки вказаних залежностей (рис. 2.3 - 2.4).

Таблиця 2.3 – Зміна кута захвату від обтиснення і діаметра валків

Обтиснення Δh , мм	Кут захвату α , град. при діаметрі валків D_B			
	$D_B=400$ мм	$D_B=500$ мм	$D_B=600$ мм	$D_B=700$ мм
0,05	0,91	0,81	0,74	0,69
0,1	1,28	1,15	1,05	0,97
0,2	1,81	1,62	1,48	1,37
0,4	2,56	2,29	2,09	1,94
0,8	3,62	3,24	2,96	2,74

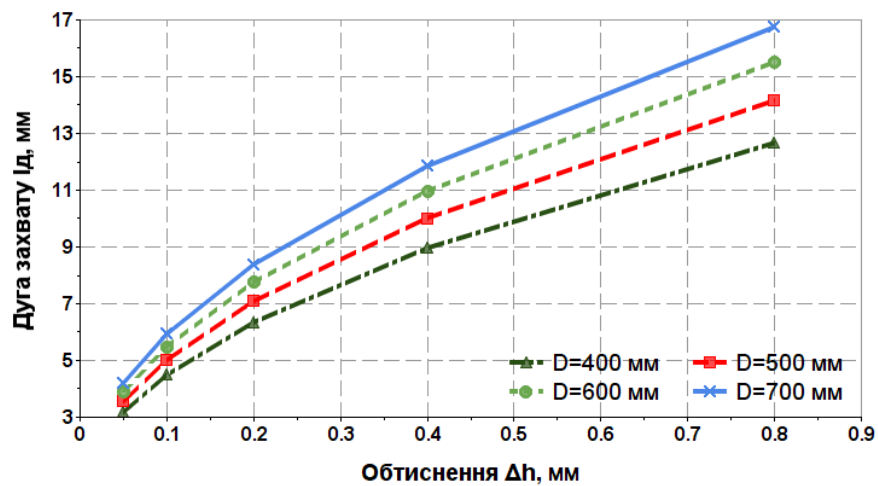


Рисунок 2.3 - Залежність довжини дуги захвату від обтиснення і діаметра валків

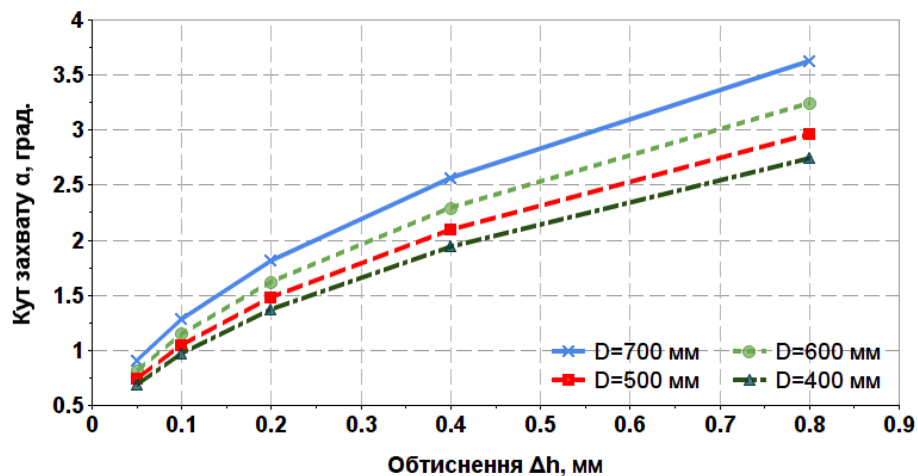


Рисунок 2.4 - Залежність кута захвату від обтиснення і діаметра валків

Таким чином встановлено, що зі збільшенням діаметру валків і абсолютного обтиснення довжина дуги захвату і кут захвату збільшуються.

На основі даних табл. 2.2 і 2.3 у програмному комплексі Mathcad побудовані контурні графіки, зображені на рис. 2.5.

Дослідження впливу переднього і заднього натягнення на випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби з листового стана

Алгоритм розрахунків

1. Визначаємо, або вважаємо заданими, умови контактного тертя і межі текучості металу по клітям стана, тобто значення f , $2K$ заздалегідь відомі [6].
2. Вибираємо режим натягнення по клітям стана: заднє σ_{01} , переднє σ_{11} – натягнення в першій і σ_{02} , σ_{12} – в другій (останній) клітях, значення яких не повинно перевищувати допустимих відсотків межі текучості штаби.
3. Приймаємо існуючий режим обтиснень: товщину на вході h_{01} і виході h_{11} в першій і на виході h_{12} другої кліті, а також швидкість обертання валків v_2 другої (останньої) кліті стана.
4. Визначаємо випередження штаби в валках другої (останньої) кліті стана:

$$S_2 = S_{\text{штаби}}$$

5. Визначаємо швидкість штаби $v_{\text{штаби}2}$ на виході з другої (останньої) кліті стана, використовуючи величину випередження S_2 .
6. Розраховуємо постійну (константу) неперервного стана, тобто величину C .
7. Визначаємо випередження штаби S_2 в валках першої кліті.
8. Використовуючи рівняння постійності секундних об'ємів, визначаємо окружну швидкість обертання валків першої кліті $v_{\text{валків}1}$.
9. Розраховуємо швидкість штаби на виході з першої кліті $v_{\text{штаби}1}$.

В результаті виконання розрахунків визначається:

- швидкість прокатки штаби по клітям неперервного стана;
- вплив переднього натягнення штаби на випередження і швидкість виходу штаби з валків.

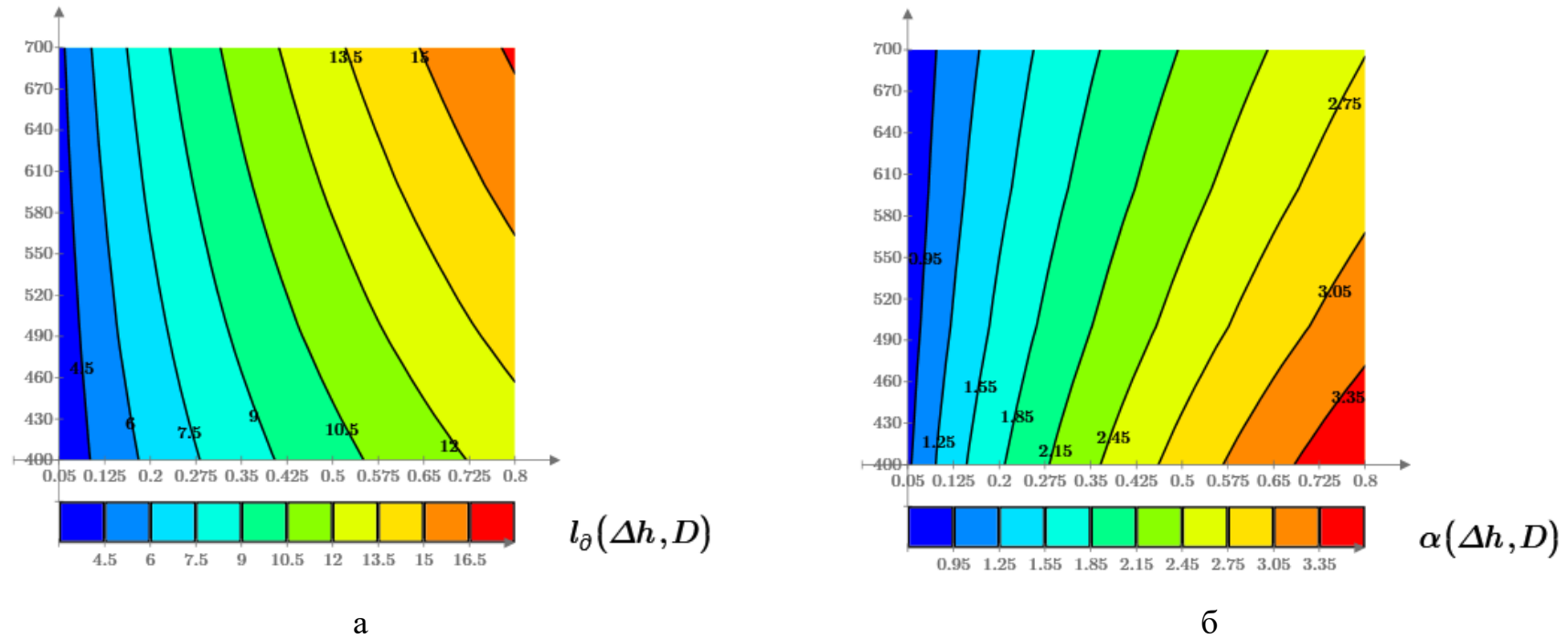


Рисунок 2.5 - Графіки ліній рівня (контурні графіки) залежності довжини дуги захвату l_0 , мм (а), і кута захвату α , град. (б) від обтиснення Δh , мм, і діаметра валків D , мм (вертикальна вісь – D , горизонтальна вісь – Δh)

Розрахунок випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби

Необхідно визначити і побудувати графіки впливу переднього і заднього натягнення на випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби з листового стана, який має діаметр робочих валків 520 мм. Товщина штаби до прокатки 2,07 мм, після прокатки 1,8 мм, коефіцієнт контактного тертя $f=0,05$, межа текучості штаби після прокатки $\sigma_{s1} = 375$ МПа, валки обертаються зі швидкістю $v_B=24$ м/с. Переднє натягнення змінюється і може приймати наступні значення: $\sigma_1 = 0,05; 0,1; 0,15; 0,20 \cdot \sigma_{s1}$.

Рішення

1. Розраховуємо абсолютне обтиснення штаби:

$$\Delta h = h_0 - h_1 = 2,07 - 1,8 = 0,27 \text{ мм.}$$

2. Знаходимо довжину дуги захвату металу валками:

$$l_d = \sqrt{\Delta h \cdot R} = \sqrt{0,27 \cdot 260} = 8,38 \text{ мм.}$$

3. Визначаємо переднє питоме натягнення штаби [6]:

$$\sigma_1 = 0,05 \cdot \sigma_{s1} = 0,05 \cdot 375 = 18,75 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_2 = 0,1 \cdot \sigma_{s1} = 0,1 \cdot 375 = 37,5 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_3 = 0,15 \cdot \sigma_{s1} = 0,15 \cdot 375 = 56,25 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_4 = 0,2 \cdot \sigma_{s1} = 0,2 \cdot 375 = 75,0 \text{ МПа.}$$

4. Знаходимо коефіцієнти натягнення заднього та переднього кінців штаби:

$$2 \cdot K_1 = 1,155 \cdot \sigma_{s1} = 1,155 \cdot 375 = 418,125 \text{ МПа;}$$

$$\delta = \frac{2 \cdot f \cdot l_d}{\Delta h} = \frac{2 \cdot 0,05 \cdot 8,38}{0,27} = 3,103;$$

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{2K_0} = 1, \text{ оскільки } \sigma_0 = 0;$$

$$\xi_{11} = 1 - \frac{\sigma_1}{2K_1} = 1 - \frac{18,75}{418,125} = 0,955;$$

$$\xi_{12} = 1 - \frac{\sigma_2}{2K_1} = 1 - \frac{37,5}{418,125} = 0,913;$$

$$\xi_{13} = 1 - \frac{\sigma_3}{2K_1} = 1 - \frac{56,25}{418,125} = 0,865;$$

$$\xi_{14} = 1 - \frac{\sigma_4}{2K_1} = 1 - \frac{75,0}{418,125} = 0,821.$$

5. Розраховуємо випередження з урахуванням натягнення:

$$S_{11} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{11}} \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3,103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3,103]{\frac{1}{0,955} \left(\frac{2,07}{1,8}\right)^{3,103-1}} - 1 = 0,056;$$

$$S_{12} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{12}} \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3,103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3,103]{\frac{1}{0,913} \left(\frac{2,07}{1,8}\right)^{3,103-1}} - 1 = 0,064;$$

$$S_{13} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{13}} \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3,103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3,103]{\frac{1}{0,865} \left(\frac{2,07}{1,8}\right)^{3,103-1}} - 1 = 0,073;$$

$$S_{14} = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_0}{\xi_{14}} \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{3,103-1}} - 1 = \sqrt[2 \cdot 3,103]{\frac{1}{0,821} \left(\frac{2,07}{1,8}\right)^{3,103-1}} - 1 = 0,082.$$

6. Визначаємо швидкість виходу штаби $v_{ш}$ з валків для кожного випадку:

$$v_{ш1} = v_B \cdot (1 + S_{11}) = 24 \cdot (1 + 0,056) = 25,35 \text{ м/с};$$

$$v_{ш2} = v_B \cdot (1 + S_{12}) = 24 \cdot (1 + 0,064) = 25,55 \text{ м/с};$$

$$v_{ш3} = v_B \cdot (1 + S_{13}) = 24 \cdot (1 + 0,073) = 25,76 \text{ м/с};$$

$$v_{ш4} = v_B \cdot (1 + S_{14}) = 24 \cdot (1 + 0,082) = 25,98 \text{ м/с}.$$

7. Будуємо графіки впливу переднього натягнення на випередження і швидкість виходу переднього кінця штаби з валків кліті (рис. 2.6) попередньо занісши необхідні дані до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вплив переднього натягнення на випередження і швидкість виходу штаби з валків

Відношення натягнення до межі текучості	Параметри процесу прокатки		
	натягнення штаби σ_1 , МПа	випередження S_1 , %	швидкість прокатки, $v_{ш}$, м/с
0,05	18,75	5,6	25,35
0,10	37,5	6,4	25,55
0,15	56,25	7,3	25,76
0,20	75,0	8,2	25,98

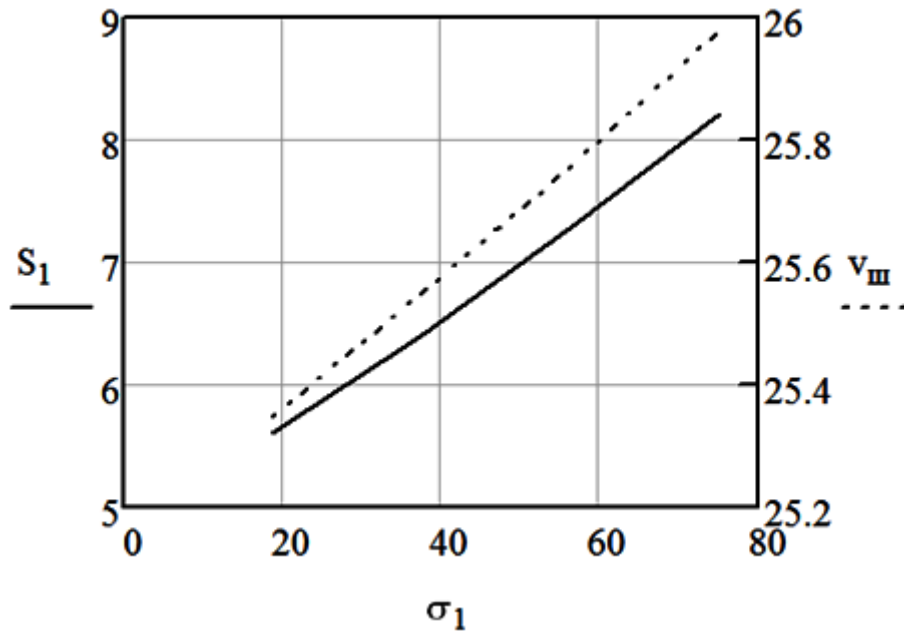


Рисунок 2.6 – Залежність випередження (S_1) і швидкості виходу штаби з валків ($v_{ш}$) від переднього натягнення σ_1 .

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА: ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НЕПЕРЕРВНИХ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

3.1 Загальні положення

Значне розширення виробництва і необхідність підвищення якості тонколистового холоднокатаного металу вимагають удосконалення існуючих і створення нових високопродуктивних та економічних широкоштабових станів холодної прокатки.

Найважливішими параметрами широкоштабового стана холодної прокатки є швидкість прокатки, маса рулонів, що прокатуються а також рівень механізації та автоматизації процесу прокатки [5, 6, 12].

Продуктивність і економічність прокатного стана підвищується разом з підвищенням швидкості прокатки і маси рулонів тільки до деякої межі. Подальше підвищення цих параметрів, забезпечуючи деяке зростання продуктивності стана, робить його експлуатацію неекономічною, оскільки темпи зростання капітальних і експлуатаційних витрат випереджають темпи зростання продуктивності стана.

У зв'язку з цим при проектуванні нового обладнання велике значення має економічний аналіз технічних параметрів, що приймаються, для станів, що створюються і визначення економічних меж їх підвищення.

Тип прокатного стана і схема технологічного процесу, як правило, визначаються сортаментом і заданою продуктивністю, а швидкість прокатки і масу рулону вибирають звичайно на основі прикидочних розрахунків. Потім за допомогою економічного розрахунку визначають ефективність вибраних вихідних даних. Цей звичайний шлях вибору, незважаючи на накопичений досвід, часто буває недостатньо об'єктивним, оскільки не може врахувати складної залежності і взаємодії усіх параметрів прокатного стана і процесу прокатки. Тому обрані дані не завжди забезпечують отримання максимально

можливої продуктивності і найкращих техніко-економічних показників роботи обладнання.

3.2 Постановка задачі дослідження

Метою даної роботи є виявлення доцільних меж підвищення швидкості і маси рулонів стана, що проектується, виявлення залежності продуктивності стана від цих найважливіших параметрів з урахуванням інших істотних факторів: динамічних характеристик привода, кількості зварних швів, часу допоміжних і заправочних операцій, режиму прокатки, частоти змін валків тощо. Наступний економічний аналіз знайденої залежності дозволить зробити обґрунтовані висновки щодо доцільних меж підвищення швидкості прокатки і маси рулонів.

Іншою метою є розробка програми для виконання розрахунків за відомою методикою [12] із застосуванням сучасного програмного комплексу MathCAD Prime 6 [13 – 15].

Пошук оптимальних параметрів прокатного стана обґрунтований тим, що він дозволяє встановити на які максимальні швидкості прокатки доцільно розробляти нові засоби автоматизації, змазки, системи охолодження тощо, вибирати найбільш ефективні технологічні параметри обладнання з оптимальними техніко-економічними показниками.

3.3 Методика дослідження

Середньогодинна розрахункова продуктивність стана може бути визначена за формулою [12]:

$$Q_{ср} = \frac{3600 \cdot q}{c_1 \cdot \frac{q}{v_{пр}} + c_2 \cdot (1+k) \cdot v_{пр} + (c_3 + c_4 \cdot k) \cdot \frac{1}{v_{пр}} + c_5 + k \cdot c_6 + q \cdot c_7}, \quad (2.1)$$

де q – маса рулону, т; $v_{пр}$ – швидкість прокатки, що встановилася, м/с; c_1 – c_7 – коефіцієнти, які визначаються за наступними формулами.

$$c_1 = \frac{1}{\rho_{\text{п}} \cdot b \cdot h_k}, \text{ м/т}; \quad (2.2)$$

де $\rho_{\text{п}}$ – щільність металу штаби, т/м³; b – ширина штаби, м; h_k – кінцева товщина штаби, мм.

$$c_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_{\text{п}}} + \frac{1}{a_{\text{т}}} \right), \text{ с/м}^2; \quad (2.3)$$

де $a_{\text{п}}$ – прискорення при розгоні головного приводу стана, м/с²; $a_{\text{т}}$ – сповільнення при гальмуванні головного приводу стана, м/с².

$$c_3 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_{\text{п}}} + \frac{1}{a_{\text{т}}} \right) \cdot v_3^2 - l_{3.с}, \text{ м}; \quad (2.4)$$

де v_3 – заправочна швидкість, м/с; $l_{3.с}$ – довжина штаби, прокатої на заправочній швидкості на початку і у кінці циклу, м.

$$c_4 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_{\text{п}}} + \frac{1}{a_{\text{т}}} \right) \cdot v_{\text{п}}^2 - l_{\text{уст.п}}, \text{ м}; \quad (2.5)$$

де $v_{\text{п}}$ – понижена швидкість прокатки при проходженні зварного шва, м/с; $l_{\text{уст.п}}$ – довжина штаби, прокатої на зниженій швидкості, що встановилася, $v_{\text{п}}$ при проходженні зварного шва через усі робочі кліті, м.

$$c_5 = t_{3.0} - \left(\frac{1}{a_{\text{п}}} + \frac{1}{a_{\text{т}}} \right) \cdot v_3, \text{ с}; \quad (2.6)$$

де $t_{3.0}$ – час неперекриваємих допоміжних і заправочних операцій (включаючи прокатку переднього і заднього кінців на заправочній швидкості), с.

$$c_6 = \frac{l_{\text{уст.п}}}{v_{\text{п}}} - \left(\frac{1}{a_{\text{п}}} + \frac{1}{a_{\text{т}}} \right) \cdot v_{\text{п}}, \text{ с}; \quad (2.7)$$

$$c_7 = \frac{3600 \cdot t_{\text{п.в}}}{Q_{\text{п.в}}}, \text{ год/т}; \quad (2.8)$$

де $t_{\text{п.в}}$ – норма часу на перевалку стана, год.; $Q_{\text{п.в}}$ – планова норма металу, що прокатується між двома перевалками, т.

Враховуючи, що

$$l_{3.с} \gg \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_{\text{п}}} + \frac{1}{a_{\text{т}}} \right) \cdot v_3^2 \quad \text{і} \quad t_{3.0} \gg \left(\frac{1}{a_{\text{п}}} + \frac{1}{a_{\text{т}}} \right) \cdot v_3,$$

можна практично прийняти:

$$c_3 = -l_{3.с} \quad \text{і} \quad c_5 = t_{3.0}.$$

$$\text{Кількість зварних швів в рулоні: } k = \frac{q}{q_1} - 1,$$

де q_1 – маса гарячекатаного рулону перед зваркою, т.

Рівняння (2.1) є загальним для усіх багатоклітьових станів холодної прокатки. Воно встановлює безпосередній аналітичний зв'язок між розрахунковою середньою годинною продуктивністю, з одного боку, і швидкістю прокатки і масою рулону, з іншого боку, враховуючи при цьому інші, найбільш суттєві фактори. Аналіз рівняння (2.1) показує, що при постійній масі рулону q крива $Q_{\text{ср}} = f(v_{\text{пр}})$ має наступний характер (рис. 2.1): спочатку вона доволі різко підвищується, потім зростання уповільнюється, при деякому значенні $v_{\text{пр}}$ крива має максимум, а потім починає зменшуватися. Таким чином, підвищення швидкості прокатки призводить до зростання продуктивності тільки до відомої межі.

