


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва


Кваліфікаційна робота допущена до захисту.

Гарант освітньої програми «Управління модернізацією металургії»


Едуард ГРИБКОВ
9 липня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»
за підсумками виконання міждисциплінарної
освітньо-наукової програми «Управління модернізацією металургії»
за спеціальностями 073 Менеджмент та 136 Металургія
на тему:
«Управління проектом модернізації прокатного виробництва із розширенням сортаменту в умовах ПАТ «Запоріжсталь»»

Керівники роботи




Юрій РЕКОВ
Ірина ШКРАБАК

Консультант від бази практики



Михайло БОБК

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

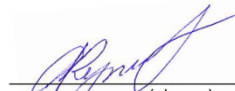
Здобувач:



Олександр КАЛЕНКОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК


(підпис)

Олександр КУРПЕ

Запоріжжя, 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>Гірничо-металургійний факультет</u>
Кафедра	<u>Металургії та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія, 073 Менеджмент</u>
ОНП	<u>Управління модернізацією металургії</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОНП

Едуард ГРИБКОВ



«31» березня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Каленкова Олександра Федоровича
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи: Управління проектом модернізації прокатного виробництва із розширенням сортаменту в умовах ПАТ «Запоріжсталь»
Керівник роботи Реков Юрій Васильович, канд. техн. наук, доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 31.03.2025 р. №82/31.03.2025

2. Термін подання роботи 01.07.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з дисциплін, що стосуються модернізації металургійного виробництва та управління проектами, науково-дослідні роботи з оптимізації процесів прокатки штаб у рулонах, літературні джерела, технологічні регламенти, дані ПАТ «ЗапоріжСталь», результати власних досліджень і техніко-економічного аналізу тощо.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) 1. Аналітичний розділ: сучасні технології виробництва гарячекатаних штаб у рулонах.

2. Технологічний розділ: моделі модернізації стану 1680, обґрунтування вибору чорнової кліті стану. Менеджмент стійкого розвитку.

3. Менеджмент: нова модель управління ПАТ «Запоріжсталь», структура управління підрозділом стану 1680.

4.Склад обладнання: Стан 1680. Перелік графічного демонстраційного матеріалу: план розташування обладнання стану 1680.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 31.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Реферат, зміст, вступ	31.03...14.04
2	Розділ 1. Теоретичний розділ (аналітико-пошуковий)	15.04 – 25.04
3	Розділ 2. Дослідницький розділ (аналітично-розрахунковий)	26.04 – 10.05
4	Розділ 3. Технологічний розділ	11.05 – 22.05
5	Розділ 4. Охорона праці	23.05 – 31.05
6	Розділ 5. Економічний розділ	01.06 – 08.06
7	Висновки, перелік посилань	09.06 – 14.06
8	Оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	15.06 – 24.06
9	Подання завершеної роботи. Перевірка на відсутність академічного плагіату	30.06...05.07

Здобувач

Керівники роботи

Олександр КАЛЕНКОВ

Юрій РЕКОВ

Ірина ШКРАБАК

РЕФЕРАТ

Розрахунково пояснювальна записка містить сторінок - 92, таблиць – 6, рисунків – 27, джерел – 19.

Об'єкт дослідження – процес прокатки гарячої штаби та виробничо-організаційна структура ПАТ «Запоріжсталь» у контексті модернізації металургійного обладнання..

Мета дипломного проекту – удосконалення процесу виробництва в умовах стану 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою розширення сортаменту гарячекатаних штаб до товщини 2 мм у рулонах масою до 30 тон на основі реконструкції діючого обладнання та розробки відповідних до нього режимів прокатки

МОДЕРНІЗАЦІЯ, БЕЗПЕРЕРВНИЙ СТАН ПРОКАТКИ ШТАБ, СЛЯБ, ЛИСТОПРОКАТНА ПРОДУКЦІЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, УПРАВЛІННЯ ЗМІНАМИ, ГНУЧКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, LEAN, AGILE, KAIZEN, РМО, СТАЛИЙ РОЗВИТОК, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ, УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ, РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНИХ РУЛОНІВ (стан питання).....	10
1.1. Аналіз зовнішніх і внутрішніх факторів модернізації виробництва	10
1.2. Аналітико-прогнозне обґрунтування модернізації та пропозиції	25
1.3. Сучасні підходи до менеджменту на металургійних підприємствах	32
1.4. Сучасні підходи до менеджменту в умовах модернізації ..	38
2. МОДЕЛІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СТАНУ 1680.....	42
2.1. Модель модернізації чорнової групи клітей.....	42
2.2. Менеджмент стійкого розвитку в умовах війни та цифрової трансформації	51
3. МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СТАНУ 1680.....	60
3.1 Оновлена модель управління ПАТ «Запоріжсталь»	60
3.2 Структура управління цехом гарячої прокатки	62
4. СКЛАД ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОКАТКИ НА СТАНІ 1680.....	71
4.1 Технологія прокатки.....	71
4.2 Конструктивні особливості стану Стекеля	74
4.3 Вертикальні кліті	77

4.4 Охорона праці та захист навколишнього середовища в умовах підприємства ПАТ «Запоріжсталь»	84
ВИСНОВКИ.....	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	91

ВСТУП

Гарячекатані штаби у рулонах є одним із найпоширеніших напівфабрикатів у сучасній промисловості. Їх використовують у багатьох галузях, таких як автомобілебудування, машинобудування, будівництво, виробництво побутової техніки тощо. Високий попит на цю продукцію ставить перед металургійними підприємствами завдання забезпечення стабільної якості та конкурентоспроможної собівартості.

Сучасна металургія характеризується динамічним розвитком нових технологій, спрямованих на оптимізацію виробничих процесів. Розробка й впровадження удосконалених технологій для прокатного стану є необхідністю, що обумовлена такими чинниками:

Перспективи розвитку виробництва. Підвищення попиту на штаби товщиною 2 мм і шириною 1400 мм зумовлює необхідність підвищення продуктивності прокатних станів і збільшення обсягів випуску продукції без зниження її якості.

Впровадження нової техніки та технологій. Сучасні технології гарячої прокатки дозволяють забезпечити точне дотримання геометричних параметрів штаб, поліпшити механічні властивості матеріалу та зменшити рівень дефектності.

Механізація й автоматизація процесів. Використання автоматизованих систем контролю й регулювання параметрів прокатки значно знижує вплив людського фактору, що дозволяє підвищити стабільність процесу, а також зменшити витрати на обслуговування обладнання.

Поліпшення умов праці. Удосконалення робочих умов через автоматизацію й дистанційне керування обладнанням сприяє зниженню ризиків для здоров'я працівників та підвищує рівень безпеки на виробництві.

Підвищення техніко-економічних показників. Завдяки впровадженню сучасних технологій зменшуються витрати енергії, покращується структура металу, підвищується якість поверхні та знижується собівартість кінцевої продукції.

Охорона навколишнього середовища. Розробка екологічно орієнтованих технологій прокатки, зокрема зменшення шкідливих викидів і впровадження систем повторного використання технологічних матеріалів, є важливим етапом для гармонізації металургійного виробництва із сучасними екологічними стандартами.

Проектування технологічного процесу для виробництва гарячекатаних штаб товщиною 2 мм і шириною 1400 мм є актуальним завданням, що спрямоване на вирішення зазначених проблем і забезпечення високих стандартів якості продукції, її економічності та екологічності.

Ця робота також сприятиме вдосконаленню технологічних процесів у металургійній промисловості та підвищенню конкурентоспроможності продукції на внутрішньому й міжнародному ринках.

Мета дослідження: удосконалення процесу виробництва в умовах стану 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою розширення сортаменту гарячекатаних штаб до товщини 2 мм у рулонах масою до 30 тон на основі реконструкції діючого обладнання та розробки відповідних до нього режимів прокатки

Завдання дослідження:

1 Розробити проект організації виробництва, а саме склад та план розташування обладнання чорнової та чистової груп робочих клітей та виконати реконструкцію намотувальних пристроїв з метою виробництва 30-тонних рулонів відповідно до європейських стандартів на металопродукцію.

2 Удосконалити технологічні режими прокатки з метою виробництва штаб товщиною 2 мм у рулонах масою до 30 тон.

3 Провести дослідження та впровадити у модернізоване обладнання технології з підвищення якості та зниження собівартості металопродукції.

4 Виконати проєкт управління модернізацією виробництва штабтовщиною 2 мм у рулонах масою 30 тон на прокатному стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

Список публікацій здобувача:

Грибков Е.П., Ліпатов К.В., **Каленков О.Ф.** Удосконалення технологічних режимів прокатки в еджерних валках. International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. С. 36-39. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-9>

Грибков Е.П., Доброносков Ю.К., Каленков О.Ф., Бутурлін О.С. Автоматизоване проектування обтиснень в еджерних валках. Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2025. № 4 (прийнята редакцією до друку).

1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕКАТАНИХ РУЛОНІВ (стан питання)

1.1. Аналіз зовнішніх і внутрішніх факторів модернізації виробництва

Гарячу прокатку широких штаб час здійснюють на широкосмугових станах (ШСГП) з використанням товстих слябів (ШСГП 1–4 покоління) [1, 2, 3]. При прокатці на цих станах при відсутності спеціальних регулюючих пристроїв поперечна різнотовщинність штаб доходить до 0,08 ... 0,10 мм, а поздовжня різнотовщинність досягає 0,15 ... 0,3 мм (на задніх кінцевих ділянках штаб). На ШСГП 5-го покоління (із стиковим зварюванням торців суміжних проміжних розкатів) помітне потовщення заднього кінця складової штаби має місце при прокатці тільки останнього розкату. Насьогодні, отримання якісного профілю гарячекатаної штаби вирішується використанням станів з намотувачами в печах, як правило у складі ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) [4], оснащених технологією і пристроями, що забезпечують отримання точного поперечного та поздовжнього профілів гарячекатаних смуг.

Таким чином доречно розглянути деякі пропозиції щодо вдосконалення технологічного процесу і використання пристроїв впливу на процес прокатки штаби. Розглянемо причини формування поперечного та поздовжнього профілів штаби, які є загальними для широкосмугових станів будь-якого типу. До основних факторів, що впливає на точність профілю та неплщинність штаб (при відсутності динамічного впливу на форму осередку деформації) слід вважати:

- нерівномірність розподілу температури слябу і проміжного розкату перед чистової групою по ширині і довжині;
- відсутність переднього і заднього натягіння кінцевих ділянок штаби в чистовий групі ШСГП;

- нерівномірність зношування по довжині бочок робочих і опорних валків

- невідповідність профілювання робочих (опорних) валків формі поперечного перерізу гарячекатаного підкату, величиною і характером вироблення валків;

- відсутність раціональної системи охолодження валків і швидкохідних гідравлічних натискних пристроїв;

- неточність попереднього теоретичного визначення форми і величин профілювання бочок валків в зв'язку з відсутністю даних про закономірності (нерівномірності) розподілу погонних сил на міжвалковому контакті і на контакті штаби з валками, що визначають величину власного прогину робочого валка.

В даний час широкосмугову сталь в гарячому стані прокатують в основному за трьома технологічним способами:

- злиток → катаний сляб (транзитний сляб) → гаряча прокатка смуг на ШСГП;

- МБЛЗ → литий товстий сляб → пряме прокатування (або підігрів слябів) → гаряча прокатка смуг на ШСГП;

- гаряче прокатування штаб з тонких слябів на ЛПМ.

Безперервний широкосмуговий стан гарячої прокатки НТЛС 1680 ПАТ «Запоріжсталь» відноситься до станів першого покоління і має в складі методичні нагрівальні печі, безпосередньо стан 1680, ділянка підготовки валків.

Печі чотиризонні з двостороннім нагріванням, дворядні з торцевою посадкою та вдачею, рекуперативні. Опалюються сумішшю доменного, коксового та природного газів, калорійністю 1070 – 1260ккал/м³ за допомогою 21-го інжекційного пальника. Ширина печі 5220мм довжина печі 31,5м. Продукти горіння від усіх печей відводяться по бровах у дві димові труби заввишки 85м. Посадка слябів у печі проводиться попла-

вочно з відділенням слябів різних плавок та розмірів спеціальними прокладками. Сляби садять як у гарячому, так і в холодному стані, за винятком окремих марок низьколегованих сталей, а також усіх високолегованих та нержавіючих сталей, які садять у печі тільки в холодному стані. Регулювання температури в зонах печі проводиться за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури [1].

Широкоштабовий безперервний стан 1680 призначений для виготовлення штаб з вуглецевих та низьколегованих марок сталі товщиною 1,5-8 мм, шириною 850-1500 мм довжиною 1400-6000 в залежності від сортаменту, в рулонах вагою до 16 т та в листах. Прокат для холоднокатаного листа – рулони перетином: (2 - 4) X (850 - 1500) мм [3].

В залежності від вимог замовників та стандартів, стан 1680 виробляє продукцію в гарячекатаному стані та з додатковим прискореним охолодженням.

В якості заготовки на стані 1680 використовуються власні катані сляби розміром (105-165)x(850-1500)x(2000x4700), які вироблені зі злиwkів мартенівського виробництва та прокатані в сляби на слябінгу. 95% слябів зі слябінгу передаються на стан 1680 транзитом, тобто без проміжного нагрівання, 5% слябів йдуть на повторне нагрівання у методичну піч. З точки зору економії ресурсів існуюча концепція роботи стану 1680 є найефективнішою. Але з точки зору якості, поточного рівня технології та сортаменту, що виробляє стан, існуюча схема є суттєво застарілою та має багато обмежень. Також слід зазначити, що більшість міжнародних стандартів забороняють використовувати мартенівську сталь, для виробництва продукції [6].

Схема розташування основного устаткування стану наведена на рис.1.1

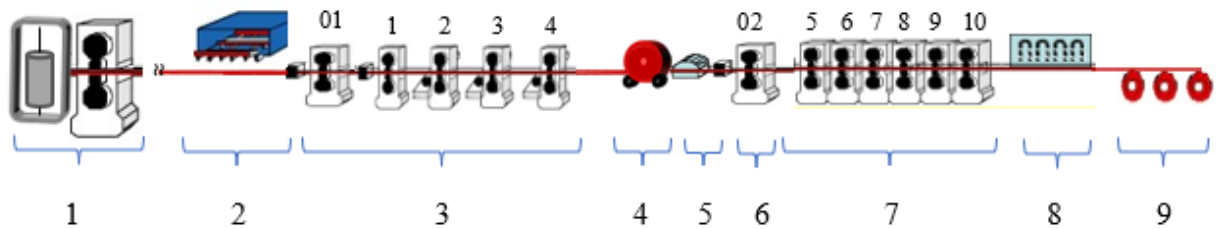


Рисунок 1.1 - Поточна схема розташування основного устаткування стану НТЛС 1680 МК «Запоріжсталь».

Чорновий і чистовий окалиноломачі «зламують» окалину, яка потім видаляється водою високого тиску. Крім того, чорновий окалиноломач використовується також і як робоча кліть, виробляючи обтискання до 25%.

Кліті з вертикальними валками повинні забезпечити зняття розширень, що отримується при деформації розкату горизонтальними валками. Обтискання у вертикальних валках 15 – 25 мм.

Розкат після прокатки в чорновій групі надходить до проміжного перемотувального пристрою «CoilBox» для вирівнювання температури по довжині розкату, далі до летючих ножиць для обрізки переднього і заднього кінців, потім захоплюється валками чистового окалиноломача і першої кліті чистової групи (кліть №5) і далі - всіма іншими клітями [6].

Технологічний процес прокатки штаби на станах першого (другого) покоління має такі недоліки.

1. Прокатування із злитків супроводжується великою витратою металу на кінцеву обріз (коефіцієнт витрати металу 1,12 ... 1,25) внаслідок необхідності видалення усадочної рихлості і прибуткової частини слябів. Крім того, структура злитка характерна наявністю стовпчастих кристалів, газових бульбашок, неметалевих включень, нерівномірністю розподілу хімічних елементів в об'ємі злитка. Усе зазначене погіршує пластичні властивості готової штаби.

2. Перед прокатуванням на обтискному стані (слябінгу) злитки нагрівають в нагрівальних колодязях до температури $t_{наг} \approx 1220 \dots 1250 \text{ C}^\circ$, що вимагає значної витрати газу і підвищує вартість прокату. Застосування останнім часом посадки злитків в колодязі з підвищеним вмістом тепла (з рідкою серцевиною) забезпечує скорочення витрат природного газу, часу нагрівання злитків в колодязях, витрати електроенергії на прокатку зливків в сляби. Енерговитрати істотно зростають при нагріванні злитків холодного посаду

3. Транспортування слябів по транзитному рольгангу від слябінга до ШСГП без теплозберігаючих екранів призводить до зниження температури сляба на $20 \dots 30 \text{ C}^\circ$, що викликає підвищення контактних напружень в осередках деформацій клітей НТЛС 1680, підвищення енергосилових параметрів, додатковий знос поверхонь валків.

4. До підвищеної втрати температури розкату призводить також значні відстані між клітьми чорнової групи і, отже великий час проходження розкатом по рольгангу чорнової групи. Застосування напівбезперервного процесу прокатування в чорновій групі клітей не покращує тепловміст розкату, але дозволяє збільшити масу сляба (рулону).

5. Відстань між останньою кліттю чорнової групи і першої кліттю чистової групи становить ~ 65 м. На цій ділянці проміжного рольганга температура розкату товщиною $h_{пр} \leq 28$ мм, що переміщається зі швидкістю $v_{пр} \approx 2,23$ м/с, знижується на $60 \dots 90 \text{ C}^\circ$, а при прокатці в чистовий групі швидкість заднього гуркоту зменшується з $v=5$ до $\approx 0,8 \dots 1,0$ м/с ($h_{10} = 2,5$ мм). При цьому температура заднього кінця розкату при вході в кліть №5 виявляється на $\Delta t_i \approx 55 \dots 65 \text{ C}^\circ$ менше, ніж переднього кінця (Δt_i - температурний градієнт по довжині розкату). Абсолютне зниження температури на проміжному рольгангу з $t_4 = 1040 \dots 1120 \text{ C}^\circ$ до $t_5 = 960 \dots 1030 \text{ C}^\circ$ перед кліттю №5 викликає підвищення енергосилових параметрів прокатки штаби в кліть чистової групи, підвищення зносу

поверхонь валків і їх витраті. Зменшення температури по довжині штаби в процесі прокатки (Δt_{id}) призводить до монотонного збільшення товщини штаби до заднього кінця.

Наявність на проміжному рольгангу пристрою Coilbox (ППУ) дозволяє розкат, що виходить з останньої кліті чорнової групи, змотувати в рулон з подальшою зміною напрямку прокатки розкату в чистовий групі НТЛС. Такий процес прокатки на НТЛС 1680 забезпечує градієнт температур по довжині розкату $\Delta t_{id} \approx 10 \dots 30 \text{ C}^\circ$ [1] (менша температура на задньому кінці розкату).

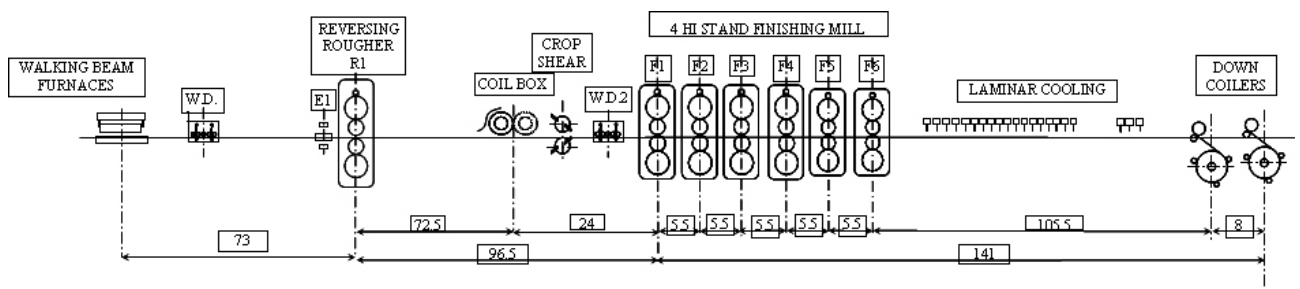
6. На станах першого покоління недостатня потужність головних приводів, невеликі діаметри валків, порівняно низька твердість робочих валків, кліті оснащені електро-механічними натискними пристроями, які не мають високої швидкості вертикального переміщення натискних гвинтів для точного і швидкого регулювання між валкового зазору і товщини штаби (в подальшому потужності головних приводів збільшені).

7. На безперервних станах кінцеві ділянки смуг прокочують без натягнення, що призводить до додаткового потовщення кінців. Особливо це відноситься до заднього кінця, прокочується без заднього натягу. Відсутність заднього натягу і, внаслідок цього, збільшення сили прокатки, викликає появу додаткового потовщення штаби на задньому кінці штаби. У сумі, з урахуванням впливу температурного градієнта, це потовщення на задньому кінці штаби може складати $\delta h \approx 0,12 \dots 0,25 \text{ мм}$.

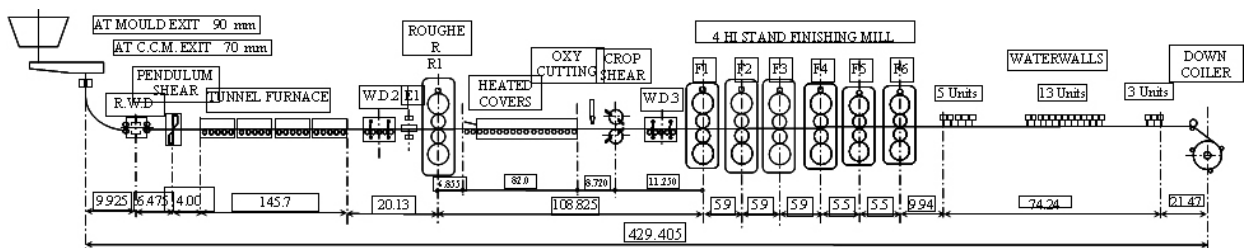
Процес прокатки на ШСГП традиційної конструкції (рис. 1.2,а) включає нагрівання заготовок – слябів – у методичних печах або безпосередню подачу їх від окремих МБЛЗ, укладання на рольганг, видалення первинної окалини гідрозбивом WD1, прокатку в реверсивній універсальній чорновій кліті E1-R1, транспортування проміжним рольгангом з екранами або CoilBox, обрізання кінців штаби летучими ножицями, видалення вторинної окалини гідрозбивом WD2, прокатку в чистовий

безперервній групі клітей F1-F6 до кінцевої товщини, охолодження душовими пристроями на відповідному рольгангу до температури змотування та власне змотування в рулони моталками. Процес на ЛПМ відрізняється операціями в лінії МБЛЗ та обов'язковою наявністю прохідної печі для підігріву заготовки до температури прокатки і накопичування заготовок під час зупинок в лінії стану, процес у якій в цілому відповідає процесу на традиційному ШСГП, причому на тонкослябовому ЛПМ чорнова кліть відсутня, і прокатку ведуть одразу в чистовій неперервній групі клітей.

