

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Розробка алгоритмів проектування параметрів і режимів
роботи обладнання листопрокатних цехів**

Виконав: студент II курсу, групи 8.1362-омт
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

О. В. Набунський

(ініціали та прізвище)

Керівник

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

Рецензент

зав. каф. МТЕТБ, д.т.н., проф. Ю.О. Белоконь

Запоріжжя – 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 08 ” 09 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Набунському Олексію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) **Розробка алгоритмів проєктування параметрів і режимів роботи обладнання листопрокатних цехів**

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” 10. 23 р. № 1581-с

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проєкти, технічна документація ЦХП-1 і ЦГПТЛ ПАТ «Запоріжсталь», літературні джерела, інтернет-ресурси

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Алгоритми проєктування прокатних цехів. Особливості роботи ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», прокатка штаб на НСХП-1680. Розрахунок п'ятироlikової правильної машини. Економічна оцінка проєктних рішень. Ефективність модернізації діючого цеху.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка алгоритмів проектування параметрів і режимів роботи обладнання листопрокатних цехів, які забезпечують отримання мінімально необхідних і достатніх параметрів системи для виконання заданої виробничої програми, економію ресурсів при їх реалізації.

Встановити алгоритми, що реалізують наступний функціональний підхід до проектування прокатного цеху – від виробничої програми до схеми технологічного процесу і від неї до параметрів устаткування і виробничих ділянок.

Виконати розрахунки параметрів виправлення листа на п'ятироlikовій правильній машині. Виконати розрахунки калькуляції собівартості продукції цеху холодної прокатки до і після модернізації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення плану цеху холодної прокатки штаб, компоновання відділення ковакових печей, компоновання лінії кліті холодної і гарячої прокатки штаб.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 08.09.2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	12.09.23 – 13.10.23	виконав
2.	Розділи 2 - 4	17.10.23 – 17.11.23	виконав
3.	Економіка виробництва (розділ 5), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	21.11.23 – 08.12.23	виконав

Студент

(підпис)

Набунський О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Проценко В.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

Бєлоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: 111 с., 18 рис., 17 табл.; використано літературних джерела 22.

Об'єкт дослідження – обладнання листопрокатних цехів, зокрема ПАТ «Запоріжсталь», алгоритми проектування параметрів і режимів роботи прокатних станів, листопробильні машини, економіка виробництва.

Мета магістерської роботи – розробка алгоритмів проектування параметрів і режимів роботи обладнання листопрокатних цехів, які забезпечують отримання мінімально необхідних і достатніх параметрів системи для виконання заданої виробничої програми, економію ресурсів при їх реалізації.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмних комплексах Mathcad Prime 9, Excel. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020.

Отримані результати і їх новизна – розглянуто 4 алгоритми, що реалізують наступний функціональний підхід до проектування прокатного цеху – від виробничої програми до схеми технологічного процесу і від неї до параметрів устаткування і виробничих ділянок. Методи і алгоритми проектування прокатних цехів актуальні при розробці систем автоматизованого проектування САПР.

Виконано розрахунки параметрів виправлення листа на п'ятироlikовій правильній машині, що дозволяє прогнозувати ефективність процесу.

Виконано розрахунки калькуляції собівартості продукції цеху холодної прокатки до і після модернізації, наведено підсумкові економічні показники модернізації цеху холодної прокатки за трьома варіантами.

Отримані результати рекомендуються для впровадження у ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» з метою, підвищення якості продукції, зменшення енерговитрат і втрат металу.

ПРОЕКТУВАННЯ, АЛГОРИТМ, ПРОКАТКА, ВИРОБНИЧА ПРОГРАМА, ТРАВЛЕННЯ, КИСЛОТА, СОБІВАРТІСТЬ, ЛІМІТНА ЦІНА.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АЛГОРИТМИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОКАТНИХ ЦЕХІВ, ПРОКАТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ	7
1.1 Сортамент, склад та завантаження обладнання цеху	7
1.2 Постановка задачі проектування обладнання. Вибір параметрів технічного рівня та розрахункових профілів	21
1.3 Розміри валків	26
1.4 Розрахунок граничних вільних режимів та пропускної спроможності обробних машин	31
1.5 Спільне проектування параметрів головних приводів та вільних режимів роботи машин	39
1.6 Склади металу	45
1.7 Планування і конфігурація прокатного цеху	56
2 ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ, СКЛАД ОБЛАДНАННЯ І СОРТАМЕНТ ПРОДУКЦІЇ ЦХП-1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ».....	61
3 ПРОКАТКА ШТАБ НА НЕПЕРЕРВНОМУ СТАНІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ 1680 ЦХП–1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»	68
3.1 Характеристика обладнання і технологія прокатки	68
4 ВИРОБНИЦТВО ЛИСТА З ГАРЯЧЕКАТАНОГО РУЛОНУ НА ЛІНІЇ ПОПЕРЕЧНОГО РІЗАННЯ	79
4.1 Характеристика обладнання лінії поперечного різання	79
4.2 Виправлення листа на п’ятироlikовій правильній машині	81
4.3 Економічна оцінка проектних рішень	88
4.3.1 Ефективність модернізації діючого цеху	88
4.3.2 Алгоритм економічної оцінки проекту нового цеху	90
4.3.3 Алгоритм економічної оцінки проектів модернізації цеху ..	97
ВИСНОВКИ	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	106
Додаток А – Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи	109

ВСТУП

Технічний прогрес у прокатному виробництві передбачає безперервне освоєння нових видів продукції, а за необхідності і створення нових виробничих потужностей. Провідна роль у цьому процесі належить інженерам-проектувальникам прокатних цехів, прокатного обладнання та технології прокатки. Проектування - це процес, що полягає в багаторазовому перетворенні початкового опису об'єкта, що міститься в завданні на проектування, в кінцевому підсумку, в достатнє рішення для його реалізації. Відповідно проект – це комплекс документів, що фіксує прийняті проектні рішення на різних стадіях розробки. Тільки завершальна стадія проекту приймається до виконання, більш ранні стадії містять ідеї, пропозиції та їх обґрунтування, і в цьому від них не повинен відрізнитись навчальний проект. Проектування – високоінтелектуальний і дорогий процес: витрати на проектування та авторський супровід промислового будівництва в передових індустріальних країнах досягають 14 – 16% від повних капітальних вкладень.

Технологічна частина проекту промислового об'єкта визначає склад і параметри обробного обладнання, а проект технології виробництва продукції – параметри режимів її обробки. Якщо склад обладнання прокатного цеху диктується, головним чином, сортаментом, то параметри обладнання залежать від режимів обробки прокату і тому достовірно можуть бути визначені тільки спільно з режимами. Виконання технологічної частини проектів прокатних цехів, технологічних завдань на розробку інших частин проекту та прокатного обладнання, а також проектування режимів прокатки якраз і становить область власне інженерної діяльності прокатників-технологів.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка алгоритмів проектування параметрів і режимів роботи обладнання листопрокатних цехів, які забезпечують отримання мінімально необхідних і достатніх параметрів системи для виконання заданої виробничої програми, економію ресурсів при їх реалізації.

1 АЛГОРИТМИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОКАТНИХ ЦЕХІВ, ПРОКАТНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ

1.1 Сортамент, склад та завантаження обладнання цеху

Проектна виробнича програма

Проектна виробнича програма є переліком призначеної до випуску в цеху продукції різних видів із зазначенням граничних розмірів, стандартів на умови поставки та обсягів виробництва. Вона є результатом маркетингових досліджень споживчого ринку і повинна відображати відносно стійку перспективу попиту на продукцію проєктованого цеху. Проектна виробнича програма визначає проектну потужність цеху, що залишається його незмінною характеристикою протягом терміну експлуатації на відміну від виробничої потужності, що змінюється рік від року в залежності від наповнення портфеля замовлень. Виробнича програма входить складовою завдання на проєктування цеху.

Як ілюстрацію розглянемо проектну виробничу програму цеху холодної прокатки вуглецевої сталі:

1. Прокат тонколистової холоднокатаний низьковуглецевої якісної сталі для холодного штампування ДСТУ 9045–93 у рулонах 0,5 – 4,0×1100 – 1850 мм - 100 тис. т;
2. Те ж у розпущених рулонах та листах – 400 тис. т;
3. Прокат тонколистової вуглецевої сталі якісної та звичайної якості загального призначення ДСТУ 16523–97 у рулонах 0,5 – 4,0×1100 – 1850 мм – 200 тис. т;
4. Те ж у розпущених рулонах та листах – 300 тис. т;
5. Прокат тонколистовий холоднокатаний оцинкований ДСТУ 14918–80 у рулонах 0,5 – 2,5×1100 – 1850 мм – 500 тис. т;

Разом: 1500 тис. т.

У цій програмі сім видів продукції, що відрізняються формою поставки та обсягом обробки в цеху: широкі рулони, рулони з розпуском і листи вуглецевої сталі, що поставляються за першими двома стандартами, і широкі оцинковані рулони. Однак для скорочення наступного викладу не будемо брати до уваги відмінності між поздовжньою та поперечною різкою рулонів при однакових втратах металу, і це формально зменшить кількість видів продукції до $q = 5$. При навчальному проектуванні виробничу програму цеху можна представляти за формою табл. 1.1, додавши з технічних умов постачання продукції її характерні споживчі характеристики.

Таблиця 1.1 – Виробнича програма

Види продукції	Умови поставки	Характерні споживчі властивості					Випуск, тис. т
		Категорія витяжки	σ_{ϵ} , МПа	σ_T , МПа, не більше	δ_4 , %, при h		
	0,5–1,5				>1,5		
1. Прокат холоднокатаний зі сталі 08Ю для холодної штамповки в рулонах 0,5–4,0×1100–1850 мм	ДСТУ 9045–93	ВОСВ	255–323	186	40	42	100
		ОСВ	255–323	196	36	40	
		СВ	255–323	206	34	38	400
2. Те ж, в рулонах з розпуском і листах товщиною до 2,5 мм							
Види продукції	Умови поставки	Характерні споживчі властивості					
3. Прокат холоднокатаний зі сталі якісної і звичайної якості в рулонах 0,5–4,0×1100–1850 мм	ДСТУ 16523–97	Група міцності	σ_{ϵ} , МПа		δ_4 , %, при h		Випуск, тис. т
			≤ 2,0	> 2,0			
		К270 В	270 – 410		25	28	200
К350 В	350 – 500		23	24			
4. Те ж, в рулонах з розпуском і листах товщиною до 2,5 мм		ОК360 В	360 – 530		22	24	300
5. Прокат холоднокатаний оцинкований в рулонах 0,5–4,0×1100–1850 мм	ДСТУ 14918–80	Маса m , г/м ² , двостороннього покриття класу					500
		2	1	П			
		142 – 258	258 – 570	570 – 855			
Механічні властивості за ДСТУ 9045–93 і ДСТУ 16523–97							
Усього випуск, тис. т						1500	

Склад цеху

Проектування прокатного цеху розпочинається з патентно-інформаційного пошуку [1] перспективних схем технологічного процесу виробництва всіх видів, що підлягають випуску. Схема технологічного процесу показує послідовність обробки металу із зазначенням типів передбачуваного до встановлення обладнання. Для продукції кожного виду існує безліч таких схем, наприклад, у частині розмірної обробки листового прокату сьогодні співіснують схеми, представлені на рис. 1.1. Вибір схеми для однієї й тієї ж продукції визначається багатьма чинниками, передусім обсягом виробництва, а перевага варіантів може бути лише у результаті детальних техніко-економічних розрахунків. Наприклад, за оцінками на початку століття інтегрований завод на 3 млн. т прокату на рік коштував 1,5 – 1,8 млрд. дол., а завод із тонкослябовим ливарно-прокатним комплексом на 1 млн. т 600 – 700 млн. дол., отже зведення на одному заводі трьох таких комплексів у ті роки виявлялося недоцільним. У навчальному проектуванні варіантні розробки утруднені, але до хороших результатів наводить орієнтація на основні технічні напрями в проектуванні прокатних цехів: застосування безперервно-ливої заготівлі максимальної маси, нагрівальних печей з балками, що крокують, безперервних і нескінченних процесів, а також поєднання в одному агрегаті найбільшого числа операцій тощо [2].

Для схем виробництва різної продукції зазвичай характерні збіги в одних та відмінності в інших частинах. Виробнича структура проектованого цеху має бути мінімально достатньою до виконання заданої виробничої програми; сукупність обробного устаткування з схем технологічного процесу продукції всіх видів, що входять до неї. Це досягається при обробці у кожній фазі продукції максимальної кількості видів.

При досить широкому сортаменті продукції виробнича структура цеху включає як загальні для всіх чи багатьох видів продукції обробні фази, так і індивідуальні для окремих видів продукції.

Для видів продукції, представлених у табл. 1.1, враховуючи сучасний стан технології виробництва холоднокатаних штаб, можна прийняти наступні схеми технологічного процесу:

$k = 1$ – солянокислотне травлення у неперервному травильному агрегаті (НТА) – холодна прокатка на стані безперервної (нескінченної) прокатки – відпал у ковпакових печах – дресирування – відвантаження;

$k = 2$ – те ж саме з обробкою рулонів перед відвантаженням на агрегатах поздовжнього або поперечного різання;

$k = 3$ – солянокислотне травлення в НТА – холодна прокатка – відпал в агрегаті неперервного відпалу (АНО) – відвантаження;

$k = 4$ – те ж саме і обробка рулонів перед відвантаженням на агрегатах різання;

$k = 5$ – солянокислотне травлення в НТА – холодна прокатка – нанесення покриття в агрегаті неперервного гарячого цинкування (АНГЦ) – відвантаження. Відповідно до принципу поєднання операцій в АНО проводиться також і дресирування штаби, а в АНГЦ – відпал і дресирування. Всі ці схеми сумістимі в частині травлення і холодної прокатки, після чого починаються відмінності, і тільки порізу продукції, віднесеної до різних видів, знову можна виробляти в одних і тих же агрегатах, хоча це і не завжди можливо за умовами планування цеху та організації вантажопотоків у цеху. Виробничу структуру, що реалізує ці схеми, ілюструє рис. 1.2. Структура включає 9 фаз, у тому числі фіктивну, тому $j = \overline{0, m} = 8$, і 10 складів металу (номери в колах), для розрахунку яких нижче запропоновано *алгоритм 4*. Продукції різних видів присвоєно номери $k = \overline{1, q}$.

Алгоритм 1 завантаження обладнання цеху виробничою програмою.

Алгоритм передбачає розрахунок параметрів завантаження обладнання при переборі індексів фаз обробки $j = \overline{0, m}$, видів продукції $k = \overline{1, q}$ та розмірних груп прокату $i = \overline{1, n}$, а також компактне представлення його

результатів у вигляді прямокутних матриць. При виконанні алгоритму скрізь, крім п. 9, над елементами матриць з однаковими індексами відбуваються дії додавання та множення за формулами $(A + B) = (a_{kj} + b_{kj})$ и $(AB) = (a_{kj}b_{kj})$.

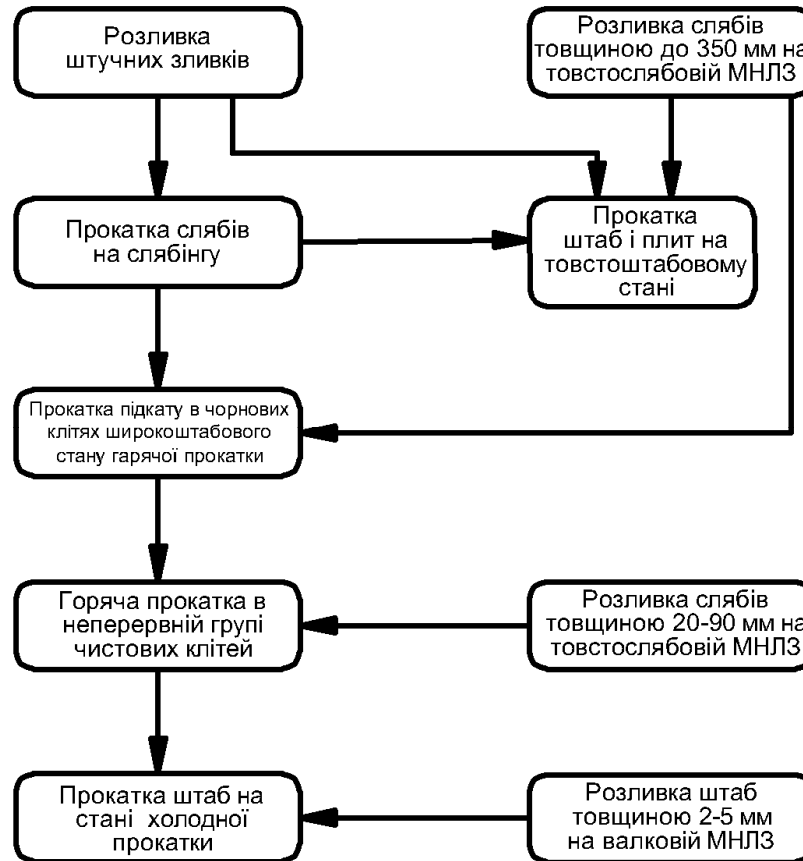


Рисунок 1.1 – Технологічні схеми виробництва листової продукції

1. Початок. Вихідні дані для розрахунку

Річний випуск продукції $\tilde{A}_0 = 1,5$ млн. т.

Число видів продукції у сортаменті $q = 5$, число обробних фаз у цеху $m = 8$.

1.1. Матриці-стовпці випуску продукції за видами та в частках, а також матриця призначень, що відповідає заданому сортаменту, прийнятій технології та структурі цеху, представленої на рис. 1.2,

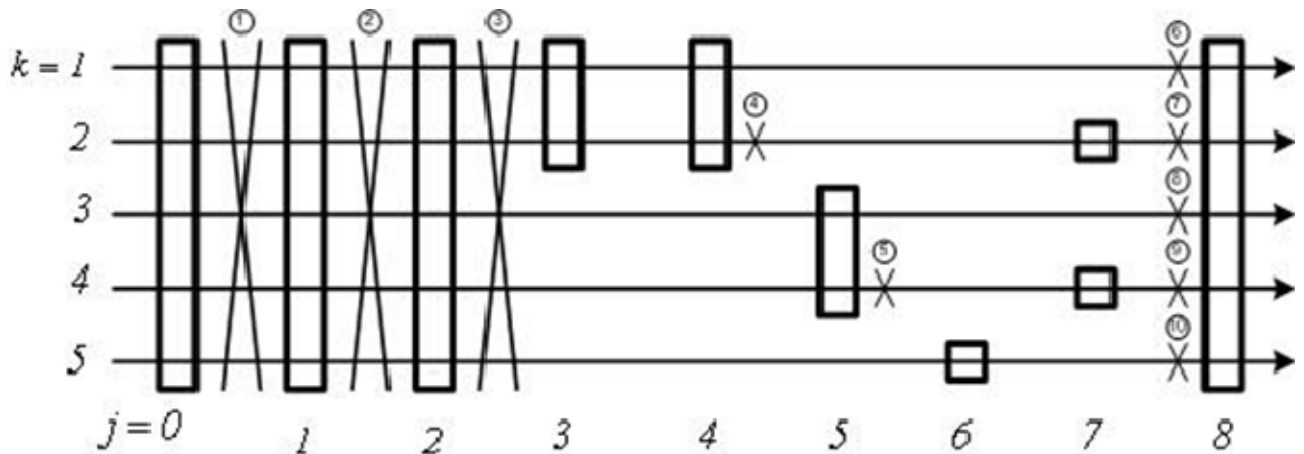


Рисунок 1.2 – Схема руху металу в цеху холодної прокатки

0 – вхід, 1 – безперервний травильний агрегат, 2 – стан холодної прокатки,
 3 – ділянка ковпакових печей, 4 – дресирувальний стан, 5 – агрегат
 безперервного відпалу, 6 – агрегат безперервного гарячого цинкування, 7 –
 ділянка порізки, 8 – вихід

$$(\tilde{A}_k) = \begin{pmatrix} 100 \\ 400 \\ 200 \\ 300 \\ 500 \end{pmatrix} \text{ тис.т.}, \quad (\tilde{a}_k) = \begin{pmatrix} 0,067 \\ 0,267 \\ 0,133 \\ 0,200 \\ 0,333 \end{pmatrix}, \quad (L_{kj}) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для кожної фази обробки прийнято середні витратні коефіцієнти металу

$$(\nu_{0j}) = (1,000 \ 1,030 \ 1,008 \ 1,005 \ 1,007 \ 1,010 \ 1,020 \ 1,035 \ 1,000).$$

коефіцієнти використання обладнання

$$(\mu_{0j}) = (0,80 \ 0,80 \ 0,80 \ 0,80 \ 0,75 \ 0,80 \ 0,80 \ 0,75 \ 0,80),$$

річний час його роботи

$$(T_{0j}) = (7200 \ 7200 \ 7000 \ 7000 \ 6200 \ 7500 \ 7500 \ 6000 \ 8760) \text{ ч.}$$

На фіктивному вході і виході цеху втрат металу немає, й у цих фаз прийнятий одиничний витратний коефіцієнт, а НТА, де приблизно третина

металу готується під наступне нанесення покриттів, він отриманий розрахунком як $\nu_{01} \approx (2 \cdot 1,020 + 1 \cdot 1,050) / 3 = 1,030$.

Фонд часу для стану холодної прокатки прийнятий у припущенні механізованої перевалки валків, а для дресирувального стану та агрегатів різання передбачено перервний графік роботи. Час роботи фіктивної фази на вході в цех взято, як у першій фазі, а на виході в якості робочого прийнято календарний час, в припущенні того, що відвантаження продукції ведеться цілий рік без перерв протягом 24 годин на добу.

У сортаменті прокату виділено чотири розмірні групи за товщиною $i = \overline{1, n}$: від 0,5 до 0,8 мм, понад 0,8 до 1,6 мм, понад 1,6 до 2,5 мм і понад 2,5 до 4,0 мм, частки яких у продукції кожного виду встановлені матрицею

$$(a_{ik}^{\circ}) = \begin{pmatrix} 0,20 & 0,25 & 0,25 & 0,30 & 0,25 \\ 0,40 & 0,45 & 0,40 & 0,40 & 0,50 \\ 0,30 & 0,30 & 0,25 & 0,30 & 0,25 \\ 0,10 & 0,00 & 0,10 & 0,00 & 0,00 \end{pmatrix}$$

так, щоб сумою часток по стовбцях була одиниця. У реальному проектуванні така матриця є результатом маркетингових досліджень, а в навчальному розрахунку може бути довільною.

1.2. Виключення із обсягу випуску матеріалів постійних покриттів, якщо продукція з покриттями передбачена виробничою програмою. Для цього, виходячи з поверхневої щільності постійних покриттів, г/м^2 , за формулою (1.2) треба знайти їх частки у випуску відповідної продукції і виключити їх масу з об'єму випуску, дотримуючись формальної процедури коригування матриці, яка тепер буде представляти тільки обсяги виробництва металу без покриттів та металу-основи під покриття:

$$\tilde{A}_0^+ = \tilde{A}_0, \quad \tilde{A}_k^+ = \tilde{A}_k, \quad \tilde{A}_k = (1 - e_k) \tilde{A}_k^+, \quad \tilde{A}_0 = \sum_{k=1}^n \tilde{A}_k. \quad (1.1)$$

$$m_k = \rho_k \delta_k, \quad (1.2)$$

при цьому масова частка покриттів може бути оцінена за формулами

$$e_k = \frac{\rho_k \delta_k}{c \rho^o h + \sum_{k=1}^q \rho_k \delta_k}, \quad \sum_{k=1}^q e_k + e^o = 1, \quad (1.3)$$

де h – номінальна товщина металу-основи та продукту, мм;

$c = 10^3$ мкм/мм – коефіцієнт узгодження одиниць товщини;

ρ^o та ρ_k – щільність металу-основи та матеріалу покриття кожного виду.

Через витратні коефіцієнти матеріалів покриттів тут також слід встановити їх кількість, яка повинна надходити в цех на забезпечення річної програми.

Виключимо цинк з обсягу виробництва продукції останнього виду. Для цього спочатку покладемо $\tilde{A}_0^+ = \tilde{A}_0 = 1500$, $\tilde{A}_5^+ = \tilde{A}_5 = 500$ т і приймемо, що середня товщина металу, що підлягає оцинкуванню, дорівнює, наприклад, $h = 1$ мм, а середня кількість цинку в двосторонньому покритті $m^{Zn} = 500$ г/м² або по 250 г /м² при товщині 35 мкм з кожної сторони, що згідно з ДСТУ 14918-80 близьке до верхньої межі покриття I класу. Тоді при густині металу-основи $\rho^o = 7,8$ т/м³ частка цинку в загальному випуску продукції буде (формули 1.2 і 1.3)

$$e^{Zn} = \frac{m^{Zn}}{c \rho^o h + m^{Zn}} = \frac{500}{10^3 \cdot 7,8 \cdot 1 + 500} = 0,0602 \quad (1.4),$$

а кількість металу-основи у продукті складе по формулі (1.1)

$$\tilde{A}_5 = (1 - e^{Zn}) \tilde{A}_5^+ = (1 - 0,0602) \cdot 500000 = 469880 \text{ т},$$

тоді робоча матриця обсягів виробництва по металу-основі, для компактності записана в рядок, набуде остаточного вигляду

$$(\tilde{A}_k) = (100000 \quad 400000 \quad 200000 \quad 300000 \quad 469880) \text{ т}.$$

Тепер сума її компонентів $\tilde{A}_0 = 1469880$ т є обсягом виробництва в цеху тільки металу без покриттів. Додавши до нього вміст цинку

$$A^{Zn} = 500000 \cdot 0,0602 = 30120 \text{ т,}$$

отримаємо річний випуск цеху $\tilde{A}_0^+ = 1500000$ т. При витратному коефіцієнті цинку у відділенні цинкування $v^{Zn} = 1,1$ на річну програму його слід замовити та подати на вхід цеху в кількості $A_0^{Zn} = 30120 \times 1,1 = 33133$ т.

2. Розрахунок робочої матриці витратних коефіцієнтів за умовою

$$v_{kj} = \begin{cases} v_{0j}, & \text{если } L_{kj} = 1, \\ 1, & \text{если } L_{kj} = 0, \end{cases} \quad (1.3)$$

внаслідок чого у фазах, куди метал k -того виду не надходить, замість відповідних витратних коефіцієнтів з'являються одиниці:

$$(v_{kj}) = \begin{pmatrix} 1,000 & 1,030 & 1,008 & 1,005 & 1,007 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 1,000 \\ 1,000 & 1,030 & 1,008 & 1,005 & 1,007 & 1,000 & 1,000 & 1,035 & 1,000 \\ 1,000 & 1,030 & 1,008 & 1,000 & 1,000 & 1,010 & 1,000 & 1,000 & 1,000 \\ 1,000 & 1,030 & 1,008 & 1,000 & 1,000 & 1,010 & 1,000 & 1,035 & 1,000 \\ 1,000 & 1,030 & 1,008 & 1,000 & 1,000 & 1,000 & 1,020 & 1,000 & 1,000 \end{pmatrix}$$

3. Потік металу в обробних фазах цеху (A_{kj}), що враховує в кожній j -тій фазі як метал, що обробляється в ній, так і її минулий. Для позначення потоку зручний ідентифікатор випуску продукції. Для останньої фази $A_{km} = \tilde{A}_k$ далі проти ходу процесу з негативним кроком $j = \overline{m-1, 1}$

$$A_{kj} = A_{k,j+1} v_{k,j+1}, \quad (1.4)$$

що виходить з формули (1.3) при $j = j + 1$

$$(A_{kj}) = \begin{pmatrix} 105074 & 102013 & 101203 & 100700 & 100000 & 100000 & 100000 & 100000 & 100000 \\ 435004 & 422334 & 418982 & 416898 & 414000 & 414000 & 414000 & 400000 & 400000 \\ 209724 & 203616 & 202000 & 202000 & 202000 & 200000 & 200000 & 200000 & 200000 \\ 325597 & 316114 & 313605 & 313605 & 313605 & 310500 & 310500 & 300000 & 300000 \\ 497605 & 483111 & 479277 & 479277 & 479277 & 479277 & 469880 & 469880 & 469880 \end{pmatrix} \text{ т,}$$

де $A_{28} = A_{27} = \tilde{A}_2 = 400000$, оскільки $v_{28} = 1$; $A_{26} = 400000 \cdot 1,035 = 414000$ т і т. д.