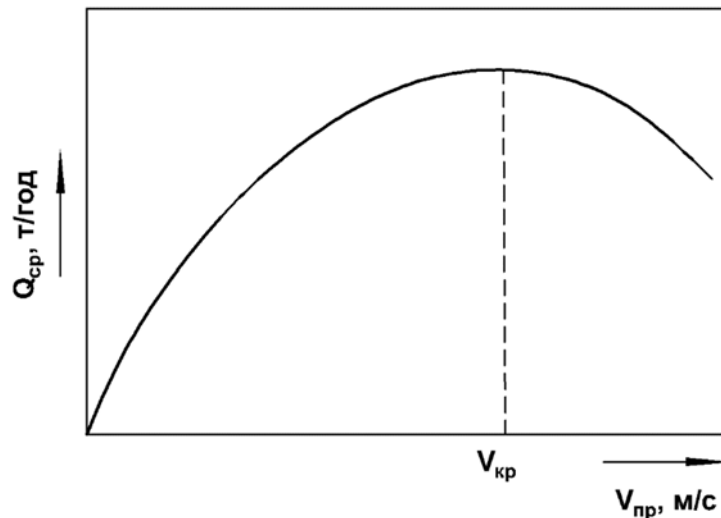


Рисунок 3.1 – Характер кривої $Q_{\text{ср}} = f(v_{\text{пр}})$ при постійній масі рулону ($q = \text{const}$)

Швидкість прокатки, при якій продуктивність максимальна, умовно називається критичною швидкістю прокатки $v_{\text{кр}}$. Величина $v_{\text{кр}}$ залежить від коефіцієнтів $c_1 - c_7$, що визначаються параметрами кожної групи станів (товщина і ширина прокату, норми перевалок, стан циклу прокатки тощо). Дослідження впливу основних параметрів стана і технологічного процесу прокатки на величину $Q_{\text{ср}}$ і $v_{\text{кр}}$ наведено нижче. Однак не слід вважати, що неперервні стани повинні проектуватися на швидкість прокатки, яка дорівнює

$v_{кр}$. При збільшенні швидкості прокатки і наближенні її до $v_{кр}$ ефективність витрат, пов'язаних з підвищенням швидкості прокатки неухильно знижується, оскільки на кожну одиницю приросту швидкості забезпечується усе менший приріст продуктивності стана.

Непропорційність між швидкістю прокатки і продуктивністю пояснюється тим, що при більш високих швидкостях усе більша частина часу циклу прокатки кожного рулону повинна витрачатися на розгони і гальмування і усе менша – на прокатку при швидкості, що встановилася.

Швидкість $v_{кр}$ відповідає такому циклу, у якому час прокатки на швидкості, що встановилася, $t_{уст}$ дорівнює нулю (після розгону негайно починається гальмування). Подальше підвищення швидкості взагалі позбавлено сенсу, оскільки стан не буде встигати гальмуватися до заправочної швидкості при випуску кінців рулону. Тому перша частина кривої на рис. 2.1 при $v_{пр} > v_{кр}$ має лише теоретичний характер, який пояснюється структурою рівняння (2.1) і на практиці реалізована бути не може. Але навіть при $v_{пр} = v_{кр}$ максимальна проектна швидкість практично не буде використана, оскільки майже увесь цикл прокатки буде складатися з розгонів і гальмувань.

Отож, остаточну відповідь на питання про те, на яку швидкість прокатки потрібно проектувати новий або реконструювати діючий стан, може дати тільки економічний розрахунок. Зрештою нас цікавить економічно доцільна межа швидкостей прокатки, визначити яку потрібно за спеціальною методикою [12].

Слід відмітити, що непропорційність між продуктивністю і швидкістю прокатки неминуча при рулонному способі виробництва, який за самою схемою переривчастий і пов'язаний з постійними розгонами, гальмуваннями і зупинками стана. Тому необхідно вести розробку нових, неперервних процесів холодної прокатки, які не пов'язані з розмотуванням і змотуванням штаби у рулони.

3.4 Залежність продуктивності неперервного стана холодної прокатки від різноманітних параметрів

3.4.1 Залежність продуктивності прокатного стана від швидкості прокатки при різній масі рулонів штаби, що прокатується

Розглянемо залежність продуктивності прокатного стана від швидкості прокатки на прикладі чотирикільцевого стана 1700 для прокатки маловуглецевих сталей і автолиста (аналог стана 1680 ПАТ «Запоріжсталь»). При визначенні вихідних параметрів і режимів обтиснень використовуємо практичні дані заводу ММК ім. Ілліча (м. Маріуполь), на якому встановлений цей стан.

Розрахунок проводимо в програмному комплексі Mathcad Prime 6.

За основний профілерозмір приймаємо штабу товщиною $h_k := 0.8$ мм, шириною $b := 1.28$ м, що прокатується з підкату товщиною $h_0 := 2.75$ мм.

Параметри стана і режими обтиснень:

$$h_1 := 1.85 \text{ мм}; h_2 := 1.2 \text{ мм}; h_3 := 0.9 \text{ мм}; \rho_n := 7.85 \text{ т/м}^3; l_{p1} := 7 \text{ м};$$

$$l_{12} := 4 \text{ м}; l_{23} := 4 \text{ м}; l_{34} := 4 \text{ м}; l_{4M} := 3.9 \text{ м}.$$

З урахуванням наведених вище даних приймаємо наступні значення вихідних параметрів:

$$a_p := 2.35 \text{ м/с}^2; a_T := 2.8 \text{ м/с}^2; v_n := 10 \text{ м/с}; l_{3.c1} := 7 \text{ м}; t_{3.o} := 60 \text{ с};$$

$$q_1 := 5 \text{ т}; t_{n.e1} := 0.2 \text{ год}; n := 4; Q_{n.e} := 2000 \text{ т}.$$

Вплив маси рулона на продуктивність стана досліджуємо в діапазоні 5-40 тонн з кроком 5 тонн. Таким чином q дорівнює:
Далі визначаємо коефіцієнти c_1 - c_7 .

$$q := 0,5..40 = \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \\ 40 \end{bmatrix} \text{ т}.$$

$$c_1 := \frac{1}{\rho_n \cdot b \cdot h_k \cdot 10^{-3}} = 124 \text{ м/т}; \quad c_2 := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_p} + \frac{1}{a_T} \right) = 0.39 \text{ с2/м};$$

$$c_3 := - \left(l_{3.c1} + l_{p1} \cdot \frac{h_0}{h_k} + l_{12} \cdot \frac{h_1}{h_k} + l_{23} \cdot \frac{h_2}{h_k} + l_{34} \cdot \frac{h_3}{h_k} + l_{AM} \right) = -54.7 \text{ м};$$

$$l_{3.c2} := l_{p1} \cdot \frac{h_0}{h_k} + l_{12} \cdot \frac{h_1}{h_k} + l_{23} \cdot \frac{h_2}{h_k} + l_{34} \cdot \frac{h_3}{h_k} + l_{AM} = 47.7 \text{ м};$$

$$l_{ycm.n} := l_{3.c2} - l_{p1} \cdot \frac{h_0}{h_k} - l_{AM} = 19.8 \text{ м}; \quad c_4 := \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_p} + \frac{1}{a_T} \right) \cdot v_n^2 - l_{ycm.n} = 19.4 \text{ м};$$

$$c_5 := t_{3.o} = 60 \text{ с}; \quad c_6 := \frac{l_{ycm.n}}{v_n} - \left(\frac{1}{a_p} + \frac{1}{a_T} \right) \cdot v_n = -5.9 \text{ с};$$

$$c_7 := \frac{3600 \cdot t_{n.e1} \cdot n}{Q_{n.e}} = 1.4 \text{ год/т}.$$

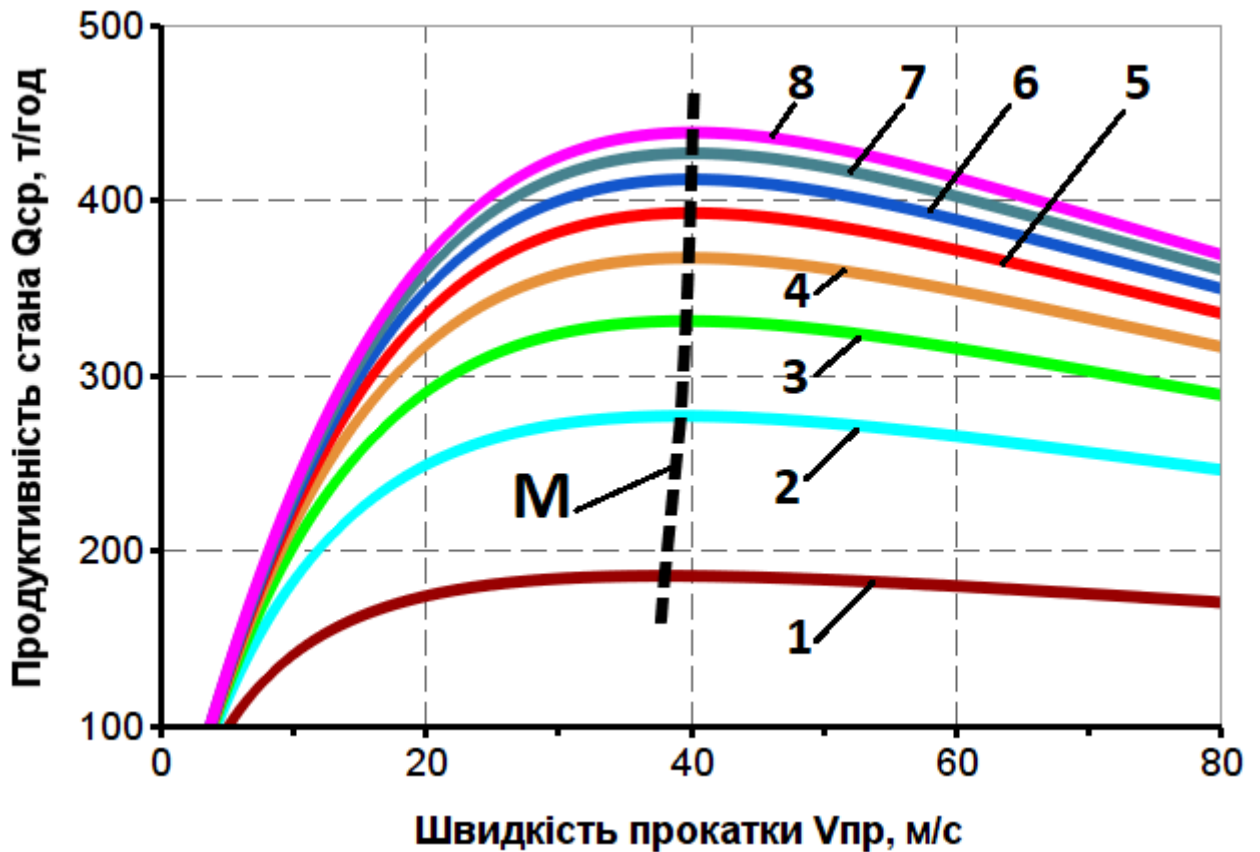
Таким чином, для чотирикільцевого стана 1700 отаочно отримаво середньогодинну розрахункову продуктивність:

$$Q_{cp}(q, v_{np}) := \frac{3600 \cdot q}{c_1 \cdot \frac{q}{v_{np}} + c_2 \cdot (1 + k) \cdot v_{np} + (c_3 + c_4 \cdot k) \cdot \frac{1}{v_{np}} + c_5 + k \cdot c_6 + q \cdot c_7}.$$

Або після спрощення, з урахуванням того, що $k := \frac{q}{q_1} - 1$:

$$Q_{cp}(q, v_{np}) := \frac{3600 \cdot q}{0.27 \cdot q + \frac{128.28 \cdot q - 74.1}{v_{np}} + 0.078 \cdot v_{np} \cdot q + 65.85}.$$

Будуємо графіки залежностей, рис. 3.1, і за допомогою функції **maximize** (Q_{cp} , v_{np}) Mathcad Prime 6, знаходимо максимуми кривих 1 – 8, тобто $u_{кр}$ для кожної кривої, будуємо криву **M** на рис. 3.2.



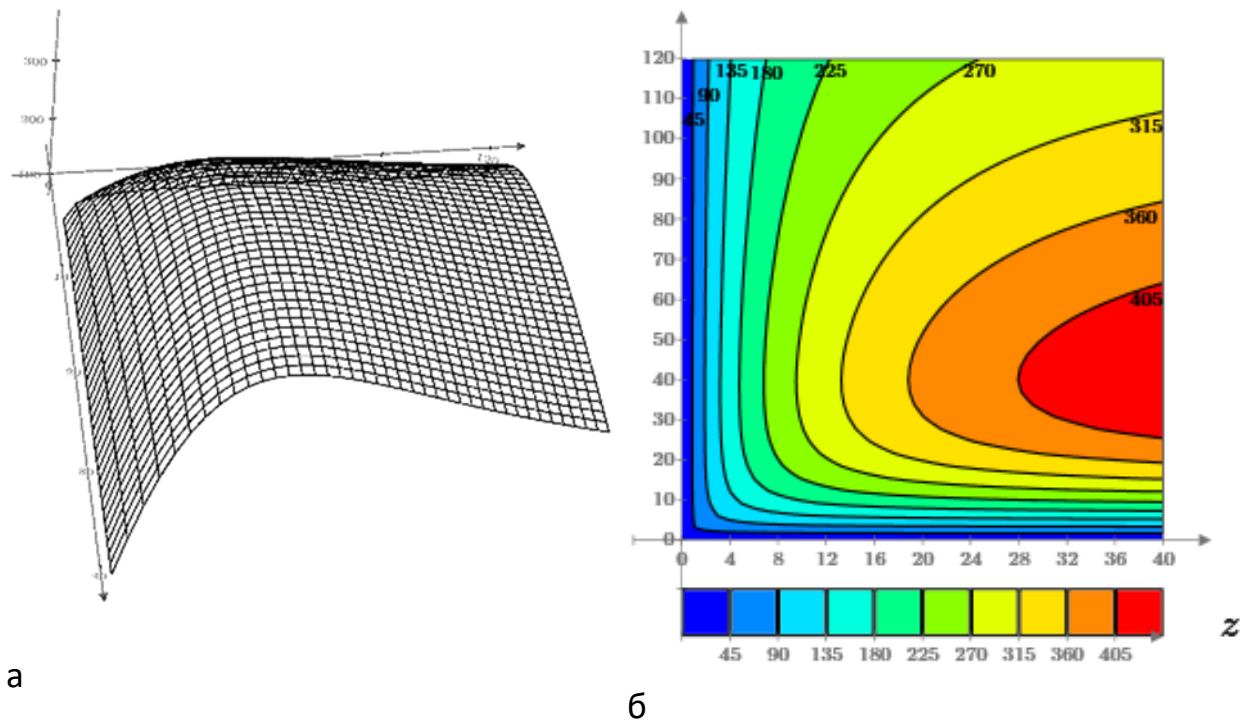
1 – 5 т; 2 – 10 т; 3 – 15 т; 4 – 20 т; 5 – 25 т; 6 – 30 т; 7 – 35 т; 8 – 40 т;

М – максимум продуктивності стана

Рисунок 3.2 – Зміна середньогодинної продуктивності чотириклітьового стана 1700 в залежності від швидкості прокатки при різних масі рулонів

З графіків на рис. 3.2 видно, що величина $v_{кр}$ знаходиться у межах 38 – 40 м/с. Слід зазначити, що визначення середньої продуктивності необхідно виконувати з урахуванням завантаження двигунів головного приводу робочих клітей по моменту, оскільки може статися так, що вибраний привід не в змозі забезпечити прокатку штаб усіх профілерозмірів, що розглядаються, з максимальною швидкістю.

На рис. 3.3 наведено тривимірні графіки залежності середньогодинної продуктивності чотириклітьового стана 1700 в залежності від швидкості прокатки і маси рулонів, побудовані відповідно до рис. 3.2.



а – графік поверхні; б – графік ліній рівня (контурний графік)

Рисунок 3.3 – Тривимірні графіки залежності середньогодинної продуктивності стана 1700 в залежності від швидкості прокатки і маси рулонів

3.4.2 Вплив темпів розгону і гальмування двигунів на продуктивність прокатного стана

В літературі [5, 6, 12] наведено діапазони змінення деяких основних параметрів. Розглянемо, як змінюється середньогодинна продуктивність стана в залежності від змінення вихідних параметрів у вказаних діапазонах.

Аналіз виконаємо на прикладі чотирикільцевого стана 1700 ММК ім. Ілліча, м. Маріуполь (аналога стана 1680 ПАТ «Запоріжсталь»), при прокатуванні на ньому штаби основного профілерозміру $0,8 \times 1280$ мм з подкату товщиною 2,75 мм. Параметри стана і режими обтисень такі ж самі, як у підрозділі 3.4.1.

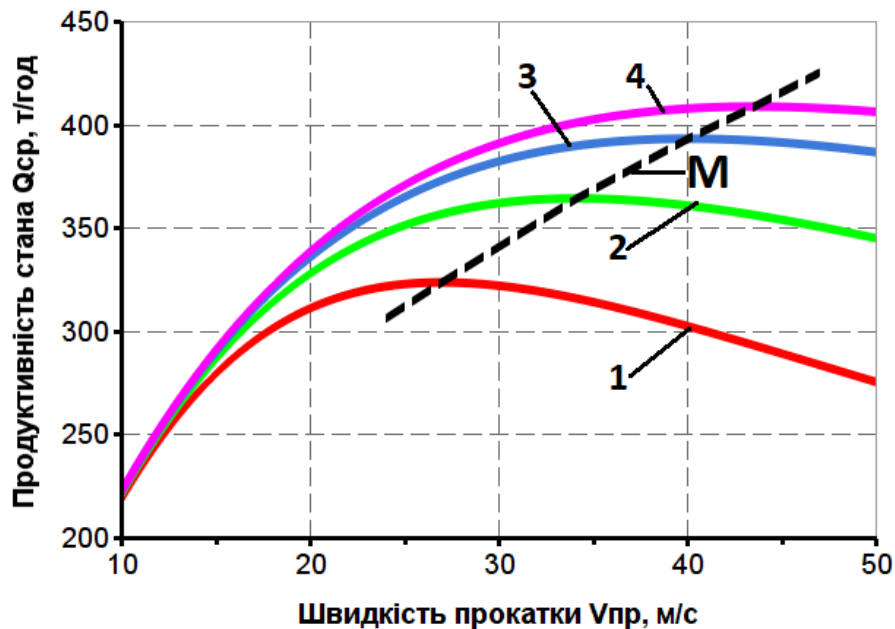
Вплив темпів розгону і гальмування двигунів дослідимо у діапазонах: $a_p = 1 \div 2,8$ м/с²; $a_T = 1,19 \div 3,34$ м/с², враховуючи, що $q = 25$ т; $q_1 = 5$ т; $v_{п} = 10$ м/с; $t_{з.о} = 60$ с; $l_{з.с} = 54$ м; $l_{у.с.н} = 19$ м; $t_{п.в} = 0,8$ ч; $Q_{п.в} = 2000$ т.

Будуємо графіки залежностей продуктивності стана $Q_{ср}$ від швидкості прокатки $v_{пр}$ при різних темпах розгону (a_p) і гальмування (a_T), рис. 3.4.

За допомогою функції **maximize** ($Q_{\text{ср}}, v_{\text{пр}}$) Mathcad Prime 6, знаходимо максимуми кривих 1 – 4 на рис. 3.3, тобто $v_{\text{кр}}$ для кожної кривої, будуюмо криву **М** на рис. 3.3.

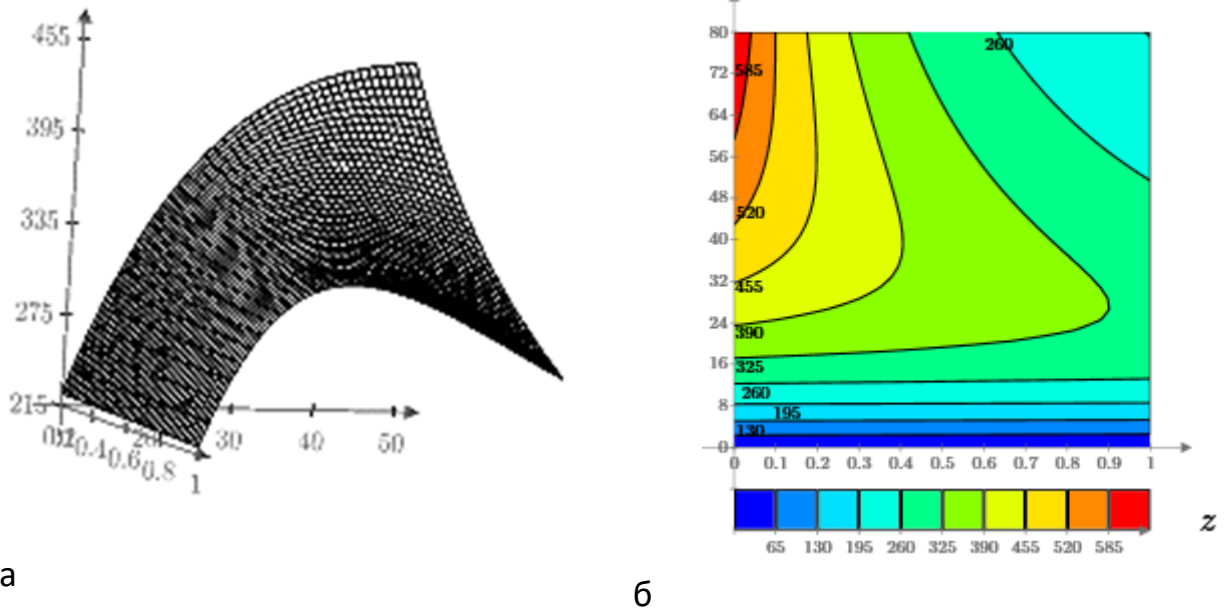
З рис. 3.3 слідує, що в заданому діапазоні змінення темпів розгону і гальмування величина $v_{\text{кр}}$ змінюється від 27 до 44 м/с, а середньогодинна продуктивність збільшується на 20 %. Отже, проектування двигунів головного приводу станів з більш високими значеннями a_p і a_T вельми вигідно: воно дозволяє підвищити продуктивність і одночасно підвищити межі швидкостей прокатки.

На рис. 3.5 наведено тривимірні графіки залежності середньогодинної продуктивності чотиріклітьового стана 1700 в залежності від швидкості прокатки і темпів розгону і гальмування, побудовані відповідно до рис. 3.4.