Стани Стекеля в залежності від продуктивності та сортаменту продукції використовують з різними схемами обладнання (рис. 1.3) як у вигляді традиційних станів, так і в ливарно-прокатних модулях (ЛПМ). Найбільш поширені схеми – з чорною універсальною кліттю і чистовим станом Стекеля та з одноклітьовим станом Стекеля (див.рис.1.3) [1].

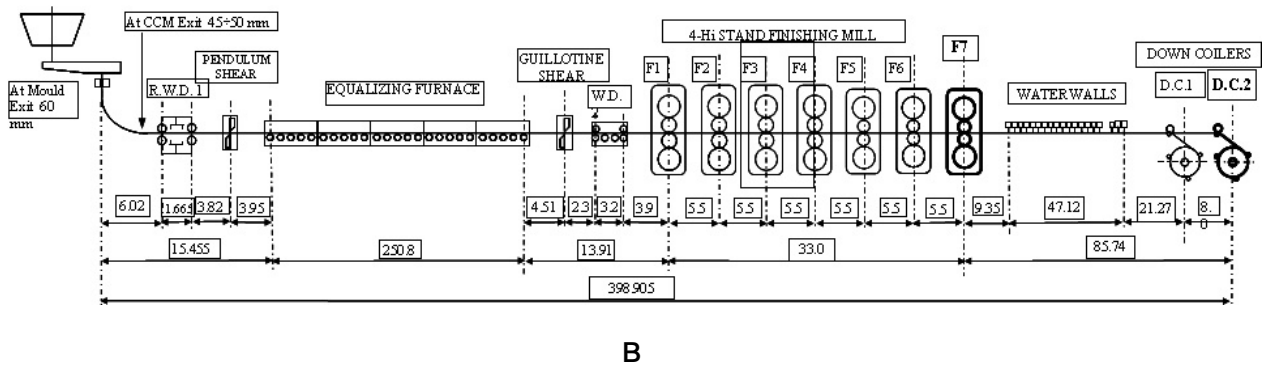


а



б

Рисунок 1.2 – Технологічні лінії сучасних неперервних широкоштабових станів: а) традиційний ШСГП (3 -4,5 млн.т/рік); б) ливарно-прокатний модуль (2,4-3 млн.т/рік); в) тонкослябовий ливарно-прокатний модуль (2,2-2,8 млн.т/рік)



Продовження рис. 1.2

На станах Стекеля основною відмінністю є реверсивна прокатка в робочій клітці, по обидва боки якої знаходяться пічні моталки, для підтримання температури та компактного розміщення металу поряд з кліткою при прокатці. На двохклітьових станах ця кліть є чистовою, а на одноклітьових та ЛПМ вона одна - реверсивна універсальна або комбінація горизонтальної клітці з вертикальною, які теж розглядають як одну універсальну. В іншому технологічний процес в цілому подібний до інших ШСГП. У разі прокатки товстих листів стан Стекеля працює як двохклітьовий або одноклітьовий ТЛС без задіяння пічних моталок.

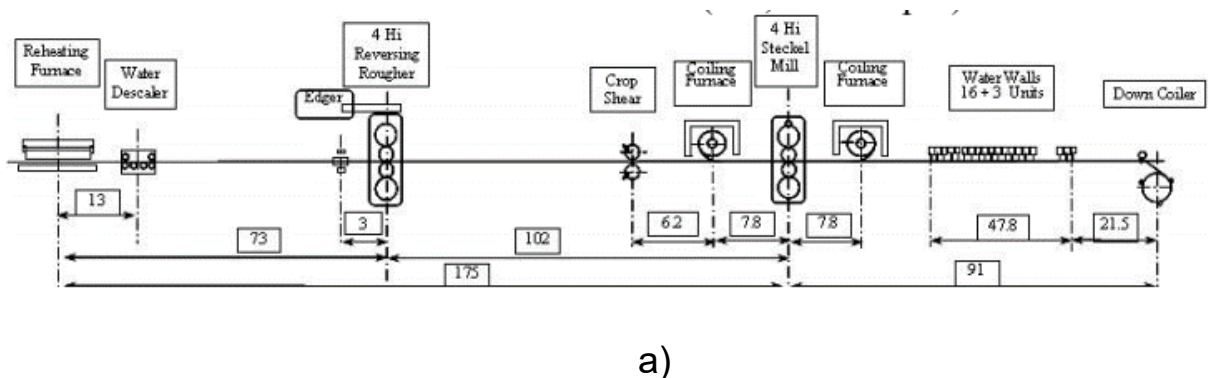
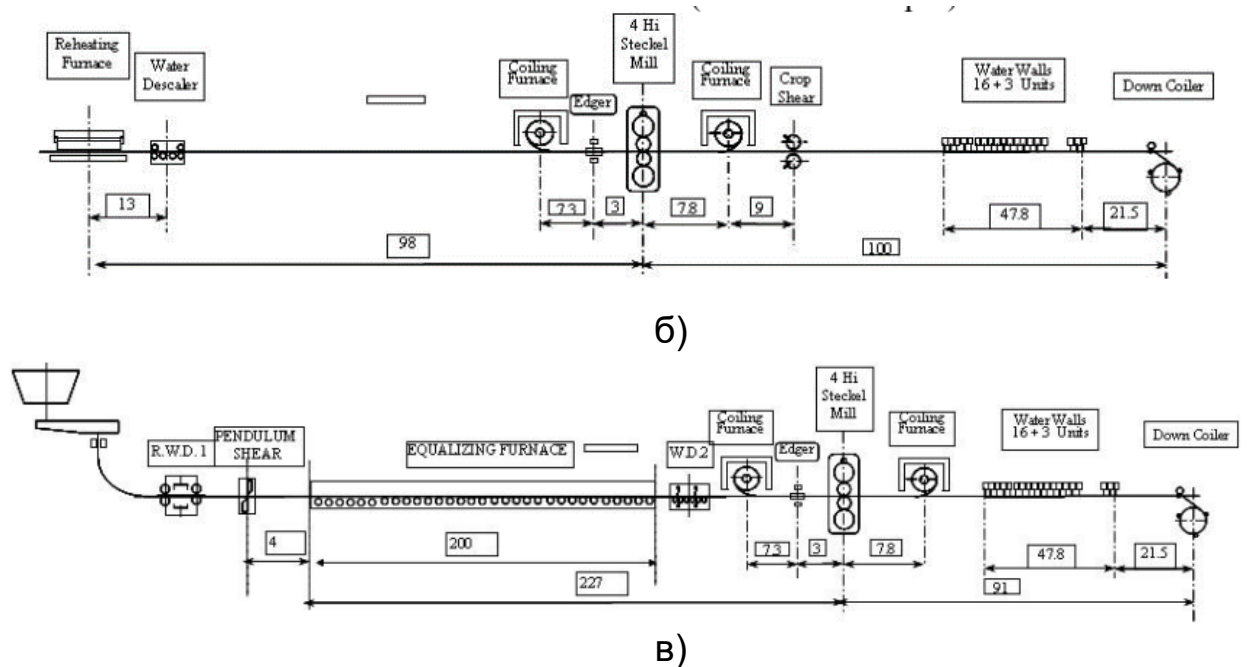


Рисунок 1.3 – Технологічні лінії сучасних станів Стекеля: а) стан Стекеля 2-клітьовий (1-1,1 млн.т/рік); б) стан Стекеля 1-клітьовий (600-700 тис.т/рік); в) ЛПМ зі станом Стекеля (500-600 тис.т/рік)



Продовження рис. 1.3

Як на сучасних ТЛС, так і на ШСГП та станах Стекеля горизонтальні кліті – це чистові кліті кварто. На окремих станах дуже рідко зустрічаються кліті дуо, та на декількох станах у світі – шестивалкові чистові кліті.

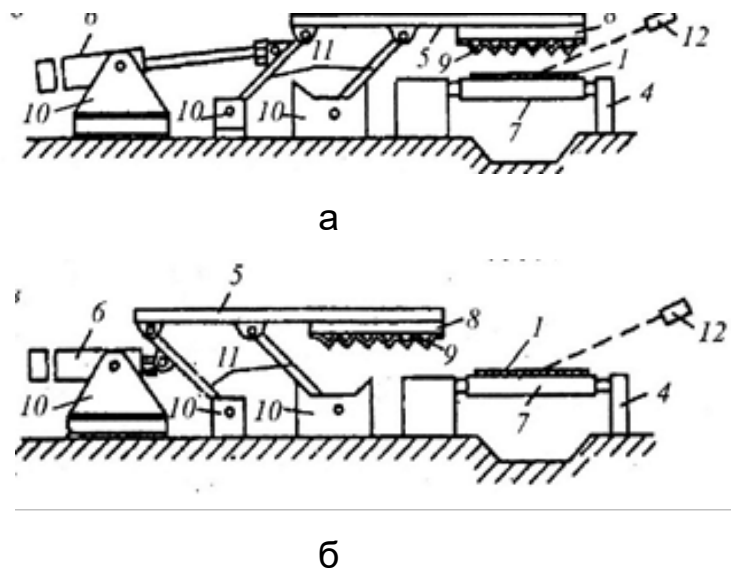
Горизонтальні кліті ТЛС та станів Стекеля, що катають і товстий лист – це найбільш потужні кліті серед усіх прокатних станів. Сила прокатки в них в багатьох випадках перевищує 50МН, а в деяких – і 100МН.

Термозахисні екрани.

На широкоштабових станах гарячої прокатки найбільші температурні втрати мають місце на проміжному рольгангу, де розкат має відносно невелику товщину та велику площину поверхні. Природним рішенням з точки зору збереження температури при модернізації існуючих та розробці нових станів стало розміщення над проміжним рольгангом захисних екранів з теплоізолюючими панелями, що обмежують теплообмін між нагрітим металом і навколишнім середовищем. Зараз такими екранами оснащена більшість ШСГП, у тому числі другого й третього покоління. Конструкція і принцип дії зрозумілі з рис.1.4.

За принципом дії захисні екрани бувають термовідбивальні, термоакумулявальні та термоактивні. Термовідбивальний екран виконаний з полірованих гофрованих панелей-рефлекторів 9 (див.рис. 15.4) з алюмінію або композиту сталь-алюміній. Він відбиває випромінювання штаби та обмежує конвективний теплообмін з навколишнім середовищем. Термоакумулятивний екран (рис. 15.6) розміщений над штабою і спочатку акумулює температуру від неї до встановлення теплового балансу зі штабою. Після цього теплообмін практично не відбувається.

Інший тип захисного екрану (кришок) показаний на рис. 1.5



1- прокат, 4 – опори рольгангу, 5 - тяги, 6 - гідроциліндр, 7 - рольганг, 8 - пластина, 9- рефлектор, 10 - станина, 11- важелі, 12- пірометр

Рисунок 1.4 – Схема теплового екрану Р.Грея: а) робоче положення, б) неробоче

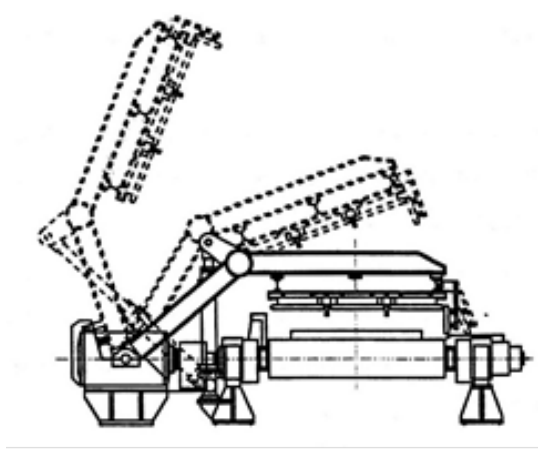
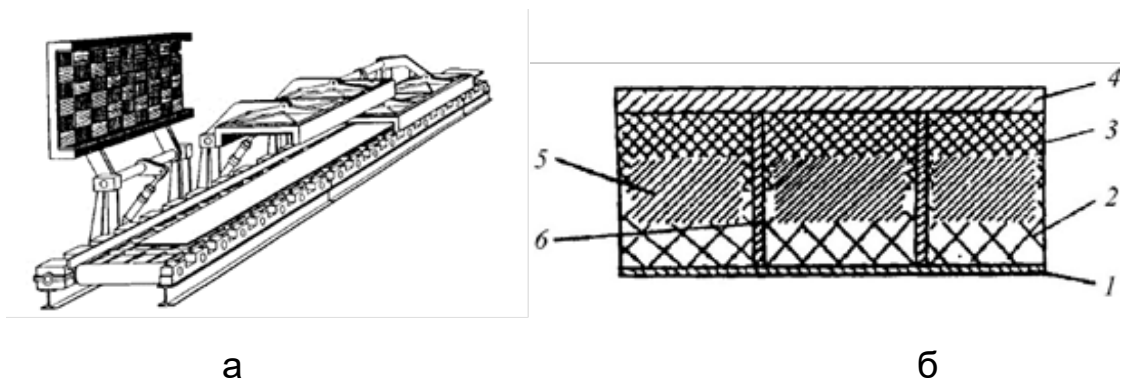


Рисунок 1.5 – Схема підйому – опускання кришок теплозахисного пристрою конструкції НКМЗ.



1 - мембрана; 2 - теплоізолятор МКРР-110; 3 - теплоізолятор (базальтова вата); 4 - кришка зовнішня; 5 - теплоізоляційна вставка; 6 - перегородка

Рисунок 1.6 - Термоаккумулятивний екран: загальний вигляд (а) та схема термоаккумулятивної панелі (б)

Окремо слід відмітити термічно активні екрани(рис.1.7). По суті, це прохідна роликів піч, у якій роль роликів виконує рольганг 1 (див. рис. 1.7,б). Сам екран виконаний у вигляді склепіння 2, у вікна якого виведені газові пальники 3. Під рольгангом розміщено панелі-теплоізолятори 4. Екран встановлений на валу 5 і може підійматись над рольгангом за допомогою важеля 6 гідроциліндром 7. Безумовно, така конструкція дозво-

ляє підтримувати потрібну температуру прокату, але це пов'язане з додатковими витратами палива, тому використання таких екранів повинно бути економічно обґрунтованим.

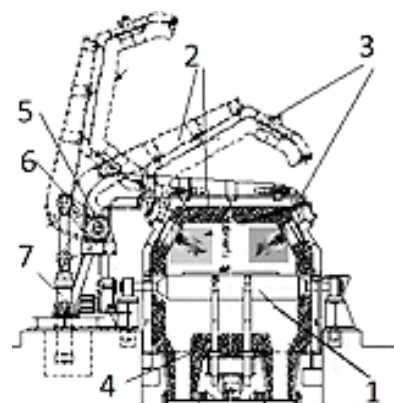
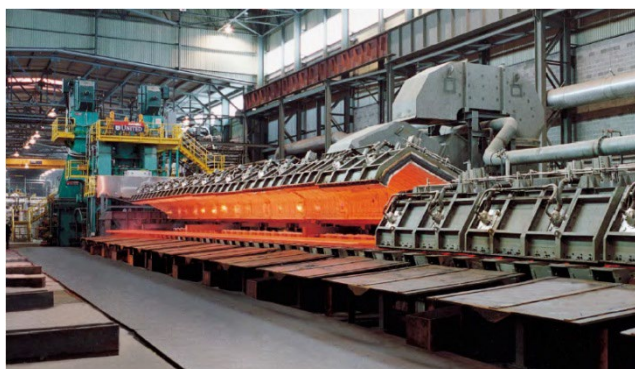


Рисунок 1.7 - Термічно активний екран (позиції в тексті)

Проміжні перемотувальні пристрої типу CoilBox

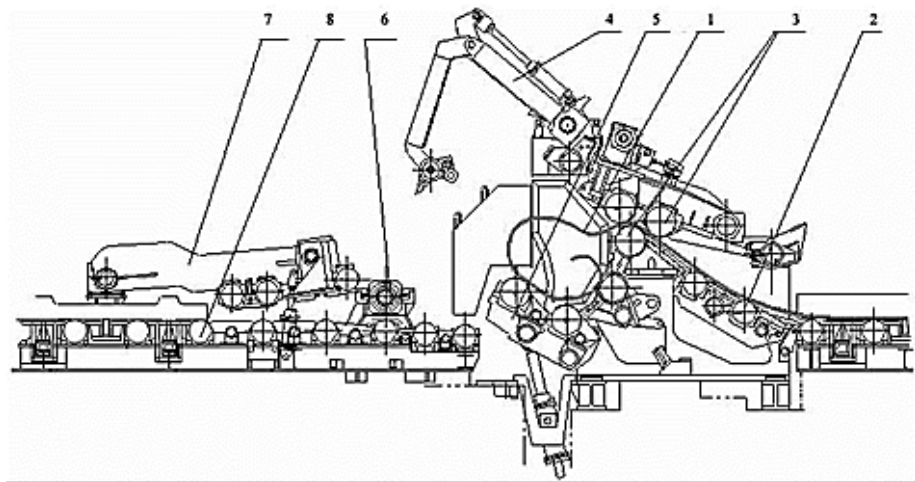
Захисні екрани суттєво знижують температурні втрати заготовок, але не забезпечують повністю рішення проблеми температурного клина, особливо при зупинках металу на рольгангу.

Більш перспективним рішенням стало розміщення між чорною й чистою групами клітей проміжного перемотувального пристрою (ППП), відомого також як «CoilBox», що був розроблений канадською фірмою «Стилко» (SteelCo). У цьому пристрої прокат після виходу із чорної групи змотується в рулон і потім задається для прокатки в чистову групу, але внаслідок розмотування спершу задається вже задній кінець розкату.

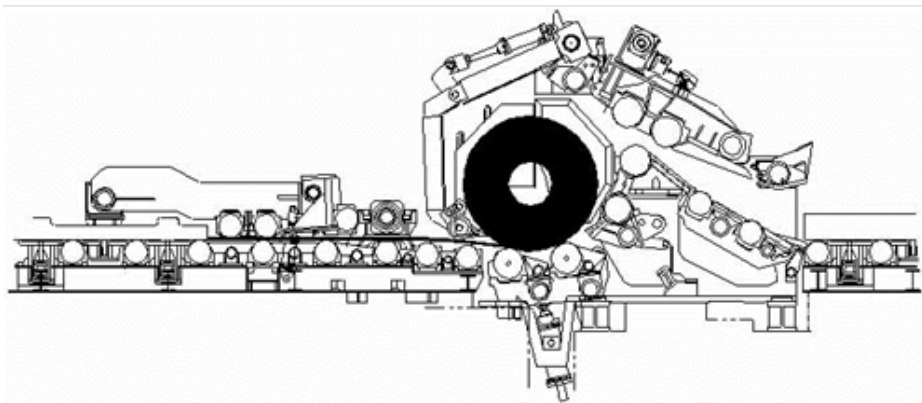
Це дозволяє зберегти тепло нагрітого металу між чорною й чистою групами клітей, послідовно вирівнювати температуру прокату по довжині, усуваючи температурний клин і знижуючи різнововщинність, знижувати утворення вторинної окалини, зменшити довжину прокатного стана на 30-40%, тим самим знизивши капітальні витрати. При зупинках стана рулон може перебувати в ППП до 8 хв без істотних температурних

втрат. Недолік ППП - обмеження товщини прокату й швидкості заправлення в пристрій, які становлять відповідно 42 мм і 3 м/с. По-друге, у порівнянні зі звичайним транспортуванням по рольгангу час на змотування-розмотування у «CoilBox» дещо більший, тобто падає продуктивність обладнання. Але ці недоліки не є істотними стосовно надаваних цим пристроєм переваг. Тому більшість сучасних прокатних станів оснащено проміжними перемотувальними пристроями. Нижче будуть розглянуті конструкції ППП «Cremona box» та «Mandrell box», які використовують в ливарно-прокатних модулях, в яких змотування наступного та розмотування попереднього рулонів відбувається одночасно.

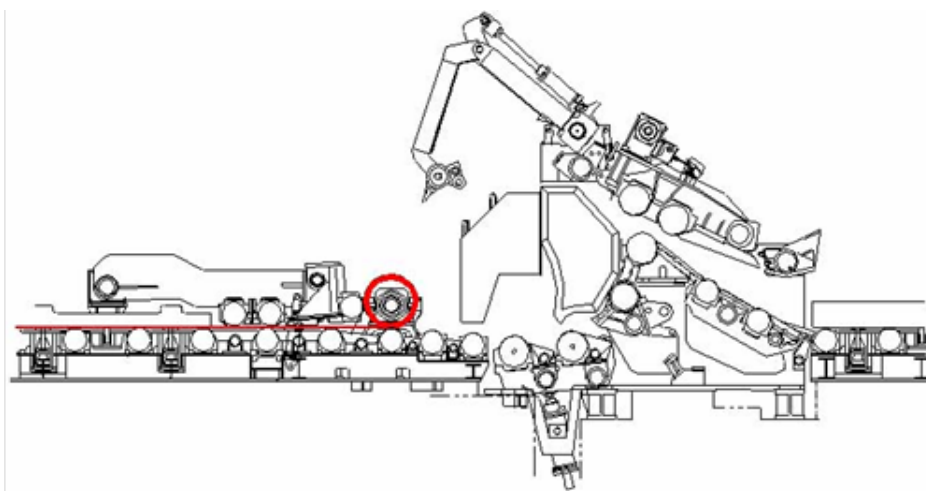
В основі дії ППП лежить принцип згортувальної машини, яка використовувалась на станах гарячої прокатки до появи роликово- барабанних моталок. Кінець смуги в трьох роликах одержує вигин потрібної кривизни і далі йде по роликовій проводці, згортаючись у рулон за рахунок власного руху. На рис. 1.8 показані різні стадії роботи ППП «CoilBox»,: початкова стадія формування рулону, коли прокат 1 одержує згин в згинальних роликах 3 і починає формуватись в напрямних роликах 5, що підняті у верхнє положення (див. рис. 1.8,а), початок розмотування сформованого рулону(див. рис. 1.8,б), коли на нього опускають відгинач 4 і за допомогою тягнучих роликів 6,7 зовнішній кінець смуги (колишній задній) подається на рольганг 8, ролики 5 знаходяться в нижньому положенні, і заключна стадія (див. рис. 1.8,в), коли під дією роликів 7 залишок розмотаного рулону, що має вже невелику масу, висмикується з роликів 5 на рольганг 8 і кінець стадії розмотування відбувається лише тягнучими роликами 7. Відгинач 4 при цьому відведений догори, і в пристрій надходить наступна штаба і починається її змотування ще під час розмотування на рольгангу попереднього рулону.



