

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНИ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Стабільність технології гарячої прокатки штаб та розробка
заходів щодо її покращення на неперервному стані**

Виконав: студент II курсу, групи 8.1361-омт-з
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском
(код і назва освітньої програми)

М.П. Шибєко

(ініціали та прізвище)

Керівник

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

Рецензент

доц. каф. МТЕТБ, доц, к.т.н. Ю.В. Бондаренко

Запоріжжя – 2022 року

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 08 ” 09 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Шибeko Максиму Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Стабільність технології гарячої прокатки штаб та розробка заходів щодо її покращення на неперервному стані**

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 06. 22 р. № 598-с

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2022 року

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Спеціальна частина. Аналіз собівартості продукції. Заходи з поліпшення умов праці при виробництві гарячекатаних штаб.

Мета кваліфікаційної роботи – проаналізувати існуючі технології виробництва гарячекатаних штаб і стабільність якості листопрокатної продукції, запропонувати рекомендації по удосконаленню технології і устаткування, що дозволить зменшити витрати енергії, розширити сортамент і підвищити якість продукції на ШСГП 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Визначити основні тенденції розвитку і удосконалення технології виробництва штаб, розробити заходи щодо підвищення стабільності якості продукції і економії енергії при виробництві. Виконати розрахунки режимів обтиснення, енергосилових параметрів прокатки, станини кліті кварто на міцність і деформацію. Проаналізувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори і розробити заходи щодо захисту від них.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схеми сучасних станів для гарячої прокатки штаб, схеми калібровки ширини слябів, креслення основних видів кліті кварто, технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 і розміщення обладнання на ньому, режими обтиснень і енергосилові параметри прокатки на стані 1680, схеми до розрахунку станини кліті кварто на міцність і деформацію.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 08.09.2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

Шибєко М.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Проценко В.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

Бондаренко Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка дипломного проекту (роботи) містить: 123 с., 41 рис., 18 табл.; використано літературних джерела 22.

Об'єкт дослідження – широкоштабовий стан гарячої прокатки (ШСГП) 1680 ПАТ «Запоріжсталь» та технологія прокатки на ньому рулонного прокату з маловуглецевої сталі.

Мета роботи – проаналізувати існуючі технології виробництва гарячекатаних штаб і стабільність якості листопрокатної продукції, запропонувати рекомендації по удосконаленню технології і устаткування, що дозволить зменшити витрати енергії, розширити сортамент і підвищити якість продукції на ШСГП 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків, які використовуються в прокатному виробництві. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системах САПР AutoCAD Mechanical 2020, Mathcad Prime 8.

Отримані результати і їх новизна – визначено основні тенденції розвитку і удосконалення технології виробництва штаб, забезпечення економії енергії і якості при гарячому прокатуванні штаб. Запропоновано впровадити технологічні мастила при гарячому прокатуванні штаб, що значно зменшить силу прокатування, енерговитрати, поліпшить якість і розширить сортамент продукції.

Виконано розрахунок станини прокатної кліті закритого типу на міцність і деформацію, оптимальної виробничої програми відділення гнутих профілів цеху гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь» із застосуванням програм AutoCAD Mechanical 2020 і Mathcad Prime 8. Отримані результати рекомендуються для впровадження на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ПРОКАТНИЙ СТАН, СТАБІЛЬНІСТЬ, МАСТИЛА, ЕНЕРГОВИТРАТИ, ЯКІСТЬ, ШТАБА, ОПТИМІЗАЦІЯ, ШСГП.

.

Abstract

The explanatory note of the degree project (work) contains: 123 pages, 41 fig., 18 tab.; references 22 are used.

Research object - the broadband camp of hot rolling of 1680 the SHSGP a 1680 «Zaporizhstal» PSC and technology of rolling on it rolled rolled products of low-carbon steel.

The purpose of work is to analyze the existing production technologies of hot-rolled strips and stability of hot rolling technology headquarters, to offer recommendations about improvement of technology and the equipment by introduction of technological oils that will allow to reduce power consumption, to expand a range and to increase quality of products on SSGP 1680 in conditions the «Zaporizhstal» PSC.

Methods of calculations are standard techniques of calculations which are used in rolling production. Calculations and computer modeling in the CAD systems AUTOCAD Mechanical 2020, Mathcad Prime 8.

The received results and their novelty - are defined top trends of development and improvement of the production technology of strips, ensuring economy of energy and quality at hot rolling of strips. It is offered to introduce technological oils at hot rolling of strips that considerably will reduce rolling force, energy consumption, will improve quality and will expand a products range.

Calculation of the bed of a rolling cage of the closed type on durability and deformation, the optimum production program of office of bent profiles of the shop of hot rolling the «Zaporizhstal» PSC. with application of the AUTOCAD Mechanical 2020 and Mathcad Prime 8 programs is executed. The received results are recommended for introduction on SHSGP a 1680 «Zaporizhstal» PSC.

HOT ROLLING, ROLLING MILL, STABILITY, OILS, ENERGY CONSUMPTION, KACHESTVO, POLOSA, OPTIMIZATSIYA, SHSGP.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	10
1.1 Тенденції розвитку технологій і удосконалення обладнання широкоштабових станів гарячої прокатки (ШСГП)	10
1.2 Зниження втрат тепла на проміжних рольгангах широкоштабових станів	17
1.3 Модернізація, реконструкція і компоновка основного обладнання листопрокатних цехів	24
1.4 Стани нескінченної прокатки	32
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	35
2.1 Характеристика існуючого виробництва цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь»	35
2.2 Валки широкоштабового стана гарячої прокатки	41
2.3 Оцінка стабільності якості листопрокатної продукції	43
2.4 Характеристика прокатного стана за новою технологією з використанням технологічних мастил	53
2.5 Ефективність використання технологічних мастил при гарячому прокатуванні штаб	54
2.6 Завдання розробки режимів деформації	65
2.7 Розрахунок параметрів злитка	67
2.8 Розрахунок режимів обтиснень в чорновій групі клітей	68
2.9 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чорновій групі клітей	73
2.10 Розрахунок крутних моментів прокатки в чорновій групі	78
2.11 Температурний режим прокатки в чорновій групі клітей	79
2.12 Розрахунок режимів обтиснень при прокатуванні в чистовій групі клітей ШСГП 1680	80
2.13 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чистовій групі клітей	85
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА	93
3.1 Розрахунок на міцність станини прокатної кліті	93

3.2 Жорсткість робочих клітей	95
3.3 Розрахунок пружної деформації і напружень станини робочої кліті у програмному комплексі AutoCAD Mechanical	96
4 ЗАДАЧА ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ СТРІЧКИ ДЛЯ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ ПРОКАТУ	102
4.1 Оптимізація виробничої програми відділення гнутих профілів цеху гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь»	103
5 АНАЛІЗ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ	107
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	111
6.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	111
6.2 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів	113
ВИСНОВКИ	116
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	118
Додаток А - Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи	120

ВСТУП

Однією з умов успішної господарської діяльності і розвитку металургійної галузі в Україні є виробництво конкурентоздатних високорентабельних видів металопродукції. До таких видів металопродукції повною мірою відноситься сталевий листовий прокат та гнуті профілі прокату. Проблема ресурсозберігання набуває особливої актуальності в умовах кризи металургійної галузі. Таким чином, ресурсозберігання в широкому розумінні цього слова є найважливішою умовою забезпечення конкурентоспроможності металургійного підприємства в умовах ринкової економіки. В даний час енерговитрати і витрати матеріальних ресурсів на українських металургійних підприємствах істотно перевищують аналогічні показники провідних закордонних фірм [1].

Разом з введенням в експлуатацію у світі сучасних неперервних і напівнеперервних широкоштабових станів гарячої прокатки (ШСГП), в Україні продовжують працювати стани другого покоління. Питання ресурсозберігання і якості прокату на таких станах стоять особливо гостро.

В даний час все більший розвиток отримує гаряча прокатка листової сталі, здійснювана на неперервних і напівнеперервних широкоштабових станах 4-го покоління. На цих станах прокатують листи і штаби завтовшки від 0,8-1,2 до 12-16 мм і шириною до 1850 - 2150 мм.

Вдосконалення технології і устаткування ШСГП направлене на забезпечення високої якості прокату і високої продуктивності стана.

За кордоном широко застосовуються ливарно-прокатні модулі (ЛПМ), які дозволяють отримувати тонкі і особливо тонкі гарячекатані штаби. Вони є комбінацією МНЛЗ, нагрівального пристрою і декількох прокатних клітей. В даний час впровадження ЛПМ в Україні проблематично, оскільки вимагає великих капіталовкладень. Тому актуальним є визначення тенденцій розвитку і подальше вдосконалення технології і устаткування станів, що діють.

Дана кваліфікаційна робота направлена на визначення основних тенденцій розвитку, вдосконалення технології виробництва штаб, забезпечення економії енергії і якості при гарячому прокатуванні на широкоштабових станах (ШСГП) шляхом впровадження технологічних мастил.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати етапи розвитку, і так само існуючі технології і специфіку устаткування ШСГП, параметри, що визначають стабільність якості листопрокатної продукції. Виявити основні недоліки і тенденції розвитку ШСГП.

На станах, що застосовують технологічні мастила в чистових клітках, з'являється можливість підвищити товщину проміжного розкату як за рахунок зниження тиску металу на валки і підвищення обтиснення у всіх клітках, так і за рахунок менших теплових втрат при контакті металу з валками. Однак застосування мастил на ШСГП пов'язано з організаційними складнощами. Необхідно відповідне обладнання, система подачі мастила в осередок деформації і утилізації відпрацьованого мастила, комп'ютеризована програма керування такими системами. На вітчизняних ШСГП мастила поки що не застосовуються, хоча такі дослідження проводилися і показали високу ефективність. Є великий закордонний досвід застосування мастил на ШСГП.

Також актуальним є оптимізація виробничої програми відділення гнутих профілів ЦГПТЛ ПАТ «Запоріжсталь» шляхом вирішення задачі лінійного програмування розкрою рулонів на стрічки на агрегаті повздовжнього різання, що дозволить зменшити кількість відходів.