4. Втрати металу у фазах за видами і у сумі за фазами по формулам (1.5)

$$O_{ij} = A_{i,j-1} - A_{ij}, \quad O_{0j} = \sum_{i=1}^n O_{ij}. \quad (1.5)$$

$$(O_{kj}) = \begin{pmatrix} 0 & 3060 & 810 & 503 & 700 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 12670 & 3352 & 2084 & 2898 & 0 & 0 & 14000 & 0 \\ 0 & 6108 & 1616 & 0 & 0 & 2000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9483 & 2509 & 0 & 0 & 3105 & 0 & 10500 & 0 \\ 0 & 14493 & 3834 & 0 & 0 & 0 & 9398 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{т},$$

$$(O_{0j}) = (0 \ 45816 \ 12121 \ 2588 \ 3598 \ 5105 \ 9398 \ 24500 \ 0) \text{т},$$

$$O_{11} = 105074 - 102013 = 3060 \text{ т}.$$

Факультативно для перевірки правильності обчислень можна розрахувати матрицю балансу металу у фазах за видами за наступною формулою, кожен рядок якої складається з дев'яти однакових значень:

$$B_{ij} = A_{ij} + \sum_{p=1}^j O_{ip} = A_{i0} = \text{const}, \quad i = \overline{0, n}. \quad (1.6)$$

$$(B_{kj}) = \begin{pmatrix} 105074 & 105074 & 105074 & 105074 & 105074 & 105074 & 105074 & 105074 & 105074 \\ 435004 & 435004 & 435004 & 435004 & 435004 & 435004 & 435004 & 435004 & 435004 \\ 209724 & 209724 & 209724 & 209724 & 209724 & 209724 & 209724 & 209724 & 209724 \\ 325597 & 325597 & 325597 & 325597 & 325597 & 325597 & 325597 & 325597 & 325597 \\ 497605 & 497605 & 497605 & 497605 & 497605 & 497605 & 497605 & 497605 & 497605 \end{pmatrix} \text{т},$$

$$\text{Наприклад, } B_{10} = A_{10} = 105074, \quad B_{11} = A_{11} + O_{11} = 102013 + 3060 = 105074, \\ B_{12} = A_{12} + O_{11} + O_{12} = 101203 + 3060 + 810 = 105074 \text{ т і т.д.}$$

Обсяг виробництва або випуск продукції за видами у кожній фазі за формулою (1.7):

$$A_{ij} = A_{ij} L_{ij} - \quad (1.7)$$

$$(A_{kj}) = \begin{pmatrix} 105074 & 102013 & 101203 & 100700 & 100000 & 0 & 0 & 0 & 100000 \\ 435004 & 422334 & 418982 & 416898 & 414000 & 0 & 0 & 400000 & 400000 \\ 209724 & 203616 & 202000 & 0 & 0 & 200000 & 0 & 0 & 200000 \\ 325597 & 316114 & 313605 & 0 & 0 & 310500 & 0 & 300000 & 300000 \\ 497605 & 483111 & 479277 & 0 & 0 & 0 & 469880 & 0 & 469880 \end{pmatrix} \text{т}.$$

На відміну від матриці потоку металу, позначеної цим самим ідентифікатором, тут з'явилися нулі в позиціях, де обробка не проводиться і = 0. Суми за стовпцями за формулою (1.8) будуть

$$\tilde{A}_i = A_{im}, \quad A_{0j} = \sum_{i=1}^n A_{ij}, \quad A_{0m} = \tilde{A}_0 = \sum_{i=1}^n \tilde{A}_i \quad (1.8)$$

$(A_{0j}) = (1573004 \ 1527189 \ 1515068 \ 517598 \ 514000 \ 510500 \ 469880 \ 700000 \ 1469880)$ т.

Тут значення = 1469880 та = 1573004 відповідають повному обсягу виробництва в цеху металу без цинку та кількості підкату, яку треба подати на вхід цеху. З урахуванням маси цинку в оцинкованій продукції 30120 т і на вході цеху 33133 т зворотним перерахунком (1.1) отримаємо

$(A_{0j}^+) = (1606137 \ 1527189 \ 1515068 \ 517598 \ 514000 \ 510500 \ 500000 \ 700000 \ 1500000)$ т.

6. Частки видів продукції у сортаменті фаз розраховуємо за формулою (1.9)

$$a_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_{0j}}, \quad \sum_{i=1}^n a_{ij} = 1; \quad \tilde{a}_i = \frac{\tilde{A}_i}{\tilde{A}_0}, \quad \sum_{i=1}^n \tilde{a}_i = 1 \quad (1.9)$$

$$(a_{kj}) = \begin{pmatrix} 0,0668 & 0,0668 & 0,0668 & 0,1946 & 0,1946 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0680 \\ 0,2765 & 0,2765 & 0,2765 & 0,8054 & 0,8054 & 0,0000 & 0,0000 & 0,5714 & 0,2721 \\ 0,1333 & 0,1333 & 0,1333 & 0,0000 & 0,0000 & 0,3918 & 0,0000 & 0,0000 & 0,1361 \\ 0,2070 & 0,2070 & 0,2070 & 0,0000 & 0,0000 & 0,6082 & 0,0000 & 0,4286 & 0,2041 \\ 0,3163 & 0,3163 & 0,3163 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 1,0000 & 0,0000 & 0,3197 \end{pmatrix}$$

де $a_{10} = 105074 / 1573004 = 0,0668$.

7. Наскрізний витратний коефіцієнт металу за видами продукції, (записано в рядок), та в середньому по цеху за формулами (1.10), (1.11) та (1.12)

$$v_{ij} = \frac{A_{i,j-1}}{A_{ij}} \geq 1 \quad (1.10)$$

$$\left. \begin{array}{l} A_{i0} = A_{i1}v_{i1} \\ A_{i1} = A_{i2}v_{i2} \\ \dots\dots\dots \\ A_{i,m-1} = A_{im}v_{im} \end{array} \right\}, \quad A_{i0}A_{i1} \cdots A_{i,m-1} = A_{i1}A_{i2} \cdots A_{im}v_{i1}v_{i2} \cdots v_{im}, \quad (1.11)$$

$$\tilde{v}_i = \frac{A_{\text{ex}}}{A_{\text{блх}}} = \frac{A_{i0}}{A_{im}} = \prod_{j=1}^m v_{ij}.$$

$$v_{0j} = \frac{A_{0,j-1}}{A_{0j}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{ij}v_{ij}}{A_{0j}} = \sum_{i=1}^n a_{ij}v_{ij}, \quad \tilde{v}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n A_{i0}}{\tilde{A}_0} = \frac{A_{00}}{\tilde{A}_0} = \sum_{i=1}^n \tilde{a}_i \tilde{v}_i. \quad (1.12)$$

$$(v_k) = (1,0702 \quad 1,0507 \quad 1,0875 \quad 1,0486 \quad 1,0853 \quad 1,0590),$$

$$v_5 = 497605 / 469880 = 1,030 \cdot 1,008 \cdot 1,020 = 1,0590,$$

$$v = 1573004 / 1469880 = 0,0680 \cdot 1,0507 + 0,2721 \cdot 1,0875 + 0,1361 \cdot 1,0486 + 0,2041 \cdot 1,0853 + 0,3197 \cdot 1,0590 = 1,0702.$$

Середньогодинна продуктивність та пропускна здатність обладнання ділянок, необхідні та достатні для виконання заданої виробничої програми, за формулами (1.13) та (1.14), без урахування маси цинку в продукті

$$(Q_{0j}) = (218,47 \quad 212,11 \quad 216,44 \quad 73,94 \quad 82,90 \quad 68,07 \quad 62,65 \quad 116,67 \quad 167,79)$$

$$Q_{ij} = \frac{A_{ij}}{T_{ij}}, \quad Q_{0j} = \frac{A_{0j}}{T_{0j}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ij} Q_{ij}}{T_{0j}} = \sum_{i=1}^n b_{ij} Q_{ij} = \frac{A_{0j}}{\sum_{i=1}^n \frac{A_{ij}}{Q_{ij}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{Q_{ij}}}. \quad (1.13)$$

$$P_{ij} = \frac{G_{ij}}{T'_{ij}} = \frac{A_{ij}v_{ij}}{T_{ij}\mu_{ij}} = \frac{Q_{ij}v_{ij}}{\mu_{ij}}, \quad i = \overline{0, n}, \quad Q_{ij} = \frac{P_{ij}\mu_{ij}}{v_{ij}}, \quad i = \overline{0, n}, \quad (1.14)$$

$$(P_{0j}) = (273,09 \quad 273,09 \quad 272,71 \quad 92,89 \quad 111,31 \quad 85,93 \quad 79,88 \quad 161,00 \quad 209,74) \text{ т/год},$$

$$Q_{00} = 1573004 / 7200 = 218,47, \quad P_{00} = 218,47 \cdot 1,0 / 0,80 = 273,09 \text{ т/год},$$

з урахуванням маси цинку

$$(Q_{0j}^+) = (224,46 \quad 212,11 \quad 216,44 \quad 73,94 \quad 82,90 \quad 68,07 \quad 66,67 \quad 116,67 \quad 171,23),$$

$$(P_{0j}^+) = (280,58 \quad 273,09 \quad 272,71 \quad 92,89 \quad 111,31 \quad 85,93 \quad 85,00 \quad 161,00 \quad 214,04) \text{ т/год}.$$

9. Обсяг виробництва металу кожної розмірної групи в кожній фазі натурально і в частках (перемноження матриць з підсумовуванням за індексом k , що повторюється)

$$A'_{ij} = \sum_{k=1}^q a_{ik}^{\circ} A_{kj}, \quad a'_{ij} = \sum_{k=1}^q a_{ik}^{\circ} a_{kj}, \quad (1.15)$$

$$(A'_{ij}) = \begin{pmatrix} 404277 & 392502 & 389387 & 124364 & 123500 & 143150 & 117470 & 190000 & 377470 \\ 700712 & 680303 & 674904 & 227884 & 226300 & 204200 & 234940 & 300000 & 654940 \\ 436535 & 423820 & 420457 & 155279 & 154200 & 143150 & 117470 & 210000 & 407470 \\ 31480 & 30563 & 30320 & 10070 & 10000 & 20000 & 0 & 0 & 30000 \end{pmatrix}, \text{т}$$

$$A'_{11} = 0,20 \cdot 105074 + 0,25 \cdot 435004 + 0,25 \cdot 209724 + 0,30 \cdot 325597 + 0,25 \cdot 497605 = 404277$$

т, а також у сумі по фазам за формулою (1.16)

$$\tilde{A}_i = A_{im}, \quad A_{0j} = \sum_{i=1}^n A_{ij}, \quad A_{0m} = \tilde{A}_0 = \sum_{i=1}^n \tilde{A}_i \quad (1.16)$$

$$(A'_{0j}) = (A_{0j}) = (1573004 \quad 1527189 \quad 1515068 \quad 517598 \quad 514000 \quad 510500 \quad 469880 \quad 700000 \quad 1469880) \text{т.}$$

Частки розмірних груп у сортаменті фаз розраховують по формулі (1.15)

$$(a'_{ij}) = \begin{pmatrix} 0,2570 & 0,2570 & 0,2570 & 0,2403 & 0,2403 & 0,2804 & 0,2500 & 0,2714 & 0,2568 \\ 0,4455 & 0,4455 & 0,4455 & 0,4403 & 0,4403 & 0,4000 & 0,5000 & 0,4286 & 0,4456 \\ 0,2775 & 0,2775 & 0,2775 & 0,3000 & 0,3000 & 0,2804 & 0,2500 & 0,3000 & 0,2772 \\ 0,0200 & 0,0200 & 0,0200 & 0,0195 & 0,0195 & 0,0392 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0204 \end{pmatrix},$$

$$(a'_{11}) = 0,20 \cdot 0,0668 + 0,25 \cdot 0,2765 + 0,25 \cdot 0,1333 + 0,30 \cdot 0,2070 + 0,25 \cdot 0,3163 \\ = = 404277 / 1573004 = 0,2570.$$

10. Представлення результатів. Кінець.

Алгоритм 1 зручний при проектуванні цехів холодної прокатки, що характеризуються широким сортаментом продукції, яка підлягає випуску і включають безліч спеціалізованих відділень і агрегатів, але для цехів гарячої прокатки через тривіальність результатів ми його використовувати не будемо. Можливі численні модифікації алгоритму, наприклад,

завдання або розрахунків диференційованих за видами продукції або розмірними групами витратних коефіцієнтів металу, і тоді в п. 7 буде потрібно їх усереднення за сортаментом,

диференціювання продукції не тільки за видами та розмірами, але також і за марками сталей,

оперування замість витратних коефіцієнтів металу виходом придатного продукту та ін.

Іноді в діючих прокатних цехах одні й ті самі агрегати в обробці одного і того ж профілю беруть участь неодноразово. Це буває, наприклад, при поверненні відпаленого металу або його частини на стан для другої холодної прокатки або при використанні реверсивних клітей між працюючими на прохід. Тоді доводиться розрізнити фази обробки як дії над металом, яким ми, як і раніше, будемо присвоювати номери, і обробні агрегати, для яких приймемо, покладемо, індекси з кришкою $\hat{j} = \overline{1, \hat{m}}$ при $\hat{m} < m$. У новопроекттованих цехах при організації вантажопотоків між ділянками і агрегатами таких петель по можливості слід уникати.

Приклад. Завантаження агрегатів під час повторного використання.
Нехай два види продукції $k = 1, 2$ у кількості 200 і 100 тис. т обробляються в чотирьох агрегатах $\hat{m} = 4$, послідовність використання яких характеризується матрицею $(\hat{j}_{kj}) = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & 4 \end{pmatrix}$. Продукція першого виду у другому агрегаті обробляється двічі, після обробки у першому та третьому агрегаті, а при обробці продукції другого виду петлі немає. Обсяг обробки у фазах A_{kj} , т, тоді при витратних коефіцієнтах металу в агрегатах $\nu_{\hat{j}} = (1,010 \ 1,015 \ 1,020 \ 1,000)$ обсяг їх виробництва буде $A_{0\hat{j}}$ т, що при фондах часу $T_{0\hat{j}}$ год обумовить необхідну середньогодинну продуктивність $Q_{0\hat{j}}$, т/год,
 $A'_{02} = A_{02} + A_{13} = 309060 + 203000 = 512060$ т:

j	0	1	2	3	4	5	\hat{j}	1	2	3	4
A_{1j}	212268	210166	207060	203000	200000	200000	$A_{0\hat{j}}$	313696	512060	303000	300000
A_{2j}	104565	103530	102000	100000	0	100000	$T_{0\hat{j}}$	7000	7000	7000	7000
A_{0j}	316833	313696	309060	303000	200000	300000	$Q_{0\hat{j}}$	45,26	73,15	43,29	42,86

1.2 Постановка задачі проектування обладнання.

Вибір параметрів технічного рівня та розрахункових профілів

Постановка задачі

В результаті взаємодії при розрахунку завантаження цеху його виробничої структури з потоком металу виходять необхідні для виконання виробничої програми середньогодинні продуктивність обладнання кожної фази і його пропускна здатність. Це перекладає процес проектування з рівня цеху на рівень обладнання окремих фаз обробки, і завданням прокатника-технолога тепер стає визначення параметрів цього обладнання. При цьому показники технічного рівня обладнання приймають за аналогією з базовим зразком, а показники призначення та економічні показники розраховують, виходячи з виробничої програми, представлені розрахунковими профілями.

Існує глибокий взаємозв'язок між параметрами обладнання та режимами обробки на ньому продукції, що зумовлює необхідність спільного їх проектування. Всі режими обробки повинні бути такими, що допускаються і, задовольняючи численним обмеженням, забезпечувати продуктивність обладнання, не меншу, ніж була знайдена при завантаженні цеху виробничою програмою. До такого результату може призвести безліч варіантів виконання обладнання і слід вибрати той варіант, сукупні витрати на реалізацію та експлуатацію протягом терміну служби якого виявилися б мінімальними. Однак детальний техніко-економічний аналіз на цьому етапі проектування не тільки складний, але і знаходиться за межами компетенції інженерів-прокатників, тому надалі для вибору параметрів обладнання будемо використовувати суто технічний критерій мінімуму потужності

обладнання при максимальному її використанні (1.17). Пропускна здатність обладнання, т/год, розраховується за формулою:

$$P = \frac{\varepsilon_N \bar{N}}{w}, \quad (1.17)$$

де \bar{N} і ε_N – номінальна (встановлена) потужність технічного пристрою та показник її використання,

w – робота пристрою, віднесена до одиниці маси металу, що обробляється. Встановлену потужність машин і теплообмінних пристроїв зазвичай вимірюють у кВт і тоді кВт·год/т стає природним заходом питомої витрати енергії. У масообмінних процесах аналог цього параметра має розмірність т/т, тонна речовини, що бере участь у масообміні, віднесена до тони придатного готового продукту обробки, і тоді потужність масообмінника виразиться в т/год речовини, що бере участь у масообміні.

При спільному проектуванні параметрів та режимів роботи обладнання цехів холодної прокатки максимальне використання розрахункової потужності досягається порівняно легко, тому що всі агрегати розділені міжопераційними складами, а режими відносно вільні. У той же час в цехах гарячої прокатки обладнання працює не тільки в регламентованих температурах, але і в пов'язаних режимах, при цьому необхідність підтримки регламенту і взаємний вплив таких різномірних агрегатів, як нагрівальні печі та прокатний стан завжди знижує використання їх потужності.

Встановлення показників технічного рівня

Необхідний на стадії технологічного проектування набір показників технічного рівня – це, перш за все, досягнуті і перспективні значення показників призначення, а також конструктивних параметрів, що визначають навантажувальну здатність, швидкісні можливості та економічність обладнання. Для прокатних клітей та прокатних станів це

сортамент, річний час роботи та обсяг виробництва,
розміри та відносні маси слябів, рулонів,

температури нагріву слябів, розподіл температур по проходах, по довжині розкатів при гарячій прокатці,
число груп клітей та кількість клітей у групах та відстані між ними, діаметри робочих, опорних і проміжних валків, що допускаються, коефіцієнти їх переточування,
шорсткість бочок робочих валків, в'язкість мастила та інші дані для визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці,
розміри підшипників валків та коефіцієнти тертя в них, встановлені потужності, номінальні та максимальні частоти обертання двигунів головних приводів і приводів моталок і розмотувачів,
допустимі коефіцієнти тривалого та короткочасного перевантаження двигунів по струму якоря,
числа зубів коліс та передавальні числа редукторів (мультиплікаторів) головних ліній клітей, моталок та розмотувачів,
узагальнений ККД механічних передач від двигунів до кінців приводних валків,
моменти інерції головних ліній та (або) головних двигунів,
заправні швидкості, прискорення та уповільнення двигунів, валків або штаби при прокатці,
тривалість пауз між проходами,
параметри регламенту при гарячій прокатці: час очікування, температури слябу,
розподіл обтискань між групами клітей, клітями, проходами, продуктивність при прокатуванні різних профілів тощо.

Аналогічні дані потрібні також і для технологічних розрахунків іншого обладнання. Джерелами інформації тут можуть бути виробнича практика та патентно-інформаційний пошук. За їх підсумками для кожного агрегату, насамперед для прокатного стану, складають у таблиці карту технічного рівня. Перша колонка цієї таблиці містить перелік показників технічного

рівня, друга – їх значення, прийняті до виконання, наступні – їх значення за стандартом, для перспективного зразка, 2 – 3 аналогів і сформованого на їх основі базового зразка. В останній колонці наводять розраховані за формулами (1.18) або (1.19) відносні показники якості прийнятих параметрів до базових, і всі вони не повинні бути менше одиниці. Продуктивність та сортамент зразків, прийнятих для порівняння, не повинні відрізнятися від показників, що оцінюється більш ніж на 5 – 10 %.

Відомий диференціальний метод оцінки рівня якості або технічного рівня продукції. При цьому методі знаходять відносні показники якості оцінюваної продукції за k -тою ознакою s_k , $k = \overline{1, q}$, в порівнянні з базовим зразком. Оскільки зі збільшенням одних показників (ККД) якість продукції зростає, а інших показників (витрата енергії) зменшується, для встановлення відносних показників використовується та з двох формул, при розрахунку за якою збільшеній якості відповідає їх збільшення:

$$s_k = S_k / S_{\bar{0}k}, \quad s_k = S_{\bar{0}k} / S_k, \quad (1.18)$$

де S_k і $S_{\bar{0}k}$ – значення показника якості продукції, що оцінюється, і базового зразка. Якщо задана межа S_{nk} , верхня для показників, які прагнуть мінімізувати, а нижня – максимізувати, відносний показник обчислюють за формулою

$$s_k = \frac{S_k - S_{nk}}{S_{\bar{0}k} - S_{nk}}. \quad (1.19)$$

Якщо всі $s_k \geq 1$, рівень оцінюваної продукції не нижче базового, якщо всі $s_k \leq 1$, – не вище. Якщо частина показників перевищує одиницю, а інша не досягає її, слід застосувати інший метод: комплексний або змішаний.

Вибір розрахункових профілів

Розрахунковими називають профілі, за умовами обробки яких встановлюють технологію, параметри обладнання та його продуктивність. Сортамент діючого листопрокатного цеху містить сотні маркорозмірів

прокату, а сучасна обчислювальна техніка дозволяє обробляти інформацію про скільки завгодно велику кількість позицій. Однак при цьому проявляється такий фундаментальний принцип проектування виробничих систем, як принцип невизначеності, згідно з яким чим більше параметрів прийнято в розрахунок і чим точніше вони визначені, тим менш точно описаною виявляється система в цілому [3]. Дійсно, зі збільшенням числа розрахункових профілів частка кожного профілю і відповідно внесок у формування характеристик обладнання убуває аж до порівнянного з похибкою розрахунку, тому в проектну виробничу програму включають лише невелике їх число, дотримуючись при цьому наступних правил [3]:

1. Серед розрахункових профілів повинні бути профілі, що характеризуються максимальними, а для машин і мінімальними навантаженнями на обладнання. Для прокатних станів – це профілі, при обробці яких виникають максимальні і мінімальні крутні моменти, для нагрівальних печей – що характеризуються найвищою продуктивністю при максимальному прирощуванні тепловмісту металу, для травильних ванн – найбільш широкі і т. п.

2. Профілі проміжних розмірів повинні бути представницькими, тобто їхня власна частка в сортаменті не повинна бути малою. У програмі цеху з широкоштабовим станом гарячої прокатки такими можуть бути профілі, що використовуються як в якості підкату для цехів холодної прокатки, так і споживачі, що поставляються споживачу; у програмі цеху холодної прокатки вуглецевої сталі – лист для автотракторобудування тощо.

3. Розрахунковим профілям присвоюють не власну частку в сортаменті, а частку групи, яку вони представляють, щоб дотримувалася умова (формула 1.20) про суму часток. Частки продукції кожного виду в сортаменті кожної фази та цеху розраховуються за формулами

$$a_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_{0j}}, \quad \sum_{i=1}^n a_{ij} = 1; \quad \tilde{a}_i = \frac{\tilde{A}_i}{\tilde{A}_0}, \quad \sum_{i=1}^n \tilde{a}_i = 1. \quad (1.20)$$

4. Для обладнання, що працює в потоці, приймають одні й ті самі розрахункові профілі.

При навчальному проектуванні число розрахункових профілів не повинно перевищувати 3 – 5, наприклад, по одному на продукцію кожної маркорозмірної групи. При цьому розрахункові параметри обладнання ніяк не відрізнятимуться від необхідних дійсним сортаментом, якщо при однаковому номінальному моменті розрахунковий і дійсний сортамент будуть характеризуватись однаковими значеннями показника (1.21). Оцінка номінальної потужності двигуна, яка необхідна і достатня для обробки всього сортаменту машини, що працює у вільних режимах:

$$\hat{N} = \frac{P_0}{\eta v_0} \sum_{i=1}^n \frac{a_i v_i w_i}{\xi_i \varepsilon_{\partial i}} \sqrt{\frac{\tau_i \delta_i}{z_i}} = \frac{P_0}{\eta v_0} \sum_{i=1}^n S_{Ni} = \frac{P_0}{\eta v_0} S_N. \quad (1.21)$$

1.3 Розміри валків

Основним параметром призначення листопркатних станів є довжина бочки робочих валків. Від неї залежать габарити клітей, ширина рольгангів, суміжних агрегатів травлення, відпалу, нанесення покриттів, різання тощо, а також маса технологічного обладнання.

При проектуванні довжину бочки валка визначають через найбільшу ширину листа із сортаменту стану за формулою [4]

$$L = b_{\max} + (100 \dots 400) \text{ мм}. \quad (1.22)$$

Розрахункове значення округлюють до наступного більшого значення за ДСТУ 5399-69 з параметричного ряду 200, 250, 320, 360, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1180, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, 4000, 4500, 5000 мм.

Номінальний діаметр робочих валків повинен бути у межах:

$$\frac{\Delta h_{\max}}{(1 - k_{\Pi})(1 - \cos[\alpha])} \leq \bar{D} \leq \frac{Ch_{\min}}{1,544\mu^{\bullet}Kn_{\sigma}^{\prime\prime\prime}}, \quad (1.23)$$

де Δh_{\max} і h_{\min} – максимальне обтиснення та мінімальна товщина штаби в сортаменті кліті,

k_{Π} – коефіцієнт допустимого перешліфування (переточування) валка,

$[\alpha]$ – кут захвату, що допускається, рівний $15 - 22^{\circ}$ при гарячій прокатці листів і штаб і $6 - 8^{\circ}$ при холодній прокатці зі змащенням у шліфованих валках,

C – пружна константа,

μ^{\bullet} – коефіцієнт тертя при прокатці,

K – вимушена межа плинності в осередку деформації, МПа,

$n_{\sigma}^{\prime\prime\prime}$ – коефіцієнт напруженого стану. Обмеження знизу тут обумовлено кутом захвату, а зверху – межею викочування штаби за М. Стоун [5]. У літературі [6] обмеження зверху для робочих валків сформульовано інакше.

У багатоклітинних станах номінальний діаметр валків зазвичай уніфікують у межах стану або окремих груп клітей, хоча в широкоштабових станах гарячої прокатки в останні роки проявилася тенденція до його зменшення в останніх клітях чистової групи в порівнянні з першими.

Коефіцієнти шліфування валків А.І. Целіков [7] рекомендує приймати наступними: для робочих валків товстолистових станів $k_{\Pi} = 0,05 - 0,07$, а тонколистових, у тому числі холодної прокатки, $k_{\Pi} = 0,03 - 0,06$. Для порівняння та керівництва в табл. 1.2 наведено розрахункові значення коефіцієнтів переточування валків на деяких діючих станах (через дріб для перших та останніх клітей, якщо діаметри різні).

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти перешліфування валків листопрокатних станів

Найменування стана	Чорнові кліті		Чистові кліті	
	робочі	опорні	робочі	опорні
Товстолистовий 3600	0,0708	0,0889	0,0777	0,0889
Широкоштабовий 2000-1	0,0714 / 0,1167	0,0825	0,0444 / 0,0732	0,0625
Широкоштабовий 2000-2	0,0714 / 0,0508	0,0875	0,0500	0,0875
Широкоштабовий 2050	0,1111 / 0,1000	немає від.	0,1000 / 0,0987	немає від.
Холодної прокатки 1400	–	–	0,0909	0,0714
Холодної прокатки 1700	–	–	0,0500	0,0533
Холодної прокатки 2030	–	–	0,1057	0,0688

Проектування нових і розрахунки режимів прокатки для діючих станів зазвичай ведуть на номінальний діаметр валків, тому при його позначенні верхню рисочку, як правило, опускаємо, хоча при необхідності завжди можна врахувати не тільки переточування робочих, але і опорних валків, різну в різних клітинах.

Довжину бочки опорних валків чотиривалкових станів раніше завжди приймали за робочими валками, а для зменшення згинальних напруг у робочих валках почали виконувати скоси по краях розміром $l_{ск} = 2 \times (L - b_{max}) / 2$. Тепер іноді довжину бочки валка зменшують на величину скосів. Відношення діаметрів опорних і робочих валків буває тим більше, чим менше довжина бочки валка. У чорнових клітях товстолистових і широкоштабових станів відношення діаметрів опорних і робочих валків знаходиться на рівні 1,5:1, в чистових клітях 2:1, в привідних робочих валках у клітях холодної прокатки 3:1, а за опорні – 4:1. У шестивалкових z-клітях співвідношення між діаметрами валків становить приблизно 4:1,5:1 (1320/500/360 мм).

Значення номінальних діаметрів робочих та опорних валків приймають із параметричного ряду ДСТУ 5399–69: 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 240, 250, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, 530, 560,

600, 630, 670, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1060, 1120, 1180, 1250, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500 мм.

Приклад розрахунку. Оцінка номінального діаметра валків листопрокатних станів.

У таблиці 1.3 перші три параметри взято до розрахунку для перших проходів (клітей), наступні п'ять – для останніх. Далі слідує відповідні цим вихідним даним значення мінімального і максимального діаметра робочих валків, розраховані за формулами (1.23). Для порівняння наведено номінальні діаметри робочих та опорних валків діючих станів товстолистового 3600 та широкоштабових 2000 гарячої та холодної прокатки, а також можливе рішення, що не суперечить аналогам та вимогам ДСТУ 5399–69. Відношення діаметрів опорних і робочих валків відповідає вищенаведеним рекомендаціям.

Таблиця 1.3 – Оцінка номінального діаметра валків листопрокатних станів

Параметри	Стани гарячої прокатки				Стан холодної прокатки
	товстолистовий		широкоштабовий		
	чорнова кліть	чистова кліть	чорнова група	чистова група	
Δh_g , мм	60,00	20,00	60,00	20,00	2,50
k_{II}	0,07	0,07	0,10	0,10	0,10
α , град	22	16	22	16	6
h_{min} , мм	32,00	8,00	32,00	1,50	0,40
C , МПа	93000	76000	93000	76000	93000
μ	0,50	0,45	0,50	0,25	0,04
K , МПа	100	200	200	360	1000
σ / K	0,00	0,00	0,00	0,02	0,20
D_{min} , мм	886	555	916	574	507
D_{max} , мм	38549	4375	19275	837	753
D / D_o , аналоги рішення	1130/1800 1120/1800	1030/1800 1000/1800	1200/1600 1180/1600	800/1600 800/1600	615/1600 600/1600
D_o / D	1,60	1,80	1,33	2,00	2,67

Робочі валки чотиривалкових клітей листових станів встановлюють у чотирирядних підшипниках кочення з конічними роликами, а двовалкових клітей та опорні – на підшипниках рідинного тертя (ПРТ). Конструкція і розміри шийок і кінців валків діючих станів визначені в кресленнях, а на стадії технологічного проектування до детальної конструктивної обробки можна використовувати наведені нижче оцінки.

Найменший діаметр небезпечного до скручування перерізу на кінці приводного валка у разі його встановлення на підшипниках кочення або ПРТ типорозміру d відповідно становить

$$d_{кр} = k_d \bar{D} = \bar{D} / 2 \quad \text{або} \quad d_{кр} = 0,65d + 25 \text{ мм.} \quad (1.24)$$

Остання формула отримана обробкою параметричного ряду великих вітчизняних ПРТ 650 – 1320 мм з ДСТУ 7999–70.

