

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Розробка концепцій вдосконалення обладнання для
виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового
розкату**

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

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

А.В. Юрченко

(ініціали та прізвище)

Керівник

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

Рецензент

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

Запоріжжя – 2022 року

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 08 ” 09 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Юрченку Артему Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Розробка концепцій вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату**

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

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

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація ЦПТЛ ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела.

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

Метою дипломного проекту (роботи) є розробка концепцій вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату, розробка технології виробництва штаб на широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь», яка

забезпечує зниження енергетичних витрат шляхом зміни схеми розташуванням клітей стана.

Виконати аналіз новітніх досягнень в технології прокатного виробництва, проаналізувати стан технології прокатки в ЦГПТЛ. Розробити концепції вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату. Виконати розрахунки енергосилових параметрів прокатки. Виконати розрахунки на міцність і деформацію валків, станини і шпинделів прокатної кліті кварто. Проаналізувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Виконати аналіз собівартості продукції.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення основних видів стана ШСПП-1680 і кліті кварто, механізмів тощо, технологічні схеми обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату, схеми до розрахунку валків і станини кліті кварто на міцність і деформацію, графіки енергосилових параметрів прокатки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–5, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ		

7. Дата видачі завдання 08.09.2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту(роботи)	Примітка
1.	Реферат, вступ, загальна частина.	12.09.22 – 13.10.22	
2.	Спеціальна і механічна частини.	17.10.22 – 18.11.22	
3.	Охорона праці, економічна частина, висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	21.11.22 – 09.12.22	

Студент

_____ (підпис)

Юрченко А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Проценко В.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер

_____ (підпис)

Явтушенко А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка дипломного проекту (роботи) містить: 125 с., 31 рис., 12 табл.; використано літературних джерела 18.

Об'єкт дослідження – широкоштабові стани гарячої прокатки, у т.ч. стан 1680 комбінату «Запоріжсталь» та технологія прокатки на ньому тонких штаб з маловуглецевих марок сталей.

Мета роботи – розробка концепцій вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату, розробка технології виробництва штаб на широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь», яка забезпечує зниження енергетичних витрат шляхом зміни схеми розташуванням клітей стана.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків, які використовуються в прокатному виробництві з використанням комп'ютерних програм.

Отримані результати і їх новизна – розроблено концепцій вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату; встановлено, що запропонована нова схема розташування робочих клітей забезпечує підвищення температури розкату (штаби) по всій лінії стана на 25 – 40°C після чистових клітей; при реконструкції діючого ШСГП в стані нового типу скоротиться загальна кількість клітей на одну.

Запропонована конструкція вузла робочих валків кліті кварто, яка забезпечує підвищення ефективності регулювання параметрів міжвалкового зазору при одночасному зниженні сили прокатки.

Отримані результати рекомендуються для впровадження на широкоштабовому стані гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь» з метою покращення якості штаб і техніко – економічних показників виробництва.

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ПРОКАТНИЙ СТАН, КЛІТЬ КВАРТО, МІЖВАЛКОВИЙ ЗАЗОР, ПРОКАТНІ ВАЛКИ, ШТАБА, КОНЦЕПЦІЇ, ШСГП.

Abstract

The explanatory note of the diploma project (work) contains: 125 pages, 31 figures, 12 tables; 18 literary sources were used.

The object of research is wide-scale hot rolling mills, including condition 1680 of the Zaporizhstal plant and the technology of rolling thin bars made of low-carbon steel grades on it.

The purpose of the work is to develop concepts for improving equipment for the production of hot-rolled bars with a reduced thickness of the finished roll, development of the technology for the production of bars on the wide-bar hot rolling mill 1680 of Zaporizhstal PJSC, which ensures a reduction in energy costs by changing the layout of the mill cages.

Calculation methods – standard calculation methods that are used in rolling production using computer programs.

The obtained results and their novelty - the concepts of improving the equipment for the production of hot-rolled bars with a reduced thickness of the finished roll were developed; it was established that the proposed new arrangement scheme of the working cages ensures an increase in the temperature of the rolling stock (staffs) along the entire mill line by 25-40°C after the finishing cages; during the reconstruction of the existing SHSGP in a new type, the total number of cages will be reduced by one.

The proposed design of the assembly of the working rolls of the quarto cage, which ensures an increase in the efficiency of regulating the parameters of the inter-roll gap while simultaneously reducing the rolling force.

The obtained results are recommended for implementation at the wide-scale hot rolling mill of PJSC "Zaporizhstal" in order to improve the quality of the staff and technical-economic indicators of production.

HOT ROLLING, ROLLED STAND, QUARTO CELL, INTER-ROLL GAP, ROLLED ROLLS, HEADQUARTERS, CONCEPTS, SHSHP.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
1.1 Основні тенденції розвитку металургійного виробництва	9
1.2 Стан і перспективи застосування деяких спеціальних видів прокатки штаб	10
1.3 Загальна характеристика існуючого технологічного процесу прокатки штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»	16
1.4 Розробка концепцій вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату .	28
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	51
2.1 Нова технологія виробництва гарячекатаної штаби	51
2.2 Опис технологічного процесу після реконструкції	58
2.3 Підвищення ефективності протизгинання робочих валків при регулюванні міжвалкового зазору у кліті кварто	60
2.4 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки на ШСГП 1680 штаби с розмірами 1,8×1030 мм зі Ст. 08пс	68
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	92
3.1 Головна лінія робочої кліті кварто	92
3.2 Розрахунок на міцність шпинделів	93
3.3 Розрахунок на міцність опорного і робочого валків	95
3.4 Розрахунок на міцність станини робочої кліті	100
4 АНАЛІЗ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ, ЩО ВИПУСКАЄТЬСЯ ...	108
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	112
5.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	112
ВИСНОВКИ	117
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	119
Додаток А – Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи	121

ВСТУП

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

Збільшення виходу придатної металопродукції завдяки поліпшенню якості листового прокату, зниження витратного коефіцієнту металу і прокатних валків, економія енерговитрат, крім підвищення рентабельності металургійного підприємства, позитивно позначається на його екологічній безпеці. Це висуває в ряд найбільш актуальних проблему обґрунтування і реалізацію ефективних ресурсозберігаючих технологій виробництва гарячекатаної і холоднокатаної сталі на крупних листопрокатних комплексах.

Невід'ємною частиною вирішення проблеми ресурсозбереження є підвищення якості листової сталі, оскільки невиконання вимог стандартів збільшує кількість некондиційної продукції і, як наслідок, зменшує рентабельність підприємства в цілому.

Раціональним шляхом енергозбереження може бути оптимізація деформаційних режимів, що дозволяє з мінімальними затратами отримати значний економічний ефект.

В даний час все більший розвиток отримує гаряча прокатка листової сталі, здійснювана на неперервних і напівнеперервних широкоштабових станах. На цих станах прокатують листи і штаби завтовшки від 1-1,2 до 12-16 мм і шириною до 1850 – 2150 мм.

Вдосконалення технології і устаткування широкоштабових станів гарячої прокатки (ШСГП) направлене на забезпечення високої якості прокату і високої продуктивності стана.

Традиційні шляхи вдосконалення технології і устаткування листових станів, направлені на поліпшення механічних властивостей і розмірів готового прокату, підвищення продуктивності агрегатів, зниження витрат металу за переділом, розглядаються як непрямий метод зниження енерговитрат. Цим обґрунтовується актуальність даної роботи.

Метою дипломного проекту є розробка концепцій вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату (0,8 – 1,2 мм), розробка технології виробництва штаб на широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь», яка забезпечує зниження енергетичних витрат шляхом зміни схеми розташуванням клітей стана.

Запропонована схема розташування робочих клітей забезпечує (навіть без використання індукційної печі):

- підвищення температури розкату (штаби) по всій лінії стана на 25 - 40°C після чистових клітей;
- підвищення точності прокатки штаб за рахунок зменшення товщини задньої кінцевої ділянки і температурного клину за довжиною штаби;
- при реконструкції діючого ШСГП 1680 в стані за новою технологією скоротиться загальна кількість робочих клітей на одну;
- зниження сумарної потужності прокатки по стана на 15 - 25% за рахунок підвищення температури проміжного розкату на 90 - 110°C і зменшення кількості клітей, що беруть участь у процесі прискорення штаби після захвату її переднього кінця моталкою, з 5 - 7 до 3-х клітей.

Підвищення ефективності протизгинання робочих валків при регулюванні міжвалкового зазору у кліті кварто забезпечує підвищення ефективності регулювання параметрів міжвалкового зазору при одночасному зниженні сили прокатки. Нова конструкція валкового вузла кліті кварто дозволить отримати штабу з мінімальними різнотовщинністю і непланшетністю. Тому поставлена мета дипломного проекту є актуальною.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Основні тенденції розвитку металургійного виробництва

Одним з глобальних напрямів у сучасній світовій металургії є створення модульних технологій. Суть полягає в тому, що для виробництва кінцевої продукції з певним заданим набором якостей створюється спеціалізоване обладнання, що складається з окремих, часто взаємозамінних, блоків. У ширшому сенсі під модульними технологіями розуміють суміщені технології, що стосуються декількох металургійних переділів або декількох різних операцій, використовують організаційні принципи єдиного агрегату для виробництва заданої продукції. При таких підходах забезпечується отримання конкурентоздатної продукції з мінімальними виробничими витратами. Створення модульних технологій стало принципове можливим тільки на базі найсучасніших досягнень у галузі підготовки металургійної сировини, сталеплавильного і прокатного виробництва, потенційні можливості яких у свою чергу реалізуються тільки в модульному виконанні. У світовій технології на цьому принципі відбувається “технологічна революція”, яка, в найближчому майбутньому корінним чином змінить структуру металургійного виробництва в цілому. Зримі контури металургії майбутнього вже простежуються в Германії, США та інших країнах [1].

Форми поєднання технологічних операцій вельми багатогранні. Найбільш важливим досягненням в цьому напрямку є поєднання процесів литва і прокатки. Завдяки нетрадиційному підходу до вибору і компоновці основного і допоміжного обладнання вдалося створити новий тип металургійного виробництва – компактний ливарно - прокатний модуль з унікальними техніко-економічними показниками. Його можливо побудувати на вільних площах або “вписати” в порожні або недобудовані цехи металургійних, машинобудівних, суднобудівних і інших підприємств. Будівництво такого комплексу з об'ємом виробництва прокату до 700 - 1000

тон/рік обходиться в 3 - 5 разів дешевше, ніж традиційного спеціалізованого міні-заводу. Чорна металургія США за останнє десятиліття ввела в експлуатацію близько 60 підприємств на базі модульних міні-комплексів з сумарною потужністю близько 25 млн. тон готового прокату.

іншою тенденцією в металургійному виробництві є широке впровадження ресурсо- і енергозберігаючих технологій. Споживання енергоресурсів в світовій металургії скорочується. У 2015 році енерговитрати в загальних витратах на виробництво готової продукції склали 16,3, в 2020 році вони складають 14,6 і до 2025 року знизяться до 12,9 %. Основні резерви зниження палива і електроенергії знаходяться в доменному і сталеплавильному виробництві. Проте і в прокатному виробництві за рахунок оптимізації і автоматизації технології нагріву, прокатки і інших операцій, а також впровадження сучасних суміщених процесів, за рахунок вторинного використання тепла і інших заходів досягається найбільша економія енергоресурсів [1].

Важливим напрямом розвитку сучасній металургії є також впровадження екологічно чистих технологій.

1.2 Стан і перспективи застосування деяких спеціальних видів прокатки штаб

Процес поздовжньої прокатки в циліндрових валках – основа пластичної деформації металу при виробництві плоского прокату. При цьому пластична деформація металу здійснюється між приводними робочими валками, встановленими безпосередньо в осьовому напрямі, перпендикулярному напрямку прокатки. Для підвищення жорсткості валкового вузла застосовують опорні валки, на підшипники яких передається зусилля прокатки [2 - 4].

Вказані положення процесу поздовжньої прокатки часто входять в суперечності з вимогами сучасної металургії.

По-перше, основна маса металу на прокатні стани поступає з машин неперервного литва заготовок (МНЛЗ) і існує проблема гнучкої стиковки МНЛЗ і неперервного широкоштабового стана гарячої прокатки (НСГП) по ширині прокатуваної штаби. Регулювання ширини відлитих слябів безпосередньо в кристалізаторі, установка «легкого» слябінгу, застосування преса на початку НСГП гарячої прокатки частково знімає гостроту даної проблеми, але не дозволяє вирішити її повністю. Циклічне осьове зрушення робочих валків в чистових клітках розширює можливість застосування безпрограмної прокатки, але також є частковим вирішенням даної проблеми.

По-друге, розливання тонких слябів на МНЛЗ поєднується з їх прокаткою. Метал деформується в двофазній і однофазній областях безпосередньо на МНЛЗ. В цьому випадку актуальним завданням стає використання разом з подовжніми зсувних деформацій металу для кращого руйнування литої структури. Крім того, низька швидкість розливання металу на МНЛЗ істотно подовжує час контакту гарячого металу з валками, тим самим погіршуючи теплові умови їх роботи.

По-третє, посилюються вимоги до поперечної різнотовщинності плоского прокату. З відомих методів дії на поперечний профіль штаби найбільш відомі: гидровигин валків, НС – шестивалкові кліті, в яких проміжні валки можуть переміщатися в осьовому напрямі, SVC – метод (прокатки у валках, що мають опукло - увігнуту профілізацію), VC – метод (осьове переміщення валків), PC – метод (прокатки в схрещених попарно робочих і опорних валках) і їх різновиди і комбінації. Проте, слід зазначити, що само різноманіття цих методів свідчить про відсутність домінуючої переваги одного метода перед іншим. В той же час PC – метод має найбільший діапазон дії на поперечний профіль штаби.

По-четверте, перевалка робочих валків при листовому прокатуванні часто буває обумовлена не стільки станом їх поверхні, скільки зносом бочки валка в межах ширини штаби, що прокатується. Є підстави вважати, що причина положення, що склалося, полягає в самій суті реалізації процесу

поздовжньої прокатки, коли при деформації металу періодично оновлюється поверхня робочого валка тільки по периметру його поперечного перетину. Стає очевидною необхідність безперервного оновлення поверхні валка по довжині бочки. Це можливо, якщо в процесі деформації металу нижньому і верхньому робочим валкам разом з обертанням додати зустрічне або човниково-зустрічне осьове переміщення.

Проте на шляху реалізації такого переміщення робочих валків є технічні труднощі, які багато в чому можуть бути усунені, якщо використовувати наступний підхід: робочі валки звільнити від жорсткого кріплення в осьовому напрямі, мати в своєму розпорядженні схрещені один щодо одного валки в горизонтальній площині і з перекосом в цій же площині щодо опорних валків, що контактують з ними. Опорні ж валки будуть закріплені в осьовому напрямі, і залежно від завдання, що вирішується, можуть бути також схрещеними один щодо одного, або паралельними.

В цьому випадку в контактах кожного робочого валка із штабою і робочим валком виникають осьові по відношенню до робочого валка навантаження, під дією яких створюються умови для переміщення робочого валка, що обертається, в осьовому напрямку за наявності металу в осередку деформації. Причому вказане осьове переміщення верхнього і нижнього робочих валків протилежно по напрямку і тим самим реалізується їх зустрічний осьовий рух. При необхідності човниково-зустрічного осьового переміщення робочих валків (така необхідність виникає у міру подовження заготовки, що прокатується), досить змінити напрям схрещування робочих валків або їх перекосів щодо опорних валків або і того і іншого разом (рис. 1.1).

Таким чином, в процесі поздовжньої прокатки в циліндрових валках реалізується човниково-зустрічне осьове переміщення робочих валків безпосередньо при деформації металу. Тим самим одночасно з оновленням контакту поверхні робочого валка з металом по периметру його поперечного перетину, відбувається його оновлення по периметру поздовжнього перетину валка. Швидкість осьового руху робочих валків, перш за все, залежить від

швидкості їх обертання, кута перекосу між робочими і опорними валками, а також кута схрещування робочих валків.

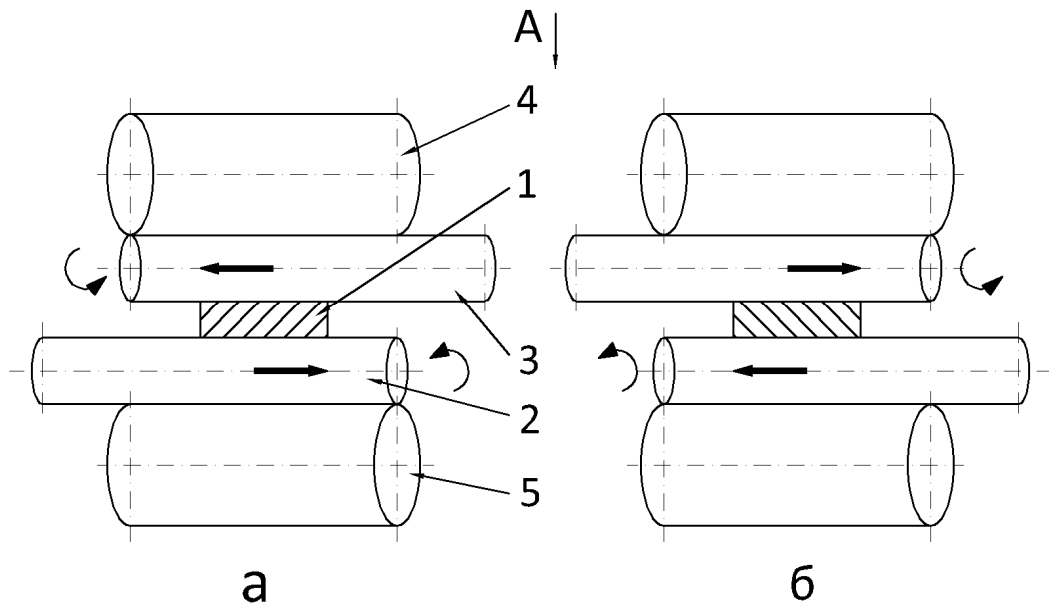


Рисунок 1.1 – Початкове розташування валків в кліті кварто при зустрічному («а» або «б») або човниково-зустрічному («а» і «б») осьовому переміщенні робочих валків при поздовжньому прокатуванні: 1 –метал, що прокатується; 2 і 3 – робочі валки; 4 і 5 – опорні валки; горизонтальні стрілки вказують напрями осьового руху робочих валків. Стрілкою А показаний вигляд на рисунку 1.2.

Якщо до робочих валків прикласти додаткове осьове навантаження гальмування (тяги), вказане осьове човниково-зустрічне переміщення робочих валків стає до того ж керованим. Управління швидкістю осьового руху робочих валків можливо також досягнути створенням на опорному валку додаткового моменту опору його обертання.

На рис. 1.2 показано взаємне розташування осей робочих і опорних валків, при реалізації нових положень процесу поздовжньої прокатки. Робочі валки схрещені на кут 2α , опорні – на кут 2β , причому напрям повороту кожного робочого валка і опорного валка, що контактує з ним, однаковий. У

загальних випадках прокатки між цими кутами встановлюються співвідношення: $2\alpha < 2\beta$ і (або) $2\alpha > 2\beta$.

Напрямок осевого переміщення робочого валка міняється при зміні нерівності $2\alpha < 2\beta$ на $2\alpha > 2\beta$, а також при зміні напрямку кутів розвороту робочих і опорних валків. Швидкість цього переміщення пропорційна модулю різниці $|\alpha - \beta|$. Робочі валки схрещені на кут до $1,5^\circ$.

Значення кутів 2α і 2β визначаються завданнями, що вирішуються в процесі поздовжньої прокатки, проте передбачається, що кути 2β не перевищують 3° і що модуль кутів $|\alpha - \beta|$ на порядок менше значень кута 2β .

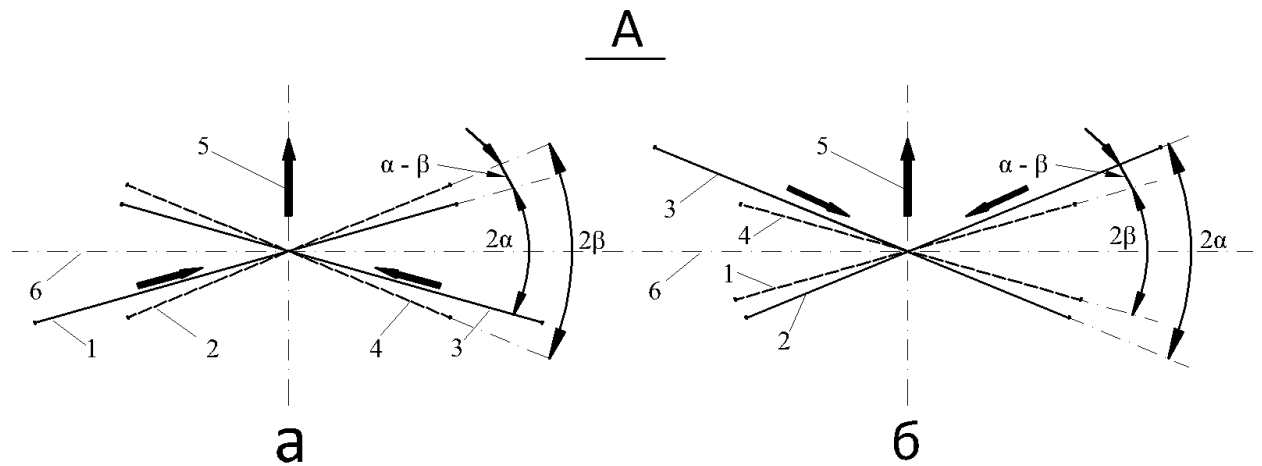


Рисунок 1.2 – Схема взаємного розташування осей робочих і опорних валків в кліті кварто в процесі поздовжньої прокатки (вигляд А на рис. 1.1): а) $2\alpha_1 < \beta$; б) $2\alpha_2 > \beta$ ($2\beta = \text{const}$; $2\alpha_i$ – кут схрещування осей робочих валків; 2β – кут схрещування опорних валків; $\alpha_i - \beta$ – кут між робочим і контактуючим з ним опорним валком); 1, 3 – робочі валки; 2, 4 – опорні валки; 5 – напрям прокатки; 6 – вертикальна площина, перпендикулярна напрямку прокатки.

В процесі поздовжньої прокатки можливе часткове і комплексне вирішення вказаних завдань і відповідно часткова або комплексна реалізація відмічених нових положень. Природно, що завдання, що вирішуються при холодному штабовому прокатуванні відрізняються від завдань, що

вирішуються при широкоштабовому гарячому прокатуванні. Але загальні питання: дія на поперечний профіль штаби, забезпечення рівномірного зносу поверхні валків по довжині їх бочки [5], зменшення негативного впливу нерівномірного розподілу температури в тілі робочих валків на профіль штаби та інші, технічно можуть вирішуватися однаково.

Реалізація розглянутого процесу поздовжньої прокатки, що передбачає безперервне оновлення контакту поверхні бочки робочого валка з металом, що прокатується, по периметру поздовжнього перетину валка, в перспективі дозволяє:

- на листопрокатних комплексах МНЛЗ – ШСГП гарячої прокатки здійснювати безпрограмну прокатку;
- на МНЛЗ тонких слябів підсилити руйнування литої структури;
- у чорнових клітках ШСГП гарячої прокатки і на станах холодної прокатки управляти поперечним профілем штаб в широких межах, а також підвищити термін служби робочих валків і зменшити число перевалок;
- використовувати робочі і опорні валки з циліндричною бочкою, що дозволяє спростити шліфування валків перед експлуатацією;
- на сортових станах при прокатуванні у валках з гладкою бочкою, за рахунок деформацій зрушення і кручення поліпшити руйнування литої структури.

При проектуванні ливарно-прокатних комплексів широко використовується модульний принцип, що полягає в створенні об'єктів (машин, агрегатів, процесів тощо) із спеціалізованих взаємозамінних блоків (модулів), набір яких визначається конкретними технологічними завданнями і виробничими умовами. З одного боку ливарно-прокатні агрегати є наборами взаємозамінних функціональних модулів: МНЛЗ, ріжучі пристрої, рольганги, нагрівальні пристрої, чорнові і чистові прокатні кліті, холодильники, моталки тощо. З іншого боку ливарно-прокатні агрегати є закінченими модулями різного призначення і продуктивності, які можуть застосовуватися в різних

поєднаннях у складі ливарно-прокатних комплексів і міні-заводів, у тому числі і для виробництва спеціальних видів прокату [6].

Переваги такого підходу до проектування і виготовлення будь-яких технологічних об'єктів обумовлені високою технологічністю виробів, значним підвищенням їх працездатності і ремонтпридатності, розширенням функціональних можливостей, істотним зменшенням термінів і вартості виготовлення, технологічною гнучкістю, можливістю швидкого розширення і перепрофілювання виробництва, модернізації і пристосування до умов, що змінюються [7-10]. Основні технологічні модулі, що використовуються при створенні ливарно-прокатних комплексів і міні-заводів, як освоєні промисловістю, так і такі, що мають хороші перспективами в майбутньому, приведені на рис. 1.3.

Таким чином можна зробити висновок: в даний час не існує будь якого універсального методу обробки металів тиском, що забезпечує однаково ефективне вирішення конкретних технологічних завдань. Досягти максимального ефекту можливо поєднанням різних об'єктів (машин, агрегатів, процесів тощо) із спеціалізованих взаємозамінних блоків (модулів), набір яких визначається конкретними технологічними завданнями і виробничими умовами.

1.3 Загальна характеристика існуючого технологічного процесу прокати штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

В Україні встановлені і працюють два неперервних широкоштабових стана (стан 1680 у м. Запоріжжя і стан 1700 у м. Маріуполь), на яких удосконалюється технологія виробництва штаб, забезпечується одержання штабової сталі високої якості поперечного профілю і механічних властивостей металу.

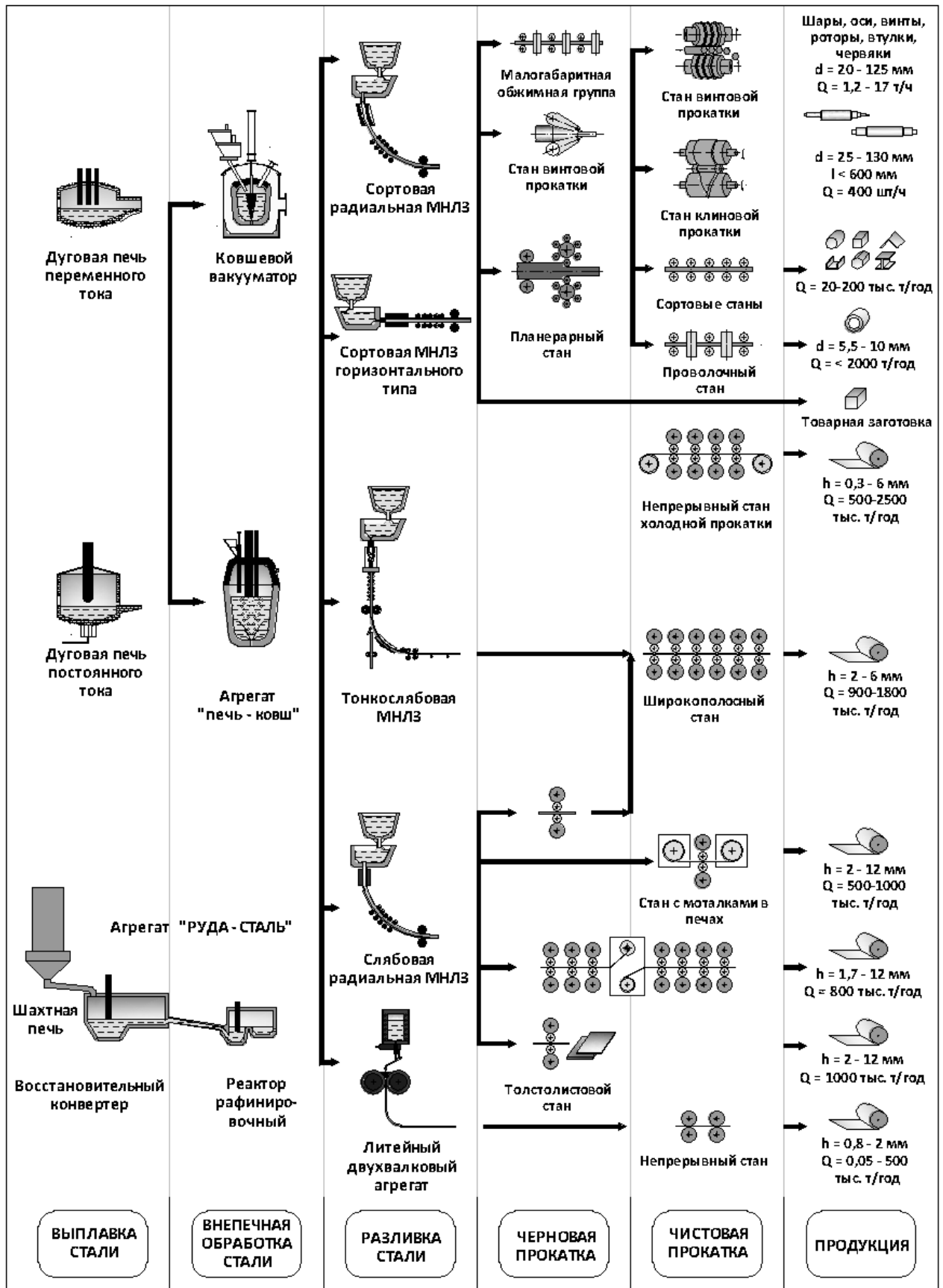


Рисунок 1.3 – Різновиди сучасних модулів для міні – заводів

На рис. 1.4 зображена технологічна схема виробництва штаб у цеху гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ) ПАТ «Запоріжсталь».

Неперервний стан 1680 гарячої прокатки штаб побудований в 30-і роки 20-го століття. На цьому стані прокочують штаби товщиною 1,5-8 мм, шириною 1000-1500 мм з маловуглецевих марок сталі. З нержавіючих і легованих марок сталей прокатують також штаби товщиною і шириною $b < 1300$ мм. Заготовкою для стана служать сляби товщиною 120-160 мм, масою $G=7$ і 15 т і довжиною $L = 4,5 - 4,7$ м. З цих слябів прокатують штаби товщиною $h < 2,5$ мм ($B=1000$ мм), а зі сляба масою $G=15$ т і довжиною $L = 9,5$ м прокатують штаби товщиною $h < 2,5$ мм.

На стані встановлені чотири методичні чотиризонні печі з глісажними трубами, з торцевою посадкою і видачею слябів. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів, калорійністю 1070-1350 ккал/м³. Однак у зв'язку з переходом на транзитну (пряму) прокатку слябів використовуються періодично 1 – 2 печі для прокатки зворотних або легованих (нержавіючих) слябів. Довжина печей 31,5 м, ширина 5,22 м. Холодні сляби надходять зі складу на стіл 1 і по рольгангу 2 до печі. Посадка слябів у печі 3, 4 виконується штовхачами 5. Одночасно з печей видаються нагріті сляби на нижній грубний рольганг 6. На поверхні сляба завжди є товстий (4 – 6 мм) шар грубої окалини, видалення якої здійснюється у двовалковому окалиноломачі. Розпушена окалина віддаляється з поверхні сляба гідрозбивом, що подає на сляб воду з тиском 9 – 12 МПа.

У чорновій групі встановлені чотири кліті з робочими валками діаметром 940 мм і опорними 1320 мм; кліть 2 – з робочими валками діаметром 810 мм і опорними – 1240 мм; кліті 3, 4 – з валками діаметром відповідно 580 – 590 і 1240 мм. Усі опорні і робочі валки клітей 1 і 2 виготовлені зі сталі марки 50ХН. У клітях 3 і 4 робочі валки виготовлені із чавуну з вибіленою поверхнею. Ці валки відповідно до прийнятого на заводі маршруту установки валків по клітях стана переходять після відпрацювання до певного діаметра в чистові групи клітей.

Технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ "Запоріжсталь"

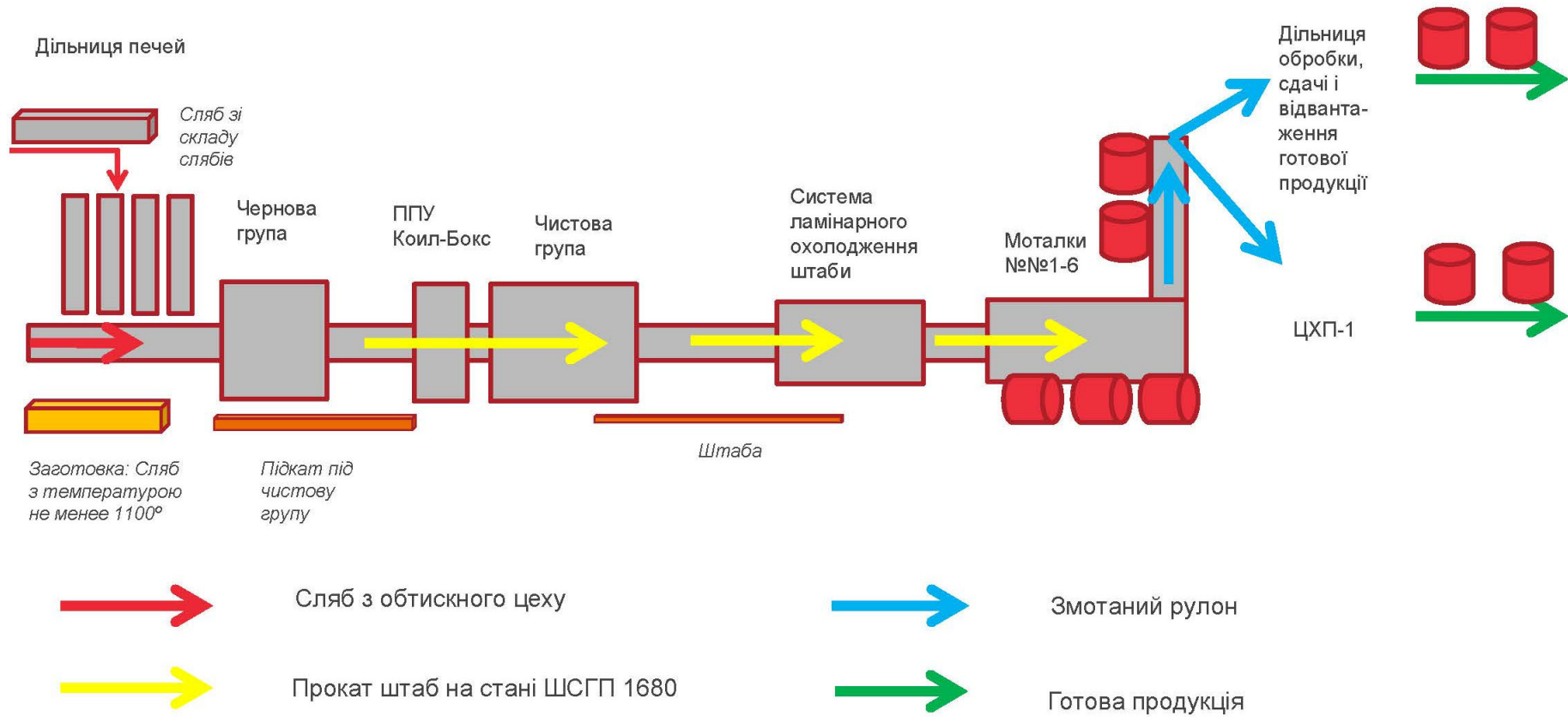


Рисунок 1.4 – Технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

Валки вертикальних клітей діаметром 810 виготовлені з кованої сталі марок Ст. 50. Потужність двигуна клітей з горизонтальними валками дорівнює: кліть 1 – 5 – 5400 кВт; 2 – 4 – по 4000 кВт. У чорновій групі застосовується безперервна прокатка слябів довжиною 9 – 9,5 м в такому режимі: окалиноломач – кліть 1, кліті 2 – 3 і кліті 3 – 4. Розкат виходить повністю з кліті 1 і тільки потім прокатується в групі клітей 2 – 3. У кліті 4 розкат прокатується після виходу із кліті 2. При вході в кліть 1 температура розкату дорівнює 1150 – 1180°C, а в міру прокатки температура розкату зменшується і за кліттю 4 становить 1080 – 1100°C.