1 – $a_p=1 \text{ м/с}^2$, $a_T=1,19 \text{ м/с}^2$; 2 – $a_p=1,67 \text{ м/с}^2$, $a_T=2,0 \text{ м/с}^2$; 3 – $a_p=2,35 \text{ м/с}^2$, $a_T=2,8 \text{ м/с}^2$; 4 – $a_p=2,8 \text{ м/с}^2$, $a_T=3,34 \text{ м/с}^2$; М – максимум продуктивності стана

Рисунок 3.4 – Зміна середньогодинної продуктивності чотиріклітьового стана 1700 в залежності від швидкості прокатки при різних темпах розгону (a_p) і гальмування (a_T)



а – графік поверхні; б – графік ліній рівня (контурний графік)

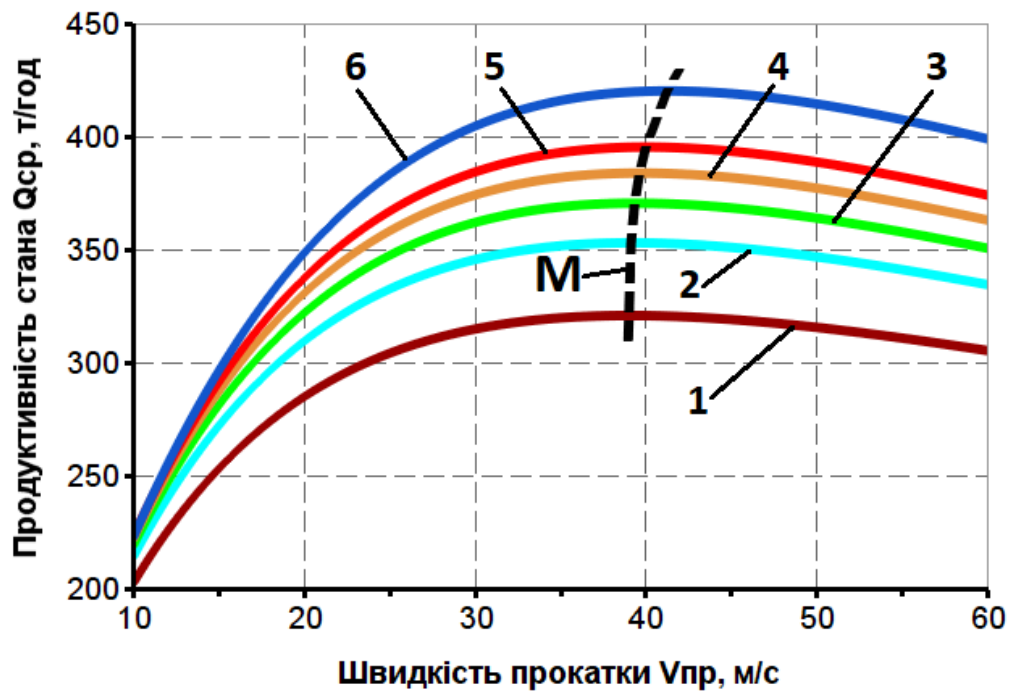
Рисунок 3.5 – Тривимірні графіки залежності продуктивності стана в залежності від швидкості прокатки і темпів розгону і гальмування

3.4.3 Вплив величини зниженої швидкості прокатки при проходженні зварних швів на продуктивність прокатного стана

Вплив величини зниженої швидкості прокатки при проходженні зварних швів дослідимо у діапазоні змінення величини $v_{п} = 2 \div 15$ м/с, хоча по відомим даним, ця швидкість не перевищує 10 м/с. Вихідні параметри приймаємо наступними: $a_p = 2,35$ м/с²; $a_T = 2,8$ м/с², $q = 25$ т; $q_1 = 5$ т; $t_{з.о} = 60$ с; $l_{з.с} = 54$ м; $l_{ум.п} = 19$ м; $t_{п.в} = 0,8$ ч; $Q_{п.в} = 2000$ т.

Розрахунок проводимо в програмному комплексі Mathcad Prime 6.

Будуємо графіки залежностей продуктивності стана $Q_{ср}$ від швидкості прокатки $v_{пр}$ при різних величинах швидкості прокатки при проходженні зварних швів $v_{п}$, рис. 3.6.



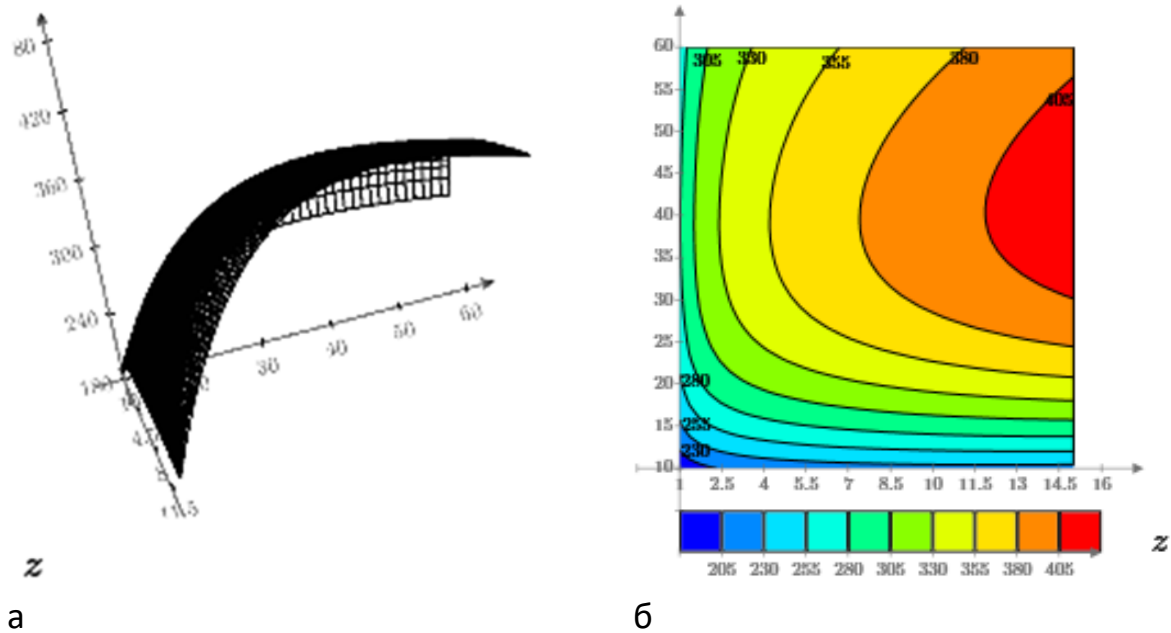
1 – $v_{п}=2$ м/с, 2 – $v_{п}=4$ м/с, 3 – $v_{п}=6$ м/с, 4 – $v_{п}=8$ м/с, 5 – $v_{п}=10$ м/с, 6 – $v_{п}=15$ м/с ; M – максимум продуктивності стана

Рисунок 3.6 – Зміна середньогодинної продуктивності чотирикільтового стана 1700 в залежності від швидкості прокатки при різних величинах швидкості прокатки при проходженні зварних швів $v_{п}$

За допомогою функції **maximize** ($Q_{ср}$, $v_{пр}$) Mathcad Prime 6, знаходимо максимуми кривих 1 – 6 на рис. 3.5, тобто $v_{кр}$ для кожної кривої, будуємо криву **M** на рис. 3.6.

Розгляд рис. 3.6 показує, що підвищення швидкості прокатки при проходженні зварних швів $v_{п}$ є досить ефективним засобом підвищення продуктивності прокатного стана: при зміні $v_{п}$ від 2 до 15 м/с продуктивність стана зростає на 25 – 30 %. Однак величина $v_{кр}$ при цьому практично не змінюється: усі максимуми кривих $Q_{ср}$ відповідають швидкості прокатки 39 – 41 м/с.

На рис. 3.7 наведено тривимірні графіки залежності середньогодинної продуктивності чотирикільтового стана 1700 в залежності від швидкості прокатки і швидкості прокатки при проходженні зварних швів $v_{п}$, побудовані відповідно до рис. 3.6.



а – графік поверхні; б – графік ліній рівня (контурний графік)

Рисунок 3.7 – Тривимірні графіки залежності продуктивності стана в залежності від швидкості прокатки і швидкості прокатки при проходженні зварних швів

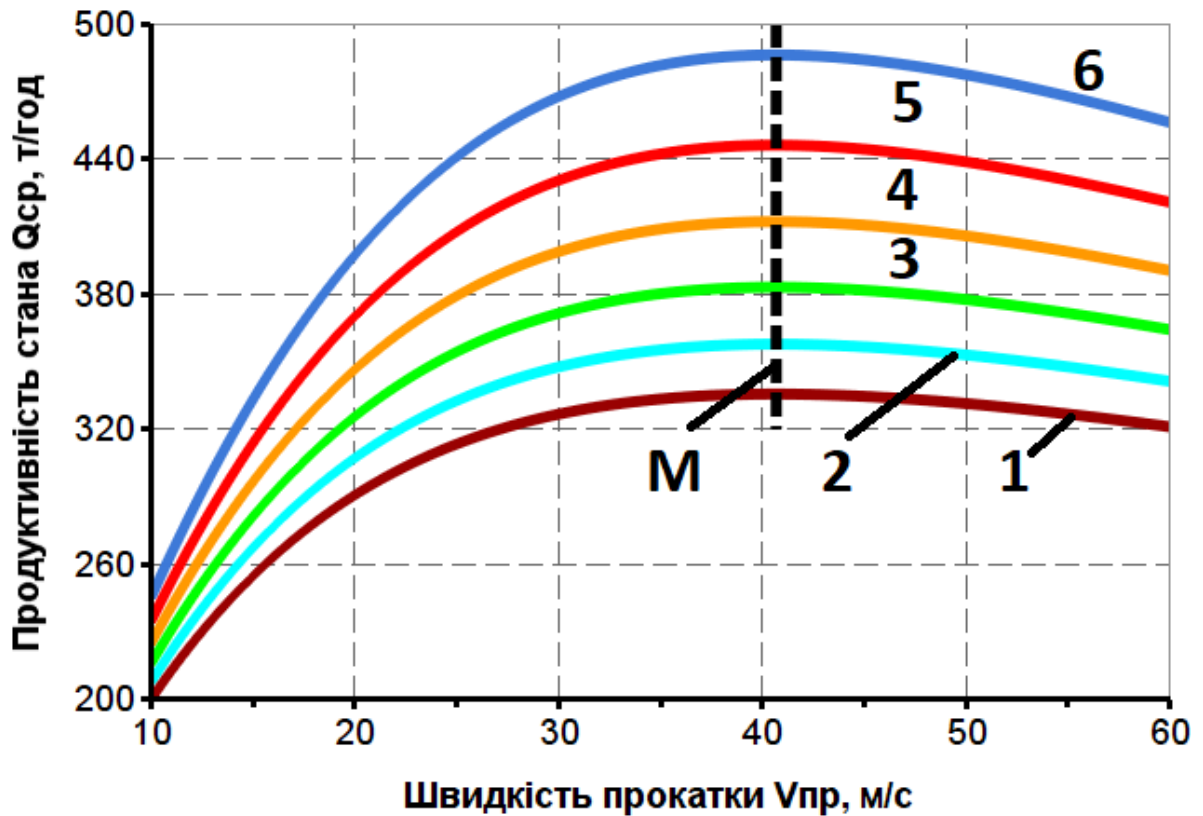
3.4.4 Вплив часу допоміжних і заправочних операцій на середньогодинну продуктивність прокатного стана

Дослідимо вплив на середньогодинну продуктивність прокатного стана допоміжних і заправочних операцій в діапазоні зміни $t_{з.о.}=40 - 140$ сек при наступних параметрах: $q = 30$ т; $q_1 = 5$ т; $v_{пр} = 10$ м/с; $a_p = a_T = 1,67$ м/с² (темпи, що найбільш часто реалізуються на стані 1700); $l_{з.с} = 54$ м; $l_{ум.н} = 19$ м; $t_{п.в} = 0,8$ ч; $Q_{п.в} = 2000$ т. Розрахунок проводимо в програмному комплексі Mathcad Prime 6.

Будуємо графіки залежностей продуктивності стана $Q_{ср}$ від швидкості прокатки $v_{пр}$ при різних величинах часу допоміжних і заправочних операцій $t_{з.о.}$, рис. 3.8. За допомогою функції **maximize** ($Q_{ср}$, $v_{пр}$) Mathcad Prime 6, знаходимо максимуми кривих 1 – 6 на рис. 3.7, тобто $t_{з.о.}$ для кожної кривої,

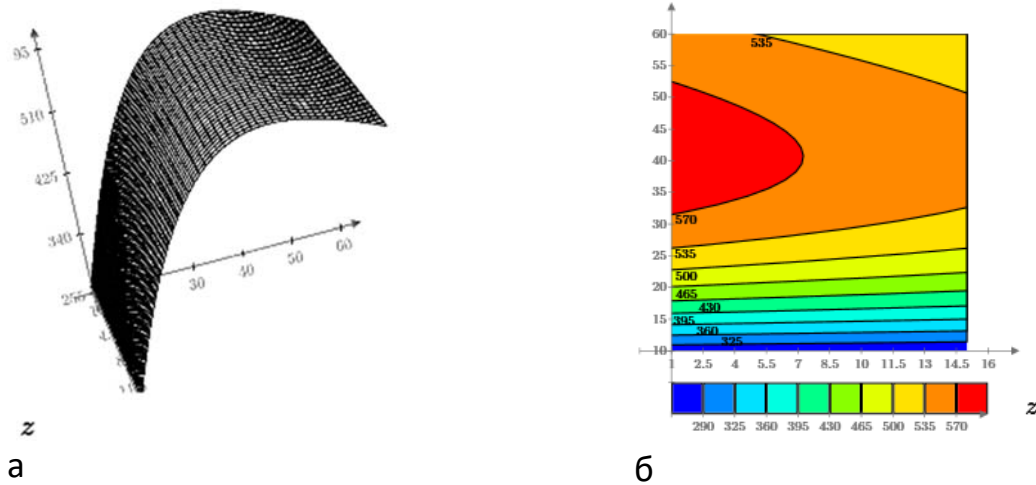
будуємо криву **М** на рис. 3.8. На рис. 3.9 наведено тривимірні графіки відповідно до рис. 3.8.

Результати розрахунків, наведених на рис. 3.7 показують, що скорочення часу допоміжних і заправочних операцій приводить до підвищення продуктивності стана, але не впливає на величину $v_{кр}$, яка при значеннях, що практично реалізуються a_p і a_t виявляється доволі низькою – 40 м/с.



1 – $t_{з.о.} = 140$ с, 2 – $t_{з.о.} = 120$ с, 3 – $t_{з.о.} = 100$ с, 4 – $t_{з.о.} = 80$ с, 5 – $t_{з.о.} = 60$ с, 6 – $t_{з.о.} = 40$ с; М – максимум продуктивності стана

Рисунок 3.8 – Зміна середньогодинної продуктивності чотирьохкільцевого стана 1700 в залежності від швидкості прокатки при різних величинах часу допоміжних і заправочних операцій $t_{з.о.}$



а – графік поверхні; б – графік ліній рівня (контурний графік)

Рисунок 3.9 – Тривимірні графіки залежності продуктивності стана в залежності від швидкості прокатки і часу допоміжних і заправочних операцій

3.4.5 Вплив маси гарячекатаного рулону на середньогодинну продуктивність прокатного стана

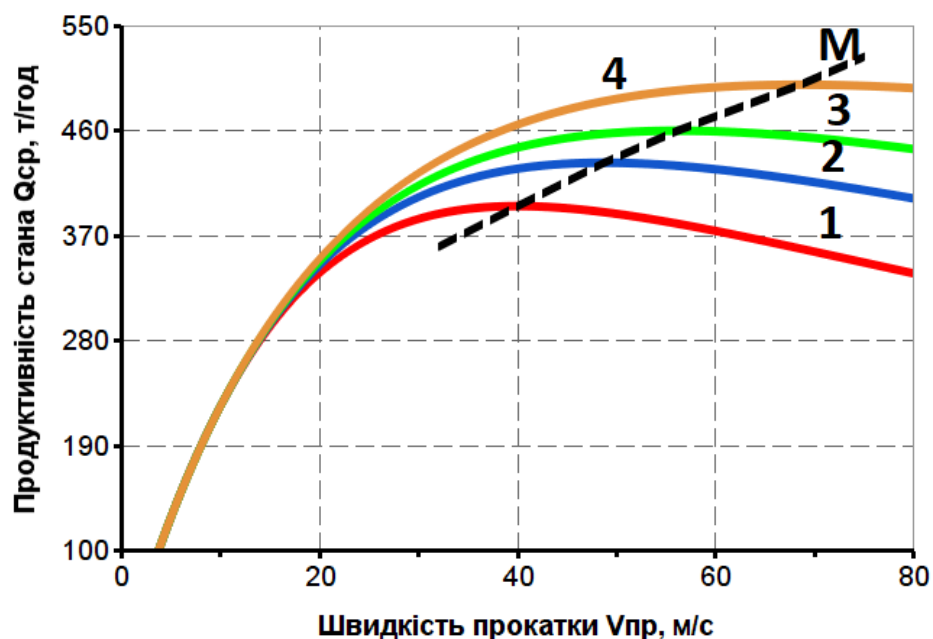
Важливе значення має залежність продуктивності стана від маси гарячекатаного рулону перед зваркою і кількості зварних швів в холоднокатаному рулоні, що визначається нею (величини k).

Усі наведені вище розрахунки і графіки виконано при умові $q_1 = 5$ т, що відповідає максимальному значенню цієї величини для діючих цехів вітчизняних заводів. Дослідимо зміну Q_{cp} при збільшенні q_1 від 5 до 15 т, враховуючи, що загальна маса рулону дорівнює 25 т. Решту параметрів приймаємо, як і раніше: $v_{п} = 10$ м/с; $a_p = 2,35$ м/с²; $a_T = 2,8$ м/с²; $l_{з.с} = 54$ м; $l_{уст.п} = 19$ м; $t_{п.в} = 0,8$ ч; $Q_{п.в} = 2000$ т. Розрахунок проводимо в програмному комплексі Mathcad Prime 6. Для розрахунку використовуємо формулу, отриману у підрозділі 3.4.1.

Будуємо графіки залежностей продуктивності стана Q_{cp} від швидкості прокатки $v_{пр}$ при різних величинах маси гарячекатаного рулону перед зваркою і кількості зварних швів в холоднокатаному рулоні, рис. 3.10.

Аналіз результатів розрахунку, наведених графічно на рис. 4.10 показує, що зі збільшенням q_1 від 5 до 15 т максимум продуктивності стана зміщується від 40 до 70 м/с.

Величина годинної продуктивності стана при швидкостях прокатки до 15 – 20 м/с незначно залежить від величини q_1 і від кількості зварних швів в рулоні. При швидкостях прокатки більш ніж 20 м/с продуктивність значно зростає з ростом величини q_1 : при зміні q_1 від 5 до 15 т вона змінюється на 35 – 40 %.



1 – $q_1 = 5$ т; 2 – $q_1 = 7,5$ т; 3 – $q_1 = 10$ т; 4 – $q_1 = 15$ т; М – максимум продуктивності стана

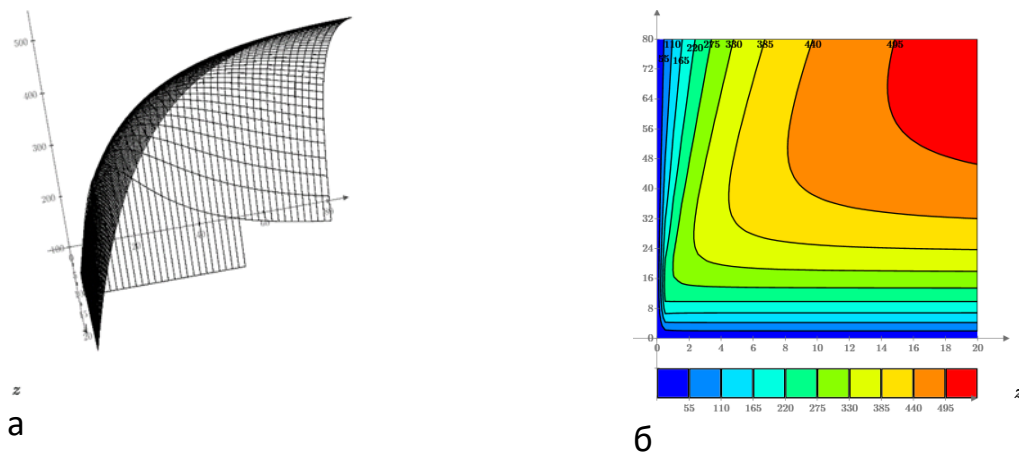
Рисунок 3.10 – Зміна середньогодинної продуктивності чотирикільтьового стана 1700 в залежності від швидкості прокатки при різній масі гарячекатаного рулону перед зваркою і кількості зварних швів в холоднокатаному рулоні q_1

За допомогою функції **maximize** ($Q_{ср}$, $v_{пр}$) Mathcad Prime 6, знаходимо максимуми кривих 1 – 4 на рис. 3.9, тобто q_1 для кожної кривої, будуємо криву **М** на рис. 3.10 і результати заносимо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність критичної швидкості прокатки $v_{кр}$, при якій продуктивність стана максимальна, від маси гарячекатаного рулону перед зваркою і кількості зварних швів в холоднокатаному рулоні q_1

Маса гарячекатаного рулону перед зваркою q_1 , т	5	7,5	10	15
Критичною швидкістю прокатки $v_{кр}$, м/с	40,02	48,76	56,15	68,59
Максимальна продуктивність стана $Q_{ср}$, т/год	395,0	432,2	459,7	499,2

На рис. 3.11 наведено тривимірні графіки залежності середньогодинної продуктивності стана в залежності від швидкості прокатки і маси гарячекатаного рулону перед зваркою q_1 , побудовані відповідно до рис. 3.10.



а – графік поверхні; б – графік ліній рівня (контурний графік)

Рисунок 3.11 – Тривимірні графіки продуктивності стана в залежності від швидкості прокатки і маси гарячекатаного рулону перед зваркою

3.4.6 Вплив товщини і ширини штаби на середньогодинну продуктивність прокатного стана

Представляє практичний інтерес також дослідження впливу товщини і ширини штаби на продуктивність прокатного стана. Розрахунок проводимо в програмному комплексі Mathcad Prime 6. Задавшись кінцевою товщиною штаби 0,6, 0,4 і 0,8 мм при постійній ширині $b = 1,28$ м, виконуємо аналогічні вищенаведеним розрахунки, які показують, що при зменшенні кінцевої товщини штаби з 0,8 до 0,4 мм годинна продуктивність, природно, зменшується, але максимум кривої $Q_{cp} = f(v_{пр})$ зміщується у бік більших швидкостей – з 40 до 56 м/с.