Якщо розрахунок дає для чотиривалкової кліті діаметр робочих валків

$$\bar{D} \leq 5,9 \sqrt{Pf / [\sigma]} \text{ м,} \quad (1.25)$$

де P – очікуване зусилля прокатки, МН,

f – коефіцієнт тертя на контакті робочих та опорних валків,

$[\sigma]$ – допустима напруга вигину матеріалу робочих валків, МПа,

його шийка стає нездатною передати крутний момент, достатній для виключення прослизання між робочими і опорними валками, і тоді кліть треба приводити за опорні валки. У літературі [7] рекомендовано приймати коефіцієнт тертя між валками в залежності від їх шорсткості і виду мастильно-охолоджуючої рідини в межах 0,04 – 0,12, а при сухих валках до 0,16.

Мінімальний діаметр опорного валка після переточування за нормою (1.23) приблизно на 10 мм повинен перевищувати висоту подушки. З урахуванням цієї обставини отримана формула зв'язку між цим діаметром та розміром ПРТ:

$$D_{o \min} = (1 - k_{II}) D_o \geq 1,18d + 88,5 + 10 \text{ мм,}$$

звідки розмір ПРТ, що підлягає встановленню на валок номінального діаметра D_o , може бути знайдений за формулою

$$d \leq 0,85[(1 - k_{\Pi})D_o - 100] \text{ мм.} \quad (1.26)$$

Для діаметра небезпечного по вигину перерізу шийки опорного валка на межі з бочкою d_{uz} і для плеча цього перерізу щодо середини підшипника з відношенням довжини до діаметра $l/d = 0,70 - 0,90$ отримано формули

$$d_{uz} = 0,92d + 40, \quad c = [0,18 + 0,4(l/d)] d + 40(l/d) + 36 \text{ мм.} \quad (1.27)$$

1.4 Розрахунок граничних вільних режимів та пропускної спроможності обробних машин

Вільними у розділі 1.3 були названі режими, які визначаються лише можливостями обробного обладнання.

Розглянемо формули, написані для машин з електричним приводом, і звернемо увагу на те, що в них входять параметри різної фізичної природи, а саме:

1) *конструктивні*, закладені в конструкцію машини при її проектуванні, такі як радіус інструменту R , встановлена потужність двигуна \bar{N} , номінальний момент на його валу \bar{M} , коефіцієнти перевантаження, що допускається за струмом λ_I і λ_I^* , передавальне число редуктора u , узагальнений ККД передачі η ;

2) *сортаментні*, що являють собою характеристики оброблюваного металу: щільність ρ , розміри штаб h і b , питома витрата енергії на обробку w ;

3) *режимні*, всілякі поєднання яких якраз і дають безліч режимів роботи машини: показник використання можливостей двигуна по нагріванню ε_3 , показники швидкості в першій і другій зонах регулювання ξ і θ , частка часу обробки в часі циклу z , а також число одночасно оброблюваних у машині штаб r ;

4) *комплексні*, що визначаються через попередні: робочий момент M_p , швидкість обробки v , пропускна здатність P , коефіцієнти навантаження, що допускаються по крутному моменту, а також параметри λ_M і λ_M^* , що описують тахограму і навантажувальну діаграму процесу.

Якщо конструктивні і сортаментні параметри, що характеризують оброблювальну машину і оброблюваний метал відповідно, у кожному розрахунку незмінні, то режимні параметри можуть змінюватися в досить широких межах. Граничні значення режимних параметрів обумовлені або визначенням, або конструктивними особливостями машини, або характеристиками оброблюваного металу. Так, фізично об'єктивно обумовлені

діапазон зміни еквівалентної потужності $0 \leq \varepsilon_g \leq 1$,

найбільше значення безрозмірного часу циклу $z \leq 1$,

рівень напруги в ланцюгах якоря та збудження двигуна, який не повинен перевищувати номінального, що визначає межі для параметрів регулювання швидкості $\xi \leq 1$ та $\theta \geq 1$. Протилежні межі для цих параметрів $\xi \geq \xi_{\min}$ і $\theta \leq \theta_{\max}$ диктуються конструкцією двигуна, так само як і найменше значення безрозмірного часу циклу за умовами, коли обмежуючим потужність фактором стає не нагрівання, а навантаження двигуна. У той самий час число штаб $1 \leq r \leq r_{\max}$, доступне для одночасної обробки, визначається конструкцією робочої машини.

Якими мають бути значення режимних параметрів для досягнення машиною найвищої продуктивності чи пропускної спроможності? Дивлячись на їх положення в чисельниках формул, можна подумати, що пропускна здатність машини досягається, коли вони стають максимальними, гранично можливими. Однак це справедливо тільки для параметрів r і ξ , які і слід по

можливості приймати на максимальному рівні $r = r_{\max}$ и $\xi = 1$, інші не можуть змінюватися довільно, оскільки пов'язані між собою в комплекс

$$\lambda = \frac{M_p}{\bar{M}_p} \sqrt{\frac{\delta}{\tau}} = \frac{\varepsilon_\lambda}{\theta \sqrt{z}}. \quad (1.28)$$

Цей комплекс, названий *показником чинного моменту* λ , виходить з умови, що режимні параметри зосередити в одній його частині, а всі інші – в іншій. Допустимий максимум значень режимних параметрів, що входять до нього визначається його положенням щодо трьох вузлових точок в діапазоні можливої зміни, координати яких вводяться через конструктивні параметри машини:

$$\lambda^{(1)} = \frac{1}{[\theta] \sqrt{z_{\max}}}, \quad \lambda^{(2)} = \frac{1}{\sqrt{z_{\max}}}, \quad \lambda^{(3)} = \frac{1}{\sqrt{z_{\min}}} = \frac{1}{\sqrt{z_{кр}}} = \begin{cases} \frac{\lambda_I^*}{1 + \bar{\alpha} k_J} \sqrt{\frac{\delta}{\tau}} \\ \lambda_I \sqrt{\delta / \tau} \\ \lambda_I \end{cases}, \quad (1.29)$$

де - $[\theta]$ допустиме значення показника швидкості в другій зоні регулювання, а мінімальні значення безрозмірного часу обробки $z_{\min} = z_{кр}$ визначаються формулами (1.30) (формула для довгострокового перевантаження і пропускної здатності, що допускається нею). Як видно, координата $\lambda^{(3)}$ приймає різні значення при її оцінці по короткочасному або тривалому перевантаженні двигуна, при змінній або постійній швидкості.

$$\varepsilon_\lambda = \frac{P w_p \tau}{\lambda_I \bar{N} \eta \xi z} \quad \text{і} \quad P = \frac{\lambda_I \bar{N} \eta \xi \varepsilon_\lambda z}{w_p \tau}. \quad (1.30)$$

Алгоритм 2 визначення пропускної спроможності прокатного стану при вільних режимах роботи

1. Початок. Вихідні дані: номінальний робочий момент \bar{M}_p і координати вузлових точок $\lambda^{(1)}$, $\lambda^{(2)}$, $\lambda^{(3)}$ або дані для їх розрахунку за формулами (1.29); робочий момент при обробці профілю, що цікавить M_p , і

дані для розрахунку пропускної спроможності машини за формулою (1.17). Алгоритм побудований для однієї штаби $r = 1$, що обробляється зі швидкістю не нижче номінальної при $\xi = 1$.

Якщо швидкість змінюється протягом циклу обробки, вихідні дані повинні бути доповнені відомостями для розрахунку функцій τ , δ і ε_{λ^*} , а також точністю розрахунку ε^* , оскільки результат може бути досягнутий лише послідовними наближеннями.

2. Розрахунок показника чинного моменту λ за формулою (1.28) при $\tau = \delta = 1$.

3. Визначення режимних параметрів.

Якщо $\lambda < \lambda^{(1)}$ профіль легкий для машини. Момент, що розвивається при його обробці значно менше номінального. Профіль можна обробити при максимальній швидкості ($\theta = [\theta]$) та повному використанні часу циклу ($z = z_{\max}$), але навіть у цьому випадку можливості двигуна по нагріванню залишаться недовикористаними, оскільки

$$\varepsilon_{\vartheta} = \lambda / \lambda^{(1)} < 1. \quad (1.31)$$

Якщо $\lambda^{(1)} \leq \lambda \leq \lambda^{(2)}$, профіль є найбільш прийнятним для машини. Необхідний для обробки профілю момент все ще менший або трохи більше номінального і його можна обробити при повному використанні потужності ($\varepsilon_{\vartheta} = 1$) та часу циклу ($z = z_{\max}$), встановлюючи швидкість відносно номінальної на рівні

$$\theta = \lambda^{(2)} / \lambda. \quad (1.32)$$

Якщо момент для обробки профілю вже перевищує номінальний, профіль важкий для машини і в тривалому режимі роботи приводного електродвигуна з точки зору нагріву S1 оброблений бути не може. В інших режимах S2 – S8 при циклі, що не перевищує 10 хвилин, профіль може бути оброблений при повному використанні потужності зі швидкістю не більше

номінальної ($\theta = 1$), якщо піти на недовикористання часу циклу, збільшуючи паузи між штабами при

$$z = 1/\lambda^2. \quad (1.33)$$

Якщо $\lambda > \lambda^{(3)}$, обробка профілю на цьому прокатному стані неможлива: необхідний для цього момент перевищує максимально допустимий і повинен спрацювати струмовий захист двигуна, тому що показник чинного моменту не може перевищувати допустимого коефіцієнта його навантаження по струму якоря.

4. Якщо швидкість змінюється протягом циклу обробки, вважають, що $\theta = [\theta]$ і організують обчислювальний цикл, протягом якого

4.1. розраховують функції τ і δ , використовуючи формули типу

$$t = \frac{l\tau}{v}, \quad (1.34)$$

де t і v – час відпрацювання переміщення l та найбільша швидкість за час t така, щоб для прямокутної тахограми було $\tau = 1$.

а також координату третьої вузлової точки $\lambda^{(3)}$ (формула 1.29), що залежить від них;

4.2. вводять допоміжну змінну $\lambda' = \lambda$

4.3. знову знаходять λ (1.28) і ε_{λ} . (1.30);

4.4. якщо $\varepsilon_{\lambda} > 1$, вважаючи у формулі (1.30) $\varepsilon_{\lambda} = 1$, знаходять зменшене значення прискорення \hat{a} ;

4.5. за п. 3 знаходять граничні значення режимних параметрів ε , θ , z .

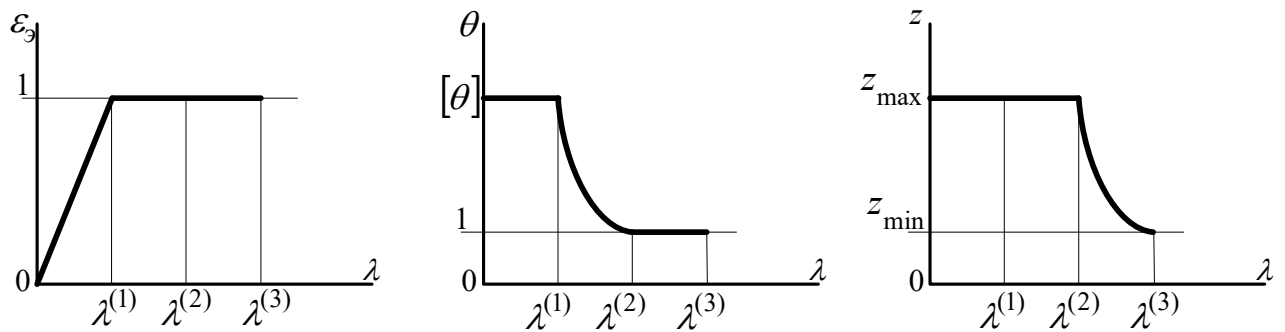
4.6. якщо $\text{abs}(\lambda' - \lambda) > \varepsilon^*$, повертаються розрахунок за п. 4.1.

5. Розрахунок граничної швидкості обробки v та пропускної спроможності машини P за формулою (1.30).

6. Подання результатів. Кінець.

Роботу алгоритму ілюструє рис. 1.3 де видно, як у кожному з трьох допустимих діапазонів між вузловими точками з трьох режимних параметрів

змінюється тільки один, а два інших зберігаються на незмінному рівні. Якщо режими роботи машин невідільні, алгоритм можна використовувати після модифікації, як це зроблено нижче для безперервних станів холодної прокатки.



ε_3 – ступінь використання еквівалентної потужності двигуна; θ – швидкість прокатки; z – безрозмірний час циклу прокатки; λ – коефіцієнт допустимого перевантаження електродвигуна по нагріванню і крутному моменту (координати вузлових точок)

Рисунок 1.3 – Вплив показника чинного моменту прокатки на рівень режимних параметрів

Скористаємося *алгоритмом 2* для розрахунку режимів редагування штаб і пропускної здатності 17-роlikової правильної машини.

1. Початок. Вихідні дані та попередні розрахунки. Параметри машини [5]: радіус роликів $R = 0,075$ м, номінальна потужність і частота обертання двигуна $\bar{N} = 50$ кВт і $\bar{n} = 400$ об/хв, передавальне число редуктора $u = 6,28$, узагальнений ККД механічної передачі від двигуна до приводних кінців правильних роликів $\eta = 0,85$, граничні значення показника швидкості у другій зоні регулювання та використання часу циклу $[\theta] = \theta_{\max} = 2,0$, $z_{\max} = 0,9$, $z_{\min} = z_{кр} = 0,18$.

Швидкість редагування регулюється в другій зоні, але протягом циклу постійна, тобто $\tau = \delta = 1$, крім того, режимні параметри $r = \xi = 1$.

Номінальний момент двигуна і номінальний робочий момент, що відповідає йому, на приводних кінцях роликів (на вході в робочу машину)

$$\bar{M} = \frac{30\bar{N}}{\pi\bar{n}} = \frac{30 \cdot 50}{\pi \cdot 400} = 1,19 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

$$\bar{M}_p = \bar{M}u\eta = 1,19 \cdot 6,28 \cdot 0,85 = 6,37 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

Номінальна швидкість штаби і роликів

$$\bar{v} = \bar{v}_u = \frac{\pi R \bar{n}}{30u} = \frac{\pi \cdot 0,075 \cdot 400}{30 \cdot 6,28} = 0,5 \text{ м/с},$$

Координати вузлових точок

$$\lambda^{(1)} = 1/(2\sqrt{0,9}) = 0,5270, \quad \lambda^{(2)} = 1/\sqrt{0,9} = 1,0541, \quad \lambda^{(3)} = \lambda_I = 1/\sqrt{0,18} = 2,3570.$$

На машині потрібно правити штаби чотирьох розмірів $h_i \times b_i$, $i = 1, 4$, ранжованих в порядку зростання товщини. Їх відносна маса $g_b = 1$ т/м, густина металу 7,8 т/м³.

Питома витрата енергії на приводних кінцях роликів $w_p = w$ розрахована з робочого моменту за наступних умов: межа плинності та модуль пружності матеріалу штаб 300 і $2 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт розвитку зони пластичної деформації під другим роликом 0,7; крок роликів 0,16 м, діаметр їх цапф 0,1 м, коефіцієнт тертя в цапфах 0,1; плече тертя кочення роликів по штаби 0,8 мм, прослизання штаби не враховувалося. Робочий момент, необхідний для редагування першого профілю,

$$M_p = c\rho hbRw_p = 3,6 \cdot 7,8 \cdot 4 \cdot 2,05 \cdot 0,075 \cdot 0,17 = 2,94 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

і виявилось, що ранг профілів по навантаженню співпав із рангом за товщиною.

2. Показник чинного моменту

$$\lambda = 2,94 / 6,37 = 0,461 < \lambda^{(1)}.$$

3. Визначення режимних параметрів. Оскільки $\lambda < \lambda^{(1)}$, профіль легкий для машини і може бути оброблений при максимально можливій швидкості при $\theta = \theta_{\max} = 2,0$ і мінімальних паузах при $z = z_{\max} = 0,9$, але все ж таки можливості двигуна по нагріванню залишаться недовикористаними:

$$\varepsilon_3 = 0,461 / 0,527 = 0,874 < 1.$$

4. Пункт не виконується, оскільки $\tau = \delta = 1$.

5. Гранична швидкість редагування, пропускна спроможність машини, мінімальний час циклу і час редагування складуть

$$v = \theta \bar{v} = 2,0 \cdot 0,5 = 1,0 \text{ м/с},$$

$$P = c \rho h b v z / \tau = 3,6 \cdot 7,8 \cdot 4 \cdot 2,05 \cdot 1 \cdot 0,9 / 1 =$$

$$= \frac{\bar{N} \eta \xi \varepsilon_3}{w_p} \sqrt{\frac{z}{\tau \delta}} = \frac{50 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,874}{0,17} \sqrt{\frac{0,9}{1 \cdot 1}} = 207,3 \text{ т/год},$$

$$t_u = c g_b b / P = 3600 \cdot 1 \cdot 2,05 / 207,3 = 35,6,$$

$$t = z t_u = 0,9 \cdot 35,6 = 32,1 \text{ с}.$$

Остаточно для цього та інших розрахункових профілів отримаємо:

$h \times b$, мм·м	w , кВт·год/т	M_p , кН·м	λ	ε_3	θ	z	v , м/с	P , т/год	t_u , с	t , с
4×2,05	0,17	2,94	0,461	0,874	2,000	0,900	1,000	207,3	35,6	32,1
5×2,15	0,20	4,53	0,711	1,000	1,483	0,900	0,742	201,5	38,4	34,6
8×2,35	0,29	11,48	1,802	1,000	1,000	0,308	0,500	81,3	104,1	32,1
10×2,35	0,35	17,32	2,719							

о б р о б к а н е м о ж л и в а

При отриманих тривалостях циклу режим роботи електродвигуна машини з точки зору нагріву при редагуванні всіх профілів буде переміжним. Зі збільшенням товщини штаби і необхідного для редагування моменту пропускна спроможність машини буде зменшуватися спочатку через необхідність зниження швидкості редагування, а потім – через збільшення пауз між штабами, поки обробка останнього не стане неможливою.

Але чому вона виявляється неможливою? Іноді рахують, що процес піде, якщо зменшити швидкість обробки. Це не вірно. Виправлення

останнього профілю зі швидкістю, меншою номінальною, залишиться неможливою, а для інших призведе лише до зменшення пропускної спроможності в пропорції зменшення швидкості. Тоді, можливо, для редагування останнього профілю не вистачило б потужності машини? Не так і це. Потужність – це здатність здійснювати задану роботу в прийнятний час, тут же машина в принципі виявилася нездатною виконати задану роботу. Мірою здатності робочої машини здійснювати роботу обертовим інструментом є підводимий до нього крутний момент, а робота якраз і є добуток крутного моменту на кут повороту інструменту. Не потужність двигуна тут виявилася недостатньою, а передатне число редуктора або надлишковою виявилася номінальна частота обертання двигуна і, як наслідок, недостатнім став номінальний момент на вході в робочу машину. Так що показник необхідного для редагування останнього профілю моменту прокатки перевищив коефіцієнт допустимого перевантаження двигуна по струму якоря.

1.5 Спільне проектування параметрів головних приводів та вільних режимів роботи машин

Алгоритм 3 спільного проектування параметрів та вільних режимів роботи машини.

1. Початок. Вихідні дані. Збережемо в таблиці нижче сортаментні параметри чотирьох розрахункових профілів з *алгоритму 2*, ранжованих в порядку зростання робочого моменту. Збережемо щільність металу $7,8 \text{ т/м}^3$ і відносну масу всіх штаб $g_b = 1 \text{ т/м}$, що визначить режим роботи електродвигуна машини з точки зору нагріву як той, що перемежується. Задаємося необхідною середньою за сортаментом пропускною здатністю при виправленні, приймаємо $P_0 = 100 \text{ т/год}$, вважаючи, що втрат металу немає,

тобто $\nu_i = \nu_0 = 1$. Задаємося також співвідношенням профілів у сортаменті, маючи на увазі, що при реальному проектуванні при цьому треба зробити прогноз потреби у продукції споживчого ринку. Розглянемо три співвідношення між профілями, коли частка кожного в сортаменті збільшується зі збільшенням його розміру ($p = 1$), однакова для всіх профілів ($p = 2$) і убиває від профілю до профілю ($p = 3$), тобто проектуватимемо відразу три машини:

i	F , мм·м	w , кВт·год/т	M_p , кН·м	a^p при p			$M_{pi}/\lambda^{(q)}$, кН·м, при q		
				1	2	3	1	2	3
1	4×2,05	0,17	2,94	0,10	0,25	0,40	5,58	2,79	1,25
2	5×2,15	0,20	4,53	0,20	0,25	0,30	8,59	4,29	1,93
3	8×2,35	0,29	11,48	0,30	0,25	0,20	21,78	10,89	4,84
4	10×2,35	0,35	17,32	0,40	0,25	0,10	32,86	16,43	7,35

Збережемо для машин з *алгоритму 2* також параметри технічного рівня: радіус роликів $R = 0,075$ м, узагальнений ККД механічної передачі $\eta = 0,85$, граничні значення режимних параметрів $\theta_{\max} = 2,0$, $z_{\max} = 0,9$, $z_{кр} = 0,18$, що зумовить ті ж значення координат вузлових точок $\lambda^{(1)} = 0,5270$, $\lambda^{(2)} = 1,0541$ и $\lambda^{(3)} = 2,3570$.

2. Визначення діапазону, у якому слід шукати номінальний момент машини. При режимі роботи електродвигуна, що перемижується, номінальний момент слід шукати в діапазоні

$$17,32\sqrt{0,18} \leq \bar{M}_p \leq 17,32\sqrt{0,9} \quad \text{або} \quad 7,35 \leq \bar{M}_p \leq 16,43.$$

При виправленні довгих штаб режим роботи буває тривалим, і в якості номінального треба було б прийняти момент, що перевищує максимальний робочий $\hat{M}_p \geq M_{p4} = 17,32$ кН·м.

3. Знаходження моментів, один з яких стане оцінкою номінального,

$$M_{p1}/\lambda^{(1)} = 2,94 / 0,527 = 5,58 \text{ кН·м, і т.д.}$$

Ці моменти записані в трьох останніх колонках вище, причому ті, що потрапили в діапазон, виділені.

4. Розрахунок режимних параметрів редагування. Якщо як номінальний момент машини прийняти $\widehat{M}_p = 7,35$ кН·м, то відповідно до алгоритму 2

$$\lambda_1 = M_{p1} / \overline{M}_p = 2,94 / 7,35 = 0,40 ,$$

$$\varepsilon_{\theta 1} = \lambda_1 / \lambda^{(1)} = 0,40 / 0,5270 = 0,7580 ,$$

$$\theta_2 = \lambda^{(2)} / \lambda_2 = 1,0541 / 0,6161 = 1,7108 ,$$

$$z_3 = 1 / \lambda_3^2 = 1 / (1,5624)^2 = 0,4097 \text{ і т. д.:}$$

i	Показник λ і режимні параметри при \widehat{M}_p , кНм							
	7,35				8,59			
	λ	ε_{θ}	θ	z	λ	ε_{θ}	θ	z
1	0,40	0,7580	2,0	0,9	0,3417	0,6484	2,0	0,9
2	0,6161	1,0	1,7108	0,9	0,5270	1,0	2,0	0,9
3	1,5624	1,0	1,0	0,4097	1,3365	1,0	1,0	0,5598
4	2,3570	1,0	1,0	0,18	2,0163	1,0	1,0	0,2460
i	Показник λ і режимні параметри при \widehat{M}_p , кНм							
	10,89				16,43			
	λ	ε_{θ}	θ	z	λ	ε_{θ}	θ	z
1	0,27	0,5114	2,0	0,9	0,1787	0,3390	2,0	0,9
2	0,4157	0,7887	2,0	0,9	0,2755	0,5228	2,0	0,9
3	1,0541	1,0	1,0	0,9	0,6987	1,0	1,5089	0,9
4	1,5905	1,0	1,0	0,3954	1,0541	1,0	1,0	0,9

5. Розрахунок режимно-сортаментного показника потужності

Для кожного розподілу профілів у сортаменті p та кожної оцінки номінального моменту за формулою

$$S_N^1 = \sum_{i=1}^n \frac{a_i^1 w_i}{\varepsilon_{\theta i} \sqrt{z_i}} = \frac{0,1 \cdot 0,17}{0,7580 \cdot \sqrt{0,9}} + \frac{0,2 \cdot 0,20}{1 \cdot \sqrt{0,9}} + \frac{0,3 \cdot 0,29}{1 \cdot \sqrt{0,4097}} + \frac{0,4 \cdot 0,35}{1 \cdot \sqrt{0,18}} = 0,5317$$

кВт·год/т:

p	S_N^p , кВт·год/т, при \widehat{M}_p , кНм				e^p , %
	7,35	8,59	10,89	16,43	
1	0,5317	0,4684	0,4029	0,3728	42,6
2	0,4312	0,3951	0,3700	0,4016	16,5
3	0,3308	0,3219	0,3372	0,4327	34,4

Мінімальні значення показника для кожного сортаменту виділені, а в останній колонці дано виграш у порівнянні з найбільш несприятливим випадком

$$e^1 = 100 \cdot \frac{S_{N \max}^1 - S_{N \min}^1}{S_{N \min}^1} = 100 \cdot \frac{0,5317 - 0,3728}{0,3728} = 42,6 \%$$

6. Оцінки номінальних потужності та швидкості машини. Цілком очевидні висновки з попереднього результату полягають в тому, що, по-перше, номінальний момент машини повинен бути тим більше, чим більше в сортаменті важких для машини профілів, а по-друге, найменший виграш в установленій потужності очікується при рівномірному розподіл профілів у сортаменті. Розрахунки за формулами дають

$$\hat{N}^p = \frac{P_0}{\eta v_0} S_N^p = \frac{100}{0,85 \cdot 1} (0,3728 \quad 0,3700 \quad 0,3219) = (43,9 \quad 43,5 \quad 37,9) \text{ кВт},$$

$$\hat{v}_u^p = \frac{P_0 \bar{R}}{v_0} \cdot \frac{S_N^p}{\bar{M}_p^p} = \frac{100 \cdot 0,075}{1} \cdot \left(\frac{0,3728}{16,43} \quad \frac{0,3700}{10,89} \quad \frac{0,3219}{8,59} \right) = (0,170 \quad 0,255 \quad 0,281)$$

м/с.

7. Режими роботи машин у абсолютних параметрах. Швидкість редагування і відповідна їм пропускна здатність, тривалості циклу і редагування при повному використанні можливостей машини для $p = 1$

$$v_1 = \theta_1 \hat{v}_u^1 = 2 \cdot 0,170 = 0,340 \text{ м/с},$$

$$P_1 = c \rho h_1 b_1 v_1 z_1 = 3,6 \cdot 7,8 \cdot 4 \cdot 2,05 \cdot 0,340 \cdot 0,9 = 70,5 \text{ т/ч},$$

$$t_{y1} = c g_b b_1 / P_1 = 3600 \cdot 1 \cdot 2,05 / 70,5 = 104,7,$$

$$t_1 = z_1 t_{y1} = 0,9 \cdot 104,7 = 94,2 \text{ с},$$

При цьому середньогодинна пропускна здатність у точності дорівнює заданій:

$$P_0 = \frac{v_0}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i v_i}{P_i}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{P_i}} = \frac{1}{\frac{0,1}{70,5} + \frac{0,2}{92,5} + \frac{0,3}{122,0} + \frac{0,4}{101,1}} = 100,0 \text{ т/год.}$$

i	$p = 1, \widehat{M}_p^1 = 16,43 \text{ кНм}$				$p = 2, \widehat{M}_p^2 = 10,89 \text{ кНм}$				$p = 3, \widehat{M}_p^3 = 8,59 \text{ кНм}$			
	v	P	t_y	t	v	P	t_y	t	v	P	t_y	t
1	0,340	70,5	104,7	94,2	0,510	105,6	69,9	62,9	0,562	116,5	63,4	57,0
2	0,340	92,5	83,7	75,4	0,510	138,4	55,9	50,3	0,562	152,7	50,7	45,6
3	0,257	122,0	69,4	62,4	0,255	121,0	69,9	62,9	0,281	83,1	101,9	57,0
4	0,170	101,1	83,7	75,4	0,255	66,5	127,3	50,3	0,281	45,6	185,5	45,6
0		100,0				100,0				100,0		

Як видно, у машин, спроектованих на різні співвідношення профілів у сортаменті, режими виправлення одних і тих же профілів – швидкість і час циклу – при однаковій середній пропускній здатності 100 т/год різно відрізняються. Всі розрахункові профілі тепер прийнятні для всіх спроектованих машин з двигунами потужністю навіть менше 50 кВт, що були у машини в прикладі з *алгоритму 2*, яка не змогла обробити останній профіль через низький номінальний момент, однак номінальні швидкості та швидкості виправлення на спроектованих машинах стали значно меншими. Проте розрахунок ще не завершено, а розглянуті режими не остаточні.

8. Введення оцінок номінальних параметрів в параметричні ряди. Згідно з умовою з параметричного ряду ДСТУ 12139-84 для кожної з трьох спроектованих машин $p = 1, 2, 3$ слід вибрати двигуни номінальною потужністю $\bar{N}^p = (45 \ 45 \ 40)$ кВт, і розрахувати межі, в яких повинні бути передатні числа редукторів при тій чи іншій номінальній частоті обертання двигуна. Так, при $\bar{n}^p = 100$ об/хв за ДСТУ 10683 - 73 для машини $p = 1$ матимемо

$$\frac{\pi \cdot 16,43 \cdot 100}{30 \cdot 45 \cdot 0,85} \leq u^p \leq \frac{\pi \cdot 0,075 \cdot 100}{30 \cdot 0,170}$$

або $u^1 = 4,50 - 4,62$ і відповідно $u^2 = 2,98 - 3,08$ і $u^3 = 2,65 - 2,80$.