Вихідний метал

Неперервний тонколистовий стан гарячої прокатки 1680 призначений для прокатки штаб завтовшки від 2,0 до 6,0 мм і шириною від 900 до 1520 мм. Також допускається прокатка освоєного сортаменту штаб товщиною від 6,1 до 10,2 мм, і шириною від 850 до 900 мм.

При поставці прокату за ДСТУ 16523-97 на поверхні гарячекатаного прокату не повинне бути полон, порізів, міхурів, заходів, вкатоної окалини, перетравів, недотравів, розшарувань.

При поставці прокату за ДСТУ 14637-89 на поверхні гарячекатаного прокату не повинне бути рванин, наскрізних розривів, розкатаних пригару і скоринок, а також міхурів - здуттів, гармошки, тріщин, полон, забруднень і вкатоної окалини.

Вихідним металом для виробництва гарячекатаних штаб і листів з нержавіючої сталі служать передільні сляби, по розмірам, формі і якості поверхні, що задовольняють вимогам внутрішньозаводських технічних умов. Розміри слябів, призначених для переділу в тонколистовому цеху залежать від марки сталі і варіанта замовлення.

Фактичне граничне відхилення по ширині штаби не повинно перевищувати +20 мм при ширині штаб до 1000 мм (включно).

Для гарячекатаних штаб, призначених для подальшого переділу на холоднокатаний лист, допустиме відхилення не повинне перевищувати +20

мм. Відхилення від площинності штаб товщиною від 2,0 до 3,9 мм не повинне перевищувати 15 мм, а для штаб товщиною від 4,0 до 9,0 мм - 12 мм на довжині 1 м сталі, що поставляється в листах.

Телескопічність рулонів не повинна перевищувати 100 мм для штаб товщиною 2,0 – 2,5 мм і 70 мм для штаб товщиною 2,6 – 9,0 мм. Поперечна різнотовщинність штаб, призначених для переділу на холоднокатаний лист, не повинна перевищувати 0,10 мм.

Прокатка слябів

Безперервні стани характеризуються тим, що метал при прокатуванні перебуває одночасно в декількох клітках, тому швидкість обертання валків у клітках повинна регулюватися і підбиратися так, щоб витрата металу в одиницю часу в будь-якій клітці була постійною і рівною.

Після проходження чорнового окалиноломача (кліть ДУО) розкат проходить через інші клітці чорнової групи.

Максимальне обтиснення, що допускається, по клітках чорнової групи залежно від ширини сляба наведене у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Допустиме обтиснення по кліткам чорнової групи стана

№ кліті	Максимальні обтиснення при прокатуванні вуглецевих і низьковуглецевих сталей, %	
	Ширина сляба до 1250 мм	Ширина сляба понад 1250 мм
Окалиноломач "ДУО"	25	20
№1	37	35
№2	40	37
№3	40	37
№4	40	37

За 8 – 24 години до початку прокатки слябів нержавіючих сталей відбувається перевалка робочих валків клітей № 1 – 3. Безпосередньо перед початком прокатки відбувається перевалка робочих валків клітей 4 – 10. Якість поверхні валків повинне відповідати внутрішньозаводським вимогам.

Налаштування клітей чорнової групи відбувається залежно від вихідної товщини слябів і необхідної товщини підкату. При цьому обтиснення по окремих клітях повинні бути не більше : ДУО - 18 мм, №1 - 40 мм, №2 - 30 мм, №3 - 14 мм, №4 - 8 мм для підкату, що налаштовується.

Зазор між вертикальними валками встановлюється більше номінальної ширини штаби, що прокатується, на величину, наведену у табл. 1.2

Таблиця 1.2 – Зазор між вертикальними валками залежно від ширини штаби

Номінальна ширина штаби, мм	Збільшення зазору вертикальних валків проти номінальної ширини штаби, мм	
	вертикальна кліть №1	вертикальні кліті №2, №3.
Від 780 до 1000	25	20
Від 1000 до 1300	30	25
Від 1300 до 1420	35	30

Напрямні лінійки в чорновій і чистовій групах стана встановлюються ширше номінальної ширини штаби на 70 мм.

При виході із чорнових клітей розкат проходить під струменями води високого тиску, які видаляють окалину з його поверхні, потім відбувається змотування розкату на проміжну моталку: після розмотування його передній і задній кінець обрізаються на летучих ножицях, встановлених перед чистовим окалиноломачем. Після цього розкат проходить через чистовий окалиноломач і інші кліті.

Обтиснення, що допускається, у клітях чистової групи зазначено в табл. 1.3.

Товщина підкату перед чистовою групою і температура металу за 10-ою кліттю повинні знаходитися у відповідних межах. Щоб уникнути зстригання в лінії стана не допускаються в прокатку на чистовій групі розкати з розшаруваннями в торці, тріщинами та іншими грубими дефектами, які можуть викликати аварійну зупинку стана.

Таблиця 1.3 – Допустиме обтиснення у клітках чистової групи стана

№ кліті	Максимальні обтиснення при прокатуванні вуглецевої і низьковуглецевої сталі, %	
	до 1200	від 1200 до 1500
5, 6	50	45
7, 8	40	35
9	25	25
10	15	15

Обтиснення в останній клітці чистової групи повинно бути в межах 5 – 15 % і встановлюється в кожному конкретному випадку з таким розрахунком, щоб передній кінець штаби, що виходить із клітці №10, був підігнутий до верху на 50 – 100 мм.

З метою зниження енергосилових параметрів прокатки, зменшення зстригання штаб на гарячому рольгангу і у моталках, прокатку нержавіючих сталей доцільно робити при швидкості у 10-й клітці 410 – 440 м/хв. Після кожного переналаштування стана, а також прокатки нової плавки перевіряється фактична товщина перших прокатаних штаб і при необхідності відбувається підналаштування (табл.1.4).

Таблиця 1.4 – Допустиме відхилення від номіналу по задньому кінці штаби за показниками рентгенівського товщиноміра

Товщина штаби, мм	Відхилення, що допускають, залежно від ширини штаби, мм	
	До 1000	Понад 1000
Від 3,0 до 3,9	+0,05 +0,10	+0,05 +0,10
Понад 3,9 до 5,0	-0,05 0,00	-0,10 -0,05
Понад 5,0 до 6,0	-0,10 -0,05	-0,15 -0,10

Забезпечення заданого температурного режиму прокатки досягається шляхом зміни товщини підкату і швидкості прокатки в клітях чистової групи в межах допустимих навантажень на двигуни клітей (табл.1.5).

Таблиця 1.5 – Допустимі навантаження на двигуни клітей стана

№ кліті	Тип двигуна	Номинальна потужність, кВт	Номинальний струм, А	Короткогодин не допустиме навантаження потужності, кВт	Допустиме навантаження струму, А
ДУО	ДСЗ-1810-12	1840	207	2600	310
1	ДСЗ-1913-14	5400	675	7500	1000
2	ДСЗ-1913-12	3700	415	6800	625
3	ДСЗ-1913-12	3700	415	6500	625
4	ДСЗ-1913-12	3700	415	6200	625
5 - 10	МП- 6800-340	5000/4200	7050/6000		12000

Для видалення окалини при прокатуванні сталі 08Ю гідрозбиви включаються тільки за, або перед кліттю Дуо. Тиск води в насосі при одночасній роботі всіх колекторів повинен бути не менш 80 атм. Для безперебійного якісного збиву окалини обов'язково включаються два насоси. Для здуву з поверхні штаби металевої крихти (від крайок, полон) і інших сторонніх часток, повинні включатися повітряні сопла, установлені перед клітями № 5 – 10.

В процесі прокатки необхідно регулярно перевіряти стан поверхні робочих валків, не допускаючи їхньої виробітки, викрашування і утворення наварів. Тривалість роботи двигунів клітей чистової групи при найбільшому допустимому навантаженні обмежується з умови запобігання їхнього перегріву. При подачі звукового сигналу про неприпустиме нагрівання двигунів темп прокатки повинен бути знижений.

Змотування штаб в рулони

Гарячекатані штаби товщиною 3,0...5,2 мм, призначені для виробництва гарячекатаного листа, а також підкату на холоднокатаний лист і рулони, змотуються в рулони на змотувальних машинах №1 – 3 без затримки на відводному рольгангу.

Швидкість обертання роликів змотувальних машин і швидкість рольганга повинні бути вище окружної швидкості валків 10-ої кліті на 10 – 20 м/хв. Перед змотуванням штаб у рулони тиск стисненого повітря в повітрозбірниках свертних машин підвищується до 4,0 – 5,0 атм.

Для забезпечення рівного змотування рулонів, без телескопічності, прокатані штаби не повинні мати серповидності. Для забезпечення щільного змотування обов'язкова витримка рулонів у свертних машинах до розведення формуючих роликів – 1,5 хв.

Поріз гарячекатаних штаб

Штаби, призначені для порізу на гарячекатаний лист у підкат для подальшої холодної прокатки в лінії неперервного тонколистового стана, передаються шлеперами з гарячого рольганга на лівий і правий рольганги, що відводять. Щоб уникнути травмування штаби захвати шлеперів повинні бути виставлені в одну лінію, усі ланцюги натягнуті на зірочки.

Поріз штаб, залежно від марки стали, товщини і температури, відбувається на летучих або гильотинних ножицях. При прокатуванні штаб, що вимагають дотримання строгого температурного інтервалу порізу, темп прокатки необхідно знизити таким чином, щоб забезпечити поріз кожної штаби без затримок на рольгангах і холодильнику.

Робочі кліті

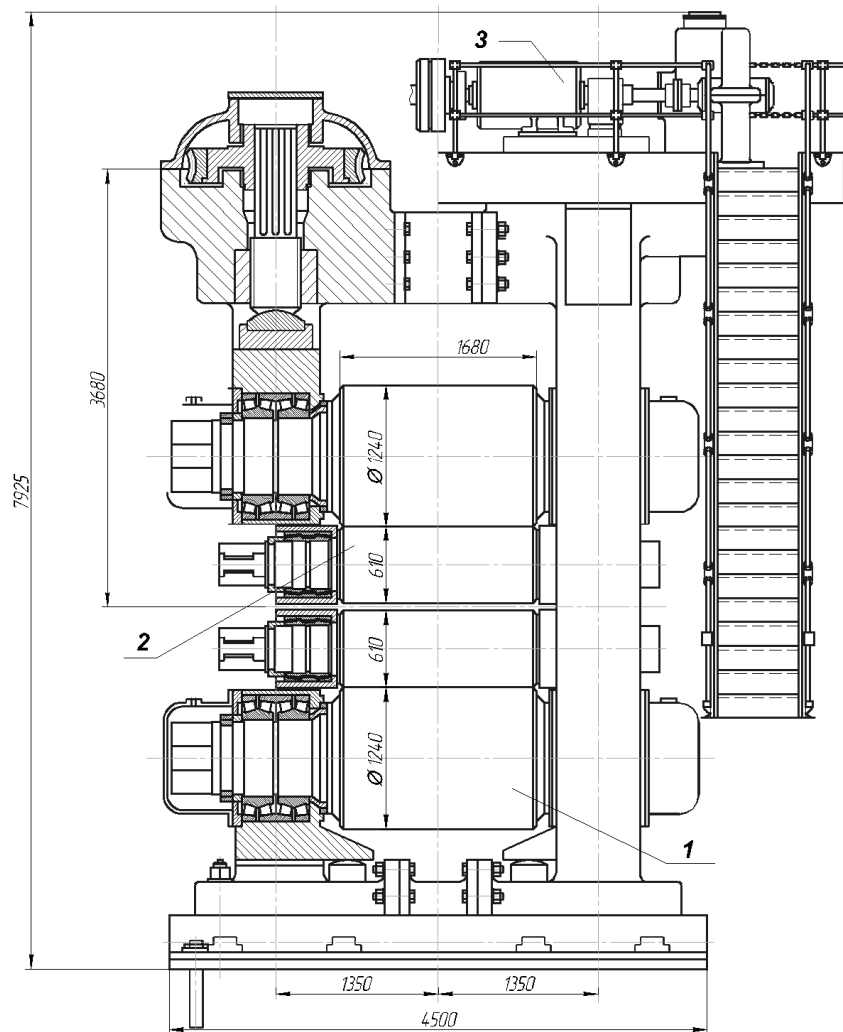
Робоча кліть є основним пристроєм прокатного стана, тому що в ній здійснюється прокатка металу. Робоча кліть прокатного стана складається з наступних основних вузлів і деталей: двох станин, установлених на плитовинах, закріплених на фундаменті, валків з подушками і підшипниками,

механізмів для установки і зрівноважування валків, валкових арматур (проводок, пристроїв для охолодження або нагрівання).

Чорнова група складається з: однієї двовалкової кліті – чорнового окалиноломача, чотирьох чотиривалкових клітей (№1 - 4) і трьох вертикальних клітей. Чистова група складається з однієї двовалкової кліті - чистового окалиноломача і шести чотиривалкових клітей (№5 - 10). Натискний механізм має електромеханічний привід (на більш сучасний станах, наприклад, в Маріуполі, застосовується більш швидкісний гідравлічний привід).

Для обертання валків застосовують електродвигуни потужністю 4000/5000 кВт, які передають обертові рухи через редуктор і шестеренну кліть.

На рис. 1.5 зображена чистова чотиривалкова кліть.



1 – валок опорний; 2 – валок робочий; 3 – пристрій натискний

Рисунок 1.5 – Чистова чотиривалкова кліть стана 1680

Валки стана гарячої прокатки 1680

Робочі валки клітей 3 – 10 виготовляють з легованого чавуну з вибіленою поверхнею (ЛП, МШ, нікельмагнієві, двошарові ЛПХНg) з твердістю 60-85 HSD. Товщина вибіленого поверхневого шару 10 – 20 мм. Валки мають високу зносостійкість і забезпечують необхідну якість поверхні штаб. Опорні валки відливають з вуглецевої або легової сталі 50ХН, 60ХН, 9ХМФ. Опорні валки цільноковані з твердістю загартованої поверхні до 45 – 80 HSD.

Для забезпечення якісного профілю штаби обов'язкова перевалка робочих і опорних валків клітей стана, а прокатка відбувається строго по ширині. Після перевалки прокатують більш широкі штаби, а потім ширина штаб поступово зменшується. Для одержання штаб з мінімальною різнотовщинністю по ширині робочі валки мають опукле профілювання. В міру виробітку опорних валків опуклість робочих валків збільшується.

На рис. 1.6 наведено фото опорних і робочих валків.



а



б

а - опорні валки; б - робочі валки

Рисунок 1.6 – Валки стана ШСПП-1680

1.4 Розробка концепцій вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату

Традиційні високопродуктивні стани гарячої прокатки штаби не повністю завантажені під час прокатування м'яких сталей і не придатні для прокатки дуже тонких штаб. Суміщені ливарно-прокатні агрегати CSP дозволяють отримувати кінцеву товщину штаби менше 1 мм. Управління профілем, контуром та планшетністю у поєднанні з прогресивною автоматикою дозволяють мати вузькі допуски на штабу. Напівнескінченна та нескінченна прокатка допускають високі швидкості, необхідні для отримання особливо тонкої штаби.

Розвиток ринку

З кінця 1980-х років, після успішного впровадження технології CSP (компактне виробництво штаби, суміщені ливарно-прокатні агрегати) фірмою Ньюкор стіл у Кроуфордсвіллі, штат Індіана, США, попит на нові потужності з виробництва гарячекатаної штаби зростає швидкими темпами.

Раніше, до кінця 1980-х років, потужності з виробництва гарячекатаної штаби повинні були забезпечувати весь можливий сортамент гарячекатаної штабової продукції, а тепер все більш важливим стає розподіл на традиційні широкоштабові стани гарячої прокатки і суміщені ливарно-прокатні агрегати. Крім того, інжиніринг повинен бути додатково удосконалений, щоб на установках для гарячої прокатки штаби можна було прокатувати і нову продукцію майбутнього. Огляд виробництва гарячекатаної штаби у європейських станах показує наступний його розподіл між різними групами матеріалів: 76,2% – м'які нелеговані сталі для холодної прокатки та штампування; 10,5% – конструкційні сталі загального призначення, що зварюються; 1,7% – високоміцні вуглецеві сталі; 6,4% – мікролеговані дрібнозернисті конструкційні та трубні сталі, придатні для зварювання; 3,3% – корозійностійкі сталі та 1,9% – електротехнічні сталі, леговані кремнієм. Ця

статистика заснована на загальному обсязі виробництва понад 40 млн. т гарячекатаної штаби. Такий розподіл може вважатися представницьким для європейського економічного регіону. Особливе значення має істотно переважна кількість нелегованих сталей для холодного штампування та холодної прокатки. 57% холоднокатаної м'якої нелегованої штаби має товщину не більше 0,7 – 1,2 мм. 72% усіх штаб має ширину від 900 до 1300 мм.

Вимога ринку про все більшу заміну холоднокатаної штаби в цьому діапазоні розмірів гарячекатаною штабою та про прокатку високоміцного матеріалу все меншої та меншої товщини змушує проектувальників прокатних станів шукати нові концепції та технології, щоб уможливити його виконання.

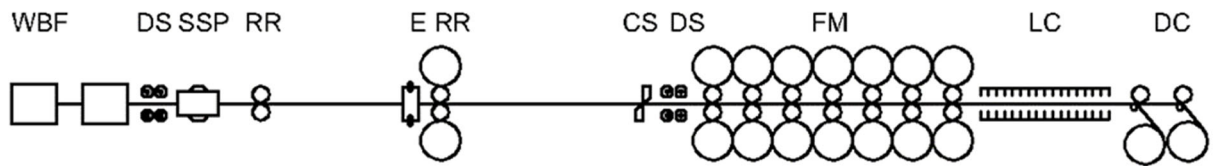
Концепція установок для виробництва гарячекатаної штаби

Внаслідок надзвичайно швидкого розвитку технології лиття тонких слябів вже є *різні концепції установок* для виробництва гарячекатаної штаби (рис. 1.7).

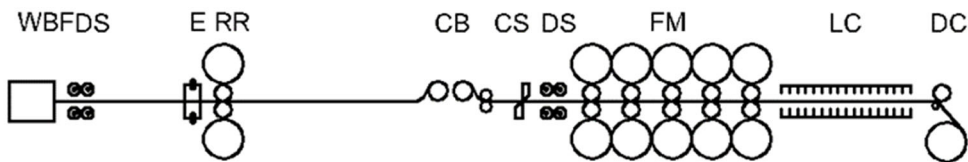
Стани Стеккеля, призначені головним чином для виробництва корозійностійких сталей та обсягів виробництва менше 1,0 млн. т на рік. На традиційних станах гарячої прокатки штаби, як наприклад на високопродуктивному стані фірми Баосян Стіл у Китаї та на новому стані фірми Еко Шталь у Німеччині, можна прокатувати усі марки сталі з обсягом виробництва до 5 млн. т на рік.

Найбільш економічним способом виробництва гарячекатаної штаби безперечно є технологія CSP. Завдяки інтенсивним розробкам, в даний час на агрегатах CSP можна відливати сталі багатьох груп марок і прокатувати їх на високоякісну гарячекатану штабу. За відповідного вибору товщини тонких слябів на двострумковому агрегаті можна випускати до 2,5 млн. т штаби на рік.

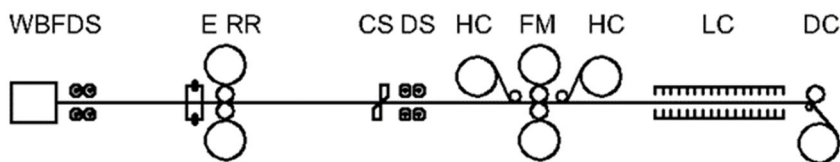
① Звичайний широкоштабовий стан гарячої прокатки



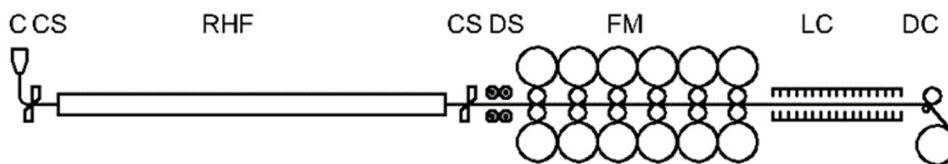
② Широкоштабовий стан компактної конструкції



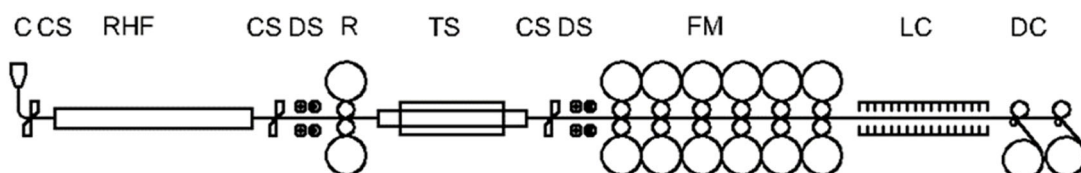
③ Стан Стеккеля



④ Ливарно-прокатний агрегат CSP (компактний широкоштабовий стан гарячої прокатки)



⑤ Ливарно-прокатний агрегат CSP з черговою кліттю



C - МНЛЗ агрегат

CB - Coilbox

CS - Ножиці МНЛЗ або ножиці для обрізання переднього кінця штаби

DC - Підпідлогова моталка

DS - Система видалення окалини

E - Вертикальна кліть (еджер)

FM - Чистова група клітей

CSPHC - Печі стана Стеккеля

LC - Участок ламінарного охолодження штаби

R - Проходна чернова кліть

RR - Реверсивна чернова кліть

RHF - Піч з роликівим подом

SSP - Прес для обтиснення слябів

TS - Транспортне устаткування

WBF - Нагрівальна піч

Рисунок 1.7 – Концепції станів гарячої прокатки штаб

Високопродуктивний широкоштабовий стан гарячої прокатки

При сучасному рівні розвитку, стан гарячої прокатки штаби, продукція якого повинна охоплювати весь діапазон марок сталей при товщині слябів 200 – 250 мм, найбільшій ширині 2030 мм і діапазоні товщин від 1,25 до 25 мм може, наприклад, мати *наступну конструкцію*:

- пряме під'єднання до машини безперервного лиття для прямого посада в печі;
- печі з крокуючими балками для холодного та гарячого посаду;
- гідрозбив окалини водою високого тиску;
- прес для обтискання по ширині максимально на 300 мм;
- двовалкова кліть для первинної деформації;
- чотиривалкова реверсивна кліть з розташованою перед нею вертикальною еджерною кліттю для виконання до дев'яти реверсивних проходів;
- проміжний рольганг з теплоізоляцією для найменших кінцевих товщин;
- кривошипні ножиці для найбільшої товщини до 60 мм;
- гідрозбив окалини водою високого тиску перед чистовою групою клітей;
- роликіві бічні проводки перед першою кліттю чистової групи;
- багатоклітьова чистова група з керуванням масовою витратою, шириною, товщиною, профілем, контуром та планшетністю;
- рольганг, що видає, з ламінарним охолодженням штаби;
- дві універсальні моталки.

Найбільш високі навантаження у стані гарячої прокатки штаби спостерігаються під час прокатки продукції з високим опором деформації. Обертний момент і зусилля прокатки досягають в окремих клітках значень, що максимально допускаються (рис. 1.8), наприклад, при прокатці сталі X5CrNi1810 на штабу шириною 1830 і товщиною 4,5 мм. Для порівняння показані обертальні моменти і зусилля прокатки, одержувані при прокатці сталей марок St 37 і X70.

Показані *межі навантаження* є допустимими значеннями для механічного обладнання. Явні запаси, зокрема, по моменту, що обертає в чистовій групі, виходять внаслідок ідентичності конструкції всіх клітей. Загалом можна стверджувати, що стан спроектований правильно. Жоден із його вузлів не піддається неприпустимо високому навантаженню. Запас міцності відповідає вимогам, що зазвичай пред'являються.

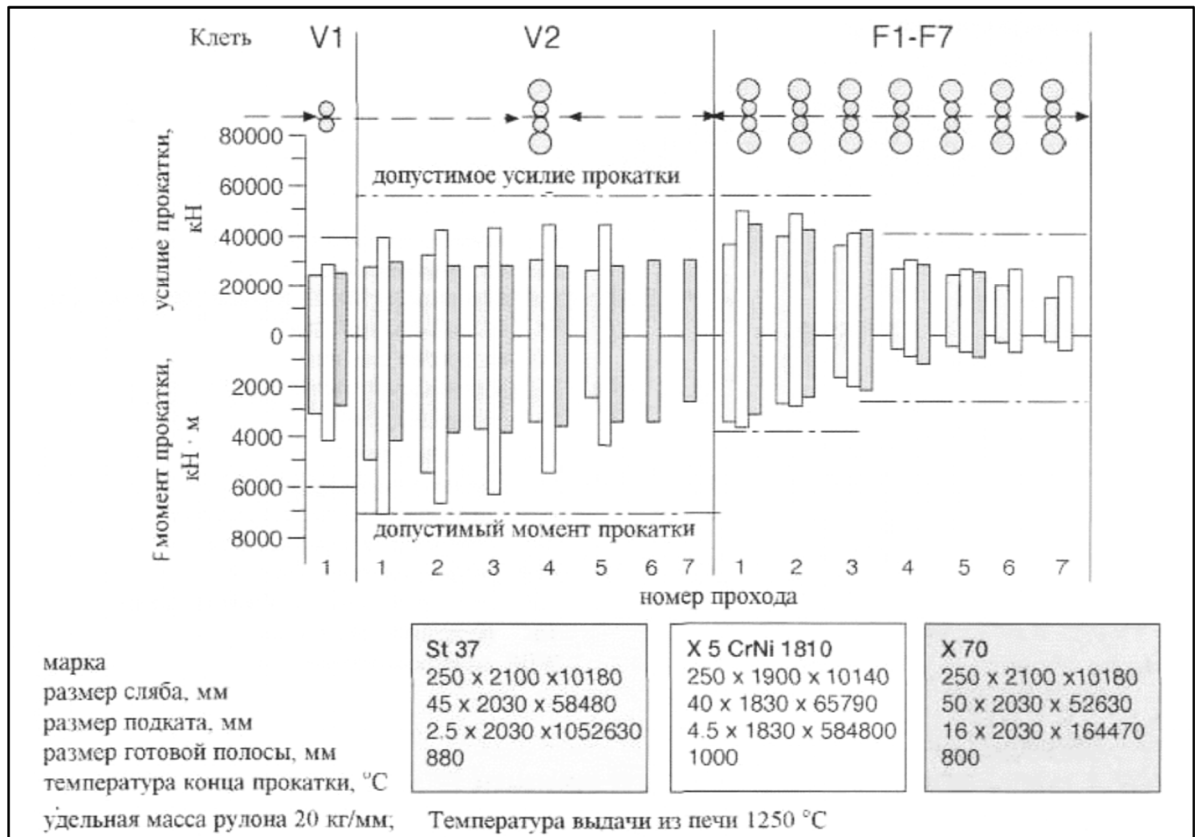


Рисунок 1.8 – Навантаження від зусилля прокатки та крутного моменту під час прокатки високоміцних сталей на високопродуктивному стані гарячої прокатки штаби [18]

Однак, при європейському розподілі груп матеріалів за марками, стан може експлуатуватися *лише за дуже малого відсотка використання своєї річної продуктивності*. У першу чергу доводиться визнати, що більш ніж у 93% робочого часу стану гарячої прокатки штаби при середньому сортаменті спостерігаються набагато менші навантаження, ніж при прокатуванні сортаменту, показаного на рис. 1.8.

Цей факт стає особливо явним при прокатці сталі для глибокої витяжки *St 12* на штабу $2,3 \times 1230$ мм. Обертальні моменти та зусилля прокатки (рис.1.9) настільки менше значень, що максимально допускаються, що ніяк не можна говорити про суттєве використання наявної потужності стану. Число проходів у чорновій групі і особливо в чистовій групі більше не відповідає вимогам, що пред'являються.

Можливості вдосконалення традиційних станів гарячої прокатки щодо зменшення готових товщин штаби

Якщо відволіктися від відомого факту, що високопродуктивний стан гарячої прокатки штаби не використовується на повну потужність при прокатці м'яких сталей, є і *технологічні обмеження* сортаменту продукції, зокрема в напрямку зменшення кінцевих товщин штаби.

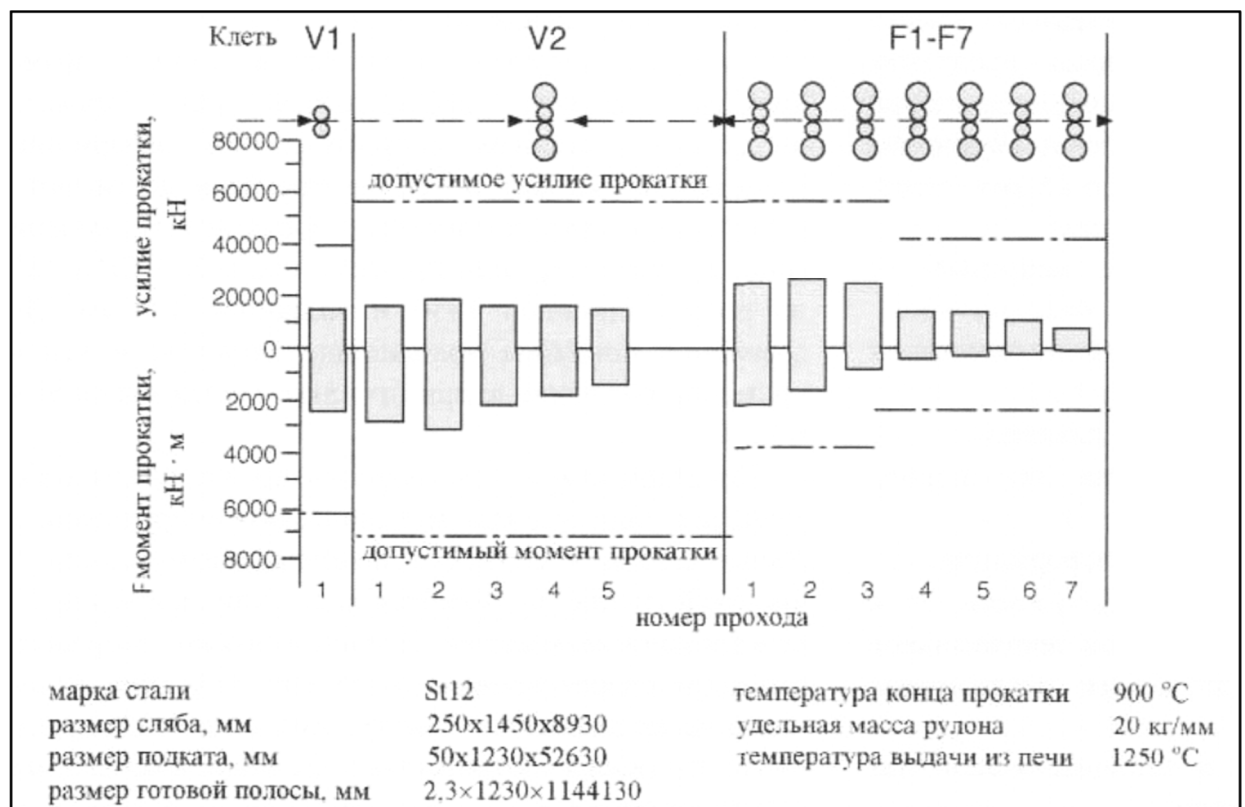


Рисунок 1.9 – Навантаження від зусилля прокатки та крутного моменту під час прокатки м'якої низьковуглецевої сталі на високопродуктивному стані гарячої прокатки штаби (V1 та V2 – чорнові кліті, F1 – F7 – чистові кліті) [18]

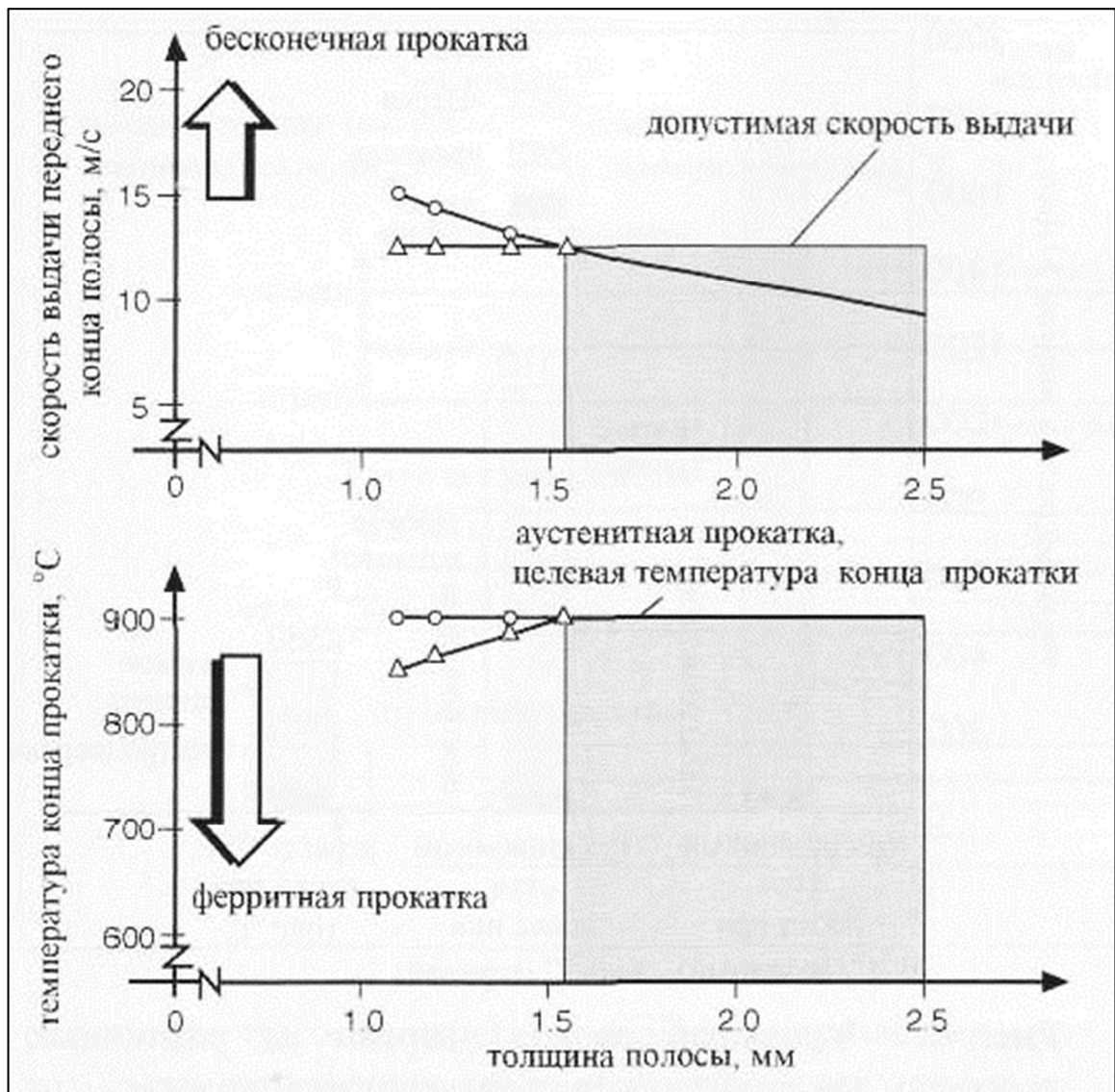


Рисунок 1.10 – Технологічні межі при прокатуванні м'яких маловуглецевих сталей (St 12) на високопродуктивному стані гарячої прокатки [18]

Щоб переконатися, що передній кінець штаби буде ефективно доставлений на стэнд моталок, *максимальна швидкість штаби* на цьому кінці обмежується приблизно до 12,5 м/с. Між тим, деякі *температури* кінця прокатки та змотування, що залежать від матеріалу, повинні бути витримані у вузьких межах. У процесі зменшення товщини штаб це призводить до обмежень, які можуть бути усунені лише додатковим удосконаленням технології прокатки та (або) інжинірингу (технічного обладнання) установки.