а



б



в

Рисунок 1.8 - Стадії роботи ППП«CoilBox», : початок формування рулону (а), початок розмотування (б), закінчення розмотування (в). (позиції в тексті)

В останній час розроблено конструкції ППП, які дозволяють виконувати одночасне змотування наступної і розмотування попередньої заготовки.

ППП Cremona box в ЛПМ італійської фірми Arvedi складається з двох пічних моталок (див.рис.1.9,а), корпуси 1 яких можуть обертатися навколо осей барабанів 2. На вході і виході встановлені перекидні проводки 3,4. Температурний режим печей підтримується пристроями 5 для подавання дуття. Через проводку 3 штаба-заготовка подається в барабан однієї з печей (на рис.1.9, а – верхньої), де вона змотується в рулон. Водночас з барабана другої печі відбувається розмотування попередньої штаби через проводку 4. Після закінчення циклу верхня піч повертається в положення розмотування, і до неї перекидається проводка 4. Нижня піч, навпаки, повертається в положення прийому штаби з проводки 3. Після цього починається змотування наступної штаби на барабан нижньої печі і одночасне розмотування з барабана верхньої. При цьому в печах відбувається підігрівання заготовок до температури прокатки

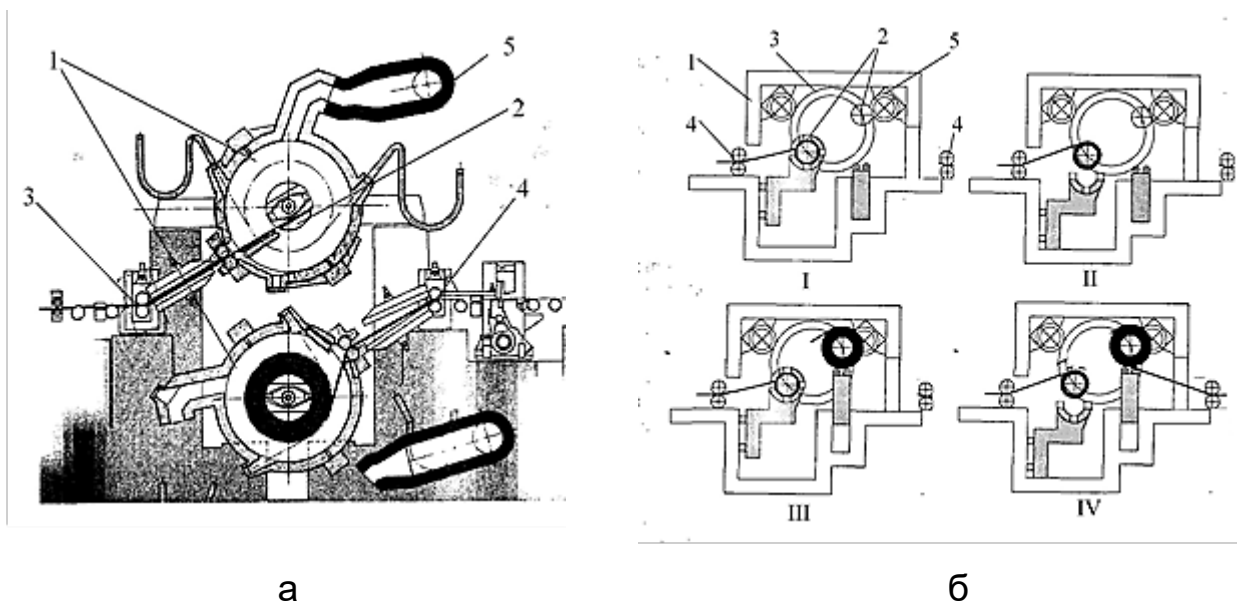


Рисунок 1.9 - Схема ППП Cremona box (а) та принципова схема ППП Mandrell box (б) (позиції в тексті)

В ЛПМ фірми Danieli використовуються ППП Mandrell box (див.рис. 1.9,б), принцип дії якого заснований на конструкції карусельної моталки. В корпусі 1 встановлено ротор 3 (карусель), в якому розміщені приводні барабани 2. На роторі є зубчастий вінець, через який він приводиться шестернями 5. Штаба подається в нижній барабан (положення I), після чого починається намотування рулону(положення II) Після закінчення намотування ротор 3 повертається на 180°, барабани міняються місцями(положення III). На вільний барабан починається намотування наступної штаби, а з другого барабана рулон розмотується в лінію стана (положення IV).

Очевидною перевагою розглянутих ППП у порівнянні з CoilBox є можливість одночасно намотувати наступний і розмотувати попередній рулони, що майже вдвічі зменшує час операцій на проміжному рольгангу. Однак ці пристрої значно складніші за конструкцією і експлуатацією.

1.2. Аналітико-прогнозне обґрунтування модернізації та пропозиції

На підставі сказаного можна зробити наступні висновки:

- 1) нові широкосмугові стани треба будувати, докорінно вдосконалюючи їхню конструкцію в порівнянні з діючими станами;
- 2) можливо й доцільно застосування швидкостей виходу металу з валків 30–35 м/с і вище з водяним охолодженням смуги в чистовій групі;
- 3) відносна маса смуги на 1 м ширини рулону повинна становити близько 30-35 т/м. Для прокатки смуг шириною 2 м сляби при товщині 250–300 мм повинні мати довжину близько 15–20 м і масу 60–70 т;
- 4) рекомендується включати в чорнову групу реверсивну кліть із потужними вертикальними валками й дві – три безупинно розташовані кліті з еджерями;
- 5) чистова група повинна складатися з 8 клітей;

6) робочі кліті повинні мати месдози й автоматичну гідравлічну установку валків із противигином, що працює за допомогою комп'ютера;

7) перша група моталок для тонкої смуги повинна бути розташована якомога ближче до чистової групи, що скоротить час роботи стану на заправній швидкості. Ця відстань залежить від часу, необхідного для охолодження смуги з 830–950°C (температура кінця прокатки) до 500–600°C, тобто максимально припустимої температури змотування. На думку ряду дослідників, зазначена відстань може бути дуже скорочена при досить великій кількості води, що подається для охолодження.

Прокатка смуг товщиною 8–16 мм відбувається в межах заправної швидкості без переходу на режим прискорення стану. Тому моталки для товстих смуг не обов'язково розташовувати поблизу чистової групи, навпаки; їх варто встановлювати можливо далі, наскільки цього вимагає режим охолодження смуги.

Завдяки переходу на швидкості прокатки до 30–35 м/с і застосуванню питомої маси рулонів близько 30 т/м ширини смуги продуктивність широкосмугових станів третього покоління повинна бути значно вище, ніж у станів другого покоління. У станів з довжиною бочки 1700–2000 і 2200–2500 мм річна продуктивність повинна бути порядку 6,5–9 і 8–10 млн. т відповідно.

Подальший розвиток технології прокатки смугової сталі полягає у створенні ливарно-прокатних модулів (ЛПМ). Продукція на цих агрегатах є більш дешевою та якісною у порівнянні з традиційними ШСГП станами. На рис. 1.10 представлена схема обладнання двоступеневого ЛПМ фірми Danieli.

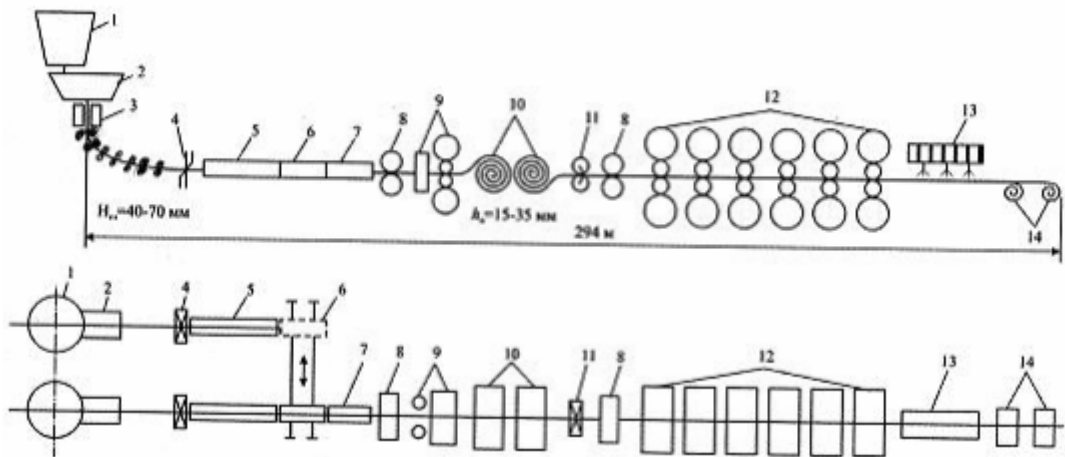


Рисунок 1.10 - Схема розташування основного обладнання ЛПМ 2000 фірми Danieli.

1 – розливний ківш; 2- проміжний ківш; 3- кристалізатори; 4- ножиці; 5- тунельна піч; 6- паром; 7- піч витримки; 8- окалиноломатель; 9- універсальна кліть; 10- ППП; 11- летючі ножиці; 12- чистова група; 13- душюча установка; 14- моталки.

Рідкий метал з ківшів 1 і 2 потрапляючи в кристалізатор 3 частково твердне в зовнішніх зонах, обтискається ("м'яке обтиснення") на 10 ... 20 мм - з 50 ... 90 мм на вході в ролики, до 40 ... 70 мм на виході з них - перед ножицями 4 . Швидкість виходу литого сляба з кристалізатора 3 - 7,5 м/хв. У печі 5 довжиною 44 м сляби нагрівають до температури 1100 ... 1150 С° і через "паром" - візок 6 транспортують в прохідну піч 7 - для підігріву. Далі потрапляє в окалиноломатель 8 і універсальну кліть кварто 9, в якій тонкий сляб обжимають до товщини 15 ... 35 мм і змотують в ППУ для збереження температури розкату в межах допустимої (1000 ... 1020 С° перед чистовою групою клітей 12. У чистовій групі є 6 клітей кварто з пристроєм осьового регулювання міжвалкового зазору (останні 3 кліті). Робочі кліті №№1-3 мають робочі валки діаметром $D_p = 800$ мм, а кліті №№4-6 мають валки з $D_p = 610$ мм, діаметр опорних валків становить $D_{op} = 1450$ мм. Довжина робочих валків 2000 мм, а опорних всього 1700 мм, що є доцільним. Допустима сила прокатування

в клітках №№1-3 - Рдоп = 40Мн, в клітках №№4- 6 - Рдоп = 30Мн. На ЛПМ-2000 прокатують штаби товщиною 1 - 16 мм, шириною 800 - 1800 мм в рулони масою 31 т при його питомій масі 20т/м.

Максимальне виробництво смуг на двоструменевом ЛПМ становить близько 2млн.т. на рік. Економія по переділу у порівнянні с ШСГП становить 60\$ / т [5].

При прокатці штаби на ЛПМ досягається її висока точність. Так, для штаби товщиною 1,2 ... 4,0 мм поздовжня різнотовщинність на основній довжині становить 0,04 ... 0,05 мм. Однак кінцеві ділянки що прокатані без натягіння мають потовщення штаби.

ЛПМ ідеальний агрегат виробництва продукції на міні-заводах, в той час як ШСГП краще застосовувати на інтегрованих великих підприємствах з обсягом виробництва від 2 млн.т/рік та більше.

Тенденції до зниження товщини смуг, що прокочуються на широкосмугових станах гарячої прокатки (ШСГП) з'явилася відразу після їх створення. Якщо на ШСГП першого покоління мінімальна товщина проковтуваних смуг була 2 мм, то вже на ШСГП другого покоління передбачалося прокатування смуг мінімальної завтовшки 1,2 мм. Останні 10 – 15 років триває розробка та реалізація технологій та обладнання, які б дозволили прокочувати, так звані, надтонкі гарячекатані ($H < 1,2$ мм) смуги.

Ця тенденція обумовлена прагненням замінити холоднокатаний метал гарячекатаним тієї ж товщини. Головна причина – економічні міркування (додаткові витрати на виробництво 1 тони холоднокатаної листової продукції на 20 – 40 доларів США вище, ніж на виробництво гарячекатаної листової продукції тієї ж товщини).

Головною умовою такої заміни є забезпечення механічних властивостей, якості поверхні та точності гарячекатаних смуг на рівні холоднокатаних. А головним перешкодою забезпечення цієї умови є великі тру-

днощі дотримання заданих температурних умов прокатки смуг малої товщини (температура кінця прокатки має бути не менше 860 C° і бути стабільною по довжині смуги).

На ШСГП першого покоління для забезпечення необхідної температури кінця прокатки смуг товщиною 2 мм підвищували у різний спосіб температуру підкату в чистової групи клітей. Але навіть цих станах цей спосіб був мало ефективним.

Виконані розрахунки показали, що підвищення температури підкату на 100 C° при прокатці смуг товщиною 0,8 мм призведе до підвищення температури кінця прокатки переднього кінця смуги всього на $10\text{--}15\text{ C}^\circ$ [6].

Найбільш ефективним способом забезпечення необхідної температури тонких та особливо тонких смуг на ШСГП є прискорення прокатки у чистовій групі клітей. При цьому заправлення переднього кінця смуги в кліті чистової групи та моталку виробляються швидкості $10\text{--}12\text{ м/с}$ (в останній кліті). В цьому разі до початку прискорення чистової групи клітей знижену температуру матимуть $100\text{--}200\text{ м}$ довжини смуги.

Звідси випливає висновок, що основним шляхом підвищення температури особливо тонких смуг має стати підвищення позитивної складової температурного балансу процесу деформації з допомогою його інтенсифікації. Інтенсифікацію процесу деформації слід забезпечити за рахунок збільшення товщини підкату та посилення режиму обтискань металу в клітинах чистової групи.

Розрахунки показують, що доцільне збільшення товщини підкату до $30\text{--}40\text{ мм}$, середнє відносне обтискання по клітях чистової групи щонайменше $0,45$. Такий режим прокатки може бути реалізований з використанням потужних чистових клітей, що забезпечують силу прокатки до 30 МН на 1000 мм ширини, потужність до 10 МВт , момент прокатки до $3\text{ МН}\cdot\text{м}$ у першій кліті, до $2\text{ МН}\cdot\text{м}$ у другій та до $1\text{--}0,5$ в решти. При

прокатуванні на високих швидкостях потужність електродвигунів має бути до 20 МВт.

Поступове зниження температури підкату від його переднього кінця до заднього перед чистою групою клітей обумовлено часом його руху по підводному (проміжному) рольгангу. Зменшують втрати тепла підкатом за рахунок застосування відбивних екранів, індукційних підігрівачів та ін.

Недоліками цих пристроїв є велика довжина (число) і низька ефективність. Прокатка показує, що «температурний клин» у випадках зменшується на 30 - 40 %.

Найефективніше застосування перед чистою групою клітей проміжного перемотувального пристрою (ППУ), так званого "койл-боксу". Перевага ППУ – компактність, недолік - можливість змотування гуркотів завтовшки лише до 35 мм, із швидкістю до 5 м/с. При розмотуванні рулону задній кінець слябу стає переднім і задається в чистову групу клітей. Передній кінець гуркоти розташований усередині рулону і практично не остигає. Для підтримки середньої температури та підігріву кромок ППУ оснащеною спеціальними пальниками.

Застосування ППУ крім збереження температури підкату дозволяє зменшити відстань між чорною та чистою групами клітей стана.

З даних досліджень слід, що температура переднього кінця готової смуги відрізняється від заднього на 5-10 С°.

При прокатуванні особливо тонких смуг на ЛПМ безперервнолітій сляби завтовшки 50-75 мм після підігріву в прохідній печі обтискають в одній-двох потужних чорнових клітях і гуркіт змотують у рулони з максимальною швидкістю на ППУ.

Викладене дозволяє сформулювати оптимальні умови виробництва особливо тонких смуг з високими пластичними властивостями по всій їх довжині:

1. Температура підкату на вході до чистової групи клітей має бути не нижче 1000-1100 С°

2. При нижній межі температури підкату товщина підкату має бути 20-40 мм, а число чистових клітей не більше 5-6 (середній коефіцієнт витяжки в одній кліті понад 1,85). Довжина підкату повинна забезпечувати напівнескінченну чи нескінченну чистову прокатку.

3. Температура по довжині підкату має бути постійною. Виконання цієї умови дозволить у 1,5-2 рази зменшити силову навантаження робочих клітей та потужність головних приводів при прокатці задніх кінців смуг, а також постійні механічні властивості металу по всій довжині смуги.

Устаткування для реалізації технологічних вимог має забезпечувати:

1. Підігрів, стабілізацію за рівнем та довжиною температури підкату перед чистовою групою клітей. Зварювання кінців підкатів у стик (при нескінченній прокатці).

2. Прокатування смуг у чистовій групі клітей зі складним швидкісним режимом із прискореннями, що забезпечують вирівнювання можливого «температурного клина» за її довжиною, а також збільшення рівня швидкості, температури смуги та продуктивність стану.

3. Прискорене охолодження гуркату в міжклітинних проміжках чистової групи клітей для стабілізації температури смуги при прокатка на високих швидкостях.

4. Динамічну перебудову чистових клітей для зміни товщина смуги під час прокатки.

5. Зміщення та схрещування осей робочих валків, противигін робочих валків, регулювання товщини, форми поперечного перерізу та площинності смуги, міжклітинних натягів та швидкісного режиму прокатки, точну та швидку установку та регулювання міжвалкових зазорів.

6. Високі силові енергетичні параметри чистових клітей та їх головних приводів: силу прокатки до 30 МН на 1000 мм ширини смуги, потужність до 10 МВт, момент прокатки до 3 МН·м у першій, до 2 МН·м у другій і до 1 - 0,5 МН·м в інших клітинах.

7. Прискорене охолодження готової смуги до заданої температури змотування на короткому відведеному рольгангу, стійке рух по ньому переднього кінця смуги.

8. Стійку заправку переднього кінця смуги в моталку на високій швидкості, порізу смуги находу та змотку смуги після прорізки на іншу моталку [1].

1.3. Сучасні підходи до менеджменту на металургійних підприємствах

Стратегічний менеджмент

Збалансована система показників (Balanced Scorecard) – один із провідних сучасних підходів до стратегічного управління. BSC допомагає перетворити стратегію на конкретні цілі та показники за чотирма перспективами: фінанси, клієнти, внутрішні процеси, навчання і розвиток персоналу [12]. Такий підхід дозволяє врахувати не лише фінансові результати, а й нематеріальні активи (компетенції співробітників, відносини з клієнтами, корпоративну культуру тощо) – критично важливі фактори довгострокового успіху компанії [12]. Впровадження BSC робить діяльність підприємства більш прозорою і керованою, значно розширюючи можливості стратегічного управління [12]. Наприклад, металургійні компанії використовують BSC для узгодження виробничих цілей із фінансовими та ринковими показниками: це дозволяє одночасно підвищувати ефективність процесів і орієнтацію на потреби клієнтів та акціонерів.

Збалансована система показників (Balanced Scorecard, BSC) є одним із провідних інструментів сучасного стратегічного управління. Вона сприяє трансформації стратегії компанії у чітко визначені цілі та показники в межах чотирьох ключових площин: фінансової, клієнтської, внутрішніх бізнес-процесів, а також навчання і розвитку персоналу [12]. Такий підхід дозволяє враховувати не тільки фінансові результати, але й нематеріальні ресурси — зокрема, компетенції працівників, взаємовідносини з клієнтами та корпоративну культуру — що є надзвичайно важливими для досягнення довгострокового успіху компанії [12]. Використання BSC підвищує прозорість і керованість бізнесу, суттєво посилюючи ефективність стратегічного управління [12]. Наприклад, металургійні підприємства застосовують BSC для узгодження виробничих цілей із фінансовими та ринковими орієнтирами, що дозволяє одночасно підвищувати ефективність операцій і краще відповідати очікуванням клієнтів і акціонерів.

Серед інших сучасних методів стратегічного менеджменту варто відзначити сценарне планування та бенчмаркінг. Сценарний підхід дає змогу завчасно враховувати можливі варіанти розвитку ринкової ситуації, забезпечуючи гнучкість у прийнятті рішень, тоді як бенчмаркінг дозволяє переймати кращі міжнародні практики шляхом порівняння власних показників з досягненнями провідних компаній галузі [12]. Це має особливе значення для металургійної промисловості, де рівень глобальної конкуренції є надзвичайно високим, а орієнтація на досвід передових зарубіжних виробників є критично важливою.

Операційний менеджмент

Ощадливе виробництво (Lean manufacturing) — це концепція операційного управління, яка орієнтована на усунення всіх видів втрат і підвищення ефективності виробничих процесів. Її витоки пов'язані з виробничою системою Toyota, де основною ідеєю було залучення всіх працівників до процесу безперервного вдосконалення, а також створення

продукції, яка точно відповідає потребам споживачів при мінімальних витратах [12]. Lean дозволяє досягати стійкої конкурентоспроможності без суттєвих капіталовкладень, завдяки постійному вдосконаленню процесів і раціональному використанню ресурсів [12]. Цей підхід здобув широке поширення в усьому світі: його впровадили майже всі японські виробники, 72% підприємств у США та понад половина компаній у Великій Британії. Водночас в Україні Lean-методи поки що застосовуються лише окремими підприємствами [12]. У металургійній галузі ощадливе виробництво використовується для зменшення простоїв устаткування, оптимізації запасів сировини та готової продукції, а також для покращення якості й оперативності виробництва. Наприклад, металургійні заводи впроваджують методи 5S (організація робочого місця) та Kanban для ефективного управління матеріальними потоками, що дозволяє скоротити втрат Методології якості та операційного управління

Six Sigma — це сучасна методика управління якістю, орієнтована на мінімізацію дефектів і варіацій у виробничих процесах. Вона базується на глибокому аналізі даних для виявлення першопричин проблем і їх усунення, з акцентом на критично важливі для клієнта показники [12]. Розроблена в компанії Motorola у 1986 році, ця система знайшла широке застосування в глобальних корпораціях, зокрема в Honeywell та General Electric [12]. У металургії інструменти Six Sigma використовуються, наприклад, для контролю якості сталі, що дозволяє знижувати рівень дефектності до менш ніж 3,4 випадків на мільйон операцій [12]. Це значно скорочує обсяги браку і витрати на його усунення. Часто Six Sigma інтегрують із підходом Lean, утворюючи Lean Six Sigma — комплексну систему для усунення втрат і підвищення стабільності процесів.

Тотальне управління якістю (TQM) — ще один визнаний підхід до підвищення ефективності виробництва, заснований на залученні всього персоналу до процесу постійного поліпшення якості. У металургії багато підприємств сертифіковані за стандартами ISO 9001, що підтверджує

дотримання принципів процесного підходу, моделі PDCA (цикл Демінга) та клієнтоорієнтованості. Наприклад, український завод «Азовсталь» впровадив систему управління якістю відповідно до ISO для задоволення вимог автомобільної промисловості до металопрокату.