9. Кінець. Представлення результатів.

1.6 Склади металу

Склади готової продукції влаштовують на виході всіх прокатних цехів. Склади заготівлі на вході завжди бувають у цехах четвертого переділу, а в цехах гарячої прокатки з'являються лише при отриманні слябів зі сторони. При використанні слябів власного виробництва цю роль приймає склад готової продукції попереднього сталеплавильного цеху або слябінга. Між обробними агрегатами влаштовують внутрішні склади металу, які називаються міжопераційними. Такими складами в цехах холодної прокатки розділені всі агрегати, але в цехах гарячої прокатки метал складують тільки для охолодження перед обробкою або відвантаженням. Спроекувати склад металу – значить встановити його вантажообіг, місткість (ємність), площу і положення на плані цеху, а також визначити необхідні для його обслуговування транспортні засоби.

За вантажообіг складу приймають річну кількість металу, що проходить через нього, а місткість у тонах розраховують за формулою

$$E = ct_{xp}\hat{P}. \quad (1.35)$$

де c – коефіцієнт пропорційності, що дорівнює 24 год/добу або 8 год/зміну,

\hat{P} – Середня інтенсивність видалення металу зі складу, т/год,

t_{xp} – Тривалість зберігання металу на складі. Інститут Діпрomez свого часу рекомендував досить жорсткі добові норми зберігання, що ведуть до значної економії на площах складів металу:

Сляби	до 4
Гарячекатані рулони перед порізкою або травленням	5 – 7
Гарячекатані травлені рулони перед станом холодної прокатки	2
Холоднокатані рулони перед відпалом	1
Відпалені рулони перед дресированням	до 4
Дресировані непромаслені рулони перед порізкою	1
Готовий метал перед упаковкою	1
Готовий метал перед відвантаженням (готова продукція)	2 – 3

Для порівняння: німецька фірма MDS у проекти цехів з товстолистовими станами закладає норму зберігання слябів 7, а готової продукції 14 діб; вітчизняний довідник [8] рекомендує зберігання заготівлі власного виробництва протягом 4 – 5 діб, заготівлі, що надходить зі сторони, 10 – 12 діб, готової продукції 3 – 6 діб, металу на міжопераційних складах – 9, 12 або 18 змін споживача ділянки, якщо інтенсивність його надходження на склад до 5, до 10 або більше, ніж у 10 разів перевищує інтенсивність видалення.

Одиницями зберігання на складах металу листопрокатних цехів є сляби, рулони, зв'язки вузьких рулонів чи пачки листів. З місткості складу завжди можна розрахувати число одиниць зберігання при середній масі

$$Z = E / G_0, \quad (1.36)$$

а також корисну площу

$$S_n = E / q, \quad (1.37)$$

де q – питома навантаження від металу, що складається, т/м² (табл. 1.4).

Корисною вважають площу, зайняту безпосередньо штабелями металу та проходами між ними шириною не менше 1 м на складах холодного та 1,5 м гарячого металу, а також головними проходами шириною не менше 1,5 – 2 м та проїздами для автотранспорту шириною до 3 м.

Таблиця 1.4 – Дані для проектування складів металу

Продукція	Спосіб укладки	Висота штабеля, м	Питома навантаження q , т/м ²	Укладочна маса, т/м ³
Зливки для прокатки плит	В штабель	2,5	7,0	–
Сляби довжиною до 12 м	Пачками в стопи	3,0	12,0	3,0 – 4,0
	В штабель хрест-навхрест	4,0	(271)	3,0 – 4,0
Гарячекатані листі сортаментів товстолистових станів	В штабель	2,0	7,0	2,0 – 2,4
Гарячекатані рулони перед порізкою і травленням	В штабель у вертикальному положенні в декілька рядів	4,5	(272)	–
Гарячекатані і холоднокатані рулони	В горизонтальному положенні в один ряд на спеціальні стелажі	–	(272)	–
Гарячекатані листи сортаме-				

нта ШСПП при ширині до 1400 мм	Пачками в штабель с прокладками	4,5	3,0	2,0 – 2,4
більше 1400 мм		4,5	4,0	2,0 – 2,4
Холоднокатані листи при ширині до 1400 мм	Пачками в штабель с прокладками	4,5	2,5	2,0 – 2,4
		4,5	3,5	2,0 – 2,4
Біла жерсть	В карточках у м'якій тарі масою до 3 т, в морській упаковці пачками масою до 100 кг, в рулонах масою до 5 т в дерев'яних ящиках	–	1,5	2,5 – 3,0
Холоднокатані листи з полімерним покриттям	Пачками в штабель с прокладками (не більше 3 ярусів)	–	1 – 1,5	–
Стрічка в рулонах	В горизонтальному положенні в 1 – 2 ряди на спеціальні стелажі	–	1,5 – 2	–

При зберіганні слябів хрест-навхрест («колодязь»), можливого при наявності на складі кранів з поворотною траверсою, питома навантаження на корисну площу складу в залежності від відношення довжини сляба до його ширини слід розраховувати за регресійними формулами

$$q = 24(L/B)^{-0,50}, \quad (L/B) = 1 - 5,$$

$$q = 24(L/B)^{-0,82}, \quad (L/B) = 4 - 10,$$
(1.38)

перша з яких відноситься до укладання двох слябів на два сляби, друга – трьох слябів на три сляби. Для рулонів відносною масою $g_b = 4 - 36$ т/м при зберіганні у горизонтальному та вертикальному («пірамідою») положеннях відповідно слід приймати

$$q = 4,25g_b^{0,28} \quad \text{и} \quad q = 1,41g_b^{0,50}. \quad (1.39)$$

Повне площа складу

$$S = S_n / \mu_{ск} + S_{об}, \quad (1.40)$$

де $S_{об}$ – площі, що займаються обладнанням, що розміщується на складах: агрегатами різання і упаковки, конвеєрами, шляхами передавальних візків, $\mu_{ск} = 0,5 - 0,7$ – коефіцієнт використання площі складу.

Коефіцієнт $\mu_{ск}$ вносить поправку в корисну площу на міжколонні простори і залізничні вводи, що знаходяться поза зоною дії мостових кранів. Відстань від осей колон до штабелів металу зазвичай становить не менше 4 м, а за наявності залізничного введення - до 10 м, маючи на увазі габарит наближення будівель до рухомого складу за ДСТУ 9238-2013. Великі значення коефіцієнта використання приймають для прольотів без наскрізних залізничних шляхів, а при широкому сортаменті марок і типорозмірів прокату виводять навіть за нижню межу. Розміщення на площах складів не тільки обладнання та залізничних вводів, але також штабелів металу або стелажів для нього при детальному проектуванні неодноразово промальовують.

Протяжність складу в прольоті шириною L і довжину фронту навантаження-вивантаження вагонів на залізничних вводах будемо шукати за формулами

$$L_{ск} = S/L \quad \text{и} \quad L_{фр} \geq L_{вз} \left[E \left(\frac{Pt_{об}}{G_{вз}} \right) + 1 \right], \quad (1.41)$$

де $L_{вз} = 13,9 - 14,7$ м – довжина по зчїпках напїввагонїв, платформ та критих вагонїв при вантажопїдїйомностї $G_{вз} = 60 - 64$ т,

P – їнтенсивнїсть навантаження-вивантаження, т/год,

$t_{об} = 2 - 4$ год - час обробки (обороту) складу.

Число технологїчних мостових кранїв на складах металу та їх завантаження

$$m_{кр} = E \left(\frac{k_1 t_{\Sigma}}{\mu_{кр} T} \right) + 1, \quad \varepsilon_{кр} = \frac{k_1 t_{\Sigma}}{\mu_{кр} T m_{кр}}, \quad (1.42)$$

де t_{Σ} і $T = 7400$ год – сумарний рїчний час всїх складських кранових операцїй та робочий фонд часу одного крана,

$k_1 = 1,2$ і $\mu_{кр} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує вїдволїкання крана на виконання робїт, не пов'язаних з обслуговуванням металу, та коефіцієнт його використання. Вантажопїдїйомнїсть на гаку головного пїдїйому може бути

$G_{кр}$ 10, 15, 20, 30, 40, 50, 80, 100, 125, 160 тс. Вона повинна покривати сумарну вагу транспортованого металу та вантажозахоплювального пристрою, а якщо кран використовується також для монтажу та ремонту обладнання, вага найважчих вузлів. Маса кліщів для захоплення одного рулону масою 8, 12 і 36 т становить 3,2; 6,0 і 13,6 т відповідно, а двох рулонів загальною масою 16, 22 і 36 т – 6,8; 12,6 та 15,1 т.

Сумарний річний час всіх кранових операцій включає час укладання, знімання та перекладки металу при штабелюванні в кілька рядів:

$$t_{\Sigma} = t_y + t_c + k_2 t_n, \quad t_y = t_c = \frac{Z}{c} \left(t_0 + \frac{4H}{k_3 v_{нд}} + \frac{2L_{yc}}{k_3 v_{кр}} \right), \quad (1.43)$$

де $Z = zA / G_0$ – середня річна кількість одиниць зберігання на складі,

z – число одиниць зберігання, що формується з одного рулону,

A – річний вантажообіг складу, т,

$c = 60$ хв/год – коефіцієнт приведення одиниць виміру часу,

$k_2 = 2 - 3$ – середня кількість перекладок одного штабеля,

$k_3 = 0,8$ – коефіцієнт, що вносить поправку на трапецієдальність тахограми роботи двигунів підйому вантажу та переміщення мосту,

$t_0 = 0,5$ хв – час захоплення та звільнення вантажу,

$H = 2 - 2,5$ м – безпечна висота підйому вантажу, після досягнення якої може бути розпочато переміщення моста,

$v_{нд} \approx E(64G_{кр}^{-0,57})$ і $v_{кр} = 100$ м / хв – швидкість підйому вантажу і переміщення мосту,

$L_{yc} = L_{ск} / 2$ – середня відстань, на яку переміщується міст за одну операцію укладання-знімання, м. Множник 4 у формулі говорить про те, що за цикл укладання або знімання металу механізм підйому двічі працює на підйом та двічі на опускання, а множник 2 – що за той ж цикл міст крана переміщається туди і назад. Розрахунковий час перекладки виходить з часу укладання-знімання заміною шляху моста при укладанні-зніманні на аналогічний шлях

при перекладанні, і тоді після нескладних перетворень можна остаточно отримати

$$t_{\Sigma} = \frac{Z}{c} \left[(2 + k_2) \left(t_0 + \frac{4H}{k_3 v_{нд}} \right) + \frac{2(2L_{yc} + k_2 L_n)}{k_3 v_{кр}} \right]. \quad (1.44)$$

В останні десятиліття замість складування металу в штабелях стали використовувати висотні склади, коли кожна одиниця зберігання за допомогою кранів-штабелерів займає на 10-15-ярусних стелажах-етажерках один осередок [8]. Так, німецька фірма SMS для одного з нових вітчизняних цехів холодної прокатки запропонувала два 11-ярусні склади рулонів після прокатки та дресировання заввишки 34 м і місткістю 27 і 31,5 тис. т на 602 і 700 рулонів масою до 45 т, площею 1162 і 1260 м² при питомому навантаженні 23,2 та 25 т/м².

Алгоритм 4 проектування складів металу. Традиційна технологія

Оцінимо параметри складів металу в цеху, схема руху металу в якому представлена на рис. 1.2. Розглянемо склади на вході в цех, міжопераційні склади та склади готової продукції $k = \overline{1, 10}$:

- 1) гарячекатаних рулонів перед травленням,
- 2) гарячекатаних травлених рулонів перед станом,
- 3) холоднокатаних рулонів після стану перед оздоблювальними агрегатами,
- 4) холоднокатаних відпалених у ковпакових печах та дресированих рулонів перед агрегатами різання,
- 5) холоднокатаних відпалених в агрегатах неперервного відпалу (АНВ) рулонів перед агрегатами різання,
- 6) готових холоднокатаних відпалених у ковпакових печах та дресированих рулонів перед упаковкою та відвантаженням,

- 7) готових пачок листів і зв'язок вузьких рулонів, відпалених у ковпакових печах, перед упаковкою та відвантаженням,
- 8) готових холоднокатаних відпалених в АНВ рулонів перед упаковкою та відвантаженням,
- 9) готових пачок листів і зв'язок вузьких рулонів, відпалених в АНВ, перед упаковкою та відвантаженням,
- 10) готових холоднокатаних оцинкованих рулонів перед упаковкою та відвантаженням.

Максимальна маса готових рулонів 36 т при найбільшому зовнішньому діаметрі трохи більше ніж 2 м, середня маса $G_0 = 25$ т, відносна маса $g_b = 20$ т/м. На складі $k = 1$ гарячекатані рулони зберігаються у штабелях у вертикальному положенні в 2 – 3 ряди, на всіх інших – в один ряд у горизонтальному. 30 % з металу, що підлягає розрізанню, піддається поперечному, а 70 % – поздовжньому різанню, причому після порізки кожного рулону в середньому виходить $z = 5$ місць зберігання (пачок листів або зв'язок вузьких рулонів).

Прийнято, що всі склади розміщуються в 36-метрових прольотах. Вводи конвеєра рулонів і залізничний на склад гарячекатаних рулонів сумарно простягаються на всю його довжину, а залізничні вводи на складах готової продукції – не менше, ніж на довжину фронтів відвантаження.

З попереднього розрахунку запозичені матриці обсягів виробництва за видами продукції натурально та у частках

$$(\tilde{A}_i) = (1500000 \ 100000 \ 400000 \ 200000 \ 300000 \ 500000) \text{ т},$$

$$(\tilde{a}_i) = (1,0000 \ 0,0667 \ 0,2667 \ 0,1333 \ 0,2000 \ 0,3333), \ i = \overline{0,5},$$

обсягів виробництва за фазами обробки та їх пропускних здібностей

$$(A_{0j}) = (1573004 \ 1527189 \ 1515068 \ 517598 \ 514000 \ 510500 \ \underline{500000} \ 700000 \ \underline{1500000}) \text{ т},$$

$$(P_{0j}) = (280,89 \ 273,09 \ 272,71 \ 92,89 \ 111,31 \ 85,93 \ \underline{85,00} \ 161,00 \ \underline{214,04}) \text{ т/ч}, \ j = \overline{0,8},$$

а також витратний коефіцієнт металу при різанні $\nu_7 = 1,035$. Підкреслені компоненти, крім металу-основи, враховують масу цинку в продукції.

Розрахунок складів вимагає граничної уважності при виведенні та використанні приватних формул, специфічних для кожного цеху з конкретним сортаментом, і помітно полегшується при зверненні до схеми руху металу в цеху, для даного випадку представленої на рис. 1.2. У таблиці нижче в нумерованих колонках представлені:

1. Порядковий номер складу
2. Річний вантажообіг складів

Для складів $k = \overline{1,3}$ – це кількість металу, що надходить на вхід наступної фази, тобто

$$\widehat{A}_k = A_{0,k-1}, \quad \widehat{A}_1 = A_{0,1-1} = A_{00} = 1573004,$$

для проміжних складів $k = 4$ і 5 перед агрегатами різання – кількість металу, відпаленого в попередній фазі за вирахуванням направляється на відвантаження як готової продукції,

$$\widehat{A}_4 = A_{04} - \widetilde{A}_1 = 514000 - 100000 = 414000,$$

$$\widehat{A}_5 = A_{05} - \widetilde{A}_3 = 510500 - 200000 = 310500,$$

а для складів готової продукції $k = \overline{6,10}$ – обсяг виробництва продукції відповідного виду

$$\widehat{A}_k = \widetilde{A}_{k-5}, \quad \widehat{A}_6 = \widetilde{A}_{6-5} = \widetilde{A}_1 = 100000 \text{ т і т. д.}$$

k	\widehat{A}	\widehat{P}	Z	G_0	t_{xp}	$\mu_{ск}$	q	E	$Z_{ск}$	S	$L_{ск}$	$L_{фр}$	t_{Σ}	$m_{кр}$	$\varepsilon_{кр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1573004	273,1	60000	26,2	7	0,5	9,83	45879	1750	9332	259	–	18293	4	0,93
2	1527189	273,1	60000	25,5	2	0,7	6,31	13108	515	2970	82	–	6187	2	0,63
3	1515068	272,7	60000	25,3	1	0,7	6,31	6545	259	1483	41	–	5155	2	0,52
4	414000	95,2	16000	25,9	1	0,7	6,31	2285	88	518	14	–	1196	1	0,24
5	310500	71,4	12000	25,9	1	0,7	6,31	1714	66	388	11	–	879	1	0,18
6	100000	14,3	4000	25,0	4	0,5	6,31	1370	55	434	12	15	295	1	0,06
7	400000	57,1	80000	5,0	4	0,5	2,30	5479	1096	4765	132	45	9912	3	0,67
8	200000	28,5	8000	25,0	4	0,5	6,31	2740	110	869	24	30	630	1	0,13
9	300000	42,8	60000	5,0	4	0,5	2,30	4110	822	3574	99	45	6607	2	0,67
10	500000	71,3	20000	25,0	4	0,5	6,31	6849	274	2172	60	60	1878	1	0,38

3. Середньогодинна інтенсивність обслуговування металу на складах

$$k = \overline{1,3}, \quad \widehat{P}_k = P_{0,k-1}, \quad \widehat{P}_1 = P_{0,1-1} = P_{00} = 273,1,$$

$$\widehat{P}_4 = \widehat{A}_4 / (\widehat{A}_4 + \widehat{A}_5) \nu_7 P_{07} = 414000 / (414000 + 310500) \cdot 1,035 \cdot 161,0 = 95,2,$$

$$\widehat{P}_5 = \widehat{A}_5 / (\widehat{A}_4 + \widehat{A}_5) \nu_7 P_{07} = 310500 / (414000 + 310500) \cdot 1,035 \cdot 161,0 = 71,4 \text{ т/ч}$$

(надходження металу на різання $j = 7$ двома потоками),

$$k = \overline{6,10}, \quad \widehat{P}_k = \widetilde{a}_{k-5} P_{08}, \quad \widehat{P}_6 = \widetilde{a}_{6-5} P_{08} = \widetilde{a}_1 P_{08} = 0,0667 \cdot 214,04 = 14,3 \text{ т/год}$$

(надходження металу на відвантаження $j = 8$).

4. Річна кількість одиниць зберігання на складах

Число вихідних рулонів, з яких формується наповнення складів готової продукції,

$$Z_k = \widetilde{A}_{k-5} / G_0, \quad Z_6 = \widetilde{A}_{6-5} = \widetilde{A}_1 / G_0 = 100000 / 25 = 4000 \text{ (21),}$$

$$Z_k = (4000 \ 16000 \ 8000 \ 12000 \ 20000), \quad k = \overline{6,10}.$$

Їх сума є число рулонів, що проходить через склади $k = \overline{1,3}$,

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_c = \sum_{k=6}^{10} Z_k = 4000 + 16000 + 8000 + 12000 + 20000 = 60000.$$

На складах готової продукції $k = 6, 8, 10$ кожен рулон представляє собою одну одиницю зберігання, але перед складами $k = 7, 9$ вихідні рулони в кількості $Z_4 = Z_7 = 16000$ и $Z_5 = Z_9 = 12000$ одиниць розділяються на п'ять пачок листів або зв'язок вузьких рулонів кожен ($z = 5$), отже число одиниць зберігання на цих складах зростає до

$$Z_7 = zZ_4 = 5 \cdot 16000 = 80000, \quad Z_9 = zZ_5 = 5 \cdot 12000 = 60000.$$

5. Середня маса одиниці зберігання на складі

$$G_{0k} = A_k / Z_k, \quad G_{01} = 1573004 / 60000 = 26,2 \text{ т,}$$

але на складах $k = 7$ і 9 вона вп'ятеро менша.

6. Тривалість зберігання металу на складах на добу за нормами Інституту Діпромез. Оскільки упаковка металу не виділена в окрему фазу, а проводиться вона на складах готової продукції, норма зберігання металу на

них прийнята як сума тривалості зберігання перед упаковкою та перед відвантаженням.

7. Коефіцієнт використання площ складів, менший для складів на вході та виході цеху через залізничні вводи.

8. Питоме навантаження на площу складів за нормами і формулою. Для першої з них для першого складу

$$q_1 = 4,25 g_b^{0,28} = 4,25 \cdot 20^{0,28} = 9,83,$$

по другій для інших складів широких рулонів

$$q_k = 1,41 g_b^{0,50} = 1,41 \cdot 20^{0,50} = 6,31, \quad k = \overline{2, 6, 8, 10}.$$

але при зберіганні пачок листів та зв'язок вузьких рулонів при питомому навантаженні 3 і 2 т/м² відповідно,

$$q_7 = q_9 = 0,3 \cdot 3 + 0,7 \cdot 2 = 2,30 \text{ т/м}^2.$$

9. Місткість складів

$$E = ct_{xp} \hat{P} = 24 \cdot 7 \cdot 273,1 = 45879 \text{ т}.$$

10. Найбільше одиниць зберігання на складах

$$Z_{ск} = E / G_0 = 45879 / 26,2 = 1750.$$

11. Площа складів без площ, які займає обладнання,

$$S = \frac{E}{\mu_{ск} q} = \frac{45879}{0,5 \cdot 9,83} = 9332 \text{ м}^2.$$

Загальна розрахункова площа всіх складів 26796 м².

12. Протяжність складів у 36-метрових прольотах без урахування площ, які займає обладнання,

$$L_{ск} = S / L = 9332 / 36 = 259 \text{ м}.$$

13. Протяжність фронтів відвантаження металу на складах готової продукції при відвантаженні в 60-тонні вагони 15-метрової довжини по зчіпках та обороті складу тривалістю в 3 години

$$L_{\text{фр6}} \geq L_{\text{вз}} \left[E \left(\frac{Pt_{\text{об}}}{G_{\text{вз}}} \right) + 1 \right] = 15 \left[E \left(\frac{14,3 \cdot 3}{60} \right) + 1 \right] = 15 \text{ м.}$$

14. Сумарний річний час кранових операцій

$$t_{\Sigma} = \frac{Z}{c} \left[(2 + k_2) \left(t_0 + \frac{4H}{k_3 v_{\text{нд}}} \right) + \frac{2(2L_{\text{yc}} + k_2 L_n)}{k_3 v_{\text{кр}}} \right] =$$

$$= \frac{60000}{60} \left[(2 + 3) \cdot \left(0,5 + \frac{4 \cdot 2,5}{0,8 \cdot 8} \right) + \frac{2 \cdot (2 \cdot 259/2 + 3 \cdot 20)}{0,8 \cdot 100} \right] = 18293 \text{ год}$$

при трьох перекладках кожного штабеля ($k_2 = 3$) складі $k = 1$. На інших складах метал зберігається в один ярус і його перекладка не потрібна. Швидкість підйому вантажу скрізь прийнята рівною 8 м/хв.

15. Розрахункова кількість технологічних мостових кранів у прольотах складів

$$m_{\text{кр}} = E \left(\frac{k_1 t_{\Sigma}}{\mu T_p} \right) + 1 = E \left(\frac{1,2 \cdot 18293}{0,8 \cdot 7400} \right) + 1 = 4.$$

Цей результат не остаточний, якщо при компонуванні агрегатів у прольотах цеху вдасться об'єднати деякі склади, перш за все, склади готової продукції, і тоді треба буде оцінити кількість кранів на таких об'єднаних складах. Треба також взяти до уваги, що з міркувань надійності кожен склад повинен обслуговуватися не менше ніж двома кранами, якщо не передбачені альтернативні способи складування, наприклад, за допомогою електронавантажувачів.

При поштучному транспортуванні рулонів мостовими кранами та масі кліщів 13,6 т, вантажопідйомність кранів повинна становити не менше 50 тс ($36 + 13,6 = 49,6$). На складах, звідки відвантажують готові рулони, хоча б один кран повинен мати вантажопідйомність не менше 80 тс, якщо взяти до уваги масу упаковки. Відповідно вантажопідйомність кранів на відвантаженні пачок листів і зв'язок вузьких рулонів може бути меншою.

16. Показник завантаження кранів

$$\varepsilon_{\text{кр}} = \frac{k_1 t_{\Sigma}}{\mu_{\text{кр}} T_p m_{\text{кр}}} = \frac{1,2 \cdot 18293}{0,8 \cdot 7400 \cdot 4} = 0,93.$$

1.7 Планування і конфігурація прокатного цеху

Планування і конфігурацію прокатного цеху в плані визначають розташування на генеральному плані заводу щодо суміжних цехів і розміщення в його прольотах технологічного обладнання, складів металу і обслуговуючих систем [9]. Ширина прольотів кратна 6 м і вбирається у 42 м при кроці колон 12 м. (у майбутньому очікується відмова від мостових кранів, а зі звільненням каркасу будівлі від кранових навантажень крок колон можна буде збільшити до 48-60 м, а прольоти до 72-100 м).

Стани гарячої прокатки завжди розташовують уздовж прольоту, ширини якого повинно вистачати не тільки для розміщення головної лінії від кліті до корінної муфти, але і транспортерів для зміни опорних валків, а при перевалці робочих валків муфтою також і для розвороту підвіски валка з муфтою. Головні двигуни розміщують у паралельному прольоті машинного залу. Розміри клітей та інших елементів головних ліній у плані отримують при конструктивному опрацюванні. Протяжність станового прольоту визначається розмірами розкочувальних полів, місць для підстуджування металу при контрольованій прокатці на товстолистових станах і відвідного рольгангу на широкоштабових станах. Таким чином, довжина товстолистого стану від ближньої печі до початку транспортера-холодильника сягає 200 – 250 м, а широкоштабового – від ближньої печі до першої моталки відповідно 400 – 600 м.

Відстань між клітьями безперервного стану холодної прокатки становить зазвичай 5 – 6 м, і зараз широко практикується розміщення стану разом з моталками і розмотувачами поперек 36 – 42-метрового прольоту.

Довжина сучасних безперервних агрегатів травлення, відпалу, цинкування досягає 250 – 300 м, трохи коротше, 180 – 220 м, агрегати електролітичного цинкування та нанесення полімерних покриттів. Їх можна розміщувати попарно вздовж 36-42-метрових прольотів. Агрегати поздовжнього різання довжиною 30 – 60 м і поперечного різання довжиною 80 - 120 м (довжина тим більше, чим товщі штаби, що різуються), а також агрегати упаковки широких і вузьких рулонів і пачок листів довжиною 50 – 70 м розміщують як вздовж, так і поперек прольотів, і

тоді завантаження агрегату проводиться в одному, а звільнення від металу – в сусідньому прольоті або навіть через проліт. Компонування відділення відпалу металу в ковпакових печах наведено нижче на рис. 1.4.

Ширину прольотів, займаних немеханізованими складами металу, уніфікують з переважним числом прольотів, зайнятих обладнанням.

Рівень підлоги цеху $\pm 0,0$ встановлюють за позначкою головки рейки залізничних введів. Генеральний висотний розмір прольоту – позначка низу несучих конструкцій покриття – визначається висотами обладнання, мостового крана з гаковою підвіскою і найбільш габаритного вантажу, який треба переносити над обладнанням. Від 6 до 10,8 м ряд висотних розмірів змінюється з кроком (модулем) 1,2 м, далі – 1,8 м. Висота сусідніх прольотів може відрізнитися тільки на величину, кратну модулю.

У безпосередній близькості від відповідного обладнання розміщують склади металу, а також об'єкти інфраструктури, що займають до чверті площі цеху: вальцешліфувальні майстерні, механо- та електроремонтні ділянки, електромашинні приміщення, приміщення котлів-утилізаторів у цехах гарячої прокатки або регенерації травильних розчинів та емульсій у цехах холодної прокатки. Їх площі можна оцінити пропорційним перерахунком через відношення виробничих потужностей проектного та аналогічного об'єктів. Якщо у розпорядженні розробника немає технологічного плану цеху-аналогу, але є можливість ознайомитися з ним у натурі, обміри ділянок можна зробити, використовуючи 12-метровий крок колон будівлі як розмірний модуль.

Мостові крани, фронти навантаження-розвантаження металу, допоміжні приміщення на плані цеху позначаються факультативно.

На рис. 1.5 наведено креслення плану цеху холодної прокатки в учбовому проекті. На рис. 1.6 наведено компонування лінії кліті холодної прокатки і гарячої прокатки.