Мета роботи – проаналізувати існуючі технології виробництва гарячекатаних штаб і стабільність якості листопрокатної продукції, запропонувати рекомендації по удосконаленню технології і устаткування, що дозволить зменшити витрати енергії, розширити сортамент і підвищити якість продукції на ШСГП 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь».

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Тенденції розвитку технологій і удосконалення обладнання широкоштабових станів гарячої прокатки (ШСГП)

Гарячий посад металу і пряме прокатування

Гарячий посад (ГП) неперервнолитих і гарячекатаних слябів і заготовок в методичні печі стана і пряме прокатування (ПП) є ефективними заходами, які забезпечують зниження витрати палива на нагрів металу під прокатування.

У загальному випадку *гарячим посадом* вважається посад металу з температурою більше 600°C, теплий 300...600°C, холодний менше 300°C.

Прокатування металу транзитом від обтискових заготовочних станів, або безпосередньо від МНЛЗ з невеликим підігрівом (або без нього) в прохідних печах називається *прямим прокатуванням*. Даний технологічний захід зменшує витрату палива на 15... 60 % щодо витрат при холодному посаді (ХП).

На рис. 1.1. наведено витрати енергії в МДж/т при різних технологічних схемах виробництва від рідкої сталі до широкоштабового прокату. Цифрами позначена питома витрата енергії в МДж/т на попередній операції. Справа наведено дані про сумарну витрату енергії і економію енергії в порівнянні з холодним посадом.

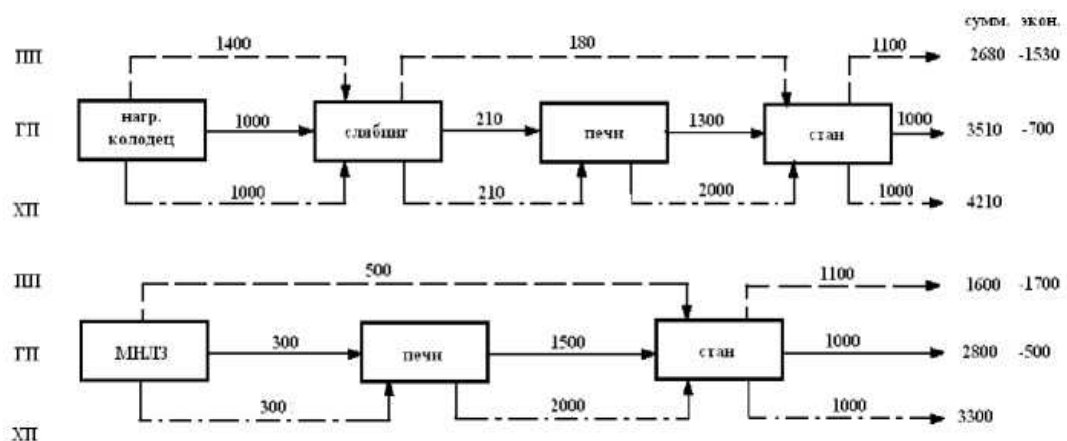


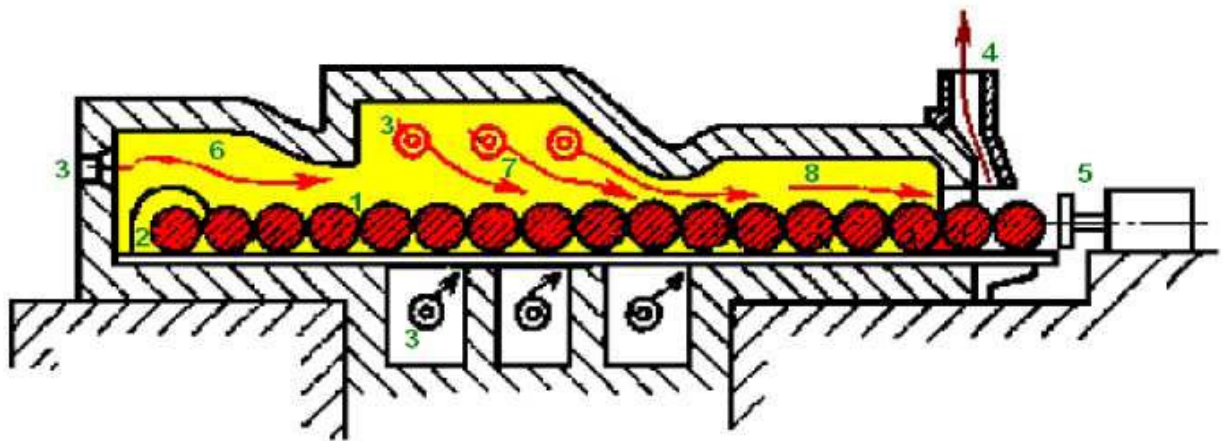
Рисунок 1.1 – Порівняльна витрата енергії при різних схемах прокатування

Таким чином витрати енергії при холодному посаді фактично в 2 рази більші, ніж при використанні схеми прямого прокатування. А використання МНЛЗ замість зливкового переділу дозволяє скоротити витрати енергоресурсів на 20.. .40 % при аналогічних схемах прокатування.

Економія енергоресурсів при нагріві металу в методичних печах

Нагрів слябів і заготовок під прокатування в основному проводять в *методичних печах* (рис. 1.2). У тризонній печі розрізняють зони підігріву, зварювальну і томильну зони. У сучасних методичних печах може бути від 5 до 7 зон нагріву. існують методичні печі з глисажними трубами, з крокуючими балками і крокуючим подом. Для підігріву металу у випадку використання прямого прокатування і на ЛПА застосовують роликові прохідні печі.

В середньому в сучасній методичній печі розподіл теплоти від згорання палива відбувається таким чином: на нагрів заготовок витрачається 58 % тепла, на воду/пару, що охолоджує, - 12%, через стінки печі втрачається 11 %, і 19 % виноситься з газами, що відходять.



1 – метал, що нагрівається; 2 – вікно видачі заготовок; 3 – пальники; 4 - димар; 5 – штовхатель; 6 – томильна зона; 7- зварювальна зона; 8 – зона підігріву

Рисунок 1.2 – Схема тризонної методичною печі

Відомі наступні методи економії енергоресурсів в методичних печах:

- збільшення довжини неопалювальної зони печі за рахунок чого використовується більша кількість теплоти газів, що відходять;
- установка камер попереднього підігріву заготовок газами, що відходять;
- при підігріві металу газами, що відходять, витрата палива можуть бути скорочені на 15%;
- підвищення температури підігріву повітря продуктами горіння до 700°C, що дозволяє при збільшенні температури нагріву повітря на кожні 100°C економити 4... 5 кг у.т./п;
- вдосконалення конструкцій пальників для забезпечення повного спалювання палива;
- установка газокисневих, зокрема безполумєневих пальників, які зменшують витрату палива на 25...40 % (за рахунок того, що виключається нагрів азоту в повітрі, який використовується в звичайних пальниках), збільшують продуктивність печі і її нагрівальну здатність, а також знижують окаліноутворення і викид шкідливих речовин;
- застосування легковагих термоізоляційних матеріалів у т.ч. волокнистих вогнетривів. Наприклад, термоізоляція подових труб або балок, що виконується з вогнетривких волокнистих матеріалів, дозволяє скоротити витрату палива на 18...25 % і підвищити продуктивність печі на 15%;
- застосування систем випарного охолодження, які дозволяють утилізувати тепло з системи охолодження печі, в якій до 15...20% теплоти, що подається з паливом, відводиться системою охолодження конструктивних елементів печі. При цьому близько 90% теплоти, що сприймається охолоджуваними елементами печі, припадає на долю подових труб (балок);
- оптимізація роботи печей з використанням автоматики дозволяє знизити витрату палива на 15...20 кг/т;

- використання фізичної теплоти газів нагрівальних печей, що відходять, для вироблення пари в котлах-утилізаторах;
- застосування технології низькотемпературного прокатування [2].

Енергозберігаючі технології індукційного нагріву

індукційний нагрів металу (рис. 1.3) перед прокатуванням дозволяє знизити витрати на енергоресурси, підвищити якість прокату і вихід придатного металу. Розрахунки показують, що вартість теплової енергії, що отримується спалюванням природного газу і що витрачається на нагрів металу, в 1,4 разу більше вартості електроенергії при індукційному нагріві [3].



а)



б)

Рисунок 1.3 – індукційний нагрів металу (а) і довгомірних заготовок (б)

Установки індукційного нагріву мають хороший ККД і забезпечують рівномірний нагрів. Проте застосування тільки індукційного нагріву часто виявляється дуже дорогим, особливо, у випадку з тонкими слябами. Тому рекомендується застосовувати систему, яка б використовувала газову піч для основного нагріву і застосовувала б індукційну техніку для тонкого регулювання температури тільки перед самим прокатуванням.

Найбільш економічно вигідний підхід, що знижує вартість нагріву тони металу при істотному зменшенні окалиноутворення і знеуглецювання, полягає у підігріві металу після виходу з газової печі (900...1150°C) до температури прокатування (1150...1250°C).

Доведення температурного поля сляба до необхідних кондицій безпосередньо перед прокатуванням можна здійснювати в індукційних

нагрівачах завдяки ряду переваг, таких як хороші енергетичні показники, висока швидкість нагріву, невеликі габарити установок і так далі. Різні види індукційних підігрівачів приведені на рис. 1.4.