Вплив ширини штаби, що прокатується, досліджували на прикладі прокатки на даному стані штаби мінімальної товщини $h_k = 0,4$ мм в діапазоні $b = 1 - 1,45$ м. Приймаючи ті ж самі вихідні дані, що і для $h_k = 0,4$ мм, отримаємо незмінні коефіцієнти $c_2 - c_7$. Зміниться тільки величина коефіцієнта c_1 : при $b = 1$ м $c_1 = 318$ м/т; при $b = 1,28$ м $c_1 = 249$ м/т; при $b = 1,45$ м $c_1 = 220$ м/т.

Розрахунки показують, що з підвищенням ширини штаби, разом із зростанням продуктивності стана, відбувається зміщення величини швидкості прокатки, яка відповідає максимуму продуктивності стана, у бік зменшення.

3.5 Результати дослідження та їх обговорення

На рис. 3.12 і в табл. 3.2 наведена зведена інформація вищенаведених розрахунків.

Фізичний сенс зміщень положення критичної швидкості прокатки, наведених на графіках рис. 3.2 і 3.12 полягає у тому, що при змінненні того чи іншого параметру змінюється процент часу роботу стана при швидкості, що не встановилася. Як відмічалось вище, критична швидкість відповідає такому циклу, коли час прокатки при швидкості, що встановилася, дорівнює нулю

(увесь цикл складається з розгонів і гальмувань). Тому при скороченні часу розгонів і гальмувань у загальному часі циклу положення критичної швидкості здвигається у бік більших швидкостей прокатки.

Таблиця 3.2 – Позначення до рис. 3.12

Рис.	Параметри	Номер кривої					
		1	2	3	4	5	6
а	$a_p, \text{ м/с}^2$	1,0	1,67	2,35	2,8	-	-
	$a_t, \text{ м/с}^2$	1,19	2,0	2,8	3,34	-	-
б	$v_{п}, \text{ м/с}$	2	4	6	8	10	15
в	$t_{з.о.}, \text{ с}$	140	120	100	80	60	40
г	$q_1, \text{ Т}$	5	7,5	10	15	-	-
д	$h_k, \text{ мм}$	0,4	0,6	0,8	-	-	-
е	$b, \text{ мм}$	1000	1280	1450	-	-	-

Це спостерігається, наприклад, при збільшенні параметрів a_p , a_t , що дозволяє безпосередньо форсувати розгони і гальмування стана. Аналогічно при прокатуванні більш тонкої і вузької штаби (зменшенні h_k і b , див. рис. 3.12, д, е) зменшується маса штаби, що проходить крізь стан в одиницю часу. Тому на її розгони і гальмування необхідно затратити менше часу.

У той же час змінення часу допоміжних операцій (рис. 3.12, в) не змінює співвідношення між часом роботи стана при швидкості, що не встановилася і встановилася, тому положення $v_{кр}$ не залежить від величини $t_{з.о.}$.

З графіку на рис. 3.2 витікає, що на продуктивність стана суттєвий вплив здійснює маса рулонів q . При малій масі рулонів зростання продуктивності у функції швидкості прокатки відбувається значно повільніше, ніж при великій масі рулонів.

У той же час при малих швидкостях прокатки збільшення маси рулону не дає помітного збільшення продуктивності стана. Максимальна маса рулону обмежується, як відомо, співвідношенням його зовнішнього і внутрішнього діаметрів з урахуванням можливостей регулювання швидкості двигуна моталки. Однак максимальну масу рулону слід визначати економічним розрахунком.

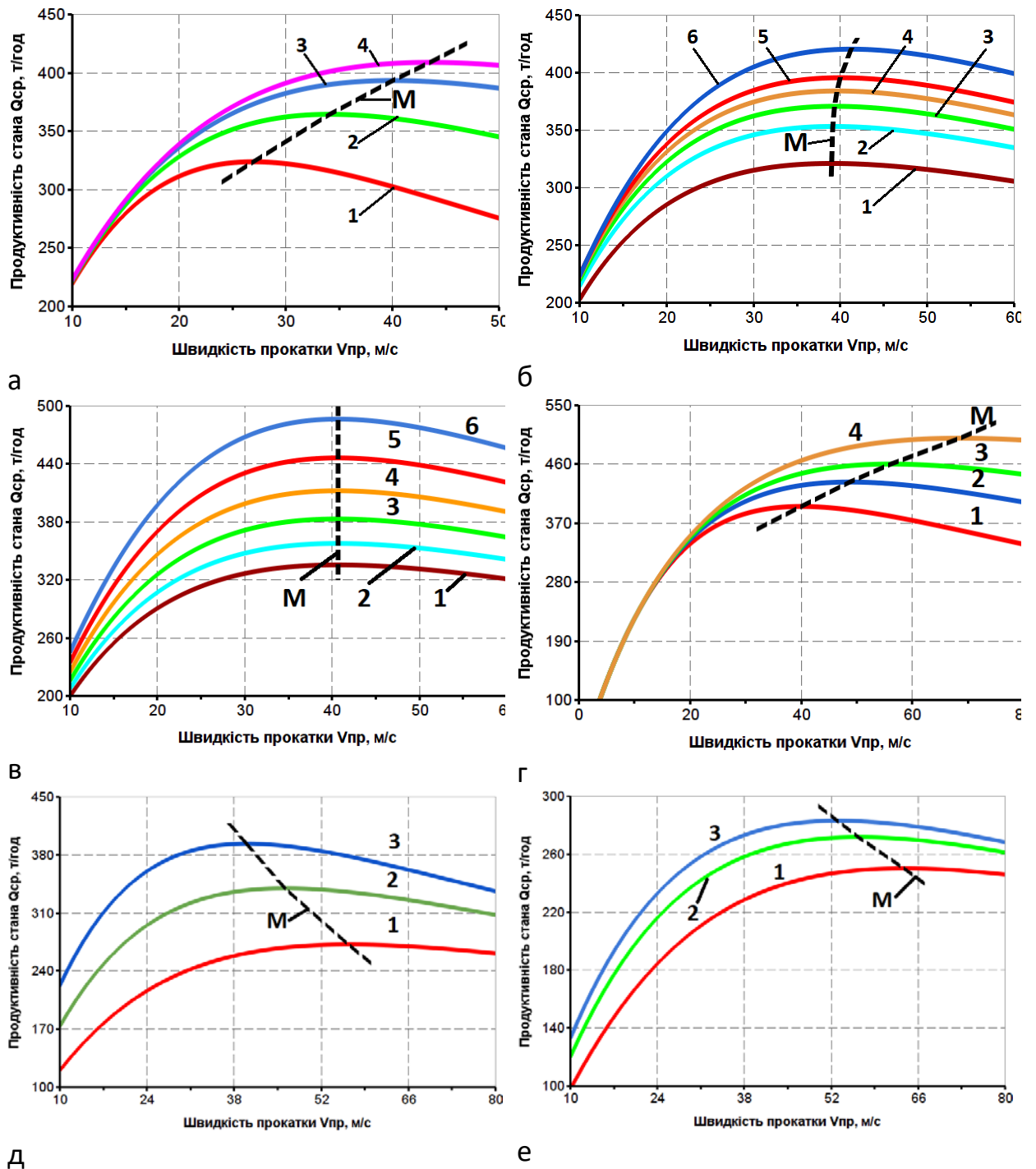


Рисунок 3.12 – Залежність середньогодинної продуктивності чотирикільцевого стану 1700 від швидкості прокатки:
 а – при різних темпах розгону і гальмування двигунів головного приводу ; б – при різній величині зниженої швидкості проходження зварних швів; в – при різному часі допоміжних і заправочних операцій; г – при різній масі гарячекатаних рулонів перед зварюванням; д – при різній товщині штаби; е – при різній ширині штаби; (М – лінія максимумів продуктивності)

4 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок валків листопрокатних станів на міцність і деформацію в середовищі AutoCAD Mechanical

4.1.1 Вступ

При вивченні дисципліни «Обладнання цехів ОМТ» однією з основних цілей є оволодіння здатністю розробляти математичні моделі складальних одиниць обладнання з проведенням необхідних розрахунків і розробкою технічної документації, застосовуючи при цьому сучасні комп'ютерні технології. Це дозволяє всебічно вивчати поведінку частин обладнання ще в процесі їх розробки, аналізувати геометрію, проводити інженерні розрахунки, отримувати фотореалістичні зображення.

Питанню автоматизації комп'ютерного моделювання присвячена велика кількість робіт [16-20]. Розглядаються можливості автоматизації графічного моделювання в КОМПАС-3D, AutoCAD Mechanical, Autodesk Inventor, ABAQUS тощо, які надають інструменти проектування на основі правил і засобів автоматизації, що прискорюють процес і дозволяють користувачам концентруватися на реалізації проектного задуму, а не на моделюванні геометрії ручним способом. На базі функціональних вимог до виробу, системи САПР автоматично створюють інтелектуальні компоненти, надаючи можливість економити час проектувальника, дозволяють здійснювати перевірку моделей без випробування дослідних зразків.

Приведені в літературі дані в основному відносяться до моделювання валів редукторів, важелів, кулачків і ін. деталей машин. Дані по розрахунку валків прокатних станів із застосуванням вищенаведених програм відсутні.

4.1.2 Постановка задачі

Метою роботи є дослідження можливості геометричного моделювання валків прокатних станів і виконання розрахунків на міцність і деформацію в середовищі AutoCAD Mechanical 2020 [20].

Прокатні валки – змінний робочий і технологічний інструмент прокатних станів, який значною мірою визначає продуктивність станів, якість прокату, стабільність технології, енергоємність і безаварійність процесу прокатки.

При визначенні міцності валок розглядають як двохопорну балку, навантажену силою прокатки і крутним моментом, що приводить до появи в тілі валка нормальних і дотичних напружень. Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності n повинен перевищувати допустиме значення $[n]$:

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma} \geq [n] \text{ або } n = \frac{\tau_B}{\tau} \geq [n], \quad (4.1)$$

де σ_B і τ_B – межа міцності матеріалу валка по нормальним і дотичним напруженням, (в расчетах принимают $\tau_B = 0,7 \cdot \sigma_B$), МПа;

σ і τ - відповідно розрахункове нормальне і дотичне напруження, МПа.

Допустиме значення коефіцієнта запасу міцності для всіх деталей прокатної кліти, окрім станини, приймають рівним 5, а для станини, як найбільш відповідального елемента прокатного стана – 10 [5].

Напруження згину в бочці валка визначають за формулою [5]:

$$\sigma_{\text{згин}} = M_{\text{згин}}/W_6 = M_{\text{згин}}/(0,1D^3) \quad (4.2)$$

де $M_{\text{згин}}$ – згинальний момент, який діє в перетині, що розглядається, МН·м;

W_6 – момент опору поперечного перетину бочки валка на вигин, м³;

D – діаметр бочки валка в перетині, що розглядається, м.

4.1.3 Методика дослідження

В AutoCAD Mechanical можна виконувати розрахунок валів, використовуючи контур, створений за допомогою генератора валів, або будь-який інший симетричний контур валу. Функція забезпечує статичний розрахунок, який має велике значення для розрахунку навантаження на вал і підшипники котіння або ковзання.

Основний спосіб розрахунку існуючого валу полягає у визначенні контуру і вставці сил і опор. Програма розраховує всі необхідні значення і будує відповідні епюри моментів і деформацій.

Створимо розрахункову модель і виконаємо розрахунок на міцність і деформацію робочих і опорних валків чотиривалкової кліті стана 550/1500/2500 для холодного прокатування штаб, використовуючи такі ж вихідні дані, як в прикладі 17 [5, стор. 108].

Розрахункова схема валків кліті кварто із зазначенням розмірів і навантажень приведена на рис. 4.1. Оскільки навантаження на робочий і опорний валок різні, то розрахунки проводимо окремо для робочого і опорного валка.

На першому етапі рішення задачі по схемі на рис. 4.1 (або по компоновальному кресленню) виконується 2D модель валка за допомогою генератора валів AutoCAD Mechanical. Перед виконанням любих розрахунків на валку необхідно створити його контур. На рис. 4.2 (а) наведено діалогове вікно «Генератор валів». За допомогою кнопки 1 будуються гладкі циліндричні ділянки валка за заданими довжинами і діаметрами. Потім за допомогою кнопки 2 добавляються галтелі.

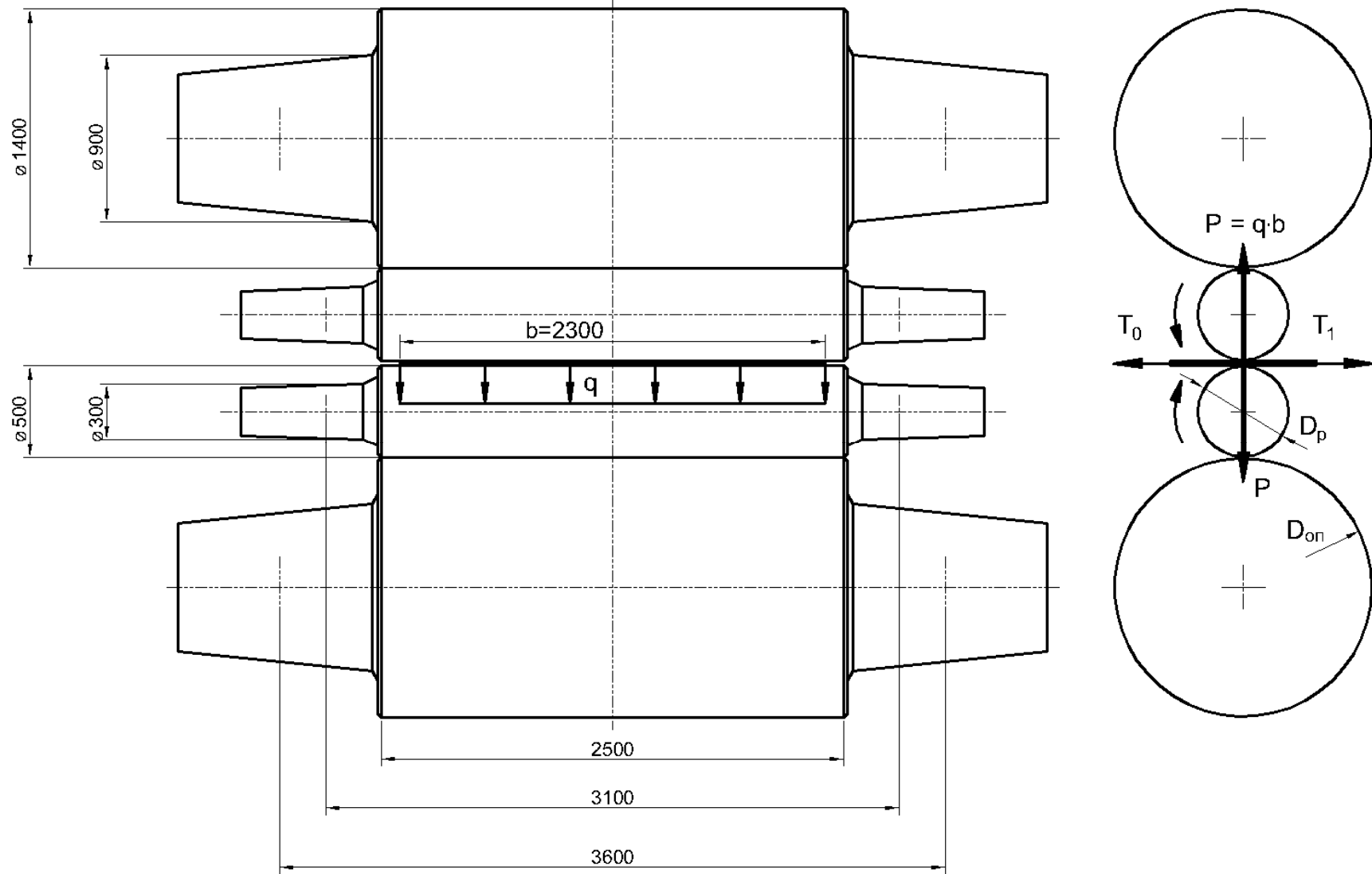
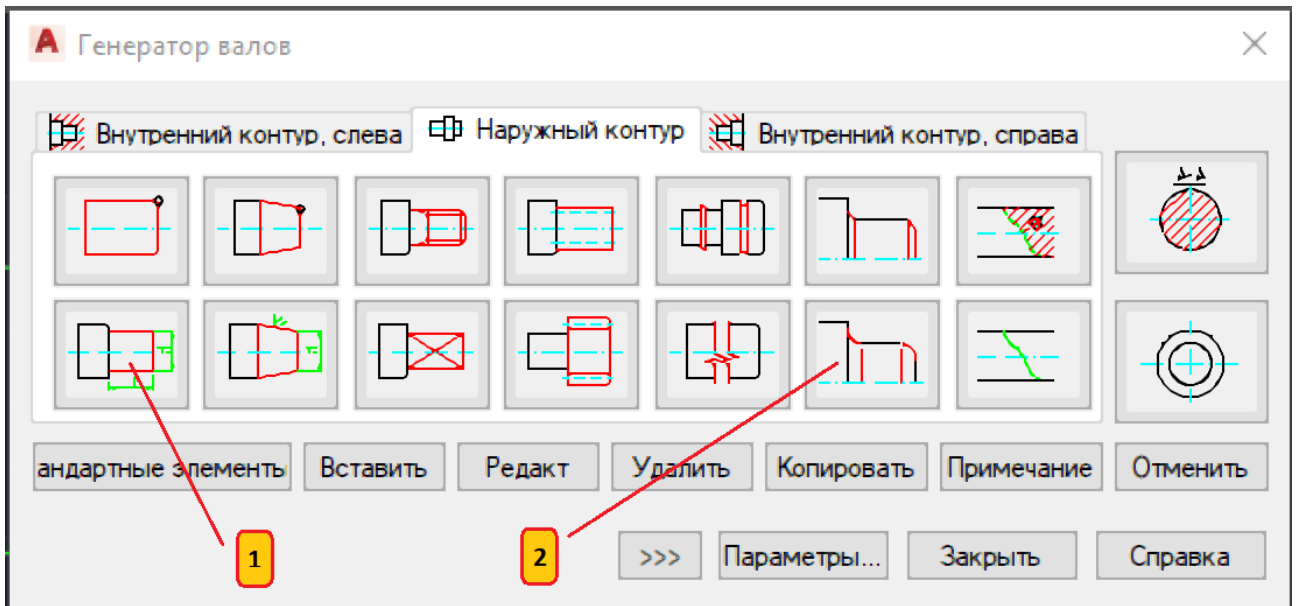
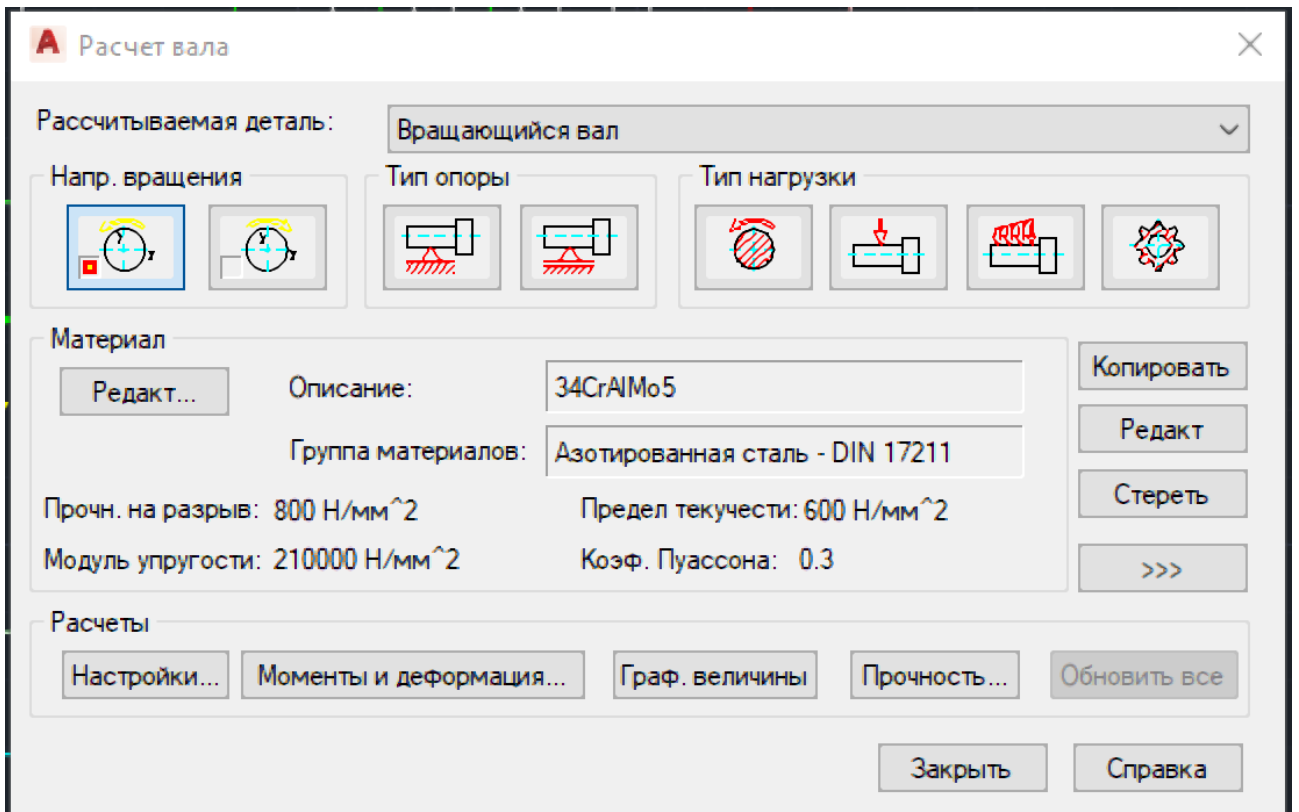


Рисунок 4.1 - Схема для розрахунку валків кліти кварто на міцність і деформацію



а



б

Рисунок 4.2 - Диалогові вікна «Генератор валів» (а) і «Розрахунок валу» (б)

На другому етапі (після створення контура валка) за допомогою діалогового вікна "Розрахунок валу" (рис. 4.2 б) проводиться розрахунок. Вихідними даними для розрахунку валка є: матеріал валка, момент крутіння на робочому валку; сили, що діють на валок у вертикальній і горизонтальній площині.