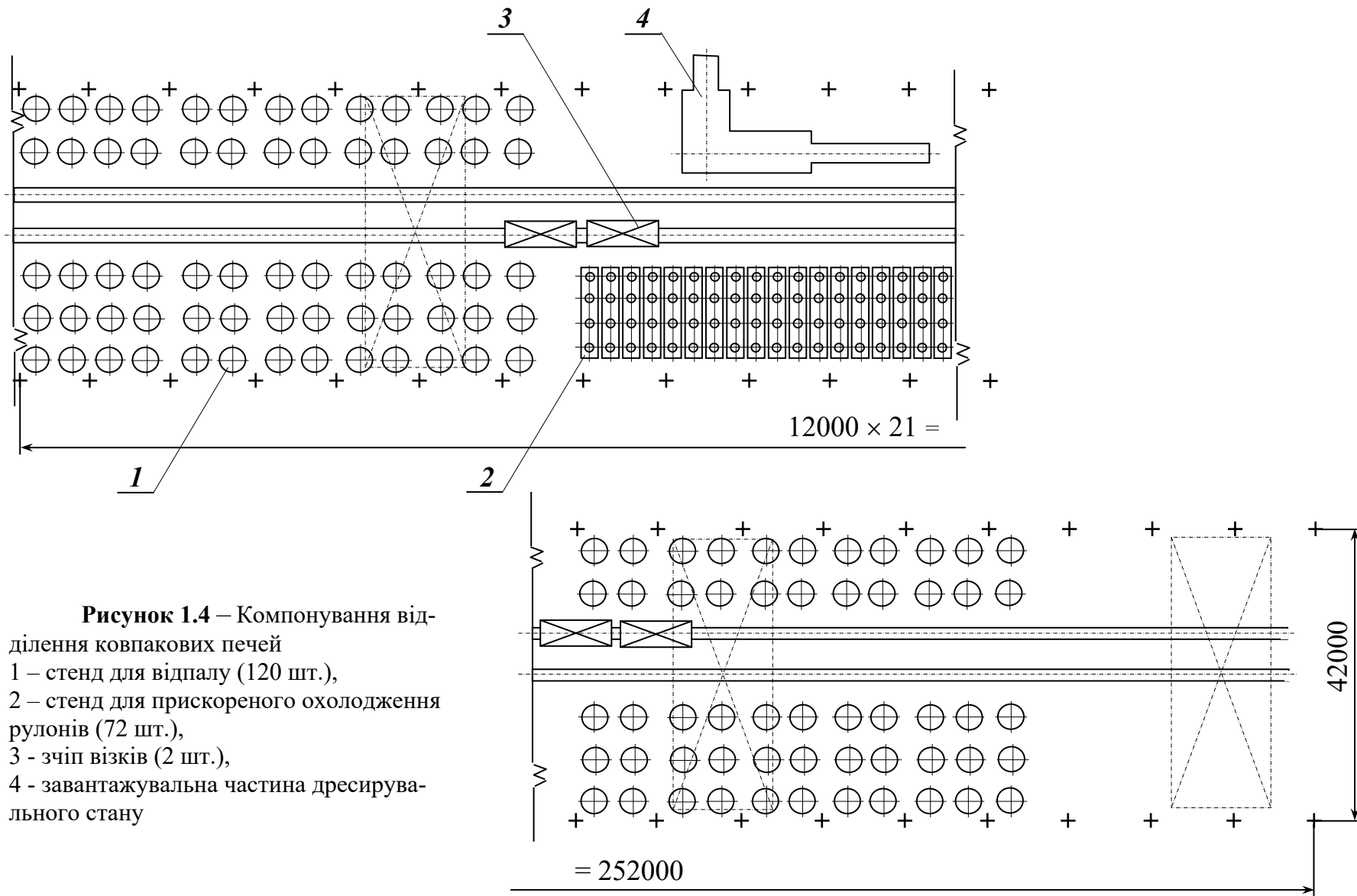


Рисунок 1.4 – Компонування від-

ділення ковпакових печей

1 – стэнд для відпалу (120 шт.),

2 – стэнд для прискореного охолодження
рулонів (72 шт.),

3 - зчіп візків (2 шт.),

4 - завантажувальна частина дресируваль-
ного стану

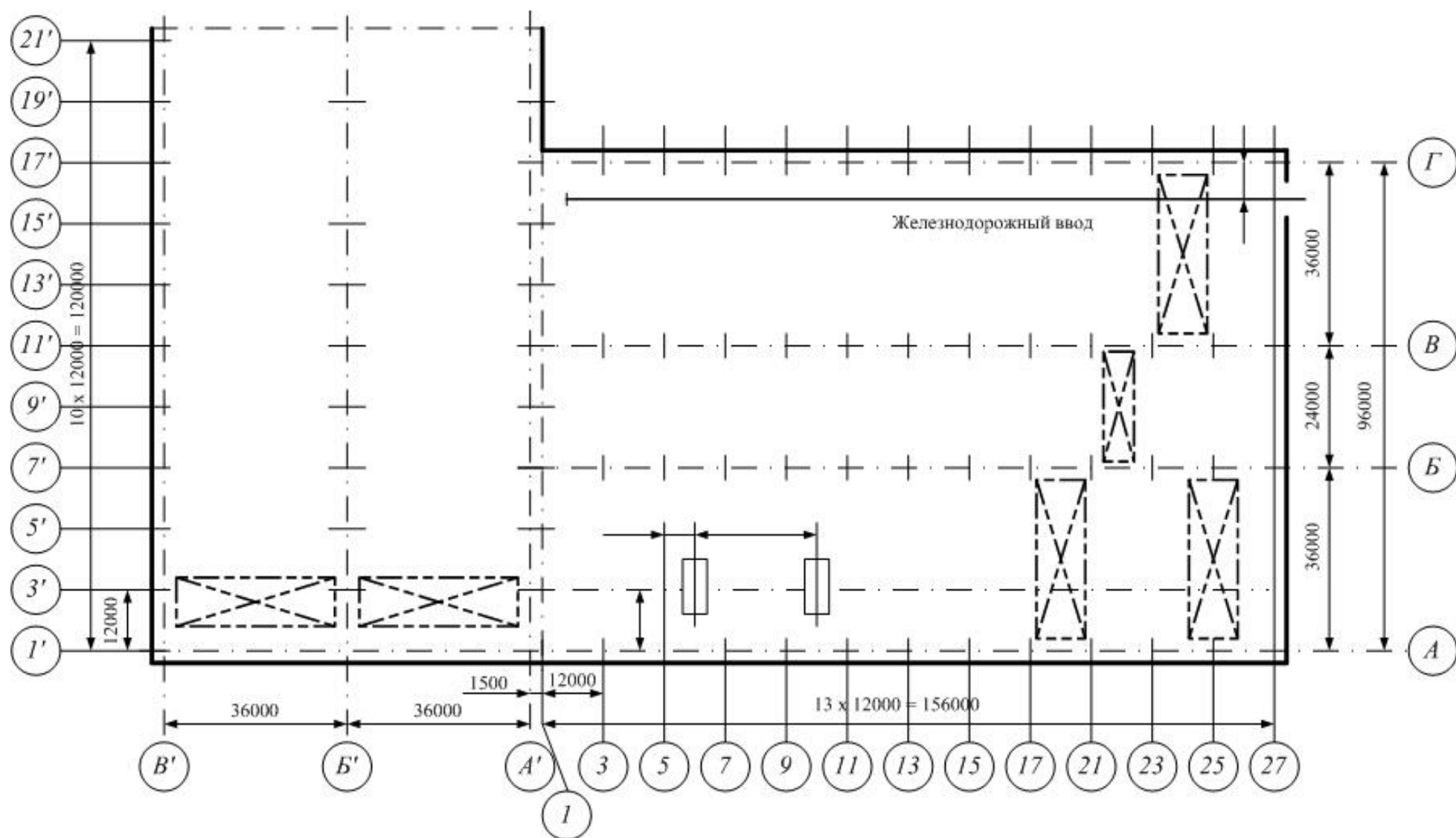


Рисунок 1.5 – План цеху холодної прокатки штаб

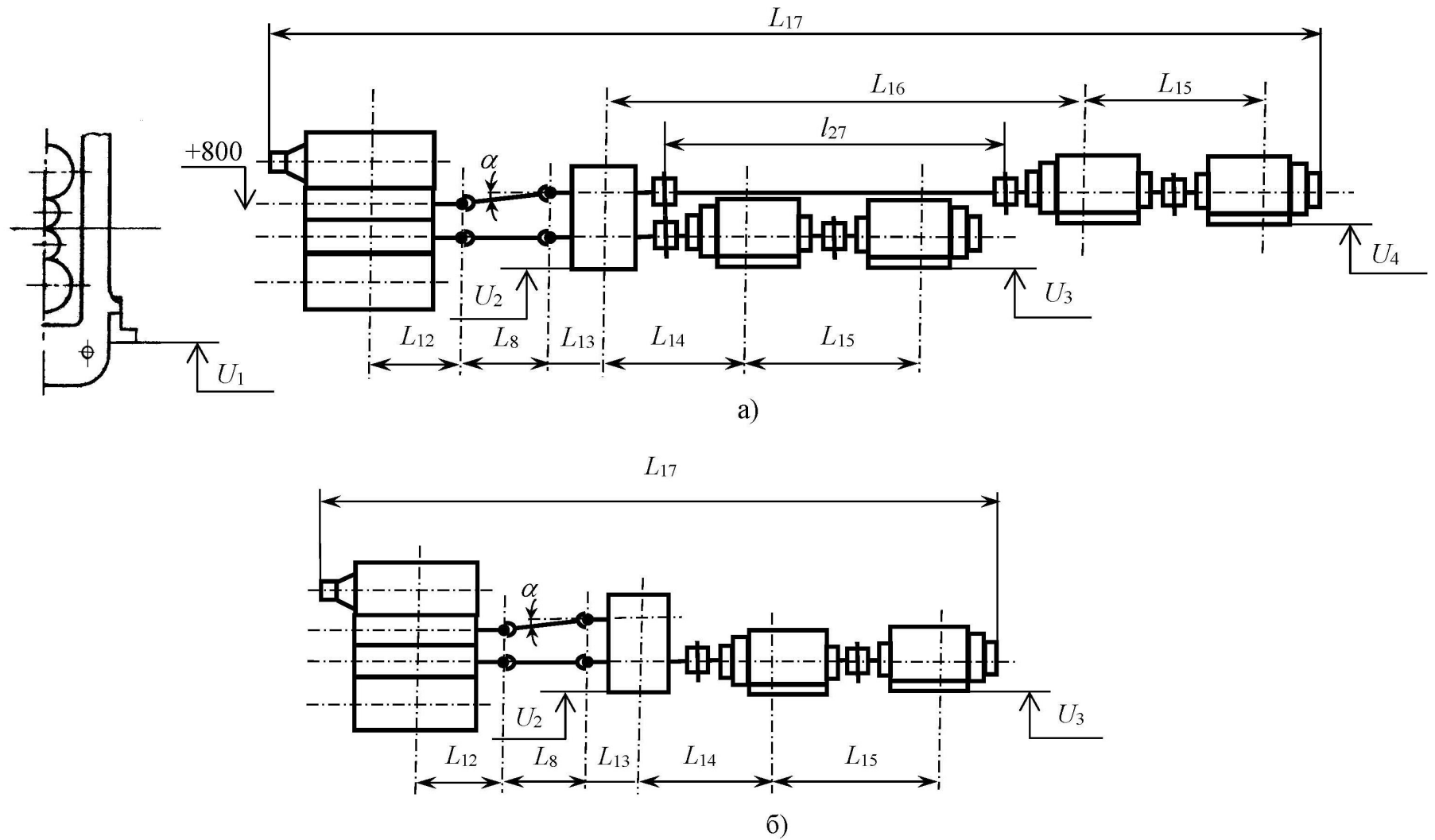


Рисунок 1.6 – Компонування лінії кліті холодної прокатки (а) і гарячої прокатки (б)

2 ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ, СКЛАД ОБЛАДНАННЯ І СОРТАМЕНТ ПРОДУКЦІЇ ЦХП-1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Цех холодної прокатки призначений для виготовлення товарної продукції холоднокатаних листів і рулонів. У цеху холодної прокатки № 1 на безперервному чотириклітинному стані «1680», двох одноклітинних реверсивних станах «1680» і «1200», двадцятивалковому стані «1700» (зараз не працює) та двох безперервних вузькоштабових чотириклітинних станах «450» і «650» виробляються холоднокатаний лист, штаби і стрічки з вуглецевої, легованої, низьковуглецевої та нержавіючої сталі. Товщина прокату від 0,5 до 2,0 мм, ширина – від 950 до 1500 мм та довжина листа до 3500 мм, а маса рулонів – до 14,0 тон.

Вихідним матеріалом для холодної прокатки служать рулони гарячекатаної штаби товщиною 2 – 4 мм, що надходять з широкоштабового стану гарячої прокатки ШСГП.

Технологічний процес виробництва листової холоднокатаної сталі дуже складний, оскільки включає велику кількість переділів, вимагає застосування різноманітного і складного обладнання.

ЦХП-1 у своєму складі має наступні відділення: травильні, прокатні, термічні, дресирувальне, нержавіючого листа, жерсті та підготовки валків.

Травильне відділення раніше включало три травильні лінії, в яких відбувся процес видалення окалини з поверхні штаб. Травильні лінії мали у своєму складі по 4 травильні ванни та допоміжне обладнання: розмотувачі, окалинозламувача, моталки, ножиці для обрізання кінців штаб та ін. Травлення штаб здійснювалося в розчинах сірчаної кислоти каскадним методом. Штаби на травильних лініях №1, №2 зварювалися встик, на лінії №3 – «зшивалися».

Успішне видалення окалини залежить від її фізико-хімічного складу, товщини та умов, в яких протікає процес очищення окалини з поверхні гарячекатаних штаб. Існують кислотний та механічний способи видалення окалини.

Кислотний спосіб видалення окалини чи травлення нині застосовується

найширше. Як відомо, окалина на поверхні гарячекатаної штаби складається з трьох шарів оксидів заліза товщиною 7...15 мкм: внутрішнього – вюститу (FeO), середнього – магнетиту (Fe_3O_4) та зовнішнього – гематиту (Fe_2O_3). Усі шари окалини мають різну міцність та ступінь зчеплення з металом (адгезію) (рис. 2.1).

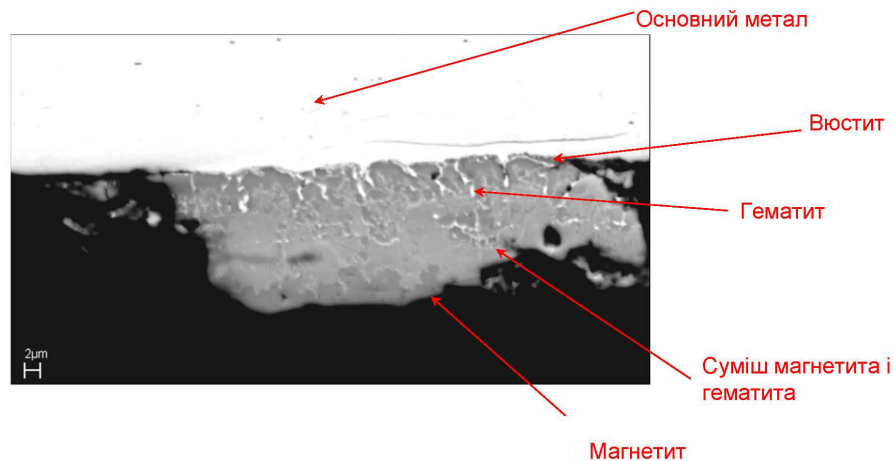


Рисунок 2.1 – Структура окалини на поверхні гарячекатаної штаби

Шар вюститу відрізняється пористою будовою та найменшою міцністю порівняно з іншими оксидами заліза. Шар магнетиту є найбільш міцним, має щільну будову і добре зчіпляється із сусідніми шарами оксидів та з металом. Всі три шари окалини мають різну здатність до травлення. Вюстит та магнетит розчиняються в кислотах, гематит вважається нерозчинною сполукою. Отже, процес травлення полегшується, якщо шар окалини складається з вюститу та магнетиту, а краще, якщо з одного вюститу.

Швидкість травлення штаби залежить від товщини шару окалини. На склад і товщину шару окалини впливають температура кінця прокатки та змотування, швидкість охолодження металу, швидкість виходу штаби з останньої кліті стану гарячої прокатки. Встановлено, що для отримання найменшої товщини шару окалини необхідно, щоб температура кінця прокатки була найменшою, а швидкість прокатки – найбільшою. Однак при цьому слід враховувати умови забезпечення необхідних властивостей та структури металу, оскільки низька тем-

пература кінця прокатки не завжди є бажаною з точки зору отримання необхідних фізико-механічних властивостей прокату.

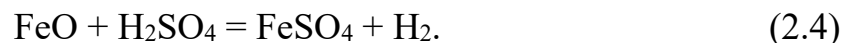
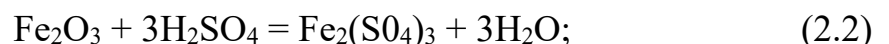
Як зазначалося вище, для кращої здатності до травлення необхідно, щоб у окалині переважав вюстит. Однак вюстит стійкий тільки при температурі вище 575°C, а при нижчій температурі розпадається відповідно до рівняння



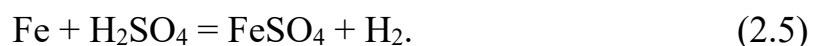
Швидкість розпаду досягає максимуму при температурі близько 480°C, а при 300°C зменшується нанівець. Змінюючи швидкість охолодження штаби у цьому температурному інтервалі, можна регулювати ступінь розпаду вюститу і керувати структурним складом шару окалини.

Для фіксації вюститу в окалині штабу після виходу зі стану гарячої прокатки охолоджують водою в установках ламінарного охолодження. Встановлено, що найкращі умови травлення досягаються при температурі змотування 500...550°C. Ефективність видалення окалини з поверхні штаби залежить від ступеня розпушування окалини та активності травильного розчину: температури, складу та концентрації розчину. У цехах холодної прокатки травлення вуглецевої сталі здійснюється головним чином у розчинах сірчаної чи соляної кислот.

При травленні оксидів заліза в розчині сірчаної кислоти протікають наступні реакції:

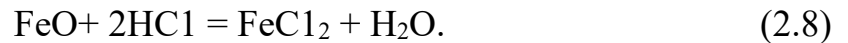


Швидкість реакції збільшується від рівняння (2.2) до рівняння (2.4). Крім того, кислота взаємодіє із залізом

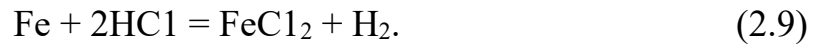


Реакції розчинення окалини в соляній кислоті протікають відповідно до рівнянь





Швидкість реакції збільшується від рівняння (2.6) до рівняння (2.8). Кислота взаємодіє також і з залізом:



Окрім хімічного розчинення заліза при травленні водень, що виділяється, розпушує важкорозчинні оксиди і шар окалини механічно руйнується. Причому цей процес найчастіше превалює над хімічним розчиненням.

Для кращого доступу кислоти до металу окалину розпушують перед надходженням штаби до травильного розчину, для чого сучасні травильні лінії обладнують окалинозламувачами та дресирувальними клітьми.

Ефективність видалення окалини з поверхні штаби значною мірою залежить від активності травильних розчинів. Під активністю розчинів у загальному випадку розуміють швидкість травлення, яка залежить від концентрації кислоти, а також від температури розчину. Встановлено, що найбільша швидкість травлення досягається в 20...25% розчині сірчаної кислоти і в 15...16% розчині соляної кислоти при температурі розчину 90...95°C [4].

На швидкість травлення впливає хімічний склад сталі. Практика показує, що штаби зі спокійної сталі травляться краще, ніж із киплячої. Напівспокійна сталь також труїться краще, ніж кипляча. Це тому, що глибинний шар окалини на спокійній і напівспокійній сталі дуже рихлий. У киплячій сталі, навпаки, шар вюститу добре зчіплюється з основним металом. З підвищенням вмісту вуглецю у сталі швидкість травлення окалини збільшується.

Водень, що виділяється при травленні штаби, з одного боку, сприяє видаленню окалини, а з іншого – дифундує і метал знижує його пластичність (межа міцності підвищується приблизно на 20 – 40 Н/мм²). Швидкість дифузії водню в метал зростає з підвищенням концентрації кислоти та температури нагріву розчину.

Щоб запобігти метал від проникнення в нього водню, усунути втрату металу при травленні, скоротити витрату кислоти та покращити санітарно-гігієнічні

умови для обслуговуючого персоналу, при травленні гарячекатаних штаб з вуглецевої сталі застосовують присадки, зокрема присадку «ЧМ» з відходів нафтопереробки, що складається з регулятора травлення та піноутворювача. Вони покривають поверхню металу тонкою молекулярною плівкою, яка оберігає його від дії кислоти і тим самим запобігає виділенню водню. Присадки зменшують витрату кислоти на 15...30 %, знижують втрату металу до 5 % разом із тим впливають і на тривалість травлення.

Декілька років тому на ПАТ «Запоріжсталь» для травлення гарячекатаних штаб замість сірчаної кислоти стали застосовувати розчин соляної кислоти. Переваги такого травлення наступні: найкраща якість поверхні після травлення; зменшення втрат металу під час травлення; зниження вартості травлення (соляна кислота дешевша за сірчану); підвищення інтенсивності розчинення окалини в 1,5...2 рази; підвищення продуктивності агрегатів травлення в 1,5...2 рази. При травленні штаби з вуглецевої сталі виділяються хлориди заліза та водень. Збіднений розчин соляної кислоти, що містить воду та хлориди заліза, безперервно надходить на регенерацію, де хлористе залізо розкладається на оксид заліза та соляну кислоту. Оксид заліза (у вигляді спресованого порошку) використовується в сталеплавильних печах, а соляна кислота знову надходить у травильні ванни.

Леговані марки сталі після гарячої прокатки мають щільну окалину, яка важко розчиняється в мінеральних кислотах. Для травлення легованих марок сталей застосовують комбінований спосіб, при якому гарячекатані штаби попередньо обробляються в розплавлених лугах, внаслідок чого окалина стає пухкою, легко видаляється подальшим травленням у розчині сірчаної, азотної та соляної кислот. Комбінований спосіб підвищує продуктивність у 1,5...2 рази.

Щоб не зупиняти агрегат за потреби зміни відпрацьованого розчину кислоти, застосовують каскадний спосіб його оновлення. Встановлюється одна травильна ванна, що складається з чотирьох секцій. Свіжий розчин кислоти надходить в останню (по русі штаби) секцію. З цієї секції розчин зі зниженою концентрацією надходить через перегородку в третю ванну, потім другу і першу. З першої се-

кції відпрацьований розчин безперервно зливається в установку регенерації. Надходження свіжого розчину автоматично регулюється в залежності від продуктивності агрегату. З четвертої травильної ванни штаба надходить для промивання у ванну з холодною водою та у ванну з гарячою водою, де за допомогою сопел, водою під тиском $1 - 1,2 \text{ Н/мм}^2$ зі штаби змиваються залишки кислотного розчину та окалини. Після промивання штаба проходить сушильний пристрій, де сушиться гарячим повітрям і подається в петльову яму.

У промаслюючому пристрої на штабу наноситься тонкий шар мастила для запобігання корозії металу при зберіганні на складі перед прокаткою на стані холодної прокатки. Травильні відділення обладнані установками для утилізації відпрацьованих травильних розчинів перед скиданням їх у каналізаційну систему.

До основних дефектів травлення слід віднести: перетрав листів, який характеризується шорсткою поверхнею темно-сірого кольору і викликається малою швидкістю травлення, високою температурою та концентрацією розчину; недотрав листів, що характеризується наявністю окалини на поверхні, утворюється за великої швидкості травлення, низької концентрації або низької температури травильного розчину; водневу крихкість і травильні бульбашки, що утворюються внаслідок проникнення в метал водню, що знижує пластичні властивості металу та викликає спучування окремих місць листка; травильні плями, що утворюються при незадовільному промиванні штаби після травлення.

У лабораторних умовах ТУ ПАТ «Запоріжсталь» досліджувалась ефективність інгібіторів кислотної корозії у наслідок перетраву, зразки яких були надані фірмами «Hencel» (Австрія), «Конкорд» (Україна) та «Ricci» (Італія).

Таблиця 2.1 – Ефективність інгібіторів кислотної корозії при травленні

Інгібітор фірми	Час з травлювання окалини, сек.	Зміна часу з травлювання окалини, %.	Втрата ваги, г/м ²		Угар металу, кг/т		Ступінь захисту металу, Zme, %
			з травлювання основної окалини	при травленні додаткових 5 хвил.	з травлювання основної окалини	при травленні додаткових 5 хвил.	
Конкорд	38,6	6,6	63,87	14,71	5,15	1,19	93,18
Hencel	37,2	2,8	63,37	19,16	5,09	1,55	91,12
Ricci	26,4	5,6	69,51	15,40	5,76	1,28	92,16

Як видно з табл. 2.1, інгібітор фірми «Henkel» загальмовує процес травлення всього на 2,8 %, на відміну від «Конкорду» (на 6,6%) та «Rиссі» (на 5,6 %). Угар металу при зтравлюванні основної окалини також у інгібітора «Henkel» найменший – 5,09 кг/т. Тобто інгібітор «Конкорд» виявився найбільш ефективним.

Недоліки кислотного способу видалення окалини наступні: громіздкість та складність обладнання безперервних травильних агрегатів; насичення металу воднем; висока витрата реагентів та великі втрати заліза; погані санітарно-гігієнічні умови через випаровування кислотного розчину; складність процесу регенерації відпрацьованого розчину.

Частково зазначені вище недоліки травлення усуваються використанням механічного (зокрема, дрібострумінного) способу, який поки що не знайшов широкого застосування у промисловості.

Сутність дрібострумінного способу полягає у тому, що на поверхню штаби подається дріб зі швидкістю до 60 м/с. Вдаряючись об штабу, дріб (діаметром 0,3...3,0 мм з вибіленого чавуну або сталі з межею міцності до 2000 Н/мм²) розпушує і видаляє окалину.

Обробка штаб дробом викликає місцеве зміцнення сталі з підвищенням межі міцності на 20...40 Н/мм², що призводить до деякого зниження пластичних властивостей сталі.

У деяких установках для видалення металевого пилу після дрібострумінної обробки штаба піддається легкому травленню у розчині сірчаної або азотної кислот.

Маючи в якості основного недоліку низьку продуктивність, дрібострумінні установки мають ряд позитивних якостей, що полягають у простій конструкції установок та низькій їх вартості, у малих відходах чистого заліза та кращих умовах праці.

До складу прокатного відділення входять безперервний чотириклітинний стан «1680» та реверсивні стани «1680», «1200», ділянка підготовки валків. Безперервний чотириклітинний стан «1680» складається з 4-х послідовно розташо-

ваних клітей «кварто», що мають у своєму складі два опорні і два робочі валки, а також допоміжного обладнання: підвідного приймального пристрою, поворотного столу, розмотувача, моталки барабанного типу тощо. Реверсивний стан «1680» складається з кліті «кварто» і обслуговуючого її обладнання: конвеєра, що підводить розкат, перекидача, розмотувача, моталки. Реверсивний стан «1200» складається з 4-х валкової кліті та обслуговуючого її обладнання: конвеєра, що підводить розкат, розмотувача, правильнотягнучої машини, плоского повідкового столу, двох моталок.

У термічному відділенні проводиться відпал холоднокатаних рулонів в одностопних ковпакових печах із захисною атмосферою. Максимальна вага садки – 50 тон. У відділенні встановлено 234 стенди згруповані у 15 блоків та один блок печей фірми «EBNER» – 18 стендів. Блоки мають автономну систему подачі природного та захисного газів, повітря, електроенергії, води. Кожен стенд обладнаний циркуляційним вентилятором для конвекції захисного газу під муфелем. Печі також обладнано контрольно-вимірювальною апаратурою, що забезпечує задані температурні режими відпалу.

До складу дресирувального відділення входять стани дресування «1700-1», «1700-2», «Кварто», агрегати поперечного (АПР - 1, АПР - 2, АПР - 3) і поздовжнього (АПР-4, АПР-5) різання. Дресирувальні стани складаються з кліті «кварто», розмотувача, моталки та допоміжного обладнання. Агрегати поперечного різання складаються з ножиць барабанного типу та допоміжного обладнання: розмотувача, правильної машини, роликів, що промаслюють, листоукладачів.

Відділення з виробництва нержавіючого листа оснащено комплексом агрегатів для виробництва холоднокатаного нержавіючого листа товщиною 0,8-2,0 мм, що включає безперервні загартовуючі агрегати №1 і №2, безперервний травильний агрегат №3, агрегат шліфування гарячекатаних штаб, 20-валковий стан, агрегат дресування, виправлення, різання.

Ділянка підготовки валків включає два верстати для обдирки і два верстати для шліфування валків, машину для насічки поверхні валків, майданчик для ревізії подушок і підшипників, стелажі зборки-розбирання валків.

3 ПРОКАТКА ШТАБ НА НЕПЕРЕРВНОМУ СТАНІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ 1680 ЦХП–1 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

3.1 Характеристика обладнання і технологія прокатки

Чотириклітинний неперервний стан холодної прокатки (НСХП) призначений для прокатки холоднокатаного листа та штаби товщиною 0,5...2,0 мм, довжина бочки валків становить 1680 мм, швидкість прокатки – до 10 м/с, діаметр робочих і опорних валків становить 510 і 1210 мм відповідно. Як підкат використовується гарячекатана штаба товщиною 2...3,8 мм з масою рулону до 15 т. Робочі валки обертаються від електродвигуна потужністю 3300 кВт через шестеренну кліть. Сумарне обтиснення на стані досягає 80%. Чотириклітинний НСХП є основним постачальником холоднокатаної штабової сталі на ПАТ «Запоріжсталь».

У тих випадках, коли протруєний рулон для НСХП складається з 2 гарячекатаних штаб, зварених між собою, прокатка зварних швів здійснюється на зниженій швидкості.

При прокатці на НСХП забезпечується отримання необхідних розмірів штаби по товщині, необхідної точності геометричних розмірів та форми штаби, заданих механічних властивостей.

Отримання необхідних розмірів штаби досягається шляхом прокатки за один пропуск у кожній клітці НСХП згідно з розрахованим режимом і характеризується рядом особливостей.

Процес прокатки на НСХП здійснюється зі змінною швидкістю. На рис. 3.1 зображено діаграму зміни швидкості при прокатці одного рулону, що складається з двох гарячекатаних штаб.