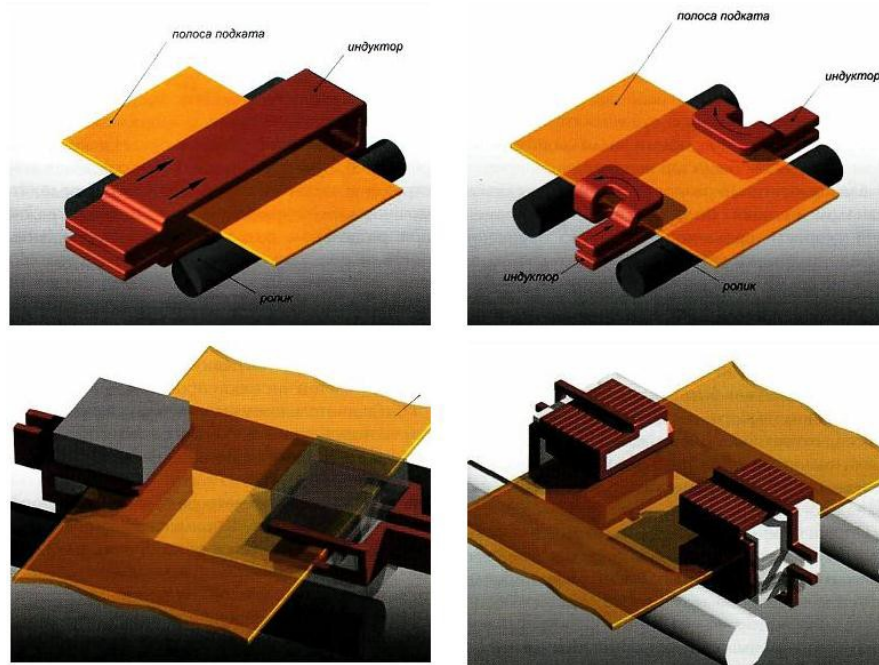


Рисунок 1.4 – індукційні підігрівачі штаби

Установки індукційного нагріву споживають на 73...80 % менше кінцевої енергії, чим газові установки. Також перевагою індукційних установок є широкі можливості регулювання діапазону нагріву, що призводить до підвищення якості продукту і збільшення терміну служби прокатного стана [3].

Обладнання широкоштабових станів гарячої прокатки

Не дивлячись на тенденцію, що зміцнилася в металургії тонкого гарячекатаного сталевих листа модернізувати або реконструювати стани перших поколінь, все ще продовжується вкладення інвестицій в будівництво нових широкоштабових станів, але які відрізняються компактністю розміщення устаткування на технологічній лінії виробництва штаб. До їх

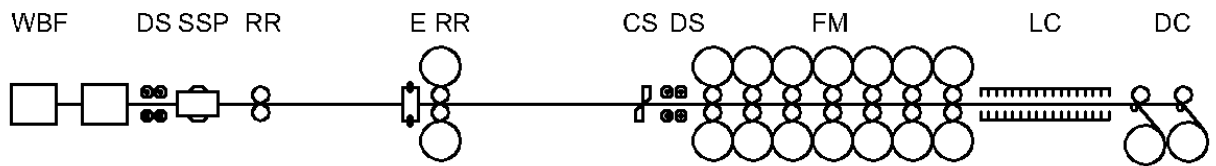
числа відносяться стан Стеккеля, який зазвичай обладнаний двома моталками в печах, або стан, в технологічну лінію якого встановлений агрегат - машина безперервного розливання сталі для виробництва слябів. Схеми розміщення устаткування цих станів, як і компактного стану з однією реверсивною чорною кліткою, в порівнянні з двома іншими станами, показані на рис. 1.5.

Будівництво компактних широкоштабових станів не вимагає значних капітальних витрат як на створення устаткування для прокатки штаб, так і на споруду будівлі прокатного цеху. Їх зводять в тих країнах і регіонах всього світу, де бурхливо розвивається автомобільна промисловість, яка останніми роками охоче замінює холоднокатаний лист на гарячекатаний рівної товщини і якості.

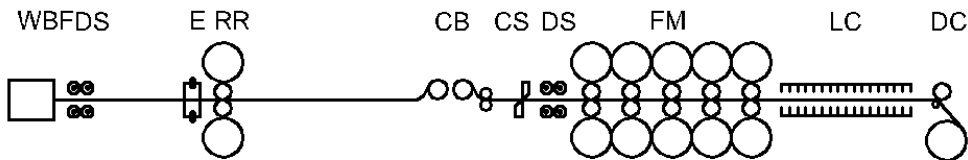
У складі устаткування станів, представлених схемами, є проміжний пристрій перемотування, встановлений поряд з камерною піччю для підігріву рулонів у разі непередбаченої зупинки процесу прокатки; потужна гідравлічна система для видалення з розкатів окалини водою тиском до 400 бар; еджери або преси для обтискання вузьких граней слябів відповідно до необхідної ширини готових штаб, що дозволяє стабілізувати процес безперервного розливання сталі, не міняти розміри кристалізатора; тунельні печі з роликівим подом, здатні забезпечити температуру кінця прокатки штаб відповідно до заданої структури і властивостей готового прокату.

Прокатні кліти обладнані гідравлічними механізмами різного призначення, приладами всебічного вимірювання і контролю властивостей і розміру прокату, пристроями, здатними впливати в процесі прокатки штаби на профіль робочих валків, їх взаємне положення і положення в кліті, якість їх поверхні. Це сучасні стани, продукція яких може задовольнити вимогливий попит автомобілебудівників та інших споживачів [4].

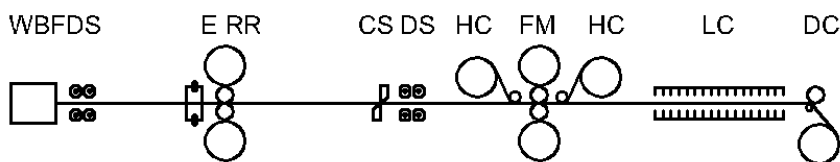
① Звичайний широкоштабовий стан гарячої прокатки



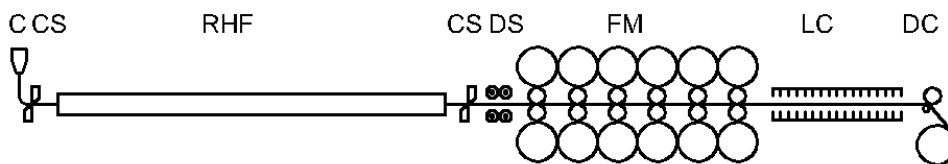
② Широкоштабовий стан компактної конструкції



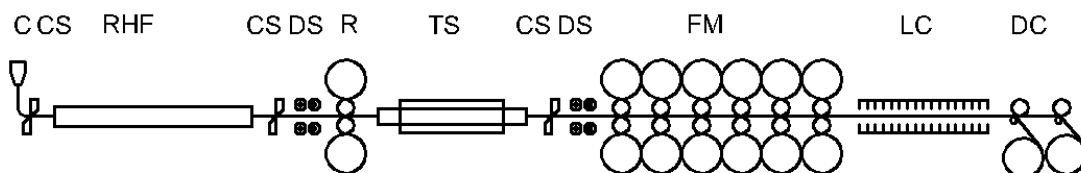
③ Стан Стеккеля



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



⑤ Ливарно-прокатний агрегат CSP з черговою кліттю



C - МНЛЗ агрегат

CB - Coilbox

CS - Ножиці МНЛЗ або ножиці для обрізання переднього кінця штаби

DC - Підпідлогова моталка

DS - Система видалення окалини

E - Вертикальна кліть (еджер)

FM - Чистова група клітей

CSPHC - Печі стана Стеккеля

LC - Участок ламінарного охолодження штаби

R - Проходна чернова кліть

RR - Реверсивна чернова кліть

RHF - Піч з роликівим подом

SSP - Прес для обтиснення слябів

TS - Транспортне устаткування

WBF - Нагрівальна піч

Рисунок 1.5 – Схеми сучасних агрегатів для гарячої прокатки штаб

1.2 Зниження втрат тепла на проміжних рольгангах широкоштабових станів

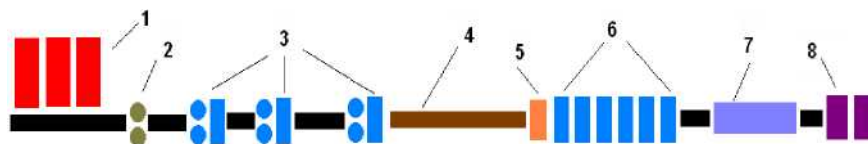
Методи енергозбереження на проміжному рольганзі ШСГП

Проміжний рольганг на широкоштабових станах гарячого прокатування (ШСГП) застосовується для розділення чистової і чорнової груп клітей (рис. 1.6). На таких станах із слябової заготовки проводять штабовий сталевий прокат в рулонах. Довжина проміжного рольганга може досягати до 200 м.

Така велика довжина рольганга призводить до того, що штаба, лежача на рольгангу, має велику площу поверхні і інтенсивно втрачає тепло за рахунок охолодження на повітрі. При цьому, чим тонше штаба і більше її довжина, тим втрати тепла будуть більші.

інтенсивна тепловіддача призводить до того, що задній кінець розкату охолоджується сильніше, ніж передній, оскільки пізніше поступає в прокатну кліть. Все це призводить до появи так званого температурного клину, який характеризується тим, що передній кінець рулону матиме меншу товщину, чим задній кінець. Такий ефект пояснюється тим, що у зв'язку з нижчою температурою штаби в кінці розкату, вона має вищий опір деформації, що призводить до підвищення сили прокатування, збільшення розчину валків і, відповідно, товщини штаби.

Для зменшення втрат тепла на проміжному рольгангу застосовують екранування розкату або проміжний перемотуючий пристрій (ППУ) [3, 4].



1 – нагрівальні печі; 2 – вертикальний окалиноломач; 3 – чорнові універсальні кліті; 4 – проміжний рольганг; 5 – летючі ножиці; 6 – чистова група клітей; 7 – установка прискореного охолодження прокату; 8 – моталки

Рисунок 1.6 – Схема широкоштабового стану гарячого прокатування

Екранування розкату

В основному розрізняють чотири види екранів для екранування проміжного рольганга:

- тепловідбиваючий;
- тепловий;
- енкапанель;
- екран з активним теплоекрануванням підкату.

Всі відомі екрани для зменшення втрат тепла верхньою поверхнею підкату складаються з декількох секцій, встановлених уздовж рольганга і приводом для підйому або опускання секцій над рольгангом.