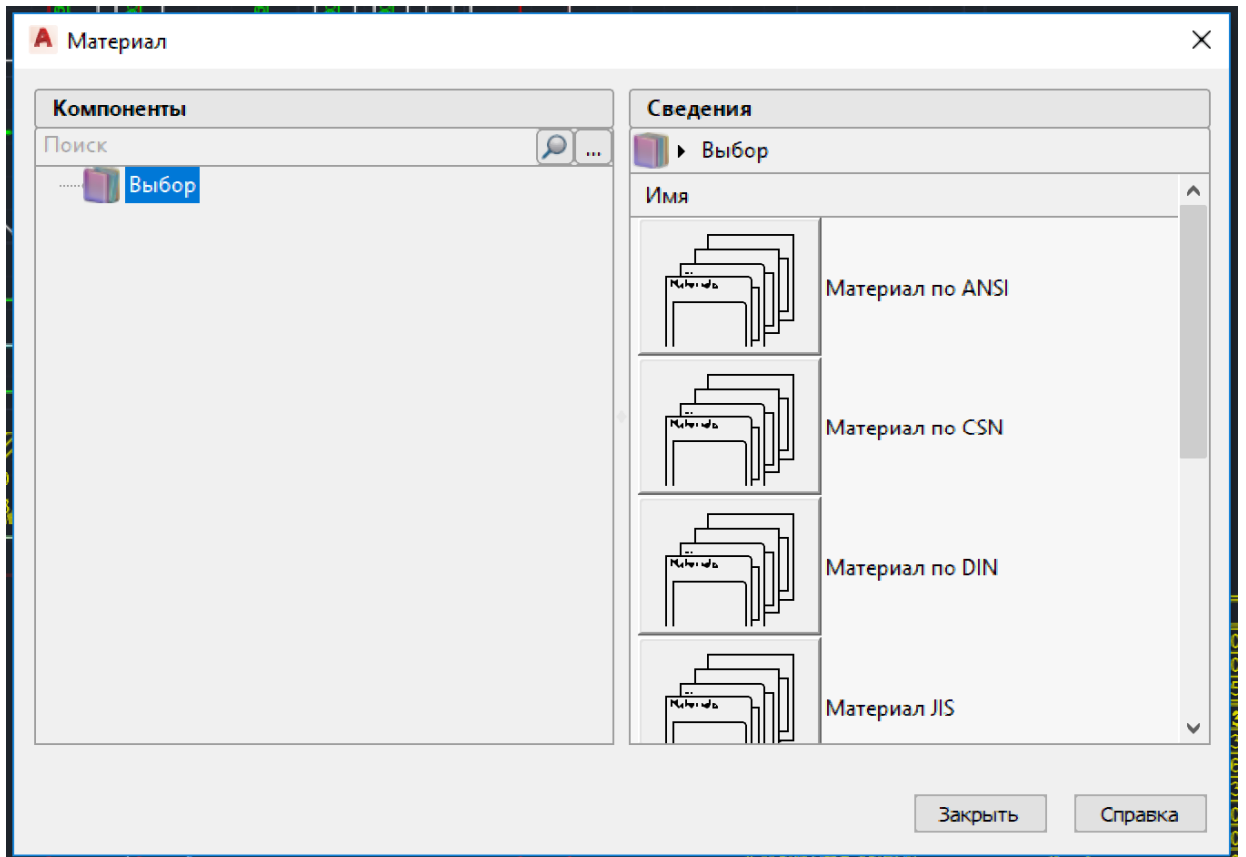
Матеріал валка вибирається за допомогою опції «Редагувати». Відкривається діалогове вікно «Матеріал» (рис. 4.3 а), в якому вибирається стандарт матеріалу. У нашому розрахунку вибирається німецький стандарт DIN. Виводиться вікно з різноманітними марками сталей і інших металів (рис. 4.3 б). Ми вибираємо сталь 34CrAlMo5 (аналог вуглецевої сталі 9Х2 і 9ХФ з підвищеним вмістом хрому і марганцю), що має межу текучості $\sigma_T = 600$ МПа і межу міцності $\sigma_B = 800$ МПа.

Виводиться діалогове вікно вибору властивостей матеріалу валка (рис. 4.4), в якому можна відредагувати показники міцності, вид термомеханічної обробки тощо.

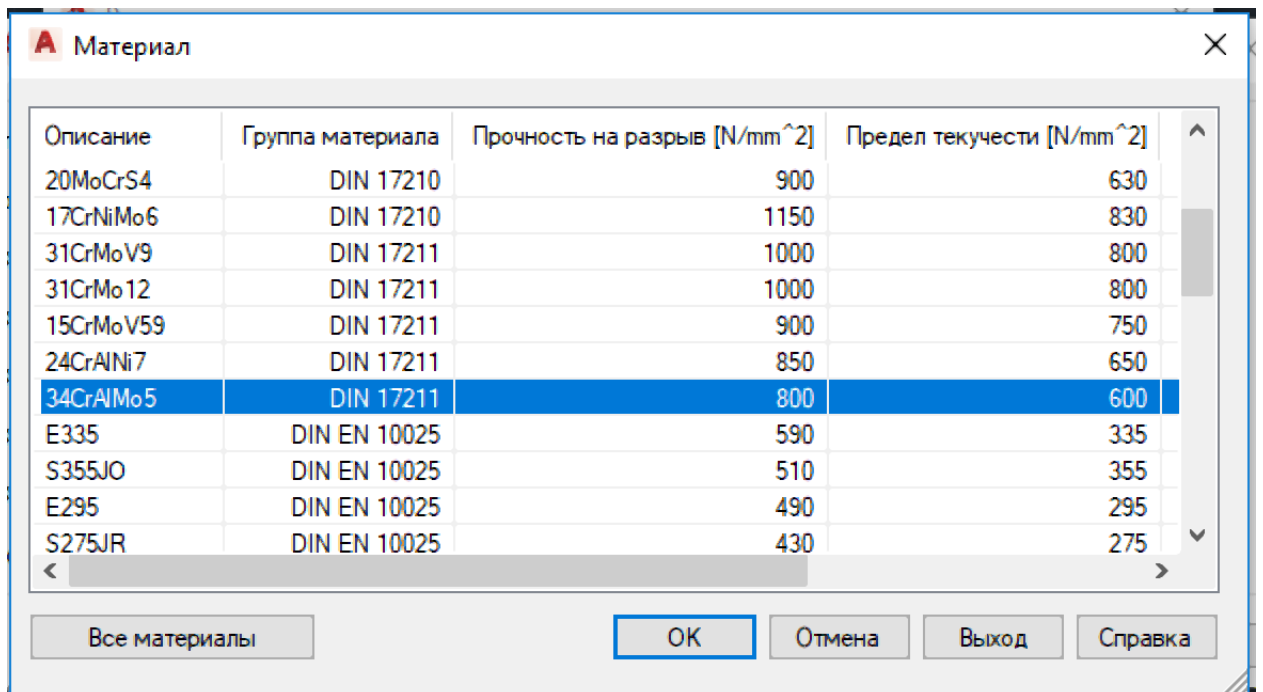
Після цього вибирається тип опор (рис. 4.2 б) і місце їх розташування на валку. Вказуються корисні навантаження. В AutoCAD Mechanical при розрахунку навантаження використовується геометрія креслення. У нашому прикладі навантаження є розподіленим по ширині штаби (рис. 4.1 і 4.5 б), але може застосовуватися і крапкове, зосереджене навантаження (рис. 4.5 а). Вказується крутний момент на валку (рис. 4.5 в) і результат побудови розрахункової схеми виглядає так, як показано на рис. 4.6 і 4.7.

На заключному етапі проектування валка в AutoCAD Mechanical виконується робоче креслення з виносними елементами, проставляються розміри, позначення, допуски тощо.

Генератор валів автоматично обчислює реакції опор і будує епюри згинальних моментів і напруг. Розрахунок на міцність виконується відповідно до німецького стандарту DIN 743.



а



б

Рисунок 4.3 - Диалогові вікна вибору матеріалу валка

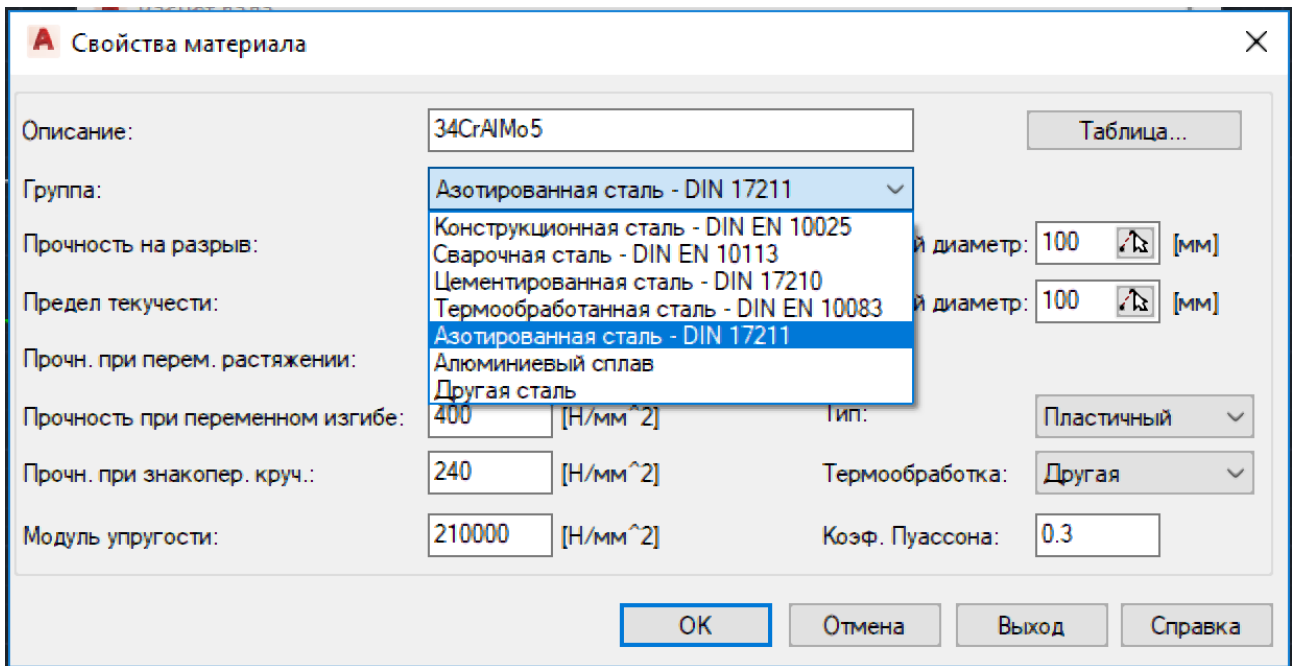
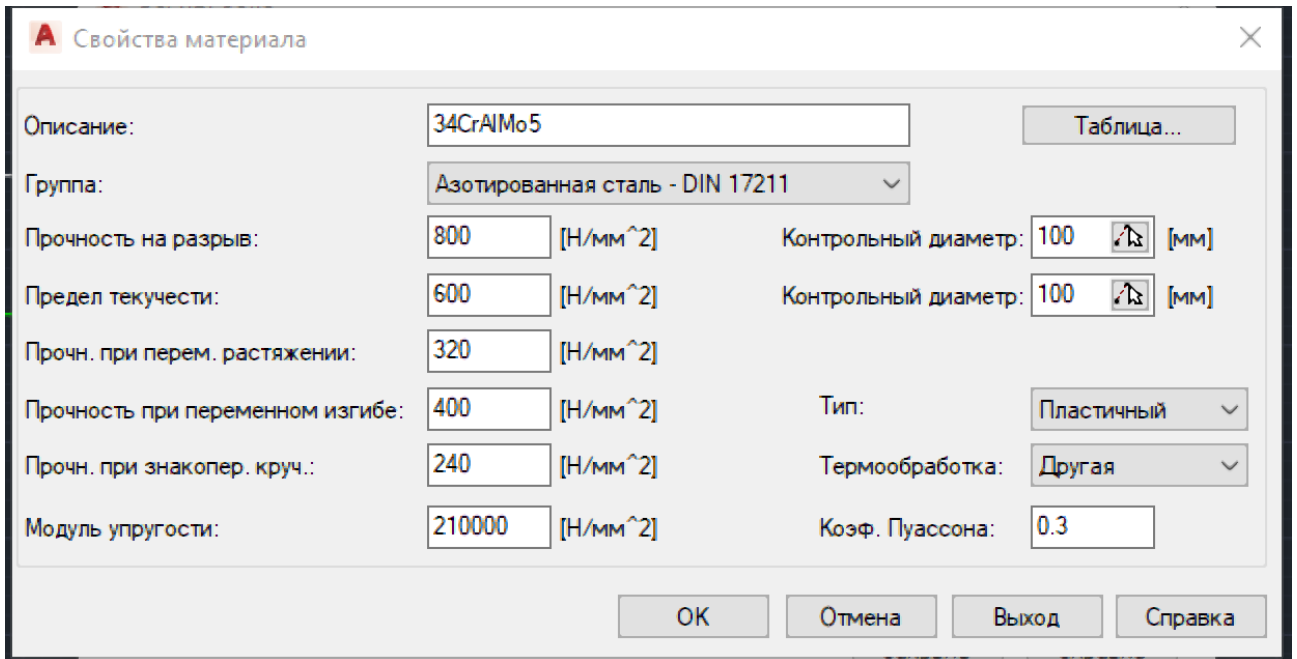
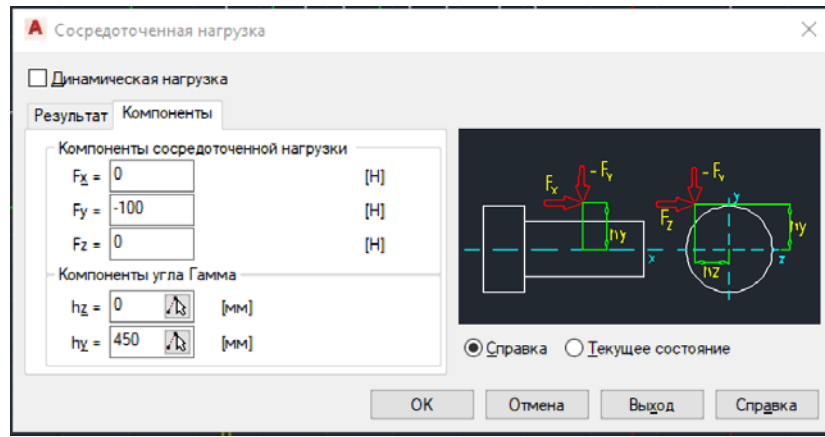
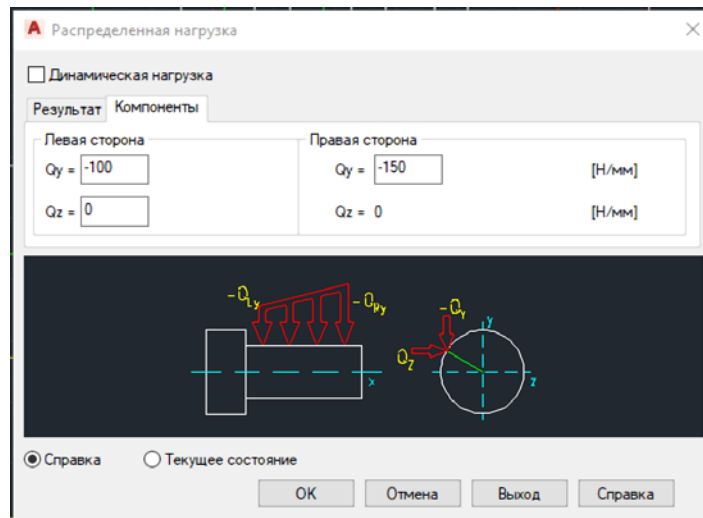


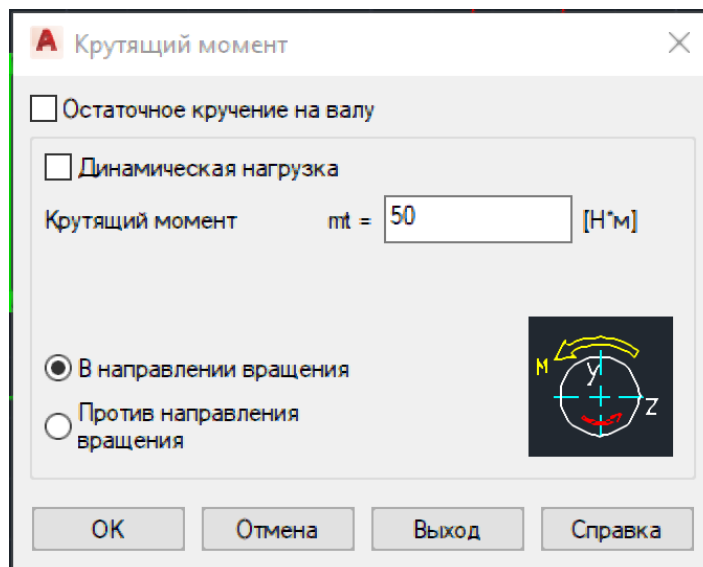
Рисунок 4.4 – Диалогові вікна вибору властивостей матеріалу валка



а



б



в

Рисунок 4.5 – Типы навантажень на валок:

а – зосереджене; б – розподільне; в – крутний момент

4.1.4 Результати досліджень

Результати розрахунків робочого і опорного валків представлені відповідно на рис. 4.6 і 4.7. По отриманим епюрам визначаються небезпечні перетини валка – по середині бочки і в шийці валка по галтелі (у місці з'єднання шийки і бочки валка). При необхідності уточнюється геометрія валка. При цьому генератор валів автоматично перераховує всі дані. На завершальному етапі виконується робоче креслення валка.

Порівнюючи розрахункові дані, приведені в літературі з обчисленими значеннями в AutoCAD Mechanical можна переконатися, що вони мають близькі значення. Так коефіцієнт запасу статичної міцності **по межі текучості** для опорного валка (крутний момент відсутній) дорівнює 5,3 (рис. 4.7), а в літературі [5] – 5,2 в перетині 1-1. У шийці робочого валка визначений тільки запас міцності при крученні $n_{\tau} = 6,8$ [5]; за нашими даними коефіцієнт запасу міцності з урахуванням кручення і вигину дорівнює $n_{ш}^p = 4,4$ (рис. 4.6), що також достатньо [5, стор. 109]. При сумісній дії кручення і вигину сумарна (еквівалентне) напруження в шийці для сталевих валків визначається по формулі (дані узяті на рис. 4.6):

$$\sigma_{\text{ЭКВ.Ш}}^p = \sqrt{\sigma_{\text{ИЗ.Ш}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{КР.Ш}}^2} = \sqrt{21,2^2 + 3 \cdot 78,4^2} = 137,4 \text{ МПа.}$$

$$n_{\text{Ш}}^p = \frac{\sigma_{\text{T}}}{\sigma_{\text{ЭКВ.Ш}}^p} = \frac{600}{137,4} = 4,4.$$

Визначимо розрахункові коефіцієнти запасу міцності **по межі міцності**, використовуючи формулу (4.1) і розрахункові донні на рис. 4.6 і 4.7:

$$\text{у бочці опорного валка: } n_6^{\text{оп}} = \frac{\sigma_{\text{В}}}{\sigma_{\text{ИЗ.Б}}^{\text{оп}}} = \frac{800}{78,3} = 10,2,$$

$$\text{у шийці опорного валка: } n_{\text{Ш}}^{\text{оп}} = \frac{\sigma_{\text{В}}}{\sigma_{\text{ИЗ.Ш}}^{\text{оп}}} = \frac{800}{121,5} = 6,6,$$

$$\text{у шийці робочого валка: } n_{\text{Ш}}^p = \frac{\tau_{\text{В}}}{\tau_{\text{КР.Ш}}^p} = \frac{800 \cdot 0,7}{78,4} = 7,1.$$