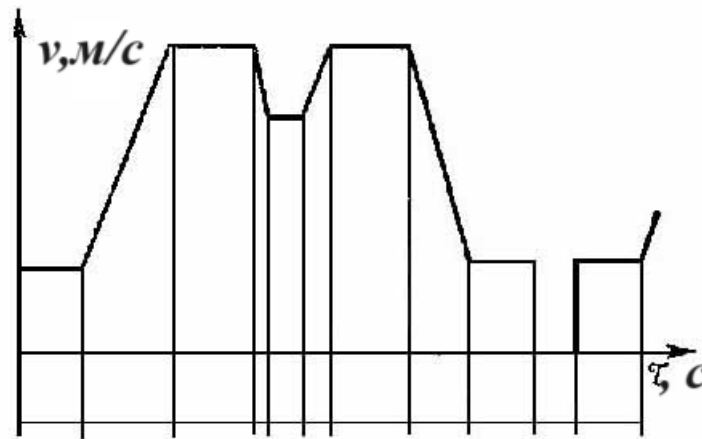


Рисунок 3.1 – Діаграма швидкості прокатки на неперервному стані холодної прокатки 1680

Після заправки штаби в першу кліть прокатка протягом часу τ_1 ведеться на постійній заправній швидкості доти, доки передній кінець штаби пройде всі кліті і на моталці утворюється 2...3 витки штаби. Потім швидкість протягом τ_2 підвищується до робочої, і за час τ_3 рулон прокочується з постійною робочою швидкістю. Перед зварним швом швидкість прокатки сповільнюється протягом часу τ_4 до швидкості прокатки зварного шва та за час τ_5 не змінюється. Потім протягом часу τ_6 відбувається розгін стану до робочої швидкості, і далі все повторюється, як зображено на рис. 4.1. При підході заднього кінця протягом часу τ_7 відбувається уповільнення стану, при цьому швидкість прокатки зменшується з робочої до заправної, після чого задній кінець прокочується з постійною швидкістю заправки протягом часу τ_8 . Після паузи протягом часу τ_9 (від кінця прокатки рулону в першій кліті до моменту завдання переднього кінця іншої штаби в першу кліть) починається прокатка наступного рулону згідно з розглянутою діаграмою.

Таким чином, значна частина штаби прокочується зі змінною швидкістю, що суттєво впливає на параметри процесу прокатки: товщину штаб, коефіцієнт тертя, силу прокатки, обтиснення, натяг тощо.

Прокатка зварних швів на уповільненій швидкості пояснюється нестабільністю механічних властивостей швів та зміною товщини. Якщо при проходженні зварних швів між валками швидкість прокатки не знижувати, це веде до сильних ударів і може статися розрив штаби. Під час проходження зварного шва різко збільшується сила прокатки, виникає велика пружна деформація кліті і шов стискається менше, ніж решта штаби. Після виходу шва з валків сила прокатки різко зменшується, що веде до зміни пружної деформації кліті та удару валків по смузі. Крім цього, при уповільненні та збільшенні швидкості обертання валків стану силові впливи, пов'язані зі швидкісним ефектом, викликають відхилення розмірів товщини штаби в поздовжньому та поперечному напрямках [7].

Щоб не знижувати швидкість прокатки при проходженні зварних швів, необхідно забезпечити однакові механічні властивості металу шва та металу штаби та мінімальну різнотовщинність підкату. Вирівнювання меж текучості матеріалів шва і матеріалу штаби може бути досягнуто зменшенням обтискання шва за рахунок зняття грата на мінус. При цьому товщина шва змінюється по плавній кривій, що забезпечує безударне заповнення осередку деформації, знижуються додаткові силові впливи в процесі прокатки і шов можна прокочувати на робочій швидкості.

Крім того, прокатку зварних швів на робочій швидкості можна вести у разі косоного розташування зварного шва.

Для зменшення часу процесу прокатки, що не встановився, при розгоні і уповільненні швидкості валків стану застосовують двигуни, що забезпечують швидкий розгін і уповільнення.

Процес багаторазового обтиснення штаби на НСХП призводить до значного її розігріву та необхідності примусового охолодження валків і штаби. Зазвичай охолоджувальне середовище є і технологічним мастилом. Мастило при холодній прокатці знижує коефіцієнт тертя між валками і штабою, що прокочується, до 0,02...0,06, завдяки чому зменшуються опір деформації і си-

ла прокатки, що зменшує прогин валків і пружну деформацію кліті. Таким чином, при одній і тій же установці валків прокатка з мастилом забезпечує більший обтиск. Мастило при холодній прокатці знижує витрату енергії, зменшує знос валків і підвищує якість листової сталі.

Мастило утворює розділяючий ковзний шар між валками і штабою, що прокочується: чим надійніше поділ поверхонь ковзання, тим вище ефективність мастила. Ефективність мастила характеризується наявністю поверхнево-активних речовин, здатних адсорбуватися на поверхні ковзання з утворенням міцних мастильних плівок. Змащення повинно добре прилипати до валків, забезпечуючи рівномірну плівку між валками і штабою, що прокочується, і під час прокатки не повинна видавлюватися. Мастило має також легко видалятися з поверхні листової сталі після прокатки. З практичної роботи НСХП та багатьох досліджень відомо, що найкращі результати як мастильно-охолоджувальної рідини дають емульсії на основі мінеральних мастил. При холодній прокатці вуглецевих марок сталей для змащування та охолодження валків широко застосовується емульсія, приготована на емульсолах різних марок: Э-2Б, Т, ИС – 20, ПКС - 1 та ін. Така емульсія має наступний склад: 5...7% емульсола, 3% кальцинованої соди та 91...95% підігрітої води. Склад емульсолів наступний: Е-2 (Б) - розчин натрієвого мила нафтових кислот 7...10%, мінеральна олія И-20А 75...80%; Т - мінеральна олія И-20А 85%, триетаноламінова сіль олеїнової кислоти 12%; СЖК С₁₀...С₂₀ 10%; триетаноламін 4%, стеарокс - 6,5%.

Для прокатки нержавіючих та високолегованих марок сталей з високою межею міцності рекомендується застосовувати високов'язкі мінеральні олії, мастила на жировій основі, що подаються у чистому вигляді або у вигляді водомастильної дисперсії. [2]

Ефективність мастил залежить не тільки від правильного вибору їх складу, а й від способу подачі на штабу та валки. Емульсія подається з обох боків робочої кліті в місця контакту валків і штаби і на метал, що прокочу-

ється. Всі НСХП обладнані досить складними та громіздкими системами для охолодження валків та подачі технологічного мастила на штабу під час прокатки. Ці системи працюють по замкнутому циклу, після використання залишки емульсії направляють у збірник з її повторного використання. Для приготування емульсії необхідної концентрації та подачі її на валки робочих клітей є спеціальна установка. На стан емульсію подають насосами. Для очищення емульсії від забруднень є фільтри та магнітні сепаратори. Для охолодження емульсії установка обладнана охолоджувачами.

Необхідною умовою нормального процесу холодної прокатки є сталість об'ємів металу, що проходять через кліть за секунду, що описується рівнянням

$$v_1 h_1 = v_2 h_2 = v_3 h_3 = v_4 h_4 \quad (3.1)$$

де v_1, v_2, v_3, v_4 – швидкості виходу металу з валків;

h_1, h_2, h_3, h_4 – товщини штаб на виході з кліті.

Холодна прокатка на НСХП здійснюється зі значним натягом, який знижує силу прокатки, стабілізує процес прокатки і служить як регулюючий фактор товщини штаби. Натяг, що впливає на силу прокатки і, отже, на пружну деформацію валків, може бути керуючим параметром по відношенню до форми: зростання загального натягу впливає на формоутворення і можлива поява короба, а зменшення натягу сприяє утворенню хвилястого краю, тобто браку продукції.

Рівень міжклітинних натягів вибирають таким, щоб не перевищити критичних напруг. Питомі натяги між клітинами становлять $(0,3...0,6) \sigma_T$.

Зазвичай на штабу в першій кліті діє лише переднє натягування, а в останній та проміжних клітинах діє переднє та заднє натягування. Натяг між клітями створюється за допомогою неузгодженості швидкостей, а передній натяг у останній кліті – моталкою [2].

Істотною особливістю холодної прокатки є наявність наклепу, внаслідок чого різко зростають межа міцності, межа плинності та зменшується відносне подовження. Так, наприклад, для сталі 0,8 ПС межа плинності дорівнює $248 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2$, а після прокатки з обтисненням 50 % вона збільшується до $725 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2$. Експериментальні дослідження показали, що існує тісний зв'язок між межею плинності та відносним обтисненням, і були виведені апроксимуючі функції для визначення межі плинності різних марок сталей. Ці дані показують, що межа плинності інтенсивно зростає в перших клітинах, в останніх клітинах інтенсивність зростання значно знижується.

Холодна пластична деформація металу супроводжується значним виділенням тепла, тому температура штаби досягає $150\text{...}250^\circ\text{C}$. Аналіз численних експериментальних даних свідчить про необхідність врахування впливу температури металу на величину межі плинності. Врахування впливу температури може бути здійснено за допомогою температурного коефіцієнта

$$\sigma_t^t = \sigma_T n_t \quad (3.2)$$

де σ_T – дійсна межа плинності з урахуванням температури; n_t – температурний коефіцієнт.

Температурний коефіцієнт визначається за формулою

$$k_t = a + c(1,11 - 0,0044 \cdot t_n)^n \quad (3.3)$$

де t_n – температура металу перед осередком деформації, a , c , n , – коефіцієнти для певного виду мастила.

Складність обліку впливу температури на межу плинності обумовлюється необхідністю інформації про температуру металу в осередку деформації, яку здебільшого одержати дуже важко.

Прокатка на НСХП характеризується високими швидкостями деформації (від 1 до 10^3 с), які впливають на межу плинності. Однак цей вплив незначний і ним зазвичай нехтують.

Отримання необхідної точності геометричних розмірів та форми штаби на НСХП є найважливішим завданням, оскільки з підвищенням точності економиться метал та стабілізується робота агрегатів, які використовують холоднокатану штабу як заготовку.

Вплив різнотовщинності підкату необхідно розглядати з урахуванням зміни наклепу, сплющування валків та натягу. Зміна механічних властивостей при зміні обтискання в залежності від вихідної різнотовщинності істотно позначається на $M_{\text{п}}$ і $\partial P/\partial h_0$ особливо при прокатуванні ненаклепаних штаб з великим обтисканням. У міру збільшення попереднього обтиснення штаби та зменшення обтиснення за пропуск цей вплив зменшується. Зі зростанням наклепу величина $M_{\text{п}}$ збільшується, а коефіцієнт вирівнювання зменшується.

Різнотовщинність підкату викликає на НСХП порушення стійкості процесу та зміну міжклітинних натягів, що впливає на коефіцієнт вирівнювання. Зміна питомих натягів викликає додаткову зміну сили прокатки, що враховується у виразах $\partial P/\partial h_1$ та $\partial P/\partial h_0$, які у свою чергу є визначальними під час знаходження $K_{\text{в}}$. Крім того, змінюється і $M_{\text{п}}$.

Натяг штаби суттєво впливає на товщину штаби: зі збільшенням натягу товщина штаби зменшується. Задній натяг штаби значно більше впливає на вирівнювальну здатність стану. Цей вплив з'являється в залежності від жорсткості штаби $M_{\text{п}}$ і коефіцієнта $\alpha_{\text{к}}$.

У загальному випадку коефіцієнт вирівнювання зі зростанням натягу зменшується, при цьому для більш тонких штаб інтенсивність зменшення $K_{\text{в}\Sigma}$ значно більша.

Зменшення загального коефіцієнта вирівнювання стану ($K_{\text{в}\Sigma}$) відбувається в основному за рахунок зростання коефіцієнта $\alpha_{\text{к}}$ для середніх клітей, так як натяг штаби перед першою кліткою і після останньої кліті завжди менше натягу між клітьми. Таким чином, для зменшення ПРР холоднокатаної штаби слід проводити прокатку з невеликим натягом, особливо при прокату-

ванні тонких штаб. При стійкому процесі прокатки для забезпечення високої точності розмірів штаби по довжині доцільно підтримувати натяг у межах $\sigma = (0,2...0,4) \sigma_T$.

Механічні властивості підкату довжиною штаби розподіляються нерівномірно. Поряд з неоднорідністю механічних властивостей через неоднорідність хімічного складу в слябах, в гарячекатаних рулонах виникає додаткова неоднорідність через різні режими охолодження кінців і середини штаби. Кінці штаби остигають швидше, в результаті межа міцності металу на початку і в кінці рулону вище, ніж у середині, на 10...18%.

Зміни товщини та натягу штаби по фазі збігаються зі зміною зазору між валками через биття валків. Передатний коефіцієнт від переміщення валків до зміни товщини зростає, тому що Ψ_i більше 1, Вплив натягу більше позначається на передавальних коефіцієнтах клітей, що працюють з великими міжклітинними натягами.

Відносна поздовжня різнотовщинність штаби при однаковому битті валків по клітях більше для штаб меншої товщини, незважаючи на більшу жорсткість штаби. Частка поздовжньої різнотовщинності через биття валків зі зменшенням товщини штаб збільшується від останніх клітей до перших. Так, для штаб товщиною 0,5 мм биття валків у першій кліті має домінуючий вплив на різнотовщинність (в 2...3 рази більше, ніж в інших клітинах). Отже, при правильній комплектації валків по клітях стану залежно від ексцентриситету валків можна зменшити поздовжню різнотовщинність через биття валків. При цьому слід комплектувати валки, орієнтуючись на прокатку тонких штаб, для яких вплив биття валків більш суттєвіший.

Жорсткість кліті та штаби істотно впливає на коефіцієнт вирівнювання. При холодній прокатці відношення $M_n/M_k = 2...20$ і ефективність збільшення жорсткості робочих клітей залежить від сортаменту стану, тобто величини жорсткості штаби. Так, зі збільшенням жорсткості клітей НСХП 1680 в 1,5

рази відносна різнотовщинність підкату зменшується в 1,3...1,7 рази. Причому ефективність збільшення жорсткості перших клітей у 2...5 разів вища, ніж останніх. Це пояснюється збільшенням жорсткості штаби в міру зменшення її товщини, оскільки збільшується наклеп металу [1].

Збільшення числа клітей сприятливо позначається на точності штаби, оскільки зменшується обтискання по клітях і підвищуються коефіцієнти вирівнювання кожної кліті .

Швидкість прокатки впливає на поздовжню різнотовщинність через коефіцієнт тертя, межу плинності матеріалу, що прокочується, і внаслідок зміни товщини масляної плівки підшипників рідкісного тертя (ПРТ).

Практичні дослідження показали, що зі збільшенням швидкості прокатки до 5...7 м/с відбувається зниження коефіцієнта тертя від 0,15 до 0,06, а потім коефіцієнт тертя залишається практично постійним. Зменшення коефіцієнта тертя призводить до зменшення сили прокатки і, отже, зменшення товщини штаби.

Зі збільшенням швидкості прокатки підвищується температура металу внаслідок теплового ефекту пластичної деформації. Збільшення температури металу призводить до зниження межі плинності, а отже, до зменшення сили прокатки та товщини штаби.

Вплив ПРТ може призвести до збільшення або зменшення товщини штаби. Поперечна різнотовщинність холоднокатаних штаб визначається прогином валків, тепловою опуклістю, вихідним профілюванням валків і зносом валків.

Як показують дослідження, поперечний профіль холоднокатаних штаб якісно повторює профіль гарячекатаної штаби, зменшуючись при рівності витяжок по ширині. На рис. 4.2 представлені профілі гарячекатаних та холоднокатаних штаб НСХП 1680. Поперечний профіль холоднокатаних штаб за формою подібний до поперечного профілю підкату.

Отримання на НСХП поперечного профілю штаби без різнотовщинності з різнотовщинного підкату призводить до виникнення внутрішніх напруг внаслідок нерівності витяжок по ширині і, як наслідок, до утворення хвилястості або коробоватості. Дуже важливо, щоб поперечний профіль гарячекатаних штаб був стабільним від рулону до рулону, оскільки при зміні профілю штаби необхідно змінювати налаштування валків.

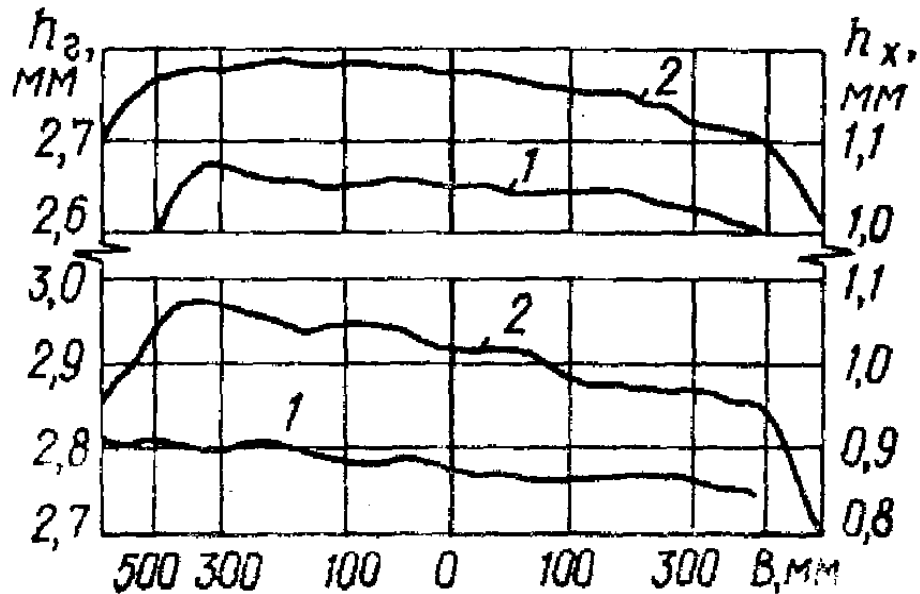


Рисунок 3.2 – Профілограма холоднокатаних (1) та гарячекатаних (2) штаб різної товщини

Площинність (неплощинність) холоднокатаного штабового прокату визначається за величиною відхилення від рівності і проявляється у вигляді хвилястості та коробоватості за наявності нерівності витяжок по ширині штаби. Між поперечним профілем та формою штаби існує тісний взаємозв'язок.

Отримання необхідних механічних властивостей є найважливішим завданням прокатки, оскільки значною мірою структура та здатність штампування листової сталі визначаються режимом холодної прокатки. При малій мірі деформації, нижче критичної, зерна гарячекатаного металу майже не

дробляться, і при наступному відпалі зовсім не спостерігається зростання зерна, оскільки відсутня рекристалізація. При критичному ступені деформації (наприклад, 7...10 % для сталі 08кп) при рекристалізації утворюються дуже великі зерна. Зі збільшенням ступеня деформації зерна фериту дробляться та витягуються у напрямку прокатки, відбувається розрив міжзеренної речовини, межі зерен майже зникають, цементит також витягується вздовж напрямку прокатки. При обтисканні більше 50% структура стає полосчатою (текстурою), з подальшим збільшенням обтискання межа плинності стає майже рівною межі міцності, область пластичної деформації зменшується, так як метал зміцнюється, і подальша прокатка стає не можливою (для вуглецевої сталі таке явище настає при $\varepsilon = 95...97\%$) [9].

Зі збільшенням ступеня деформації відбувається зростання меж плинності та міцності холоднокатаної відпаленої сталі. Найменша величина межі плинності відпаленої сталі стає при обтисканні 30 ... 40%, що дає можливість знижувати межу плинності та отримувати більш високу пластичність. Однак для такого режиму обтиснення необхідний тонкий підкат, який на НШС гарячої прокатки дуже важко отримати. Тому при холодній прокатці на практиці сумарний обтиск становить 50...80 %, а отримання необхідних механічних властивостей забезпечують підбором оптимального хімічного складу сталі та режиму відпалу. Наприклад, можливе застосування проміжного відпалу після обтиснення 50...55 %, що дає змогу підвищити відносне подовження на 8...10 %, знизити межу плинності на 3 0...50 Н · мм² і твердість на 3...6 одиниць за Брінелем. Крім того, в цьому випадку не обмежується максимальна товщина підкату, що прокочується на стані гарячої прокатки.

4 ВИРОБНИЦТВО ЛИСТА З ГАРЯЧЕКАТАНОГО РУЛОНУ НА ЛІНІЇ ПОПЕРЕЧНОГО РІЗАННЯ

4.1 Характеристика обладнання лінії поперечного різання

Іспанська фірма Fagor Arrasate спеціалізується на виготовленні і поставці обладнання для обробки металів тиском, починаючи з окремих пресів і штамповочних центрів до комплексних виробничих ліній по переробці, виробництву і різанні металевого листа. Практично усі великі виробники рулонів і листів із сталі і алюмінію мають устаткування цієї фірми.

На рис. 3.3 наведена кінематична схема агрегату поперечного різання фірми Fagor Arrasate для виробництва сталевих листів шириною 800 – 1800 мм і товщиною 1,5 – 12,7 мм з гарячекатаних рулонів, де 1 – розмотувач гарячекатаного рулону; 2 – тягнучі ролики, що подають; 3 – п'ятироликів правильна машина; 4 – машина сухої щіткової очистки штаби з вакуумним відсмоктуванням пилу; 5 – гільйотинні ножиці торцевого обрізання штаби; 6 – кромкообрізні і кромкокрошильні ножиці; 7 – одинадцятироликів правильна машина для точного виправлення товстих штаб; 8 – п'ятнадцятироликів правильна машина для точного виправлення тонких штаб; 9 – летючі ножиці різання штаби на листи заданої довжини; 10 – транспортер із зоною інспекції і вакуумний листоукладач; 11 – цепний транспортер готової штаби; 12 – дільниця обв'язування та зважування готового листа.

Спочатку рулон встановлюється у накопичувач мостовим краном. З накопичувача він підхоплюється загрузочним візком, зважується і автоматично заводиться на барабан розмотувача, який розширюється за допомогою внутрішніх клинів і жорстко фіксує рулон. Роздвижний відкидний стіл дозволяє працювати з рулонами різного діаметру і служить для облегшення процесу розмотування перших витків рулону і підтримання штаби до її заправки у тягнучі ролики, що подають. Щоб усунути ефект кривизни рулону використо-

вується рама, що відкидається, з гідравлічним приводом.

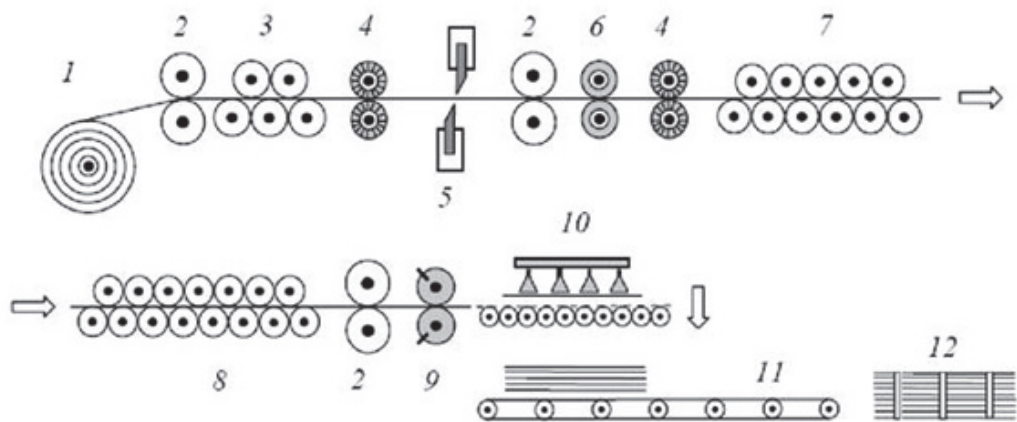
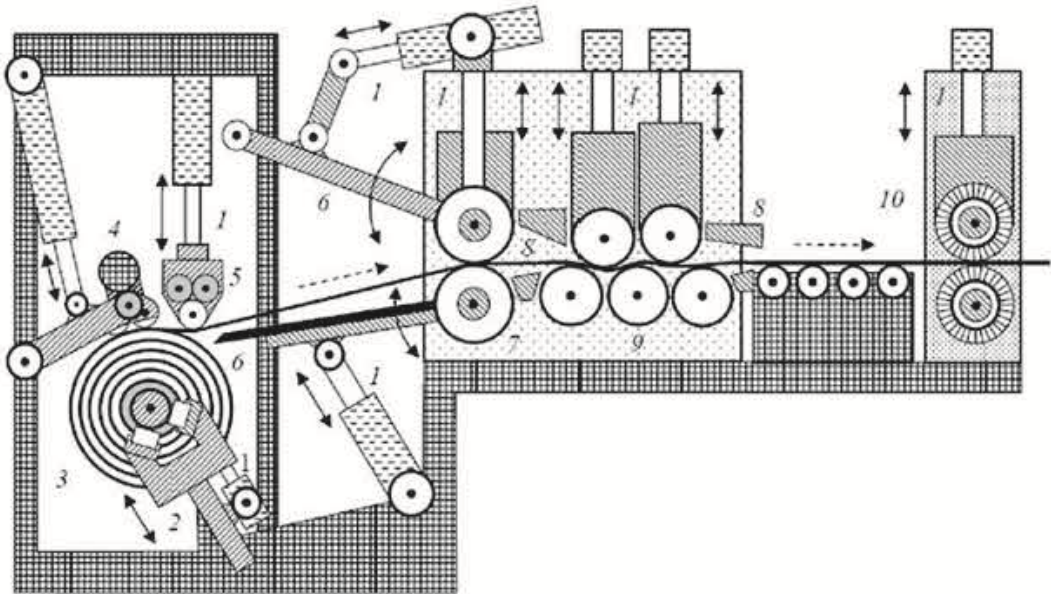


Рисунок 4.1 - Кінематична схема агрегату поперечного різання для виробництва сталевих листів (позначення у тексті)

Попереднє виправлення сталеві штаби виконується на п'ятироlikовій правильній машині. У подальшому для очищення поверхні штаби використовується машина з двома щітковими роliками і витяжним вентилятором для пилу. Потім гільйотинні ножиці виконують торцеве обрізання штаби. Перед кромкообрізними ножицями встановлюються вертикальні напрямні роliки, що подають. Кромкообрізні ножиці служать для обрізання кромки штаби. Обрізані кромки подаються на кромкокрошильні ножиці, де відбувається їх подрібнення і вигразка скрапу. Далі знову використовується машина сухої щіткової очистки штаби з вакуумним відсмоктуванням пилу. Точне виправлення сталеві штаби виконується на двох багатороlikових правильних машинах для діапазонів великих і малих товщин листів. Для подавання штаби в летючі ножиці передбачені два тягнучі роliка. Летючі ножиці служать для поперечного різання штаби на листи заданої довжини. Потім транспортер передає порізані листи до вакуумного листоукладача, який виконує їх пакування. Потім пачки листів переміщуються уперед зважуються та виконується поперечне автоматичне обв'язування.

4.2 Виправлення листа на п'ятироlikовій правильній машині

На рис. 4.2 показана кінематична схема лінії виправлення сталевго листа з гарячекатаного рулону.



1 – гідроциліндри; 2 – пересувний розмотувач рулонів з чотирисекційним барабаном для фіксації рулону; 3 – гарячекатаний сталевий рулон; 4 – притискна балка з привідним роликem і зовнішньою підшипниковою опорою; 5 – механізм для виправлення кривизни рулону; 6 – пристрій з висувним столом для розкриття рулону і проводки листа; 7 – ролики, що тягнуть і подають; 8 – направляючі листа; 9 - п'ятироlikова правильна машина (верхні два ролика мають незалежне вертикальне переміщення, нижні три ролика нерухомі)

Рисунок 4.2 – Кінематична схема п'ятироlikової правильної машини

Нехай t – крок між нижніми роliками; H_2 і H_4 – величини обтиснення серединної поверхні сталевго листа на другому і четвертому роliках; h – товщина сталевго листа; R – радіус робочих роliків; $R_o = R + h/2$; σ_T , E , Π_p і Π_c – межа плинності, модуль Юнга, і модулі зміцнення сталі при розтягненні і стисканні; ρ_i і $\varepsilon_i = 1/\rho_i$ – радіуси кривизни і кривизна серединної лінії листа

у точках її торкання з роликками; φ_i – кути точок торкання листа і роликів ($i = 1 \dots 5$) (рис. 4.3).

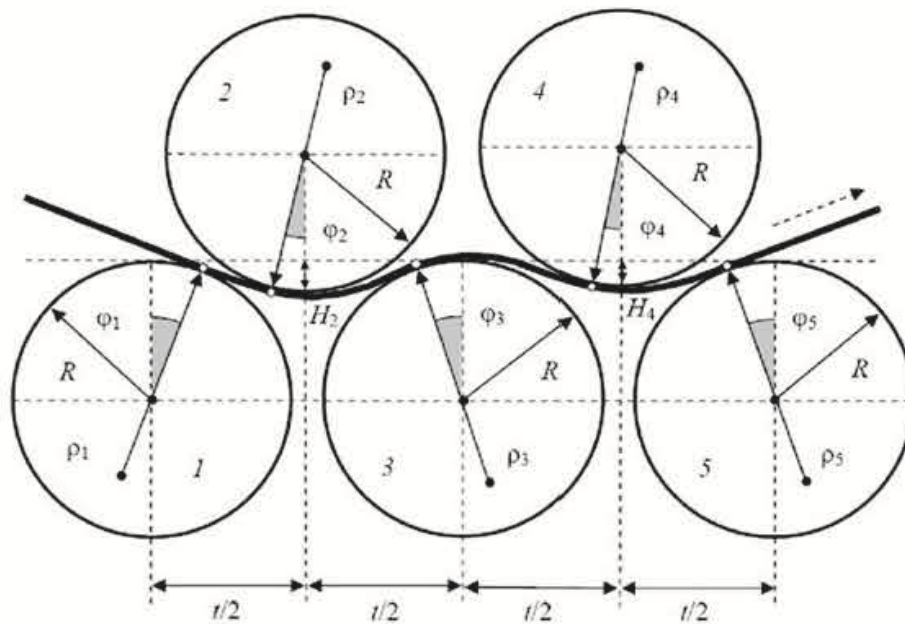


Рисунок 4.3 – Позначення на схемі п'ятироликової правильної машини

Коефіцієнт пружинення нейтральної лінії листа при радіусі кривизни ρ дорівнює

$$\beta(\rho) = \frac{1}{1 - \left[3 \left(\frac{\rho \sigma_T}{h E} \right) - 4 \left(\frac{\rho \sigma_T}{h E} \right)^3 + \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{2E} \left(1 - 3 \left(\frac{\rho \sigma_T}{h E} \right) + 4 \left(\frac{\rho \sigma_T}{h E} \right)^3 \right) \right]}.$$

Згинальний момент у поперечному перетині листа

$$M(\rho) = \frac{bh^2\sigma_T}{4} - \frac{b\rho^2\sigma_T^3}{3E^2} + \frac{b(\Pi_p + \Pi_c)}{6\rho} \left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_T\rho}{E} \right)^2 \left(h + \frac{\sigma_T\rho}{E} \right).$$

Ведемо п'ять локальних прямокутних декартових систем координат $u - z$ у точках торкання листа з робочими роликками листопрямуючої машини. Осі z направлені по дотичній до поверхні роликів зліва направо, а осі u – перпендикулярно до осі z в сторону центрів відповідних роликів. Будемо апроксимувати у цій системі координат нейтральну лінію листа (між сусідніми точками торкання листа і роликів) за допомогою кубічних поліномів. Відміти-

мо, що перші два коефіцієнта цих поліномів дорівнюють нулю, оскільки лист торкається роликів у початку систем координат. Позначимо a_i і b_i – коефіцієнти кубічних поліномів в i -тій системі координат. Складемо рівняння для коефіцієнтів кубічних поліномів, кривизни і радіусів кривизни нейтральної лінії листа у точках торкання листа з роликами.