Інші поширені інструменти операційного менеджменту в металургії:

Тотальне продуктивне обслуговування (TPM) – система профілактичного обслуговування обладнання для зменшення простоїв.

Теорія обмежень – управління “вузькими місцями” виробництва для підвищення загальної продуктивності.

Ощадлива логістика – зниження запасів і витрат по всьому ланцюгу постачання.

Реінжиніринг бізнес-процесів (BPR) – радикальна оптимізація та автоматизація технологічних і управлінських процедур.

Ці підходи спрямовані на скорочення виробничого циклу, зниження собівартості продукції й забезпечення гнучкості у відповідь на зміни ринку.

Фінансовий менеджмент у металургії

Сучасний фінансовий менеджмент зміщується від традиційного бухгалтерського обліку до створення доданої вартості для акціонерів. У практиці застосовуються концепції Value-Based Management, орієнтовані на зростання вартості бізнесу. Основними метриками є економічна додана вартість (EVA), ринкова додана вартість (MVA) та загальна дохідність для акціонерів (TSR) [12]. Такі показники дозволяють оцінити ефективність інвестицій, наприклад, у нове обладнання чи екологічні проекти.

Інструмент Balanced Scorecard (BSC), розглянутий раніше, також використовується у фінансовому управлінні для узгодження фінансових

цілей з операційними й інноваційними задачами. Він допомагає балансувати короткострокові результати з довгостроковими інвестиціями у клієнтів, персонал і технології.

На практиці підприємства впроваджують:

Бюджетування на основі діяльності (ABB);

Калькулювання собівартості за видами діяльності (ABC);

ERP-системи для інтеграції фінансових і виробничих даних;

Управління ризиками через хеджування валютних, сировинних ризиків та страхування від коливань цін на сталь.

IT-менеджмент і цифровізація

В умовах Індустрії 4.0 цифрові технології є ключовими у трансформації виробництва. Металургійні компанії впроваджують:

Кіберфізичні системи;

Інтернет речей (IoT);

Штучний інтелект та великі дані для реального моніторингу та оптимізації виробництва [12].

Системи управління включають ERP, MES, аналітичні платформи, ITIL та DevOps для ефективної експлуатації IT-сервісів. Наприклад, на ArcelorMittal Dofasco застосовують предиктивну аналітику для прогнозного обслуговування обладнання.

В Україні цифровізація також набирає обертів – прикладом є Інтерпайп та група Метінвест, які впроваджують онлайн-моніторинг, автоматизацію логістики й цифрові проекти на базі Agile-методологій.

HR-менеджмент у металургії

Людський капітал – ключовий ресурс. HR-стратегії спрямовані на:

– розвиток компетенцій і навчання впродовж життя;

– формування культури безпеки (Zero Injury, програми на кшталт «Safety First»);

– мотивацію через KPI, OKR (Objectives and Key Results);

– залучення персоналу до змін (раціоналізаторські програми, кадровий резерв, коучинг).

Компанії інвестують у корпоративні університети та центри навчання, особливо у зв'язку з переходом на нові технології та цифрові інструменти [12].

Інноваційний менеджмент

Інноваційний розвиток охоплює R&D, нові продукти, відкриті інновації (Open Innovation). Компанії:

- створюють R&D-центри;
- беруть участь у проєктах зеленої металургії (Hybrit, H2Steel);
- застосовують Stage-Gate моделі керування інноваціями;
- впроваджують цифрові новації: цифрові двійники, 3D-друк, AI-аналітику;
- використовують Agile та Scrum для гнучкого управління R&D-командами.

Екологічний менеджмент

Сталий розвиток та відповідальне природокористування базуються на ISO 14001, принципах ESG. Компанії:

- знижують викиди, модернізують виробництво;
- впроваджують водневі печі, енергоефективні технології;
- переходять до циркулярної економіки – переробка шлаків, повторне використання води, збільшення частки металобрухту;
- оцінюють екопроєкти не лише з позиції витрат, але й вигод (зниження платежів, покращення репутації, відповідність «зеленим» вимогам клієнтів).

Менеджмент змін при модернізації

Ефективне управління змінами включає:

стратегію цифровізації, формування “кризи для змін”, призначення Change Agent;

- пілотні проєкти з демонстрацією швидких результатів;

- перепідготовку кадрів, співпрацю з університетами;
- реінжиніринг процесів до автоматизації;
- управління ризиками з розробкою планів дій;
- ефективну комунікацію, формування коаліції підтримки змін;
- культурну трансформацію, заохочення ініціатив, оновлення системи мотивації.

SWOT-аналіз у металургії

Сучасний SWOT-аналіз трансформувався в інтерактивний та гнучкий інструмент. Його інтегрують з ERP, BSC, BI-системами, поєднують із PESTLE, BCG, GAP-аналізами. SWOT допомагає:

- оцінити внутрішні ресурси та компетенції;
- виявити зовнішні можливості і загрози;
- сформуванати реалістичну і водночас амбітну стратегію розвитку.

У металургії SWOT актуальний в умовах декарбонізації, цифровізації та трансформацій у глобальних ланцюгах постачання.

1.4. Сучасні підходи до менеджменту в умовах модернізації

Успішна реалізація технічної модернізації потребує комплексного оновлення системи управління підприємством. Зокрема, впровадження прокатного стану 1680 супроводжуватиметься трансформацією моделі менеджменту, що передбачає перехід до цифрових, адаптивних та високоефективних управлінських практик. На основі аналізу сучасних підходів до організації управління промисловими підприємствами було обрано інтегровану модель, яка найповніше відповідає потребам комбінату у постмодернізаційний період.

Ключовим елементом трансформації стане інтеграція автоматизованих систем нового технологічного обладнання в загальнозаводську

інформаційну інфраструктуру, зокрема, об'єднання рівнів АСУ ТП та ERP. Нова прокатна кліть буде оснащена великою кількістю сенсорів і цифрових контурів керування, які в режимі реального часу генеруватимуть значні обсяги даних про продуктивність, якість продукції, тривалість простоїв тощо. Це вимагає впровадження data-driven моделі управління, коли оперативні та стратегічні рішення ухвалюються на основі актуальної, аналітично обробленої інформації, що надходить через інструменти бізнес-аналітики. Такий підхід дозволяє підвищити обґрунтованість управлінських дій, знизити суб'єктивність та забезпечити швидке реагування на зміни у виробничому середовищі.

Оновлення обладнання виступає також каталізатором організаційних змін, зокрема – оптимізації структури управління та впровадження сучасних методологій менеджменту. Планується інтеграція принципів бережливого виробництва (Lean) та Agile-менеджменту для підвищення продуктивності та адаптивності. У гарячому прокатному цеху та суміжних підрозділах буде створено автономні крос-функціональні команди, що отримають повноваження для оперативного розв'язання виробничих завдань і ініціювання постійних покращень. Це відповідає кращим світовим практикам: ефективні цифрові організації успішно поєднують Agile-підходи з Lean-менеджментом, що взаємно підсилюють один одного [13].

Agile-інструменти – ітеративне впровадження змін короткими циклами (спринтами), регулярні огляди прогресу та корекція планів – застосовуватимуться, зокрема, під час введення в експлуатацію нової прокатної кліті. Мультидисциплінарна команда інженерів, IT-фахівців та операторів щотижнево аналізуватиме хід пусконаладжувальних робіт і оперативно усуватиме виявлені проблеми. Паралельно використання принципів Lean дозволить виявити та усунути «вузькі місця» у виробничому потоці: шляхом аналізу створення цінності – від виплавки сталі до відвантаження готового прокату – підприємство зменшить втрати часу

й ресурсів, стандартизує нові процеси та закріпить найефективніші практики.

Окрему увагу буде приділено формуванню культури безперервного вдосконалення (Kaizen) та активному залученню персоналу. Разом із технічною модернізацією передбачено оптимізацію кадрової структури та перекваліфікацію співробітників – працівники перейдуть до нових цифрових ролей (наприклад, операторів АСУ, аналітиків виробничих даних тощо), отримуючи при цьому розширені можливості впливу на покращення виробничих процесів. Планується запровадження механізмів збору ідей від персоналу, проведення регулярних командних обговорень проблем і пошуку рішень, а також мотиваційних програм, що винагороджуватимуть впровадження корисних ініціатив.

Такі підходи відповідають концепції Change Management та сприяють розвитку лідерських якостей у середовищі цифрових трансформацій (Digital Leadership), що дозволить згладити перехідний етап та сформувати в колективі проактивне ставлення до інновацій.

У підсумку комбінат отримає сучасну модель управління, адаптовану до цифрової епохи та нового виробничого укладу: поєднання даних у реальному часі, гнучких команд і безперервного вдосконалення забезпечить максимально ефективну експлуатацію нового обладнання та сталий розвиток підприємства. Всі ці управлінські трансформації безпосередньо пов'язані з проектом будівництва прокатного стану, який водночас є і рушієм змін, і їхнім об'єктом. Таким чином, сучасний менеджмент виступає критично важливим фактором успішної реалізації масштабної інвестиційної ініціативи.

Висновки

В результаті проведеного аналізу встановлено, що з метою розширення сортаменту на більш тонкий лист доцільно провести модерні-

зацію чорнової групи клітей шляхом заміни уснуючої групи на стан Сте-
келя з подальшим переходом на ливарно-прокатний модуль. Слід наго-
лосити, що технічна модернізація неминуче потребує паралельних
управлінських змін. Підприємство вже ініціювало підготовчі заходи для
переходу до сучасної моделі менеджменту, яка поєднує цифрові інстру-
менти, принципи Lean та Agile, а також акцент на розвиток людського
капіталу. Такий комплексний підхід до трансформації управління ство-
рює умови для повноцінного розкриття потенціалу нового прокатного
стану, підвищення конкурентоспроможності продукції та формування
більш адаптивної й стійкої до зовнішніх викликів організаційної струк-
тури. В результаті, модернізація стану виступає не лише як інвестиція в
технічне оновлення, а й як стратегічне вкладення у довгострокову ефе-
ктивність, якість і прибутковість виробництва.

2. МОДЕЛІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СТАНУ 1680

2.1. Модель модернізації чорнової групи клітей

На рис. 2.1. представлена схема розташування обладнання цеху гарячої прокатки стану 1680. До складу обладнання відносять нагрівальні печі, гідрозбив окалини з окалиноломачем, чорнова група клітей, проміжний рольганг, чистова група клітей, дільниця охолодження та транспортер готових рулонів.

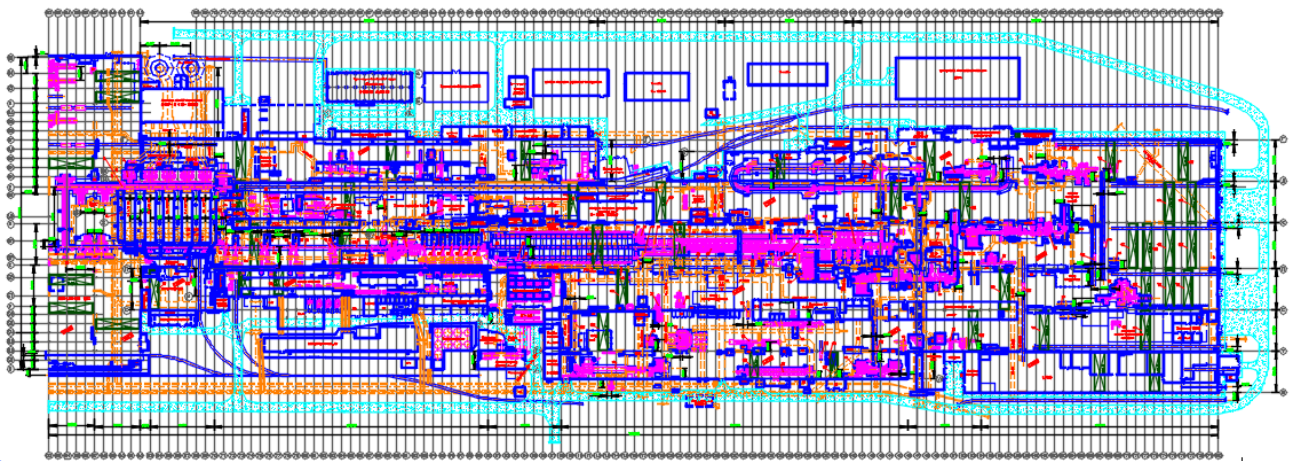


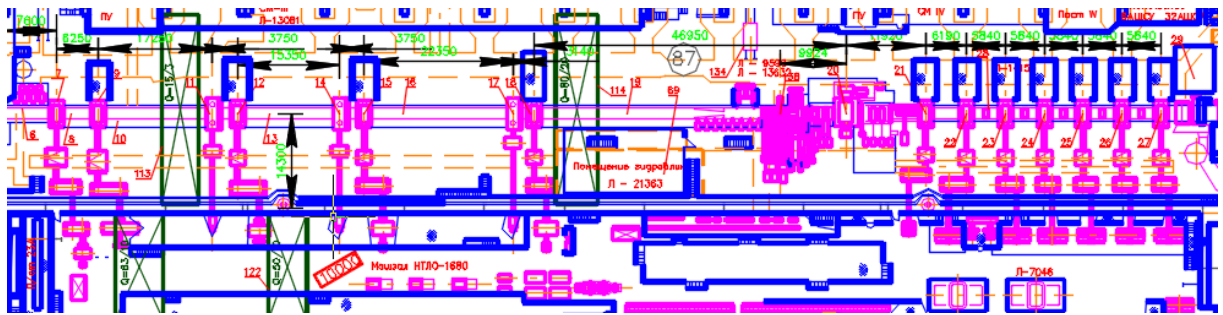
Рисунок 2.1 – Розташування обладнання цеху гарячої прокатки

На першому етапі модернізації доцільно провести демонтаж всіх клітей чорнової групи та установити стан Стекеля (рис. 2.2).

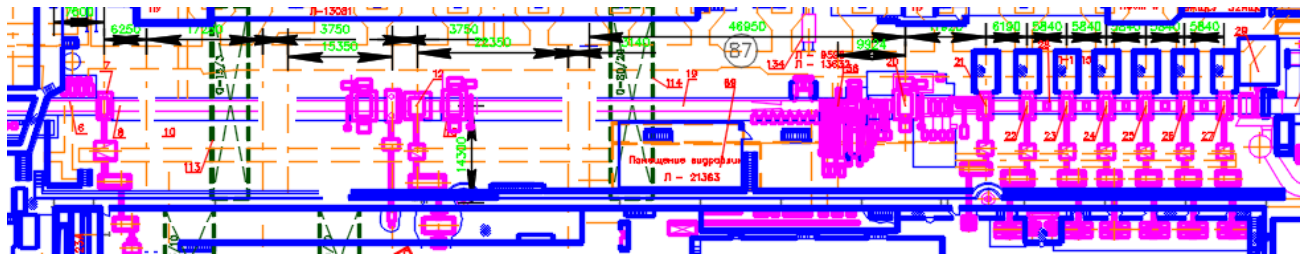
Для підтвердження ефективності даного рішення виконаємо розрахунок технологічних режимів та продуктивності стану нової схеми.

Математична модель процесу гарячої прокатки

В якості цільової функції при оптимізації технологічних режимів обтиснень була використана інженерна математична модель процесу гарячої прокатки [14].



а



б

Рисунок 2.2 – Чорнова група клітей до (а) та після (б) реконструкції

У якості вихідних даних використані такі параметри:

- h_0 – вихідна товщина заготовки в даному проході, мм;
- h_1 – кінцева товщина заготовки в даному проході, мм;
- b – ширина листа або штаби, мм;
- R – радіус робочих валків прокатного стану, мм;
- t – температура металу, що прокатується, °С;
- σ_{T0} , a_1 , a_2 , a_3 – коефіцієнти, що характеризують рівень механічних властивостей матеріалу штаби та їх залежність від ступеня, швидкості і температури деформації, Н/мм²;
- f – коефіцієнт зовнішнього тертя в осередку деформації;
- V_1 – швидкість прокатки, відповідна швидкості переміщення металу в перетині на виході з осередку деформації, м/с;

- $S_1 = \frac{\sigma_1}{2K_c}$; $S_0 = \frac{\sigma_0}{2K_c}$ – питомі напруження переднього і заднього на-

тяжіння, відповідно.

Саме ж математичне забезпечення з розрахунку енергосилових параметрів процесу гарячої прокатки може бути подано у вигляді такої сукупності аналітичних залежностей.

Величина абсолютного Δh і відносного ε обтиснень штаби:

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

$$\varepsilon = \Delta h / h_0. \quad (2.2)$$

Довжина дуги контакту l і середнє значення товщини штаби в осередку деформації h_{cp} :

$$l = \sqrt{R\Delta h + \Delta h^2 / 4}; \quad (2.3)$$

$$h_{cp} = 0,5(h_0 + h_1). \quad (2.4)$$

Кут захоплення металу валками α :

$$\alpha = \arccos [1 - \Delta h / (2R)] . \quad (2.5)$$

З урахуванням деформаційних і кінематичних характеристик, на основі формули О. І. Целікова, середньоінтегральне значення швидкості деформації U_c дорівнюватиме:

$$U_c = V_1 \varepsilon / l. \quad (2.6)$$

Середньоінтегральне значення подвоєного опору зрушенню металу прокатувальної смуги $2K_c$:

$$2K_c = 1,155 \sigma_{T0} (6,67\varepsilon)^{a1} U_c^{a2} (t/1000)^{a3}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт напруженого стану n_{σ_1} , що характеризує вплив зовнішніх зон контактної тертя:

$$n_{\sigma_1} = 1 + 1,5(1 - 1/h_{cp})^3 \quad \text{при } 1/h_{cp} \leq 1; \quad (2.8)$$

$$n_{\sigma_1} = 1 + 0,2(1/h_{cp} - 1) \quad \text{при } 1 < 1/h_{cp} \leq 2,5; \quad (2.9)$$

$$n_{\sigma_1} = 1 + 0,5f(1/h_{cp} - 1) \quad \text{при } 2,5 < 1/h_{cp}. \quad (2.10)$$

Величина коефіцієнта напруженого стану n_{σ_2} , що характеризує вплив напружень переднього і заднього натягів:

$$n_{\sigma_2} = 1 - 0,5 \left(\frac{\sigma_0}{2K_c} + \frac{\sigma_1}{2K_c} \right). \quad (2.11)$$

Середньоінтегральне за довжиною осередку деформації значення нормальних контактних напружень:

$$p_{cp} = 2K_c n_{\sigma_1} n_{\sigma_2}. \quad (2.12)$$

Величина повного зусилля прокатки

$$P = p_{cp} b l. \quad (2.13)$$

Повний момент прокатки

$$M = 2P\psi l, \quad (2.14)$$

де ψ – коефіцієнт плеча докладання рівнодіючої нормальних контактних напружень, у свою чергу, визначається:

$$\psi = 0,6 - 0,3(0,5 - 1/h_{cp})^2 \text{ - при } 0,2 \leq 1/h_{cp} < 0,7; \quad (2.15)$$

$$\psi = 0,6 - 0,15\sqrt{1/h_{cp} - 0,7} \text{ - при } 0,7 < 1/h_{cp} < 2,5; \quad (2.16)$$

$$\psi = 0,404 - 0,022\sqrt{1/h_{cp} - 2,5} - 0,252\alpha \text{ - при } 2,5 \leq 1/h_{cp}. \quad (2.17)$$

Потужність прокатки

$$N = M \frac{V_1}{R}. \quad (2.18)$$

Описана математична модель була використана в якості функції при автоматизованому проєктуванні технологічних режимів обтиснень, яка була організована на виконання критерію повного завантаження механічного обладнання, тобто за максимально припустимими значеннями величини кута захоплення $[\alpha_i] = \arctg f$, сили $[P_i]$, моменту $[M_i]$ і потужності $[N_i]$ прокатки:

$$\alpha_i \leq [\alpha_i]; \quad P_i \leq [P_i]; \quad M_i \leq [M_i]; \quad N_i \leq [N_i], \quad (2.19)$$

де i – порядковий номер аналізованого проходу.

Розрахунок режимів прокатки

В якості вхідних даних були використані наступні:

товщина слябу h_0 – 110 мм;

ширина слябу b – 1500 мм;

радіус робочих валків R – 500 мм;

коефіцієнт тертя f – 0,25;

початкова швидкість прокатки V – 3 м/с;

температура слябу t – 1200 С;

коефіцієнти, що описують механічні властивості матеріалу за методикою Андреюка - $G_{s0} = 72,0731$; $a = 0,13621$; $b = 0,14182$; $c = 3,2203$;
 маса слябу – 15 тон;
 довжина слябу – 11,655 м.

Результати розрахунку наведені в табл. 2.1, а розподіл технологічних параметрів на рис. 2.3...2.6.