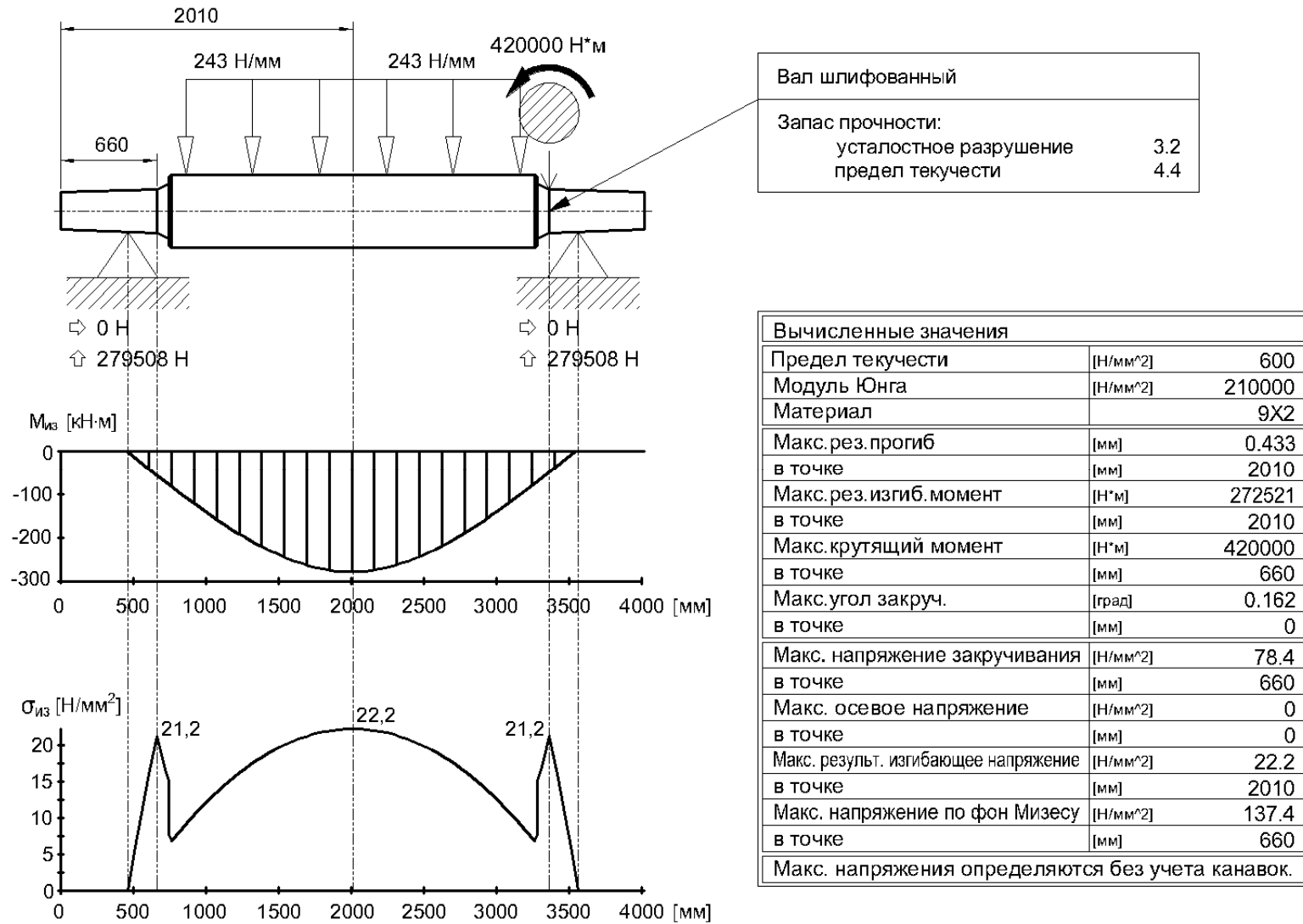


Рисунок 4.6 – Результаты розрахунку робочого валка на міцність і деформацію

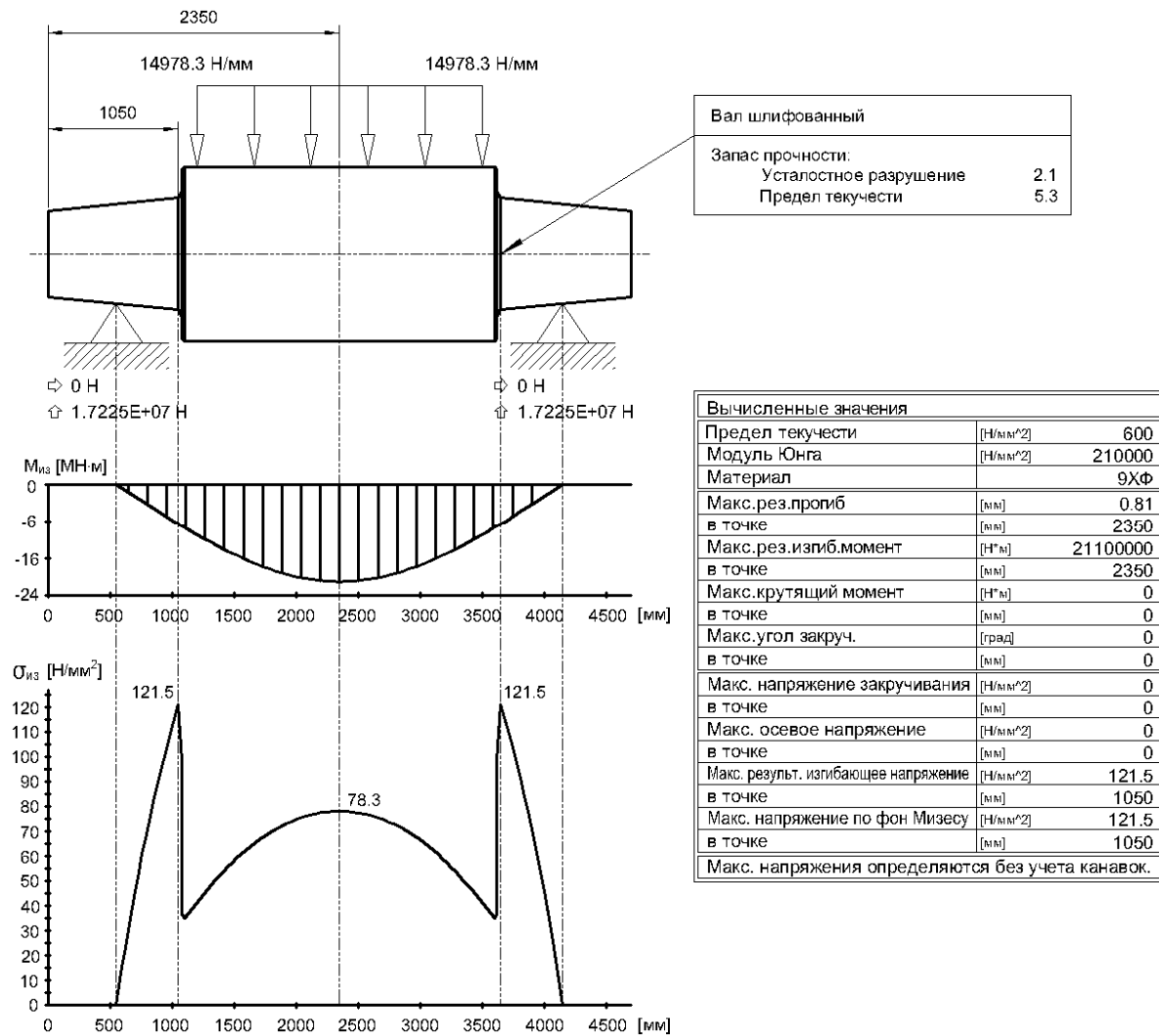


Рисунок 4.7 – Результаты розрахунку опорного валка на міцність і деформацію

Програма AutoCAD Mechanical має можливість враховувати при розрахунках міцності велику кількість концентраторів напружень, різноманітних коефіцієнтів, меж міцності, плинності і втоми при симетричних і несиметричних циклах згинання і крутіння, стану поверхні матеріалу тощо (рис. 4.8), що дозволяє виконувати розрахунки на міцність досить швидко і з великою точністю.

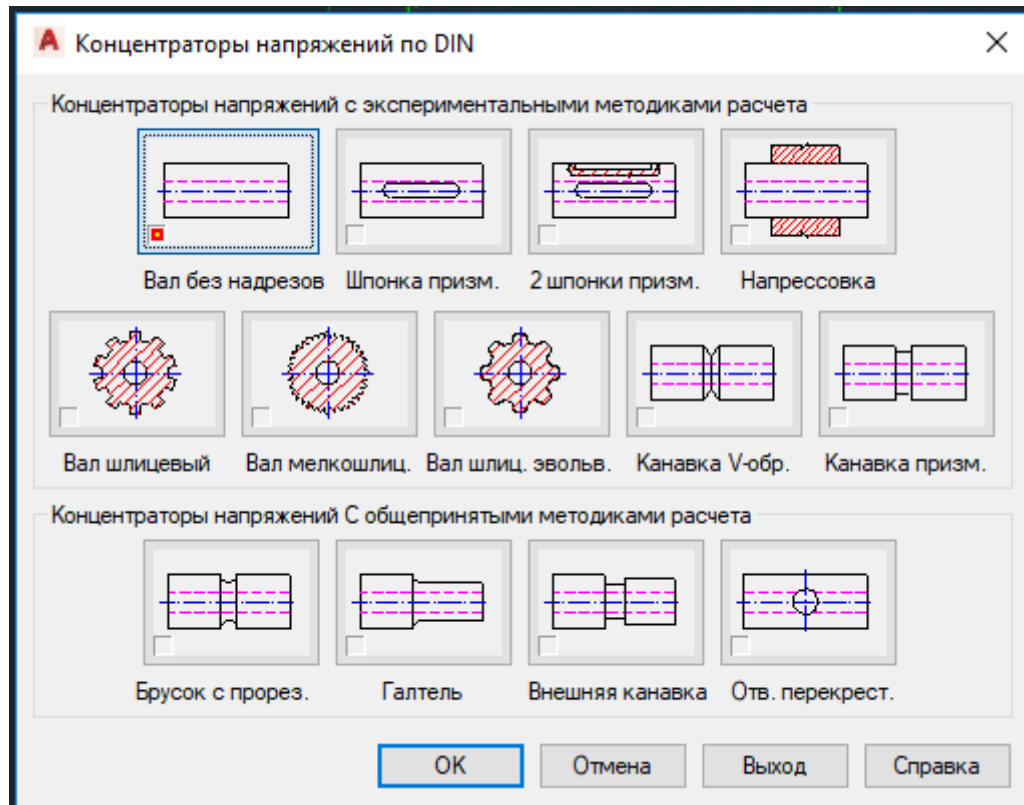


Рисунок 4.8 – Вибір концентраторів напружень в AutoCAD Mechanical при згинанні і крутінні валка

Крім того, AutoCAD Mechanical виконує розрахунок на витривалість (втомну або циклічну міцність) в будь-якому перетині валка. Для робочого і опорного валків коефіцієнт запасу втомної міцності в шийці валка по галтелі (у місці з'єднання шийки і бочки валка) відповідно дорівнює 3,2 і 2,1 (рис. 4.6 і 4.7). Мінімальне допустиме значення цього коефіцієнта 1,3 – 2,5 [6].

Таким чином, всі отримані коефіцієнти запасу міцності вище допустимого $[n]=5$, тобто всі елементи валків мають достатню міцність, а

найбільш слабкими елементами валків є шийка в місці з'єднання з бочкою валка. Цей перетин є концентратором напруження.

Прогинання валків впливає на нерівномірність товщини прокатуваної штаби по ширині і на жорсткість прокатної кліті. Прогинання опорного валка, визначене AutoCAD Mechanical (рис. 4.7 і 4.9) складає по середині бочки 0,81 мм, обчислене в літературі – 0,86 мм [5], що достатньо близько.

AutoCAD Mechanical дозволяє виконувати також оцінку напружено-деформованого стану металу методом скінчених елементів (МСЕ) [19]. Ці результати можуть бути використані для удосконалення конструкції прокатного валка. Мета методу – дати уявлення про розподіл напружень і деформацій. На рис. 4.9 (а-в) представлені результати розрахунку опорного валка МСЕ, які показують, що локалізація напружень відбувається на поверхні валка, в опорах і по галтелі, в місці з'єднання шийки і бочки валка. Умовно опори валка показані точковими, тому і напруження в них максимальне. На практиці валки встановлені на підшипниках і навантаження розподіляється по всій ширині підшипникового вузла, що можна врахувати при розрахунках в AutoCAD Mechanical.

Також було застосовано сучасну систему тривимірного моделювання для конструювання робочого валка стану кварто відповідно до схеми, зображеної на рис. 4.1. Тривимірне моделювання дозволяє проектувати і бачити деталь в об'ємі, скоротити потребу у кошових фізичних прототипах, прогнозуючи характеристики виробів за допомогою цифрових прототипів ще до виготовлення деталі на виробництві.

За допомогою розрахунків лінійних і нелінійних напружень можливо досліджувати напруження, деформації, зміщення (прогинання валка), поздовжні і поперечні навантаження, що виникають внаслідок прикладення статичних зусиль. Це дозволяє прогнозувати великі і залишкові деформації, а також залишкові напруження.

Модель аналізу напруження виконувалася на основі 3D – ескізу робочого валка, зображеного на рис. 4.10.

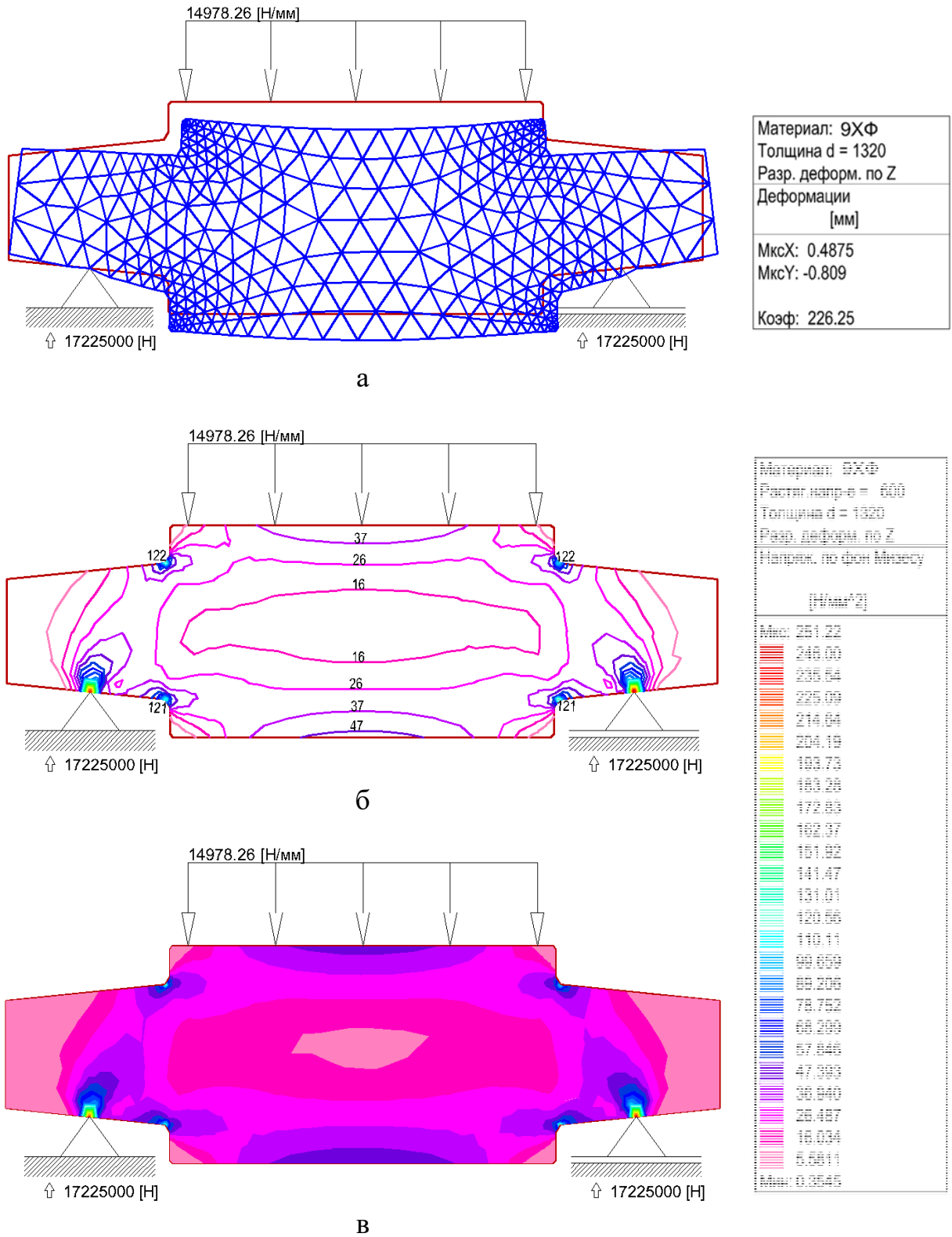


Рисунок 4.9 – Розрахунок методом скінчених елементів опорного валка на деформацію (а); ізолінії (б) і ізообласті (в) напружень у валку

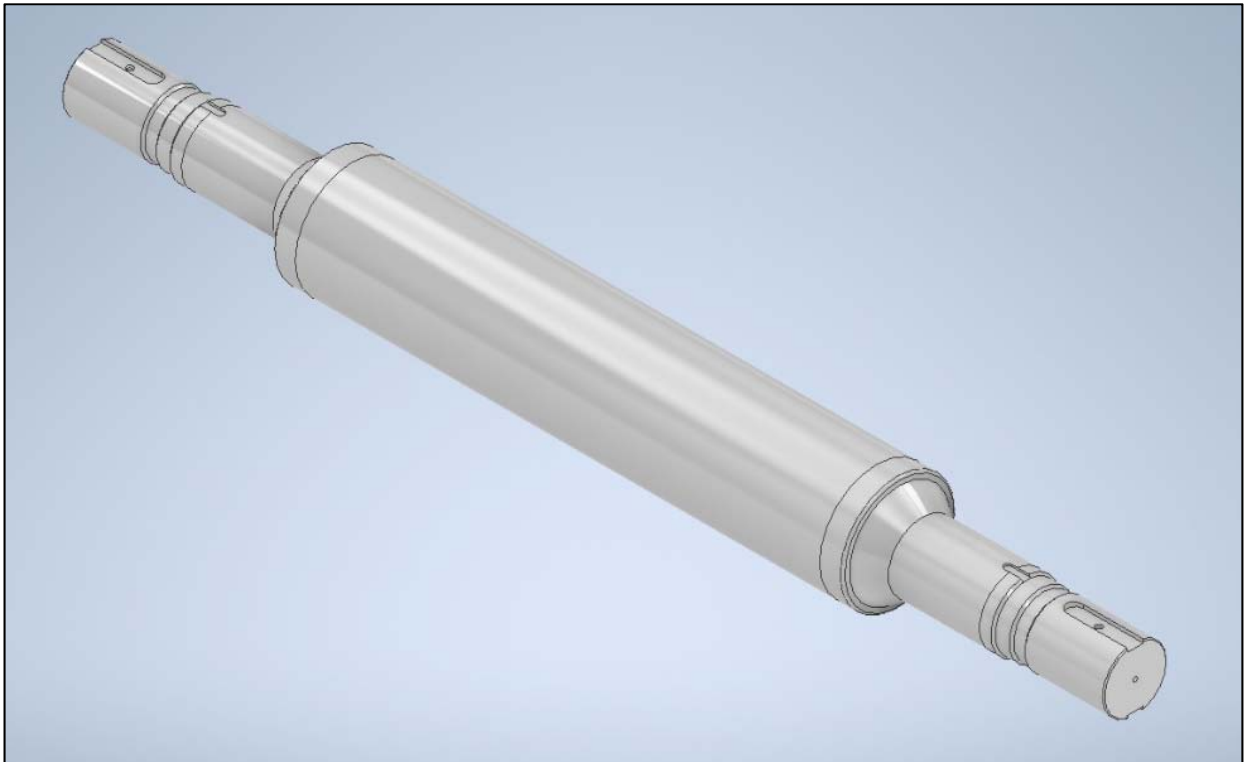


Рисунок 4.10 – Модель робочого валка відповідно до рис. 4.1

На ширину штаби 2300 мм діє сила 550 кН, реакція в опорних підшипниках, які розташовані на відстані 3100 мм відповідно 275 кН [5].

На рис. 4.11 наведено напруження, що виникають у робочому валку при прокатуванні. Як видно з рис. 4.11, максимальні напруження виникають у шийках валка (24,56 МПа) і у центральному перетині валка (51,52 МПа), що приблизно збігається з напруженнями, отриманим у вищенаведених розрахунках (рис. 4.6), а також у літературі [5].

На рис. 4.12 наведено прогинання робочого валка при прокатуванні, яке становить 0,61 мм, що приблизно збігається з літературними даними [5]. Для компенсації впливу прогинання на товщину штаби, що викликає різновтовщинність, один з робочих валків необхідно зробити випуклим (шліфувати з випуклістю 0,3 – 0,5 мм) [5].

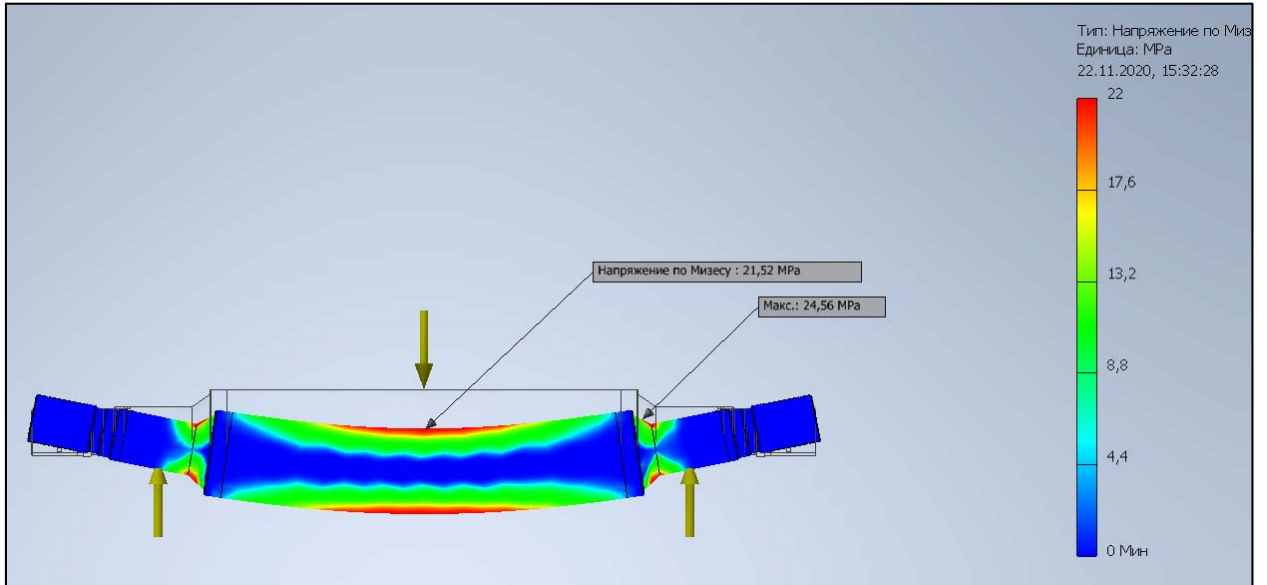
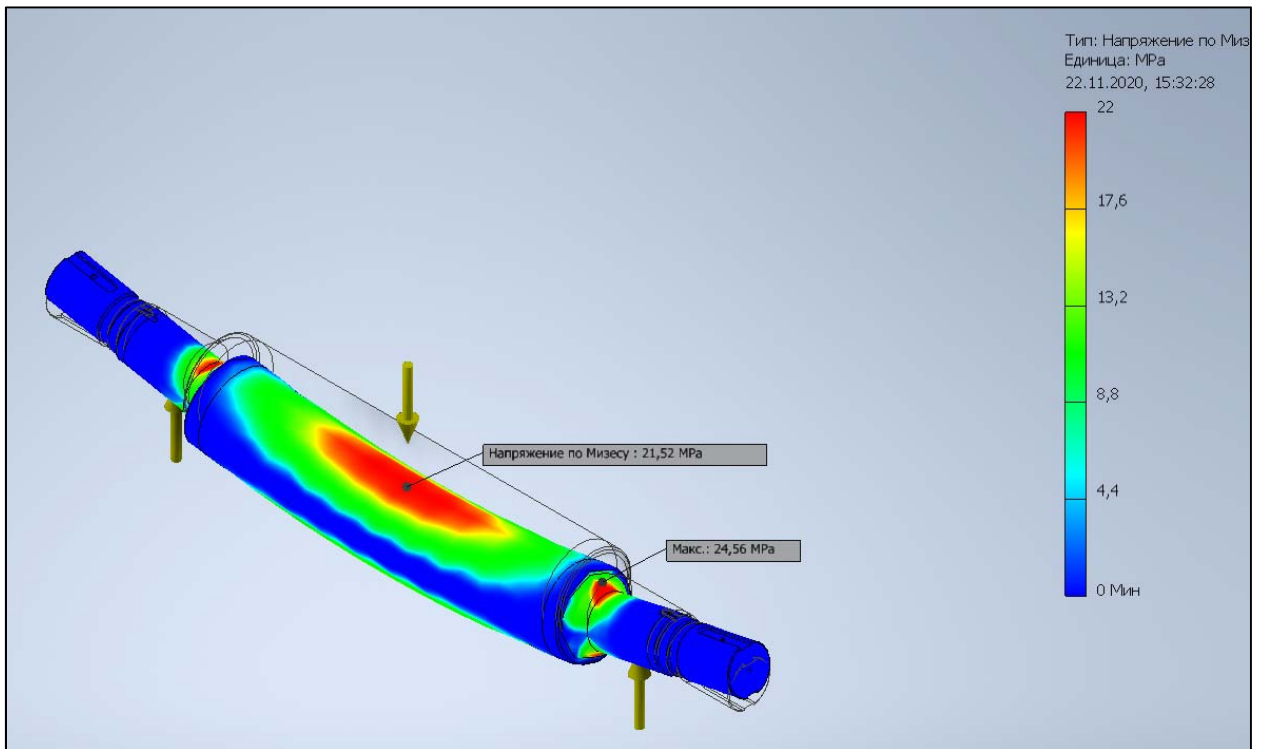


Рисунок 4.11 – Напруження, що виникають у робочому валку при прокатуванні



Продовження рис. 4.11

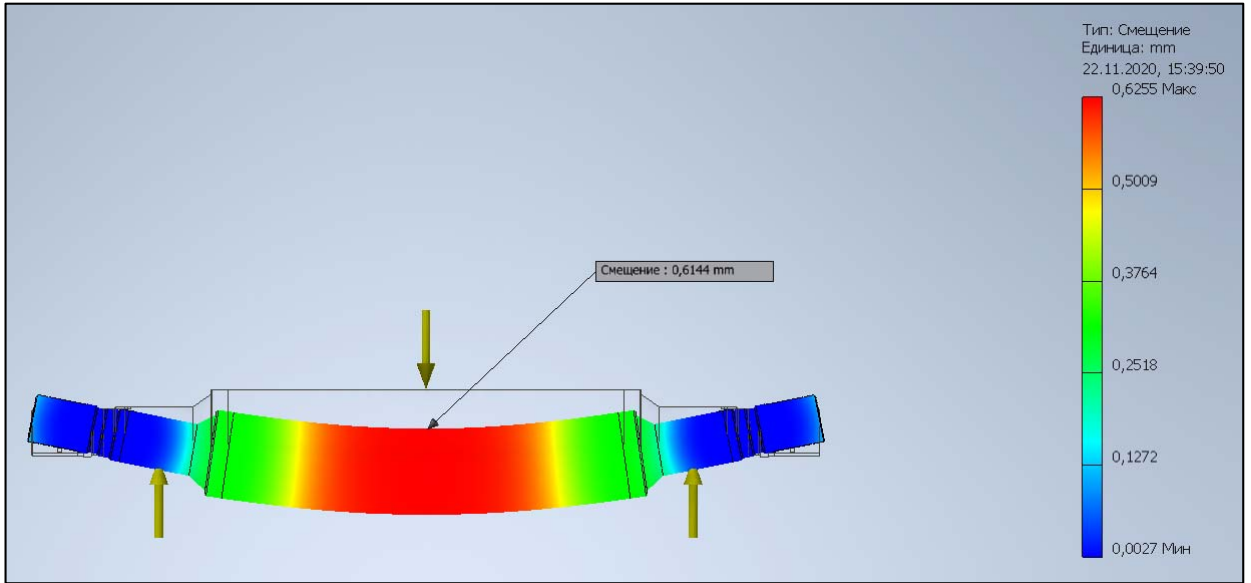


Рисунок 4.12 – Прогинання (зміщення) робочого валка при прокатуванні

5 ЕКОНОМІКА ВИРОБНИЦТВА

5.1 Розрахунок виробничої програми прокатного стану

Розрахунок виробничої програми прокатного стану проводиться за заводськими даними і за проектом [21].