Перший і другий ролики:

$$z_2 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + \\ + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1, \\ y_2 = - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + \\ + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1, \\ a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\varepsilon_{12} = 2a_1, \quad \rho_{12} = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_{21} = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{21} = \frac{1}{\varepsilon_{21}}.$$

Другий і третій ролики:

$$z_3 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 + R_0 \cos \varphi_3 \right) \cos \varphi_2 + \\ + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2, \\ y_3 = - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 + R_0 \cos \varphi_3 \right) \sin \varphi_2 + \\ + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2, \\ a_2 = \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 + \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 + \varphi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_{23} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{23} = \frac{1}{2a_2}, \\ \varepsilon_{32} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_3 = \rho_{32} = \frac{1}{\varepsilon_{32}}.$$

Третій і четвертий ролики:

$$\begin{aligned}
 z_4 &= \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_3 + R_0 \cos \varphi_4 \right) \cos \varphi_3 + \\
 &+ [H_4 - R_0 (1 - \cos \varphi_3) - R_0 (1 - \cos \varphi_4)] \sin \varphi_3, \\
 y_4 &= - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_3 + R_0 \cos \varphi_4 \right) \sin \varphi_3 + \\
 &+ [H_4 - R_0 (1 - \cos \varphi_3) - R_0 (1 - \cos \varphi_4)] \cos \varphi_3, \\
 a_3 &= \frac{3y_4 + \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^2}, \quad b_3 = \frac{2y_4 + \operatorname{tg}(\varphi_3 + \varphi_4)z_4}{z_4^3}, \\
 \varepsilon_{34} &= 2a_3, \quad \rho_{34} = \frac{1}{2a_3}, \quad \varepsilon_{43} = \frac{2a_3 - 6b_3z_4}{\left[1 + (2a_3z_4 - 3b_3z_4^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{43} = \frac{1}{\varepsilon_{43}}.
 \end{aligned}$$

Четвертий і п'ятий ролики:

$$\begin{aligned}
 z_5 &= \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_4 + R_0 \cos \varphi_5 \right) \cos \varphi_4 + \\
 &+ [H_4 - R_0 (1 - \cos \varphi_4) - R_0 (1 - \cos \varphi_5)] \sin \varphi_4, \\
 y_5 &= - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_4 + R_0 \cos \varphi_5 \right) \sin \varphi_4 + \\
 &+ [H_4 - R_0 (1 - \cos \varphi_4) - R_0 (1 - \cos \varphi_5)] \cos \varphi_4, \\
 a_4 &= \frac{3y_5 + \operatorname{tg}(\varphi_4 + \varphi_5)z_5}{z_5^2}, \quad b_4 = \frac{2y_5 + \operatorname{tg}(\varphi_4 + \varphi_5)z_5}{z_5^3}, \\
 \varepsilon_{45} &= 2a_4, \quad \rho_4 = \rho_{45} = \frac{1}{2a_4}, \\
 \varepsilon_{54} &= \frac{2a_4 - 6b_4z_5}{\left[1 + (2a_4z_5 - 3b_4z_5^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_5 = \rho_{54} = \frac{1}{\varepsilon_{54}}.
 \end{aligned}$$

Граничні умови задачі мають вид:

$$\rho_{12} = \rho_1, \quad \rho_{21} = -\rho_{23}, \quad \rho_{32} = -\rho_{34}, \quad \rho_{43} = -\rho_{45}, \quad \rho_{54} = \beta(\rho_{45})\rho_{45}$$

На рис. 4.4 і 4.5 по горизонтальній осі відкладено поздовжня вісь листа, по осі ординат – прогинання серединної лінії і кривизна поздовжніх волокон листа.

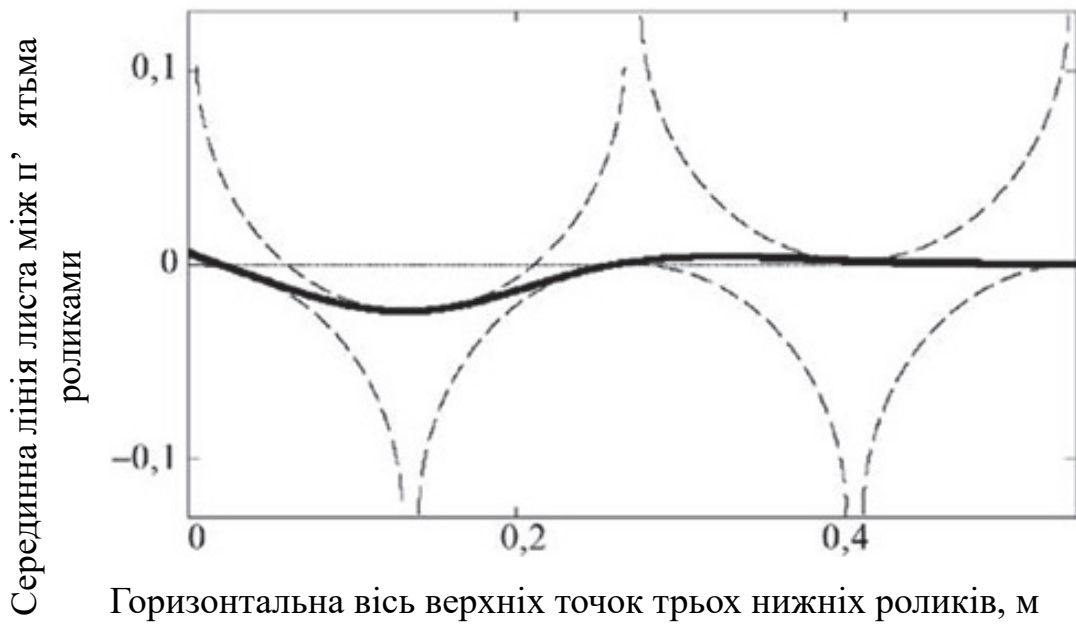


Рисунок 4.4 – Прогинання серединної лінії по довжині листа

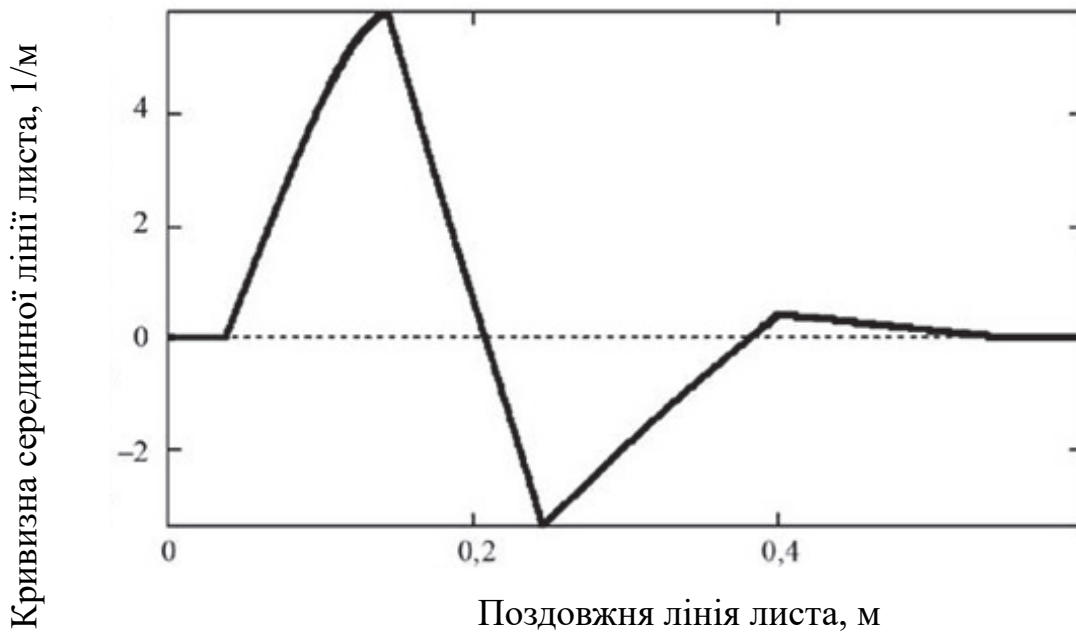


Рисунок 4.5 – Кривизна поздовжніх волокон листа

Вирішуючи систему рівнянь при $t = 0,27$ м, $R = 0,125$ м, $h = 0,01$ м, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$ Па, $H_2 = 0,024$ м, $H_4 = -0,002$ м, і $\rho_1 = \infty$ м, отримаємо $\rho_2 = 0,172$ м, $\rho_3 = -0,295$ м, $\rho_4 = 2,482$ м, $\rho_5 > 10^{10}$ м, $\varphi_1 = 16,89^\circ$, $\varphi_2 = -3,89^\circ$, φ_3

$= 10,80^\circ$, $\varphi_4 = 1,93^\circ$, $\varphi_5 = -0,31^\circ$ (рис. 4.4, 4.5). На рис. 4.5 точки локальних екстремумів кривизни відповідають точкам торкання листа з робочими роликками листопрямильної машини.

Результати розрахунків при $t = 0,27$ м, $R = 0,125$ м, $h = 0,01$ м, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$ Па, $H_2 = 12$ мм і $H_4 = -2$ мм і різних значеннях радіусу початкової кривизни листа на першому ролику ρ_1 наведено у табл. 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків радіусів кривизни листа у точках його торкання з роликками

	$\rho_1 = 0,5$ м	$\rho_1 = 1$ м	$\rho_1 = \infty$ м	$\rho_1 = -1$ м	$\rho_1 = -0,5$ м
ρ_2 , м	0,476	0,422	0,380	0,346	0,320
ρ_3 , м	-0,725	-0,699	-0,676	-0,656	-0,639
ρ_4 , м	90,18	44,20	29,89	23,02	19,08
ρ_5 , м	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000

Таблиця 4.2 – Кути торкання сталевго листа і роликів

	$\rho_1 = 0,5$ м	$\rho_1 = 1$ м	$\rho_1 = \infty$ м	$\rho_1 = -1$ м	$\rho_1 = -0,5$ м
φ_1 , град	11,47	9,92	8,23	6,37	4,31
φ_2 , град	-2,28	-1,66	-1,03	-0,41	0,19
φ_3 , град	4,74	4,88	5,01	5,13	5,24
φ_4 , град	0,87	0,90	0,93	0,95	0,98
φ_5 , град	-0,82	-0,81	-0,79	-0,78	-0,77

Деформація листа на ділянці 1-2-3-й ролики служать для часткового зняття остаточних напруг усередині листа і приведення кривизни листа на третьому ролику до деякого майже постійного значення незалежно від початкової кривизни листа на першому ролику. Деформація листа на ділянці 4-5-6-й ролики служать для надання листу плоскої форми після його виправлення на п'ятироликовій правильній машині.

Кривизна листа у гарячекатаному рулоні не постійна і змінюється від $1/R_{\text{зовн}}$ до $1/R_{\text{внутр}}$, де $R_{\text{зовн}}$ і $R_{\text{внутр}}$ – зовнішній і внутрішній радіуси рулону. Для зменшення остаточних напружень у листі і отримання більш однорідної

кривизни листа на вході до листопрямильної машини, доцільно змінити знак кривизни листа в рулоні за допомогою механізму для виправлення кривизни рулону і створити натягнення листа на ділянках між рулоном і роликами, що подають, і між роликами, що подають і першим робочим роликом за рахунок різниці тягнучих зусиль від роликів, що подають, і роликів листопрямильної машини.

При правильному виборі обтиснень сталевих листа верхніми двома роликами, кінцева кривизна листа після його виходу з п'ятироlikової листопрямильної машини може бути практично рівна нулю (табл. 4.1), якщо початкова поздовжня кривизна листа на першому ролику $|\varepsilon_1| \leq 1/(R + h/2)$, а середина лінія листа має *точки перегинання* (точки нульової кривизни, в яких кривизна змінює знак) на ділянках між першим і другим роликами і між другим і третім роликами. Якщо $|\varepsilon_1| > 1/(R + h/2)$, то деякі ділянки листа можуть не мати контакту з поверхнею робочих роликів. У цьому випадку повністю виправити лист на п'ятироlikовій листопрямильній машині не виявляється можливим, однак кривизна листа в процесі виправлення зменшується.

4.3 Економічна оцінка проектних рішень

Для економічної оцінки проекту промислового об'єкта, як вихідні дані, повинні бути відомі [20]:

- термін його експлуатації та тривалість будівництва,
- розмір повних капітальних вкладень,
- банківський відсоток для отримання кредиту та темп інфляції,
- витрати виробництва та рентабельність продукції.

Знаходження достовірної інформації з будь-якої з цих позицій вкрай проблематично. Багато з цих даних вважаються комерційною таємницею підприємств. У цих умовах для економічної оцінки навчального проекту пропонуються підходи, при якому у відпрацьовані алгоритми для економічних оцінок закладається доступна, хоча, можливо, і не цілком достовірна інформація. Так, терміни експлуатації та будівництва, рівні рентабельності, банківського відсотка, інфляції та питомі капітальні вкладення можуть бути прийняті досить довільно. У той же час, витрата металу має бути отримана з розрахунку завантаження цеху виробничою програмою, а витрати інших ресурсів і послуг можна знайти в літературі. Безцінні для економічних оцінок при навчальному проектуванні калькуляції собівартості продукції цехів з близьким сортаментом і обсягом виробництва, навіть багаторічної давності. Для орієнтування з калькуляцій можна взяти не тільки норми витрати ресурсів або співвідношення між витратами за окремими статтями, а й ціни, які, однак, доведеться скоригувати. При використанні достовірних вихідних даних пропонувані підходи також гарантують отримання достовірних оцінок.

4.3.1 Ефективність модернізації діючого цеху

Розширення або реконструкцію діючого цеху називається модернізацією, і завдання про її ефективність вирішується в припущенні, що початкові

капітальні вкладення в будівництво цеху повністю окупилися.

Розширення діючого прокатного цеху передбачає зведення на вільних або суміжних площах нових прокатних станів або віддільних агрегатів для випуску продукції нових видів, не передбачених початковим проектом. Така практика звичайна для цехів холодної прокатки, коли на додаток до діючих неперервних станів встановлюють реверсивні стани або нові оздоблювальні агрегати.

Є типові ситуації, коли реконструкція дає безумовний економічний ефект, якщо в результаті її проведення досягається:

- збільшення річного обсягу виробництва A_+ замість вихідного A , коли попри додаткові капітальні вкладення виходить економія на умовно постійних витратах;
- заміщення частини продукції новою, більш високої якості або такою, що користується підвищеним попитом на ринку; при цьому можливе збільшення витрат по переділу компенсується збільшенням відпускних цін;
- економія металу та інших ресурсів, а також підвищення продуктивності праці;
- всілякі поєднання попередніх і подібних ситуацій, і тоді потрібно комплексний облік їхнього впливу на економіку цеху.

Повне уявлення про прийнятність модернізації цеху підприємства дає її лімітна ціна. Це такі витрати на модернізацію, за яких повний річний прибуток від реалізації продукції після проведення всіх заходів не зменшиться порівняно з вихідним. Якщо витрати на модернізацію виявляться менше її лімітної ціни, цех отримає додатковий прибуток у порівнянні з вихідним станом, в іншому випадку прибуток зменшиться або навіть виникнуть збитки.

Алгоритм визначення лімітної ціни модернізації передбачає розрахунок зведеної калькуляції собівартості продукції цеху, а також ціни, питомого та річного прибутку від реалізації продукції у вихідному стані та зведеної калькуляції собівартості продукції цеху після модернізації.

4.3.2 Алгоритм економічної оцінки проекту нового цеху

Зробимо економічну оцінку проекту цеху холодної прокатки, рух металу в якому розглянуто в розділі 1. Рівні питомих капітальних вкладень, цін на ресурси та послуги, банківського відсотка, рентабельності продукції та інших економічних категорій у розрахунку умовні, але співвідношення між ними підбрані так, що вони ведуть до реальних термінів окупності проекту.

1. Умови на ринку та інтегральні оцінки

1.1. Термін експлуатації цеху $T_{\text{екс}} = 20$ років із закінчення будівництва, отже, норма амортизації має становити 5 % від капітальних вкладень.

1.2. Річний обсяг виробництва (A_i) = (1500 1000 500) тис. т, $i = \overline{0, 2}$, де німий індекс $i = 0$ відповідає повному сумарному випуску продукції, $i = 1$ – продукції без покриття, а $i = 2$ – оцинкованої продукції. Співвідношення між ними $a_1 : a_2 = 0,667 : 0,333$.

1.3. Тривалість будівництва

$$T_{\text{стр}} = 0,6 + 0,4A = 0,6 + 0,4 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ роки.}$$

1.4. Рентабельність продукції $R = 0,2$, банківський відсоток $p = 10\%$.

1.5. Повні прями капітальні вкладення будівництва цеху

$$K = \sum_{i=1}^n k_i^{\bullet} A_i = 15000 \cdot 1,0 + 16000 \cdot 0,5 = 23000 \text{ млн. грн.,}$$

питомі капітальні вкладення

$$k^{\bullet} = K / A = 23000 / 1,5 = 15333 \text{ грн./т,}$$

у тому числі капітальні вкладення в основні фонди

$$K' = \sum_{i=1}^n (k_i^{\bullet} - k_i^{\text{СМР}}) A_i = (15000 - 8000) \cdot 1,0 + (16000 - 9000) \cdot 0,5 = 10500 \text{ млн. грн.,}$$

де $k^{\text{СМР}}$ – питомі капітальні вкладення у будівельно-монтажні роботи, витрати на які в результаті складуть 12500 млн. грн., або близько 55% від повних витрат.

1.6. Штат промислово-виробничого персоналу цеху

$$III = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{\Pi_i^{\bullet}} = \frac{1000000}{1000} + \frac{500000}{800} = 1625 \text{ чол.}$$

2. Калькуляція собівартості продукції

Напівфабрикати (+) та відходи (–)

Витрати основних матеріалів за цими двома статтями зручно аналізувати спільно в таблиці-матриці з рядками наступного змісту:

$u = 1 - 3$. Задане та відходи на повний випуск продукції $i = 0$,

$u = 4$. Те ж саме на випуск продукції без покриття $i = 1$,

$u = 5 - 7$. Те саме на випуск оцинкованої продукції $i = 2$.

i	u	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	1573004	1469880	103125	0,15	87656	15469	1,0487	0,0687	0,0584	0,0103
	2	33133	30120	3012	0,20	2410	602	0,0221	0,0020	0,0016	0,0004
	3	1606137	1500000	106137	–	90066	16071	1,0708	0,0708	0,0600	0,0107
1	4	1075400	1000000	75400	0,15	64090	11310	1,0754	0,0754	0,0641	0,0113
2	5	497605	469880	27725	0,15	23566	4159	0,9952	0,0555	0,0471	0,0083
	6	33133	30120	3012	0,20	2410	602	0,0663	0,0060	0,0048	0,0012
	7	530737	500000	30737	–	25976	4761	1,0615	0,0615	0,0520	0,0095

Відповідно у стовпцях таблиці-матриці представлені:

$p = 1, 2$. Задане в переділ на вхід цеху та результат на виході, т

Ці дані взяті з розрахунку руху металу в цеху розділу 1, а саме:

$e_{11} = A_{00} = 1573004$ і $e_{12} = A_{0m} = 1469880$ – це обсяги металу на вході та виході цеху без урахування маси цинку,

$e_{31} = A_{00}^+ = 1606137$ и $e_{32} = A_{0m}^+ = 1500000$ – те ж саме з урахуванням маси цинку,

$e_{51} = A_{50} = 497605$ и $e_{52} = A_{56} = 469880$ відповідно відноситься до металу-основи для оцинкування.

$$e_{2p} = e_{6p} = e_{3p} - e_{1p}, \quad e_{21} = e_{61} = 1606137 - 1573004 = 33133,$$

$$e_{22} = e_{62} = 1500000 - 1469880 = 30120,$$

$$e_{7p} = e_{5p} + e_{6p}, \quad e_{71} = 497605 + 33133 = 530737,$$

$$e_{72} = 469880 + 30120 = 500000,$$

$$e_{4p} = e_{3p} - e_{7p}, \quad e_{41} = 1606137 - 530737 = 1075400,$$

$$e_{42} = 1500000 - 500000 = 1000000.$$

$p = 3$. Втрати основних матеріалів для строк $u = \overline{1,7}$, т

$$e_{u3} = e_{u1} - e_{u2}, \quad e_{13} = 1573004 - 146988 = 103125 \text{ і т.д.}$$

$p = 4$. Частка безповоротних втрат (чад) у загальних втратах $p = 3$, прийнята експертним методом. Втрати в нагрівальних печах повністю віднесені до чаду, а на станах та агрегатах різання – до обрізу. У середньому втрати сталі поділені на безповоротні і реалізовані щодо 0,15: 0,85, а втрати цинку – 0,20: 0,80.

$p = 5, 6$. Відходи, що реалізуються і чад матеріалів для $u = 1, 2, 4, 5, 6$, т

$$e_{u5} = e_{u3}(1 - e_{u4}), \quad e_{15} = 103125 \cdot (1 - 0,15) = 87656,$$

$$e_{u6} = e_{u3}e_{u4}, \quad e_{16} = 103125 \cdot 0,15 = 15469.$$

Для рядків $u = 3, 7$ тут результат знаходиться підсумуванням двох попередніх значень. Реалізація окалини та травильного шламу не враховувалася.

$p = 7$. Задане у розрахунку на тону придатного $w_{1,1}$, т/т

$$e_{u7} = \begin{cases} e_{u1}/e_{32}, & u = \overline{1,3}, & e_{17} = e_{11}/e_{32} = 1573004/1500000 = 1,0487, \\ e_{u1}/e_{42}, & u = 4, & e_{47} = e_{41}/e_{42} = 1075400/1000000 = 1,0754, \\ e_{u1}/e_{72}, & u = \overline{5,7}, & e_{57} = e_{51}/e_{32} = 497605/500000 = 0,9952. \end{cases}$$

$p = 8$. Втрати матеріалів у розрахунку на тону придатного $w_{2,5}$, т/т

$$e_{u8} = \begin{cases} e_{u3}/e_{32}, & u = \overline{1,3}, & e_{18} = e_{13}/e_{32} = 103125/1500000 = 0,0687, \\ e_{u3}/e_{42}, & u = 4, & e_{48} = e_{43}/e_{42} = 75400/1000000 = 0,0754, \\ e_{u3}/e_{72}, & u = \overline{5,7}, & e_{58} = e_{53}/e_{32} = 27725/500000 = 0,0055. \end{cases}$$

$p = 9, 10$. Розподіл втрат $p = 8$ на реалізуємі $w_{2,1}$ и $w_{2,3}$ і безповоротні $w_{2,2}$ и $w_{2,4}$, т/т

$$e_{u9} = e_{u8}(1 - e_{u4}), \quad e_{19} = 0,0687(1 - 0,15) = 0,0584,$$

$$e_{u10} = e_{u8}e_{u4}, \quad e_{1,10} = 0,0687 \cdot 0,15 = 0,0103 \text{ і т.д.}$$

Дані рядка $u = 3$ у стовпцях $p = 7 - 10$ можуть бути також отримані усередненням рядків $u = 4, 7$, наприклад,

$$e_{37} = \sum a_i w_i = a_1 e_{47} + a_2 e_{77} = 0,667 \cdot 1,0754 + 0,333 \cdot 1,0615 = 1,0708 \text{ т/т.}$$

Виділені дані стовпців $p = 7 - 10$ матриці без змін переносяться в графу «Кількість» статей 1 і 2 калькуляції собівартості продукції зведеної по цеху і кожного виду окремо (табл. 5.1). Ці дані точно відображають рух металу в спроектованому цеху.