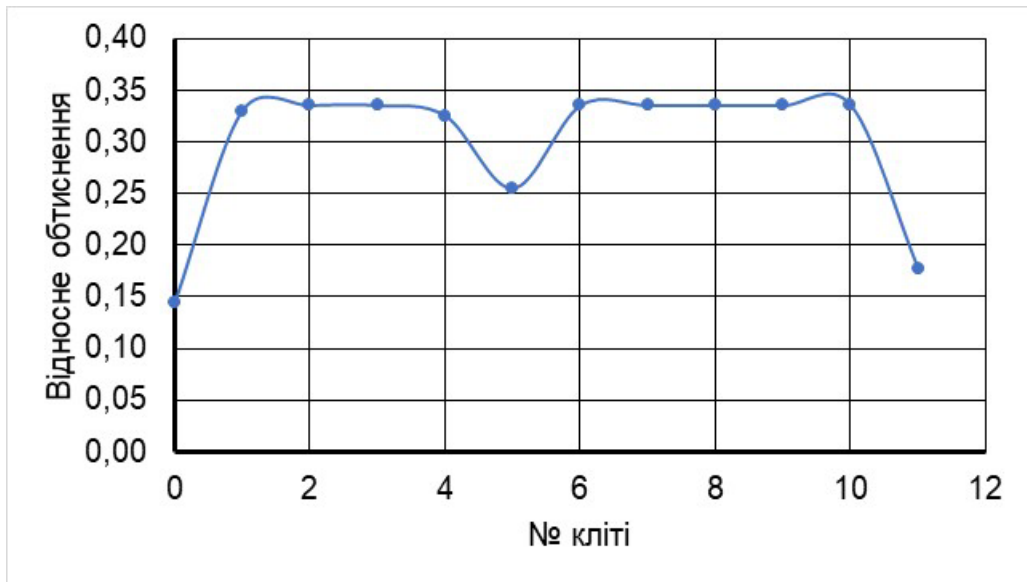


Рисунок 2.3 – Розподіл відносних обтиснень за проходами

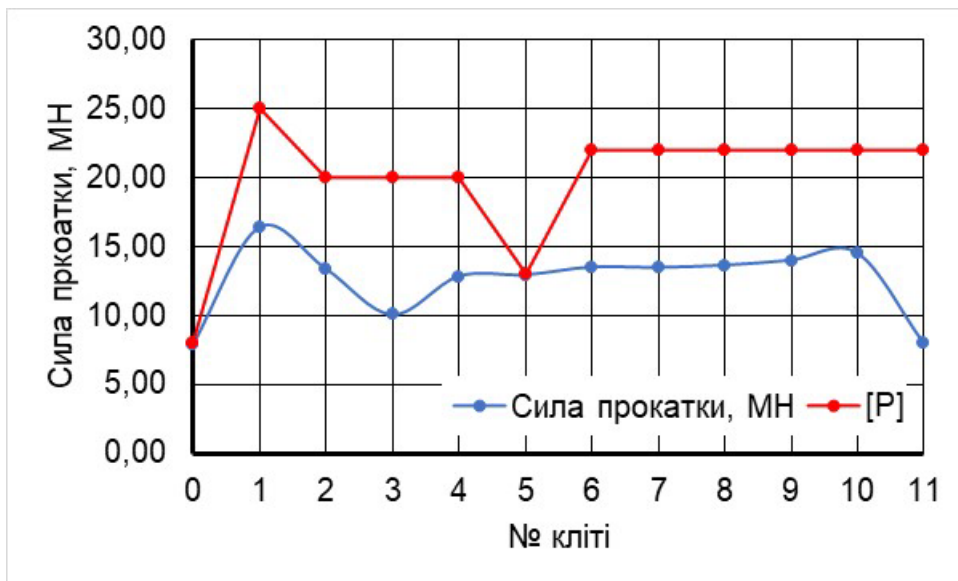


Рисунок 2.4 – Розподіл сили прокатки за проходами

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку технологічних режимів прокатки на стані 1680

№ кліті	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
mm	T	1240	1233	1224	1212	1109	940	929	915	900	884	866	841	
mm	h0	110	94,05	63,01	41,90	27,87	18,81	14,01	9,32	6,20	4,12	2,74	1,82	
mm	ε	0,15	0,33	0,34	0,34	0,33	0,26	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,18	
mm	dh	15,95	31,04	21,11	14,04	9,06	4,80	4,69	3,12	2,08	1,38	0,92	0,32	
mm	h1	94,05	63,01	41,90	27,87	18,81	14,01	9,32	6,20	4,12	2,74	1,82	1,50	5
mm	hcp	102,02	78,53	52,46	34,89	23,34	16,41	11,67	7,76	5,16	3,43	2,28	1,66	
mm	L	119,81	170,80	133,95	91,24	73,28	46,46	38,15	31,11	25,37	20,69	16,87	10,00	
sec-1	L/hcp	1,17	2,17	2,55	2,62	3,14	2,83	3,27	4,01	4,92	6,03	7,39	6,02	
MPa	U	1,19	1,97	2,83	4,34	11,22	10,98	26,41	48,70	89,81	165,61	288,06	340,00	
MPa	Gs	36,72	45,03	48,53	53,12	80,12	131,44	159,93	182,54	209,26	240,97	277,64	285,06	
MPa	2Kc	42,23	51,79	55,81	61,09	92,13	151,15	183,92	209,92	240,64	277,12	319,28	327,81	
MPa	nG	1,03	1,23	1,19	1,20	1,27	1,23	1,28	1,38	1,49	1,63	1,80	1,63	
MN	Pcp	43,70	63,96	66,65	73,42	116,78	185,75	236,10	288,90	358,48	451,35	574,49	533,44	
grad	P	7,85	16,39	13,39	10,05	12,84	12,94	13,51	13,48	13,64	14,01	14,54	8,00	
kNm	α	7,65	10,47	9,07	8,85	7,10	5,93	7,07	5,76	4,70	3,83	3,12	1,85	
kW	ψ	0,50	0,42	0,43	0,43	0,42	0,43	0,42	0,41	0,41	0,40	0,39	0,40	
kW	M	934,81	2338,92	1560,35	793,05	794,75	513,99	433,64	346,38	280,85	231,02	191,94	63,78	
MN	N	1017,90	2537,98	2074,34	1582,09	3390,75	2284,39	4207,07	5053,34	6161,4	7621,4	8981,9	3952,7	
kNm	L	11,655011 66	17,395540 27	26,158706 35	39,336401 65	58,276152 67	78,223030 64	117,62861 58	176,88514 4	265,99270 8	399,98902 9	601,48727 2	730,76907 7	
kW	[P]	8	25	20	20	20	13	22	22	22	22	22	22	1
kW	[M]	1350	2350	1850	1000	850	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1
	[N]	2600	7500	6800	6500	6200	3650	9000	9000	9000	9000	9000	9000	
	[k]	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	
	R	900	940	850	593	593	450	310	310	310	310	310	310	
	V	0,98	1,02	1,13	1,183	2,53	2	3,01	4,52	6,80	10,23	15,38	18,68	CoilBox

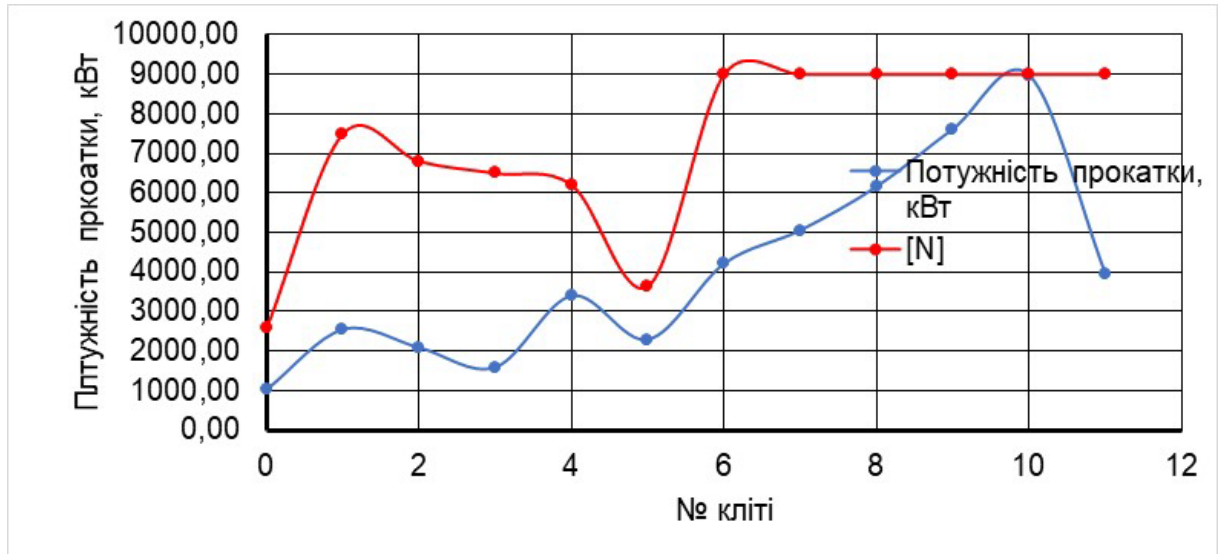


Рисунок 2.5 – Розподіл потужностей прокатки за проходами

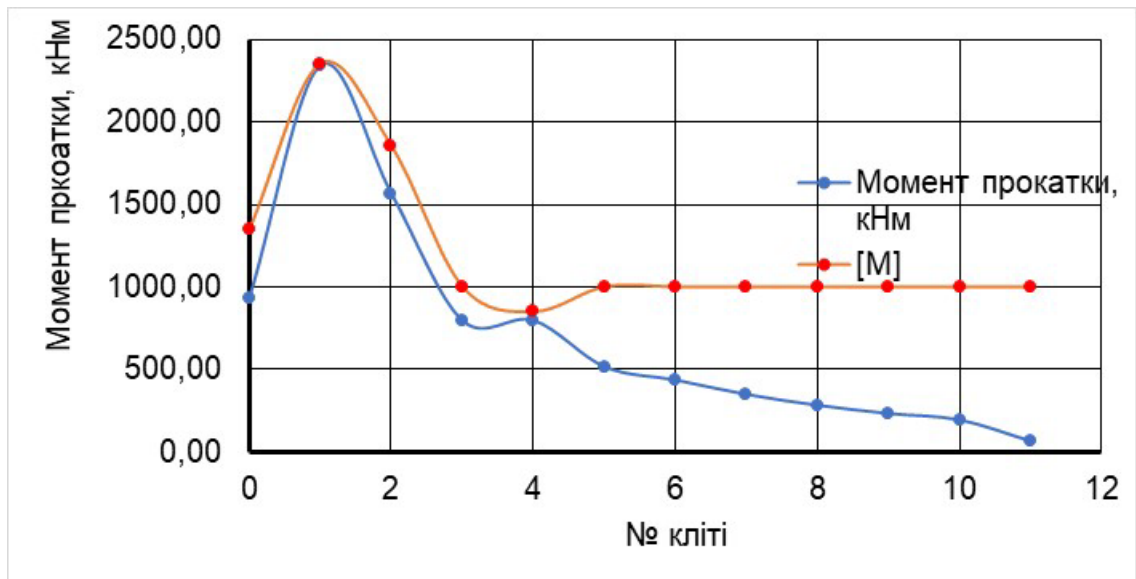


Рисунок 2.6 – Розподіл моменту прокатки за проходами

Розрахунок продуктивності стану

Для розрахунку часу прокатки використовували поточну довжину прокату, відстань між клітями та швидкості прокатки за проходами. Результати обчислення часу прокатки при часі пауз 90 секунд наведено в табл. 2.2, а графічна інтерпретація – на рис. 2.7.

Таблиця 2.2 – Розподіл поточного часу прокатки (сек) по клітях

№ кліті	Сляб №1	Сляб №2
0	0	90
0	11,89286904	101,892869
1	18,02032002	108,02032
1	37,96705082	127,9670508
2	56,55112162	146,5511216
2	83,62632926	173,6263293
3	99,77172233	189,7717223
3	138,6622524	228,6622524
4	148,7413037	238,7413037
4	175,6817216	265,6817216
5	205,1167216	295,1167216
5	223,0985359	313,0985359
5	268,843008	358,843008
5	223,0985359	313,0985359
6	225,156711	315,156711
6	270,901183	360,901183
6	225,156711	315,156711
7	226,4480079	316,4480079
7	272,1924799	362,1924799
7	226,4480079	316,4480079
8	227,3067204	317,3067204
8	273,0511924	363,0511924
8	227,3067204	317,3067204
9	227,8777642	317,8777642
9	273,6222362	363,6222362
9	227,8777642	317,8777642
10	228,2575083	318,2575083
10	274,0019803	364,0019803
10	228,2575083	318,2575083
11	228,5700711	318,5700711
11	274,3145431	364,3145431
11	228,2575083	318,2575083

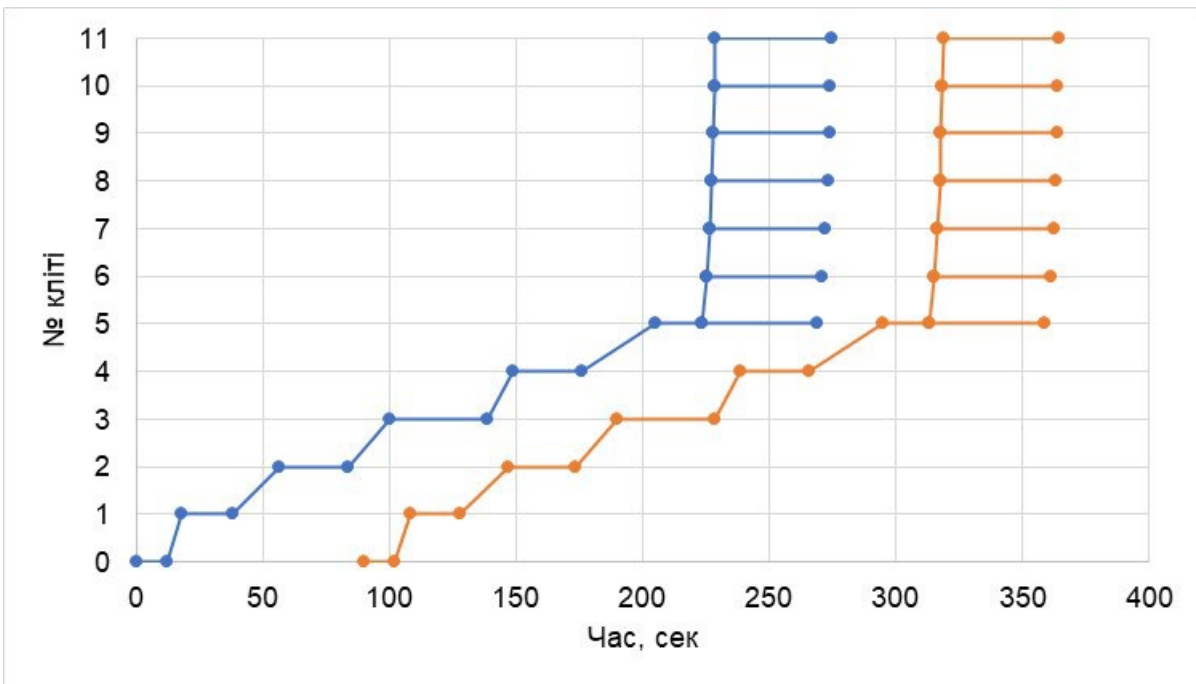


Рисунок 2.7 – Розподіл часу прокатки за клітями

Продуктивність стану склала:

годинна – 286,27 тон на годину;

річна – 2,06 млн. тон на рік.

Це підтверджує правильність прийнятого рішення, так як забезпечується запланована продуктивність та зменшується товщина прокату до 1,5 мм.

2.2. Менеджмент стійкого розвитку в умовах війни та цифрової трансформації

Організаційна структура підприємства

Публічне акціонерне товариство «Запоріжсталь» є одним із провідних промислових підприємств України та Європи, що спеціалізується на

повному виробничому циклі сталеплавильного виробництва — від агломерації та виплавки чавуну до виготовлення прокатної продукції, зокрема гарячекатаних рулонів і напівфабрикатів. Компанія входить до складу групи «Метінвест» і відіграє стратегічну роль у національному гірничо-металургійному комплексі.

Станом на 2024 рік виробнича структура підприємства охоплює:

- агломераційне виробництво (4 агломашини);
- доменне виробництво (2 діючі доменні печі — №3 та №5, інші — законсервовані);
- мартенівський цех (один із небагатьох, що продовжують працювати в Європі);
- прокатне виробництво (гарячий і холодний прокат, рулони);
- допоміжні енергетичні та ремонтні підрозділи.

Незважаючи на стабільні обсяги виробництва сталі в довоєнні роки (до 4 млн тонн на рік), підприємство експлуатує застарілу технологічну базу. Зокрема, мартенівський цех, побудований ще у 1930-х роках, не відповідає сучасним технічним і екологічним вимогам.

Основні технологічні та екологічні проблеми

1. Зношення основного обладнання
 - понад 75% виробничих потужностей є фізично та морально застарілими;
 - часткова або повна відсутність автоматизованих систем управління (АСУТП);
 - надмірні витрати енергії та значні втрати тепла;
 - низька ефективність газоочисних систем у мартенівському виробництві.
2. Низька енергоефективність процесів

- енерговитрати мартенівського переділу становлять до 2,3 Гкал/т сталі;

- для порівняння, електродугові печі споживають 0,8–1,1 Гкал/т;

- доменне виробництво залишається залежним від коксу та імпортного вугілля.

3. Високий рівень викидів забруднюючих речовин

- мартенівський цех — основне джерело пилю, NO_x, CO₂;

- доменний процес — до 2 тонн CO₂ на 1 тонну чавуну;

- підприємство не відповідає вимогам директив ЄС IPPC щодо найкращих доступних технологій (BAT), що після 2029 року може призвести до втрати дозволу на викиди.

4. Ризики, пов'язані з СВМ

- з 2026 року запроваджується вуглецевий кордонний механізм регулювання (СВМ), що передбачає оподаткування викидів CO₂ при експорті сталі до ЄС;

- очікувана ставка — 80–120 євро за тонну CO₂;

- без модернізації продукція стане економічно неконкурентною на ринку ЄС.

Економічні та соціальні виклики

- Операційна маржа підприємства знизилась із близько 15% (2018 рік) до менш ніж 5% (2023 рік).

- Зростають витрати на енергоносії, вуглець, обслуговування та ремонти, що підвищує фінансові ризики.

- Виведення мартенівського переділу загрожує скороченням понад 2 000 робочих місць.

- Існує нагальна потреба у перекваліфікації персоналу: лише 15% працівників мають компетенції для роботи на обладнанні EAF чи DRI.

Таблиця 2.3 – SWOT-аналіз ПАТ «Запоріжсталь»

Сильні сторони	Слабкі сторони
Розвинена виробнича інфраструктура	Використання застарілих технологій (мартени, домни)
Забезпечення сировиною завдяки Metinvestу	Високий рівень енерго- та вуглецевоїємності
Географічна близькість до ринків ЄС	Низький рівень цифровізації виробництва
Ефективна логістика	Значні викиди забруднюючих речовин
Можливості	Загрози
Технологічна модернізація (EAF/DRI)	Втрата доступу до ринку ЄС через CBAM
Отримання державної підтримки	Виведення фондів з експлуатації до 2029 року
Залучення «зеленого» фінансування, грантів	Втрата кваліфікованого персоналу під час трансформацій

SPACE-аналіз стратегічного становища

Оцінка чотирьох ключових векторів:

- Агресивність – +3: наявні амбітні плани модернізації, експортна орієнтація;
- Конкурентоспроможність – –2: технологічне відставання, високий вуглецевий слід;
- Стабільність зовнішнього середовища – –3: вплив воєнних дій та регуляторної невизначеності;
- Фінансовий стан – –1: зниження прибутковості, зростання витрат.

Висновок: стратегічний вектор має змінитися від експансивного розвитку до захисно-реформаторського підходу, що базується на технологічній адаптації, впровадженні інновацій та посиленні стійкості підприємства до зовнішніх викликів.

Критичний аналіз (організаційна структура):

Консервативна ієрархія: має чітку вертикальну ієрархію управління. Це забезпечує дисципліну і контроль, але водночас може гальмувати гнучкість і швидкість прийняття рішень на нижчих рівнях. Існує ризик, що традиційна бюрократична структура повільно адаптується до швидких змін ринку чи технологій.

Залежність від холдингу: Вхідження до «Метінвесту» означає, що ключові рішення (інвестиції, модернізація, соціальні проекти) ухвалюються з урахуванням стратегії групи. З одного боку, це приносить ресурси та стандарти (єдині фінансові, екологічні, кадрові політики), з іншого – обмежує автономність місцевого керівництва. Якщо пріоритети холдингу зміняться, підприємство мусить підлаштовуватися, навіть якщо локальні потреби інші.

Кадровий голод у керівництві: Через війну багато працівників мобілізовані або виїхали, і це може стосуватися також управлінців середньої ланки. Організаційна структура стикається з викликом підтримання компетентності: необхідно швидко готувати кадровий резерв на керівні посади, щоб уникнути дефіциту управлінських кадрів у разі втрати досвідчених спеціалістів.

Стиль управління та керівництво

Стиль управління на підприємстві формується під впливом поєднання багаторічного практичного досвіду керівників, що пройшли шлях у традиційній важкій промисловості, та особливостей корпоративної культури групи «Метінвест». Керівний склад комбінату здебільшого представлений фахівцями з глибокою галузевою експертизою, що сприяє збереженню та впровадженню перевірених управлінських підходів, зокрема: високих стандартів виробничої дисципліни, технічної обізнаності, суворого дотримання технологічних регламентів і вимог з охорони праці.

Належність до SCM/«Метінвест» зумовлює впровадження сучасних управлінських практик. У стилі керівництва це виражається через гібридну модель управління: стратегічні цілі та ключові показники визначаються на рівні холдингу, тоді як їх реалізація адаптується місцевою управлінською командою з урахуванням виробничої специфіки. Компанія дотримується високих стандартів ділової етики та комплаєнсу – на підприємстві діють внутрішні корпоративні політики, кодекс етики, контроль за дотриманням яких здійснює комплаєнс-дирекція «Метінвесту». Стиль управління можна охарактеризувати як поєднання директивного і коучингового підходів: з одного боку, зберігається чітка вертикаль управління, з іншого – в умовах воєнного часу керівництво активно підтримує персонал, інвестує у мотиваційні програми, навчальні ініціативи та соціальні проекти. Особливу увагу приділено розвитку молодих фахівців і збереженню кадрового потенціалу навіть у кризовий період.

Критичний аналіз (стиль управління та лідерство):

Традиційна управлінська модель:

Сильним боком керівництва є глибока експертиза у галузі металургії, однак це може водночас створювати обмеження щодо впровадження сучасних управлінських підходів. Команда управлінців здебільшого сформована з представників старшого покоління, що схильні до авторитарного стилю керівництва та можуть виявляти меншу відкритість до інновацій, таких як гнучкі організаційні моделі, горизонтальні структури чи автономні команди. Існує також ризик нестачі різноманітності в управлінських поглядах, оскільки у топменеджменті представлено мало молодих спеціалістів або фахівців із суміжних сфер.

Управлінські виклики в умовах війни:

Керівництво комбінату одночасно виконує функції виробничих і кризових менеджерів. Постійне функціонування в умовах стресу, викликаного

загрозами обстрілів та перебоями енергопостачання, сформувало жорсткий, переважно реактивний стиль управління. Така модель є ефективною в екстрених ситуаціях, однак може обмежувати ініціативність працівників. Молоді фахівці, зокрема, можуть відчувати низький рівень залученості у прийнятті рішень, що негативно позначається на мотивації.

Особливості організаційної культури холдингу: Попри активне впровадження корпоративних стандартів «Метінвесту» – прозорості, комплаєнсу, KPI-систем – традиційні виробничі підходи інколи складно інтегруються з новою корпоративною культурою. Це створює ризик опору змінам з боку середньої ланки управління, особливо у випадках, що вимагають гнучкості та нестандартних рішень. Крім того, централізована структура управління всередині холдингу обмежує автономність керівника комбінату – погодження рішень із центральним офісом може затримувати реагування на локальні виклики.

Лідерство та стратегічна орієнтація: генеральний директор має високий авторитет як досвідчений виробничник, однак наразі важко оцінити, наскільки він спроможний виступати драйвером трансформацій. Його поточні пріоритети зосереджені на стабілізації та відновленні виробництва, проте інформації щодо бачення інноваційного розвитку або реалізації масштабних проривів наразі недостатньо. Це створює ризик зосередження управлінських зусиль виключно на підтримці статус-кво замість запуску необхідних трансформацій — таких як цифровізація чи перехід до «зеленої» металургії.