Таблиця 5.1 - Початкові дані

Календарний час	365 діб
Тривалість капітального ремонту	6 діб
Тривалість ППР	24 доби
Поточні простой	15 %
Відсоток прокату марки сталі на стані	3 %
Годинна продуктивність стану	115,1 т/ рік
Середньогодинна продуктивність	123 т/ рік
Годинна продуктивність за проектом	117 т/ рік
Середньогодинна продуктивність за проектом	125 т/ рік

Визначаємо нормальний час роботи прокатного стану

$$НВ_{сут\ б} = КВ - КР, \text{ діб.}$$

$$НВ_{сут\ б} = 365 - 6 = 335 \text{ діб.}$$

Визначаємо нормальний час в годинах

$$НВ_{час\ б} = НВ_{сут\ б} \cdot 24$$

$$НВ_{час\ б} = 335 \cdot 24 = 8040 \text{ год.}$$

Визначаємо поточні простой в годинах

$$ТП_{час\ б} = (НВ_{час\ б} \cdot \%ТП) / 100\%$$

$$ТП_{час\ б} = (8040 \cdot 15) / 100 = 1206 \text{ год.}$$

Визначаємо фактичний час роботи прокатного стану

$$ФВ_{б} = НВ_{час\ б} - ТП_{час\ б}$$

$$ФВ_{б} = 8040 - 1206 = 6834 \text{ год.}$$

Визначаємо фактичний час роботи прокатного стану за маркою сталі

$$ФВ_{б.м} = \frac{ФВ_{б} \cdot \%ФВ_{м}}{100\%}, \text{ год.}$$

$$\Phi B_{б.м} = 6834 \text{ 3:100} = 205,02 \text{ год.}$$

Річний об'єм виробництва, який визначається

$$V_{б} = \Pi_{\text{ср.час}} \cdot \Phi B_{б}$$

$$V_{б} = 123 \cdot 6834 = 840582 \text{ т.}$$

Зокрема: річний об'єм виробництва по марці сталі

$$V_{б.м} = \Pi_{\text{ср час пр}} \cdot \Phi B_{\text{пр м}}$$

$$V_{б.м} = 115,1 \cdot 205,02 = 23597,80 \text{ т.}$$

Розрахунок виробничої програми за проектом.

В результаті впровадження заходів щодо скорочення поточних простоїв, останні скоротилися на 61 годину.

$$T_{\text{Пр}} = T_{\text{б}} - \Delta T_{\text{П}}$$

$$T_{\text{Пр}} = 1206 - 61 = 1145 \text{ годин}$$

Визначаємо фактичний час за проектом

$$\Phi B_{\text{пр м}} = \text{НВ} - T_{\text{Пр}}, \text{ годин}$$

$$\Phi B_{\text{пр м}} = 8040 - 1145 = 6895 \text{ годин}$$

$$\Phi B_{\text{пр.м}} = \frac{\Phi B_{\text{пр}} \cdot \% \Phi B_{\text{м}}}{100\%}, \text{ год.}$$

$$\Phi B_{\text{пр.м}} = 6895 \text{ 3:100} = 206,85 \text{ год.}$$

Річний об'єм за проектом

$$V_{\text{пр}} = \Pi_{\text{ср час пр}} \cdot \Phi B_{\text{пр}}$$

$$V_{\text{пр}} = 125 \cdot 6895 = 861875 \text{ т}$$

Зокрема річний об'єм по марці сталі

$$V_{\text{пр.м}} = \Pi_{\text{час}} \cdot \Phi B_{\text{пр. м}}$$

$$V_{\text{пр.м}} = 117 \cdot 206,85 = 24203,8 \text{ т}$$

Коефіцієнт зростання об'єму виробництва, який визначається

$$K_{\text{р}} = V_{\text{пр}}/V_{\text{б}}$$

$$K_{\text{р}} = 861875:840582 = 1,025$$

Коефіцієнт зростання об'єму виробництва, по марці сталі

$$K_{\text{р}} = V_{\text{пр}}/V_{\text{б}}$$

$$K_{\text{рм}} = 24201,45: 23597,80 = 1,025$$

Приріст обсягів виробництва

$$\Delta V = V_{\text{пр}} - V_{\text{б}}$$

$$\Delta V = 861875 - 840582 = 21293 \text{ т}$$

Приріст обсягів виробництва досягається за рахунок:

Зокрема: приріст обсягів виробництва по марці сталі

$$\Delta V_{\text{м}} = V_{\text{пр.м}} - V_{\text{б.м}}$$

$$\Delta V_{\text{м}} = 358971,12 - 350085,036 = 8886,084 \text{ т}$$

1) підвищення фактичного часу роботи в результаті зниження поточних простоїв

$$\Delta \Phi В = \Phi В_{\text{пр}} - \Phi В_{\text{б}}, \text{ год.}$$

$$\Delta \Phi В = 6895 - 6834 = 61 \text{ год.}$$

У тому числі за маркою сталі

$$\Delta \Phi В_{\text{м}} = \Phi В_{\text{пр.м}} - \Phi В_{\text{б.м}}, \text{ час}$$

$$\Delta \Phi В_{\text{м}} = 206,85 - 205,02 = 1,85 \text{ годин}$$

Приріст обсягів виробництва за рахунок підвищення $\Delta \Phi В$

$$\Delta V = \Delta \Phi В \cdot П_{\text{ср.час}}, \text{ т}$$

$$\Delta V = 61 \cdot 123 = 7503 \text{ т}$$

У тому числі за маркою сталі

$$\Delta V_{\text{м}} = \Delta \Phi В_{\text{м}} \cdot П_{\text{час}}, \text{ т}$$

$$\Delta V_{\text{м}} = 1,85 \cdot 115,1 = 213 \text{ т}$$

2) підвищення середньогодинної продуктивності

$$\Delta П_{\text{ср.час}} = \Delta П_{\text{ср.час пр}} - \Delta П_{\text{ср.час б}}, \text{ т/рік}$$

$$\Delta П_{\text{ср.час}} = 125 - 123 = 2 \text{ т/рік}$$

Приріст годинної продуктивності по марці сталі

$$\Delta П_{\text{час}} = \Delta П_{\text{час пр}} - \Delta П_{\text{час б}}, \text{ т/рік}$$

$$\Delta П_{\text{час}} = 117 - 115,1 = 1,9 \text{ т/рік}$$

Приріст об'єму виробництва за рахунок збільшення середньогодинної продуктивності

$$\Delta V \Delta П_{\text{ср.час}} = \Delta П_{\text{ср.час}} \cdot \Phi В_{\text{пр}}, \text{ т}$$

$$\Delta V \Delta П_{\text{ср.час}} = 2 \cdot 6895 = 13790 \text{ т}$$

Приріст об'єму виробництва за рахунок збільшення середньогодинної продуктивності за маркою сталі

$$\Delta V \Delta \Pi_{\text{час}} = \Delta \Pi_{\text{час}} \cdot \Phi B_{\text{пр.м, т}}$$

$$\Delta V \Delta \Pi_{\text{час}} = 1,9 \cdot 206,85 = 393 \text{ т.}$$

Перевірка

$$\Delta V_{\text{пр}} - V_{\text{б}} = \Delta V \Delta \Phi B + \Delta V \Delta \Pi_{\text{ср час}}$$

$$861875 - 840582 = 7503 + 13790$$

$$21293 = 21293$$

$$0 = 0$$

За наслідками розрахунку складаємо таблицю розрахунку виробничої програми прокатного стану.

Таблиця 5.2 - Розрахунок виробничої програми прокатного стану

Найменування показників	Од. вим.	По вихідним, даним	По проекту	Відхилення		
				усього	за рахунок часу	за рахунок продукт.
Календарний час	доб.	365	365			
Капітальний ремонт	доб.	6	6			
ППР	доб.	24	24			
Номінальний час	доб.	335	335			
Номінальний час	година	8040	8040			
Поточні простої	%	15	14			
Поточні простої	година	1206	1145	61		
Фактичний час	година	6834	6895	61		
Фактичний час за маркою сталі	година	205,02	206,85	1,85		
Середньогодинна продуктивність	т/рік	123	125	2		
Годинна продуктивність	т/рік	115,1	117	1,9		
Річний об'єм виробництва	т	840582	861875	21293	7503	13790
Річний об'єм виробництва по марці сталі	т	23597,8	24203,8	606	213	393
$K_{\text{р.м}}$			1,025			

5.2 Розрахунок собівартості 1 тони прокату

Розрахунок собівартості 1 т прокату здійснюємо паралельно по даними підприємства і за проектом. Розрахунок здійснимо табличним методом [21].

Таблиця 5.3 - Розрахунок заданого

Найменування	За початковими даними			По проекту			Відхилення, грн
	кіль- кість, т	ціна, грн	сума, грн	кіль- кість, т	ціна грн	сума, грн	
Задано - рулони	1,186	1710,48	2028,63	1,18	1710,48	2018,36	10,27

Таблиця 5.4 - Розрахунок відходів

Найменування	За початковими даними			За проекту			Відхилення грн
	кільк. т	ціна грн	сума, грн	кільк. т	ціна грн	сума, грн	
Обріз	0,175	700	122,50	0,170	700	119	3,5
Чад	0,011	-	-	0,011	-	-	-
Разом:	0,186	-	122,50	0,18	-	119	3,5

На підставі проведених розрахунків визначаємо суму заданого за вирахуванням відходів.

Таблиця 5.5 - Розрахунок заданого за вирахуванням відходів

Найменування	За початковими даними		За проектом		Відхилення грн
	кільк. т	сума, грн	кільк. т	сума, грн	
Задано - рулони	1,186	2028,63	1,18	2018,36	10,27
Відходи	0,186	122,50	0,18	119	0,7
Задано за вирахуванням відходів	1,000	1906,13	1,000	1899,36	6,77

Розрахунок витрат по переділу

Для початкових даних беремо витрати по переділу із заводської калькуляції собівартості 1 тони прокату, оскільки за проектом річний об'єм виробництва збільшився, за собівартістю 1 тони прокату зменшиться за рахунок зменшення умовно-постійних частин витрат по переділу. Відсоток розподілу витрат на умовно-постійні і змінні беремо за даними заводу.

Таблиця 5.6 - Відсоток розподілу витрат по переділу на умовно-постійні і умовно-змінні

Статті витрат	Умовно-постійні, %	Умовно-змінні, %
Паливо технологічне	60	40
Енерговитрати	90	10
Електроенергія	35	65
Вода	35	65
Кисень стислий	60	40
Стисле повітря	60	40
Додаткові матеріали	85	15
Зарплата додаткових робочих	70	30
Відрахування на соцстрах	75	25
Інвентар	85	15
Утримання основних засобів	15	85
Поточний ремонт	15	85
Транспортні витрати	70	30
Амортизаційні відрахування	-	100
Загальновиробничі витрати	-	100

Розрахуємо зміни витрат по переділу, пов'язані із зростанням об'єму виробництва:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{ф}} \cdot D_{\text{пер}} + \frac{Z_{\text{ф}} \cdot D_{\text{пост}}}{K_{\text{р.м}}}, \text{ грн}$$

де $Z_{\text{ф}}$ - витрати по кожній статті за проектом і за фактичними даними, грн;
 $K_{\text{р}}$ - коефіцієнт зростання об'єму виробництва по марці сталі (таблиця 5.2).

Витрати на паливо

$$Z_{\text{пр}} = 22,42 \cdot 0,6 + 22,42 \cdot 0,4 : 1,025 = 13,452 + 8,749 = 22,201 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію

$$Z_{\text{пр}} = 27,20 \cdot 0,9 + 27,20 \cdot 0,1 : 1,025 = 24,48 + 2,653 = 27,133 \text{ грн}$$

Витрати на воду

$$Z_{\text{пр}} = 3,30 \cdot 0,35 + 3,30 \cdot 0,65 : 1,025 = 1,155 + 2,092 = 3,247 \text{ грн}$$

Витрати на пару

$$Z_{\text{пр}} = 8,81 \cdot 0,6 + 8,81 \cdot 0,4 : 1,025 = 5,286 + 3,438 = 8,724 \text{ грн}$$

Витрати на стисле повітря

$$Z_{\text{пр}} = 7,08 \cdot 0,6 + 7,08 \cdot 0,4 : 1,025 = 4,248 + 2,762 = 7,011 \text{ грн}$$

Витрати на захисний газ

$$Z_{\text{пр}} = 5,86 \cdot 0,6 + 5,86 \cdot 0,4 : 1,025 = 3,516 + 2,286 = 5,802 \text{ грн}$$

Витрати на допоміжні матеріали

$$Z_{\text{пр}} = 35,50 \cdot 0,85 + 35,50 \cdot 0,15 : 1,025 = 30,175 + 5,195 = 35,37 \text{ грн}$$

Витрати на зарплату виробничих робочих

$$Z_{\text{пр}} = 10,90 \cdot 0,7 + 10,90 \cdot 0,3 : 1,025 = 7,63 + 3,190 = 10,82 \text{ грн}$$

Витрати на відрахування на соцстрах

$$Z_{\text{пр}} = 3,92 \cdot 0,75 + 3,92 \cdot 0,25 : 1,025 = 2,94 + 0,956 = 3,896 \text{ грн}$$

Витрати на змінне устаткування

$$Z_{\text{пр}} = 18,10 \cdot 0,85 + 18,10 \cdot 0,15 : 1,025 = 15,385 + 2,648 = 18,033 \text{ грн}$$

Витрати на поточний ремонт

$$Z_{\text{пр}} = 52,58 \cdot 0,15 + 52,58 \cdot 0,85 / 1,025 = 7,887 + 43,602 = 51,489 \text{ грн}$$

Витрати на утримання основних засобів

$$Z_{\text{пр}} = 24,04 \cdot 0,15 + 24,04 \cdot 0,85 : 1,025 = 3,606 + 19,935 = 23,541 \text{ грн}$$

Витрати на транспортні витрати

$$Z_{\text{пр}} = 0,86 \cdot 0,7 + 0,86 \cdot 0,3 : 1,025 = 0,602 + 0,251 = 0,853 \text{ грн}$$

Витрати на амортизаційні відрахування

$$Z_{\text{пр}} = 8,02 \cdot 1 : 1,025 = 7,824 \text{ грн}$$

Витрати на додаткову амортизацію

$$Z_{\text{пр}} = (40228635 \cdot 15) : 100 \cdot 0,03 : 24203,8 = 7,479 \text{ грн}$$

Витрати на загальнопромислові витрати

$$Z_{\text{пр}} = 29,43 \cdot 1 : 1,025 = 5,805 \text{ грн}$$

Витрати на інші цехові витрати

$$Z_{\text{пр}} = 23,56 \cdot 0,15 + 23,56 \cdot 0,85: 1,025 = 3,534 + 19,537 = 23,071 \text{ грн}$$

Кількість палива і енерговитрат за проектом визначають по наступній формулі:

$$K = Z_{\text{проект}} / \text{ціна}$$

Таблиця 5.7 - Розрахунок витрат по переділу

Найменування статей витрат	За початковими даними			За проектом			Відхилення грн
	кільк. т	ціна грн	сума грн	кільк. т	ціна грн	сума грн	
Паливо технологічне, тис. м ³	0,052	431,09	22,42	0,0515	431,09	22,201	0,219
Енерговитрати:							
Електроенергія, тис. кВт·ч	0,095	286,28	27,20	0,0947	286,28	27,133	0,067
Вода, тис. м ³	0,02	164,81	3,30	0,0197	164,81	3,247	0,053
Пара тис.м ³	0,107	82,33	8,81	0,1059	82,33	8,724	0,086
Стисле повітря тис.м ³	0,196	36,10	7,08	0,194	36,10	7,011	0,069
Захисний газ	0,020	293,19	5,86	0,0197	293,19	5,802	0,058
Разом			52,25			51,91	0,34
Допоміжне устаткування			35,50			35,37	0,13
Зарплата			10,90			10,82	0,08
Відрахування на соцстрах			3,92			3,896	0,024
Змінне устаткування			18,10			18,033	0,067
Утримання основних засобів			24,04			23,541	0,499
Транспортні витрати			0,86			0,853	0,007
Амортизація основних засобів			8,02			7,824	0,196
Додаткова амортизація						7,479	7,479

Загально виробничі витрати			29,43			28,712	0,718
Інші цехові витрати			23,56			23,071	0,489
Поточний			52,58			51,489	1,091
Витрати по переділу			281,58			285,199	3,619

На підставі виконаних розрахунків складаємо калькуляцію 1 т прокату:

Таблиця 5.8 - Калькуляція собівартості 1 тони прокату (сталь 08Ю)

Найменування	Сума за вихідними даними, грн	Сума за проектом, грн	Відхилення, грн
Задано	2028,63	2018,36	10,27
Відходи	122,50	119	3,5
Задано за вирахуванням відходів	1906,13	1899,36	6,77
Витрати по переділу	281,58	285,199	3,61
Виробнича собівартість 1 т прокату	2187,71	2184,56	3,15

5.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження устаткування

Складаємо таблицю показників роботи стану до і після впровадження устаткування (табл. 5.9) [21].

Визначаємо додаткову економію палива:

$$\Delta \mathcal{E} = (H_{p1} - H_{p2}) \cdot \mathcal{C}$$

де H_{p1} , H_{p2} - витрата палива на 1 т металу; \mathcal{C} - ціна палива.

$$\Delta \mathcal{E} = (0,033 - 0,019) \cdot 431,09 = 6,035$$

Визначаємо додаткові витрати на електроенергію:

$$\Delta \mathcal{E} = (H_{p2} - H_{p1}) \cdot \mathcal{C}$$

де H_{p1} , H_{p2} - витрата електроенергії на 1 т металу; \mathcal{C} - ціна електроенергії.

$$\Delta \mathcal{E} = (0,021 - 0,0175) \cdot 286,28 = 1,002$$

Таблиця 5.9 - Показники роботи стану до і після впровадження устаткування

Найменування	До впровадження устаткування	Після впровадження устаткування
ВОСВ витяжка %	40	45
ОСВ витяжка %	60	55
Ціна 1 тони сталі з витяжкою ВОСВ, грн.	2364	2364
Ціна 1 тони сталі з витяжкою ОСВ, грн.	2264	2264
Об'єм виробництва, т.	861875	861875

ВОСВ – за ДСТУ «вельми особливо складна витяжка»; ОСВ – «особливо складна витяжка».

Визначаємо прибуток до впровадження устаткування по формулі:

$$П_{до} = (Ц_{2к} - С_1) \cdot V_{2к} + (Ц_{1к} - С_1) \cdot V_{1к}, \text{ грн};$$

де:

$Ц_{2к}$ - ціна сталі з ОСВ витяжкою до впровадження устаткування, грн;

$Ц_{1к}$ - ціна сталі з витяжкою ВОСВ до впровадження устаткування, грн;

$С_1$ - собівартість 1 тони прокату за початковими даними, грн;

$V_{2к}$ - об'єм виробництва сталі з витяжкою ОСВ до впровадження устаткування, т;

$V_{1к}$ - об'єм виробництва сталі з ВОСВ витяжкою до впровадження устаткування.