М'які нелеговані сталі для холодної прокатки надійно та з гарною якістю прокатуються в діапазоні температур аустеніту (близько 900°C) на традиційних станах гарячої прокатки штаби при дотриманні граничних умов за технологією та інжинірингом (технічними характеристиками) агрегату до мінімальних кінцевих товщин 1,5 мм (рис. 1.10) – у разі типового семиклітьового стана.

Для прокатки *ще менших кінцевих товщин* в області аустенітних температур потрібні високі швидкості кінця прокатки, наприклад швидкість 15 м/с при кінцевій товщині штаби 1,1 мм. Така швидкість неприпустимо висока для надійного транспортування переднього кінця штаби до стенду моталок. Якщо для остаточно прокатої гарячекатої штаби потрібні однакові механічні властивості по всій її довжині, штабу товщиною 1,0 мм не можна отримати на традиційному стані при використанні звичайної стратегії прокатки.

При *зміненому технічному обладнанні стана*, коли підкати зварюють між собою, остаточно прокату штабу знову ріжуть уперек на летючих ножицях безпосередньо перед стендом моталок, можна реалізувати *швидкості кінця прокатки навіть до 20 м/с*. При цій, так званій, нескінченній прокатці немає потреби транспортувати передній кінець штаби на рольгангу видачі, внаслідок чого досягаються високі швидкості кінця прокатки. Тут не обговорюється питання, економічний такий процес прокатки чи ні.

До того ж можна відразу бачити, що для здійснення нескінченної прокатки необхідно багато *додаткового обладнання*, яке не потрібне на традиційному стані гарячої прокатки штаби.

Для *низьковуглецевих сталей* є альтернативна стратегія прокатки зі зниженою температурою її кінця – так звана *феритна прокатка*. У такий спосіб можна прокатувати штабу до кінцевої товщини до 1,0 мм і менше із застосуванням звичайних швидкостей кінця прокатки. Тому з економічних міркувань для сталі деяких марок такий спосіб краще нескінченної прокатки.

Феритна прокатка полегшується додатковим технологічним ефектом. Межа плинності при високих температурах у низьковуглецевих сталей у діапазоні феритних температур набагато нижче, ніж в області температур існування аустеніту. Цей ефект призводить до зниження зусиль прокатки та обертових моментів.

Прокатка менших кінцевих товщин призводить до зниження продуктивності стана гарячої прокатки штаби (рис. 1.11). При проектуванні нових прокатних станів та реконструкції існуючих цей аспект потрібно обов'язково брати до уваги.

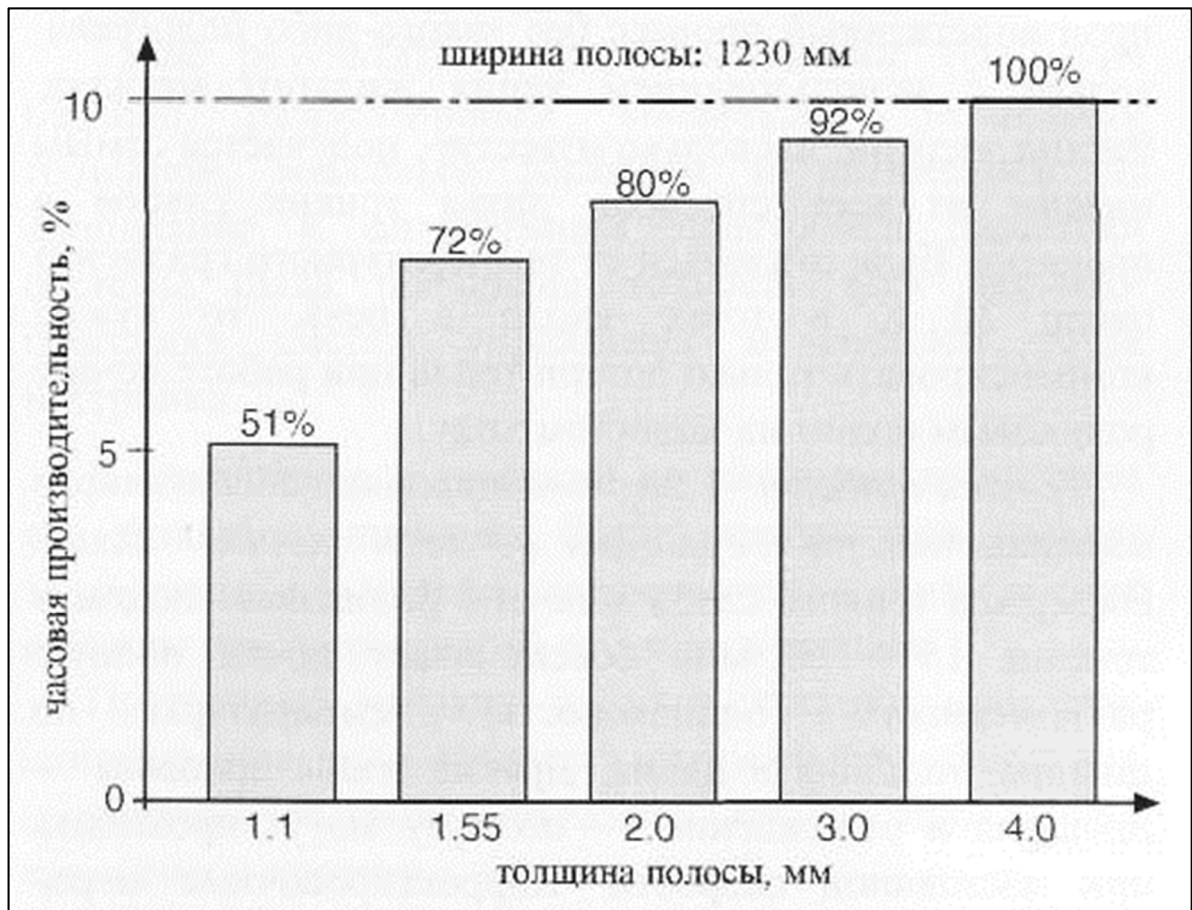


Рисунок 1.11 – Годинні обсяги виробництва при прокатуванні м'яких маловуглецевих сталей (St 12) на високопродуктивному стані гарячої прокатки [18]

При теперішньому стані справ є неймовірним, що *традиційні високопродуктивні стани* в майбутньому все більше застосовуватимуться для

прокатки найменших кінцевих товщин. Традиційні стани будуть незамінними для отримання дуже високих продуктивностей і для виробництва продукції, що важко піддається деформації, та зі сталей спеціальних марок. Їх розвиток буде зосереджуватися на підвищенні гнучкості при пристосуванні до спеціальних умов деформації партій металу невеликих розмірів.

Принцип технології CSP

Детальні повідомлення про технічне обладнання суміщених ливарно-прокатних агрегатів CSP вже публікувалися. Тому обмежимося викладом лише принципів, що призвели до економічного успіху технології CSP.

Перший принцип – це скорочення кількості етапів процесу до абсолютного мінімуму:

- процес лиття у машині для безперервного лиття тонких слябів;
- вирівнювання температури у печі з роликівим подом для отримання рівномірної температури всього слябу;
- процес прокатки на прокатному стані для отримання бажаних кінцевих розмірів штаби;
- охолодження розкату на рольгангу видачі для отримання необхідних металургійних властивостей;
- охолодження в моталці задля забезпечення транспортабельності продукції (рулону).

Кожен із перелічених вище етапів процесу є окремим модулем устаткування, що дозволяє до мінімуму скоротити витрати на ремонтний і експлуатаційний персонал. Капіталовкладення та амортизаційні відрахування у сумі з відсотками на капітал знаходяться на прийнятному мінімумі. Збитки від короткочасних перерв теж виходять найнижчими.

Другий принцип – це скорочення до мінімуму енерговитрат (рис. 1.12). Завдяки мінімальній кількості етапів процесу, стає можливим покрити потреби енергії на весь виробничий процес без будь-якого підігріву, тільки з

використанням тепла рідкого металу. Витрата енергії, наскільки відомо, виходить найнижчою при використанні усіх способів лиття тонких слябів та прокатки. Якщо відволіктися від температурного градієнта близько 20 К у точці входу в піч, потрібно компенсувати тільки втрати тепла при роботі печі з роликівим подом на холостому ході.

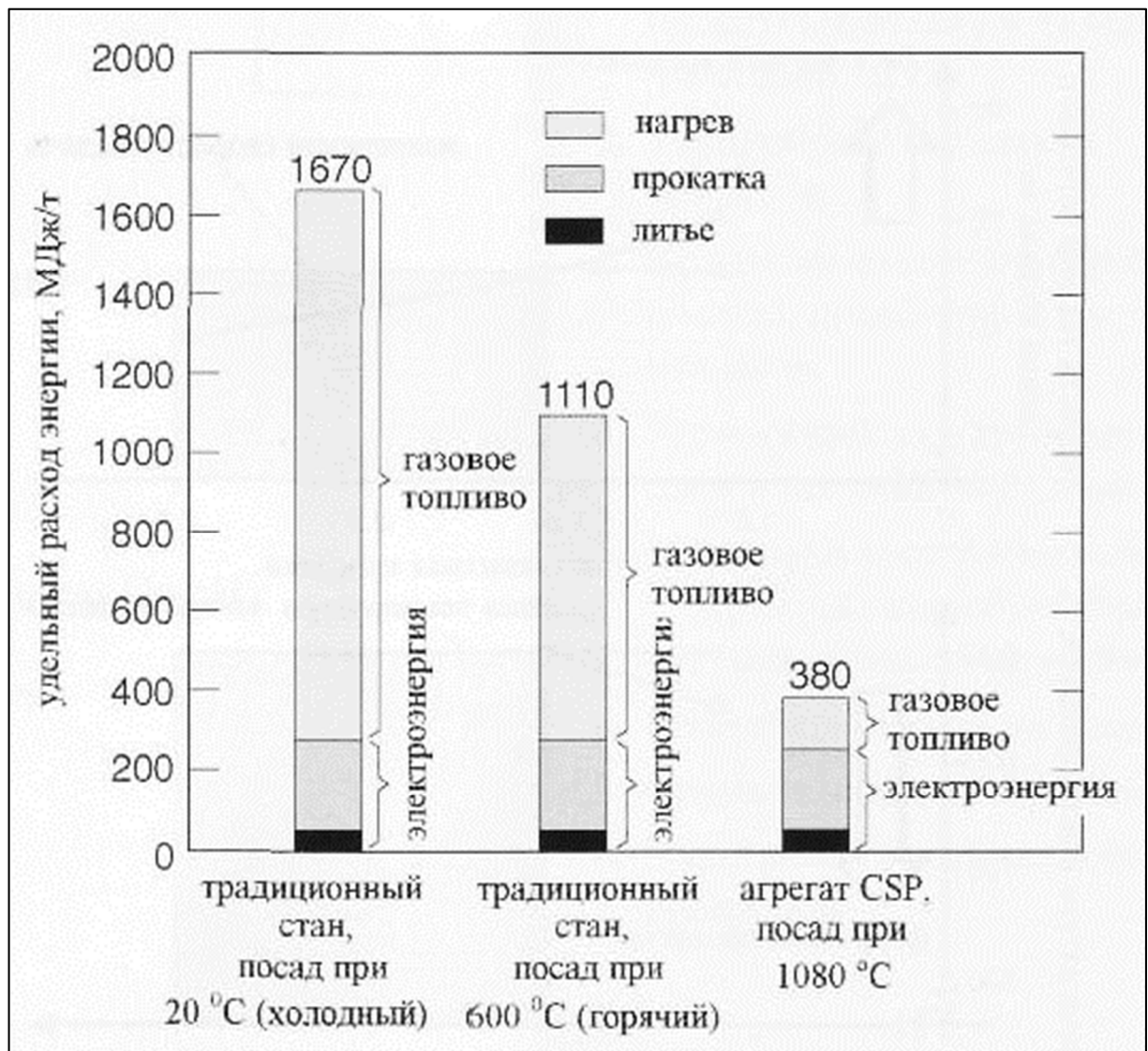


Рисунок 1.12 – Питома витрата енергії на різних агрегатах для гарячекатаної штаби [18]

Третій принцип – це підтримання абсолютної сталості температури у всьому тонкому слябі. Витримка тонкого слябу в печі з роликівим подом

протягом 15 – 20 хв забезпечує майже повну рівномірність (однаковість) температури по ширині, товщині та довжині. інші етапи процесу – прокатка та охолодження – тому можуть проходити при постійній швидкості. Кориговальні заходи, як, наприклад, підігрів кромek штаби, температурний розгін або міжклітьове охолодження тут більше не потрібні. Кристалічна структура набуває такої однорідності, яка у минулому ніколи не досягалася. Геометрична точність щодо профілю та товщини досягає мінімальних відхилень без жодних проблем.

Розміри *прокатних клітей* в агрегаті CSP вибираються за тими самими способами, прийомами та критеріями, як у традиційних станах гарячої прокатки. Зрозуміло, пов'язані з процесом особливості та переваги теж беруться до уваги.

У результаті на агрегатах CSP *навантаження на прокатні кліті* обертовими моментами та зусиллями прокатки при виробництві продукції, що легко деформується (рис.1.13), забезпечують достатній запас міцності стосовно граничних можливостей агрегату.

В результаті цього на агрегатах CSP в даний час можливо виробляти сталь практично всіх марок і ці агрегати проектуються також і для виробництва продукції, що важко деформується.

На станах CSP немає *технологічних обмежень*, які потрібно було б брати до уваги при прокатці легко деформованих сталей до найменшої кінцевої товщини. Це відноситься, зокрема, до допустимої швидкості прокатки на передньому кінці штаби, тобто швидкість, з якою передній кінець штаби може бути надійно доставлений до моталки, і мінімальні температури чистової прокатки досі залишаються у прийнятних межах.

Рівень *максимально допустимої швидкості на видачі* залежить тільки від конструкції обладнання агрегату на ділянці видачі і тому не відрізняється від можливостей традиційних станів гарячої прокатки штаби. Тут межа швидкості транспортування також становить близько 12,5 м/с.

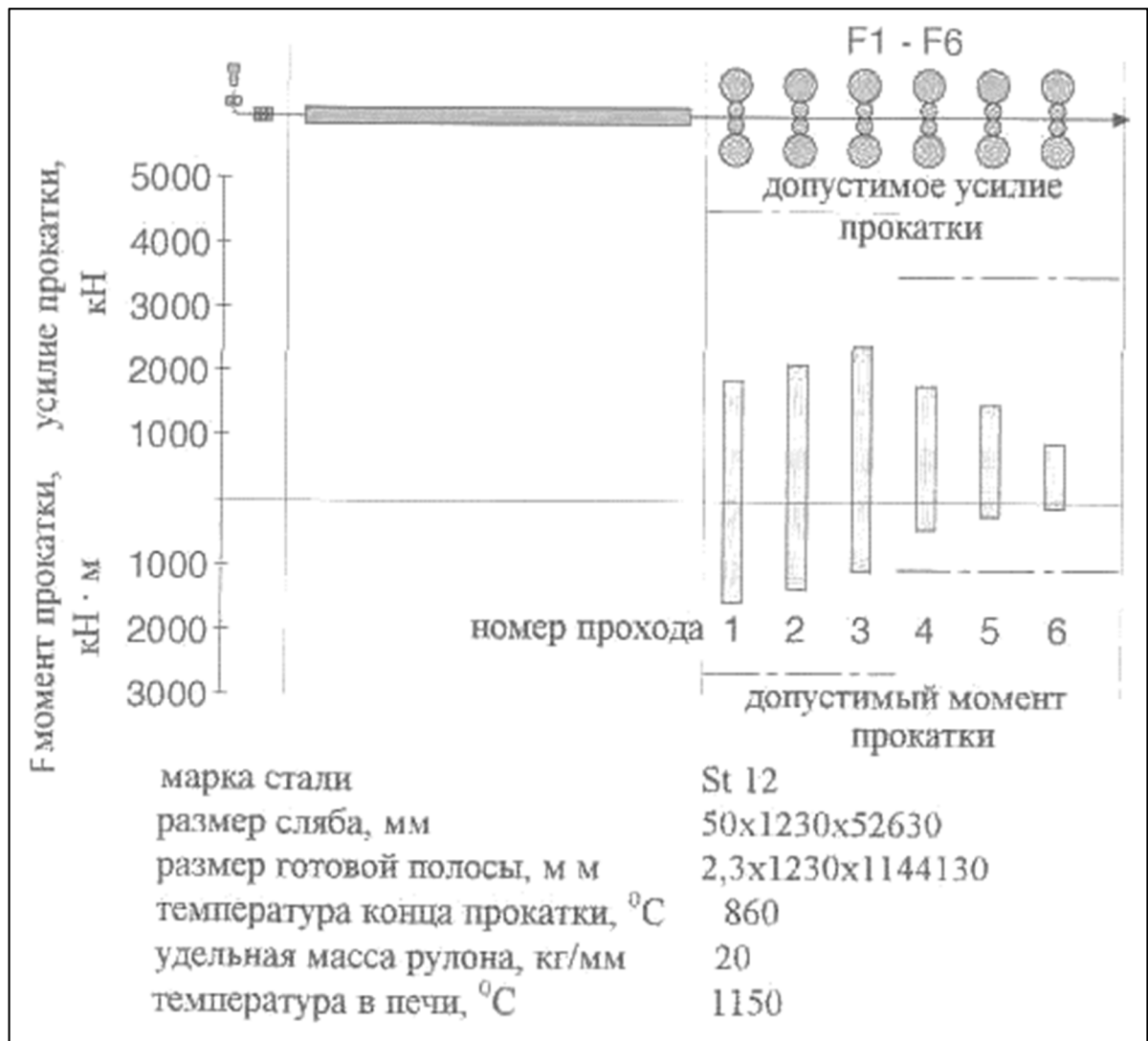


Рисунок 1.13 – Навантаження від зусилля прокатки та крутного моменту під час прокатки м'якої маловуглецевої сталі на агрегаті CSP [18]

Однак, *контроль температури* гарячої штаби в чистовій групі агрегату CSP значно відрізняється від практикованого на традиційному стані гарячої прокатки штаби:

- температура тонкого слябу приблизно 1100 – 1150°С набагато вище температури звичайного підкату;
- температура тонкого слябу залишається постійною по всій його довжині;
- температура тонкого слябу на виході з печі з роликівим подом постійна по всій його ширині, що веде до значно меншого падіння температури по відношенню до температури кінця прокатки за останньою кліткою. Завдяки

таким меншим різницям температури між центром та кромкою готової штаби всі вимоги, що стосуються аустенітної прокатки, можуть бути повністю виконані, навіть за нормальної температури кінця прокатки 860°C для сталі St 12. На відміну від цього у традиційних чистових групах зазвичай потрібні температури порядку $890 - 910^{\circ}\text{C}$.

Зазначені переваги у контролі температури сприяють зниженню швидкості. Це означає, що на агрегатах CSP забезпечуються найкращі попередні умови для надійного отримання кінцевих товщин штаби аж до 1,0 мм за стратегією прокатки аустенітної сталі і, в той же час, при прийнятній швидкості штаби на виході.

Практична реалізація стратегій прокатки, описаних тут, може бути показана по результатах роботи. Про високу точність розмірів штаб з агрегатів CSP при їх товщині більше 1,2 мм вже неодноразово повідомлялося. Після введення в експлуатацію агрегату CSP на заводі фірми Хілса, який був розрахований на отримання гарячекатаних штаб номінальною товщиною 1,0 мм, тепер отримані результати виробництва особливо тонких штаб подібного роду.

Допуски на товщину гарячекатаної штаби товщиною 1,0 мм (рис. 1.14) на більшій частині її довжини укладаються у межі, які раніше досягалися тільки для холоднокатаних штаб. Особливо слід зазначити мінімальне відхилення у товщині на передньому кінці штаби.

Такі результати стали можливими завдяки нещодавно розробленим *концепціям управління* товщиною, масовою витратою та натягом штаби. На додаток до оптимізації підстроювання динаміки системи було підвищено точність всіх технологічних систем управління та комп'ютерних моделей точок налаштування.

На додаток до точності за розмірами в майбутньому все більше значення надаватиметься *технологічним властивостям гарячекатаної штаби* як готового продукту по всій її довжині та ширині.

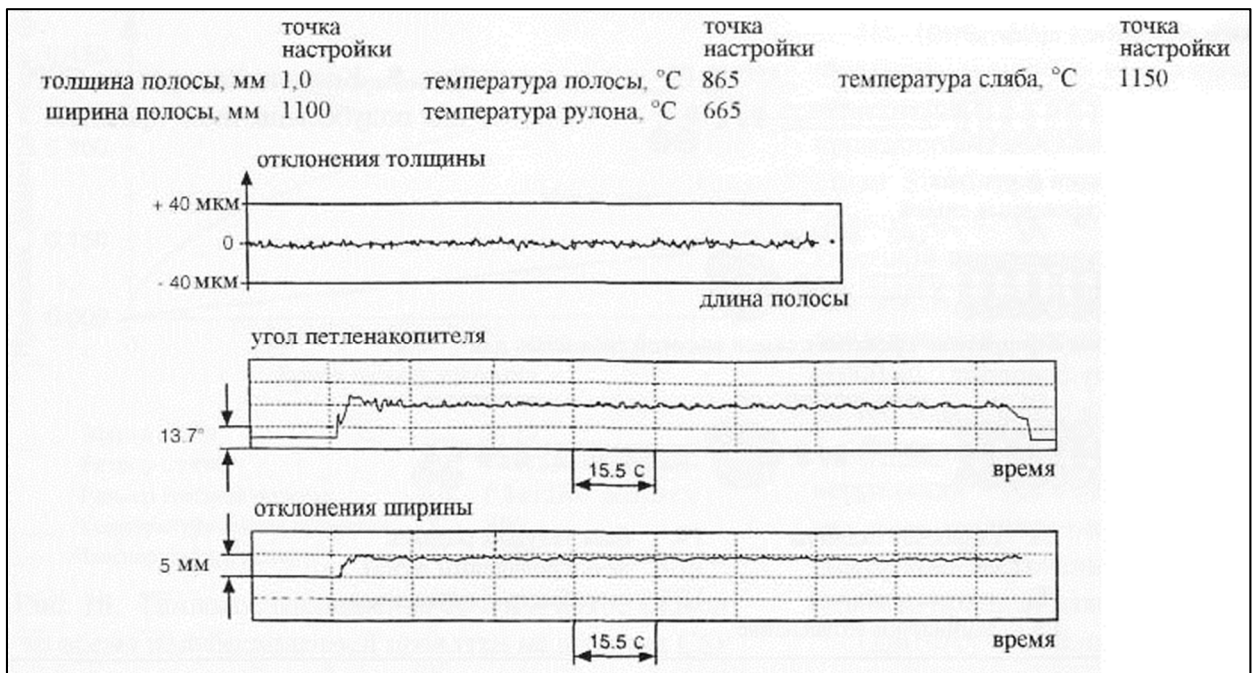


Рисунок 1.14 – Відхилення товщини, кут петленакопичувача та відхилення ширини при прокатці штаби товщиною 1,0 мм на агрегаті CSP [18]

Постійні умови входу в процес прокатки, описані вище, створюють оптимальну базу для досягнення *високої точності температур кінця прокатки та змотування.*

Порівняння *вимірних показників міцності* гарячекатаної штаби за її шириною показує переваги процесу CSP перед традиційним станом гарячої прокатки штаб. Такі значення не можуть бути досягнуті на звичайних станах під час використання додаткового обладнання для нагрівання кромки.

Можливості розвитку агрегатів CSP щодо зменшення кінцевих товщин штаби.

Агрегати CSP мають також гарні можливості вдосконалення навіть для *досягнення товщини готової штаби менше 1,0 мм.* У зв'язку з цим слід знову послатися на третій принцип технології CSP (абсолютна сталість температури по ширині і довжині штаби і, тим самим, забезпечення сталості умов процесу

прокатки), що є також істотною передумовою для надійної прокатки штаб товщиною менше 1,0 мм.

Товщини штаби до 0,8 мм можуть бути отримані, наприклад, феритною прокаткою при зниженій температурі кінця прокатки або способом нескінченної прокатки при високих швидкостях на виході. Зрозуміло, можлива і доцільна також комбінація цих способів.

Спеціальним різновидом технології CSP у цьому зв'язку є так звана *напівнескінченна прокатка* (рис. 1.15). Литі тонкі сляби не ріжуть, як це зазвичай заведено, на окремі мірні довжини. Натомість відливають кратні довжини тонких слябів як одне ціле з довжиною печі, не розрізаючи їх на відрізки. Тільки коли вся довжина печі буде заповнена, виконується різ ножицями.

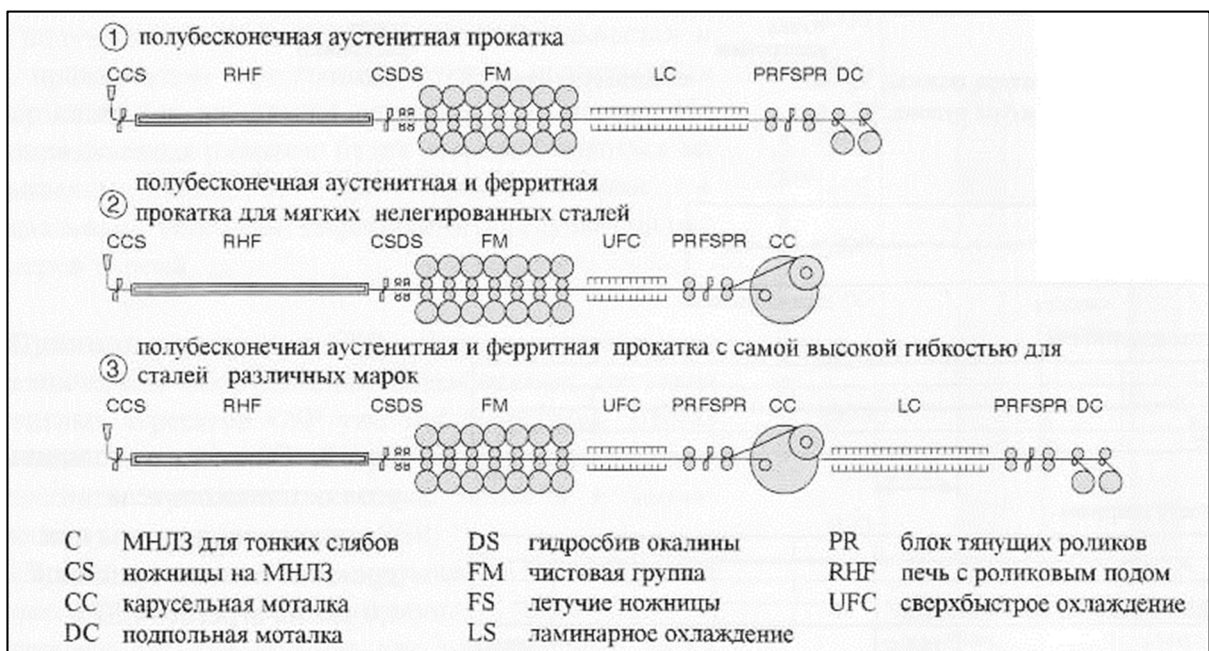


Рисунок 1.15 – Концепція агрегату CSP для напівнескінченної прокатки [18]

Отриманий у такий спосіб «наддовгий» сляб прокатують у чистової групі як одне ціле, тобто. напівнескінченно. Поділ на індивідуальні довжини рулонів виконується летючими ножицями перед станом моталок.

Товщина штаби на початку і в кінці напівнескінченної прокатки вибирається з таким розрахунком, щоб, по-перше, її можна було надійно заправити в чистову групу і вивести з неї і, по-друге, щоб забезпечувалося надійне транспортування переднього кінця штаби до стенду моталок. Одна із спеціальних функцій системи управління товщиною забезпечує швидке перетворення вихідної товщини на бажану мінімальну товщину, наприклад, 0,8 мм. Друге перетворення виконується наприкінці всієї кампанії напівнескінченної прокатки з метою отримати бажану товщину штаби для виходу зі стана. Перехідні ділянки, що виходять при цьому, дуже короткі і майже не впливають на вихід придатного, тому що довжина штаби дуже велика (на обрізь припадає 0,04 % всієї довжини, прокатої в напівнескінченному режимі).

Відповідно до бажаної стратегії прокатки – феритної чи аустенітної – *можливі різні концепції агрегату для напівнескінченної прокатки* (рис. 1.15). інші комбінації, що виходять за межі цих трьох описаних концепцій, зрозуміло, також можливі на ділянці видачі штаби.

Напівнескінченна стратегія прокатки, показана тут для агрегату CSP з одним ливарним струмком, може бути також здійснена із застосуванням відповідних передавальних систем і на агрегатах, що мають *два ливарні струмки*. При напівнескінченній прокатці у двох струмках вже досягається рівень, при якому продуктивність двох машин безперервного лиття заготовок відповідає продуктивності прокатного стана. Це означає, що відбувається не лише напівнескінченний процес прокатки, а й напівбезперервний процес в цілому – від рідкої сталі до рулону готової гарячекатаної штаби.

інша потенційна можливість майбутнього удосконалення відкриється у зв'язку з подальшим удосконаленням процесу лиття у бік все більш високих швидкостей. Мета такого розвитку полягає в тому, щоб досягти швидкості лиття, яка б відповідала швидкості входу слябу в прокатний стан. Це створило б основу отримання повністю безперервного процесу загалом. Специфічною особливістю такого повністю безперервного процесу буде не тільки

об'єднання всіх етапів процесу від рідкої сталі і до рулону гарячекатаної штаби, але й відсутність необхідності в будь-яких додаткових нагрівальних пристроях та (або) навіть в обладнанні для зварювання, як при напівнескінченній прокатці.

Вимоги до систем налаштування для напівнескінченної або нескінченної прокатки

Обов'язковою передумовою для здійснення напівнескінченної або нескінченної прокатки особливо тонких гарячекатаних штаб товщиною до 0,8 мм є наявність наступних технологічних функцій, необхідних для традиційних чистових груп, і чистових груп в агрегатах CSP:

- високодинамічна концепція управління товщиною для прокатки особливо тонких готових штаб;
- розширені системи петленакопичувачів та управління масовою витратою;
- стратегія швидкого перетворення товщини штаби (обтискання) під час прокатки;
- управління профілем, контуром та планшетністю штаби;
- стратегія змащування мастилом зазору між валками;
- концепція управління натягом штаби на дільниці видачі, зокрема, що враховує процедури різання летючими ножицями.

Далі буде детальніше розглянута система управління профілем, контуром і планшетністю штаби, як ілюстрація великої кількості технологічних функцій і спеціальних вимог, що висуваються щодо допоміжних систем налаштування.

Під профілем штаби мається на увазі різниця між товщиною штаби в центрі (середині ширини) та на її кромках, а контур – як крива зміни товщини штаби по всій її ширині. Системи управління, що впливають на профіль, контур та планшетність штаби, є найбільш суттєвими умовами для реалізації напівнескінченної прокатки.

На рис. 1.16 показано безперервне збільшення *теплової опуклості та зносу валків* у кліті F5 семиклітьової чистової групи. Дослідження проводили на м'якій низьколегованій вуглецевій сталі St 12 при товщині підкату 50 мм та ширині штаби 1230 мм, який потрібно було прокатати до кінцевої товщини 0,8 мм у режимі нескінченної прокатки. У період досліджень тривалістю близько 16 хв (1000 с) теплове розширення змінилося приблизно на 400 мкм і знос валків становив 130 мкм.