Кадрова політика та розвиток персоналу: У відповідь на кадрові виклики воєнного часу, «Запоріжсталь» зосередив зусилля на утриманні трудового колективу, розвитку професійних навичок і залученні молоді. Зокрема, через мобілізацію та еміграцію частини персоналу комбінат запровадив системну програму з підбору та адаптації нових працівників. У 2023–

2024 роках була впроваджена процедура адаптації, що передбачає закріплення за новачками досвідчених наставників, які допомагають освоїтись на робочому місці, ознайомлюють з внутрішніми стандартами і корпоративною культурою. Такий підхід сприяє швидшому включенню нових співробітників у виробничі процеси, посилює мотивацію та забезпечує ефективний зворотний зв'язок. В результаті, підприємство отримує можливість формувати необхідні кадри всередині компанії, компенсуючи нестачу спеціалістів на зовнішньому ринку праці.

Цифровізація, ІТ-рішення та управлінські технології

У межах трансформації системи управління комбінат активно впроваджує сучасні цифрові інструменти та автоматизовані рішення, спрямовані на підвищення ефективності виробництва, безпеки праці та аналітичної прозорості. Завдяки інтеграції у загальнохолдингову ІТ-інфраструктуру під управлінням Metinvest Digital, підприємство використовує єдину ERP-систему Microsoft Dynamics 365, а також аналітичні платформи Power BI для моніторингу операційної діяльності, включно з показниками охорони праці.

Ці цифрові рішення стали також елементом практичної підготовки кадрів: студенти профільного університету проходили навчання на базі підприємства, опановуючи функціонал модулів Office 365 та створення звітності в Power BI на основі реальних даних виробництва. Це свідчить про сформовану цифрову інфраструктуру, яка відповідає вимогам концепції Industry 4.0 та підтримує принципи data-driven управління.

Водночас продовжується модернізація автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) на критично важливому обладнанні. Зокрема, у 2023–2024 роках проведено глибоку реконструкцію систем управління машинами: застарілі перетворювачі замінено на сучасні частотні приводи Siemens, оновлено програмно-апаратний комплекс доменного цеху.

Крім того, були впроваджені системи візуалізації та цифрового моніторингу – оператори отримали можливість у реальному часі відслідковувати параметри процесу та приймати рішення на основі фактичних даних. Використання алгоритмів обробки інформації, свідчить про перехід від традиційного до цифрово-орієнтованого управління виробництвом, де ключову роль відіграє аналітика й автоматизоване прийняття рішень.

На рівні менеджменту використовується корпоративна інформаційна система для кадрового обліку, фінансів та документообігу, що забезпечує уніфікованість процесів із всіма підприємствами «Метінвесту». Зв'язок керівників і працівників підтримується через онлайн-платформи: діє портал співробітника («Мій кабінет»), де можна переглядати структуру організації, подавати заявки, змінювати особисті дані тощо. В умовах війни багато управлінських нарад перейшли у режим відеоконференцій (Microsoft Teams), що стало звичним елементом цифрової культури. Це дозволило координувати роботу навіть під час перебоїв з транспортом чи евакуації частини персоналу.

3. МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СТАНУ 1680

3.1 Оновлена модель управління ПАТ «Запоріжсталь»

Перехід до цифрово орієнтованої та гнучкої моделі управління.

На рівні всього комбінату пропонується запровадження нової управлінської моделі, орієнтованої на цифровізацію, адаптивність та інновації. Вона передбачає такі ключові елементи:

Централізація даних та інтегроване ухвалення рішень. Виробничі процеси генеруватимуть великі масиви даних у реальному часі, які будуть оброблятися завдяки сучасним сенсорним системам. Новий виробничий майданчик обладнаний тисячами датчиків, що фіксують параметри якості та перебігу процесів. Уся інформація централізується на платформі рівня Level 2/3 АСУТП та Q3 Intelligence (Danieli), далі інтегруючись у корпоративну ERP-систему SAP. Це забезпечує керівництво актуальними показниками ефективності (KPI), дозволяючи оперативно реагувати на відхилення, приймаючи рішення на основі точних даних, а не припущень. Такий підхід підвищує як якість управління, так і швидкість реагування.

Трансформація організаційної структури та функціональних ролей. Передбачається створення міжфункціонального офісу цифрової трансформації або введення Digital-лідерів у наявну організаційну ієрархію. Їхнє завдання — забезпечити координацію між IT-фахівцями, автоматниками та виробничими підрозділами. Традиційні структурні одиниці починають діяти більш інтегровано: до цехів можуть бути прикріплені фахівці з автоматизації та аналізу даних. У сучасних металургійних компаніях з'являються нові посади, як-от інженери зі штучного інтелекту чи розробники додатків,

які працюють безпосередньо з технологіями й операторами. Такий міждисциплінарний формат пришвидшує впровадження цифрових рішень і спрощує вирішення складних завдань на межі ІТ та виробництва.

Agile-підходи та децентралізація оперативного управління. Модель передбачає формування автономних команд на рівні цехів і дільниць, які отримують чіткі цілі, KPI і повноваження для оперативного прийняття рішень. Використання принципів Agile дозволяє ділити великі проекти (наприклад, введення нового обладнання) на короткі етапи з постійним зворотним зв'язком. Так, мультидисциплінарна команда з представників цеху гарячої прокатки, ІТ та технологічних відділів може працювати за спринтами, щотижня аналізуючи результати і коригуючи плани. Це дозволяє досягти високої гнучкості, залученості персоналу та пришвидшення реалізації змін.

Lean-менеджмент та стандартизація процесів. У центрі моделі лежить філософія ощадливого виробництва (Lean), спрямована на усунення втрат і підвищення цінності для клієнта. Впроваджується аналіз потоків створення цінності (Value Stream Mapping) для оптимізації всього виробничого ланцюга — від виплавки до відвантаження продукції. Типові операції стандартизуються: створюються нові регламенти, інструкції та алгоритми, наприклад, дії оператора прокатного стану при роботі в автоматичному режимі чи порядок реагування на аварійні сигнали систем. Така стандартизація мінімізує людський фактор, забезпечує стабільність та високу якість. Окрему роль відіграє візуальний менеджмент — цифрові інформаційні панелі в цехах дозволяють у реальному часі відстежувати продуктивність, простоту та якість.

Культура постійного вдосконалення (Kaizen). Нова управлінська модель базується на залученні працівників до процесів поліпшення. У кож-

ному цеху діють програми збору пропозицій щодо підвищення ефективності, безпеки, якості. Малими групами проводяться регулярні Kaizen-сесії для пошуку і реалізації практичних рішень. Ініціативи підтримуються керівництвом, і найкращі ідеї швидко впроваджуються. Досвід компаній, що застосовують Kaizen, доводить ефективність цього підходу: поступове, безперервне зростання продуктивності досягається завдяки активному залученню саме тих, хто безпосередньо виконує роботу та знає її “вузькі місця”.

Орієнтація на якість продукції та потреби клієнта Завдяки сучасним технологіям комбінат зможе більш точно контролювати якість та адаптуватися до вимог замовників. Дані виробництва можуть бути не лише інструментом внутрішнього контролю, а й сервісом для клієнтів. За прикладом Thyssenkrupp Steel, замовники зможуть самостійно відстежувати статус виконання своїх замовлень та показники якості до відвантаження. Таким чином, компанія трансформується з виробника у надійного партнера з високим рівнем прозорості та клієнтоорієнтованості.

3.2 Структура управління цехом гарячої прокатки

Найбільш відчутні зміни в організації праці відбудуться у новому підрозділі Стану Стекеля, оскільки цифрове управління процесами суттєво змінює вимоги до персоналу. Кількість працівників у зміні зменшується, натомість зростає необхідність у високій кваліфікації та компетентності. Очікувана структура підрозділу може мати такий вигляд:

Операторський центр (пульт управління):
Замість кількох локальних постів керування вводиться єдиний централізований операторський центр. Управління здійснює головний оператор за допомогою інтерфейсу системи Danieli, що автоматизує основні етапи –

запуск, прокатку, реверс, гальмування. Роль оператора полягає у контролі за роботою автоматизованої системи та втручанні лише у разі позаштатних ситуацій чи відхилень. Таким чином, функції кількох працівників об'єднуються в одну роль, що дозволяє підвищити ефективність і зменшити ризик помилок, пов'язаних із людським фактором.

Інженер з автоматизованих систем управління (АСУТП): Це нова або розширена функція, відповідальна за технічну підтримку програмно-апаратних рішень прокатного стану. Інженер забезпечує стабільну роботу систем рівнів Level 1/Level 2 (контролери, датчики, промислові мережі), а також взаємодію з MES/ERP-рівнями. До його обов'язків входять моніторинг алгоритмів управління, діагностика збоїв, оновлення ПЗ та комунікація з IT-підрозділом. Якщо оператор відповідає за виробничий процес, то інженер – за функціонування всієї цифрової інфраструктури. Це критично важлива позиція, адже від справності автоматизованих систем залежить безперебійна робота всього комплексу. У передових компаніях, таких як Big River Steel (США), аналогічні спеціалісти керуються аналітичними даними тисяч датчиків для прогнозування і запобігання виникненню дефектів.

Інженер-металург (технолог прокатного стану): Ця посада залишається, проте її функціональне наповнення зазнає трансформації. Основний акцент переноситься на аналітичний супровід технологічного процесу та контроль якості. Завдяки цифровим інструментам технолог отримує доступ до актуальних даних про температурні та швидкісні параметри, може оперативно відстежувати вплив режимів прокатки на якість продукції, прогнозувати потенційні дефекти. Прийняття рішень тепер ґрунтується не на суб'єктивному досвіді, а на об'єктивних даних і рекомендаціях експертних систем. У разі виявлення відхилень технолог має змогу швидко коригувати параметри або ініціювати відповідні дії.

Зміна структури змінної бригади: Кожна зміна працюватиме в складі компактної, але висококваліфікованої команди. До її складу входитимуть: головний оператор, 1–2 помічники оператора (відповідальні за окремі вузли), слюсар-ремонтник (для оперативного усунення механічних несправностей), електрик або електронщик (обслуговування електроустаткування та систем керування). Завдяки автоматизації багатьох операцій чисельність зміни може бути скорочена приблизно вдвічі (наприклад, із 10 до 5–6 осіб), без втрати ефективності контролю над процесом.

Система контролю якості та відбраковування: Функціонування лабораторії технічного контролю (ОТК) буде тісно інтегроване з прокатним виробництвом. Дані з онлайн-систем (температура, швидкість, охолодження) поєднуються з результатами лабораторного контролю штаб, що дає змогу здійснювати оцінку якості ще під час прокатки. Програмне забезпечення (зокрема Danieli Q3) виконує автоматичний аналіз стану кожної штаби в реальному часі, попереджаючи про потенційні невідповідності. Контролери якості отримують сигнали заздалегідь, що дозволяє своєчасно вносити коригування в технологічний процес, запобігаючи утворенню браку та зменшуючи витрати на переробку. Робота технологів, операторів та ОТК відбувається у єдиному інформаційному середовищі.

Модернізація організації праці у цеху гарячої прокатки: Цех стане більш технологічним, з меншою кількістю персоналу, але вищим рівнем кваліфікації. Взаємодія набуде горизонтального характеру – представники технологічного, ремонтного, операційного та автоматизованого напрямів працюватимуть у складі однієї злагодженої команди, яка колективно відповідає за результати зміни. Начальник цеху зосередиться не на поточному вирішенні проблем, а на системному аналізі ключових показників (продуктивність, витрати металу, відсоток браку, простої) та реалізації стратегій з їх покращення.

Оптимізація чисельності персоналу та автоматизація.

Вплив цифровізації на структуру кадрів: Запровадження повної автоматизації процесів призведе до зменшення потреби у ряді робітничих професій та зміни чисельності персоналу. Завдяки усуненню рутинних, важких і ризикованих операцій підприємство зможе скоротити прямі трудовитрати, підвищити рівень безпеки та зменшити ризики, пов'язані з людським фактором. Водночас вивільнені ресурси можуть бути спрямовані на розвиток нових навичок та підвищення загальної продуктивності.

Прогнозоване скорочення персоналу: У порівнянні з поточними умовами, чисельність операторів і допоміжного персоналу на новому стані скоротиться приблизно вдвічі. Подібну динаміку демонструє європейська металургійна галузь, де цифрова трансформація та принципи Industry 4.0 зменшують потребу у фізичній праці, натомість зростає попит на фахівців із глибокими технічними знаннями – інженерів-автоматників, аналітиків, ІТ-спеціалістів. У дусі Lean-підходу – людей слід звільняти від повторюваних і малоефективних дій, щоб залучати їх до задач з вищою доданою вартістю.

Перерозподіл та перепрофілювання кадрів: Скорочення не має відбуватись одномоментно. Доцільно розробити поетапну стратегію кадрових змін:

Запровадити програми добровільного виходу на пенсію або дострокового завершення трудової діяльності для працівників передпенсійного віку, з належними компенсаціями.

Забезпечити перекваліфікацію працівників, що вивільняються, на нові або суміжні посади. Частина з них після навчання зможе працювати на новому обладнанні, інші — перейти в інші цехи.

Створити внутрішню програму стажувань і залучення до проектних робіт під час підготовки до запуску нового стану. Участь у проекті як експертів дозволить зберегти цінний досвід, підвищити мотивацію персоналу та забезпечити поступову адаптацію до нових умов.

Соціальна відповідальність і підтримка персоналу. Для збереження соціальної стабільності комбінат має спільно з відділом кадрів і профспілками розробити програму підтримки працівників, яких торкнуться зміни внаслідок оптимізації. До таких заходів можуть входити: вихідна допомога, сприяння у працевлаштуванні в інших підприємствах Групи «Метінвест» або на локальному ринку праці, участь у державних програмах перекваліфікації. Відкрите інформування, поетапність дій та системна комунікація дозволять уникнути соціальної напруги. Важливу роль відіграє управління змінами (Change Management): необхідно з самого початку пояснити працівникам мету трансформації, її переваги для підприємства та персоналу, а також надати можливості для професійного розвитку тим, хто готовий навчатися та адаптуватися до нових умов.

Підвищення продуктивності та ефективності. Завдяки цифровізації та автоматизації очікується суттєве зростання продуктивності праці — зокрема, у перерахунку на одного працівника. Водночас можливе скорочення непрямих функцій (наприклад, планувальників, обліковців), оскільки впровадження єдиної цифрової системи SAP дозволяє автоматизувати виробниче планування та звітність. Інтеграція прокатного стану з ERP-системою забезпечить синхронізацію даних у реальному часі, знімаючи потребу у ручному введенні. У підсумку комбінат набуде більш оптимізованої структури витрат на персонал, що особливо актуально в умовах посилення конкуренції та зовнішніх ризиків, зокрема воєнних.

Більш безпечні та престижні робочі місця. Зміни в чисельності торкнуться насамперед працівників, зайнятих на важких і небезпечних ділянках. Їхні функції замінюють автоматизовані системи. У той же час зберігаються та створюються нові робочі місця для операторів, інженерів, технічних фахівців — менш ризиковані, краще оплачувані, з вищими вимогами до кваліфікації. Це змінює професійну структуру комбінату: зменшується частка фізичної праці, а частка інтелектуальної, аналітичної роботи зростає. Такий перехід відповідає глобальним трендам: у сучасній металургії зменшується кількість працівників, але зростає потреба у їхній експертності, і підприємства інвестують у розвиток внутрішніх кадрів.

Оптимізація не як ціль, а як наслідок трансформації. Скорочення чисельності не є самоціллю, а результатом технологічного вдосконалення. Менеджмент комбінату має використати цю трансформацію для раціонального перегляду витрат, але водночас — діяти соціально відповідально. Звільнення працівників від рутинних операцій відкриває нові можливості: найбільш ініціативні та кваліфіковані фахівці можуть стати наставниками, операторами нових процесів або внутрішніми агентами змін, які підтримуватимуть колег у переході до цифрових технологій.

Підготовка персоналу до нових умов: навчання і перепідготовка

Навчання – ключовий елемент запуску нового виробництва. Успішне впровадження нового стану залежить не лише від технічного оснащення, а й від готовності персоналу ефективно працювати з новими системами з першого дня. Тому програма навчання має йти в ногу з усіма етапами проекту – від проектування до введення в експлуатацію. Пропонується поетапний підхід, що охоплює всі фази підготовки.

Поєднання технічних і «м'яких» навичок. Окрім технічної підготовки, важливо розвивати загальноділові компетенції: цифрову грамотність, ко-

мандну роботу, гнучкість до змін. Особлива увага має бути приділена керівникам середньої ланки — майстрам, начальникам змін. Для них корисними будуть тренінги з лідерства, комунікації та управління змінами, щоб вони могли ефективно підтримати свої колективи в умовах трансформації.

Зміна мислення та розуміння цілісного процесу. Працівники повинні не просто виконувати окремі дії, а розуміти логіку всього виробничого ланцюга, своє місце і вплив на результат. Такий підхід формує відповідальність і залученість персоналу до спільної мети.

Модель навчання «Train the Trainer». Для ефективного поширення нових знань доцільно застосувати підхід «Train the Trainer» — навчання внутрішніх наставників із числа досвідчених і проактивних працівників. Уже на етапі пуско-налагоджувальних робіт варто виявити лідерів, які швидко освоюють нові системи, та надати їм додаткову підготовку з методики навчання. У майбутньому ці фахівці стануть ключовими фігурами у професійній адаптації інших працівників. Це відповідає принципам методики TWI Job Instruction, за якою навчання здійснює досвідчений колега в системний спосіб, забезпечуючи швидке і якісне передавання знань.

Інвестиції в людей – основа цифрового прориву. Підготовка персоналу має тривати протягом усього життєвого циклу проекту. Жодна, навіть найсучасніша технологія, не покаже належного результату без кваліфікованого користувача. Інвестиції в навчання є критично важливими – саме персонал є головним рушієм змін і гарантом їх сталості.

На рисунку 3.1 зображено поетапне виконання завдань у період із серпня 2025 року по липень 2026 року на діаграмі Ганта. В таблиці 3.1 більш детально показано терміни за етапами.

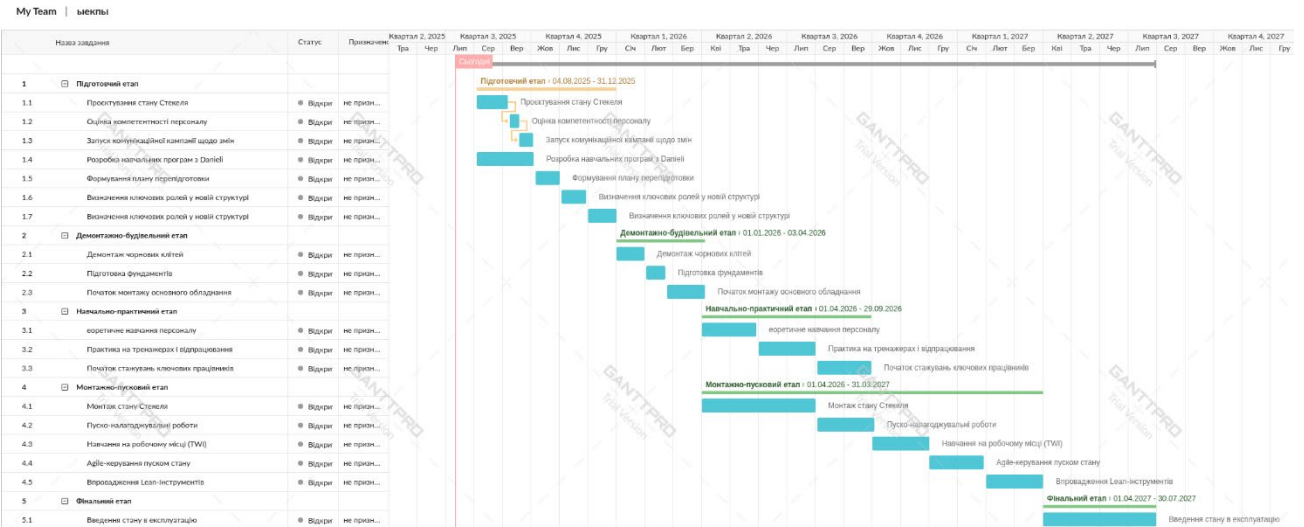


Рисунок 3.1 Діаграма Ганта

Таблиця 3.1 – Табличне представлення діаграми Ганта

Структура за	Назва завдання / Назва	Призначено	Планова дат	Планова дат	Крайній т	Прогрес (%)	Тривалість
1	Підготовчий етап		04.08.2025	31.12.2025		0	864
1.1	Проектування стану Стекеля		04.08.2025	05.09.2025		0	200
1.2	Оцінка компетентності персоналу		08.09.2025	17.09.2025		0	64
1.3	Запуск комунікаційної кампанії щодо змін		18.09.2025	02.10.2025		0	88
1.4	Розробка навчальних програм з Дашей		04.08.2025	03.10.2025		0	360
1.5	Формування плану перепідготовки		06.10.2025	31.10.2025		0	160
1.6	Визначення ключових ролей у новій структурі		03.11.2025	28.11.2025		0	160
1.7	Визначення ключових ролей у новій структурі		01.12.2025	31.12.2025		0	184
2	Демонтажно-будівельний етап		01.01.2026	03.04.2026		0	536
2.1	Демонтаж чорнових клітей		01.01.2026	30.01.2026		0	176
2.2	Підготовка фундаментів		02.02.2026	20.02.2026		0	120
2.3	Початок монтажу основного обл		23.02.2026	03.04.2026		0	240
3	Навчально-практичний етап		01.04.2026	29.09.2026		0	1040
3.1	еоретичне навчання персоналу		01.04.2026	28.05.2026		0	336
3.2	Практика на тренажерах і відпра		01.06.2026	31.07.2026		0	360
3.3	Початок стажувань ключових пр		03.08.2026	29.09.2026		0	336
4	Монтажно-пусковий етап		01.04.2026	31.03.2027		0	2088
4.1	Монтаж стану Стекеля		01.04.2026	31.07.2026		0	704
4.2	Пуско-налагоджувальні роботи		03.08.2026	02.10.2026		0	360
4.3	Навчання на робочому місці (TW		01.10.2026	30.11.2026		0	344
4.4	Agile-керування пуском стану		01.12.2026	28.01.2027		0	344
4.5	Впровадження Lean-інструменті		01.02.2027	31.03.2027		0	344
5	Фінальний етап		01.04.2027	30.07.2027		0	696
5.1	Введення стану в експлуатацію		01.04.2027	30.07.2027		0	696

Основні етапи проєкту модернізації стану 1680:

1 Підготовчий етап:

Проєктування стану Стекеля.

Оцінка компетентності персоналу.

Запуск комунікаційної кампанії щодо змін.

Розробка навчальних програм з Danieli.

Формування плану перепідготовки.

Визначення ключових ролей у новій структурі.