Довжину секцій частіше приймають кратною кроку роликів рольганга, при цьому із збільшенням довжини секцій зменшується величина їх «підскакування» при ударах по ним переднього кінця рухомого по рольгангу підкату, яке небезпечне для торця секції, наступної по ходу вказаного руху підкату.

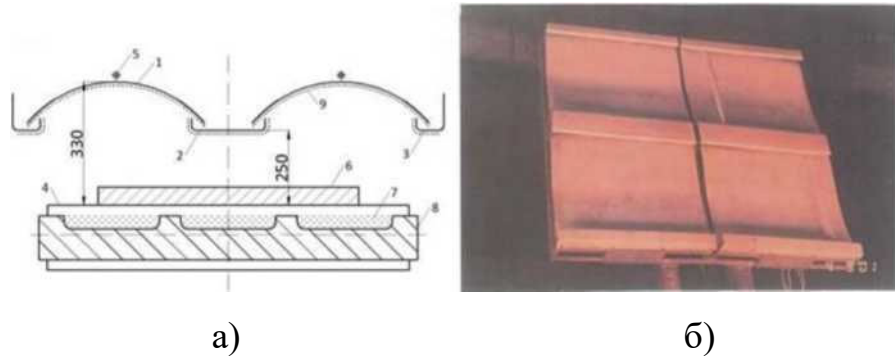
Для кроку роликів рольганга 1200 мм (ШСГП в Росії і в Україні) переважна довжина секцій 2400 і 3600 мм, тоді як на зарубіжних станах встановлюються і 6-ти метрові секції. Ширина секцій повинна перевищувати на 100...200 мм довжину бочки валків рольганга [3].

На секції з можливістю оперативної заміни кріплять касети з екранами, що забезпечують реалізацію відмічених способів теплоекранування верхньої поверхні підкату. Число касет визначається конструкцією екрану.

Тепловідбиваючий екран виготовляється з листів полірованої нержавіючої сталі або з маловуглецевої сталі, покритої алюмінієм. До недоліків даного екрану відноситься зменшення його тепловідбиваючої здібності у міру забруднення поверхні. Схема такого екрану, встановленого на стані 2000 ОАО «Новоліпецький металургійний комбінат» приведена на рис. 1.7.

Тепловідбивачі виготовлені з листа маловуглецевої сталі завтовшки 2 мм, який покритий алюмінієм. Підпружинений відбійник і бічні стінки секції також покриті алюмінієм. Товщина алюмінієвого покриття складає понад 0,25

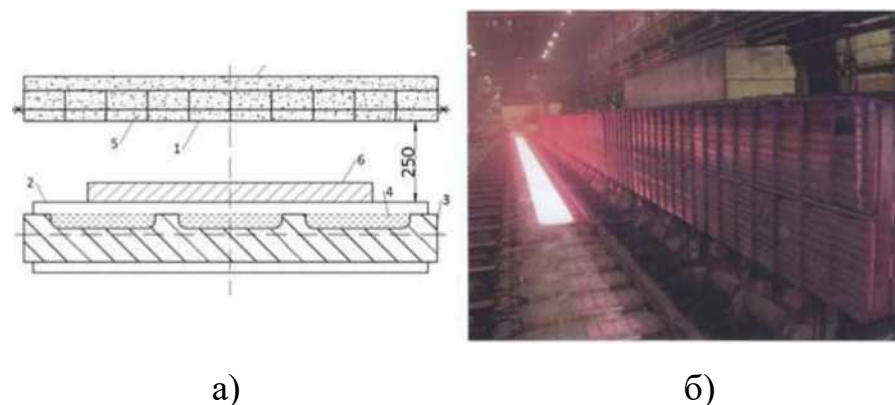
мм, первинний ступінь його чорноти знаходиться на рівні 0,2. Відстань між рівнем роликів і відбійником повинна складати понад 250 мм. Передбачена можливість охолодження тепловідбивників сухим повітрям, що дозволяє також виключити осадження пилу на верхню і нижню поверхні відбивачів [3].



1 – тепловідбивачі; 2 – відбійник; 3 – бічні стінки; 4 – ролики рольганга; 5 – сопла подачі повітря; 6 – розкат; 7 –окалина; 8 – міжроликівна плита

Рисунок 1.7 – Поперечний розріз (а) і фотографія (б) секції тепловідбиваючого екрану на проміжному рольгангу ШСГП 2000

Тепловий екран (рис. 1.8) виготовляється з керамічних теплоізолюючих матеріалів.



1 – спеціальна труба з жаростійкого сплаву; 2 – верхній рівень ролика рольганга; 3 – міжроликівна плита; 4 – повітряна окалина; 5 – мулітокремнеземиста вата (теплоізолятор); 6 – підкат; 7 – войлок мулітокремнеземистої вати

Рисунок 1.8 – Поперечний розріз (а; схема) і фотографія зовнішнього вигляду (б) теплового екрану на проміжному рольганзі ШСГП 2000

До недоліків такого екрану відноситься необхідність його прогрівання теплом від перших 3 - 4 штаб, тільки після цього він виходить на робочі температури. По ефективності тепловий і тепловідбивний екрани приблизно рівні.

Енкопанель – є покращуваним різновидом теплового екрану. Таким екраном є секційний тунель з 10 і більше секцій завдовжки по 6 метрів (рис. 1.9). Залежно від довжини штаби або необхідності регулювання температури розкату деякі секції можуть відкриватися.



Рисунок 1.9 – Тепловий екран типу «енкопанель»

Конструкція такого екрану включає: мембрани з нержавіючої сталі, які відбивають тепло назад до штаби і матеріал, який акумулює тепло.

Застосування такого екрану дозволяє:

- знизити температуру нагріву сляба на 50°C (економія палива 10...15% і зниження угару);
- зменшити різницю температур між переднім і заднім кінцем (температурний клин) на 60%;
- можливість використання розкату як буфера (час затримки до 8 хвилин).

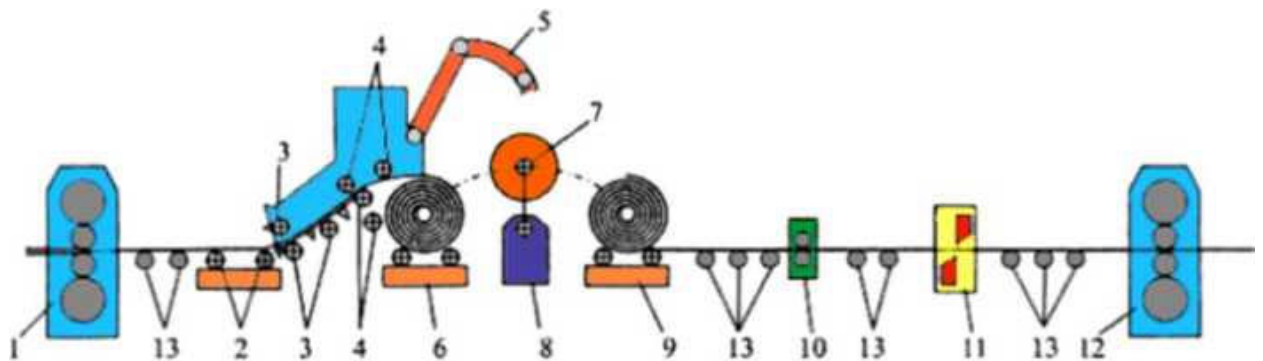
Активне теплоекранування підкату включає активну дію на температуру рухомого підкату шляхом підведення тепла до верхньої його

поверхні від газових пальників. Газові пальники розташовують в однотипних секціях, забезпечених приводом їх переміщення до/від рольганга. По суті, в процесі руху підкату по проміжному рольгангу, його пропускають через тунельну піч з верхніми пальниками [3].

Проміжний перемотуючий пристрій (ППУ)

Проміжний перемотуючий пристрій (у англійській літературі Coil Box) встановлюється між чорною і чистою групами клітей ШСГП.

Технологія «Coil Box» є проміжним процесом, метою якого є змотування розкату на високій швидкості при виході з чорної групи клітей з подальшим розмотуванням матеріалу на більш низькій швидкості і його завданням в чистову групу клітей (рис. 1.10).



1 – остання кліть чорної групи; 2 – підлогові ролики; 3 – направляючі ролики; 4 – гнущі ролики; 5 – відгнатьєль кінця рулону; 6 – стелд намотування; 7 – оправка; 8 – передавальний механізм; 9 – стелд розмотування; 10 – ролики, що тягнуть; 11 – летючі ножиці; 12 – перша кліть чистої групи; 13 – ролики рольгангів

Рисунок 1.10 – Схема проміжного перемотуючого пристрою [5]

Процес змотування (рис. 1.11, а) скорочує площу поверхні тепловипромінювання розкату. Після розмотування (рис. 1.11, б) розкат має фактично таку ж температуру, що і при змотуванні, а передній і задній кінці

мінються місцями, що дозволяє вести прокатування в чистових клітках з постійною швидкістю без прискорення чистової групи клітей для компенсації теплового клину. Така технологія дозволяє скоротити витрати електроенергії при прокатуванні матеріалу в чистовій групі клітей, забезпечує велику однорідність металургійних властивостей по довжині кінцевого продукту і дозволяє розширити асортимент продукції, що прокатується на стані [7].