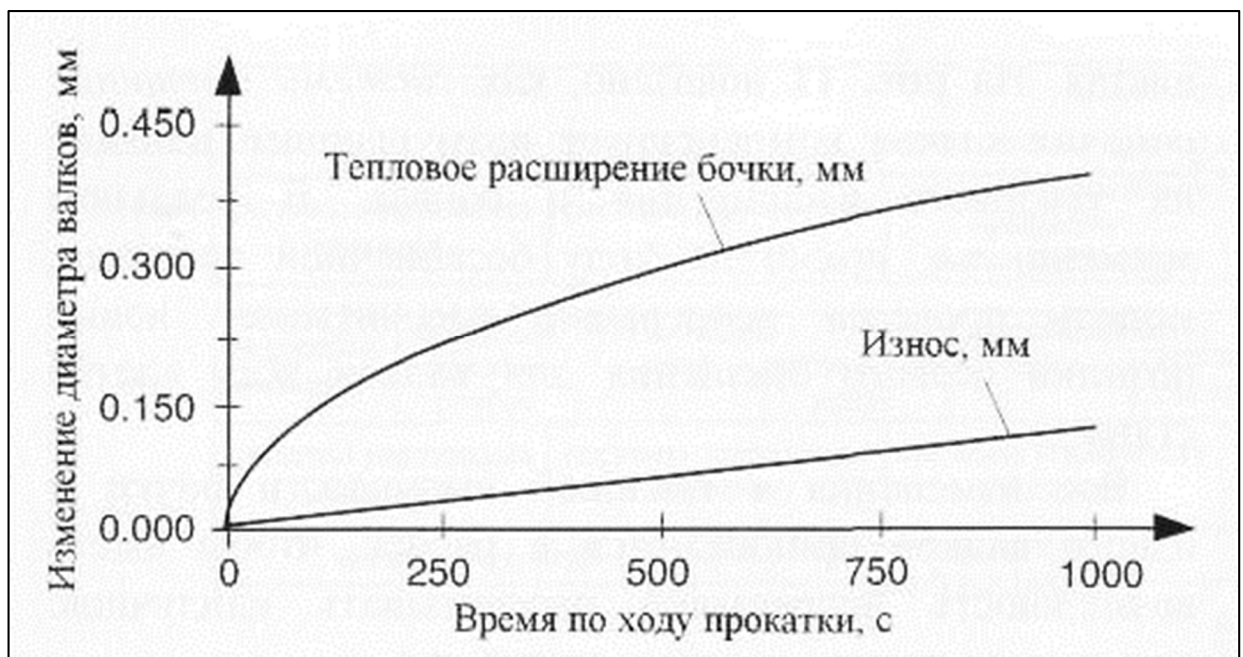


Рисунок 1.16 – Теплове розширення бочки та знос валків у процесі напівнескінченної прокатки на агрегаті CSP (комп'ютерне моделювання) [18]

З метою отримання кращого обзору складних кореляцій – без впливу на загальну показовість – теплове розширення бочки та зношування валків на початку кампанії нескінченної прокатки у цьому дослідженні прийняли рівними нулю.

За відсутності відповідних підстроювальних систем показаний вплив теплового розширення та зношування валків безперервно змінював би профіль і контур штаби і, тим самим, її планшетність. Вимоги відтворюваної геометрії від штаби до штаби при цьому не вдалося би виконати. Щоб задовольнити ці

вимоги, потрібно мати систему підстроювання, що дозволяє об'єктивно змінювати профіль зазору між валками.

Це завдання повністю виконується так званою системою *CVC* (*опуклість бочки, що неперервно варіюється*). істотною основою цієї системи є S-подібне шліфування робочих валків. Коли робочі валки зміщуються в осьовому напрямку у протилежні сторони, в результаті відбувається об'єктивна зміна профілю зазору між валками. Залежно від напрямку зміщення опуклість бочки змінюється або в позитивну або негативну сторону.

Незалежно від шліфування робочих валків вирішальне значення для функціонування системи *CVC* має об'єднання в єдине ціле *механічного обладнання* для системи зміщення та комп'ютерної моделі *технологічного процесу* для автоматизації. Концепція об'єднання спеціального шліфування, системи осьового зміщення та комп'ютерної моделі процесу створює передумови, необхідні для надійності та високої якості процесу прокатки.

Ефективність системи зміщення *CVC* у поєднанні з підключеною моделлю управління контуром, профілем та планшетністю штаби показана на прикладі нескінченної прокатки на рис. 1.15.

У семиклітьовій чистовій групі перші чотири кліті обладнані валками *CVC*, тоді як останні три кліті мають валки зі звичайним (циліндричним) шліфуванням. Механічне обладнання для осьового зміщення робочих валків ідентичне у всіх семи клітках. На рис. 1.17 показано, як *система зміщення робочих валків* компенсує вплив їх теплового розширення і зносу. В реальному часі, тобто прямо по ходу нескінченної прокатки, комп'ютерна модель процесу безперервно розраховує нові позиції осьового зміщення для валків всіх клітей стана.

Всі зміни в тепловій опуклості бочки та зношуванні валків приймаються до уваги, щоб мати можливість безперервно розраховувати найкращі можливі позиції осьового зміщення.

Тут потрібно підкреслити ще й наступний істотно необхідний фактор, оскільки він є фундаментально важливим для нескінченної прокатки.

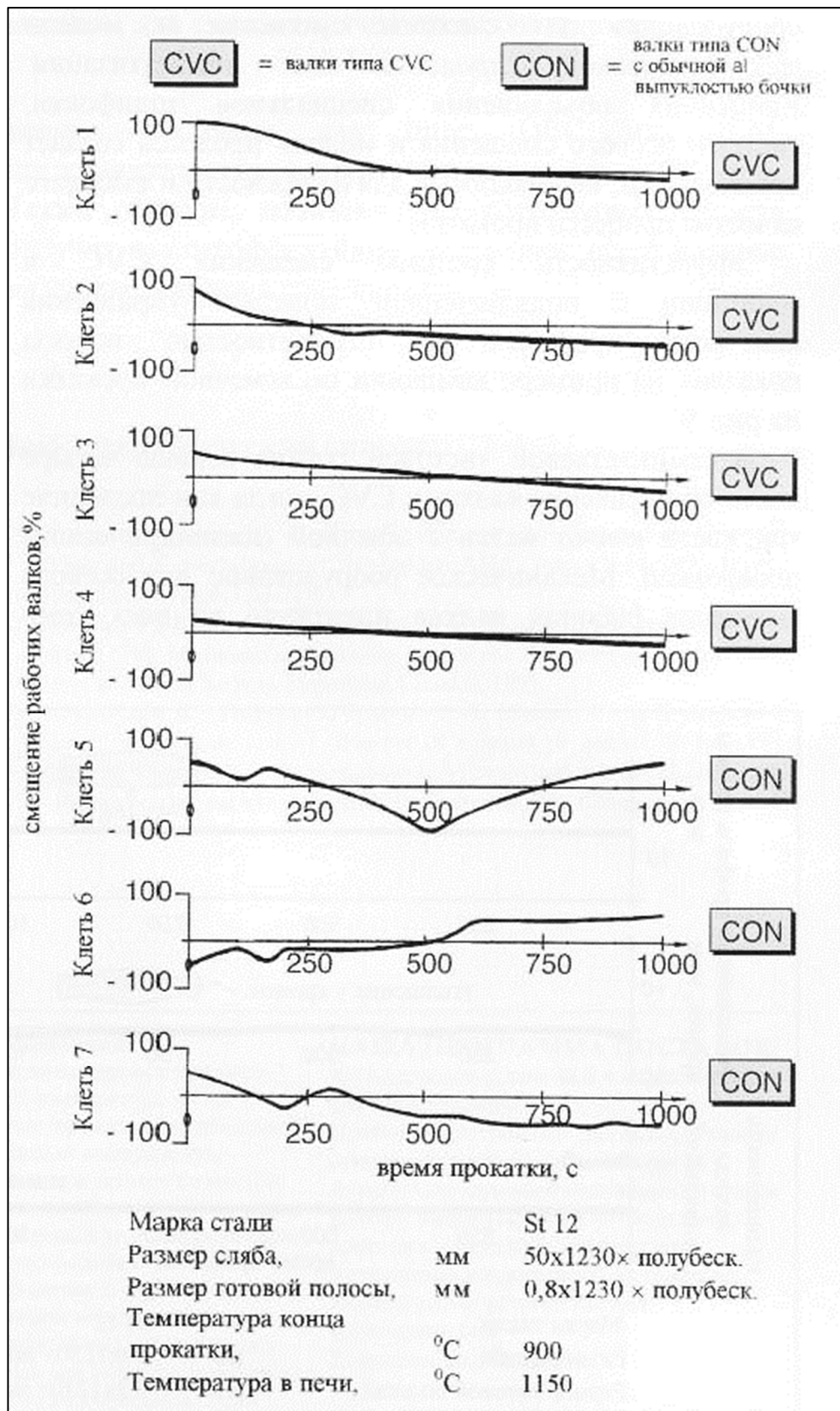


Рисунок 1.17 – Позиція зміщення робочих валків при керуванні профілем, контуром та планшетністю штаби під час нескінченної прокатки на агрегаті CSP (комп'ютерне моделювання) [18]

Підстроювальні втручання мають виконуватися *безперервно під час прокатки, тобто при зусиллі прокатки*. Зважаючи на дуже велику тривалість прокатки, звичайна в інших випадках процедура попереднього налаштування стану перед заправкою штаби не може бути застосована. Тому повинні встановлюватися системи, що підлаштовують, які могли б працювати під час прокатки з подоланням зусилля прокатки.

Результати дослідженої тут кампанії нескінченної прокатки щодо профілю штаби, її контуру та планшетності узагальнені та представлені на рис. 1.18. Проведене дослідження показало ефективність системи підстроювання SVC у поєднанні з підключеною комп'ютерною моделлю процесу.

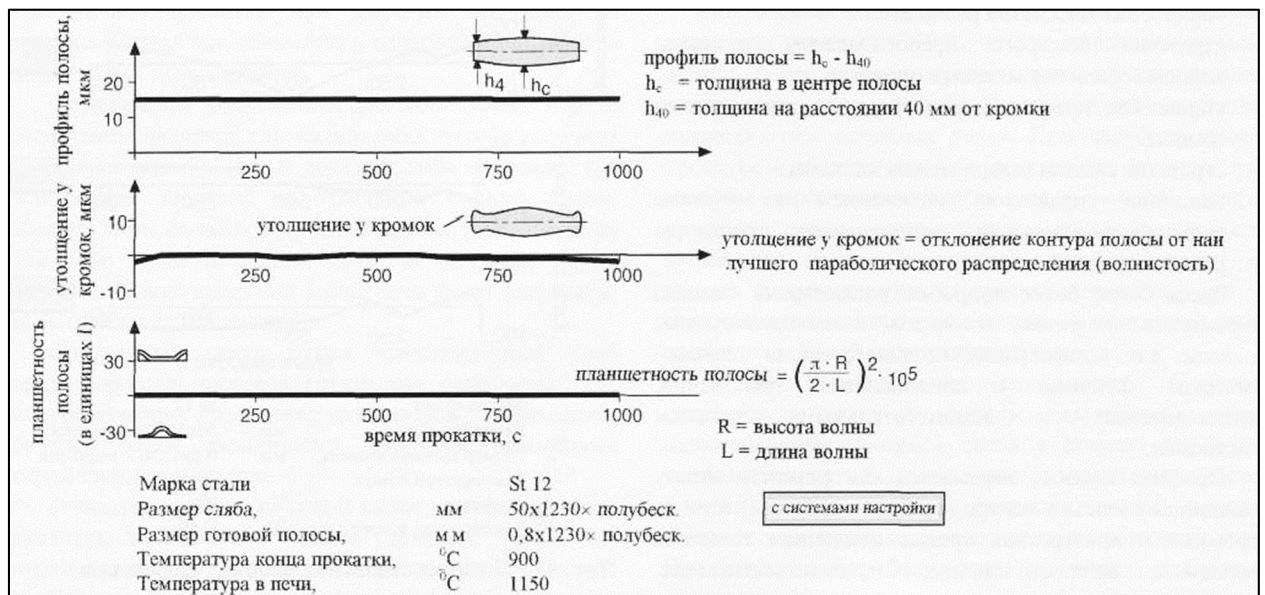


Рисунок 1.18 – Відхилення профілю штаби, її контуру та планшетності в процесі напівнескінченної прокатки на агрегаті CSP із системою SVC (комп'ютерне моделювання) [18]

Концепція автоматизації установок для виробництва гарячекатаної штаби

Високі вимоги до якості та до економічності роботи виробничого обладнання можуть бути виконані лише за умови оптимального об'єднання в єдине ціле механічного обладнання, системи управління та технології процесу. Для виконання цих вимог фірма SMS поставляє на додаток до механічного обладнання також системи автоматизації, що відносяться до нього.

Типовий приклад базової концепції автоматизації стана для гарячої прокатки штаби представлено на рис. 1.19. Відповідальність вищого рівня за всі послідовності в процесі бере на себе комп'ютерна модель процесу для налаштування стану в поєднанні з технологічними системами управління, підключеними до комп'ютерної моделі. Детальне фізичне та математичне моделювання процесу прокатки разом із допоміжними моделями матеріалів є основною попередньою умовою для реалізації моделі процесу.

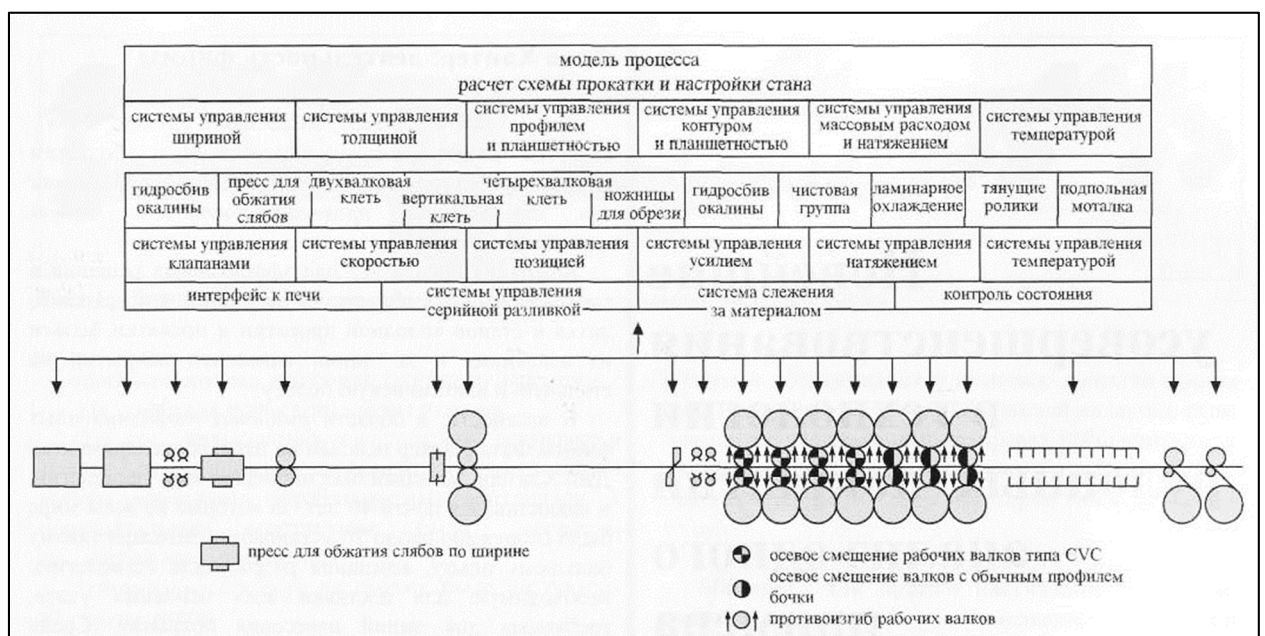


Рисунок 1.19 – Моделі процесу та системи технологічного управління для стану гарячої прокатки штаби [18]

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Нова технологія виробництва гарячекатаної штаби

Перший напівнеперервний широкоштабовий стан гарячої прокатки (ШСГП), введений в експлуатацію в 1926 р. в США, мав в чорновій групі одну нереверсивну і одну реверсивну кліті, а в чистовій групі чотири кліті кварто. Подальший розвиток станів до 1979 р. йшло по шляху збільшення кількості клітей кварто в чорновій і чистовій групах клітей і застосування універсальних клітей (загальна кількість робочих клітей 11 – 13). Після 1979 р. з метою зниження фінансових витрат на будівництво неперервних ШСГП, кількість клітей в чорновій групі скоротилася до 3х – 4х (при одній реверсивній кліті). При цьому постійно вдосконалювали технологічний процес і основне обладнання шляхом:

- застосування неперервної прокатки в 2х – 3х клітях чорнової групи;
- збільшення діаметрів робочих і опорних валків;
- збільшення потужностей головних приводів;
- збільшення товщини слябів до 250 – 300 мм;
- зменшення товщини готових штаб до 1,0 – 1,2 мм;
- застосування гідравлічних натискних пристроїв в клітях чистової групи;
- встановлення проміжного перемотувального пристрою (Coilbox – ППУ);
- прискорення обертання валків чистової групи клітей зі збільшенням швидкості прокатки з $v = 10 - 12$ м/с при заправці штаби в моталку до максимально можливої швидкості прокатки $v = 15 - 30$ м/с.

На традиційних ШСГП застосування технології злиток – сляб супроводжується великими втратами металу в обрізь при коефіцієнті витрати металу $K_B = 1,09 - 1,12$ для маловуглецевих сталей. У 1988 – 1989 роках з'явилися альтернативні виробництва тонких гарячекатаних штаб на ливарно-

прокатних агрегатах (ЛПА), що складаються з машини безперервного лиття тонкої (50 – 100 мм) заготівки і неперервного штабового стана гарячої прокатки (МБЛЗ – НПС). Перші ЛПА мали в своєму складі тільки чистову групу з чотирьох клітей кварто, а наступні 1 – 2 чорнові кліті і 5 – 6 клітей чистової групи. При прокатуванні з прискоренням штаба виходить з останньої кліті ШСГП зі швидкістю 10 ... 12 м/с, а після захвату штаби моталкою швидкість прокатки збільшують до 20 м/с і більше.

Недоліки технології та обладнання традиційних ШСГП детально розглянуті в літературі [11].

1. Перед прокаткою на обтискному стані (слябінгу) злитки нагрівають в нагрівальних колодязях до температури $t_{\text{наг}} \approx 1220 \dots 1230^{\circ}\text{C}$, що вимагає значної витрати газу і підвищує вартість прокату. Застосування останнім часом посадки злитків в колодязі з підвищеним тепловмістом (з рідкою серцевиною) забезпечує скорочення витрат природного газу, часу нагрівання злитків в колодязях, витрати електроенергії на прокатку злитків в сляби.

2. Транспортування слябів по транзитному рольгангу від слябінга до ШСГП без теплозберігаючих екранів призводить до зниження температури сляба на $20 - 30^{\circ}\text{C}$, що викликає підвищення контактних напружень в осередках деформацій клітей ШСГП, підвищення енергосилових параметрів, додатковий знос поверхонь валків.

3. До підвищеної втрати температури розкату призводить також значні відстані між клітьями чорнової групи і, отже, великий час проходження штаби по рольгангам чорнової групи. Застосування напівнеперервного процесу прокатки в чорновій групі клітей без зміни їх розташування (меткомбінат "Запоріжсталь") не покращує тепловміст штаби, але дозволяє збільшити масу сляба (рулону).

4. Відстань між останньою кліттю чорнової групи і першою кліттю чистової групи становить $\approx 65 - 120$ м. На цій ділянці проміжного рольганга штаба товщиною $h_{\text{пр}} \leq 40$ мм, переміщується зі швидкістю $v_{\text{пр}} \approx 2,25 - 3,5$ м/с, а при прокатуванні в чистовій групі швидкість штаби (перед кліттю №5)

зменшується до $v_{53} \approx 0,8 - 2,0$ м/с. При цьому температура заднього кінця штаби при вході в першу кліть чистової групи виявляється на $\Delta t_{пр} \approx 55 \dots 85^\circ\text{C}$ менше, ніж переднього кінця ($\Delta t_{пр}$ – температурний градієнт по довжині розкату). Абсолютне зниження температури на проміжному рольгангу на $80-100^\circ\text{C}$ перед чистової групою клітей викликає підвищення енергосилових параметрів прокатки штаби в клітях чистової групи, підвищення зносу поверхонь валків і їх витрати. Зменшення температури по довжині штаби в процесі прокатки ($\Delta t_{пр}$) призводить до монотонного збільшення товщини штаби до заднього кінця.

Наявність на проміжному рольгангу пристрою Coilbox (ППУ) дозволяє змотувати розкат, що виходить з останньої кліті чорнової групи, в рулон з подальшою зміною напрямку прокатки в чистовий групі ШСГП. Новий процес прокатки на ШСГП 1680 ПАТ меткомбінату "Запоріжсталь" забезпечує градієнт температур по довжині розкату $\Delta t_{пр} \approx 10 \dots 30^\circ\text{C}$ (менша температура на задньому кінці розкату). У ряді випадків температура заднього кінця розкату може бути на $5 \dots 10^\circ\text{C}$ більше, ніж переднього.

5. На станах першого покоління невеликі діаметри робочих валків, порівняно низька твердість робочих валків, кліті оснащені електромеханічними натискними пристроями, які не забезпечують високу швидкість вертикального переміщення натискних гвинтів для точного і швидкого регулювання міжвалкового зазору і товщини штаби.

6. На неперервних станах кінцеві ділянки штаб прокатують без натягнення, що призводить до додаткового потовщення кінців. Особливо це відноситься до заднього кінця, який прокочується без заднього натягнення. Відсутність заднього натягнення і, внаслідок цього, збільшення сили прокатки, викликають появу додаткового потовщення штаби на задньому кінці штаби. У сумі, з урахуванням впливу температурного градієнта, це потовщення на задньому кінці штаби може скласти $\delta h_{п} \approx 0,12 - 0,30$ мм. Застосування ППУ не забезпечує істотного зменшення потовщення задньої кінцевої ділянки готової штаби і різнотовщинність на задньому кінці

становить $\delta h_{\text{п}} \approx 0,12 - 0,20$ мм (дані ПАТ меткомбінату «Запоріжсталь»). Відома пропозиція по додатковому обтисненню задньої кінцевої ділянки штаби в клітках стана не може бути універсальною, тому що ефективність знижується при збільшенні жорсткості штаби, тобто при прокатуванні тонких штаб. Однак, і на подібних станах збільшення товщини заднього кінця готової штаби перевищує 0,2 мм, що обумовлено відсутністю заднього натягу.

7. Використання Coilbox (ППУ) дозволяє збільшити температуру штаби перед чистовими клітками ШСГП. Однак при відсутності теплосберігаючого екрану мають місце суттєві втрати температури внутрішніх витків рулону (до $40 - 50^{\circ}\text{C}$) в період змотування проміжного підкату в рулон, при розмотуванні і подачі його до чистової групи клітей ШСГП. При цьому час охолодження внутрішніх витків виявляється приблизно в два рази більше в порівнянні з часом охолодження зовнішніх витків. Внаслідок цього температура і товщина по довжині розкату нерівномірні, а потовщення заднього кінця готової штаби досягає $\delta h_{\text{к}} \geq 0,10$ мм проти мінімальної товщини штаби.

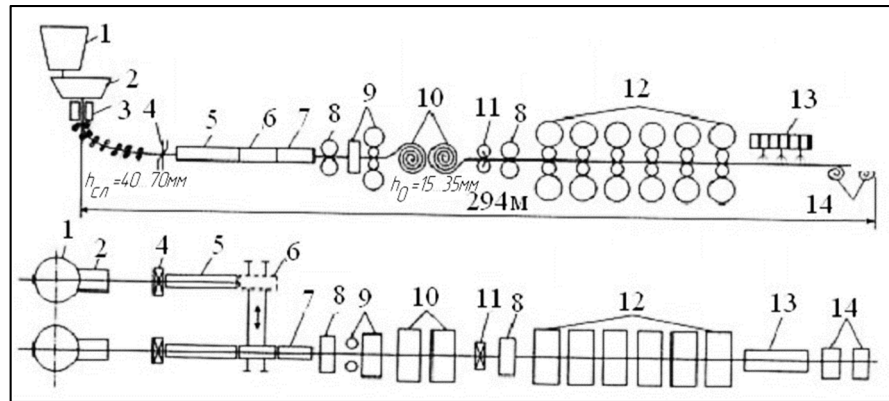
8. При переході прокатки зі швидкості 10 ... 12 м/с на максимальну швидкість 20 м/с у чистовій групі ШСГП, витрачається додаткова потужність на прискорення обертання робочих і опорних валків усіх 6 – 7 клітей, виникає необхідність регулювання міжвалкових зазорів, що також вимагає додаткових витрат електроенергії і обумовлює підвищення собівартості продукції.

9. Для отримання феритної структури металу перед чистовою групою клітей встановлюють пристрій проміжного охолодження штаби для отримання температури кінця прокатки $t_{\text{к}} = 750 \dots 800^{\circ}\text{C}$. При цьому в процесі прокатки охолодженої штаби беруть участь всі 6 - 7 клітей стана, що призводить до підвищення витрат електроенергії і зносу поверхні валків.

Подальше вдосконалення технології прокатки штабової сталі виявилось в створенні ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) (рис.2.1), продукція яких виявилася більш дешевою і якісною, ніж на традиційних ШСГП.

Досягнуте в останній час максимальне виробництво штаб на ЛПМ становить до ≈ 2 млн. т на рік. При прокатуванні штаб на ЛПМ досягається

висока точність штаб. Так, для штаб товщиною 1,2 – 4,0 мм поздовжня різнотовщинність на основній довжині становить $\leq 0,03$ мм.



1 - розливний ківш; 2 - проміжний ківш; 3 - кристалізатори; 4 - ножиці; 5 - тунельна піч; 6 - паром; 7 - піч витримки (термостат); 8 - окалиноломач; 9 - універсальна кліть; 10 - ППУ; 11 - летучі ножиці; 12 - чистова група клітей; 13 - душируюча установка; 14 - моталки.

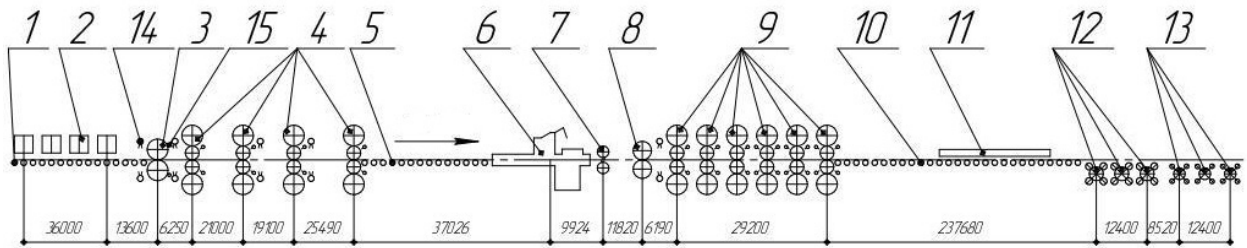
Рисунок 2.1 - Схема розташування основного обладнання ЛПМ фірми «Даніелі»

Однак і при прокатуванні на ЛПМ кінцеві ділянки прокатують без натягнення, що викликає збільшення сили прокатки і потовщення штаби на зазначених ділянках. Під час прокатки штаб з товщиною $h > 2$ мм можна компенсувати відсутність натягнення шляхом додаткового обтиску усіх ділянок (особливо заднього при наявності гідравлічних натискних пристроїв) або будь-яким іншим способом.

На рис. 2.2. наведена схема прокатки штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» за діючою технологією.

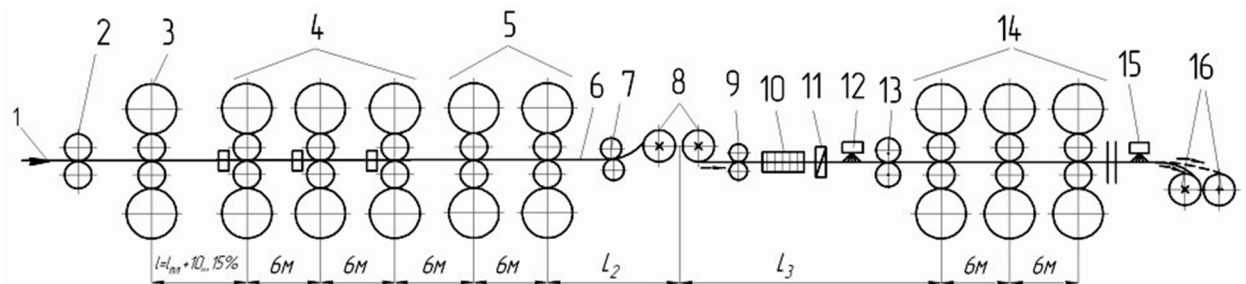
Значною мірою вищезазначені недоліки усуваються при використанні широкоштабового стана гарячої прокатки за розташуванням обладнання якого можна віднести до станів з новим технологічним процесом (рис. 2.3). Принциповою відмінністю цього типу ШСГП (НТ) (нова технологія) є перенесення основної частки пластичної деформації на кліть чорнової групи, де прокатка здійснюється при більш високій температурі металу; застосування в чистовій групі всього 3-х клітей замість 6 із застосуванням індукційної підігрівальної печі перед чистової

групою. Схема пропонованого типу широкоштабового стана для прокатки штаб з товстих слябів показана на рис.2.3 [6].



1 – рольганг пічний нижній; 2 – методичні печі №№ 1, 2, 3, 4; 3 – кліть ДУО; 4 – чорнові кліті; 5 – проміжний рольганг; 6 – ППУ «Койлбокс»; 7 – летючі ножиці; 8 – чистовий окалиноломач; 9 – чистові кліті; 10 – рольганг за чистовими клітями; 11 – установка охолодження штаби; 12 – моталки №№ 1, 2, 3; 13 – моталки №№ 4, 5, 6; 14 – система гідрозбиву окалини; 15 – система охолодження валків

Рисунок 2.2 - Схема розташування основного обладнання ШСГП – 1680 ПАТ «Запоріжсталь»



1 - сляб; 2 - окалиноломач; 3 - чорнова кліть кварто; 4 - універсальні чорнові кліті кварто з вертикальними валками; 5 - чорнові кліті кварто; 6 - проміжний розкат; 7 - напрямні ролики; 8 - ППУ з теплозберігаючим екраном; 9 - тягучі ролики; 10 - прохідна індукційна піч; 11 - ножиці; 12 - душируючий пристрій; 13 - чистовий окалиноломач; 14 - безперервна чистова група клітей; 15 - душируючий пристрій готової штаби; 16 - моталки готової штаби

Рисунок 2.3 – Схема розташування основного обладнання ШСГП за новою технологією

У складі ШСГП (НТ) в чорновій групі розташовано 6 клітей, причому 5 клітей в неперервній групі, а в чистовій групі встановлено три кліті. У неперервній чорновій групі перші кліті універсального типу, в яких здійснюють деформацію розкату по висоті і ширині. Деформаційний режим в клітях чорнової групи визначається розмірами вихідного слябу ($H = 150 \dots 300$ мм) і кінцевого розкату на виході з чорнової групи товщиною $h_{\text{пр}} = 3 - 10$ мм, а також параметрами валків (діаметр робочих валків $600 - 1000$ мм). Швидкості прокатки за клітями чорнової групи складають: в кліті №1 – $v = 0,45 - 0,5$ м/с, а в останній кліті №6 – $v = 6 - 14$ м/с.

Кількість клітей в чорновій групі, діаметри валків і товщина слябів визначаються заданою річною програмою стана і можуть бути встановлені заздалегідь відомими розрахунковими методами. Після чорнової групи штабу змотують на ППУ (Coilbox), яка має теплозберігаючі екрани. Між ППУ і першої кліттю чистової групи встановлені тягнучі пристрої, підігрівальна прохідна індукційна піч, ножиці, душируючий пристрій і чистовий окалиноломач.

З ППУ розкат задають в першу кліть чистової групи зі швидкістю, рівною, меншою або більшою швидкості виходу його з чорнової групи. Швидкість переднього кінця штаби на виході з чистової групи становить $10 - 12$ м/с, а після захвату його моталкою швидкість валків чистової групи клітей збільшують до максимально можливої ($v_{\text{ч}} > 20$ м/с). В залежності від марки сталі готової штаби, на ділянці перед чистової групою розкат або охолоджують, з метою зменшення температури кінця прокатки, або додатково підігривають в індукційній прохідній печі. Завдяки наявності ППУ і прохідної печі розкат входить в першу кліть чистової групи з контрольованою температурою $t_{\text{н}} > 900^{\circ}\text{C}$ без попереднього зміцнення, що дозволяє виконувати прокатку з високими ступенями обтиснення.

2.2 Опис технологічного процесу після реконструкції

Пропонований ШСГП-НТ (нова технологія) працює за таким способом. Товстий сляб товщиною $H = 150 - 300$ мм і шириною $B = 1000 - 2000$ мм) зі слябінгу або машини неперервного лиття заготовок (МНЛЗ) транзитом або після підігріву в нагрівальних печах подають до чорнової групи ШСГП (НТ), що складається з однієї окремо встановленої кліти і неперервної групи з 5 клітей кварто. У неперервній чорновій групі клітей розкат деформують до товщини $H_{\text{ПР}} = (3 - 6) h$ (де $H_{\text{ПР}}$ і h – відповідно товщина проміжного розкату, що виходить з неперервної чорнової групи і товщина готової штаби, що виходить з чистової групи клітей). При цьому швидкість прокатки в останній кліті неперервної чорнової групи (кліть № 6) визначається механічними характеристиками головної лінії клітей і потужністю головних приводів.

На підставі практичних даних для прокатки розкатів зазначених розмірів швидкість прокатки в останній кліті чорнової групи може становити $v = 6 - 12$ м/с. Перевагою збільшення кількості клітей в неперервній чорновій групі (при одночасному зменшенні кількості клітей до 3-х в чистовій групі), в порівнянні з 10 – 12-клітьовим ШСГП, є збільшення температури прокатки порівняно тонкої проміжної штаби і, разом з цим, зменшення кількості клітей на стані до 9-ти (при однакових розмірах валків, слябів і готової штаби, як і на традиційному ШСГП) [6].

Після виходу з останньої кліти неперервної чорнової групи № 6 розкат змотується моталкою (або Coilbox) в рулон масою 20 – 40 т. Проміжний перемотувальний пристрій (ППУ-Coilbox) розташований на відстані 12 – 15 м від осі останньої кліти № 6 неперервної чорнової групи, і втрати температури на цій ділянці будуть незначними і, крім того, є можливість підігріву штаби перед клітями чистової групи.