2 Демонтажно-будівельний етап.

Демонтаж чорнових клітей.

Підготовка фундаментів.

Початок монтажу основного обладнання.

3 Навчально-практичний етап.

Теоретичне навчання персоналу.

Практика на тренажерах і відпрацювання.

Початок стажувань ключових працівників.

4 Монтажно-пусковий етап.

Монтаж стану Стекеля.

Пуско-налагоджувальні роботи.

Навчання на робочому місці (TWI).

Agile-керування пуском стану.

Впровадження Lean-інструментів.

5 Фінальний етап.

Введення стану в експлуатацію.

Початок: вересень 2025. Завершення: липень 2026 Загальна тривалість: 1 рік (12 місяців).

4. СКЛАД ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОКАТКИ НА СТАНІ 1680

4.1 Технологія прокатки

Посадка слябів у методичні печі проводиться відповідно до графіка прокатки. Сляби надходять безпосередньо після прокатки на слябінгу або зі складу слябів на верхній пічний рольганг, а звідси – методичні печі. Просування слябів через печі провадиться за допомогою штовхачів.

Спочатку (у методичній зоні) нагрівання здійснюється за рахунок відпрацьованих газів. У міру просування слябів через печі їхня температура поступово збільшується. Швидкість просування слябів у печі, температура печі тощо. задаються нагрівачами печей за допомогою контрольно-вимірювальних приладів.

На кінцевому етапі нагріву сляби проходять через томільну зону, де відбувається вирівнювання температури перерізу металу. Нагріті сляби подають на нижній пічний рольганг, а звідси – на стан.

У чорновій групі стану прокатка проводиться у двухвалковому окалиноломачі та стані Стекеля в реверсивному режимі.

Чорновий і чистовий окалиноломателі «зламують» окалину, яка потім видаляється водою високого тиску. Крім того, чорновий окалиноломатель використовується також і як робоча кліть, виробляючи обтискання до 25%.

Кліті з вертикальними валками повинні забезпечити зняття розширень, що отримується при деформації розкату горизонтальними валками. Обтискання у вертикальних валках 15 – 25мм.

Розкат після прокатки в чорновій групі надходить до летючих ножиць для обрізки переднього і заднього кінців, потім захоплюється валками чистового окалиноломателя і першої кліті чистової групи (кліть №5) і далі - всіма іншими клітями.

В таблиці 4.1 надано сортамент стану, а в табл. 4.1...4.2 – основні характеристики обладнання.

Таблиця 4.1 - Сортамент продукції НТЛС 1680

Група сталі	Товщина по- лоси, мм	Ширина полоси, мм
Напівспокійні Кіплячі Нестаріючі (08Ю)	1,5	970-1030
	1,8-1,9	970-1100
	2,0-2,4	1000-1250
	2,5	860-1250
	2,6-2,9	860-1360
	3,0-8,0	860-1500
	8,1-10	1000-1520
Спокійні Конструкційні (А36)	2,0-2,4	1000
	2,5-3,1	1000-1250
	3,0-6,0	1170-1260
	3,2-10,0	860-1400
Низьколеговані	2,0-2,9	970-1000
	3,0-3,9	970-1250
	4,0-10,0	970-1400
Високовуглецеві (45,55)	2,7-2,9	970-1050
	2,7-3,9	970-1080
	3,0-6,0	970-1250

Також є можливість прокатувати товстий лист товщиною 8-120мм, шириною 1000-1500 мм та довжиною 2000-9000 мм.

Таблиця 4.2 - Коротка технічна характеристики устаткування чисто-
вої групи стану 1680

Найменування параметру	Технічні дані по клітках						
	окаиноло-мач	5	6	7	8	9	10
Номінальна потужність двигуна, кВт	3,65	4000 / 5000	4000 / 5000	4000 / 5000	4000 / 5000	4000 / 5000	4000 / 5000
Кількість оборотів двигуна, об/хв	250-750	270-550	270-550	270-550	270-550	270-550	270-550
Передавальне число редуктора	19,55	7,24	4,67	2,75	2	1,56	1,41
Швидкість прокатки, м/с	0,396-1,23	1,16-2,2	1,89-3,42	3,3-5,78	4,16-7,93	5,35-10,14	5,9-11,25
Швидкість обетрання валків, об/хв	12,9-38,6	37,4-69	57,8-107	98,2-182	135-250	173-320	191-354
Діаметр робочих валків	900-810	620-580	620-580	620-580	620-580	620-580	620-580
Довжина бочки валків, мм	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680
Діаметр опорних валків		1170-1240	1240-1170	1240-1170	1240-1170	1240-1170	1240-1170
Матеріал робочих валків	Сталь 50ХН	Чавун ЛПХН-63	Чавун ЛПХН-63	Чавун ЛПХН-63	Чавун ЛПХН-63	Чавун ЛПХН-63	Чавун ЛПХН-63
Матеріал опорних валків		Сталь 90ХФ	Сталь 90ХФ	Сталь 90ХФ	Сталь 90ХФ	Сталь 90ХФ	Сталь 90ХФ
Відстань до наступної кліті, мм	6190	5840	5840	5840	5840	5840	5840

Коротка технічна характеристика летючих ножиць для обрізки переднього та заднього кінця розкатів перед чистовою групою:

Тип ножиць – барабанні;

Переріз розрізаємої смуги – (18-28)х(600-1550)

Температура розрізаємої смуги не менше - 900°C

Довжина ножів – 1700 мм

Величина відрізаємоїх кінців розкату – 100-300 мм

Число обертів барабана – 12,21-27,4 об/хв

Максимальна швидкість руху розкатів при різанні – 2,2 м/с

4.2 Конструктивні особливості стану Стекеля

На станах Стекеля основною відмінністю є реверсивна прокатка в робочій кліті, по обидва боки якої знаходяться пічні моталки, для підтримання температури та компактного розміщення металу поряд з кліттю при прокатці. На двохклітьових станах ця кліть є чистовою, а на одноклітьових та ЛПМ вона одна - реверсивна універсальна або комбінація горизонтальної кліті з вертикальною, які теж розглядають як одну універсальну. В іншому технологічний процес в цілому подібний до інших ШСГП. У разі прокатки товстих листів стан Стекеля працює як двохклітьовий або одноклітьовий ТЛС без задіяння пічних моталок.

Загальний вид стану представлений на рис. 4.1. Загальні види намотувального пристрою в печах – на рис. 4.2.

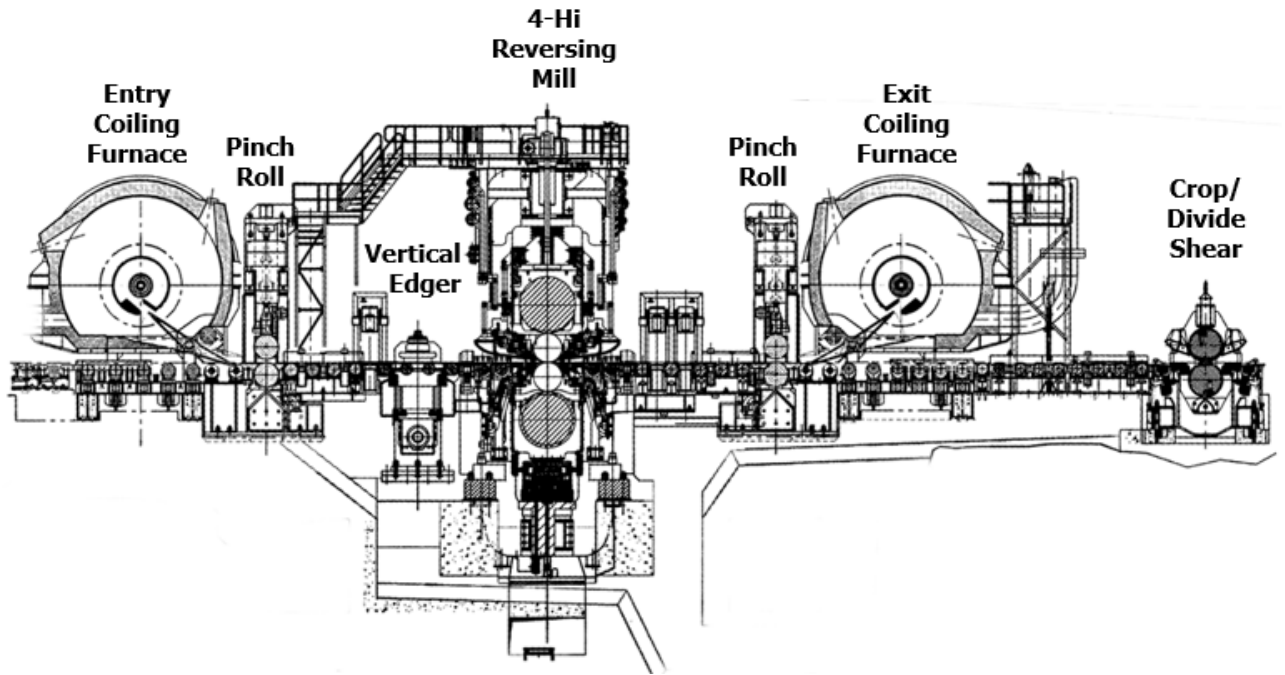
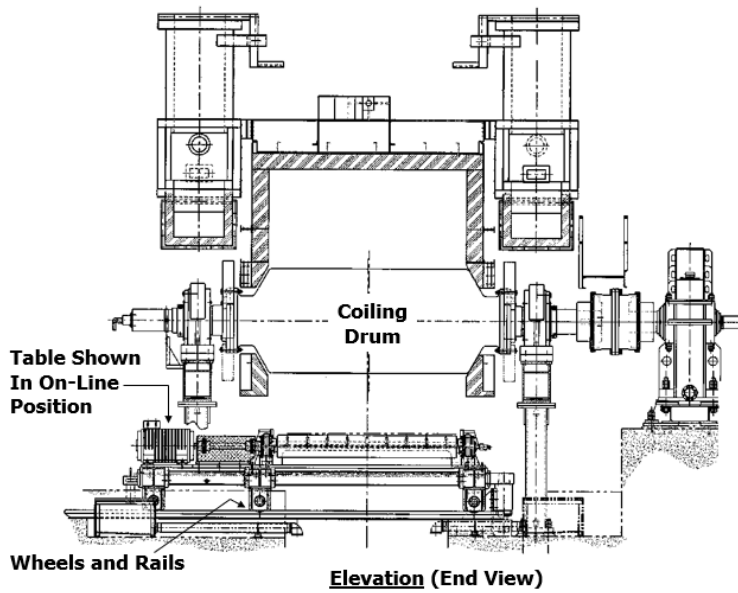


Рисунок 4.1 – Загальний вид стану Стелея



Location: Entry & Exit Sides of Reversing Mill
Type: Closed Bottom
Temperature: 1200°C
Combustion: Mixed Gas Fired
 Low Nox Burners
 Recuperators
Shell: Reinforced Stainless Steel
 Fiber and Castable Insulation
 Skid Bars
Threading Gates: One Lower
 Hydraulic Actuated
Deflector Roll: Direct Driven
 Water Cooled

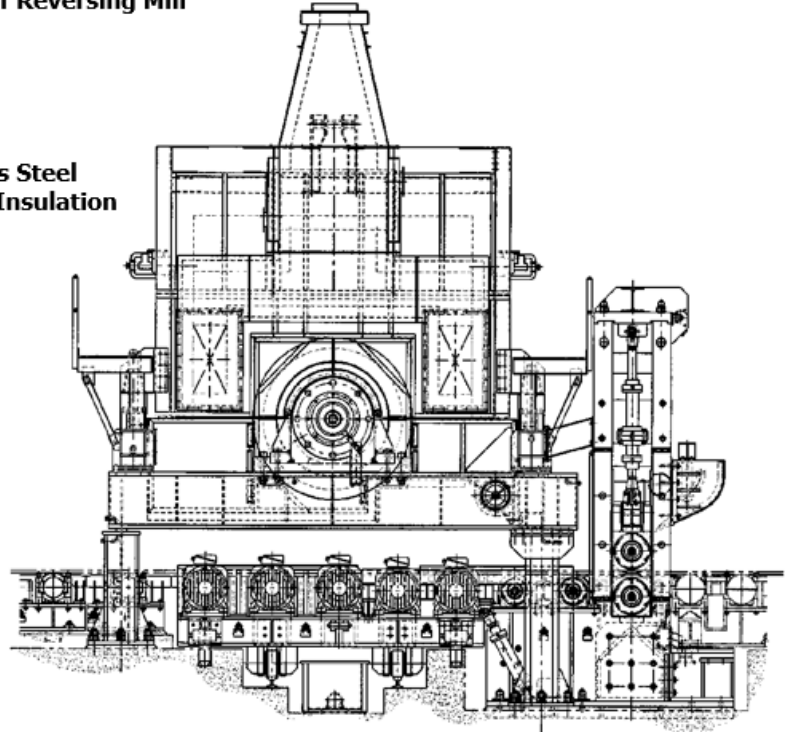


Рисунок 4.2 – Загальний вид пристрою намотувального в печах

4.3 Вертикальні кліті

Від'ємною рисою робочої кліті стану Стеклея є наявність вертикальної кліті. Загальний вид якої представлений на рис. 4.3.

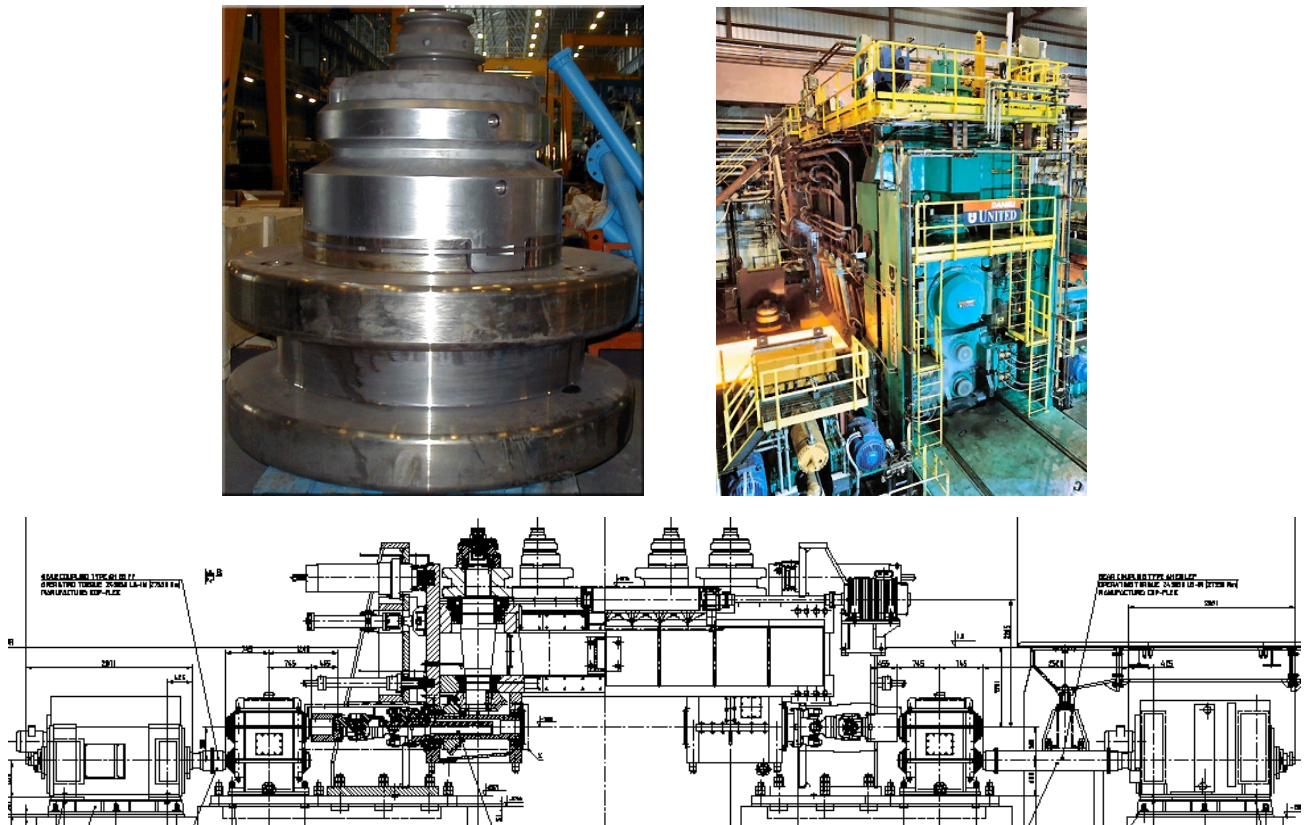


Рисунок 4.3 – Загальний вид вертикальної кліті

Вертикальні або еджерні валки є невід'ємною частиною сучасних листопркатних клітей. Обтиснення по бічних кромках дозволяє покращити геометрію поперечного перерізу прокату і знизити бічну обрізь. Формоутворення при вертикальній прокатці достатньо повно вивчено [1, 15] і дозволяє визначити розміри стовщення прокату в зоні деформації. Також Потапкіним В.Ф. та Бобухом І.О. розроблені математичні моделі для визначення енергосилових параметрів процесу. Але всі відомі роботи основані

на використанні графаналітичних методів і мають точність, що не задовольняє сучасним вимогам з технології. Також в роботах не враховується деформація металу, а точніше форма прокату після прокатки в горизонтальних валках, що також вносить неточності в розрахунок. Недостатня точність розрахунку і неможливість врахування попередньої деформації робить актуальним подальше дослідження прокатки в еджерних валках, зокрема на основі скінченно-елементних моделей [16...18].

Метою даної роботи є визначення впливу величини обтиснення на енергосилові параметри процесу прокатки листового металопрокату на основі регресійних моделей, отриманих на результатах скінченно-елементного моделювання.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені та вирішені наступні завдання: створення двовимірної моделі процесу прокатки листового прокату на основі використання методу скінченних елементів; на основі реалізації розробленої скінченно-елементної моделі встановити вплив обтиснення на енергосилові параметри процесу прокатки; на основі отриманих результатів скінченно-елементної моделі розробити регресійну модель.

В якості прикладу реалізації розробленої математичної моделі було розглянуто прокатку в еджерних (вертикальних) валках діаметром 800 мм листів шириною 1550 мм та товщиною 100 мм. Обтиснення варіювали від 4 мм до 12 мм. Отримані поля розподілів еквівалентних напружень представлені на рис. 4.4.

З отриманих полів було обрано значення нормальних контактних, нормальних та нормальних дотичних напружень. Нормальні контактні та нормальні напруження потрібні були для визначення механічних властивостей матеріалу під час прокатки. Розподіл дотичних контактних напружень потрібен для визначення за зміною їх знаку координати нейтрального перерізу

для отримання величини моменту прокатки. Силу та момент прокатки визначали за середнім значенням по часу реакції довідкової точки (центр обертання) валка.

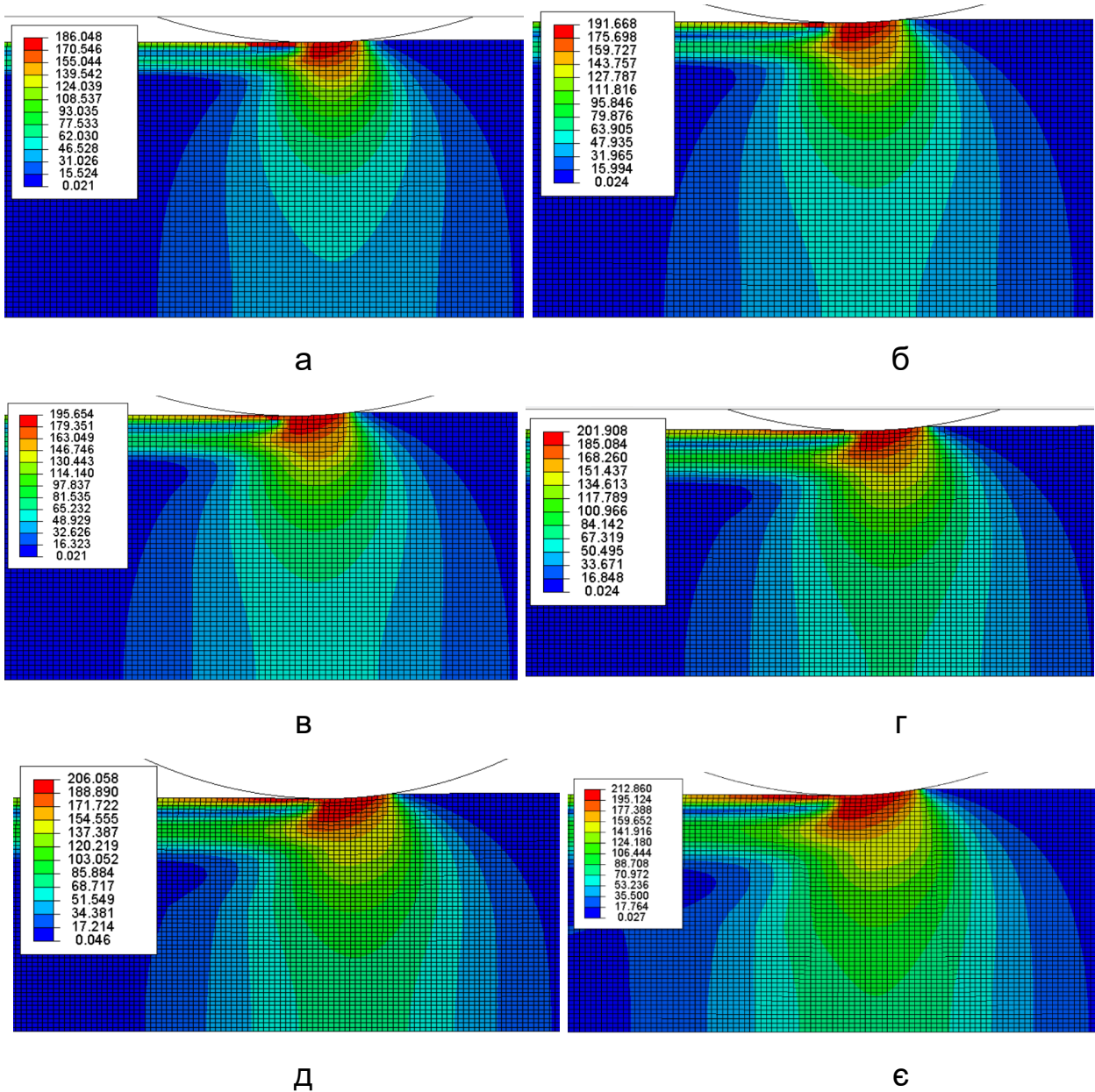


Рисунок 4.4 – Поля розподілів еквівалентних напружень при різних обтисненнях: а – 4 мм; б – 5 мм; в – 6 мм; г – 8 мм; д – 10 мм; е – 12 мм

Отримані результати залежності коефіцієнта напруженого стану та коефіцієнту плеча в залежності від питомого показника з відношення довжини осередку деформації до середньої товщини прокату (L/h_{cp}) представлені на рис. 4.5. Там же наведені отримані поліноміальні описи даних залежностей, які можна використовувати при моделюванні процесів прокатки в еджерних валках.