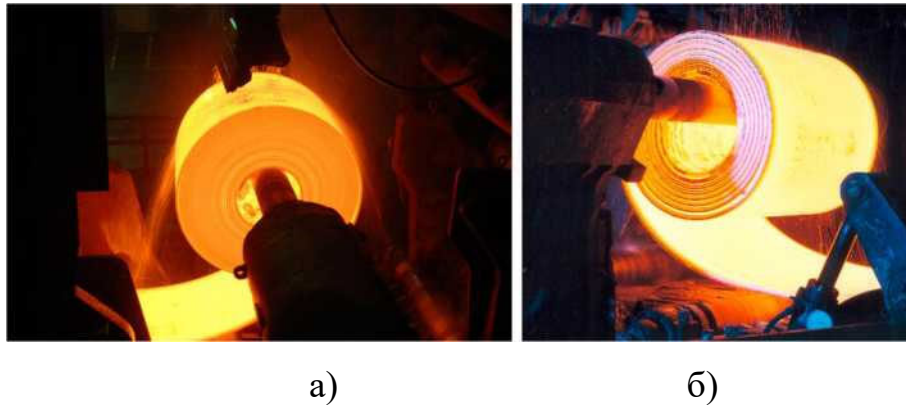


Рисунок 1.11 – Змотування (а) і розмотування (б) рулону на проміжному перемотуючому пристрої

Сучасні конструкції проміжного перемотуючого пристрою дозволяють здійснювати процес змотування і розмотування в одному агрегаті без передачі рулону (рис. 1.12). В цьому випадку намотування рулону проводиться «зверху» без використання сердечника, після чого проводиться відгибання кінця штаби без переміщення або повороту рулону, а потім його розмотування.

Використання ППУ дозволяє:

- знизити теплові втрати розкатом на проміжному рольгангу з 1,5 до 0,05...0,08°C/сек, за рахунок чого знизити температуру нагріву сляба на 50°C;
- підвищити масу сляба за рахунок збільшення довжини розкату, яка обмежується довжиною проміжного рольганга;
- компактніше розмістити обладнання стана за рахунок зменшення його довжини;

- використовувати ППУ як буфер (затримка 5 хвил. і більше);
- забезпечити рівність температур заднього і переднього кінця розкатів, що дозволяє працювати без прискорення чистової групи клітей (економія електроенергії до 40 %).



Рисунок 1.12 – Проміжний перемотуючий пристрій без передачі рулону

Не дивлячись на всі переваги, ППУ має ряд недоліків:

- вища вартість у порівнянні з екранами;
- зниження продуктивності стана;
- наявність додаткового обладнання, яке може служити джерелом аварійних ситуацій;
- обмежена товщина змотуваних штаб (до 35...40 мм).

1.3 Модернізація, реконструкція і компоновка основного обладнання листопрокатних цехів

Процес удосконалення обладнання ШСГП охоплює практично всі ділянки технологічної лінії - від підігріву або нагріву слябів в печах до згортання готових штаб в рулони моталками. Ступінь модернізації стана, склад обладнання і систем, які встановлюють в лінію технологічного процесу прокатки сляб – підкат – штаба, які в сукупності дозволяють вирішувати основну задачу вдосконалення стана (і технології) – отримувати лист найвищої якості, можна прослідкувати по табл. 1.1 [6, 10].

Процес модернізації або реконструкції обладнання листопрокатного цеху багатообразний. Як впливає з приведених в таблиці даних про модернізацію ШСГП, він супроводжується установкою в лінію стана нових прокатних клітей, установкою на робочу кліть нового обладнання, зміною розмірів існуючого (наприклад, діаметру робочих або опорних валків). Реконструкція прокатної кліті іноді стосується станини, зменшуючи площу її несучих стоек.

Розглядаючи склад обладнання, який задіяний для модернізації ШСГП (див. табл. 1.1), не можна не звернути увагу на прагнення технологів вести процес прокатки в умовах роботи гідравлічних механізмів, що мають незаперечну перевагу - швидкодію. Гідравлічні системи дії на виконавчі механізми, встановлюють на еджери, бічні проводки, натискні гвинти прокатних клітей, петлеутримувачі, моталки, системи противигину робочих валків.

Таблиця 1.1 – Модернізація неперервного стана гарячої прокатки

Об'єкт модернізації	Зменшення витрат на виробництво				Адаптація до вимог ринку		
	1	2	3	4	5	6	7
Ділянка печі	X			X	X		
Нова вимірювальна система, системи автоматизації першого і другого рівня							
Чорнова група клітей							
Окаліноламач					X		

Пристрій видалення окалини					X		
Новий гідравлічний еджер для регулювання ширини				X	X		
Ділянка чистової групи стана							
Нові ножиці для обрізання кінців				X			
Пристрої для протизгину робочих валків на чистових клітях № 1 -6					X		
Гідравлічне обладнання клітей № 1 - 6					X		
Гідравлічний петлеутримувач					X		
Новий пристрій ламінарного охолодження					X		
Вдосконалений пристрій для заміни робочих валків				X	X		
Системи автоматизації першого і другого рівнів				X	X		
Нові вимірювальні системи					X		
Ділянка підпільної моталки							
Гідравлічні бічні проводки					X		
Нова гідравлічна підпільна моталка			X		X		
Обв'язувальна машина					X		
Гідравлічна система для транспортування рулону							
Системи автоматизації першого і другого рівнів			X	X	X		

1 – зменшення витрати енергії; 2 – зменшення комунальних послуг; 3 – підвищення продуктивності; 4 – підвищення виходу придатної продукції; 5 – підвищення якості продукції; 6 – розширення інтервалу розмірів штаби; 7 – розширення сортаменту продукції.

Модернізують системи, відповідальні за температурний режим прокатки штаб, прагнучи зберегти тепло, накопичене слябом під час його нагріву, і охолодити готову штабу до заданої температури у відведені для цього секунди.

Автомобілебудівні підприємства прагнуть отримувати тонкий лист, ширина якого відповідала б розміру заготовки для деталі: в цьому випадку можна уникнути операції прирізання. Проте дроблення розмірів листів по ширині - це значне розширення парку кристалізаторів для відливання слябів відповідної ширини або перестановка вузьких стінок кристалізатора, з

неминучим збереженням конусності його порожнини, що викликає погіршення якості поверхні і внутрішньої структури сляба. Знижується продуктивність МНРС, виникають збої в комплектації поставок прокату.

Металурги вибрали інший шлях вирішення проблеми. Ширину сляба коректують в процесі прокатки, перед входом до чорнової групи клітей широкоштабового стана. Для цього застосовують вертикальні короткі валки - еджері, або плоскі бойки - редукуючі преси, які встановлюють в лінію стана, перед входом в його першу кліть. Взаємне положення слябів, еджерів і бойків пресу показано на рис. 1.13.

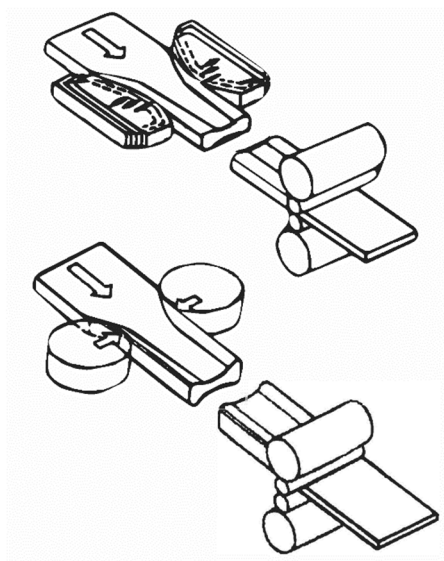


Рисунок 1.13 – Схема взаємного положення слябів, валків еджера і бойків редукуючого пресу

За три – шість проходів сляба по осередку деформації металу він обжимається до заданого розміру своєї ширини. Можлива сумісна установка еджера і редукуючого пресу - перед горизонтальними валками.

Застосування комплексу – еджера і преса, дозволяє збільшити максимальне обтискання по ширині сляба до 300 мм, підвищити точність його калібрування і оперативно виконати програму зміни розміру прокату в сортаменті стана. П'ять варіантів застосування обладнання для обтискання слябів по їх ширині представлено схемами програми прокатки на рис. 1.14.

Стрілки в графі "Програма прокатки" указують напрям руху сляба і кількість його проходів крізь осередок деформації в горизонтальних і вертикальних валках (еджерах), або бойках преса.

Обладнання						
Програма прокатки						
Число проходів	3	5	5	6	6	3
Максимальне обтиснення, мм	60	170	100	170	170	300
Збільшення тривалості прокатки	Ні	Так	Ні	Ні	Ні	Ні

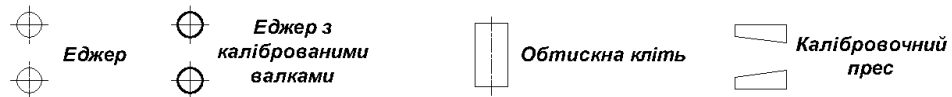


Рисунок 1.14 – Схеми і параметри технологічного процесу калібровки ширини слябів [4]

Редукування ширини слябів в технологічній лінії ШСГП дозволяє в конвертерному цеху:

- скоротити парк кристалізаторів до мінімуму і відмовитися від способу отримання слябів різної дрібної ширини перестановкою вузьких (бокових) стінок кристалізаторів;
- підвищити продуктивність МНРС і якість поверхні, внутрішню структуру і форму слябів;
- зменшити до мінімуму обріз слябових штаб;
- розширити розливання сталі методом “плавка на плавку”;
- стабілізувати технологію розливання і оптимізувати роботу всього відділення безперервного розливання сталі.

Редукування ширини слябів не менше чим для конвертерного цеху, актуально і для листопрокатного:

- управління програмою прокатки широкого марочного і розмірного сортаменту штаб стає гнучкішим і оперативним;
- процес нагріву слябів однорідної ширини стабілізує режим роботи печей, особливо штовхательних;
- створюються сприятливі умови для формування плоту слябів на декілька печей ШСП.

ПАТ «Запоріжсталь» встановив на відвідному рольгангу чистової групи клітей 1680 систему ламінарного охолодження гарячекатаних штаб, тобто систему, в якій струмені води, витікають на штабу зверху паралельними шарами, і не створюють турбулентні потоки. Знизу штаба охолоджувалася системою форсунок, що подають воду між роликками рольганга.

Практика експлуатації тонколистових станів на вітчизняних заводах за минулих 40 років показала, що система охолодження штаб зверху ламінарними струменями води дозволяє успішно вирішувати завдання створення оптимального, строго регламентованого, керованого температурного поля в прокатаному металі.