В чистовій групі клітей штабу прокочують за незалежним деформаційно-швидкісним режимом (від клітей чорнової групи) і цей режим може регулюватися в широких межах. Останнє дозволяє визначати товщину

проміжного розкату і швидкість прокатки в перших і останніх клітках чистової групи. При цьому швидкість входу проміжного розкату в першу кліть чистової групи (кліть №7) може бути однаковою швидкості виходу з останньої кліті чорнової групи №6 (або може бути дещо більшою). Штаба, що виходить з останньої кліті чорнової групи (кліть № 6), внаслідок відомих причин (зниження температури і відсутність заднього натягнення штаби), має велику товщину на задній кінцевій ділянці. На перемотувальному пристрої 7, 8 відбувається зміна положення утовщеного кінця для завдання його в першу кліть чистової групи (кліть № 7). При такому процесі прокатки (новий задній кінець штаби має велику температуру і меншу товщину) забезпечується вирівнювання товщини за довжиною штаби, а задній кінець штаби може бути на 0,05 – 0,1 мм тонше товщини в середній частині її довжини.

Запропонована схема розташування робочих клітей забезпечує (навіть без використання індукційної печі):

- підвищення температури розкату (штаби) по всій лінії стана на 25 – 40°C після чистової кліті;
- підвищення точності прокатки штаби за рахунок зменшення товщини задньої кінцевої ділянки і температурного клину по довжині штаби;
- при реконструкції діючих ШСГП в стани типу ШСГП (НТ) скоротиться загальна кількість клітей на одну;
- зниження сумарної потужності прокатки по стана на 15 – 25% за рахунок підвищення температури проміжного розкату на 90 – 110°C і зменшення кількості клітей, що беруть участь в процесі прискорення штаби після захвату її переднього кінця моталкою, з 5 – 7 до 3-х клітей [6].

2.3 Підвищення ефективності протизгинання робочих валків при регулюванні міжвалкового зазору у кліті кварто

Одна з основних вимог до технології виготовлення штаб на станах поштабової прокатки – отримання штаб з мінімальними різнотовщинністю і непланшетністю. Для вирішення цієї актуальної задачі в клітках прокатного стану застосовують способи і пристрої регулювання форми і розмірів міжвалкового зазору в процесі прокатки [1, 2]:

- попереднє профілювання робочих і опорних валків;
- натискні пристрої (з гідравлічним або електромеханічним приводом);
- теплове профілювання валків;
- протизгинання робочих валків;
- S – подібне профілювання робочих валків з їх осевим зміщенням (система CVC);
- схрещування робочих валків відносно опорних валків (кліть f^2CR).

Величину попереднього профілювання робочих валків f_p визначають в залежності від існуючих умов роботи кліті і ступеня зносу опорних валків (на основі накопиченого досвіду роботи), а для нового процесу прокатки f_p попередньо розраховують теоретично.

Другий тип регулювання натискними пристроями використовують для початкової установки міжвалкового зазору і усунення різниці в товщині лівої і правої кромки штаби. Діапазон висотного регулювання міжвалкового зазору і можливість додаткового обтиснення кромки штаби обумовлені у цьому випадку згинанням опорних валків, величина якого залежить від ступеня защемлення їх шийок в підшипниках кочення.

Дослідженнями [3 – 5] встановлено, що згинання опорного валка змінюється в залежності від величини зазору між шийкою валка і кільцем підшипнику. Максимальне згинання, наприклад, нижнього опорного валка в кліті (і максимальний діапазон регулювання розмірів міжвалкового зазору) мають місце при вільних шийках в зазорі з внутрішнім кільцем підшипнику

кочення, що становить $\delta_{\text{п}} > 0,8$ мм на діаметр. При зазорі менше $\delta_{\text{п}}$ менше 0,4 – 0,5 мм шийка опорного валка защемляється, його згинання зменшується і зникає можливість усунення клиноподібності штаби на виході з чистової кліті. Для підвищення регулюючої здатності чистової групи неперервного широкоштабового стана гарячої прокатки, а також клітей чистової групи листових станів, підвищення тривалості служби опорних валків і підвищення треба практикувати у всіх клітях роботу нижніх опорних валків із зазором у підшипниках $\delta_{\text{п}} > 0,8$ мм.

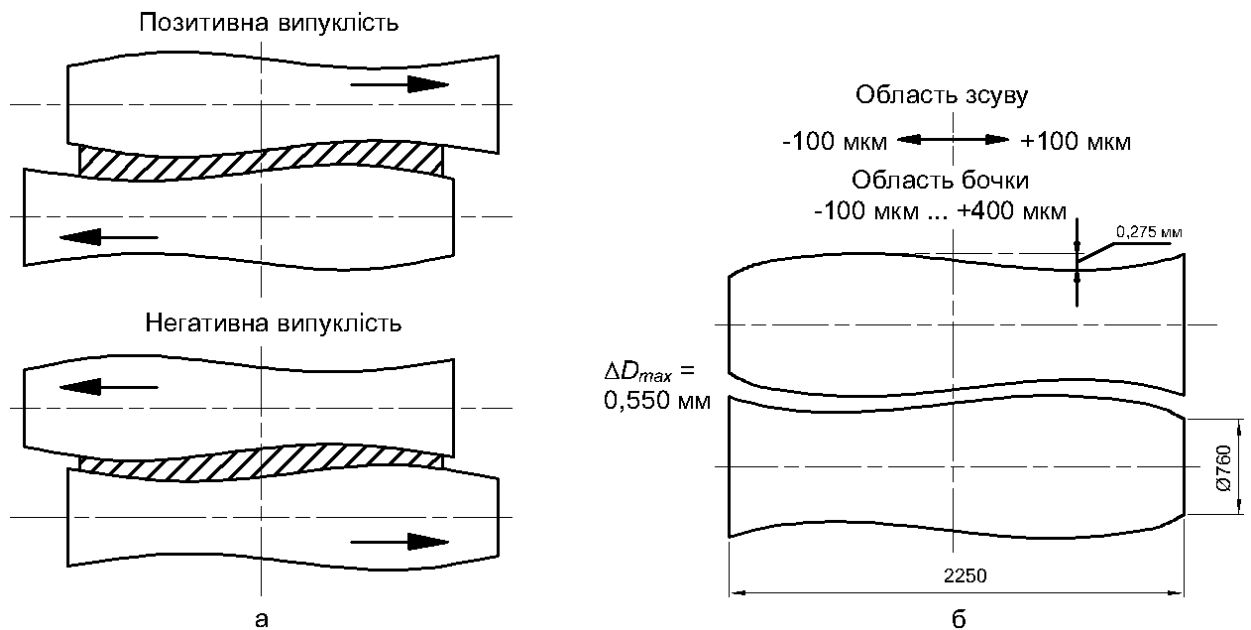
Тепловим профілюванням (зонним охолодженням робочих валків) і протизгинанням робочих валків регулюють площинність штаби. Недолік теплового профілювання валків – його інерційність, і замість нього доцільно використовувати більш ефективно зонне охолодження штаби перед входом у валки [6].

Ефективний спосіб оперативного регулювання поперечної різнотовщинності штаби – використання S – подібного профілювання робочих валків з їх осевим зміщенням, тобто системи SVC в чорнових і передчистових клітях стана. Цей пристрій широко застосовується на станах, не дивлячись на ускладнення конструкції кліті і її подорожчання, а також нерівномірну виробку опорних валків. Заміна S – подібних валків на валки зі зміщеними вершинами (сигароподібного типу) виключає вкрай нерівномірну виробку опорних валків і дозволяє впливати на площинність штаби [7].

На рис. 2.4 наведено принцип дії системи SVC, що полягає в наступному.

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 поздовжньому 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.



а - принцип неперервної зміни штаби (НЗШ); б - конструкція валків НЗШ для стана гарячої прокатки; в - залежність між величиною зсуву і регулюємою випуклістю за допомогою системи НЗШ; г - конструкція валків НЗШ для дресирувального стана; 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 2.4 – Принцип дії системи CVC

Відповідно до технології CVC в перших клітях стана гарячої прокатки форма міжвалкового зазору настраюється на потрібний профіль штаби, який витримується в останніх клітях, що забезпечує її планшетність. Для цього використовується противигин робочих валків. На рис. 2.4 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 кліти, які повертають валки до тих пір, поки штаба не стане рівною.

Компанія «Даніелі» розробила нову конструкцію кліти f^2CR для напівнеперервних станів і неперервних станів нескінченної прокатки штаб [2]. Кліть включає схрещення робочих валків, протизгинання і осьове зміщення циліндричних робочих валків під час прокатки штаби і ефективне теплове регулювання профілю робочих валків (рис. 1.1, 1.2). При прокатуванні на стані з чотирма клітьями f^2CR з шести забезпечується поперечна різновтовщинність $\delta h = 5 - 70$ мкм штаб завтовшки $0,8 - 2,0$ мм і планшетність $25 - 40$ IU штаб завтовшки $1,2 - 12$ мм. Докладний аналіз особливостей роботи кліти f^2CR наведено в монографії [8].

В раніше опублікованих працях [9 – 11] запропоновано вдосконалення конструкцій подушок робочих валків для отримання ефективного регулювання міжвалкового зазору за допомогою клинового пристрою [9] і зниження сили прокатки за рахунок взаємного протилежного зміщення робочих валків відносно осі опорних валків [10, 11]. Експериментальні випробування [10] показують, що при несиметричному прокатуванні штаб з протилежним зміщенням валків і при однакових обтисненнях сила прокатки зменшується на $14 - 23$ % у порівнянні з симетричним процесом прокатки. Суміщення цих двох технічних рішень дозволяє створити новий пристрій, що забезпечує при протизгинанні робочих валків вплив на власно осередок деформації штаби.

У табл. 2.1 представлені експериментальні дані щодо впливу зміщення валків на деякі параметри при прокатуванні алюмінієвих штаб товщиною $H = 0,84 - 2,03$ мм на стані з діаметром валків 100 мм (при взаємному зміщенні валків $2e = 1,62$ мм) [10] (Δh – абсолютне обтиснення штаби; P – сила прокатки; l_d – довжина дуги контакту штаби з валками). З даних таблиці виходить, що при прокатуванні штаб зі зміщенням валків при усіх товщинах

штаб параметр $\Delta h/P$ в $k = 1,1 - 1,22$ рази більше, ніж при симетричному прокатуванні без зміщення валків, тобто більше на $\varepsilon = 0,10 - 0,20$ (10 – 20 %).

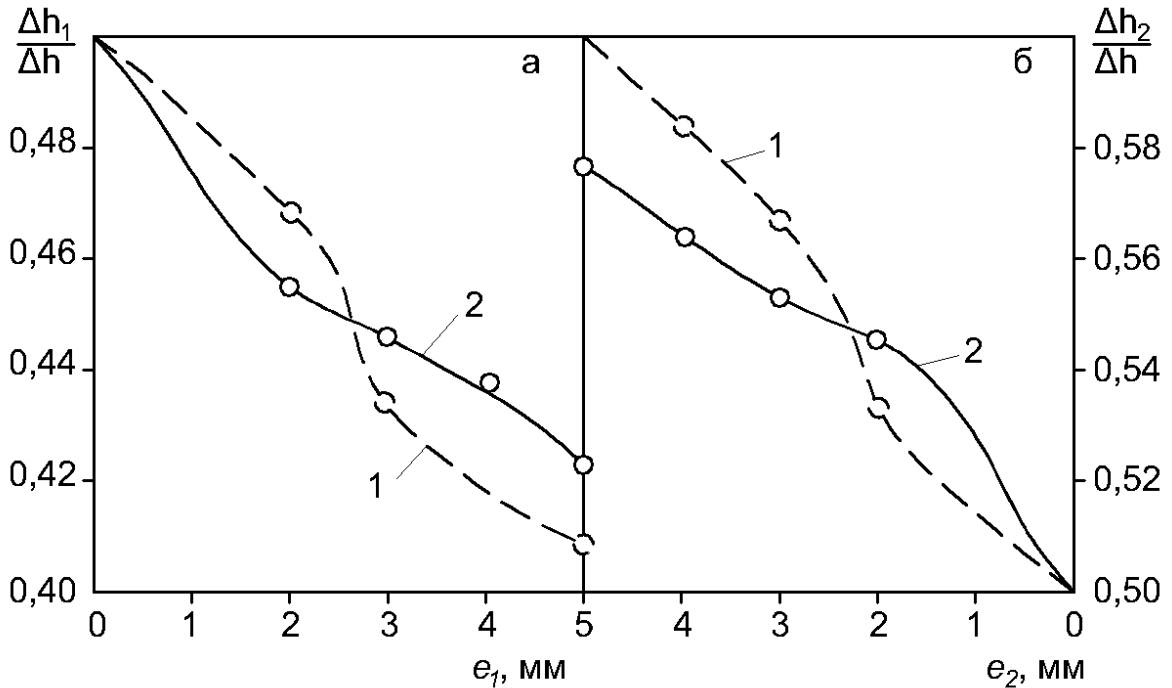
При середньому абсолютному обтисненні алюмінієвої штаби $\Delta h = 0,33$ мм різнотовщинність складає $\delta_n = 0,033 - 0,066$ мм, що істотно більше, ніж у дослідах [12] при впливі протизгинанням робочих валків. Так, за даними [12], при прокатуванні на стані 205/360×500 сталевих штаб з $B/L = 0,75 - 0,86$ за рахунок протизгинання робочих валків при реальному значенні $Q_B/P = 0,15$ (проти $Q_B/P = 0$) поперечна різнотовщинність штаби зменшилась на $\delta_n = 0,009 - 0,011$ мм (Q_B – зусилля протизгинання робочих валків; B – ширина штаби; L – довжина бочки робочого валка).

Таблиця 2.1 – Дослідні дані прокатки алюмінієвих штаб при симетричному (чисельник, $2e = 0$) і несиметричному (зі зміщенням валків, $2e = 1,62$ мм – знаменник) процесах прокатки [10] ($2e/l_d = 0,41$)

H , мм	Δh , мм	P , кН	$\Delta h/P$, мм/кН	k
2,03/2,03	0,32/0,30	10,5/8,75	0,032/0,034	-/1,10
1,74/1,75	0,35/0,36	11,1/9,3	0,031/0,038	-/1,22
1,41/1,42	0,36/0,33	15,0/12,13	0,024/0,027	-/1,13
1,12/1,13	0,34/0,34	19,25/1,65	0,0185/0,0205	-/1,11
0,84/0,84	0,30/0,28	26,0/19,9	0,0115/0,014	-/1,22

За розрахунковими даними [11] при вихідному значенні $e_1/l_d = 0,2 - 0,6$ сила прокатки зменшується на 8,3 – 25,5 % у порівнянні з симетричним процесом прокатки. При цьому величина обтиснення на валка різна. З рис. 2.1 видно, що доля обтиснення сталюї штаби $\Delta h_1/\Delta h$ робочим валком, що знаходиться при прокатуванні за віссю опорного валка, зменшується з 0,5 до 0,42 (рис. 2.5, а), а доля обтиснення штаби $\Delta h_2/\Delta h$ з робочим валком, що знаходиться перед віссю опорного валка підвищується з 0,5 до 0,58 (рис. 2.5, б) (Δh_1 і Δh_2 абсолютні обтиснення штаби зі сторони валків). Таким чином, незначне змінення параметра e_1/l_d (e_2/l_d) у той чи інший бік в процесі прокатки дозволяє змінити режим деформації штаби. Так наприклад, з рис. 2.5 видно, що при зміні параметра e_1 (e_2) на 1 мм (з 2 до 3 мм) параметр $\Delta h_1/\Delta h$

змінюється на 0,04 ($2\Delta h_l = 0,032$ мм) для штаби товщиною $H = 1$ мм і на 0,01 ($2\Delta h_l = 0,02$ мм) для штаби товщиною $H = 3$ мм, що приблизно дорівнює протизгинанню робочих валків і достатньо для додаткового регулювання розмірів профілювання і планшетності штаби.

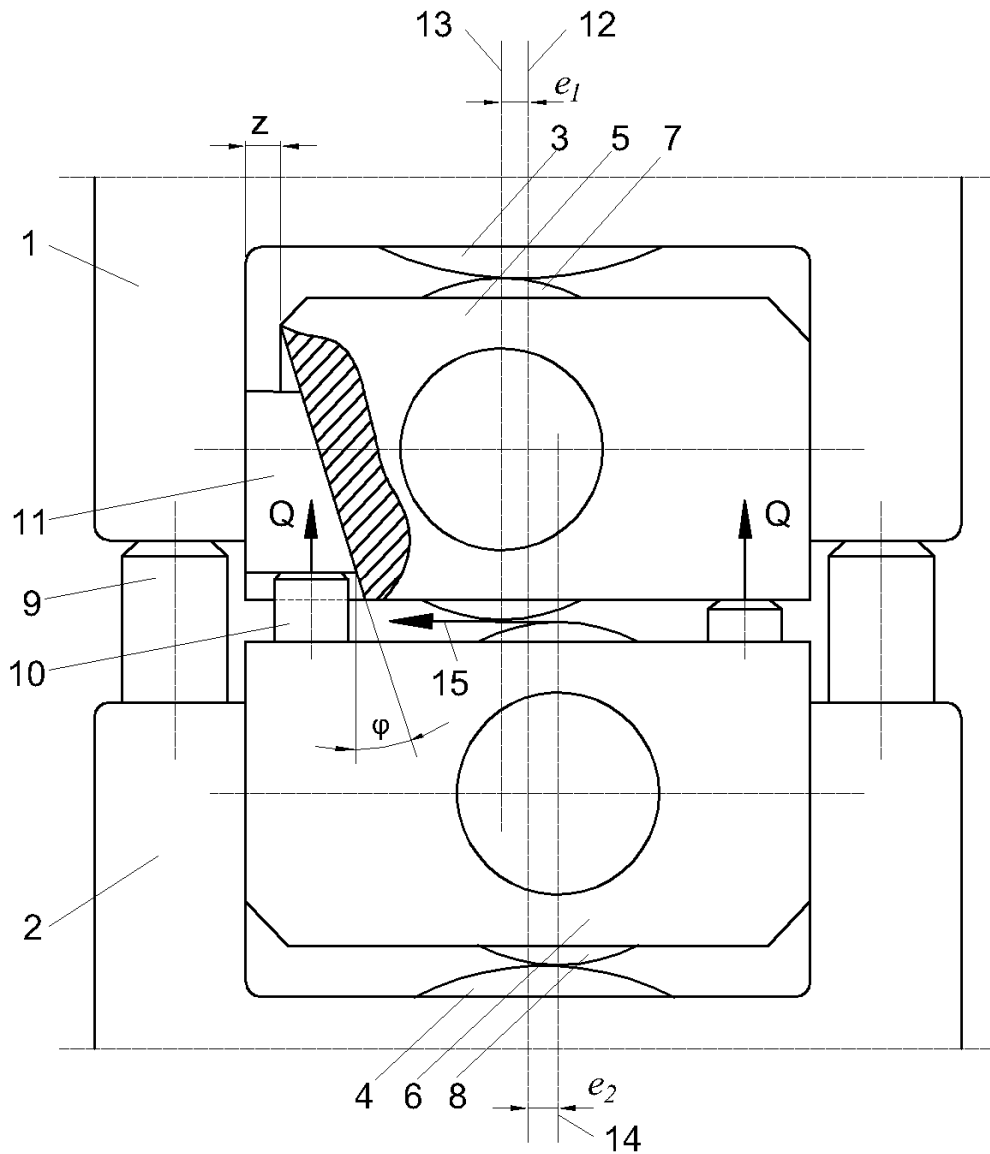


а – 7; б – 8 (див. рис. 2.2) при товщині вихідної штаби H , мм: 1 – 1,0; 2 – 3,0

Рисунок 2.5 – Вплив величини взаємного поздовжнього зміщення робочих валків на величину індивідуального обтиснення валків

На рис. 2.6 представлена прокатна кліть для регулювання розмірів міжвалкового зазору [13]. При заданій величині e_1/l_0 клин 11 у верхній подушці робочого валка знаходиться у крайньому нижньому або проміжному положенні. При необхідності регулювання міжвалкового зазору під впливом плунжера 10 гідроциліндру клин 11 переміщується вгору або вниз у вертикальній площині відносно лапи подушки 1 опорного валка 3, відносно наклонної площини подушки 5 і верхнього робочого валка 7 (l_0 – довжина осередку деформації; $(e_1+e_2)/l_0 = 0,3 - 0,6$). При цьому переміщення клина 11 і

подушки 5 разом з валком 7 вгору дозволяє збільшити міжвалковий зазор і товщину штаби 15.



1, 2 – лапи подушок верхнього і нижнього опорних валків; 3, 4 – верхній і нижній опорні валки; 5, 6 – подушки верхнього і нижнього робочих валків; 7, 8 – верхній і нижній робочі валки; 9, 10 – плунжери гідроврівноваження опорного і робочого валків (протизгинання робочих валків); 11 – клиновий пристрій; 12 – вісь опорних валків; 13, 14 – осі верхнього і нижнього робочих валків; 15 – штаба, що прокатується

Рисунок 2.6 – Валковий вузол кліти кварто [13]

Товщина штаби може збільшуватися, особливо на кромках внаслідок пружного сплющування на контактні робочих і опорних валків (впливу відомого протизгинання валків) а також притиснення штаби 15 до нижнього робочого валка на виході з валків і підвищення внаслідок цього відомих підпирюючих напружень σ_3 і сили прокатки.

Крім того при цьому декілька зменшується параметр e_1 . Переміщення клина донизу, звичайно при існуванні деякого зазору z , забезпечує підвищення параметру e_1 , сили прокатки і товщини штаби по усій її ширині.

Кут нахилу φ клина вибирають конкретно до кожного випадку прокатки у межах від 15 до 45 град. Чим тонше штаба, що прокатується, тим кут φ менше. Величина $(e_1+e_2)/l_0$ для кожної кліти може бути прийнята однаковою, і рівною 0,4, але параметри e_1 і e_2 зменшуються від першої до останньої кліти неперервного стана. Величина горизонтальних переміщень подушки 5 і валка 7 регулюється кутом φ контактної поверхні клинового пристрою. Для кожного конкретного випадку прокатки встановлюють раціональні вихідні параметри e_1/l_0 , e_2/l_0 , кут φ і величину руху клина 11. У конструкції клітей, подушки робочих валків яких мають ту ж саму ширину, що і ширина вікна станини, регулюючий клиновий пристрій 11 розміщують між стійкою станини і подушкою робочого валка.

Таким чином, конструкція даного валкового вузла дозволяє в процесі прокатки регулювати розміри осередку деформації. Використовуючи не тільки пружну деформацію (сплющення) валків, але і пластичну деформацію штаби в осередку деформації, а також змінення сили прокатки. Валкові вузли даної конструкції (див. рис. 2.6) встановлюють тільки у клітях стана, в яких необхідно налаштувати міжвалковий зазор в процесі прокатки штаб. В інших клітях встановлюють валкові вузли з фіксованим зміщенням валків e_1 і e_2 , що забезпечує зниження енергосилових параметрів прокатки [9, 10, 14].

2.4 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки на ШСГП 1680 штаби с розмірами 1,8×1030 мм зі Ст. 08 пс [1]

Вихідний сляб товщиною $H = 160$ мм.

Розрахунок допустимих кутів захвату штаби.

$$D = 0.92 D_p$$

$$1 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 940=865 \text{ мм.}$$

$$2 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 810=745 \text{ мм}$$

$$3 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 580=533 \text{ мм}$$

$$4 \text{ кліть } D=0.92 \cdot 590=543 \text{ мм}$$

Припустимо, що мінімально можлива температура при вході в чорнову групу клітей буде дорівнювати $t=1180^\circ\text{C}$. 1 – 2 кліті мають твердість поверхні робочих валків 40HSD.

Так як в чорновій групі клітей процес прокатки не є неперервним, то швидкості прокатки залежать від закону сталості об'єму.

$$V_1=1.05 \text{ м/с, } V_2=1.1 \text{ м/с, } V_3=1.59 \text{ м/с, } V_4=2.21 \text{ м/с.}$$

1 – 2 кліті

$$f = f_0 k_B k_t k_m k_v k_{ct} k_\varepsilon \quad k_m=1$$

$$k_t = 1 + 0.43 \left(1 + \frac{\text{HSD}}{65} \right)^2 \quad k_v = 0.76 + 0.82(1 + 0.1v)^2$$

$$k_B = 1/1.1, \quad k_{cm}=1, \quad k_m=1, \quad k_\varepsilon=1$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1(t^0/400 - 2)^2 = 0.27 - 0.1(1180/400 - 2)^2 = 0.18$$

$$k_{v1} = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 1.05)^2 = 1.42$$

$$k_T = 1 + 0.43(1 - 40/65)^2 = 1.06$$

$$f_1 = 0.18 \cdot 1.06 \cdot 1.42 = 0.27$$

$$k_{v2} = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 \cdot 1.1)^2 = 1.36$$

$$f_2 = 0.18 \cdot 1.06 \cdot 1.36 = 0.26$$

3 – 4 кліті

Твердість валків 70HDS $t^0=1140^{\circ}\text{C}$.

$$f = f_0 k_B k_t k_m k_v k_{ct} k_{\varepsilon} \quad k_m=1$$

$$k_B= 1/1.1, k_{cm}=1, k_m=1, k_{\varepsilon}=1$$

$$f_{03}=0.27- 0.1(t^0/400-2)^2 =0.27- 0.1(1140/400-2)^2=0.2$$

$$k_{v3}=0.76+0.82(1-0.1 \cdot 1.6)^2=1.34$$

$$f_3=0.2 \cdot 1 \cdot 1.34=0.27$$

$$f_{04}=0.27- 0.1(t^0/400-2)^2 =0.27- 0.1(1096/400-2)^2=0.22$$

$$k_{v4}=0.76+0.82(1-0.1 \cdot 2.2)^2=1.26$$

$$f_4=0.22 \cdot 1 \cdot 1.26=0.28$$

Коефіцієнт тертя при захваті розкату $k_3=1.35$

$$f_3=f \cdot k_3$$

$$f_{31}=1.35 \cdot 0.27=0.365$$

$$f_{32}=1.35 \cdot 0.26=0.351$$

$$f_{33}=1.35 \cdot 0.27=0.365$$

$$f_{34}=1.35 \cdot 0.28=0.378$$

Допустимі обтиснення

$$[\Delta h]=R \cdot f_3^2$$

$$[\Delta h_1]=432.4 \cdot 0.365^2=57.62 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_2]=372 \cdot 0.351^2=45.89 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_3]=266.5 \cdot 0.365^2=35.5 \text{ мм}$$

$$[\Delta h_4]=271.5 \cdot 0.378^2=38.79 \text{ мм}$$

Складаємо таблицю попередніх обтиснень

$$H=160 \text{ мм}, \Delta h_{ok}=25 \text{ мм}, h_{ok}=160-25=135 \text{ мм}$$

$$\Delta h_i/\Delta h_{\Sigma}=0.106+0.086(4-n_i)^{0.9}$$

$$\Delta h_1/\Delta h_{\Sigma}=0.106+0.086(4-1)^{0.9}=0.36$$

$$\Delta h_2 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4-2)^{0.9} = 0.316$$

$$\Delta h_3 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4-3)^{0.9} = 0.2$$

$$\Delta h_4 / \Delta h \Sigma = 0.106 + 0.086(4-4)^{0.9} = 0.106$$

$$H_{\text{пр}} = 23$$

$$H_1 - h_4 = \Delta h \Sigma = 135 - 23 = 112 \text{ мм}$$

$$\Delta h_i = \Delta h \Sigma \cdot (\Delta h_i / \Delta h \Sigma)$$

$$\Delta h_1 = 0.36 \cdot 112 = 40 \text{ мм}$$

$$\Delta h_2 = 0.316 \cdot 112 = 38 \text{ мм}$$

$$\Delta h_3 = 0.2 \cdot 112 = 22 \text{ мм}$$

$$\Delta h_4 = 0.106 \cdot 112 = 12 \text{ мм}$$

Чистова група клітей

В 5 кліті $\varepsilon = 40\%$

$$\Delta h_5 = \varepsilon \cdot h_{\text{пр}} = 0.4 \cdot 23 = 9.2 \text{ мм}$$

В 10 кліті $\varepsilon = 15\%$

$$\Delta h_{10} = h_k \left(\frac{1}{1-\varepsilon} - 1 \right) = 1.8 \left(\frac{1}{1-0.15} - 1 \right) = 0.32 \text{ мм}$$

$$\Delta h \Sigma = h_{\text{пр}} - h_k - \Delta h_5 - \Delta h_{10} = 23 - 1.8 - 9.2 - 0.32 = 11.68 \text{ мм}$$

Тоді $\Delta h_i / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9-n_i)^{1.3}$

$$\Delta h_6 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9-6)^{1.3} = 0.456$$

$$\Delta h_7 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9-7)^{1.3} = 0.304$$

$$\Delta h_8 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9-8)^{1.3} = 0.174$$

$$\Delta h_9 / \Delta h \Sigma = 0.085 + 0.089(9-9)^{1.3} = 0.085$$

$$\Delta h_6 = 11.68 \cdot 0.456 = 5.33 \text{ мм}$$

$$\Delta h_7 = 11.68 \cdot 0.304 = 3.55 \text{ мм}$$

$$\Delta h_8 = 11.68 \cdot 0.174 = 2.03 \text{ мм}$$

$$\Delta h_9 = 11.68 \cdot 0.085 = 0.99 \text{ мм}$$

Розрахунок швидкостей прокатки

Так як в чорновій групі клітей процес прокатки не є неперервним, то швидкості прокатки залежать від закону сталості об'єму.

$$V_1 = 1.05 \text{ м/с}, V_2 = 1.1 \text{ м/с}, V_3 = 1.6 \text{ м/с}, V_4 = 2.2 \text{ м/с}$$

А в чистовій групі клітей йде неперервна прокатка $V_{10}=9$ м/с

$$V_i = V_{10} h_{10} / h_i$$

$$V_9 = 9 \cdot 1.8 / 2.12 = 7.64 \text{ м/с}$$

$$V_8 = 9 \cdot 1.8 / 3.11 = 5.21 \text{ м/с}$$

$$V_7 = 9 \cdot 1.8 / 5.14 = 3.15 \text{ м/с}$$

$$V_6 = 9 \cdot 1.8 / 8.69 = 1.86 \text{ м/с}$$

$$V_5 = 9 \cdot 1.8 / 14.02 = 1.12 \text{ м/с}$$

Розрахунок втрати температури штаби

Умовно прийнемо, що сляб в першу кліть повинен подаватися з температурою не менше 1180°C .

$$L_{1-2} = 12 \text{ м}$$

$$L_{2-3} = 11 \text{ м}$$

$$L_{3-4} = 20 \text{ м}$$

Падіння температури Δt на рольгангу між клітьями

$$1-2 \Delta t = 5^\circ\text{C}$$

$$2-3 \Delta t = 10^\circ\text{C}$$

$$3-4 \Delta t = 15^\circ\text{C}$$

$$4-5 \Delta t = 95^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{н}} = 1180^\circ\text{C} \quad \Delta t_i = 0.0021 \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4 \frac{\tau_i}{H_i}$$

$$\Delta t_1 = 0.0021 \left(\frac{1180 + 273}{100} \right)^4 \frac{9}{135} = 6.2^\circ\text{C}$$

$$\tau_1 = L_1 / V_1 = 9 / 1 = 9$$

t_2 на вході в 2 кліть

$$t_2 = 1180 - \Delta t_1 - \Delta t_r - \Delta t_p = 1180 - 6.2 - 10 - 5 = 1159^\circ\text{C}$$

$$\tau_2 = L_2 / V_2 = 12 / 1.05 = 11.43$$

$$\Delta t_2 = 0.0021 \left(\frac{1159 + 273}{100} \right)^4 \frac{11.43}{95} = 10.6^\circ\text{C}$$

t_3 на вході в 3 кліть

$$t_3 = 1159 - \Delta t_2 - \Delta t_r - \Delta t_p = 1159 - 10.6 - 10 - 10 = 1128.4^\circ\text{C}$$

$$\tau_3 = L_3 / V_3 = 17 / 1.1 = 15.46$$

$$\Delta t_3 = 0.0021 \left(\frac{1128.4 + 273}{100} \right)^4 \frac{15.46}{57} = 21.97^\circ\text{C}$$

t_4 на вході в 4 кліть

$$t_4 = 1128,4 - \Delta t_3 - \Delta t_p = 1128,4 - 21,97 - 15 = 1091,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau_4 = L_4 / V_4 = 20 / 1,59 = 12,58$$

$$\Delta t_4 = 0,0021 \left(\frac{1104 + 273}{100} \right)^4 \frac{12,58}{36} = 25,43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Δt_5 на вході в 5 кліть

$$t_5 = 1104 - \Delta t_4 - \Delta t_{\text{пр}} = 1091,4 - 25,43 - 95 = 971 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температуру по клетях чистової групи знаходимо за формулою

$$t_i = t_{\text{пк}} - \left(\frac{tnk - tk}{\frac{hnk}{hk} - 1} \right) \left(\frac{hni}{hi} - 1 \right)$$

$$t_6 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1,8} - 1} \right) \left(\frac{23}{14,02} - 1 \right) = 964 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_7 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1,8} - 1} \right) \left(\frac{23}{8,69} - 1 \right) = 954 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_8 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1,8} - 1} \right) \left(\frac{23}{5,14} - 1 \right) = 935 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_9 = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1,8} - 1} \right) \left(\frac{23}{3,11} - 1 \right) = 905 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{10} = 981 - \left(\frac{971 - 850}{\frac{23}{1,8} - 1} \right) \left(\frac{23}{2,12} - 1 \right) = 870 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Таблиця 2.1 - Режим деформації штаб 1,8×1030 мм зі ст. 08пс

№ кліті	H, мм	H, мм	Δh , мм	V, м/с	t, $^\circ\text{C}$
1	135	95	40	1,05	1180
2	95	57	38	1,1	1159
3	57	35	22	1,59	1128
4	35	23	12	2,21	1091
5	23	14	9	1,12	971
6	14	8,69	5,33	1,86	964
7	8,69	5,14	3,55	3,15	954
8	5,14	3,11	2,03	5,21	935
9	3,11	2,12	0,99	7,64	905
10	2,12	1,8	0,32	9	870

Розрахунок енергосилових параметрів прокатки

1 кліть

$$\Delta h = 40 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{470 \cdot 40} = 137,1 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{135+95}{2} = 115 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 137,1 / 115 = 1,2$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = 40 / 135 = 0,3$$

$$u = 1050 \cdot 0,3 / 137,1 = 2,3 \text{ с}^{-1}$$

Напруження течії металу ст. 08пс

Хімічний склад сталі 08пс: кремній (Si) - 0.03%, марганець (Mn) - 0.4%, мідь (Cu) - 0.25%, нікель (Ni) - 0.25%, сірка (S) - 0.04%, вуглець (C) - 0.08%, фосфор (P) - 0.04%, хром (Cr) - 0.1%.