Отримані результати підтверджують достатню достовірність отриманих регресійних залежностей і її можливість використання при розробці інженерних моделей процесів прокатки в еджерних валках, що дозволить реалізацію автоматизованого проектування режимів прокатки в режимі «реального часу» як на діючому обладнанні, так й при проектуванні нового.

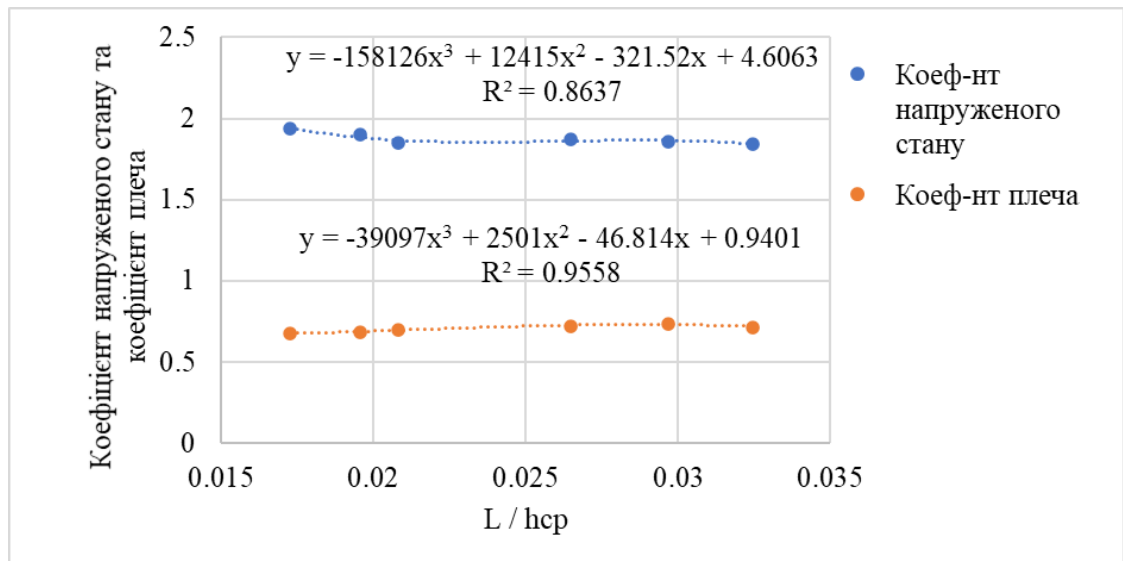


Рисунок 4.5 – Залежності коефіцієнта напруженого стану та коефіцієнту плеча в залежності від питомого показника з відношення довжини осередку деформації до середньої товщини прокату (L/h_{cp})

У зв'язку з прийнятими припущеннями ця модель має недоліки при використанні валків з конічною бочкою, так як деформація в цьому випадку

буде нерівномірною по товщині прокату. В цьому випадку доцільно використовувати тривимірну модель, схема якої представлена на рис. 4.6.

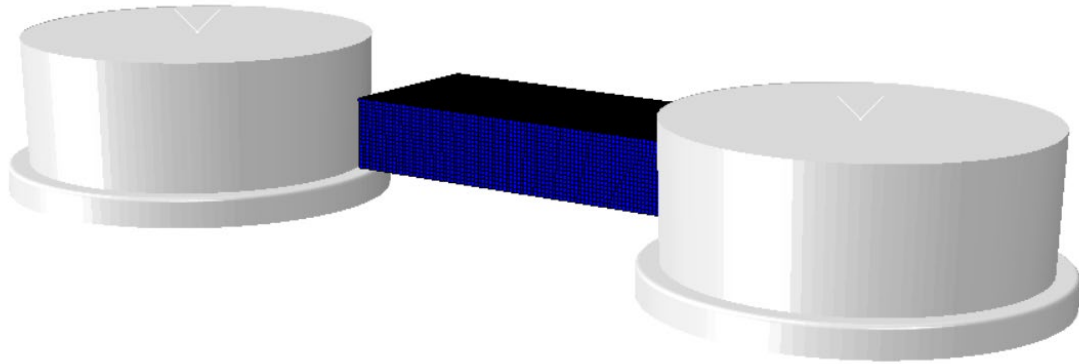


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема 3D-моделі прокатки в еджерних валках

Аналіз результатів розрахунку показує нерівномірність деформації (рис. 4.7) по товщині прокату, а також наявність дефекту «собача кістка» [1], що потрібно враховувати при визначенні енергосилових параметрів процесу.

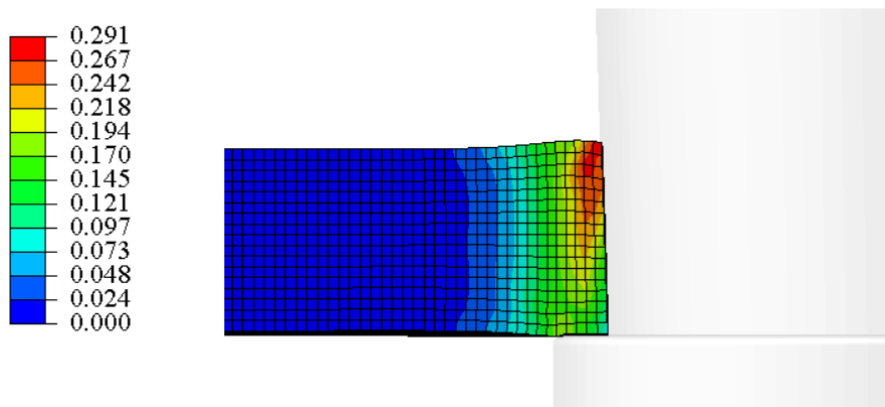


Рисунок 4.7 – Результати розрахунку на основі 3D-моделі прокатки в еджерних валках (поле еквівалентної пластичної деформації)

Однак і ця модель має недолік, який пов'язаний з припущенням про прямокутну форму заготовку, що не відповідає дійсності при багатопрхідній схемі. Для цього потрібно враховувати прокатку в горизонтальних валках.

На рис. 4.8 представлена розрахункова схема 3D-моделі прокатки на стані з еджерними валками.

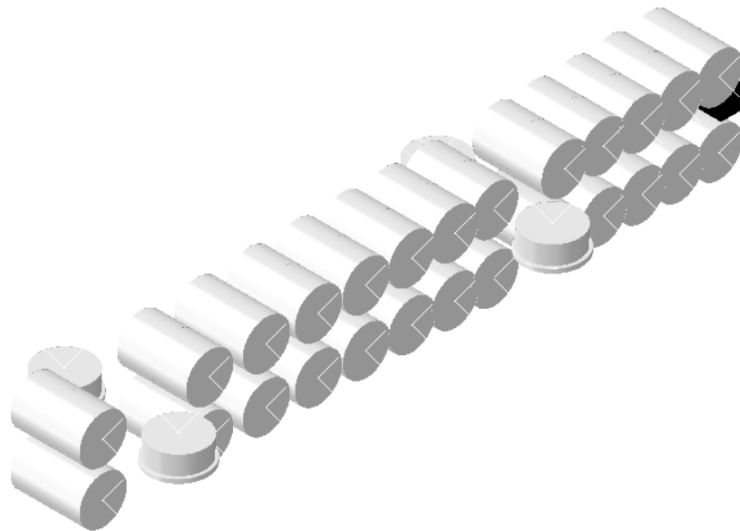
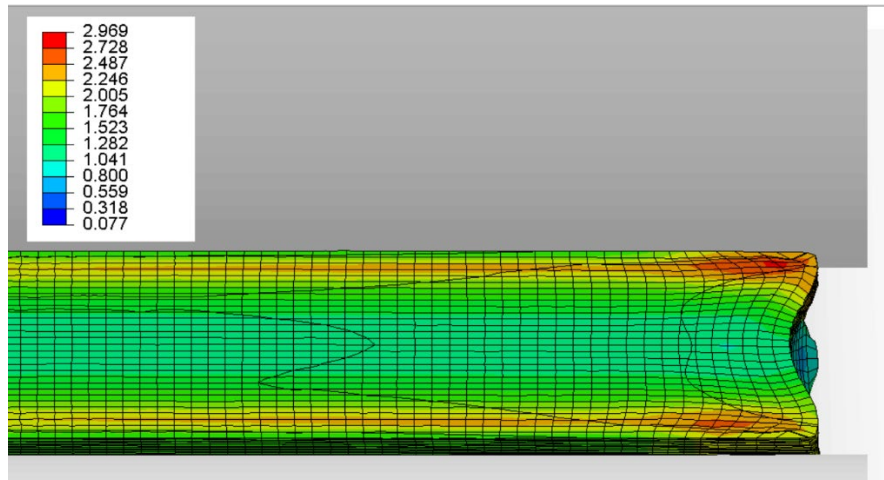


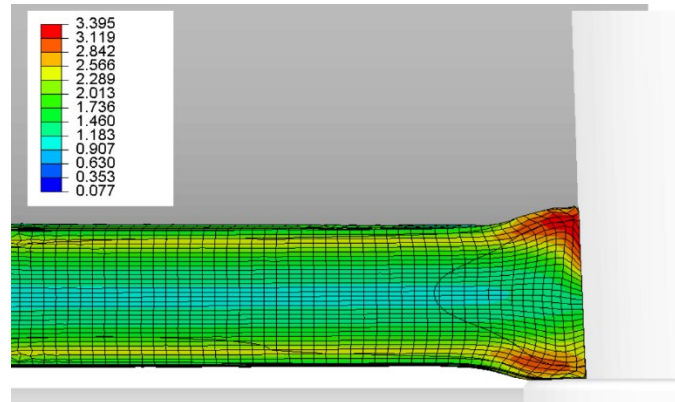
Рисунок 4.8 – Розрахункова схема 3D-моделі прокатки на стані з еджерними валками

Форма поперечного перерізу після прокатки має С-подібну форму по бічних крайках (рис. 4.9), що дуже сильно впливає на напружено-деформований стан при прокатці в вертикальних валках, а дефект «собача кістка» впливає на розподіл деформацій при подальшій прокатці в горизонтальній кліті.

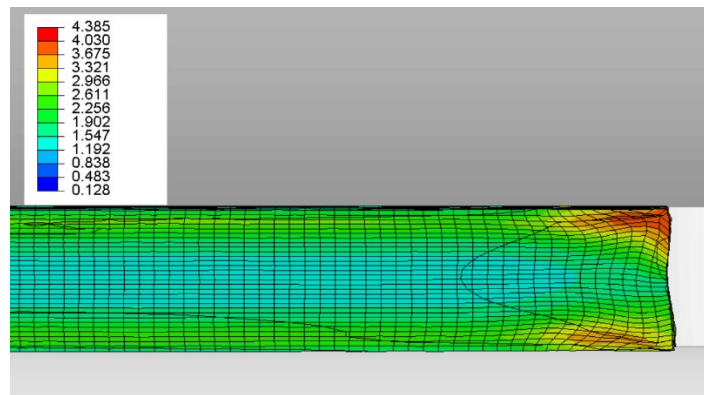
В якості прикладу було проаналізовано прокатку листа товщиною 300 мм до 95 мм, шириною 1000 мм. Увігнутість кромки після 5-го проходу склала 17 мм, висота собачої кістки після прокатки в вертикальній кліті 18.5 мм, увігнутість кромки після 13-го проходу – 0,73 мм.



а



б



в

Рисунок 4.9 – Форма перерізу заготовки та поля розподілу еквівалентних пластичних деформацій після прокатки в горизонтальних валках (а), після прокатки в вертикальних валках (б) та після калібруючої прокатки в горизонтальних валках (в)

Розроблені скінченно-елементні моделі процесу прокатки в еджерних валках мають різну складність: двовимірною моделлю має невеликий час розрахунку і доцільно для використання при прокатці в валках з гладкою бочкою, тривимірною моделлю дає найбільш повну картину і потребує врахування форми поперечного перерізу вхідної заготовки для більш точного прогнозу напружено-деформованого стану. Дефекти форми бічної кромки можуть сягати великих величин і для отримання якісної кромки їх потрібно враховувати при визначенні обтиснень в еджерних валках, також потрібно аналізувати подальші проходи для більш точного прогнозу форми листа.

4.4 Охорона праці та захист навколишнього середовища в умовах підприємства ПАТ «Запоріжсталь».

У всіх діючих цехах повинні бути розроблені і затверджені в установленому порядку наступні інструкції:

- з охорони праці для працівників кожної професії і за видами робіт;
- технологічні;
- з технічного обслуговування і експлуатації обладнання, в тому числі електрообладнання;
- з ремонту та очищення устаткування;
- з пожежної безпеки;
- по безпечній експлуатації і ремонту об'єктів газового господарства .з - обов'язковою схемою міжцехових газопроводів і розподілом їх між цехами [19].

Начальник цеху гарячої прокатки, старші майстри, майстри, змінні майстри забезпечують безпечне виконання робіт та дотримання вимог законодавчих та нормативно-правових актів з охорони праці:

- Закону України "Про охорону праці";

- Закону України „Про охорону атмосферного повітря”;
- Кодексу законів про працю України;
- Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»;
- Кардинальних правил охорони праці та промислової безпеки ПАТ «Запоріжсталь»;
- «Положення про систему управління охороною праці у ПАТ «Запоріжсталь»;
- «Порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №337 від 17.04.2019р);
- НПАОП 27.0-1.01-08 «Правила охорони праці у металургійній промисловості»;
- НПАОП 27.1-1.04-09 «Правила охорони праці у прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу»;
- НПАОП 27.5-6.01-79 «Бірочна система на підприємствах чорної металургії. Основні положення. Порядок застосування. ОСТ 14.55-79»;
- НПАОП 27.1-1.06-08 "Правила охорони праці під час ремонту обладнання на підприємствах чорної металургії";
- НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»;
- НПАОП 0.00-1.68-13 "Правила охорони праці під час холодної обробки металів";
- НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підйомних пристроїв та відповідного обладнання»;

- НПАОП 27.0-4.03-19 «Положення про застосування нарядів-допусків під час виконання робіт підвищеної небезпеки у металургійній промисловості та залізородних гірничо-збагачувальних комбінатах»;
- ДСП 3.3.1.038-99 «Підприємства чорної металургії. Державні санітарні правила»;
- Закону України „Про охорону навколишнього середовища”;
- Водного кодексу України, затв. 06.06.1995р.;
- Санітарних правил та норм охорони поверхневих вод від забруднень Сан-ПіН №4630-88, затв. МОЗ СРСР 4.07.1988р.;
- Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами, затверджених постановою КМУ №465 від 25.03.1995р.;
- Закон України "Про управління відходами".
- Регламент щодо поводження з відходами виробництва ПАТ «Запоріжсталь», затв. Наказом №586 від 14.09.2022.
- Наказ від 14.07.2020 № 1596 "Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних та біологічних речовин у повітрі робочої зони";
- ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»;
- ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;
- ДБН В.2.5:28-2018 «Природне та штучне освітлення»;
- ДСанПіН 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів»;
- ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

У ході технологічних процесів з прокатування слябів зі злитків на стані Слябінг 1150, зачистки, маркування, складування слябів у відділенні

з виробництва слябів і з прокатки гарячекатаних смуг на НТЛС 1680 в ЦГП в повітря робочої зони виділяються шкідливі речовини, зазначені в реєстрі технологічних аспектів»

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати встановлених норм (ГДК) згідно з наказом від 14.07.2020 № 1596 "Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних та біологічних речовин у повітрі робочої зони".

Рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати ПДК згідно з ДСН 3.3.6.037-99. Параметри виробничого мікроклімату повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99.

Контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони, пилу, параметрів мікроклімату, рівня шуму здійснюється на робочих місцях управлінням охорони навколишнього середовища [19].

ВИСНОВКИ

Доцільність модернізації стану гарячої прокатки 1680 ПАТ «Запоріжсталь» є обґрунтованим рішенням, яке поєднує технічну доцільність, економічну ефективність та відповідає довгостроковим цілям розвитку підприємства і всієї Групи «Метінвест».

В роботі запропоновано рішення заміни чорнової групи стану на реверсивний стан з намотувачами в печах (стан Стекеля). Це рішення було обґрунтовано розрахунками технологічних режимів та продуктивності стану, яка задовольняє потреби підприємства. Окрім цього впровадження проєкту надає можливість розширити сортамент продукції на тонкі штаби товщиною 1,5 мм без втрати ширини рулону. Також розглянуто подальше удосконалення виробництва, яке передбачає на другому етапі заміни намотувальних пристроїв і транспортувальних механізмів з метою збільшення маси рулонів до 30 тон, що узгоджується з сучасними європейськими стандартами. На третьому етапі передбачено впровадження тонкослябової МБЛЗ, тобто перетворення стану на ливарно-прокатний модуль, що буде відповідати вимогам по якості штаб та хімічному складу матеріалу.

Стратегічна необхідність модернізації обумовлена як втратою потужностей з виробництва гарячекатаних рулонів на ММКІ внаслідок бойових дій.

У рамках реалізації проєкту модернізації виробництва було обґрунтовано потребу в оновленні чинної моделі управління через запровадження сучасної системи проєктного менеджменту. Такий підхід став основою для своєчасної, ефективною та скоординованою реалізації технічного переоснащення.

Переорієнтація на цифрову та гнучку модель управління дала змогу оперативно приймати рішення на основі актуальних даних, інтегрувати технології в режимі реального часу та забезпечити прозорість на всіх етапах модернізації. Це особливо важливо в умовах складної міжфункціональної взаємодії між підрозділами інжинірингу, виробництва, фінансів, IT та HR.

Створення офісу управління проектами (PMO) забезпечило централизовану координацію робіт, контроль за дотриманням термінів, бюджету та обсягів виконання. PMO стало центром управління змінами, відповідальним за виявлення відхилень, підготовку звітності для керівництва і підтримку комунікації з усіма зацікавленими сторонами.

Застосування методологій Agile, Lean і Kaizen надало гнучкості в управлінні проектом. Agile-підходи дозволили розбити роботу на ітерації, швидко реагувати на зміни й адаптувати технічні рішення. Lean сприяв виявленню та усуненню втрат, оптимізації логістичних процесів і скороченню тривалості окремих етапів. Водночас участь працівників у ініціативах Kaizen сприяла формуванню культури постійного вдосконалення.

Система управління ризиками була інтегрована у всі стадії проекту — від проектування до монтажу та запуску обладнання. Це дало змогу завчасно виявляти ключові ризики (наприклад, затримки постачання, технічні проблеми, опір змінам серед персоналу, зовнішні виклики) та розробляти відповідні заходи реагування. Постійне оновлення карти ризиків забезпечувало оперативну адаптацію планів.

Кадрова трансформація супроводжувала управлінські зміни: були розроблені програми навчання для персоналу щодо нових управлінських систем, цифрових інструментів і принципів гнучкої організації праці. Ключові ролі у структурі були переосмислені, а розподіл відповідальності — оновлений згідно з новими завданнями проекту.

Узгодженість із корпоративною стратегією Групи «Метінвест» свідчить про те, що нова система управління не є тимчасовим рішенням, а вбудована у довгострокову трансформацію всієї виробничої системи. Зокрема, підходи до проєктного менеджменту, цифровізація, орієнтація на ESG-принципи та розвиток людського капіталу повністю відповідають стратегічному курсу Групи на модернізацію та сталий розвиток.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ginzburg V. B., Ballas R. Flat rolling fundamentals. CRC Press, 2000. 850 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781482277357>
2. Курпе О. Розвиток наукових основ термомеханічної прокатки плоскої металопродукції з отриманням підвищеного рівня механічних властивостей : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05. Маріуполь, 2020. 534 с.
3. Офіційний сайт ПАТ «Запоріжсталь» URL: <https://zaporizhstal.com/>.
4. Clarity Project. URL: <https://clarity-project.info/smida/00191230?year=2020>
5. Кириченко О. Г. Розвиток металургійної смарт-промисловості : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти магістра всіх спеціальностей. Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 103 с.
6. Я. В. Мельник, аспірант кафедри міжнародного менеджменту, ДВНЗ "Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана". Енергозберігаючі технології як основа для підвищення конкурентоспроможності гірничо-металургійної продукції. УДК 339.137.2
7. Звіт зі сталого розвитку 2020 URL: https://metinvestholding.com/Content/Entities/Report/29/ua/Metinvest_2020_SR.pdf
8. Портал metinvest.media URL: <https://metinvest.media/ru/page/metinvest-podtverdil-sootvetstviemezhdunarodnym-standartam> .
9. Производство горячекатаных полос на непрерывном тонколистовом стане горячей прокатки 1680. Технологическая инструкция. Запорожье. 2023.
10. Курпе О. Г., Кухар В. В. Модернізація виробництв та кращі практики термомеханічної прокатки плоскої металопродукції : монографія. ТОВ

«Технічний університет «Метінвест Політехніка». Одеса : Олді+, 2025. 358 с.

11. Реконструкція стану 1680 г.п. ПАТ «Запоріжсталь» загальна концепція. Технічна частина 252.В.001-03. АО НКМЗ Краматорськ 2003.

12. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/> (дата звернення: 09.05.2025).

13. NTT Data (U.S.). URL: <https://us.nttdata.com/> (дата звернення: 17.05.2025).

14. Бережна О. В., Малигіна С. В., Грибков Е. П. Системи автоматизованого проектування : навч. посіб. Краматорськ:ДДМА,2020 .-96 с.

15 Liu Y.M., Hao P.J., Wang T. *et al.* Mathematical model for vertical rolling deformation based on energy method. *Int J Adv Manuf Technol.* 2020. 107. P. 875–883. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05094-3>

16 Shangwu Xiong, Rodrigues J.M.C., Martins P.A.F. Three-dimensional modelling of the vertical–horizontal rolling process. *Finite Elements in Analysis and Design.* 2003. Vol. 39, Issue 11. P. 1023-1037. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-874X\(02\)00154-3](https://doi.org/10.1016/S0168-874X(02)00154-3)

17 Forouzan M.R., Salehi I., Adibi-sedeh A. H. A comparative study of slab deformation under heavy width reduction by sizing press and vertical rolling using FE analysis. *Journal of Materials Processing Technology.* 2009. Vol. 209, Issue 2. P. 728-736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.063>

18 Yu H., Liu X., Zhao X., Kusaba Y. FEM analysis for V–H rolling process by updating geometric method. *Journal of Materials Processing Technology.* 2006. Vol. 180, Issues 1–3. P. 323-327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.07.012>

19 Інструкція з охорони праці ПАТ «Запоріжсталь» 2023.