Об'єм виробництва сталі, що визначається, з витяжкою ОСВ до впровадження устаткування:

$$V_{2к} = \frac{V_{пр} \times D_{2до}}{100}, \text{ т};$$

де: $V_{пр}$ - загальний річний об'єм виробництва, т; $D_{2до}$ - частина сталі з ОСВ витяжкою до впровадження устаткування %.

$$V_{2к} = \frac{861875 \times 60}{100} = 517125 \text{ т.}$$

Визначаємо обсяг виробництва сталі з витяжкою ВОСВ до впровадження обладнання

$$V_{1к} = \frac{V_{пр} \times D_{1до}}{100}, \text{ т};$$

де: $V_{пр}$ - загальний річний об'єм виробництва, т; $D_{1до}$ - частина сталі з ВОСВ витяжкою до впровадження устаткування %.

$$V_{2к} = \frac{861875 \times 40}{100} = 344750 \text{ т.}$$

$$P_k = (2264 - 2187,71) \cdot 517125 + (2364 - 2187,71) \cdot 344750 = 100227443,75 \text{ грн};$$

Визначаємо прибуток після впровадження обладнання за формулою

$$P_{\text{после}} = (C_{II \text{ после}} - C_2) \cdot V_{2 \text{ после}} + (C_{I \text{ после}} - C_2) \cdot V_{1 \text{ после}}, \text{ грн},$$

де C_2 – собівартість 1 тони прокату по проекту, грн; $V_{2 \text{ после}}$ – обсяг виробництва сталі з витяжкою ОСВ після впровадження обладнання, т; $V_{1 \text{ после}}$ – обсяг виробництва сталі з витяжкою ВОСВ після впровадження обладнання, т.

Визначаємо обсяг виробництва сталі з витяжкою ВОСВ після впровадження обладнання

$$V_{2\text{после}} = \frac{V_{пр} \times D_{2\text{после}}}{100}, \text{ т};$$

де: $V_{пр}$ - загальний річний об'єм виробництва, т; $D_{2\text{после}}$ - частина сталі з ОСВ витяжкою після впровадження устаткування %.

$$V_{2\text{после}} = \frac{861875 \times 50}{100} = 430937,5 \text{ т.}$$

Визначаємо обсяг виробництва сталі з ВОСВ витяжкою після впровадження обладнання

$$V_{1\text{после}} = \frac{V_{пр} \times D_{1\text{после}}}{100}, \text{ т};$$

де: $V_{пр}$ - загальний річний об'єм виробництва, т; $D_{1\text{после}}$ - частина сталі з ВОСВ витяжкою після впровадження устаткування %.

$$V_{1\text{после}} = \frac{861875 \times 45}{100} = 387843,75 \text{ т.}$$

$$P_{\text{после}} = (2264 - 2184,56) \cdot 430937,5 + (2364 - 2184,56) \cdot 387843,75 = 103828357,5 \text{ грн};$$

Визначуваний економічний ефект від впровадження устаткування:

$$\mathcal{E}_\phi = \Pi_{\text{после}} - \Pi_{\text{до}}, \text{ грн};$$

$$\mathcal{E}_\phi = 103828357,5 - 100227443,75 = 3600913,75 \text{ грн};$$

Визначуваний термін окупності устаткування:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{обл}}}{\mathcal{E}_\phi};$$

де: $C_{\text{обл.}}$ - ціна устаткування, $C_{\text{обл.}} = 40228635$ грн;

$$T_{\text{ок}} = \frac{40228635}{3600913,75} = 10 \text{ років.}$$

Висновок: прибуток отримано за рахунок зменшення собівартості 1 тони прокату в результаті збільшення об'єму виробництва. За рахунок впровадження нового устаткування збільшилося виробництво сталі з ВОСВ витяжкою, відповідно, зменшилося з ОСВ витяжкою.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

ЦХП - 1 відноситься до Пб категорії за ГОСТ 12.1.005-88, тому що витрат енергії робітника становить приблизно 178 ккал/год.

Слід зазначити, що умови роботи вальцювальників на безперервному стані холодної прокатки «1680» ускладняється тим, що їхня робоча зона розташована в безпосередній близькості до стана і незахищена закритою кабіною. Через застосування постійно, що розширюється асортиментів, мастил, необхідні для забезпечення високошвидкісного процесу, у повітрі робочої зони можливе надходження низьке- і високомолекулярних жирних кислот, окису вуглецю, хлору, аерозолі масла. Це вимагає устаткування безперервного стана холодної прокатки «1680» місцевою витяжкою, вентиляцією. Технічні засоби безпеки на стані холодної прокатки повинні забезпечувати захист працюючих від підвищеного рівня шуму (екрани, пульти керування, шумозахисні кабіни), а також виключати можливість:

- ведення процесу при несправності кінцевих вимикачів, пристроїв заземлення, огорожень робітників;
- вимикання стана при перебуванні працюючих у небезпечній зоні біля стана.

У запобігання травмування повинні бути виключені всі роботи з ручним завданням або іншими операціями на стані. Спостерігаються випадки травмування частинами валків, які відлітають, і ін. частками. Через неякісний метал і порушення технології підготовки валків можливо їхнє руйнування, що може стати причиною травмування працюючих.

На безперервному стані холодної прокатки «1680» такі шкідливі фактори, як теплове випромінювання і вібрація відсутні.

На безперервному стані холодної прокатки «1680» застосуємо безперервний процес прокатки, тобто метал перебуває відразу у всіх клітках, які зменшують час процесу прокатки й кількість допоміжних операцій, це зменшує можливі випадки травматизму.

Вальцювальники і їх підручні повинні дотримувати ряду правил техніки безпеки [22].

Насамперед, це стосується робіт, пов'язаних з перебуванням працюючих біля робочої клітки стана: перевалки, зачищення, чищення емульсійного колектору. Варто змити в клітці залишки масла або емульсії, покласти вниз дошки й після цього приступитися до роботи. Перед пуском стана вальцювальник повинен переконається у відсутності людей у небезпечній зоні біля стана, справності кнопки аварійної зупинки. Біля стана не повинне бути обривів, деталей стана. Проходи повинні бути вільні, підлога сухих і чистий, перекриттів гофрованими металевими плитами. Необхідно перевірити справність захисних корпусів, які заземлюють електродвигуни й апаратури, а також огороження, прийомного стола, стелажів, кріплень що рухаються й обертаються.

Пари змазуючо-охолодної рідини, можуть викликати роздратування слизової оболонки верхніх дихальних шляхів.

Травмонебезпечні операції по стропуванню і перевезенню валків на візку; остання повинна завантажуватися не вище ботів. При стропуванні і знятті валків працюючі повинні стояти збоку візка.

На ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680», внаслідок роботи устаткування, виникає підвищений шум 90...92 дБА при нормі 85 дБА ГОСТ 12.1.003-83.

Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу наведена в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Оцінка факторів виробничого і трудового процесу

Робоче місце – вальцювальник

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактору за зміну, %
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ <u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						90
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		
	<u>III клас небезпеки</u>						90
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
	Масла мінеральні	5	6,78	1,36			
2	Пил переважно фиброгенної дії мг/м ³	4,0	4,8	1,2			95
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ.						
4	Шум, дБА	85	92		7		90
5	Інфразвук дБ						
6	Ультразвук дБ						
7	Іонізуюче випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м; - діапазон промислової частоти, кв/м; - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²						
8	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря ⁰ С;	16-27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,2-0,5	0,5				
	- відносна вологість повітря, %;	70-60	40				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²						
9	Температура навколишнього повітря(під час роботи на відкритому повітрі), ⁰ С: - улітку - узимку						
10	Атмосферний тиск						
11	Вага й напруженість праці.						

ВИСНОВКИ

1. У загальній частині роботи наведена технологія виробництва холоднокатаних штаб в цеху холодної прокатки ЦХП-1 меткомбінату «Запоріжсталь». Розглянуто основні технічні характеристики обладнання цеху. Наведено аналіз параметрів режиму деформації на НСХП 1680, вибір обтиснення в першій і останній клітях стана, вибір натягання штаби і температурних умов прокатки. Виконано аналіз вузьких місць та запропоновано заходи щодо реконструкції, зокрема використання валків з регулярним рельєфом поверхні.

Встановлено, що насічені валки з подовжніми западинами (рельєф 3 і 4 на рис. 1.8) мають оптимальний рельєф, який забезпечує максимальну витяжку штаби при однаковій шорсткості поверхні валків і дозволяє підвищити стійкість штаби проти зсуву на край бочки.

За літературними джерелами встановлено, що розроблена фірмою SMS-DEMGAG технологія SVC (безперервна зміна профілю штаби) забезпечує найкращу якість штаби щодо площинності. Така технологія закладена у проект реконструкції прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь».

2. У дослідницько - розрахунковій частині виконано дослідження і розрахунок енергосилових параметрів при холодному прокатуванні тонких штаб. Розроблено блок-схему, програму і виконано розрахунок контактних напружень в осередку деформації у програмному комплексі Mathcad Prime 5. Досліджено вплив коефіцієнта тертя, діаметра валків і натягання штаби на величину і характер розподілу контактних напружень в осередку деформації. Отримано графічні залежності, які показали відповідність до літературних даних.

Виконано розрахунки залежності довжини дуги захвату і кута захвату від величини обтиснення і діаметра валків. Побудовано графіки (у т.ч. 3D контурні), які підтвердили, що зі збільшенням обтиснення і діаметра валків довжина дуги захвату і кут захвату збільшуються.

Розрахунки випередження і швидкості виходу штаби з валків показали, що останні підвищуються з підвищенням переднє натягнення штаби.

3. У технологічній частині наведена методика визначення оптимальної продуктивності і техніко-економічних показників сучасних неперервних тонкоштабових станів холодної прокатки. Визначено вплив основних параметрів прокатки на продуктивність стана, а саме, швидкості прокатки, маси рулонів, темпів розгону і гальмування двигунів головного приводу, зниженої швидкості проходження зварних швів, часу допоміжних і заправочних операцій, маси гарячекатаних рулонів перед зварюванням, товщини і ширини штаби, що прокатується. Для станів основних типів визначено граничні швидкості прокатки, перевищення яких призводить до зниження продуктивності стана.

4. У механічній частині виконано розрахунок валків кліті кварто на міцність і деформацію із застосуванням програмного комплексу AutoCAD Mechanical 2020. Використання генераторів компонентів і розрахункових модулів AutoCAD Mechanical дозволяє автоматизувати багато стандартних проектних завдань, виконувати розрахунки відповідно до міжнародних стандартів DIN або ANSI і значно скоротити час виконання розрахунків на міцність і деформацію валків прокатних станів. Порівняння даних, отриманих в AutoCAD Mechanical, показує їх відповідність з літературними даними, отриманими розрахунковим шляхом. Реалізація алгоритму MCE дозволяє враховувати в розрахунках різні властивості матеріалів і різноманітні граничні умови для областей зі складною конфігурацією, наочно представити результати розрахунків. Показано що програмний комплекс AutoCAD Mechanical 2020 може бути використаний при розрахунку валків робочих клітей прокатних станів, а також при аналізі напружень, деформацій, зміщення (прогинання валків), поздовжніх і поперечних навантажень, що виникають внаслідок прикладення статичних зусиль при прокатуванні штаб (тривимірне моделювання).

5. У розділі «Економіка виробництва» розраховано виробничу програму неперервного прокатного стану 1680 за діючою і запропонованою технологією. Виконано розрахунок собівартості 1 тони прокату і економічного ефекту від впровадження устаткування. Прибуток отримано за рахунок зменшення собівартості 1 тони прокату в результаті збільшення об'єму виробництва. Термін окупності устаткування складе 10 років, економічний ефект від впровадження устаткування 3,6 млн. грн/рік.

6. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» виконано аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища та оцінку факторів виробничого і трудового процесу на робочому місці вальцювальника.

7. Матеріали магістерської роботи опубліковано у збірнику наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2020» / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2020. – Т.5. – с. 129 - 131.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Николаев В. А.** Напряжения, деформации и служба валков в клети кварто : монография. Запорожье : ЗГИА, 2018. 190 с.
2. **Грудев А. П.** Теория прокатки : учебн. пособ. Москва : Metallurgy, 1988. 240 с.
3. **Николаев В. А.** Холодная прокатка полос : Ч.2. Учебн. пособ. Запорожье : ЗГИА, 2014. 241 с.
4. **Бахтинов В. Б.** Технология прокатного производства : монография. Москва : Metallurgy, 1983. 488 с.
5. **Королев А. А.** Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов : учебн. пособ. Москва : Metallurgy, 1985. 376 с.
6. **Целиков А. И.** Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката : учебник для ВУЗов. Москва : Metallurgy, 1988. 680 с.
7. **Коновалов Ю. В.** Справочник прокатчика. Справочное издание в 3-х книгах. Книга 2. Производство холоднокатаных листов и полос : справочник. Москва : «Теплотехник», 2008. 608 с.
8. **Железнов Ю. Д.** Системные основы интенсификации производства широкополосной стали : монография. Москва : Metallurgy, 1986. 152 с.
9. **Николаев В. А.** Процессы обработки металлов давлением : монография. Запорожье : Акцент Инвест – трейд, 2014. 192 с.
10. **Скляр В. О.** Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии : уч. пособие. Донецк : ДонНТУ, 2014. 224 с.
11. **Делюсто Л .Г.** Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях : монография. Москва : Машиностроение, 2005. 272 с.
12. **Химич Г. Л., Третьяков А. В., Гарбер Э. А., Макарова М. А.** Оптимальная производительность станов холодной прокатки : монография. Москва : Metallurgy, 1970. 240 с.

13. **Очков В. Ф.** Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов : монография. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2007. 368 с.
14. **Шестаков Н. А.** Расчеты процессов обработки металлов давлением в Mathcad (решение задач энергетическим методом) : монография. Москва : МГИУ, 2008. 333 с.
15. **Проскурович О. В.,** Бойчук В.А. Комп'ютерні технології економічного аналізу : навч. посіб. Львів : Новий Світ, 2012. 310 с.
16. **Цепин М. А.** Использование специализированных программ при разработке технологических процессов обработки металлов давлением / М.А. Цепин, В.В. Бегнарский, Н.Л. Лисунец, М.В. Сеницын, М.А. Ерохов // Цветные металлы. – 2007. - № 5. – С. 98 – 101.
17. **Большаков В. П.,** Бочков А. Л. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor : монография. Санкт-Петербург : Питер, 2013. 304 с.
18. **Грицына Н. И.** Проектирование деталей машин с использованием генераторов компонентов и расчетных модулей Autodesk Inventor / Н.И. Грицына // Вестник ХНАДУ. – 2015. – Вып. 69. – С. 13 – 18.
19. **Боровік П. В.** Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів : навч. посіб. Алчевськ : ДонДТУ, 2012. 170 с.
20. **Федорченков А. П.,** Кимаев А. М. AutoCAD Mechanical : практическое руководство. Москва : «ТехБук», 2004. 688 с.
21. **Нурсеитов Б. М.** Экономика металлургического предприятия : учебн. пособ. Караганда : изд-во КарГУ, 2009. 297 с.
22. **Жидецкий В. Ц.,** Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда : учебн. пособ. Львов : Афиша, 2000. 351 с.

ДОДАТОК А**Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи**

«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

ЗБІРНИК
наукових праць студентів,
аспірантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2020»

Том V

«Секції Інженерного інституту ЗНУ»

Запоріжжя
2020

<https://metallurgist.pro/primenenie-karbida-kaltsiya-v-vagrankah/> (дата звернення: 04.03.2020).

3. Чмырков К. Ф., Бойченко Б. М., Низяев К. Г. и др. Состояние и перспективы снижения расхода жидкого чугуна в конвертерном производстве ПАО «ЕВРАЗ - ДМЗ им. Петровского». *Металл и литье Украины*. 2015. № 5 (264). С. 22-27
4. Свяжин А. А., Крупнее Э., Свяжин А. Г. Применение карбида кальция при выплавке низкоуглеродистой стали. *Металлург*. 2004. № 11. С. 43-45
5. Зубков Ю. Ю., Семин А. Е., Степанова Л. В., Стомахин А. Я. Восстановительная дефосфорация легированного металла карбидом кальция. *Известия вузов чёрной металлургии*. № 5. 2007. С. 62-65
6. Бородулин Е. К. Применение карбида кальция для раскисления и десульфурации стали на установке пetchь-ковш (УДМ). *Almamet: Интернет-портал* – URL: <http://almamet.net.ua/stati>

Розова Тетяна

студентка 6 курсу фак-ту металургії ІІ ЗНУ
Наук. кер.: к.т.н., доц. Проценко В.М.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НЕСКІНЧЕННОЇ ПРОКАТКИ НА НЕПЕРЕРВНИХ СТАНАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

Технологія нескінченної прокатки застосовується як на станах гарячої, так і на станах холодної прокатки. Останнім часом її стали застосовувати і на ливарно-прокатних агрегатах, що ще більше підвищило їх ефективність.

Суть технології нескінченної прокатки полягає в тому, що заготовки (або рулони) перед завданням в першу кліть прокатного стану зварюються між собою. В цьому випадку в стані прокатується фактично нескінченна штаба [1].

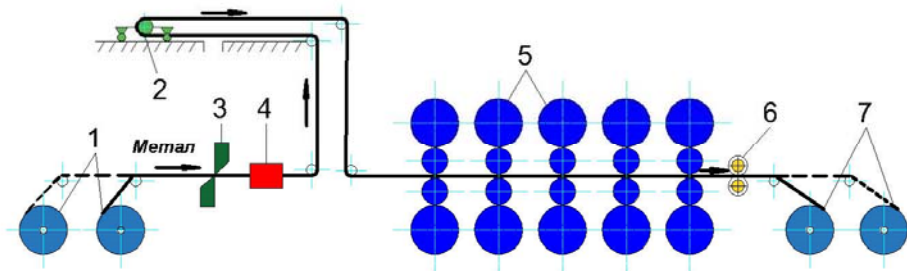
Дана технологія передбачає наявність додаткового устаткування на стані, такого як зварювальна машина. Також у разі холодної прокатки встановлюється накопичувач для штаби між зварювальною машиною і першою кліттю, який необхідний для того, щоб не зупиняти процес прокатки під час зварки двох рулонів між собою.

На станах холодної прокатки прокатують штабу в рулонах, які поступають з широкоштабового стану гарячої прокатки (ШСПІ). Перед прокатуванням штабу піддають травленню, щоб видалити з неї окалину, після чого проводиться прокатка в реверсивному одноклетьовому або безперервному стані, у складі якого є 3...6 клітей. Застосування технології нескінченної прокатки можливе тільки на безперервних станах.

Продуктивність такого стану нескінченної прокатки вища, ніж на звичайному (порулонної прокатки), завдяки відсутності проблем, пов'язаних з прокаткою кінців штаб і втрат часу на їх заправку. Крім того, значно знижується вірогідність пошкодження валків, за рахунок виключення удару переднього кінця штаби об валки.

Приведемо схему стану 1420 нескінченної прокатки на одному із заводів

Японії (рис. 1). Головна частина цього стану - традиційний набір машин і механізмів, що входить до складу безперервного агрегату: розмотувач, правильна машина, ножиці для вирівнювання кінців, зварювальний агрегат з гратознимачем і петлевий пристрій.



1 - розмотувач; 2 - петлевий пристрій; 3 - ножиці; 4 - зварювальна машина; 5 - робочі кліті; 6 - летючі ножиці; 7 - моталок.

Рис. 1 - Схема стану нескінченної прокатки 1420

Технологічний процес проводиться за наступною схемою. Гарячекатані травлені рулони мостовим краном від вихідної частини безперервного травильного агрегату перевозяться до розмотувачів прокатного стану.

Після установки рулону на барабан розмотувача проводиться відгортання, центрування і заправка переднього кінця штаби в правильну машину. Завдання рулону в один з розмотувачів і підготовка переднього кінця штаби проводять під час розмотування штаби з іншого розмотувача.

Після обрізання кінця попереднього рулону і початку наступного рулону проводиться їх зварювання на стикозварювальній машині. Обов'язковою умовою є рівна товщина кінців рулонів, яка контролюється спеціальним пристроєм.

Стикозварювальна машина призначена для зварки встик оплавленням кінців суміжних штаб без попереднього підігріву і забезпечення процесу безперервної прокатки.

Режим зварки (настройка машини) визначаються електронно-обчислювальною машиною. Для ідентифікації швів пробиваються отвори діаметром 20 мм по центру штаби. Після зварки штаба розганяється до 750 м/хвил і подається в петлевий накопичувач, необхідний для забезпечення безперервності процесу прокатки під час зварки кінців штаб. Петлевий накопичувач містить станції, що тягнуть, і систему натяжних механізмів, центруючих і підтримуючих роликів для накопичення близько 800 метрів штаби.

Поки йде зварка кінців рулонів, витрачається штаба з накопичувача, після зварки запаси штаби в накопичувачі заповнюються за рахунок вищої швидкості розмотування рулону.

За накопичувачем є натяжні ролики, які створюють задне натягнення. Перед першою кліттю також встановлено обладнання, необхідне при переводі стану в режим порулонної прокатки металу.

Таким чином, прокатка штаби в робочих клітках здійснюється

безперервно. На стані нескінченної прокатки заправна швидкість необхідна тільки один раз, в решту часу прокатка ведеться з постійною робочою швидкістю. Проте при прокатуванні швів доводиться зменшувати швидкість щоб уникнути обривів. Таким чином, тільки шви вносять деяку нестабільність в процес прокатки.

Література

1. Скляр В.О. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии : учебное пособие. Донецк : ДонНТУ, 2014. 224 с.

Рудакова Наталія

студентка 6 курсу фак-ту металургії II ЗНУ
Наук. кер.: к.т.н., доц. Шевченко І.А.

ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНИХ ДРОБАРОК ТА ЗНОС ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Роторні дробарки є машини ударної дії, що призначаються для дроблення за допомогою бил які жорстко закріплені на зовнішній поверхні ротора, що обертається навколо горизонтальної осі або вертикальної.

Роторні дробарки відрізняються високими техніко-економічними показниками – такими як: великий ступень дроблення та продуктивністю, меншою питомою витратою електроенергії. Меншою питомою масою й розмірами, а відповідно – простотою конструкції і зручністю обслуговування.

Застосування роторних дробарок спрощує технологічні схеми виробництва і покращує його економіку, тому треба розглянути варіанти експлуатації роторних дробарок:

- ціла купа прикладів застосування роторних дробарок у переробці гравійного матеріалу з вивержених й гірських порід;
- застосовуються роторні дробарки на первинному дробленні шлаків, температура яких сягає 200°C;
- досить добрі результати отримані при використанні для збагачення керамічної маси;
- особливий інтерес представляє використання роторних дробарок для дроблення вологих і липких матеріалів з одночасною їх підсушенням, а тако ж роторні дробарки знайшли застосування при мокрому збагаченні в цементному виробництві.

Знос робочих органів в роторних дробарках доводиться іноді до 30% витрат на дроблення, і тому він має дуже важливе значення, а в деяких випадках є вирішальним чинником і тому заслуговує всебічного вивчення.

Деталі в роторній дробарці мають неоднаковий знос. Найбільше зношуються біла ротора тому що сприймають удари найбільших шматків.