Вуглецевий коефіцієнт:

$$N = C + Si + Mn + Cr + Ni + Cu = 0,08 + 0,03 + 0,4 + 0,1 + 0,25 + 0,25 = 1,11\%$$

Базове напруження течії металу

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25 [1 - ((5 - N) / 4,5)^{1,8}] = 80 + 25 [1 - ((5 - 1,11) / 4,5)^{1,8}] = 85,77 \text{ Н/мм}^2$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1180}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,6$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 (1 - 6,3 (0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43 (1 + 6,3 (0,5 - 0,3)^2) = 1,32$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln u) = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 2,3) = 0,78$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 85,77 \cdot 0,6 \cdot 1,32 \cdot 0,78 = 52,99 \text{ Н/мм}^2$$

$$P_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d / h_{cp}) = 1,15 \cdot 52,99 (1 + 0,48 + 0,38 + 1,2) = 72,26 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки в 1 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 72,26 \cdot 0,1371 \cdot 1,03 = 10,2 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{a}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{a}})}$$

Для 1 кліті $f/a \approx 1$

$$\Psi = (0,498 + 0,007) (1,2)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{1})} = 0,494$$

$$M = \Psi \cdot l_d \cdot P = 0,494 \cdot 0,1371 \cdot 10,2 = 0,69 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 660 \text{ мм}$

$$M_{\text{мп1}} = P \cdot f_{\text{под}} \cdot d_{\text{ш}} (D_p / D_{\text{он}})$$

$$M_{\text{мп1}} = 10,2 \cdot 0,003 \cdot 0,66 (940 / 1340) = 0,0142 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{мп2}} = 0,11 (2M + M_{\text{мп1}}) = 0,11 (2 \cdot 0,69 + 0,0142) = 0,15 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{пр}} = 2M + M_{\text{мп1}} + M_{\text{мп2}} = 2 \cdot 0,69 + 0,15 + 0,0142 = 1,54 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{пр}} / i \quad i = 19,26$$

$$M_{\text{дв}} = 1,54 / 19,26 = 0,08 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{н}} = 0,975 \frac{N_{\text{дв}} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot V \cdot i / \pi D = 60 \cdot 1,05 \cdot 19,26 / 3,14 \cdot 0,94 = 411 \text{ об/хв}$$

$$M_{\text{н}} = 0,975 \frac{6300 \cdot 0,9}{411 \cdot 10^2} = 0,134 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт навантаження:

$$k_n = \frac{M_{\text{дв}}}{M_{\text{н}}} = 0,08 / 0,134 = 0,6$$

Двигун не навантажений

$$N_{\text{дд}} = 960 \cdot M \cdot V / R = 960 \cdot 1,54 \cdot 1,05 / 0,47 = 4483 \text{ кВт}$$

2 кліть

$$\Delta h = 38 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{405 \cdot 38} = 124 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{H + h}{2} = \frac{95 + 57}{2} = 76 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{\text{ср}} = 124 / 76 = 1,63$$

$$u = \frac{v \cdot e}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{38}{95} = 0,4$$

$$u = \frac{1100 \cdot 0,4}{124} = 3,55 \text{ с}^{-1}$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,26 - 0,018 = 0,4$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1159}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,64$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 (1 - 6,3 (0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43 (1 + 6,3 (0,5 - 0,4)^2) = 1,4$$

$$k_u = 0,22 + 0,072 (7 + \ln u) = 0,22 + 0,072 (7 + \ln 3,55) = 0,81$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 85,77 \cdot 0,64 \cdot 1,4 \cdot 0,81 = 62,79 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{\text{ср}} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d \cdot h_{\text{ср}}) = 1,15 \cdot 62,79 (1 + 0,48 \cdot 0,4 \cdot 1,63) = 96 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 2 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 95 \cdot 0.124 \cdot 1.03 = 12.1 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0.498 + 0.007 \frac{f}{a}) (\frac{l_d}{h_{cp}})^{-(0.0145 + \frac{0.097}{\frac{f}{a}})}$$

$$\alpha = l_d / R = 124 / 405 = 0.31$$

$$f / \alpha = 0.26 / 0.31 = 0.85$$

$$\psi = (0.498 + 0.007 \cdot 0.85) (1.63)^{-(0.0145 + \frac{0.097}{0.85})} = 0.47$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0.47 \cdot 0.124 \cdot 12.1 = 0.71 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 480 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} (\frac{D_p}{D_{оп}})$$

$$M_{тр1} = 12.1 \cdot 0.003 \cdot 0.48 (840 / 1240) = 0.014 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{тр2} = 0.11 (2M + M_{тр1}) = 0.11 (2 \cdot 0.71 + 0.014) = 0.16 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 \cdot 0.71 + 0.012 + 0.16 = 1.59 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 19.5$$

$$M_{дв} = 1.59 / 19.5 = 0.08 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_H = 0.975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1.1 \cdot 19.5 / 3.14 \cdot 0.81 = 500 \text{ об/хвил}$$

$$M_H = 0.975 \frac{4000 \cdot 0.9}{500 \cdot 10^2} = 0.07 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0.08 / 0.07 = 1.18$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 \cdot M \cdot V / R = 960 \cdot 1.59 \cdot 1.1 / 0.405 = 4145 \text{ кВт}$$

3 кліть

$$\Delta h = 22 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{290 \cdot 22} = 79.8 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H + h}{2} = \frac{57 + 35}{2} = 46 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 79.8 / 46 = 1.73$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{22}{57} = 0.38$$

$$u = \frac{1590 \cdot 0,38}{79,8} = 7,68 \text{ c}^{-1}$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,27 - 0,018 = 0,41$$

$$k_f = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1128}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,7$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,38)^2) = 1,38$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln u) = 0,22 + 0,072(7 + \ln 7,68) = 0,87$$

$$\sigma_T = \sigma_{T8} \cdot k_f \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 85,77 \cdot 0,7 \cdot 1,38 \cdot 0,87 = 73 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d \cdot h_{cp}) = 1,15 \cdot 73 (1 + 0,48 \cdot 0,41 \cdot 1,73) = 113 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 3 кліті

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 113 \cdot 0,0798 \cdot 1,03 = 9 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha = l_d / R = 79,8 / 290 = 0,28$$

$$f / \alpha = 0,27 / 0,28 = 0,93$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 0,93) (1,73)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{0,93})} = 0,47$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,47 \cdot 0,0798 \cdot 9 = 0,35 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{он}} \right)$$

$$M_{тр1} = 9 \cdot 0,003 \cdot 0,396 (580 / 1240) = 0,005 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{тр2} = 0,11(2M + M_{тр1}) = 0,11(2 \cdot 0,35 + 0,005) = 0,078 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 \cdot 0,35 + 0,005 + 0,078 = 0,789 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 10,15$$

$$M_{дв} = 0,789 / 10,15 = 0,078 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,59 / 3,14 \cdot 0,58 = 530 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{4000 \cdot 0,9}{530 \cdot 10^2} = 0,066 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,078 / 0,066 = 1,18$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{\text{дв}}=960 \cdot M \cdot V/R=960 \cdot 0,789 \cdot 1,59/0,29=4153 \text{ кВт}$$

4 КЛІТЬ

$$\Delta h=12 \text{ мм}$$

$$l_d=\sqrt{R\Delta h}=\sqrt{295 \cdot 12}=60 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ср}}=\frac{H+h}{2}=\frac{35+23}{2}=29 \text{ мм}$$

$$l_d/h_{\text{ср}}=60/29=2$$

$$u=\frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H}=\frac{12}{35}=0,34$$

$$u=\frac{2210 \cdot 0,34}{60}=12,5 \text{ с}^{-1}$$

$$f_n=1,6 \cdot f - 0,018=1,6 \cdot 0,28 - 0,018=0,43$$

$$k_t=1,66 - 1,1 \left(\frac{1091}{400} - 2 \right)^{0,7}=0,78$$

$$k_\varepsilon=1+0,43(1-6,3(0,5-\varepsilon)^2)=1+0,43(1+6,3(0,5-0,34)^2)=1,36$$

$$k_u=1,03+0,1(\ln u-2,3)=1,03+0,1(\ln 12,5-2,3)=1,05$$

$$\sigma_T=\sigma_{T8} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u=85,77 \cdot 1,05 \cdot 0,7 \cdot 1,36=96 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{\text{ср}}=1,15 \sigma_T(1+0,48 f_n \cdot l_d \cdot h_{\text{ср}})=1,15 \cdot 96(1+0,48 \cdot 0,43 \cdot 2)=157,33 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 4 кліті дорівнює

$$P=p_{\text{ср}} \cdot l_d \cdot B=157,33 \cdot 0,06 \cdot 1,03=9,6 \text{ МН}$$

$$\Psi=(0,498+0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{\text{ср}}} \right)^{-(0,0145+\frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha=l_d/R=60/295=0,21$$

$$f/\alpha=0,28/0,21=1,39$$

$$\Psi=(0,498+0,007 \cdot 1,39)(2)^{-(0,0145+\frac{0,097}{1,39})}=0,48$$

$$M=\Psi \cdot l_d \cdot P=0,48 \cdot 0,06 \cdot 9,6=0,274 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{\text{ш}}=396 \text{ мм}$

$$M_{\text{тр1}}=P \cdot f_{\text{под}} \cdot d_{\text{ш}} \left(\frac{D_p}{D_{\text{он}}} \right)$$

$$M_{\text{тр1}}=9,6 \cdot 0,003 \cdot 0,396(590/1240)=0,005 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{тр2}}=0,11(2M+M_{\text{тр1}})=0,11(2 \cdot 0,274+0,005)=0,061 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{пр}}=2M+M_{\text{тр1}}+M_{\text{тр2}}=2 \cdot 0,274+0,005+0,061=0,615 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дв}}=M_{\text{пр}}/i \quad i=7,36$$

$$M_{дв}=0,615/7,36=0,084 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$M_H=0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n=60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D=60 \cdot 2,2 \cdot 7,36/3,14 \cdot 0,59=526 \text{ об/хв}$$

$$M_H=0,975 \frac{4000 \cdot 0,9}{526 \cdot 10^2}=0,067 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,084/0,067 = 1,25$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв}=960 \cdot M \cdot V/R=960 \cdot 0,615 \cdot 2,21/0,295=4420 \text{ кВт}$$

5 кліть

$$\Delta h=9 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 \cdot 9} = 52,8 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{23+14}{2} = 18,5 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 52,8/18,5 = 2,9$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{9}{23} = 0,4$$

$$u = \frac{1120 \cdot 0,4}{52,8} = 8,3 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{971}{400} - 2 \right)^2 = 0,25$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,12)^2 = 1,4$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,35 - 0,018 = 0,525$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{971}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,05$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,4)^2) = 1,4$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 8,3 - 2,3) = 1,01$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 85,77 \cdot 1,01 \cdot 1,05 \cdot 1,4 = 127,7 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d \cdot h_{cp}) = 1,15 \cdot 134,5 (1 + 0,48 \cdot 0,52 \cdot 2,9) = 257 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 5 кліті дорівнює

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 257 \cdot 0,0528 \cdot 1,03 = 14 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) (\frac{l_d}{h_{cp}})^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha = l_d/R = 52,8/310 = 0,17$$

$$f/\alpha = 0,33/0,17 = 2,08$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \cdot 2,08) (2,9)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{2,08})} = 0,48$$

$$M = \Psi \cdot l_d \cdot P = 0,48 \cdot 0,0528 \cdot 14 = 0,355 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} (\frac{D_p}{D_{оп}})$$

$$M_{тр1} = 14 \cdot 0,003 \cdot 0,396 (620/1240) = 0,008 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{тр2} = 0,05(2M + M_{тр1}) = 0,05(2 \cdot 0,355 + 0,008) = 0,079 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 \cdot 0,355 + 0,079 + 0,008 = 0,798 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв} = M_{пр}/i \quad i = 7,24$$

$$M_{дв} = 0,798/7,24 = 0,11 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,12 \cdot 7,24 / 3,14 \cdot 0,62 = 250 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{250 \cdot 10^2} = 0,185 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,107/0,185 = 0,59$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 \cdot M \cdot V/R = 960 \cdot 0,798 \cdot 1,12/0,31 = 2769 \text{ кВт}$$

6 кліть

$$\Delta h = 5,33 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 \cdot 5,33} = 40,65 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{14+8,69}{2} = 11,35 \text{ мм}$$

$$l_d/h_{cp} = 40,65/11,35 = 3,58$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{5,33}{0,38} = 0,38$$

$$u = \frac{1860 \cdot 0,38}{40,65} = 17,4 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{964}{400} - 2 \right)^2 = 0,25$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,86)^2 = 1,3$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,25 \cdot 1,3 = 0,33$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,33 - 0,018 = 0,51$$

$$k_f = 1,66 - 1,1 \left(\frac{964}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,07$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,38)^2) = 1,39$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 17,4 - 2,3) = 1,09$$

$$\sigma_T = \sigma_{T8} \cdot k_f \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 85,77 \cdot 1,07 \cdot 1,39 \cdot 1,09 = 138,7 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d \cdot h_{cp}) = 1,15 \cdot 138,7 (1 + 0,48 \cdot 0,51 \cdot 3,58) = 300 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 6 кліті дорівнює

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 300 \cdot 0,04065 \cdot 1,03 = 12,54 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha = l_d / R = 40,65 / 310 = 0,13$$

$$f / \alpha = 0,33 / 0,13 = 2,52$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 2,52) (3,58)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{2,52})} = 0,48$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,48 \cdot 0,04065 \cdot 12,54 = 0,247 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 12,54 \cdot 0,003 \cdot 0,396 (620 / 1240) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{тр2} = 0,05(2M + M_{тр1}) = 0,05(2 \cdot 0,247 + 0,007) = 0,04 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 \cdot 0,247 + 0,055 + 0,007 = 0,554 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 4,67$$

$$M_{дв} = 0,554 / 4,67 = 0,119 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 1,186 \cdot 4,67 / 3,14 \cdot 0,31 = 265 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{265 \cdot 10^2} = 0,173 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{\Pi} = \frac{M_{ДВ}}{M_{Н}} = 0,119/0,173 = 0,685$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{ДВ} = 960 \cdot M \cdot V/R = 960 \cdot 0,554 \cdot 1,86/0,31 = 3188 \text{ кВт}$$

7 кліть

$$\Delta h = 3.55 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 \cdot 3.55} = 33.17 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{H+h}{2} = \frac{8.69+5.14}{2} = 6.915 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{\text{ср}} = 33.17/6.915 = 4.8$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{3.55}{8.69} = 0,4$$

$$u = \frac{315 \cdot 0,4}{33.14} = 38.79 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{954}{400} - 2 \right)^2 = 0,26$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 3.15)^2 = 1,14$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,26 \cdot 1,14 = 0,29$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,29 - 0,018 = 0,449$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{954}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,1$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,4)^2) = 1,41$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 38.79 - 2,3) = 1,17$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_u = 85.77 \cdot 1,1 \cdot 1,17 \cdot 1,41 = 154 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{\text{ср}} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 f_n \cdot l_d \cdot h_{\text{ср}}) = 1,15 \cdot 154 (1 + 0,48 \cdot 0,449 \cdot 4.8) = 361 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 7 кліті дорінює

$$P = p_{\text{ср}} \cdot l_d \cdot B = 361 \cdot 0,03317 \cdot 1,03 = 12.33 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{\text{ср}}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{\alpha}})}$$

$$\alpha = l_d/R = 33.17/310 = 0,11$$

$$f/\alpha = 0,29/0,11 = 2,73$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 2,08) (24.8)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{2,73})} = 0,48$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,48 \cdot 0,03317 \cdot 12,33 = 0,196 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 12,33 \cdot 0,003 \cdot 0,396 \left(\frac{620}{1240} \right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{тр2} = 0,05(2M + M_{тр1}) = 0,05(2 \cdot 0,196 + 0,007) = 0,044 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 \cdot 0,196 + 0,044 + 0,007 = 0,442 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 2,75$$

$$M_{дв} = 0,442 / 2,75 = 0,161 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 3,15 \cdot 2,75 / 3,14 \cdot 0,31 = 265 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{265 \cdot 10^2} = 0,173 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_n = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,161 / 0,173 = 0,927$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 \cdot M \cdot V / R = 960 \cdot 0,442 \cdot 3,15 / 0,31 = 4315 \text{ кВт}$$

8 КЛІТЬ

$$\Delta h = 2,03 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{310 \cdot 2,03} = 25,1 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H + h}{2} = \frac{5,14 + 3,11}{2} = 4,13 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 25,1 / 4,13 = 6,08$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{2,03}{5,14} = 0,39$$

$$u = \frac{521 \cdot 0,39}{25,1} = 82,02 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{935}{400} - 2 \right)^2 = 0,26$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 5,21)^2 = 0,95$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0,26 \cdot 0,95 = 0,25$$

$$f_n = 1,6 \cdot f - 0,018 = 1,6 \cdot 0,25 - 0,018 = 0,374$$

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{935}{400} - 2 \right)^{0,7} = 1,12$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43(1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0,43(1 + 6,3(0,5 - 0,39)^2) = 1,4$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3) = 1,03 + 0,1(\ln 82,02 - 2,3) = 1,24$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 85,77 \cdot 1,12 \cdot 1,24 \cdot 1,4 = 170,7 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1,15 \sigma_T (1 + 0,48 f_n \cdot l_d \cdot h_{cp}) = 1,15 \cdot 170,7 (1 + 0,48 \cdot 0,37 \cdot 6,08) = 410 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 8 кліті дорівнює

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B = 410 \cdot 0,0251 \cdot 1,03 = 10,61 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0,498 + 0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{\frac{f}{\alpha}})}$$

$$\alpha = l_d / R = 325,1 / 310 = 0,08$$

$$f / \alpha = 0,25 / 0,08 = 3,03$$

$$\psi = (0,498 + 0,007 \cdot 3,03) (6,08)^{-(0,0145 + \frac{0,097}{3,03})} = 0,48$$

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P = 0,48 \cdot 0,0251 \cdot 10,61 = 0,127 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 10,61 \cdot 0,003 \cdot 0,396 (620 / 1240) = 0,006 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{тр2} = 0,05(2M + M_{тр1}) = 0,11(2 \cdot 0,127 + 0,006) = 0,029 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр} = 2M + M_{тр1} + M_{тр2} = 2 \cdot 0,127 + 0,029 + 0,006 = 0,289 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв} = M_{пр} / i \quad i = 2$$

$$M_{дв} = 0,289 / 2 = 0,144 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_H = 0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n = 60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D = 60 \cdot 5,21 \cdot 2 / 3,14 \cdot 0,31 = 320 \text{ об/хв}$$

$$M_H = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{320 \cdot 10^2} = 0,144 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_H} = 0,145 / 0,144 = 1,003$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв} = 960 \cdot M \cdot V / R = 960 \cdot 0,289 \cdot 5,21 / 0,31 = 4666 \text{ кВт}$$

9 КЛІТЬ

$$\Delta h = 0.99 \text{ мм}$$

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{310 * 0.99} = 17.5 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = \frac{H+h}{2} = \frac{3.11+3.12}{2} = 2.62 \text{ мм}$$

$$l_d / h_{cp} = 17.5 / 2.62 = 6.7$$

$$u = \frac{v * \varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon \frac{\Delta h}{H} = \frac{0.99}{3.11} = 0.32$$

$$u = \frac{764 * 0.39}{25.1} = 138.83 \text{ с}^{-1}$$

$$f_0 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{t^0}{400} - 2 \right)^2 = 0.27 - 0.1 \left(\frac{905}{400} - 2 \right)^2 = 0.26$$

$$k_v = 0.76 + 0.82(1 - 0.1 * 7.64)^2 = 0.81$$

$$k_m = 1$$

$$f = 0.26 * 0.81 = 0.21$$

$$f_n = 1.6 * f - 0.018 = 1.6 * 0.21 - 0.018 = 0.32$$

$$k_t = 1.66 - 1.1 \left(\frac{905}{400} - 2 \right)^{0.7} = 1.23$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0.43(1 - 6.3(0.5 - \varepsilon)^2) = 1 + 0.43(1 + 6.3(0.5 - 0.32)^2) = 1.34$$

$$k_u = 1.03 + 0.1(\ln u - 2.3) = 1.03 + 0.1(\ln 138.83 - 2.3) = 1.29$$

$$\sigma_T = \sigma_{T\delta} * k_t * k_\varepsilon * k_u = 85.77 * 1.23 * 1.29 * 1.34 = 182.72 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp} = 1.15 \sigma_T (1 + 0.48 f_n * l_d * h_{cp}) = 1.15 * 182.72 (1 + 0.48 * 0.32 * 6.7) = 427 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 8 кліті дорівнює

$$P = p_{cp} * l_d * B = 427 * 0.0175 * 1.03 = 7.7 \text{ МН}$$

$$\Psi = (0.498 + 0.007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0.0145 + \frac{0.097}{\alpha})}$$

$$\alpha = l_d / R = 17.5 / 310 = 0.06$$

$$f / \alpha = 0.25 / 0.06 = 3.75$$

$$\psi = (0.498 + 0.007 * 3.75) (6.7)^{-(0.0145 + \frac{0.097}{3.75})} = 0.48$$

$$M = \psi * l_d * P = 0.48 * 0.0175 * 7.7 = 0.066 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш} = 396 \text{ мм}$

$$M_{тр1} = P * f_{под} * d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1} = 7.7 * 0.003 * 0.396 (620 / 1240) = 0.005 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{Тр}2}=0,05(2M+M_{\text{Тр}1})=0,05(2\cdot 0,066+0,005)=0,015 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{пр}}=2M+M_{\text{Тр}1}+M_{\text{Тр}2}=2\cdot 0,066+0,015+0,005=0,151 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{дв}}=M_{\text{пр}}/i \quad i=1.56$$

$$M_{\text{дв}}=0.151/1.56=0.097 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{н}}=0,975\frac{N_{\text{дв}}*\eta}{n*10^2}$$

$$n=60\cdot v\cdot i/\pi\cdot D=60\cdot 7.64\cdot 1.56/3,14\cdot 0,31=365 \text{ об/хв}$$

$$M_{\text{н}}=0,975\frac{5000*0,95}{365*10^2}=0,126 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{\text{п}}=\frac{M_{\text{дв}}}{M_{\text{н}}}=0,097/0,126=0,77$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{\text{дв}}=960\cdot M\cdot V/R=960\cdot 0,151\cdot 7.64/0,31=3563 \text{ кВт}$$

10 кліть

$$\Delta h=0.32 \text{ мм}$$

$$l_d=\sqrt{R\Delta h}=\sqrt{310 * 0.32}=9.96 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ср}}=\frac{H+h}{2}=\frac{2.12+1.8}{2}=1.96 \text{ мм}$$

$$l_d/h_{\text{ср}}=9.96/1.96=5.08$$

$$u=\frac{v*\varepsilon}{l_d} \quad \varepsilon\frac{\Delta h}{H}=\frac{0.32}{2.12}=0,15$$

$$u=\frac{900*0,15}{9.96}=136.4\text{с}^{-1}$$

$$f_0=0,27-0,1\left(\frac{t^0}{400}-2\right)^2=0,27-0,1\left(\frac{870}{400}-2\right)^2=0,27$$

$$k_v=0,76+0,82(1-0,1\cdot 9)^2=0.77$$

$$k_m=1$$

$$f=0,27\cdot 0.77=0,21$$

$$f_n=1,6\cdot f-0,018=1,6\cdot 0,21-0,018=0,31$$

$$k_t=1,66-1,1\left(\frac{870}{400}-2\right)^{0,7}=1,34$$

$$k_\varepsilon=1+0,43(1-6,3(0,5-\varepsilon)^2)=1+0,43(1+6,3(0,5-0,15)^2)=1,1$$

$$k_u=1,03+0,1(\ln u-2,3)=1,03+0,1(\ln 136.4-2,3)=1,29$$

$$\sigma_{\text{T}}=\sigma_{\text{T}\delta}\cdot k_t\cdot k_\varepsilon\cdot k_u=85.77\cdot 1,34\cdot 1.1\cdot 1.29=162.7 \text{ Н/мм}^2$$

$$p_{cp}=1.15 \sigma_T(1+0.48 f_n \cdot l_d \cdot h_{cp})=1,15 \cdot 162.7(1+0,48 \cdot 0,31 \cdot 5.08)=329 \text{ Н/мм}^2$$

Сила прокатки у 10 кліті дорівнює

$$P=p_{cp} \cdot l_d \cdot B=329 \cdot 0,00996 \cdot 1,03=3.37 \text{ МН}$$

$$\Psi=(0,498+0,007 \frac{f}{\alpha}) \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-(0,0145+\frac{0,097}{\alpha})}$$

$$\alpha=l_d/R=9.96/310=0,03$$

$$f/\alpha=0,21/0,03=7$$

$$\Psi=(0,498+0,007 \cdot 7)(5.08)^{-(0,0145+\frac{0,097}{7})}=0,51$$

$$M=\Psi \cdot l_d \cdot P=0,51 \cdot 0,00996 \cdot 3.37=0,017 \text{ МН}$$

Момент тертя в шийці валків $d_{ш}=396 \text{ мм}$

$$M_{тр1}=P \cdot f_{под} \cdot d_{ш} \left(\frac{D_p}{D_{оп}} \right)$$

$$M_{тр1}=3.37 \cdot 0,003 \cdot 0,396(620/1240)=0,002 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{тр2}=0,11(2M+M_{тр1})=0,11(2 \cdot 0,017+0,002)=0,004 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{пр}=2M+M_{тр1}+M_{тр2}=2 \cdot 0,017+0,004+0,002=0,041 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{дв}=M_{пр}/i \quad i=1.41$$

$$M_{дв}=0,041/1.41=0.029 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_H=0,975 \frac{N_{дв} \cdot \eta}{n \cdot 10^2}$$

$$n=60 \cdot v \cdot i / \pi \cdot D=60 \cdot 9 \cdot 1.41 / 3,14 \cdot 0,31=390 \text{ об/хв}$$

$$M_H=0,975 \frac{5000 \cdot 0,95}{320 \cdot 10^2}=0,144 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт перевантаження:

$$k_{п}=\frac{M_{дв}}{M_H}=0,145/0,144=0,24$$

Перевантаження в межах допуску

$$N_{дв}=960 \cdot M \cdot V/R=960 \cdot 0,041 \cdot 9/0,31=1136 \text{ кВт}$$

Таблиця 2.2 - Геометричні та енергосилові параметри прокатки штаб 1,8×1030 мм зі ст. 08пс

№ кліті	l_d , мм	l_d/h_{cp} , мм	σ_T , Н/мм ²	f	ρ_{cp} , Н/мм ²	P , МН	ψ	$M_{пр}$, МН·м	N , кВт
Чорнова група клітей									
1	137,1	1,2	2,99	0,27	72,26	10,2	0,494	1,54	3303
2	124	1,63	62,79	0,26	95	12,1	0,47	1,59	4145
3	79,8	1,73	73	0,27	113	9	0,47	0,789	4153
4	60	2	96	0,28	157,33	9,6	0,48	0,615	4420
Чистова група клітей									
5	52,8	2,9	127,7	0,35	257	14	0,48	0,798	2769
6	40,65	3,58	138,7	0,33	300	12,54	0,48	0,554	3188
7	33,17	4,8	154	0,29	361	12,33	0,48	0,442	4315
8	25,1	6,08	170,7	0,25	410	10,61	0,48	0,289	4666
9	17,5	6,7	182,72	0,21	427	7,7	0,48	0,151	3563
10	9,96	5,08	162,7	0,21	329	3,37	0,51	0,041	1136

На рис. 2.7 наведено результати розрахунків енергосилових параметрів прокатки на стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Результати розрахунків енергосилових параметрів прокатки представлені в табл. 2.2 і на рис. 2.7. З представлених даних видно, що з прокаткою у кожній кліті товщина штаби і абсолютне обтиснення зменшуються. Відносне обтиснення максимальне в перших чистових клітях і поступово зменшується.

Швидкість прокатки в чорновій групі клітей приблизно однакова, а в чистовій групі стрімко зростає, що пояснюється тим, що чистова група клітей, на відміну від чорнової, є неперервною.

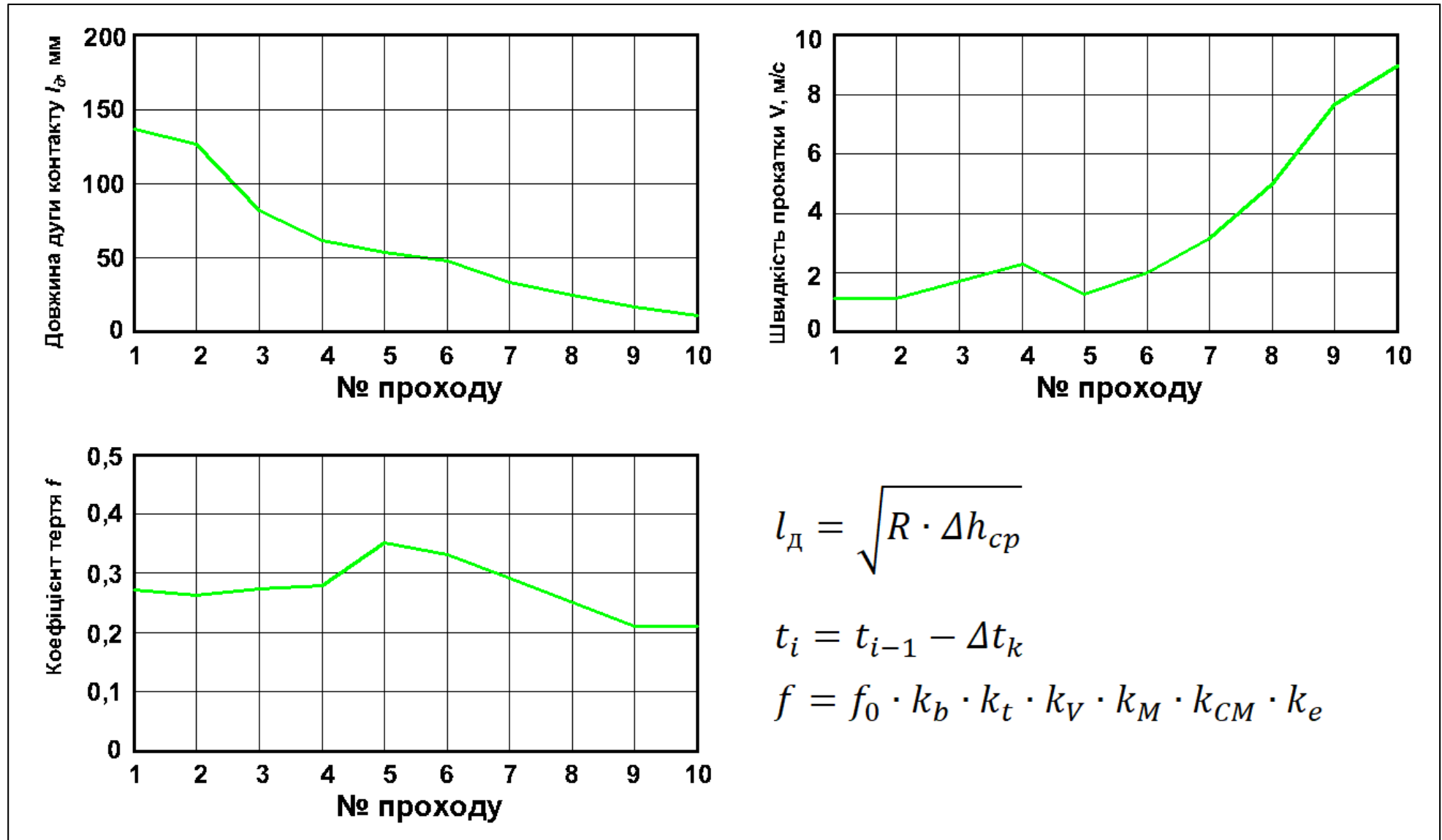


Рисунок 2.7 – Розрахункові енергосилові параметри прокатки

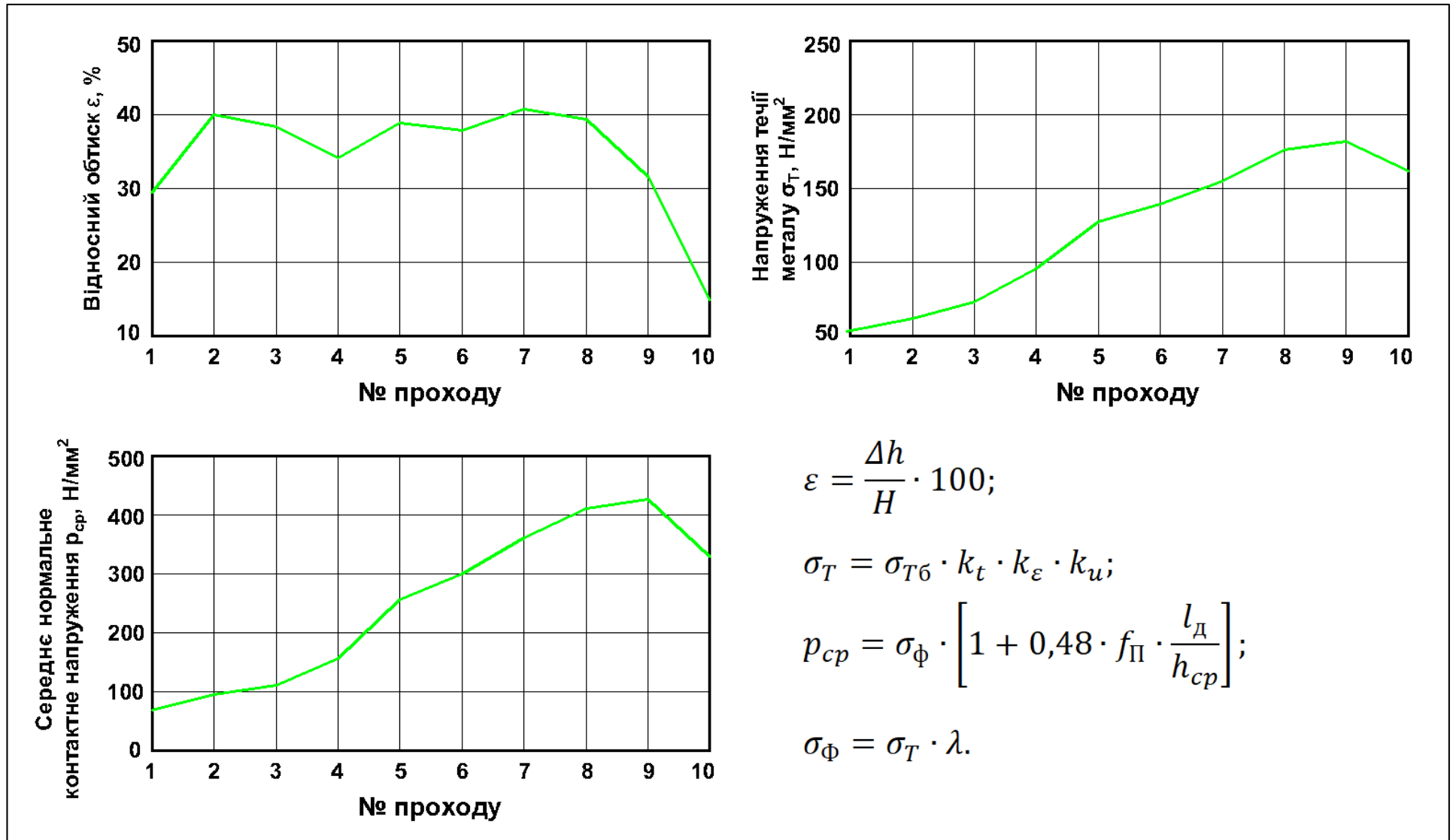


Рисунок 2.7 – Розрахункові енергосилові параметри прокатки (продовження)

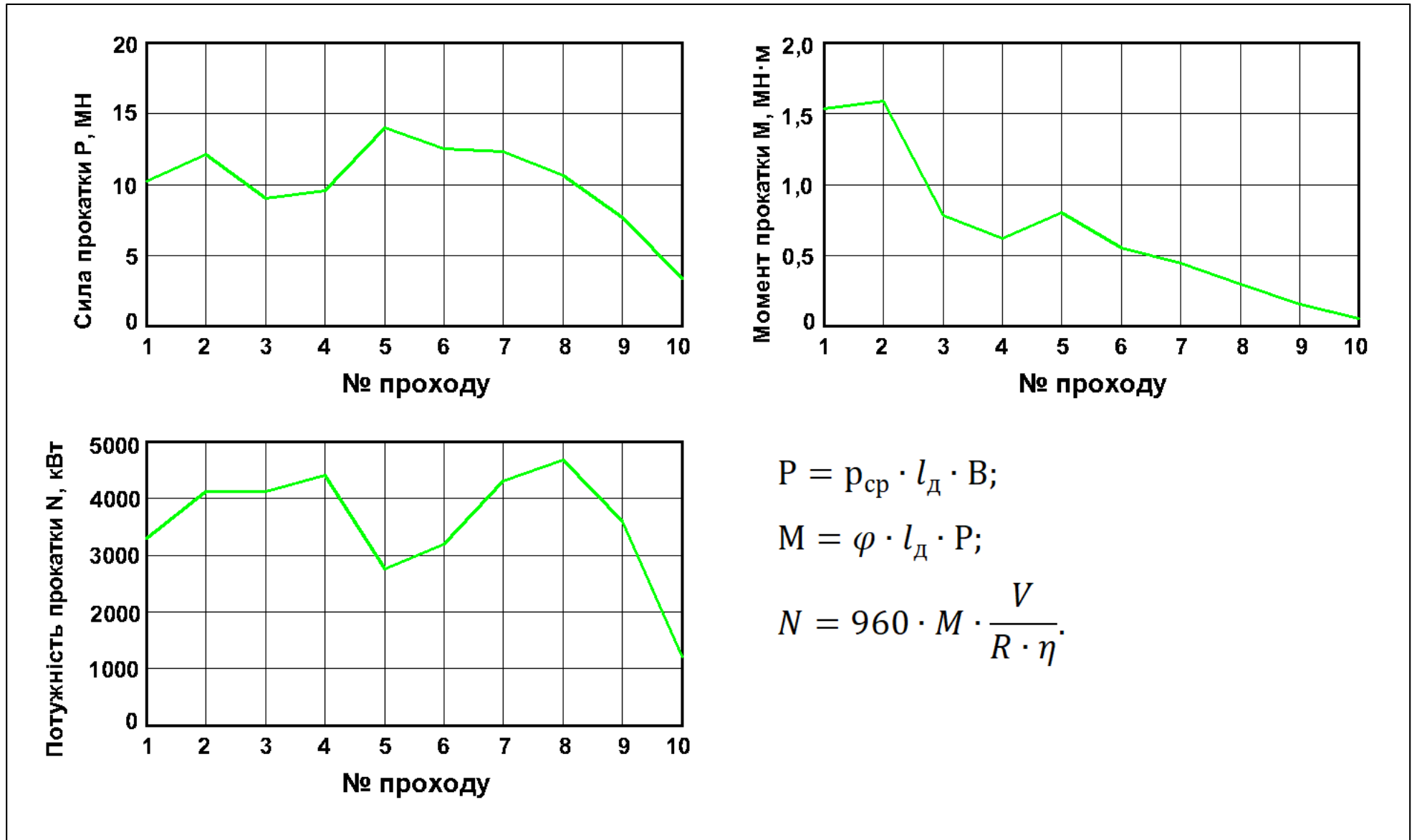


Рисунок 2.7 – Розрахункові енергосилові параметри прокатки (продовження)

Температура штаби поступово зменшується, особливо стрімко після 4-ї кліті чорнової групи, оскільки тут розкат перебуває на проміжному рольгангу, довжина якого 65 м. Саме тому на ПАТ «Запоріжсталь» встановили проміжний перемотуючий пристрій Койл-Бокс і зменшили довжину проміжного рольгангу.