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

Переваги такого підходу до проектування і виготовлення будь-яких технологічних об'єктів обумовлені високою технологічністю виробів, значним підвищенням їх працездатності і ремонтпридатності, розширенням

функціональних можливостей, істотним зменшенням термінів і вартості виготовлення, технологічною гнучкістю, можливістю швидкого розширення і перепрофілювання виробництва, модернізації і пристосування до умов, що змінюються [8]. Основні технологічні модулі, використовувані при створенні ливарно-прокатних комплексів і міні-заводів, як освоєні промисловістю, так і такі, що мають хороші перспективами в майбутньому, приведені на рис. 1.15.

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

Оптимізація режиму обтиснення штаб на ШСГП

Оптимізація режиму обтиснення штаб на ШСГП зводиться до розподілу сумарного обтиснення між чистовою і чорною підгрупою і, відповідно, вибору товщини розкату на проміжному рольганзі.

Зниження товщини підкату перед чистовою групою клітей ШСГП за рахунок більшого сумарного обтиснення в чорних клітях дозволяє знизити витрати електроенергії на 2 – 4%, оскільки велика частина деформації відбувається при високій температурі і нижчому опорі деформації. Але при цьому виникають додаткові витрати палива на нагрів слябів до вищих температур, оскільки на проміжному рольганзі тонша штаба остигає інтенсивніше.

При відносно великій товщині підкату на проміжному рольганзі збільшується витрата електроенергії на прокатування в чистовій групі клітей.

Таким чином, залежність питомих витрат енергії від товщини підкату носить екстремальний характер, мінімум якого відповідає якомусь середньому значенню товщини підкату.

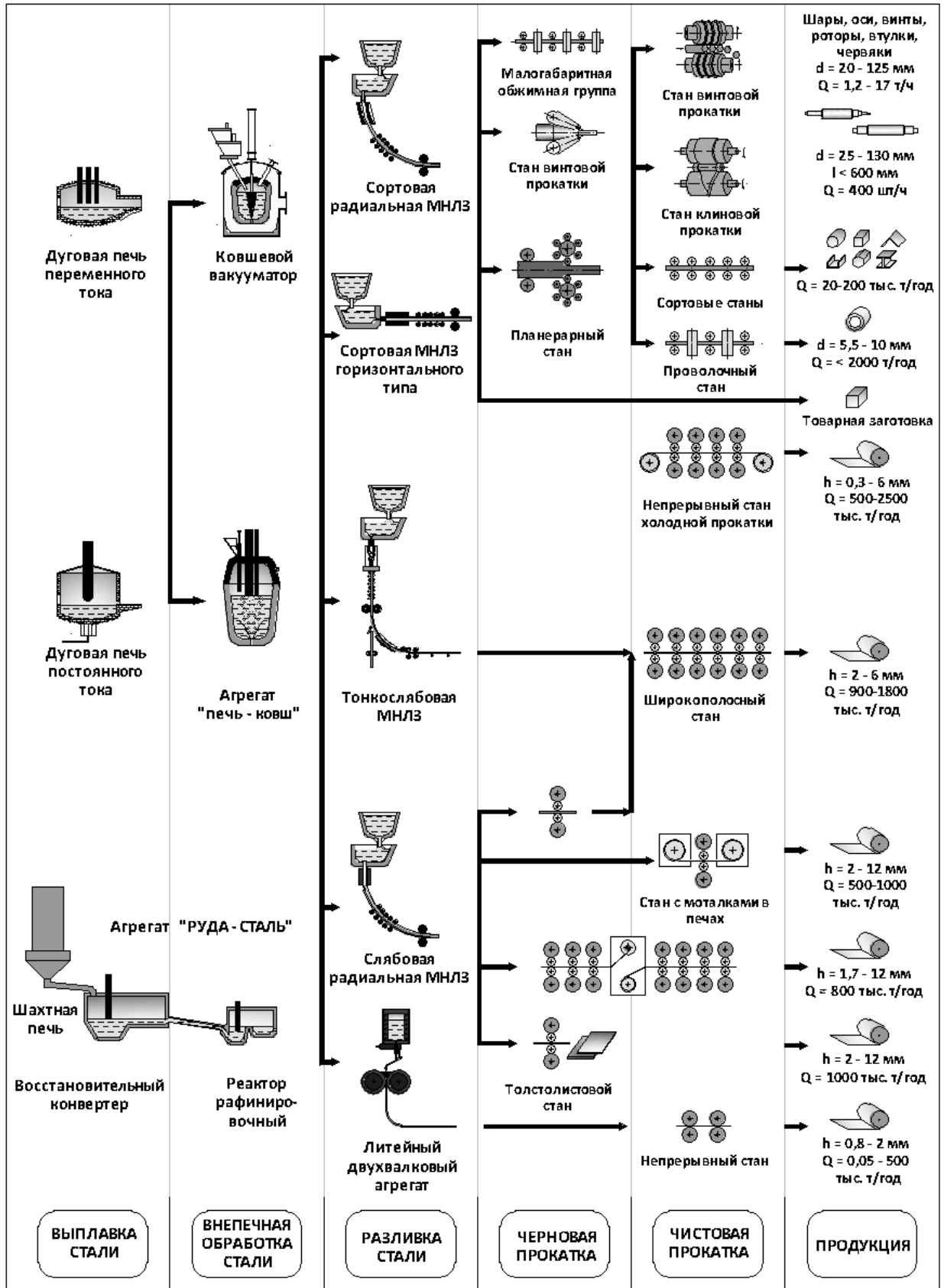


Рисунок 1.15 – Різновиди сучасних модулів для міні – заводів

Поняття "товста" і "тонка" величина підкату можуть коливатися залежно від конструктивних параметрів стана.

Стосовно ШСГП ефективним засобом економії електроенергії є установка потужної додаткової кліті "М" перед чистовою підгрупою. Її використання дозволяє збільшити товщину підкату на проміжному рольганзі приблизно в два рази і, відповідно, зменшити втрати тепла на ньому, одночасно зменшивши товщину підкату для чистової групи.

Установка такої кліті на одному з японських станів дозволила збільшити товщину підкату з 27...32 мм до 46...60 мм, зменшити втрати тепла розкатом на 50%, знизити температуру нагріву слябів на 100°C, і за рахунок цього зменшити витрату палива на 5,8 кг у.т./п. Також це дало можливість збільшити масу слябів за рахунок меншої довжини розкату на проміжному рольганзі і, відповідно, зменшити відходи в обрєзь.

Економія енерговитрат шляхом заміни холоднокатаної листової сталі якісною гарячекатаною

Вдосконалення технології виплавки, розливання і прокатування сталі на ШСГП дозволили істотно підвищити характеристики гарячекатаних сталей до рівня вимог на холоднокатаний лист [11].

Тому заміна холоднокатаної листової сталі гарячекатаною дозволяє скасувати цілий переділ (травлення штаб, холодне прокатування, відпал і так далі), що дозволить економити до 50 кг у.т./п теплової, до 20 кг у.т./п електроенергії і виключити відходи металу в обрєзь. А різниця у вартості холоднокатаного і гарячекатаного листового прокату може досягати 25 %.

В цілому можна відзначити, що допуски по товщині і ширині гарячекатаної сталі підвищеної точності і холоднокатаної сталі нормальної точності практично співпадають.

Основна проблема – це відсутність гарячекатаної сталі малої товщини. На вітчизняних підприємствах мінімальна товщина – 2 мм, за кордоном – 0,8 мм.

1.4 Стани нескінченної прокатки

Особливості використання технології нескінченної прокатки

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

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

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

Переваги технології нескінченної прокатки наступні:

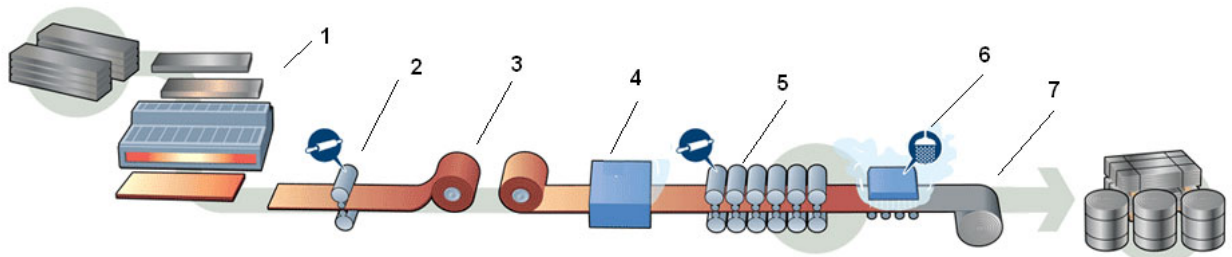
- відсутність втрат часу між проходами двох рулонів, що підвищує продуктивність стану;
- відсутність необхідності відрізання головної і хвостової частини рулону, що дозволяє зменшити відходи металу в обрізь;
- незмінно високі швидкості прокатки завдяки безперервності процесу, стабільність роботи устаткування і скорочення числа поломок;
- стабільні технологічні умови, що підвищує якість продукції;
- збільшення терміну служби прокатного устаткування;
- зниження потреби в техобслуговуванні, запчастинах і витратних матеріалах;
- можливість намотування рулонів більшої ваги або на замовлення;
- виробництво рулонів більшого розміру без необхідності внесення дорогих модифікацій в інше устаткування [3].

Розглянемо можливості застосування нескінченної прокатки на станах

різного типу.

Нескінченна прокатка на безперервних широкоштабових станах

Першим промисловим станом, на якому запроваджено нескінченну прокатку в групі чистових клітей, є ШСГП № 3 на заводі фірми Kawasaki Steel в Тібе [3]. Стан продуктивністю 5,4 млн. т/рік був введений в експлуатацію в травні 1995 р. Мінімальна товщина штаби, яка прокатується на стані, - 0,8 мм з вуглецевих сталей і 1,5 мм - з корозійностійкої сталі, максимальна ширина - 1900 мм. Схема розташування устаткування стана приведена на рис. 1.16.