Прийнявши ціни підкату, цинку та реалізованих відходів за табл. 5.1, отримаємо витрати для заданого

$$c_{1.1} = w_{1.1}c_{1.1} = 1,0487 \cdot 13200 = 13842,44,$$

$$c_{1.2} = 0,0221 \cdot 125000 = 2761,04,$$

$$c_1 = 13842,44 + 2761,00 = 16603,48 \text{ грн./т.}$$

$$c_{2.2} = c_{2.4} = 0, \text{ оскільки чад не має ціни,}$$

$$c_{2.1} = w_{2.1}c_{2.1} = 0,0584 \cdot 2000 = 116,87,$$

$$c_{2.3} = 0,0016 \cdot 18000 = 28,92,$$

$$c_2 = 116,87 + 0 + 28,92 + 0 = 145,79 \text{ грн./т.}$$

Разом задано за вирахуванням відходів

$w_1 + w_2 = 1,0708 - 0,0708 = 1,0000$ т/т (тут при $w_2 < 0$ завжди повинна виходити кругла одиниця),

$$c_1 + c_2 = 16603,48 - 145,79 = 16457,69 \text{ грн./т.}$$

Інші статті зведеної калькуляції для внесення до табл. 5.1:

3. Додаткові матеріали

Визначаючи витрати на додаткові матеріали в 2% від заданого, отримаємо

$$c_3 = 0,02c_1 = 0,02 \cdot 16603,44 = 332,07 \text{ грн./т.}$$

4. Витрати по переділу

4.1. Паливо технологічне

Розрахунок норми витрати умовного палива, т/т, наведено праворуч із округленням результату до

Тип печей	A_i	$w_{4.1}$
Ковпакові одностопні печі	500	50
Протяжні печі для нормалізації та відпалу	500	55
Те ж, відпал і нормалізація перед цинкуванням	500	100
Усього	1500	70

цілих десятків за загальноприйнятим правилом. Тоді за його ціною витрати по статті складають

$$c_{4.1} = w_{4.1} u_{4.1} = 70 \cdot 10^{-3} \cdot 2200 = 154,0 \text{ грн./т.}$$

4.2. Енергетичні витрати

Аналогічно розраховані енергетичні норми:

Вид продукції	A_i	$w_{4.2.1}$	$w_{4.2.2}$	$w_{4.2.4}$	$w_{4.2.5}$
Холоднокатані невідпалені рулони	300	80	–	–	25
Холоднокатані листи і штаби	700	120	40	130	45
Оцинковані листи і штаби	500	150	25	350	60
Усього	1500	120	30	180	50

Норма витрати хімічно очищеної води взята лише на рівні 5 % від витрат води технічної, а витрати азоту – за даними одного з прокатних цехів-аналогів. Тоді

$$c_{4.2.1} = 120 \cdot 10^{-3} \cdot 1500 = 180,0;$$

$$c_{4.2.2} = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 900 = 27,0;$$

$$c_{4.2.3} = 0,05 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 25000 = 37,50;$$

$$c_{4.2.4} = 180 \cdot 10^{-3} \cdot 440 = 79,20;$$

$$c_{4.2.5} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 190 = 9,50;$$

$$c_{4.2.6} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 240 = 12,0,$$

а усього за статтею

$$c_{4.2} = 180,0 + 27,00 + \dots + 12,00 = 345,20 \text{ грн./т.}$$

4.3. Допоміжні матеріали

Прийнявши витрати на ці матеріали на рівні 1% від заданого, маємо

$$c_{4.3} = 0,01 c_1 = 0,01 \cdot 16603,44 = 166,03 \text{ грн./т.}$$

4.4. Оплата праці

При $Z = 40$ тис. грн./міс. отримаємо

$$c_{4.4} = 12 \text{ ШЗ} k_c / A = 12 \cdot 1625 \cdot 40000 \cdot 1,3 / 1\,500\,000 = 676,0 \text{ грн./т.}$$

4.5. Змінне обладнання

4.5.1. Валки

При витраті валків за табл. 1.3, маючи на увазі, що весь метал піддається холодній прокатці і дресируванні,

$$c_{4.5.1} = w_{4.5.1} u_{4.5.1} = (1,8 + 0,2) \cdot 200 = 400 \text{ грн./т.}$$

Якщо 75% витрат за статтею становлять витрати на валки, то

$$c_{4.5} = c_{4.5.1} / 0,75 = 400 / 0,75 = 533,33 \text{ грн./т.}$$

4.6. Амортизація основних засобів

Суму амортизації знайдемо з умови, що капітальні вкладення в основні фонди будуть перенесені на собівартість продукції протягом терміну експлуатації:

$$c_{4.6} = \frac{K'}{T_{\text{экс}} A} = \frac{10500}{20 \cdot 1,5} = 350,00 \text{ грн./т.}$$

4.7 та 4.8. Утримання основних засобів та ремонтний фонд на рівні витрат на амортизацію

$$c_{4.7} = c_{4.8} = c_{4.6} = 350,00 \text{ грн./т.}$$

4.9. Внутрішньозаводське переміщення вантажів як 0,5 % від суми попередніх статей витрат за переділом

$$c_{4.9} = 0,005 \sum_{k=4.1}^{4.8} c_k = 0,005 \cdot (154,0 + 345,2 + \dots + 350,0) =$$

$$= 0,005 \cdot 2924,57 = 14,62 \text{ грн./т.}$$

4.10. Інші витрати по переділу на рівні 2% від тієї ж суми

$$c_{4.10} = 0,020 \sum_{k=4.1}^{4.8} c_k = 0,020 \cdot 2924,57 = 58,49 \text{ грн./т.}$$

4.11. Разом витрат по переділу

$$c_4 = \sum_{k=4.1}^{4.10} c_k = 2924,57 + 14,62 + 58,49 = 2997,68 \text{ грн./т.}$$

5. Витрати на дослідно-конструкторські роботи та позавиробничі витрати на рівні 25 % від витрат по переділу

$$c_5 = 0,25 c_4 = 0,25 \cdot 2997,68 = 749,42 \text{ грн./т.}$$

6. Повна виробнича собівартість продукції цеху

$$c = \sum_{k=1}^5 c_k = 16603,48 - 145,79 + 332,07 + 2997,68 + 749,42 = 20536,86 \text{ грн./т.}$$

У табл. 4.3 наведена калькуляція собівартості продукції цеху холодної прокатки до модернізації

Таблиця 4.3 – Калькуляція собівартості продукції цеху холодної прокатки до модернізації

Найменування статей витрат	Вихідний стан $i = 0$. Зведена калькуляція			β	Сортові калькуляції			
	Кількість	Ціна	Сума		$i = 1$		$i = 2$	
					Кількість	Сума	Кількість	Сума
1. Напівфабрикати, т	1,0708	×	16603,48	0,0	1,0754	14195,28	1,0615	21419,88
у т.ч. 1.1. підкат гарячекатаний	1,0487	13200	13842,44	0,0	1,0754	14195,28	0,9952	13136,76
1.2. цинк	0,0221	125000	2761,04	0,0	0,0000	×	0,0663	8283,13
2. Відходи (-), т	0,0708	×	145,79	0,0	0,0754	128,18	0,0615	181,01
у т.ч. 2.1. обріз	0,0584	2000	116,87	0,0	0,0641	128,18	0,0471	94,27
2.2. угар	0,0103	×	×	0,0	0,0113	×	0,0083	×
2.3. відходи цинку	0,0016	18000	28,92	0,0	0,0000	×	0,0048	86,74
2.4. угар цинку	0,0004	×	×	0,0	0,0000	×	0,0012	×
Усього задано за відрахуванням відходів, т	1,0000	×	16457,69	0,0	1,0000	14067,10	1,0000	21238,88
3. Добавочні матеріали	×	×	332,07	0,0	×	332,07	×	332,07
4. Витрати по переділу	×	×	2997,68	0,0	×	2947,84	×	3097,38
4.1. Паливо технологічне в умовному, т	0,0700	2200	154,00	0,4	0,0691	152,01	0,0718	157,97
4.2. Енергетичні витрати	×	×	345,20	×	×	341,36	×	352,87
у т.ч. 4.2.1. електроенергія, тис. кВт·год	0,1200	1500	180,00	0,1	0,1196	179,42	0,1208	181,16
4.2.2. вода технічна, тис. м ³	0,0300	900	27,00	1,0	0,0290	26,13	0,0319	28,74
4.2.3. вода хім. очищена, тис. м ³	0,0015	25000	37,50	1,0	0,0015	36,29	0,0016	39,92
4.2.4. пар, т	0,1800	440	79,20	0,4	0,1777	78,18	0,1846	81,24
4.2.5. стиснене повітря, тис. м ³	0,0500	190	9,50	0,5	0,0492	9,35	0,0516	9,81
4.2.6. азот, тис. м ³	0,0500	240	12,00	0,0	0,0500	12,00	0,0500	12,00
4.3. Допоміжні матеріали	×	×	166,03	0,1	×	165,50	×	167,11
4.4. Витрати на оплату праці	×	×	676,00	0,5	×	665,10	×	697,81
4.5. Змінне обладнання	×	×	533,33	0,1	×	531,61	×	536,77
у т.ч. 4.5.1. валки, кг	2	200	400,00	0,1	1,9935	398,71	2,0129	402,58
4.6. Амортизація основних засобів	×	×	350,00	1,0	×	338,71	×	372,58
4.7. Утримання основних засобів	×	×	350,00	0,8	×	340,97	×	368,06
4.8. Ремонтний фонд	×	×	350,00	0,8	×	340,97	×	368,06
4.9. Внутрішньозаводське переміщення вантажів	×	×	14,62	0,0	×	14,62	×	14,62
4.10. Інші витрати за переділом	×	×	58,49	0,8	×	56,98	×	61,51
5. ОКР і позавиробничі витрати	×	×	749,42	1,0	×	725,25	×	797,77
6. Виробнича собівартість	×	×	20536,86	×	×	18072,25	×	25466,09

4.3.3 Алгоритм економічної оцінки проектів модернізації цеху

Розглянемо три варіанти модернізації: реконструкцію та два варіанти розширення зі значним збільшенням виробництва продукції без покриттів або оцинкованої продукції [20].

Перший варіант модернізації, реконструкція цеху

1. Вихідні дані:

річний обсяг виробництва $A = 1,50$ млн. т,

калькуляція собівартості продукції в колонках $k = 0$ табл. 4.1,

собівартість продукції $c = 20536,86$ грн./т,

рентабельність $R = 0,2$,

ціна на ринку $u = (1 + R)c = (1 + 0,2) \cdot 20536,86 = 24644,24$ грн./т,

річний прибуток $\Pi = RcA = 0,2 \cdot 20536,86 \cdot 1500 = 6\,161\,059$ тис. грн.

Початкові капітальні вкладення у будівництво цеху повністю окупилися, а очікувана частка вкладень в основні фонди у витратах на реконструкцію становить $d = 0,70$. В результаті реконструкції очікується

збільшення обсягу виробництва до $A_+ = 1,56$ млн. т,

зниження втрат металу-основи на 10% ($y = 0,1$),

підвищення продуктивності праці при скороченні штату персоналу на $\Delta III = 50$ осіб,

підвищення якості чверті продукції ($z = 0,25$), що відобразиться у приплатах до продажної ціни $\Delta u = 500$ грн./т.

Коефіцієнт відносної проблеми сортаменту цеху після реконструкції до вихідного визначимо як

$$\kappa_3 = A / A_+ = 1,50 / 1,56 = 0,9615.$$

2. Перерахунок норм та витрат

2.1. Нехай зниження втрат металу основи досягається за рахунок пропорційного скорочення чаду та обрізу, тоді

$$w_{2.1} = (1 - y)w_{2.1} = (1 - 0,1) \cdot 0,0584 = 0,0526,$$

$$w_{2.2} = (1 - y)w_{2.2} = (1 - 0,1) \cdot 0,0103 = 0,0093,$$

$$w_{2.1} + w_{2.2} = 0,0526 + 0,0093 = 0,0418 \text{ т/т.}$$

Втрати цинку не змінюються, тобто сума відходів стане

$$w_2 = \sum_{q=1}^4 w_{2,q} = 0,0526 + 0,0093 + 0,0016 + 0,0004 = 0,0639,$$

усього повинно бути задано металу

$$w_1 = 1 + w_2 = 1 + 0,0639 = 1,0639,$$

у тому числі гарячекатаного при незмінній кількості заданого цинку

$$w_{1.1} = w_{1.3} - w_{1.2} = 1,0639 - 0,0221 = 1,0418 \text{ т/т.}$$

Витрати за цими статтями, як завжди, вийдуть множенням норм на відповідні ціни

$$c_{1.1} = w_{1.1} \varphi_{1.1} = 1,0418 \cdot 13200 = 13751,76 \text{ грн./т}$$

і т. д., а в результаті порівняно зі станом до реконструкції досягається економія на заданому.

2.1. Перерахунок норм і витрат за іншими статтями собівартості, крім витрат на оплату праці та амортизацію, робиться з урахуванням результатів реконструкції. Так, витрати на додаткові матеріали в розрахунку на тону прокату при $\beta_3 = 0$ збержуться на попередньому рівні 332,07 грн./т, а на технологічне паливо складуть

$$c_{4.1} = c_{4.1}^{i=0} (1 - \beta_{4.1} + \beta_{4.1} \kappa_3) = 154,0 \cdot (1 - 0,4 + 0,4 \cdot 0,9615) = 151,63 \text{ грн./т}$$

при змінній норми витрат до

$$w_{4.1} = w_{4.1}^{i=0} (1 - \beta_{4.1} + \beta_{4.1} \kappa_3) = 0,07 \cdot (1 - 0,4 + 0,4 \cdot 0,9615) = \\ = c_{4.1}^{y=1} / \varphi_{4.1} = 151,63 / 2200 = 0,0689 \text{ т у.т./т і т. д.}$$

При перерахунку витрат на оплату праці та амортизацію виникають особливості. Витрати на оплату праці зменшуються як у зв'язку зі скороченням штату на 50 осіб, так і зі збільшенням обсягу виробництва, і становлять

після реконструкції

$$c_{4.4} = \frac{12(III - \Delta III)3k_c}{A_+} (1 - \beta_{4.4} + \beta_{4.4}\kappa_3) =$$

$$= \frac{12 \cdot (1625 - 50) \cdot 40000 \cdot 1,3}{1560000} (1 - 0,5 + 0,5 \cdot 0,9615) = 617,88 \text{ грн./т.}$$

Витрати на амортизацію та за пов'язаними з нею статтями збільшуються у зв'язку з додатковими капітальними вкладеннями та зменшуються зі збільшенням обсягу виробництва, але поки витрати на реконструкцію не відомі, візьмемо до уваги лише другий фактор:

$$c_{4.6} = c_{4.6}^{i=0} \kappa_3 = 350,0 \cdot 0,9615 = 336,54,$$

$$\text{але } c_{4.7} = c_{4.7}^{i=0} (1 - \beta_{4.7} + \beta_{4.7}\kappa_3) = c_{4.8} = c_{4.8}^{i=0} (1 - \beta_{4.8} + \beta_{4.8}\kappa_3) =$$

$$= 350 \cdot (1 - 0,8 + 0,8 \cdot 0,9615) = 339,23 \text{ грн./т.}$$

Повна виробнича собівартість продукції цеху на першому етапі розрахунку стане рівною

$$c_6 = \sum_{k=1}^5 c_k = 16380,26 + 332,07 + 2893,13 + 720,60 = 20326,06 \text{ грн./т,}$$

а нова ціна, якщо для четвертої її частини запровадити доплати 500 грн./т,

$$u_+ = (1 - z)u + z(u + \Delta u) =$$

$$= (1 - 0,25) \cdot 24644,24 + 0,25 \cdot (24644,24 + 500) = 24769,24 \text{ грн./т.}$$

3. Лімітна вартість реконструкції досягається тоді, коли річний прибуток після реконструкції виявляється рівним вихідному, $\Pi_+ = \Pi = 6161,059$ млн. грн. Це станеться, якщо собівартість продукції цеху після реконструкції на другому етапі розрахунку стане рівною

$$c_+ = u_+ - \Pi_+ / A_+ = 24769,24 - 6161,059 / 1,56 = 20819,84 \text{ грн./т.}$$

Витрати на амортизацію та за пов'язаними з нею статтями у підсумковій собівартості складуть

$$c_{4.6+} = c_{4.6} \frac{c_+ - c + c_{4.6} + c_{4.7} + c_{4.8}}{c_{4.6} + c_{4.7} + c_{4.8}} =$$

$$= 336,54 \frac{20819,84 - 20326,06 + 336,54 + 339,23 + 339,23}{336,54 + 339,23 + 339,23} = 500,26 ,$$

$$c_{4.7+} = c_{4.6+} \frac{c_{4.7}}{c_{4.6}} = c_{4.8+} = c_{4.6+} \frac{c_{4.8}}{c_{4.6}} = 500,26 \frac{339,23}{336,54} = 504,26 \text{ грн./т .}$$

Тоді граничні додаткові капітальні вкладення в основні фонди при реконструкції знайдуться у сумі

$$\Delta K' = (c_{4.6+} - c_{4.6}) T_{\text{экс}} A_+ = (500,26 - 336,54) \cdot 20 \cdot 1,56 = 5108,063 \text{ млн. грн.,}$$

отже, лімітна ціна реконструкції становитиме

$$\Delta K = \Delta K' / d = 5108,063 / 0,7 = 7297,232 \text{ млн. грн.,}$$

де $d = 0,7$ – оголошена у вихідних даних частка вкладень у основні фонди у витратах на реконструкцію. Такі капітальні вкладення окупляться за

$$T_{\text{ок}} = \Delta K / \Pi_+ = 7297,232 / 6161,059 = 1,18 \text{ роки,}$$

але і після цього терміну не будуть приносити додаткового прибутку в порівнянні з вихідним станом. На додатковий прибуток можна розраховувати лише при вкладеннях у реконструкцію, менших за її лімітну ціну. Розрахункова рентабельність при цьому

$$R_+ = (u_+ / c_6 - 1) = 24769,24 / 20326,06 - 1 = 0,1897,$$

проте якщо зберегти рентабельність на початковому рівні $R = 0,2$, вартість продукції і на прибуток можуть зрости до

$$u_{++} = c_6 (1 + R) = 20819,84 (1 + 0,2) = 24983,81 \text{ грн./т,}$$

$$\Pi_{++} = R c_6 A_+ = 0,2 \cdot 20819,84 \cdot 1,56 = 6495,790 \text{ млн. грн.}$$

зі скороченням терміну окупності до 1,12 року.

У табл. 4.4 наведена калькуляція собівартості продукції цеху холодної прокатки після модернізації.

Таблиця 4.4 – Калькуляція собівартості продукції цеху холодної прокатки після модернізації

Найменування статей витрат	Реконструкція, варіант 1			Розширення, варіант 2		Розширення, варіант 3	
	Кількість	Сума 1	Сума 2	Сума 1	Сума 2	Сума 1	Сума 2
1. Напівфабрикати, т	1,0639	16514,26	16514,26	16202,11	16202,11	17406,22	17406,22
у т.ч. 1.1. підкат гарячекатаний	1,0418	13751,76	13751,76	13901,24	13901,24	13724,82	13724,82
1.2. цинк	0,0221	2762,50	2762,50	2300,87	2300,87	3681,39	3681,39
2. Відходи (-), т	0,0639	134,00	134,00	142,86	142,86	151,66	151,66
у т.ч. 2.1. обріз	0,0526	105,20	105,20	118,76	118,76	113,11	113,11
2.2. угар	0,0093	×	×	×	×	×	×
2.3. відходи цинку	0,0016	28,80	28,80	24,10	24,10	38,55	38,55
2.4. угар цинку	0,0004	×	×	×	×	×	×
1&2. Усього задано за відрахуванням відходів, т	1,0000	16380,26	16380,26	16059,26	16059,26	17254,56	17254,56
3. Додаткові матеріали	×	332,07	332,07	332,07	332,07	332,07	332,07
4. Витрати за переділом	×	2893,13	3386,91	2989,37	3591,78	3014,30	3863,17
4.1. Паливо технологічне в умовному, т	0,0689	151,63	151,63	153,67	153,67	154,66	154,66
4.2. Енергетичні витрати	×	340,63	340,63	344,56	344,56	346,48	346,48
у т.ч. 4.2.1. електроенергія, тис. кВт·год	0,1195	179,31	179,31	179,90	179,90	180,19	180,19
4.2.2. вода технічна, тис. м ³	0,0288	25,96	25,96	26,85	26,85	27,29	27,29
4.2.3. вода хім. очищена, тис. м ³	0,0014	36,06	36,06	37,30	37,30	37,90	37,90
4.2.4. пар, т	0,1772	77,98	77,98	79,03	79,03	79,54	79,54
4.2.5. стиснене повітря, тис. м ³	0,0490	9,32	9,32	9,47	9,47	9,55	9,55
4.2.6. азот, тис. м ³	0,0500	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
4.3. Допоміжні матеріали	×	165,40	165,40	165,95	165,95	166,21	166,21
4.4. Витрати на оплату праці	×	617,88	617,88	674,18	674,18	679,63	679,63
4.5. Змінне обладнання	×	531,28	531,28	533,05	533,05	533,91	533,91
у т.ч. 4.5.1. валки, кг	1,9923	398,46	398,46	399,78	399,78	400,43	400,43
4.6. Амортизація основних засобів	×	336,54	500,26	348,12	548,78	353,76	637,12
4.7. Утримання основних засобів	×	339,23	504,26	348,49	549,37	353,01	635,77
4.8. Ремонтний фонд	×	339,23	504,26	348,49	549,37	353,01	635,77
4.9. Внутрішньозаводське переміщення вантажів	×	14,62	14,62	14,62	14,62	14,62	14,62
4.10. Інші витрати за переділом	×	56,69	56,69	58,24	58,24	58,99	58,99
5. ОКР і поза виробничі витрати	×	720,60	720,60	745,39	745,39	757,48	757,48
6. Виробнича собівартість	×	20326,06	20819,84	20126,09	20728,50	21358,40	22207,27

Другий варіант модернізації, розширення цеху.

Цех у вихідному стані розширюється до обсягу виробництва 1,8 млн. т на рік за рахунок додаткового випуску 0,3 млн. т прокату вуглецевої сталі.

Третій варіант модернізації, розширення цеху в іншому напрямку.

Цех у вихідному стані розширюється до обсягу виробництва 1,8 млн. т на рік за рахунок додаткового випуску 0,3 млн. т оцинкованого прокату. Зведена та сортові калькуляції продукції цеху у вихідному стані наведено в табл. 4.3, результати розрахунку – у табл. 4.4, а порівняння з вихідним станом та іншими варіантами модернізації – у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Підсумкові економічні показники модернізації цеху холодної прокатки

Найменування показників	Варіант			
	0	1	2	3
Обсяг виробництва прокату, млн. т	1,50	1,56	1,80	1,80
у том числі без покриття	1,00	1,00	1,30	1,00
оцинкованого	0,5	0,5	0,50	0,80
Доля в сортаменті прокату без покриття	0,6667	0,6667	0,7222	0,5556
оцинкованого	0,3333	0,3333	0,2778	0,4444
вихідного			0,8333	0,8333
додаткового			0,1666	0,1666
Коефіцієнт важкості сортаменту при Зміні обсягів виробництва	1,0000	0,9615	–	–
Штат персоналу, люд.	1625	1575	1945	1960
Рентабельність продукції	0,2	0,2	0,2	0,2
Ціна продукції, грн./т	24644,24	24769,24	24151,31	25630,08
Собівартість, грн./т	20536,86	20819,84	20728,50	22207,27
Питомий прибуток, грн./т	4107,37	3949,40	3422,81	3422,81
Річний прибуток, млн. грн.	6161,06	6161,06	6161,06	6161,06
Термін експлуатації, років	20	20	20	20
Додаткові капітальні вкладенні в основні фонди, млн. грн.		5108,06	7223,69	10200,91
Доля основних фондів у капітальних вкладеннях		0,7	0,7	0,7
Лімітна ціна модернізації, млн. грн.		7297,23	10319,56	14572,72
Окупність проекту, років		1,18	1,67	2,37
Рентабельність продукції розрахункова		0,1897	0,1651	0,1541
Коректування при рентабельності $R = 0,2$ ціни, грн./т		24983,81	24874,20	26748,73
питомого прибутку, грн./т		4163,97	4145,70	4441,45
річного прибутку, млн. грн.		6495,79	7462,26	7994,62
окупності проекту, років		1,12	1,38	1,82

ВИСНОВКИ

1. У розділі 1 виділено технологічні схеми виробництва листової продукції для подальшого розгляду і розрахунків. Вибрано алгоритми проектування параметрів і режимів роботи обладнання листопрокатних цехів. Методи і алгоритми проектування прокатних цехів актуальні при розробці систем автоматизованого проектування САПР. Ці алгоритми передбачають отримання мінімально необхідних і достатніх параметрів системи для виконання заданої виробничої програми, що забезпечує велику економію ресурсів при їх реалізації. Алгоритми ілюструють велику кількість розрахункових процедур, які успішно реалізуються за допомогою комп'ютерних технологій.

Розглянуто 4 алгоритми, що реалізують наступний функціональний підхід до проектування прокатного цеху – від виробничої програми до схеми технологічного процесу і від неї до параметрів устаткування і виробничих ділянок.

Алгоритми дозволяють здійснити розробку організаційної структури прокатного цеху, вибір технології та обладнання, визначення його параметрів, обґрунтування потреби у ресурсах усіх видів, формування вимог прокатного виробництва до усіх систем цеху.

На основі виконаних розрахунків виконано креслення плану цеху холодної прокатки штаб, компонування відділення ковпакових печей, компонування лінії кліті холодної і гарячої прокатки штаб.

2. У розділі 2 розглянуто сортамент продукції, состав обладнання і особливості його роботи у цеху холодної прокатки ПАТ «Запоріжсталь». Зокрема детально розглянута структура окалини на поверхні гарячекатаної штаби. Встановлено, що окалина складається з трьох шарів оксидів заліза товщиною 7...15 мкм: внутрішнього – вюститу (FeO), середнього – магнетиту (Fe_3O_4) та зовнішнього – гематиту (Fe_2O_3). Наведено хімічні реакції, що відбуваються під час травлення гарячекатаних штаб у розчинах соляної кислоти та режими, що забез-

печують найбільш ефективно видалення окалини під час травлення.

Досліджено ефективність інгібіторів кислотної корозії при травленні штаб, зразки яких були надані фірмами «Hencel» (Австрія), «Конкорд» (Україна) та «Ricci» (Італія). Інгібітор «Конкорд» виявився найбільш ефективним.

3. У розділі 3 розглянута технологія прокатки штаб на неперервному стані холодної прокатки 1680 ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Наведена характеристика обладнання, діаграми швидкості прокатки, профілограми штаб різної товщини. Встановлено, що значна частина штаби прокочується зі змінною швидкістю, що суттєво впливає на параметри процесу прокатки: товщину штаб, коефіцієнт тертя, силу прокатки, обтиснення, натяг тощо. Рекомендовано не знижувати швидкість прокатки при проходженні зварних швів. Для цього необхідно забезпечити однакові механічні властивості металу шва та металу штаби, що може бути досягнуто зменшенням обтискання шва за рахунок зняття ґрата на мінус.

4. У розділі 4 розглянуто виробництво листа з гарячекатаного рулону на лінії поперечного різання іспанської фірми Fagor Arrasate. Наведено кінематичну схему агрегату поперечного різання для виробництва сталевих листів, а також кінематичну схему п'ятироlikової правильної машини.

Виконано розрахунки параметрів виправлення листа на п'ятироlikовій правильній машині, а саме розрахунки радіусів кривизни листа у точках його торкання з роliками і кути торкання сталевого листа і роlikів. Розрахунки показали, якщо параметр $|\varepsilon_1| \leq 1/(R + h/2)$, то кінцева кривизна листа після його виходу з п'ятироlikової листопрilкової машини може практично дорівнювати нулю. Якщо $|\varepsilon_1| > 1/(R + h/2)$, то деякі ділянки листа можуть не мати контакту з поверхнею робочих роlikів. У цьому випадку повністю виправити лист не виявляється можливим, однак кривизна листа в процесі виправлення зменшується.

5. У розділі 4 виконано економічну оцінку проекту промислового об'єкта. Зазначено, що реконструкція (модернізація) діючого прокатного цеху передбачає розширення виробництва, тобто зведення на вільних або суміжних площах нових прокатних станів або віддільних агрегатів для випуску продукції нових видів, не передбачених початковим проектом. Повне уявлення про прийнятність модернізації цеху підприємства дає її лімітна ціна. Це такі витрати на модернізацію, за яких повний річний прибуток від реалізації продукції після проведення всіх заходів не зменшиться порівняно з вихідним проектом. Якщо витрати на модернізацію виявляться менше її лімітної ціни, цех отримає додатковий прибуток у порівнянні з вихідним проектом, в іншому випадку прибуток зменшиться або навіть виникнуть збитки.

Розглянуто також алгоритм економічної оцінки проекту нового цеху і виконано відповідні розрахунки. Наведено калькуляції собівартості продукції цеху холодної прокатки до і після модернізації, підсумкові економічні показники модернізації цеху холодної прокатки за трьома варіантами: реконструкцію та два варіанти розширення зі значним збільшенням обсягів виробництва продукції.

6. Таким чином, обсяг робіт відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу виконано повністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Taylor & Francis Group. 2006. Canada.
2. Wei-Wen Yu. Cold-Formed Steel Design- Third Edition- John Wiley and Sons, Inc. 2000. Canada.
3. Проценко В. М., Белоконь Ю. О. Технологія виготовлення гнутих профілів : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістр спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском" Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 104 с.
4. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Belokon Yu. A., Bondarenko Y. V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.
5. Проценко В. М., Бондаренко Ю. В., Явтушенко А. В. Технологія нагріву та нагрівальне обладнання в обробці металів тиском : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 126 с.
6. Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.
7. Проценко В. М. Технологія виготовлення гнутих профілів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.
8. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

9. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для здобувачів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.
10. Ніколаєв В. О. Теорія прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 259 с.
11. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Bondarenko Y. V., Kirichenko A. G., Ping F. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation canter when rolling a metal strip. *Journal of Engineering Sciences*, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. E 31–E 35.
12. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для здобувачів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 67 с.
13. Ніколаєв В. О. Теорія та обладнання точної прокатки штаб: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і самостійних робіт для здобувачів ЗДІА напряму 8.0504104 "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 52 с.
14. Проценко В. М. Теорія та технологія точної прокатки штаб : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ЗДІА, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія», рівня вищої освіти «Магістр» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 40 с.
15. Проценко В. М. Профілювання валків листових станів : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ЗДІА, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Обробка металів тиском» зі спеціальності 136 «Металургія», рівня вищої освіти «Магістр» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 42 с.

16. Серода Б. П., Проценко В. М. Виготовлення спеціальних видів прокату : навчально-методичний посібник для здобувачів ЗДІА спеціальності 7.090404 "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 88 с.
17. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунок валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі «AutoCAD Mechanical». Металургія : Збірник наукових праць. Запоріжжя , 2018. Вип. 2 (40). С. 85 – 90.
18. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V, Bondarenko Y, Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. Conference Proceedings – METAL 2020. 29th International Conference on Metallurgy and Materials. May 20 - 22, 2020, Brno, Czech Republic, EU. P. 440 – 445. <https://www.confer.cz/metal/2020/3500-mathematical-modeling-of-physical-properties-of-anisotropic-materials>. (Дата звернення: 15.09.2023).
19. Таратута К.В., Проценко В.М., Востоцький С.М. Комп'ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. IV Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (ІМТСК-2023). 25-26 травня 2023 року. Черкаси. С 40 – 42. https://fotius.cdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Book_ІМТСК_2023.pdf. (Дата звернення: 15.09.2023).
20. Проскурович О. В., Бойчук В. А. Комп'ютерні технології економічного аналізу : навч. посіб. Львів : Новий Світ, 2012. 310 с.
21. ДСТУ 8302 : 2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
22. ДСТУ 3008 : 2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [На заміну ДСТУ 3008-95. Чинний від 2017-07-01]. Київ : Держстандарт України, 1995. 26 с. (Інформація та документація).

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

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні



**III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

17-20 жовтня 2023 року



УДК 621.771 (076)

Проценко В.М., к.т.н., доц., Набунський О.В., магістрант 2 курсу,
Науковий керівник – к.т.н., доцент Проценко В.М.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ПРОЕКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ЛИСТОПРОКАТНИХ ЦЕХІВ

*Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету,
кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Проектування у прокатному виробництві – це високоінтелектуальний і дорогий процес: витрати на проектування та авторський супровід промислового будівництва в передових індустріальних країнах досягають 14 – 16% від повних капітальних вкладень. Тому роботи, направлені на вдосконалення процесу проектування прокатного виробництва є актуальними.

Метою магістерської роботи є розробка алгоритмів проектування параметрів і режимів роботи обладнання листопрокатних цехів.

Технологічна частина проекту промислового об'єкта визначає склад і параметри обробного обладнання, а проект технології виробництва продукції – параметри режимів її обробки. Якщо склад обладнання прокатного цеху диктується, головним чином, сортаментом продукції, то параметри обладнання залежать від режимів обробки прокату і тому достовірно можуть бути визначені тільки спільно з режимами.

Проектна виробнича програма визначає проектну потужність цеху, що залишається його незмінною характеристикою протягом терміну експлуатації на відміну від виробничої потужності, що змінюється рік від року в залежності від наповнення портфеля замовлень. Виробнича програма входить складовою частиною завдання на проектування прокатного цеху.

Запропоновано наступні алгоритми проектування промислового прокатного виробництва.

Алгоритм 1 – завантаження обладнання прокатного цеху виробничою програмою.

Алгоритм 2 – визначення пропускної спроможності прокатного стану при вільних режимах роботи.

Алгоритм 3 – спільне проектування параметрів та вільних режимів роботи прокатного стану.

Алгоритм 4 – проектування складів металу, традиційна розробка.

Список використаних джерел

1. A. V. Yavtushenko, V. M. Protsenko, Yu. A. Belokon and Yu. V. Bondarenko. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.