Межа текучості матеріалу штаби плавно зростає, оскільки, не дивлячись на гарячу прокатку, метал в результаті обтиснення трохи зміцнюється. В результаті також зростає і середнє нормальне контактне напруження. Сила прокатки максимальна в перших клітях чистової групи, оскільки температура металу знизилась. В останніх клітях чистової групи сила прокатки зменшується, оскільки в них зменшується обтиснення штаби.

Крутний момент на валу двигуна і потужність двигуна максимальні в першій кліті, оскільки в ній максимальне обтиснення, а також в першій кліті чистової групи, оскільки температура штаби після проміжного рольгангу суттєво знизилася.

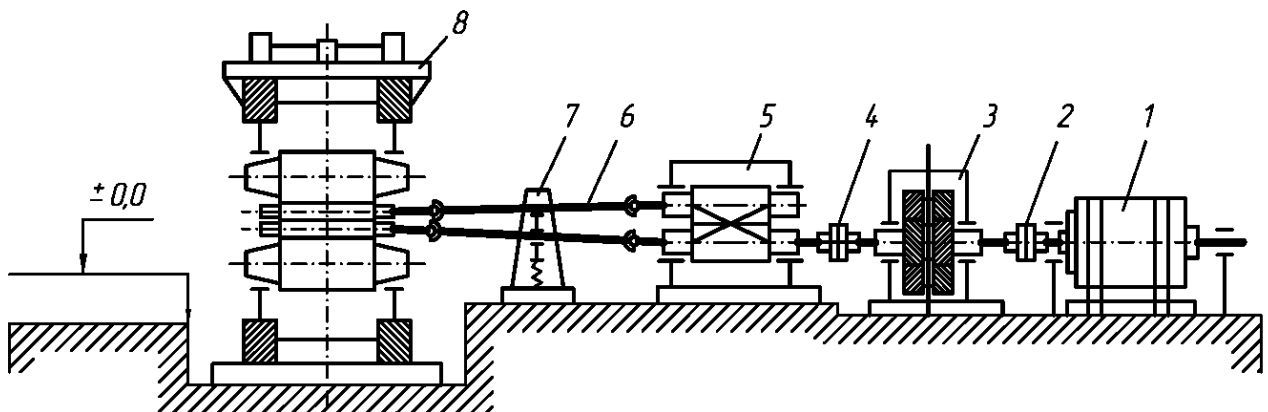
У цілому результати розрахунків енергосилових параметрів відповідають діючому процесу прокатки в ЦПТЛ ПАТ «Запоріжсталь».

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Головна лінія робочої кліти кварто

Чистова група складається з шести клітей «кварто» (№№ 1 – 6). Всі робочі кліті складаються зі станини, валкової арматури, натискних і врівноважуючих пристроїв. Для обертання валів застосовують електродвигуни, які передають обертальні рухи через редуктор на шестеренну кліть і далі на валки через шпинделі. До складу головної лінії входять: електродвигун, редуктор, шестеренна кліть, шпинделі, прокатні валки і станина. Кожний елемент відповідає за стабільну роботу цілком всього стана, оскільки прокатна кліть є основним устаткуванням стана. Схема головної лінії стана приведена на рис. 3.1.

Електродвигун, розташований в головній лінії, є механізмом, що перетворює електричну енергію в механічну обертальну енергію, яка за допомогою муфт з шківів електродвигуна передає крутний момент на силовий редуктор. Силовий редуктор збільшує потужність обертального руху за рахунок передавального числа редуктора. Щоб передати різнойменні рухи на валки від редуктора в лінії кліті встановлена шестеренна кліть, яка, через шпинделя, передає обертання на валки [2].



1 – електродвигун; 2 – моторна муфта; 3 – редуктор; 4 – моторна муфта; 5 – шестеренна кліть; 6 – шпинделі; 7 – зрівноваження шпинделів; 8 – робоча кліть

Рисунок 3.1 – Схема головної лінії робочої кліти стана

3.2 Розрахунок на міцність шпинделів

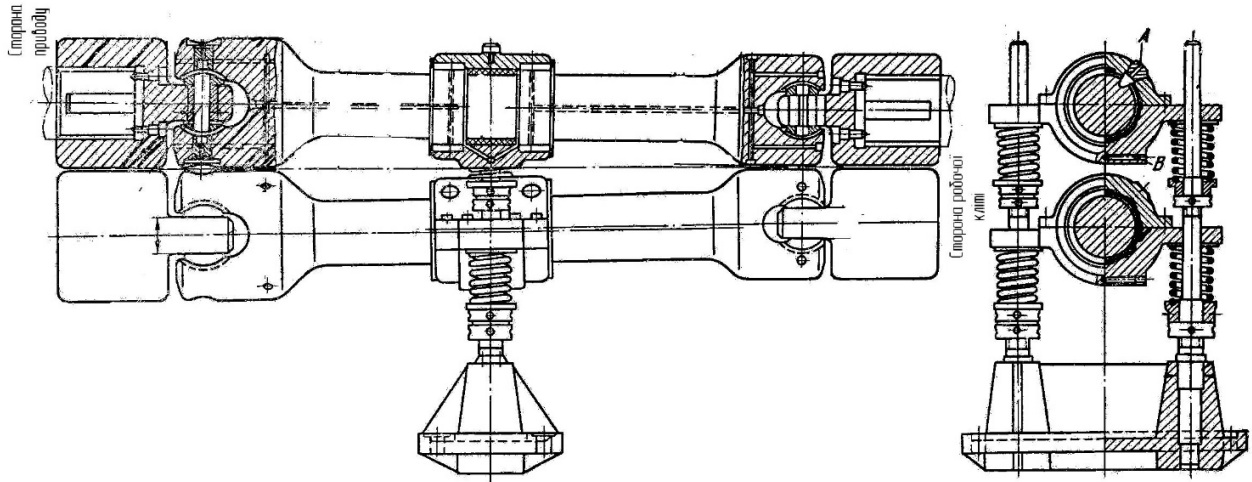


Рисунок 3.2 – Схема розташування універсальних шпинделів

Перетин $A'O$ відповідатиме перетину 1 – 1:

$$e = 2 \cdot \sqrt{R^2 - r^2}, \quad (3.1)$$

$$f = \frac{e}{3} \cdot \frac{1 - \left(\frac{c}{e}\right)^3}{1 - \left(\frac{c}{e}\right)^2}, \quad (3.2)$$

$$e = 2 \cdot \sqrt{230^2 - 105^2} = 0,41\text{м}(410\text{мм});$$

$$f = \frac{410}{3} \cdot \frac{1 - \left(\frac{110}{410}\right)^3}{1 - \left(\frac{110}{410}\right)^2} = 0,143\text{м}(143\text{мм}).$$

Момент, що скручує одну шийку головки:

$$M = \frac{M_{кр}}{2}, \quad (3.3)$$

$$M = \frac{0,3}{2} = 0,15\text{МН} \cdot \text{м};$$

Зусилля, діюче на шийку головки:

$$P = \frac{M}{f}, \quad (3.4)$$

$$P = \frac{0,15}{0,143} = 1,05 \text{ МН}.$$

Замінюючи сегмент перетину $A O$ рівновеликою трапецією, отримаємо:

$$e_1 = 190 \text{ мм}, \quad e_2 = 110 \text{ мм}, \quad h = 125 \text{ мм}, \quad \eta = 0,255$$

$$W_{кр} = \eta \cdot (e_1 + e_2) \cdot h^2, \quad (3.5)$$

$$W_{кр} = 0,255 \cdot (190 + 110) \cdot 0,125^2 = 0,0012 \text{ м}^3.$$

Напряга кручення в перетині $A O$:

$$\tau = \frac{M}{W_{кр}}, \quad (3.6)$$

$$\tau = \frac{0,15}{0,0012} = 125 \text{ МН} / \text{м}^2.$$

Напряга кручення в тілі шпинделя:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{0,2 \cdot d^3}, \quad (3.7)$$

$$\tau = \frac{0,3}{0,2 \cdot 0,27^3} = 76,2 \text{ МН} / \text{м}^2.$$

Кут закручування на довжині $L = 2500 \text{ мм}$:

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot I_p} \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (3.8)$$

$$\varphi = \frac{0,3 \cdot 2,5 \cdot 32}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,27^4} \cdot \frac{180}{3,14} = 1,03^\circ;$$

На 1 м довжини шпинделя:

$$\varphi = \frac{1,03}{2,5} = 0,412^\circ \langle [\varphi] = 0,5^\circ$$

Таблиця 3.1 – Допустимі і робочі параметри деталей [2]

Деталь	Що допускається	Розрахунковий
Вал опорний	Запас міцності [5]	Запас міцності [8,05]
Станина	Запас міцності [10]	Запас міцності [11,2]
Шпиндель	Кут закручування [0,5ε]	Кут закручування [0,412ε]

3.3 Розрахунок на міцність опорного і робочого валків

Розрахунок виконується для кліти №1 при зусиллі прокатки $P = 14$ МН; максимальний крутний момент $M_{кр} = 0,3$ МН·м; різниця натягнення $T = 0,2$ МН; розміри валів, 570/1700 /1100 мм [2, 15].

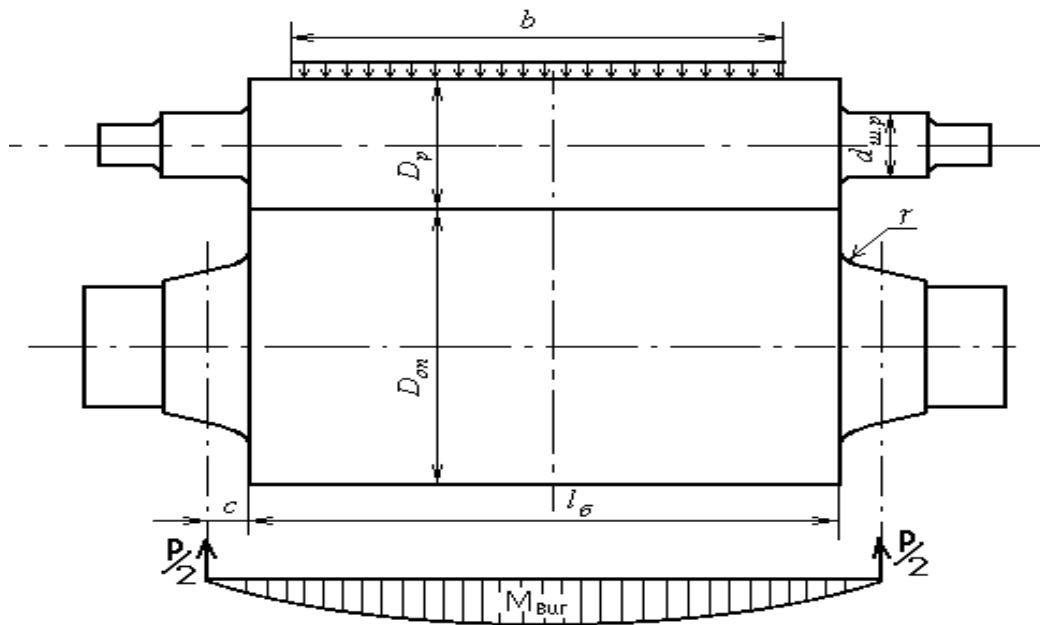


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема валків кліти кварто

Визначаємо розподіл зусилля між робочим і опорним валками:

$$\left(\frac{D_{on}}{D_p}\right)^4 = \left(\frac{1170}{570}\right)^4 = 17.75; \quad (3.9)$$

$$P_p = \frac{P}{\left(1 + \left(\frac{D_{on}}{D_p}\right)^4\right)}, \quad (3.10)$$

$$P_p = \frac{13,5}{(1 + 17,75)} = 0,72 \text{ МН};$$

$$P_{on} = P - P_p, \quad (3.11)$$

$$P_{on} = 13,5 - 0,72 = 12,78 \text{ МН}.$$

Таким чином, робочі валки сприймають всього навантаження на валки:

$$\frac{0,72}{13,5} = 0,053 (53\%)$$

Напруження у робочому валку при $a' = 2230 \text{ мм}$:

$$M_p = \frac{P_p \cdot a'}{8}, \quad (3.12)$$

$$M_p = \frac{0,72 \cdot 2,23}{8} = 0,2 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Максимальний згинаючий момент (для одного валка):

$$M_T = \frac{T \cdot (a' - e/2)}{8} \quad (3.14)$$

де e - ширина штаби $e = 1,0 \text{ м}$.

$$M_T = \frac{0,2}{8} \cdot \left(2,23 - \frac{1,0}{2}\right) = 0,04 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Результуючий згинаючий момент по середині бочки валка:

$$M_{раб} = \sqrt{M_p^2 + M_T^2}, \quad (3.15)$$

$$M_{\text{раб}} = \sqrt{0,2^2 + 0,04^2} = 0,204 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Максимальна напруга вигину по бочці валка:

$$\sigma = \frac{M_{\text{раб}}}{0,1 \cdot D_p^3}, \quad (3.16)$$

$$\sigma = \frac{0,204}{0,1 \cdot 0,57^3} = 11,02 \text{ МН} / \text{м}^2;$$

Напруга кручення на шийці валка:

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}} \cdot \psi}{0,2 \cdot d_m^3}, \quad (3.17)$$

де $\psi = 2,1$ – коефіцієнт концентрації напруження;

d_m - діаметр шийки валу.

$$\tau = \frac{0,3 \cdot 2,1}{0,2 \cdot 0,395^3} = 51,11 \text{ МН} / \text{м}^2.$$

Визначаємо напруження в опорному валку:

- максимальний згинаючий момент при $Q = 2,7 \text{ м}$

$$M_{\text{он}} = \frac{P_{\text{он}}}{4} \cdot \left(a - \frac{b}{2} \right), \quad (3.18)$$

$$M_{\text{он}} = \frac{12,78}{4} \cdot \left(2,7 - \frac{1,0}{2} \right) = 6,63 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

- напруга по середині бочки валка при вигині

$$\sigma = \frac{M_{\text{он}}}{0,1 \cdot D_{\text{он}}^3}, \quad (3.19)$$

- напруга в перетині $l - l$

$$\sigma = \frac{P/2 \cdot C}{0,1 \cdot d_m^3}, \quad (3.20)$$

$$\sigma = \frac{(12,78/2) \cdot 0,51}{0,1 \cdot 0,75^3} = 77,3 \text{ МН} / \text{м}^2.$$

Запас міцності в небезпечному перетині дорівнює:

$$n = \frac{[\sigma_\phi]}{\sigma} = \frac{750}{93,1} = 8,05 \gg [n] = 5. \quad (3.21)$$

Контактні напруги:

- робочі валки з легованого чавуну

$$E_p = 1,1 \cdot 10^5 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2) \quad (3.22)$$

- опорні сталеві валки

$$E_{on} = 2,15 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2) \quad (3.23)$$

- приведений коефіцієнт

$$E_{np} = \frac{2 \cdot E_p \cdot E_{on}}{(E_p + E_{on})} \quad (3.24)$$

$$E_{np} = 1,4 \cdot 10^5 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2);$$

$$R_{np} = \frac{R_{on} \cdot R_p}{(R_{on} + R_p)} \quad (3.25)$$

$$R_{np} = \frac{0,585 \cdot 0,285}{(0,585 + 0,285)} = 0,192 \text{ м};$$

$$g = \frac{P_{on}}{b} \quad (3.26)$$

$$g = \frac{12,78}{1,0} = 12,78 \text{ МН} / \text{м} \quad \sigma_{конт} = 0,58 \sqrt{g \cdot \frac{E_{np}}{R_{np}}} \quad (3.27)$$

$$\sigma_{конт} = 0,58 \sqrt{12,78 \cdot \frac{1,4 \cdot 10^5}{0,192}} = 1583,6 \text{ МПа} (\text{МН} / \text{м}^2)$$

Визначаємо прогинання опорного валка:

$$I_1 = \frac{\pi D^4}{64} \quad (3.28)$$

$$I_1 = \frac{3,14 \cdot 1,17^4}{64} = 0,09 \text{ м}^4 ;$$

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right) = \left(\frac{D_{on}}{d_u} \right)^4 \quad (3.29)$$

$$\left(\frac{I_1}{I_2} \right) = \left(\frac{1,17}{0,65} \right)^4 = 10,5 \quad \left(\frac{D_{on}}{d_u} \right)^2 = \left(\frac{1,17}{0,65} \right)^2 = 3,24$$

$$E_p = 2,15 \cdot 10^5 \cdot \text{МПа} (\text{МН} / \text{м}^2);$$

$$G = 0,82 \cdot 10^5 \text{ МПа} (\text{МН} / \text{м}^2);$$

$$f_1 = \frac{P}{384EI_1} \cdot \left(8a^3 - 4a\epsilon^2 + \epsilon^3 + 64c^2 \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) \right) \quad (3.30)$$

$$f_2 = \frac{P}{\pi GD^2} \cdot \left(a - \frac{\epsilon}{2} + 2C \left(\frac{D_{on}^2}{d_u^2} - 1 \right) \right) \quad (3.31)$$

$$\Delta f = \frac{P \cdot \epsilon}{2\pi GD^2} \cdot \left(1 + \frac{\epsilon}{8D^2} \cdot (12a - 7\epsilon) \right) \quad (3.32)$$

$$f_1 = \frac{12,78}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot 0,09} (8 \cdot 2,7^3 - 4 \cdot 2,7 \cdot 1,0^2 + 1,0^3 + 64 \cdot 0,51^2 \cdot (10,5 - 1)) = 0,0005 \text{ м} (0,5 \text{ мм})$$

$$f_2 = \frac{12,78}{3,14 \cdot 0,82 \cdot 10^5 \cdot 1,17^2} \cdot \left(2,7 - \frac{12,5}{2} + 2 \cdot 0,51 \cdot (3,24 - 1) \right) = 0,00016 \text{ м} (0,16 \text{ мм})$$

$$\Delta f = \frac{12,78 \cdot 1,25}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,82 \cdot 10^5 \cdot 1,17^2} \cdot \left(1 + \frac{1,0}{8 \cdot 1,17^2} (12 \cdot 2,7 - 7 \cdot 1,0) \right) = 0,00013 \text{ м} (0,13 \text{ мм}) ;$$

Сумарний прогин валків:

$$\Sigma f = f_1 + f_2 \quad (3.33)$$

$$\Sigma f = 0,5 + 0,16 = 0,66 \text{ мм.}$$

Пружне сплющення валків:

$$\sigma_{\kappa} = \left(\frac{1,3g}{E_{np}} \right) \cdot \lg \left(1,65(D_{on} + D_p) \frac{E_{np}}{g} \right) \quad (3.34)$$

$$\sigma_{\kappa} = \frac{1,3 \cdot 10,224}{1,4 \cdot 10^5} \cdot \lg \left(1,65 \cdot (1,17 + 0,57) \cdot \frac{1,4 \cdot 10^5}{10,224} \right) = 0,44 \text{ мм}$$

$$\Sigma \sigma = 2\sigma = 2 \cdot 0,44 = 0,88 \text{ мм} \quad (3.35)$$

3.4 Розрахунок на міцність станини робочої кліті

Будова нейтральної лінії станини, що проходить через центри важкості основних розрахункових перетинів станини. Перетин $A - A$ верхньої поперечини:

Площа перетину:

$$F_A = e_1 \cdot h_1 - e_2 \cdot h_2 - e_3 \cdot h_3 = F_1 - F_2 - F_3, \quad (3.36)$$

$$F_A = 2,1 \cdot 1,17 - 0,67 \cdot 0,46 - 0,44 \cdot 0,71 = 2,5 - 0,3 - 0,3 = 1,9 \text{ м}^2;$$

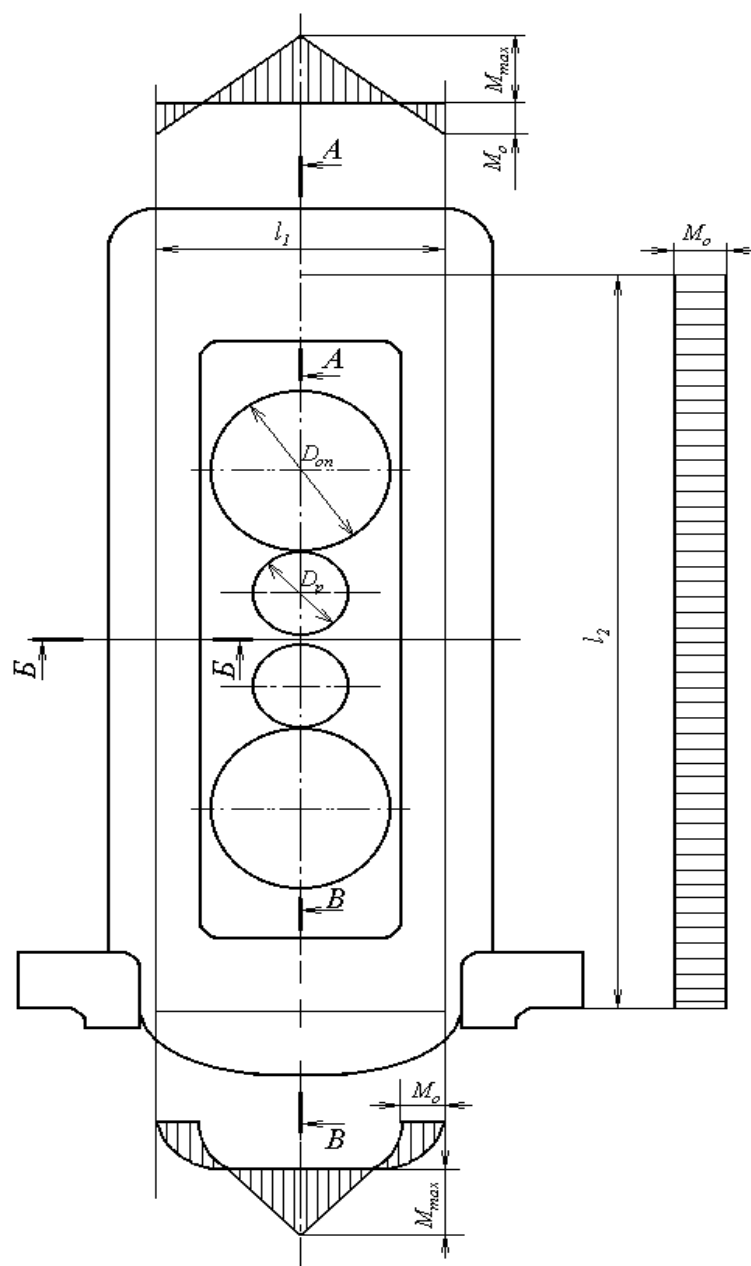
Статичний момент перетину щодо осі X-X :

$$S = F_1 \frac{h_1}{2} - F_2 \frac{h_2}{2} - F_3 \left(\frac{h_3}{2} + h_1 \right), \quad (3.37)$$

$$S = 2,5 \cdot 0,585 - 0,3 \cdot 0,23 - 0,3 \cdot 0,815 = 1,149 \text{ м}^3;$$

Ордината центру тяжкості;

$$I_c = \frac{S}{F}, \quad (3.38)$$



$$I_c = \frac{1,149}{1,9} = 0,6 \text{ м};$$

Рисунок 3.3 – Станина неперервної чотиривалкової кліті

Момент інерції перетину щодо осі X_1-X_2 :

$$I_i = \epsilon_i h_i \cdot \left(\frac{h_i^2}{12} + \left(I_c - \frac{h_i}{2} \right)^2 \right), \quad (3.39)$$

$$I_1 = 2,5 \cdot \left(\frac{1,17^2}{12} + (0,6 - 0,585)^2 \right) = 0,29 \text{ м}^4;$$

$$I_2 = 0,3 \cdot \left(\frac{0,46^2}{12} + (0,6 - 0,23)^2 \right) = 0,05 \text{ м}^4;$$

$$I_3 = 0,3 \cdot \left(\frac{0,71^2}{12} + (0,6 - 0,355)^2 \right) = 0,05 \text{ м}^4;$$

$$I_A = I_1 - I_2 - I_3, \quad (3.40)$$

$$I_A = 0,29 - 0,05 - 0,05 = 0,21 \text{ м}^4;$$

Мінімальний момент опору перетину:

$$W_A = \frac{I_A}{I_c}, \quad (3.41)$$

$$W_A = \frac{0,21}{0,6} = 0,35.$$

Перетин $B-B$ стійкі станини:

$$F_B = BH, \quad (3.42)$$

$$F_B = 0,62 \cdot 0,74 = 0,46 \text{ м};$$

$$X_c = 370 \text{ мм} (0,37 \text{ м}),$$

$$I_2 = I_B = B \cdot H \cdot \frac{H^2}{12} = 0,46 \cdot \frac{0,62^2}{12} = 0,015 \text{ м}^4 \quad (3.43)$$

$$W_B = \frac{I_B}{F} = \frac{0,015}{0,46} = 0,033 \text{ м}^3. \quad (3.44)$$

Перетин $B-B$ нижньої поперечини:

$$F_B = BH = 0,74 \cdot 0,99 = 0,73 \text{ м}^2;$$

$$I_c = 370 \text{ мм}(0,37 \text{ м});$$

$$I_1 = I_B = BH \frac{H^2}{12},$$

$$I_1 = I_B = 0,73 \cdot \frac{0,74^2}{12} = 0,033 \text{ м}^4;$$

$$W_B = BH \cdot \frac{H^2}{6},$$

$$W_B = 0,73 \cdot \frac{0,74^2}{6} = 0,066 \text{ м}^4.$$

Знаючи положення центрів важкості перетинів, можна побудувати нейтральні лінії поперечини і стійок, сполучаючи їх тими лініями, що закруглюють в кутах, одержуємо жорстку раму, навантажену вертикальними силами.

Статичний невизначний момент:

$$R_1 = \frac{I_B}{I_B}, \tag{3.45}$$

$$R_1 = \frac{0,033}{0,015} = 2,2;$$

Для отримання найбільшого значення M_0 беремо $i_1 = i_b$ для нижньої поперечини:

$$I_B \ll I_A, \quad R_2 = \frac{l_2}{l_1} = \frac{5,795}{1,94} = 2,99;$$

Статично невизначний момент в кутах рами:

$$M_1 = \frac{Yl_1}{4}, \tag{3.46}$$

$$M_1 = \frac{6,75 \cdot 1,94}{4} = 3,27 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

$$M_0 = \frac{M_1}{2} \cdot (1 + R_2 R_1), \tag{3.47}$$

$$M_0 = \frac{3,27}{2} \cdot (1 + 2,2 \cdot 2,99) = 0,22 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

Враховуючи закруглення в кутах жорсткості:

$$R_3 = \frac{I_B}{I_3} = \frac{0,033}{0,03} = 1,1; \quad (3.48)$$

$$R_3 = \frac{r}{l_1} = \frac{0,495}{1,94} = 0,26; \quad (3.49)$$

$$M_0 = M_1 \cdot \frac{1 + 4 \cdot R_4 \cdot (1,15 \cdot R_3 \cdot R_4 + 1)}{2 \cdot (1 + R_1 \cdot R_2 + \pi \cdot (R_3 \cdot R_4))}, \quad (3.50)$$

$$M_0 = 3,27 \cdot \frac{1 + 4 \cdot 0,26 \cdot (1,15 \cdot 1,1 \cdot 0,26 + 1)}{2 \cdot (1 + 2,2 \cdot 2,99 + 3,14 \cdot (1,1 \cdot 0,26))} = 0,46 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Згинаючі моменти в поперечині:

$$M_n = M_1 - M_0 = 3,27 - 0,46 = 2,81 \text{ МН} \cdot \text{м}. \quad (3.51)$$

Напруга вигину $\sigma = M_n / W$ у перетинах:

$$A - A \quad \sigma_A = \frac{2,81}{0,35} = 8 \text{ МН} / \text{м}^2;$$

$$B - B \quad \sigma_B = \frac{2,81}{0,066} = 42,6 \text{ МН} / \text{м}^2.$$

Напруга розтягування у стійці:

$$\sigma_B = \frac{Y}{2F_2} + \frac{M_0}{W_B}, \quad (3.52)$$

$$\sigma_B = \frac{6,75}{2 \cdot 0,46} + \frac{0,46}{0,033} = 21,3 \text{ МН} / \text{м}^2;$$

Запас міцності:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_B}{\sigma_B} = \frac{500}{21,3} = 23,5 \quad (3.53)$$

З урахуванням наявності концентрації напруження під натискну гайку, приймаємо коефіцієнт концентрації $R = 2,8$.