1 - нагрівальні печі; 2 - група чорнових клітей; 3 - проміжний накопичувач Coilbox; 4 - зварювальна установка; 5 - група чистових клітей; 6 - ділянка охолодження на виході; 7 - моталки

Рисунок 1.16 – Розташування устаткування стана нескінченної прокатки штаб фірми Kawasaki Steel

Стан розташований поряд із сталеплавильним цехом з метою забезпечення прямої прокатки гарячих слябів, що поступають з машини неперервного лиття заготовок (МНЛЗ). У чорновій групі клітей прокатується підкат завтовшки 30...60 мм, а потім змотується в рулон на проміжному перемотувальному пристрої (ППУ) Coilbox, який грає роль буферного пристрою.

ППУ має три робочих режими: змотування, зберігання і розмотування. Після початку розмотування рулону, що зберігається в ППУ, проводиться

обрізання переднього кінця летючими ножицями, а потім зварка із заднім кінцем попереднього рулону в зварювальній машині, після чого розкат поступає в чистову групу клітей, яка працює вже в нескінченному режимі.

Зварювальна машина індукційного типу зварює розкат в русі, тому накопичувач штаби на стані не потрібний. Між летючими ножицями і зварювальною машиною встановлені екрани для запобігання втратам тепла штабою.

Кожна з семи клітей чистової групи оснащена попарно - схрещеними валками для регулювання профілю і форми штаби, причому положення валків можна регулювати в ході прокатки на клітях № 5 – 7. Крім того, всі кліті оснащені гідравлічними натискними пристроями.

Лінія чистових клітей оснащена товщиномірами, пристроями для вимірювання ширини і профілометрами, розташованими між всіма клітями, а також пристроєм динамічного управління гідравлічним натискним механізмом, пристроєм противигину робочих валків і робочими валками з регульованим кутом схрещування. Точність ширини штаби підвищується завдяки застосуванню великого міжклітьового натягнення, точно регульованого за допомогою електроприводів з малим часом спрацьовування [3].

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика існуючого виробництва цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь»

Прокатне виробництво ПАТ «Запоріжсталь» має в своєму складі 4 цехи: обтискний цех, цех гарячої прокатки тонкого листа, цех холодного прокату № 1, , цех холодного прокату № 3, які призначені для виробництва гарячекатаної і холоднокатаної листової сталі, сталльної штаби, білої жерсті та холодногнутих профілей. Загальна виробнича потужність по виробництву листової сталі – 3,5 млн. т на рік, і 600 тис. т холодногнутих профілей.

Цех гарячої прокатки тонкого листа (ЦГПТЛ) оснащений агрегатами для забезпечення поставки прокату в листах і рулонах шириною від 850 до 1500 мм. Широкоштабовий стан гарячої прокатки (ШСГП 1680) виробничою потужністю 3,5 млн. т на рік виробляє штаби товщиною 1,8 - 9,0 мм, шириною 900 - 1500 мм, маса рулону до 16 т. На трьох профілезгинальних агрегатах виробляється більш ніж 500 сортних (кутки, швелери) і спеціальних фасонних профілерозмірів гнутих профілей з вуглецевої, низьколегованої і нержавіючої сталі з товщиною стінки від 1,0 до 8,0 мм і з шириною розвертки профілю до 1450 мм.

В даний час на НТЛС 1680 прокатують штаби одинарної (до 8 тон) і подвійної (до 16 тон) маси. Основна маса металу прокатується транзитом (тобто минувши нагрів в методичних печах). Приблизно 5-7 % металу прокатується після нагріву (підігріву) в методичних печах. Сляби подвійної маси прокатуються тільки транзитом.

Для забезпечення прокатки по схемі злиток-сляб-рулон (штаб подвійної маси) виконана модернізація чорнових клітей: встановлені регульовані приводи на чорнових клітях Дуо №3, №4; вертикальних клітях №1, №2, і №3, а також система автоматичної перебудови механізмів району чорнових клітей.

До складу цеху входять: ділянка методичних нагрівальних печей; неперервний широкоштабовий стан 1680; ділянка підготовки виробництва; гаряча листообробка, що включає ряд агрегатів для різання рулонів на листи.

ЦГПТЛ включає наступне основне обладнання:

- Методичні печі (4 шт.);
- Неперервний тонколистовий стан гарячої прокатки ШСП-1680 в складі:
 - чорновий окалиноламач;
 - чорнова група клітей (4 кліті);
 - проміжний рольганг;
 - проміжний перемотуючий пристрій «Койлбокс»;
 - кінцеві ножиці;
 - чистовий окалиноламач;
 - чистова група клітей (6 чистових клітей);
 - відвідний рольганг;
 - душируюча установка (ламінарне охолодження штаби);
 - моталки (по 3 моталки для змотування рулонів масою до 16 т і до 8 т);
 - конвеєр.

Методичні печі рекуперативні чотиризонні, обладнані рекуператорами, дворядні з двостороннім нагрівом з торцевою посадкою і видачею металу, з випарним охолодженням глисажних труб. Печі мають 4 теплотехнічних зони регулювання: 1 – методична; 2 – зварювальна; 3 – зварювальна; 4 – томильна. Повітря, необхідне для горіння, підігрівається в блоковому керамічному рекуператорі об'ємом 330 м³ до температури 500-650 градусів. Теплова потужність печей складає 53×10⁶ ккал/год. Продуктивність печей при холодному всаді 65-75 т/ч, при гарячому всаді 110 – 140 т/ч. Розмір печі: ширина 5220 мм, довжина методичної зони 5220 мм, довжина другої зварювальної зони 7810 мм, довжина першої зварювальної зони 9280 мм, довжина томильної зони 8930 мм, довжина (корисна) 31540 мм. Печі опалюються сумішшю доменного і природного газів з калорійністю газової

суміші 1070 – 1450 ккал/нм³ (при температурі +20°C і тиску 760 мм. рт. ст.) і до 1600 ккал/нм³ при їх форсованій роботі.

Неперервний тонколистовий стан гарячого прокатки 1680 виготовлений фірмою «Юнайтед» в 1937 р. призначений для прокату штаб з напівспокійних, спокійних, киплячих, низьколегованих, легованих і неіржавіючих марок сталі завтовшки від 1,8 - 6,0 мм і шириною від 900 до 1520 мм. Допускається прокатки штаб від 6,1 до 10,2 мм. ШСГП-1680 складається з двох груп клітей - чорнової і чистової. До складу чорнової групи входять: одна двовалкова кліть (чорновий окалиноламач), чотири чотиривалкові кліті (№1, 2, 3, 4) і три вертикальні кліті (№1, 2, 3). До складу чистової групи входять: одна двовалкова кліть (чистовий окалиноламач) і шість чотиривалкових клітей (5, 6, 7, 8, 9, 10). Летючі ножиці 28×1550 мм для обрізання переднього і заднього кінців штаби (розкату) перед чистовою групою. До складу допоміжного устаткування входять: ППУ «Койлбокс», правий рольганг з шлепперним пристроєм, летючі ножиці, душируюча установка, моталки № 1, 2, 3 з кантувальником рулонів, приймальними візками, моталки № 4, 5, 6. Максимальна швидкість стану проектна і номінальна складає 9,3 м/хвил. Проектна потужність складає 3,540 тис. т. на рік.

Гарячекатаний рулонний прокат з маловуглецевої сталі Ст.1 ПАТ «Запоріжсталь» товщиною 1,8 – 2,2 мм користується найбільшим попитом у закордонних і вітчизняних споживачів. Тому у даному дипломному проекті розглядається технологія виробництва саме цього сортаменту прокату.

На рис. 2.1 зображена технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Початковою заготовкою для ЦГПТЛ є сляби з вуглецевих і низьколегованих марок сталі розмірами: товщина – 105 – 168 мм; ширина – 1000 - 1500 мм; довжина – до 9,5 м, що поступають зі стану 1150 через відвідний рольганг на проміжний підігрів слябів в методичних печах ЦГПТЛ або прямолінійним потоком на стан 1680.

Технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ "Запоріжсталь"