Запас по втомній міцності:

$$n_f = \frac{1}{2R} \cdot \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \quad (3.54)$$

$$n_f = \frac{1}{2 \cdot 2,8} \cdot \frac{500}{8} = 11,2 \rightarrow [n_f] = 1,5.$$

Деформація станини:

- розтягування стійки

$$f_1 = \frac{Yl_2}{2E \cdot F_B}, \quad (3.55)$$

$$f_1 = \frac{6,75 \cdot 5,795}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,46} = 0,0002 \text{ м (0,2 мм)};$$

$$f_2 = \left(\frac{Yl_1}{6} - M_0 \right) \cdot \frac{l_1^2}{4EI_A}, \quad (3.56)$$

- прогинання двох поперечин

$$f_2 = \left(\frac{6,75 \cdot 1,94}{6} - 0,46 \right) \cdot \frac{1,94^2}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,21} = 0,00004 \text{ м (0,04 мм)};$$

- деформація поперечини від двох поперечних сил при $G = 0,75 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$

$$f_3 = \frac{1,2 \cdot Y \cdot l_1}{2 \cdot G \cdot F_B}, \quad (3.57)$$

$$f_3 = \frac{1,2 \cdot 6,75 \cdot 1,94}{2 \cdot 0,75 \cdot 10^5 \cdot 0,73 F_B} = 0,00014 \text{ м (0,14 мм)}; \quad (3.58)$$

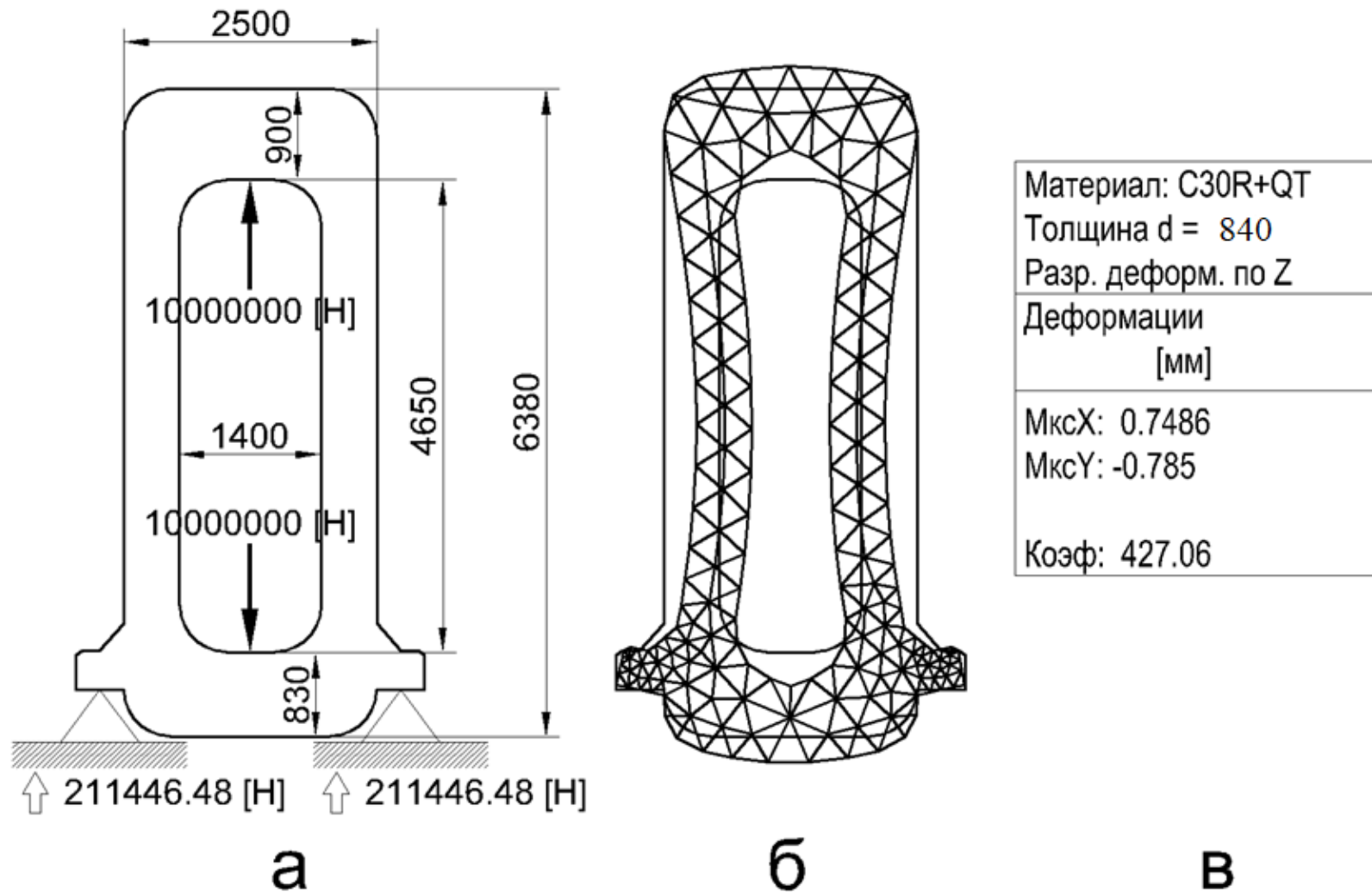
- сумарна деформація

$$f_{\text{сТ}} = f_1 + f_2 + f_3,$$

$$f_{\text{сТ}} = 0,0002 + 0,00004 + 0,00014 = 0,00038 \text{ м (0,38 мм)}.$$

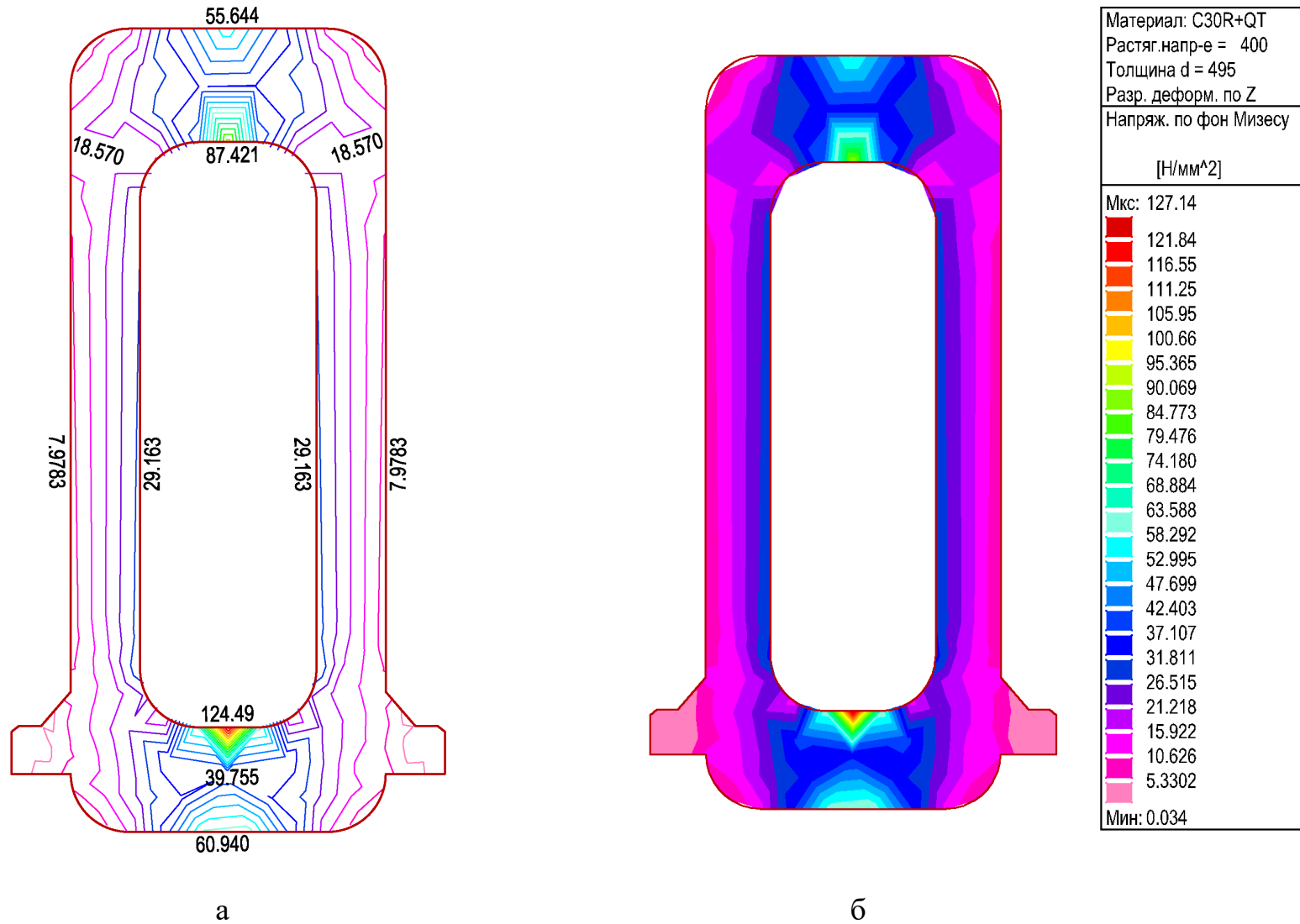
Таким чином, усі елементи прокатної кліти мають коефіцієнти запасу міцності вище допустимого значення. Для компенсації впливу прогинання валків на товщину штаби, один із робочих валків необхідно зробити випуклим (шліфувати з випуклістю 0,3 – 0,5 мм).

Результати розрахунків станини закритого типу на міцність і деформацію методом комп'ютерного моделювання наведені на рис. 3.4, 3.5.



а – розрахункова схема станини прокатного стана; б, в – результати розрахунків станини на деформацію

Рисунок 3.4 – Розрахункова схема і результати розрахунків станини прокатного стана на деформацію



а – ізолінії; б - ізообласті

Рисунок 3.5 - Результати розрахунків станини прокатного стана методом скінченних елементів

4 АНАЛІЗ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ, ЩО ВИПУСКАЄТЬСЯ

Виробництво та реалізація продукції потребують трудових, матеріальних і грошових витрат. Витрати підприємства на спожиті засоби виробництва, предмети праці та оплату праці працівників, виражені в грошовій формі, утворюють собівартість продукції.

Собівартість продукції – це основний якісний показник роботи підприємства. Її рівень відображає досягнення та недоліки роботи як підприємства в цілому, так і кожного структурного підрозділу. Систематичне зниження собівартості продукції має важливе народногосподарське значення, бо дає змогу за стабільних ринкових цін збільшувати прибуток на кожен гривню витрат, підвищує конкурентоспроможність продукції [16].

Аналіз собівартості продукції має такі **завдання**: перевірка обґрунтованості прийнятих управлінських рішень щодо собівартості; об'єктивна оцінка виконання прийнятих рішень, під час якої виявляються відхилення фактичних витрат від прогнозованих; з'ясування чинників цих відхилень; підрахунок резервів подальшого зниження собівартості продукції; розроблення заходів з мобілізації внутрішньовиробничих резервів та використання їх у виробництві.

Для проведення аналізу використовуються такі **джерела інформації**: прогнозована собівартість продукції; аналітичні розрахунки, норми й нормативи споживання ресурсів; звітна інформація, зокрема «Звіт про фінансові результати» ф. 2, «Звіт з праці» ф. 1-ПВ і ф. 3-ПВ, дані оперативного обліку.

Облік, прогнозування та аналіз собівартості спирається на такі **узагальнюючі показники**.

- 1) собівартість одиниці продукції;
- 2) виконання прогнозу зниження собівартості порівнянної продукції;
- 3) витрати на 1 грн товарної продукції.

Для досягнення конкурентоспроможності підприємство змушене постійно прогнозувати зниження собівартості своєї продукції.

Для визначення обґрунтованості прогнозованого рівня собівартості виробленої продукції використовують дані про залишки нереалізованої продукції на початок і кінець року, обсяг реалізації та складають розрахунок (табл. 4.1).

Фактичні витрати на 1 грн виробленої продукції порівнюють з прогнозованими, визначають та оцінюють наявні відхилення.

З таблиці 4.1 видно, що за прогнозованого обсягу реалізації в оптових цінах підприємства 12484,5 тис. грн та прогнозованого прибутку від реалізації 2437,5 тис. грн, собівартість реалізованої продукції становить 10047 тис. грн, а прогнозована собівартість товарної продукції з урахуванням зміни прогнозованих залишків нереалізованої продукції на початок і кінець року – 10174,5 тис. грн.

Таблиця 4.1 – Розрахунок рівня собівартості продукції, тис. грн.

№	Показник	За оптовими цінами підприємства	За прогнозованою собівартістю	Прибуток	Витрати на 1 грн продукції
1	Залишки нереалізованої продукції на початок року	615	480	135	78,05
2	Реалізація продукції	12484,5	10047	2437,5	80,48
3	Залишки нереалізованої продукції на кінець року	730,5	607,5	123	83,16
4	Випуск товарної продукції (ряд. 2 + ряд. 3-ряд. 1)	12600	10174,5	2425,5	80,75

Зазвичай внаслідок систематичного зниження собівартості витрати на одну гривню продукції в залишках нереалізованої продукції на кінець року мають бути нижчі від середньорічних, а в собівартості товарного випуску – нижчі, ніж у собівартості реалізованої продукції, бо в останню закладено підвищені витрати в залишках нереалізованої продукції на початок року.

На підприємстві, яке аналізується, цієї вимоги не дотримано, собівартість товарної та нереалізованої продукції постійно зростає, а тому зменшується прибуток на одну гривню продукції. Високий рівень витрат у залишках нереалізованої продукції був спричинений зростанням цін на матеріали і зниженням попиту на дорогу продукцію. Ця обставина може призвести до погіршення фінансового стану підприємства.

Маючи розрахунковий рівень собівартості товарної продукції, обчислюють прогнозоване завдання щодо її зниження проти минулого звітного періоду і розробляють прогноз організаційно-технічних заходів, який забезпечить це зниження.

Міра ефективності використання матеріальних, трудових і грошових засобів з найбільшою повнотою розкривається під час вивчення собівартості товарної продукції, бо об'єктом аналізу стають ресурси підприємства, використані для основної діяльності.

Аналіз собівартості товарної продукції починають із загальної оцінки виконання прогнозу собівартості, визначають відхилення звітних показників від прогнозованих, їх динаміку, виявляють фактори, що вплинули на це відхилення, роблять відповідні висновки.

На підставі облікових даних одержано таку інформацію:

- випуск товарної продукції за прогнозом – 12600 тис. грн, фактичний – 12750 тис. грн;

- собівартість продукції за прогнозом – 10174,5 тис. грн, фактично – 10717,5 тис. грн, собівартість фактично випущеної продукції за прогнозованими нормами і фактичною структурою – 10437 тис. грн.

Порівняння фактичної собівартості з прогнозованою показало, що абсолютне відхилення дорівнює 543 тис. грн. Це відхилення виникло під впливом таких факторів:

- 1) зміни обсягу виробництва продукції;
- 2) зміни структури виробленої продукції;
- 3) зміни рівня витрат (за рахунок зміни кількості використаних матеріалів, цін на сировину і матеріали).

Для виявлення впливу цих факторів виконаємо такі розрахунки:

- 1) визначаємо рівень виконання прогнозу виробництва товарної продукції:

$$12750:12600 - 100 = 101,19 \%$$

- 2) підраховуємо собівартість фактичного випуску продукції за прогнозованими нормами і структурою:

$$10437 - 101,19:100 = 10561,25 \text{ тис. грн};$$

- 3) визначаємо вплив зміни обсягу товарної продукції на собівартість:

$$10561,25 - 10174,5 = 386,75 \text{ тис. грн};$$

- 4) визначаємо вплив зміни структури на собівартість:

$$10437 - 10561,25 = -124,25 \text{ тис. грн};$$

- 5) визначаємо вплив зміни рівня витрат на собівартість:

$$10717,5 - 10437 = 280,5 \text{ тис. грн}.$$

Загальне відхилення становить: $386,75 - 124,25 + 280,5 = 543$ тис. грн.

Підприємство допустило небажане зростання собівартості на 280,5 тис. грн – за рахунок зміни рівня витрат, проте за рахунок покращення структури на 124,25 тис. грн воно дещо знизило собівартість [16].

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

5.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки відносяться: рухомі машини і механізми, запиленість і загазованість повітря, вібрація, шум, підвищена температура повітря, електробезпека та пожежонебезпека [17].

Якісний склад пилу наведено в табл. 5.1.

Ступінь впливу пилу на організм людини залежить від його фізико-хімічних властивостей, дисперсності, токсичності, концентрації тощо.

При вдиханні запиленого повітря частина пилових частинок виводиться з організму. Це обумовлено захисними рефлексами (кашлем, чханням). інша частина пилових частинок проникає вглиб легенів, викликаючи роздратування з'єднувальних тканин, сполучних тканин, тобто розвивається пневмоконіоз.

Таблиця 5.1 - Якісний склад пилу при прокатуванні

Найменування	Вміст (%)
Оксиди заліза	55,6 – 96,4
Оксиди кальцію	3 – 16,4
Оксиди магнію	1,3 – 1,6
Оксиди марганцю	0,4 – 3
Кремнезем	5,4 – 19
Вільний вуглець	1,5 – 4

У цеху гарячої прокатки багато основних і допоміжних технологічних операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Вміст різних

елементів пилу пропорційний хімічному складу сталі, що прокатується. Пил містить: 73,96% Fe; 0,1% C; 0,51% Mn; 0,39% S; 25,04% O₂.

Частинки пилу прокатного виробництва мають форму нерівномірних гранул, як правило, з одним або кількома гострими краями. Пил, що утворюється при прокатуванні та обробці металу, негативно впливає на організм людини. Медичні спостереження показують, що особи, які постійно працюють в атмосфері, яка містить зважений металевий пил, більш схильні до захворювання бронхітом, грипом, гострим захворюванням верхніх дихальних шляхів і запаленням легенів.

Пил, переважно фіброгенної дії, становить за фактом 22 мг/м³, в той час, як при нормативних значеннях 4,0 мг/м³. Перевищення ГДК пилу від норми становить більше 5,5 разів і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

іншим фактором прокатного стана, що характеризує санітарно-гігієнічні умови праці оператора в цеху, є загазованість. Наявність різних газів в атмосфері прокатного цеху обумовлено порушеннями технологічного режиму, несправністю і недосконалістю устаткування. До основних джерел виділення шкідливих газів відносяться нагрівальні пристрої, ріжучі механізми, прокатні стани та інше технологічне обладнання.

У прольотах прокатних станів, на ділянках різання і складування металу, крім технологічних газів, в атмосферу надходить значна кількість газів, що утворюються при згорянні мастильних матеріалів (вуглець оксид (CO), вуглекислий газ (CO₂), сірчистий ангідрид (SO₂)) [17].

Склад газу по карті умов праці: ангідрид хромовий – 0,011 мг/м³, оксиди марганцю (аерозоль) – 0,190 мг/м³, оксид вуглецю – 22,2 мг/м³.

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, випромінюваного обладнанням стана та нагрітими заготівками. Велика кількість теплового випромінювання має місце на робочих місцях біля нагрівальних печей, біля прокатних станів, на ділянках ножиць, а також у штабелів гарячого металу на складах готової продукції. Наявність численних джерел теплового випромінювання

вимагає дотримання спеціальних заходів щодо створення на цих ділянках нормальних санітарно-гігієнічних умов.

інфрачервоне випромінювання від нагрівальних печей, нагрітого металу становить 2950 Вт/м^2 при нормативних значеннях 140 Вт/м^2 . Перевищення допустимої норми інфрачервоного випромінювання становить 2810 Вт/м^2 і відноситься до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Багато технологічних операцій прокатного виробництва супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти. Гучними шумами, рівень яких значно перевищує допустимі санітарні норми, супроводжується транспортування металу по рольгангах, прокатка на стані, різка на ножицях.

Шум, створений при прокатуванні металу прокатним станом, рольгангами, ножицями та іншими приладами становить 98 дБА при нормативних значеннях 80 дБА. Перевищення шуму на 18 дБА відносить цей вид шкідливого впливу також до 3 ступеня шкідливості характеру праці.

Окремі ручні операції в прокатних цехах сполучені зі шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечні в цьому відношенні наждачна зачистка поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту.

істотне значення для санітарно-гігієнічної характеристики прокатного виробництва мають метеорологічні умови в цеху. Метеорологічні умови в цеху визначаються вологістю, температурою і швидкістю повітря. Температура повітря на гарячих ділянках прокатного цеху значно перевищує температуру зовнішнього повітря.

Швидкість повітря також впливає на самопочуття людини. У холодний період року у виробничих приміщеннях прокатного цеху оптимальна швидкість руху повітря приймається рівною $0,3 - 0,5 \text{ м/с}$. У літній період допускається швидкість руху повітря $0,3 - 1 \text{ м/с}$. Проблема створення нормальних метеорологічних умов праці у прокатному цеху вирішується в комплексі із заходами щодо зменшення тепловиділень за допомогою аерації, застосування припливно-витяжної вентиляції і кондиціонування повітря.

Дана оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу. Розроблено карту умов праці (табл. 5.2) для основної професії – оператора стана «1680».

Таблиця 5.2 - Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу оператора стана 1680

№ з/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ПДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас - шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактор, за зміну %
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас небезпеки - ангідрит хромовий	0,010	0,011	1,1р			86,3
	II клас небезпеки, - оксиди марганцю (аерозоль)	0,050	0,190		3,8р		86,3
	III - IV клас небезпеки - вуглецю оксид	20,0	22,2	1,11р			86,3
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4,0	22			5,5р	90
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	99			7	90
4	Шум, дБА	80	98			18	90
8	Мікроклімат у приміщенні: теплий період - температура повітря, °С	13-19	32			13	90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,5	0,24				90
	- відносна вологість, %	75	50				90
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	2950			2950	90
10	Важкість і напруженість праці	Категорія важкості - важка III Напруженість праці - напружена					
11	Загальна оцінка умов праці			2	1	5	

Аналіз карти умов праці показав, що оператор відноситься до важкої категорії робіт. Згідно з даними карти умов праці робітник має право на додаткову відпустку, пільгову пенсію, на профілактичне харчування.

Так як в цеху проводиться гаряча прокатка, то і в холодний і в теплий період року температура повітря вище норми. Окалина, що відлітає і осколки від гарячих зливків, виділення парів води, вібрація, шум, пил, а також фізичні фактори, зливки, що рухаються з великою швидкістю і ударами – усе це є шкідливими чинниками.

На підставі проведеного аналізу пропонуються заходи щодо зменшення та виключенню цих шкідливих факторів.

ВИСНОВКИ

1. У загальній частині проекту розглянуто основні тенденції розвитку металургійного виробництва, стан і перспективи застосування деяких спеціальних видів прокатки штаб. Наведено переваги, які дозволяє отримати прокатка в схрещених робочих і опорних валках. Зазначається, що одним з глобальних напрямів в сучасній світовій металургії є створення модульних технологій, які дозволяють досягти максимального ефекту. Модульний принцип полягає в створенні об'єктів (машин, агрегатів, процесів тощо) із спеціалізованих взаємозамінних блоків (модулів), набір яких визначається конкретними технологічними завданнями і виробничими умовами. Різновиди сучасних модулів для міні – заводів приведені на докладній схемі.

Наведено концепції вдосконалення обладнання для виробництва гарячекатаних штаб зі зменшеною товщиною готового розкату (0,8 – 1,2 мм). Найбільш економічним способом виробництва гарячекатаної штаби безперечно є технологія CSP. Завдяки інтенсивним розробкам, в даний час на агрегатах CSP можна відливати сталі багатьох груп марок і прокатувати їх на високоякісну гарячекатану штабу. За відповідного вибору товщини тонких слябів на двострумковому агрегаті можна випускати до 2,5 млн. т штаби на рік.

Далі у загальній частині приведена характеристика існуючого технологічного процесу прокатки штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь». Дана характеристика прокатного стана і допоміжного обладнання, наведено опис технології виробництва штаб.

2. У технологічній частині роботи виконано аналіз вузьких місць існуючої технології прокатки штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь». Для усунення виявлених недоліків запропоновано нову технологію прокатки, яка полягає у перенесенні основної частки пластичної деформації на кліті чорнової групи, де прокатка здійснюється при більш високій температурі металу;

застосування в чистовій групі 3-х клітей замість 6 із застосуванням індукційної підігрівальної печі перед чистовою групою. Натомість кількість клітей в чорновій групі збільшується з 4-х до 6. Наведено переваги нової технології у порівнянні з існуючою.

Наведено стислі відомості про методи регулювання міжвалкового зазору для отримання якісного поперечного профілю штаби в кліті кварто. Запропоновано конструкцію вузла робочих валків кліті кварто, що забезпечує підвищення ефективності регулювання параметрів міжвалкового зазору при одночасному зниженні сили прокатки.

У технологічній частині виконано також розрахунок енергосилових параметрів прокатки штаби з розмірами $1,8 \times 1030$ мм зі ст. 08 пс на ШСГП 1680. Наведено режими деформації штаби, побудовано графіки залежностей.

3. У механічній частині бакалаврської роботи наведено розрахункові схеми і виконано розрахунок шпинделів, валків і станини кліті кварто ШСГП 1680 на міцність і деформацію. Зроблено висновок, що усі елементи прокатної кліті мають коефіцієнти запасу міцності вище допустимого значення. Для компенсації впливу прогинання валків на товщину штаби один із робочих валків необхідно зробити випуклим (шліфувати з випуклістю 0,3 – 0,5 мм).

4. У розділі «Аналіз собівартості продукції» наведено основні визначення та показники, розрахунок рівня собівартості продукції та його аналіз.

5. 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 оператора стана 1680.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ніколаєв В. О., Мазур В. Л. Виробництво плоского прокату. Підручник. Запоріжжя : ЗДіА, 2010. 320 с.
2. Прицип М. Г. Обладнання цехів ОМТ : методичні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів для студентів ЗДіА спеціальності «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗДіА, 2014. 76 с.
3. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для студентів ЗДіА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДіА, 2017. 100 с.
4. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія прокатного виробництва : навчальний посібник. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2017. 169 с.
5. Николаев В. А., Васильев А. Г. Прогиб валкового комплекта при различных зазорах в подшипниках. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2002. № 7. С. 23 – 25.
6. Николаев В. А. Напряжения, деформации и служба валков при прокатке в клетки кварто : монографія. Запорожье : ЗГИА, 2018. 190 с.
7. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для студентів ЗДіА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДіА, 2017. 67 с.
8. Мазур В. Л., Сафьян А. М., Приходько И. Ю., Яценко А. И. Управление качеством тонколистового проката : монографія. Киев : Техніка, 1997. 384 с.
9. Васильов Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНіТЕХ, 2009. 488 с.
10. Николаев В. А., Васильев А. Г. Параметры прокатки полос при противоположном смещении валков. *Сталь*. 2019. № 10. С. 27 – 31.

11. Николаев В. А., Матюшенко Д. А., Васильев А. Г. Повышение жесткости валкового узла прокатной клетки. *Сталь*. 2018. № 11. С. 19 – 24.
12. Николаев В. О. Теория прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДіА, 2014. 259 с.
13. Валковый вузол кліті кварто: пат. 62723 Україна: МПК В21В 31/02 (2006.01). № u2011 02032; заявл. 21.02.2011; опубл. 12.09.2011, Бюл. №17.
14. Николаев В. А., Васильев А. Г. Повышение эффективности противоизгиба рабочих валков при регулировании межвалкового зазора в клетки кварто. *Сталь*. 2020. № 10. С. 28 – 30.
15. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунок валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі «AutoCAD Mechanical». *Металургія : Збірник наукових праць. Запоріжжя*, 2018. Вип. 2 (40). С. 85 – 90. URL: <http://www.zgia.zp.ua/index.php?page=4353&lang=u> (дата звернення: 05.04.2022).
16. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : вид. ЗДіА, 2004. 31 с.
17. Румянцев В. Р., Кутузова і. О. Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДіА, 2015. 132 с.
18. Гюнтер Кнеппе, Дитер Розенталь. Технология горячей прокатки полосы: задачи на новое столетие. МРТ: *Металлургическое производство и технология металлургических процессов*. 1999. С. 60 – 71

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

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізька міська рада
Запорізька обласна державна адміністрація
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Київський національний університет будівництва і архітектури
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Національний транспортний університет

МАТЕРІАЛИ

**II ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

18-20 жовтня 2022 року

Запоріжжя

2022

Відмічені вище достоїнства забезпечуються також при використанні третього варіанту режиму деформації.

Четвертий варіант режиму деформації використовують при прокатці тонких штаб ($h = 0,4 - 0,7$ мм) з метою збільшення товщини штаби перед чистовою кліттю і зниження вірогідності пориву штаби. Сумарний обтиск при холодній прокатці визначають з урахуванням вимог, що пред'являються до якості готової продукції. Але за усіх умов величина сумарного обтиску залежить від кінцевої товщини, ширини і матеріалу штаби, можливостей прокатного стану.

У роботі визначено оптимальний розподіл сумарного обтиску при прокатці різних штаб за результатами аналізу режимів деформації на НСХП 1680 (ПАТ «Запоріжсталь»), стану 1700 Маріупольського металургійного комбінату (ММК) і стану 2030 Новолипецького металургійного комбінату (НЛМК).

Список використаних джерел

1. Yavtushenko A.V., Protsenko V.M., Belokon' Y.A., Bondarenko Y.V. Productivity optimization of cold rolling mills. *Steel in Translation*. 2020. 50(5). P. 335-339.
2. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *METAL 2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials*. (Brno, May 20 - 22, 2020). Brno, 2020. P. 440-445.

УДК 621.771 (076)

Юрченко А.В., магістрант 2 курсу
Науковий керівник – к.т.н., доцент Проценко В.М.

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНИХ ШТАБ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ ТОВЩИНОЮ ГОТОВОГО РОЗКАТУ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Внаслідок надзвичайно швидкого розвитку технології лиття тонких слябів вже є різні концепції установок для виробництва гарячекатаної штаби (рис. 1).

Найбільш економічним способом виробництва гарячекатаної штаби безперечно є технологія CSP. Завдяки інтенсивним розробкам, в даний час на агрегатах CSP можна відливати сталі багатьох груп марок і прокатувати їх на високоякісну гарячекатану штабу. За відповідного вибору товщини тонких слябів на двострумковому агрегаті можна випускати до 2,5 млн. т штаби на рік.

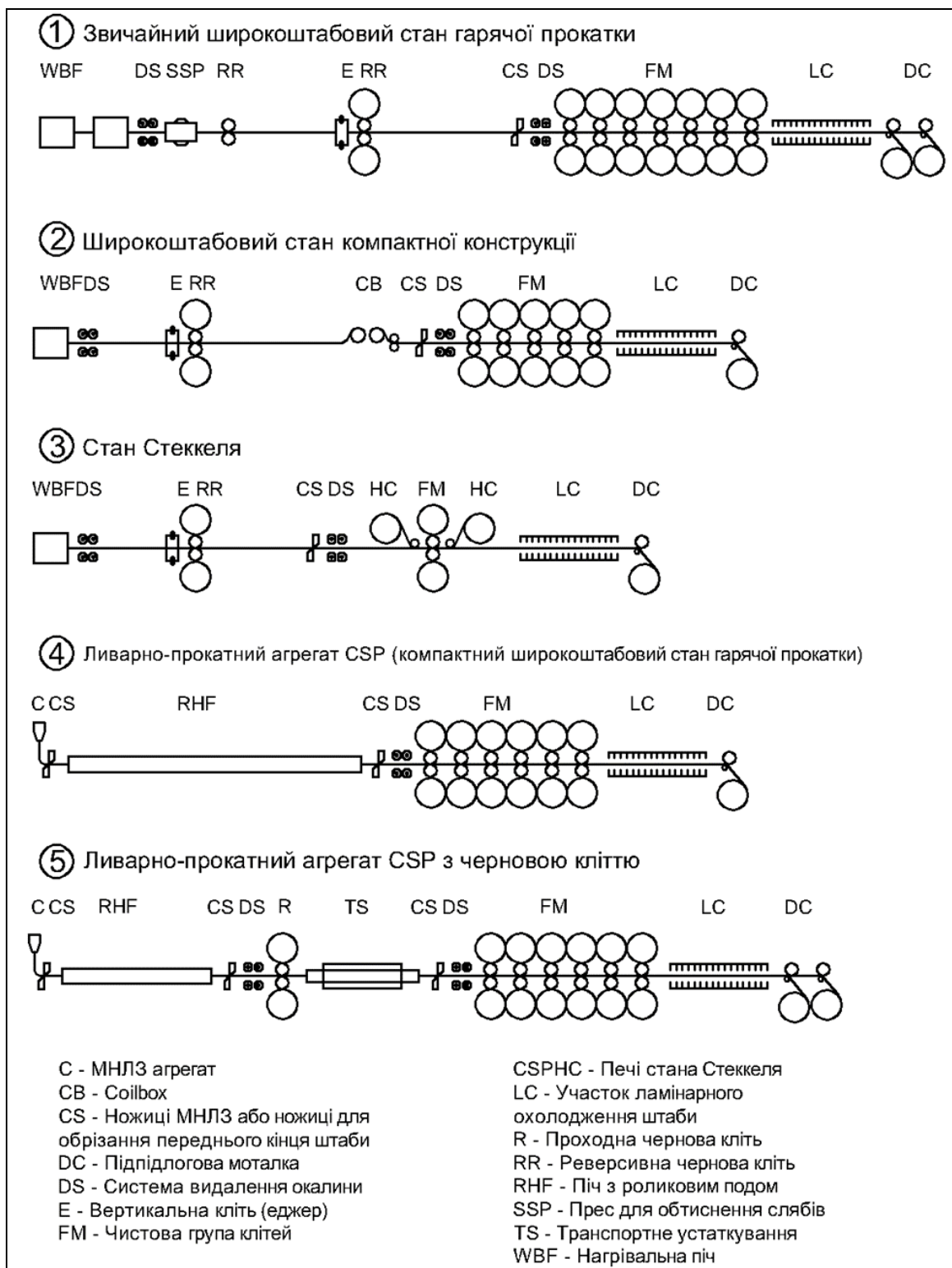


Рисунок 1 – Концепції станів гарячої прокатки штаб

При сучасному рівні розвитку, стан гарячої прокатки штаби, продукція якого повинна охоплювати весь діапазон марок сталей при товщині слябів 200 – 250 мм, найбільшій ширині 2030 мм і діапазоні товщин від 1,25 до 25 мм може, наприклад, мати наступну конструкцію:

- пряме під'єднання до машини безперервного лиття для прямого посада в печі;

- печі з крокуючими балками для холодного та гарячого посаду;
- гідрозбив окалини водою високого тиску;
- прес для обтискання по ширині максимально на 300 мм;
- двовалкова кліть для первинної деформації;
- чотиривалкова реверсивна кліть з розташованою перед нею вертикальною еджерною кліттю для виконання до дев'яти реверсивних проходів;
- проміжний рольганг з теплоізоляцією для найменших кінцевих товщин;
- кривошипні ножиці для найбільшої товщини до 60 мм;
- гідрозбив окалини водою високого тиску перед чистовою групою клітей;
- роликові бічні проводки перед першою кліттю чистової групи;
- багатоклітьова чистова група з керуванням масовою витратою, шириною, товщиною, профілем, контуром та планшетністю;
- рольганг, що видає, з ламінарним охолодженням штаби;
- дві універсальні моталки.

Високі вимоги до якості та до економічності роботи виробничого обладнання можуть бути виконані лише за умови оптимального об'єднання в єдине ціле механічного обладнання, системи управління та технології процесу.

Детальне фізичне та математичне моделювання процесу прокатки разом із допоміжними моделями матеріалів є основною попередньою умовою для реалізації моделі процесу [1].

Список використаних джерел

1. A.V. Yavtushenko, V.M. Protsenko, Yu.A. Belokon and Yu.V. Bondarenko. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. *Steel in Translation*, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339. <https://link.springer.com/article/10.3103/S0967091220050125>.