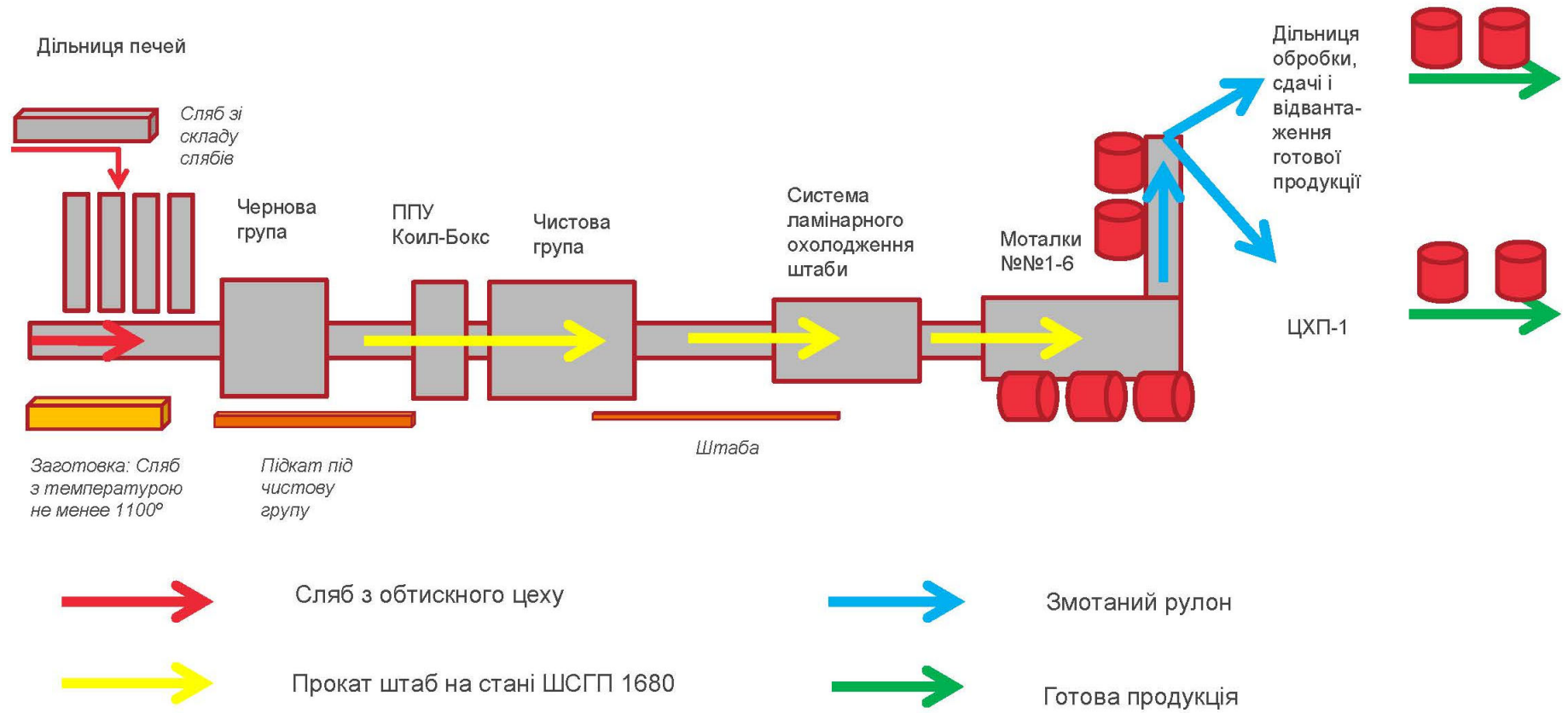


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

Сляби, що передаються з обтискного цеху, прокатуються на ШСГП-1680 на штаби необхідних розмірів по існуючим режимам обтиснень. 95% переданих зі слябінгу слябів задаються в ШСГП-1680 «транзитом» (без додаткового підігріву в методичних печах). Прокатані на ШСГП-1680 гарячекатані штаби охолоджуються до необхідної температури в душируючій установці і змотуються на моталках. Далі прокатані рулони передаються в ЦХП-1, ЦХП-3 або на склад готової продукції для обробки і упаковки. Частина рулонів прямує для різання на агрегатах подовжнього (в т.ч. як підкат для профілезгинальних агрегатів) або поперечного розпуску.

На рис. 2.2 показана схема транзитної прокатки.

На рис. 2.3 показана схема розташування основного обладнання ШСГП – 1680 ПАТ «Запоріжсталь», в табл. 2.1 – характеристика робочих клітей стана ШСГП 1680.

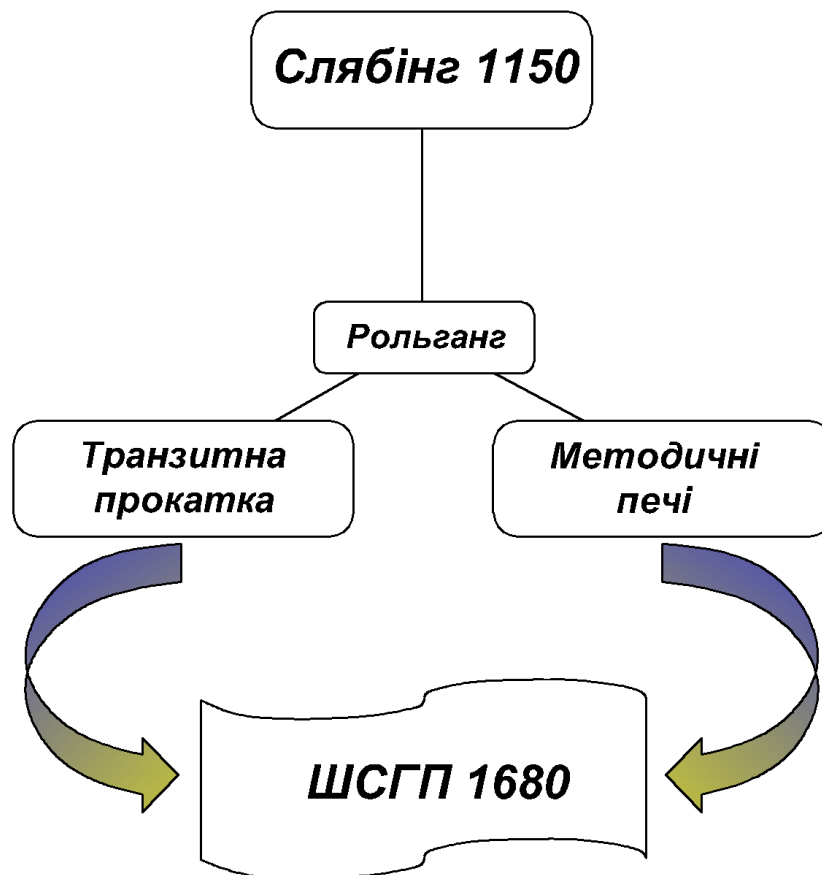
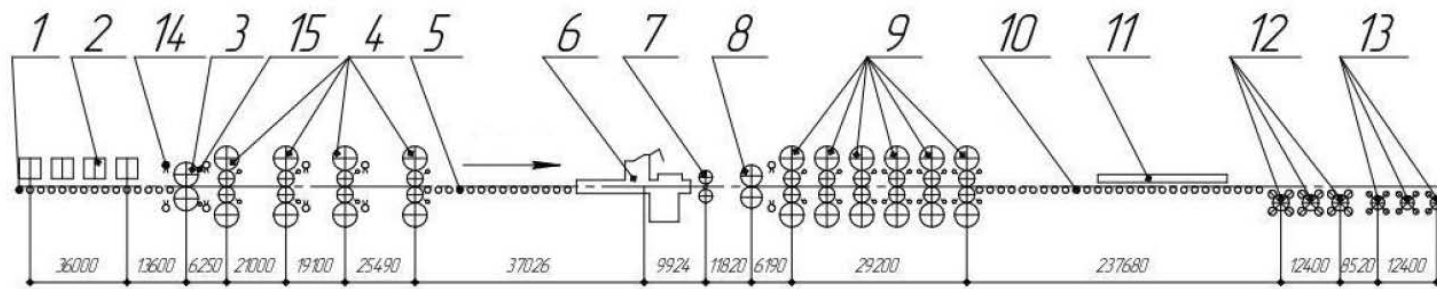


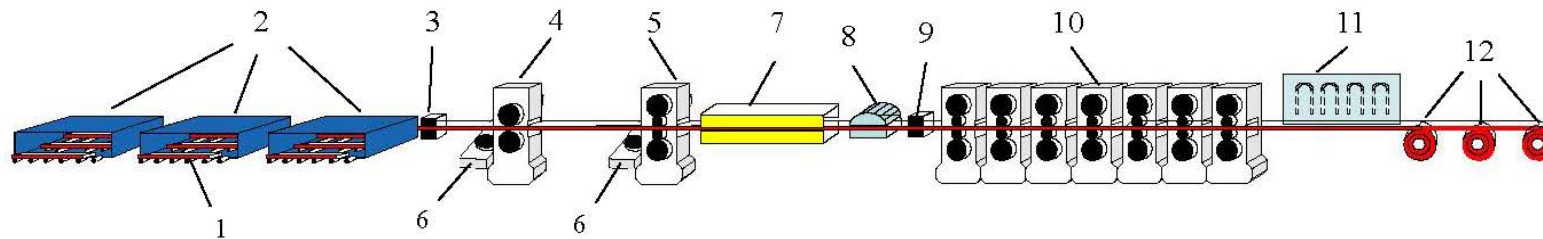
Рисунок 2.2 – Схема транзитної прокатки в ЦГПТЛ ПАТ «Запоріжсталь»

СХЕМА РОЗТАШУВАННЯ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ ШСГП – 1680 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»



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

*СХЕМА МОДЕРНІЗАЦІЇ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ ШСГП 1680 ЗА НОВОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ
З ВИКОРИСТАННЯМ МАСТИЛ*



1 - сляби; 2 - методичні печі з рухомими балками; 3 - первинний гідрозбив окалини; 4 - чорнова реверсивна кліть Дуо з вертикальними валками (еджерами); 5 - чорнова реверсивна кліть Кварто з вертикальними валками (еджерами); 6 - вертикальні валки - еджери; 7 - теплові екрани ЕНКО; 8 - обрізні ножиці; 9 - гідрозбив окалини з протяжними роликками; 10 - чистова група клітей; 11 - відвідний рольганг з ламінарним охолодженням; 12 - три підложні моталки роликкового типу.

Рисунок 2.3 – Схема розташування основного обладнання ШСГП – 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

Таблиця 2.1 – Характеристика робочих клітей стана ШСГП 1680

№ кліті	Потужність приводу, кВт	Число обертів валків у хвил.	Діаметр робочих валків	Діаметр опорних валків
Горизонтальні кліті				
Чорновий окалиноламач	2000	500	900	-
1	6300	428	940	1320
2	4000	500	850	1240
3	4000	500	593	1240
4	4000	500	593	1240
Чистовий окалиноламач	365	250 - 750	620	1240
5	4000/5000	270/500	620	1240
6	4000/5000	270/500	620	1240
7	7000	340	620	1240
8	7000	340	620	1240
9	7000	340	620	1240
10	7000	340	620	1240
Вертикальні кліті				
1	200	400 – 800	810	-
2	200	400 – 800	610	-
3	200	400 – 800	610	-

На рис. 2.4 наведена робоча кліть стана 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

2.2 Валки широкоштабового стана гарячої прокатки

У складі листопрокатного стана валки займають особливе положення. Не дивлячись на простий профіль бочки на початку їх роботи, він, в процесі гарячої прокатки штаби під впливом температури, зусилля прокатки і сил тертя настільки змінюється, що поперечний профіль штаби, що виходить з осередку деформації, радикально відрізняється від зазору між робочими валками до початку прокатки, форма штаби - від планшетності, а поверхня - від тільки що відшліфованої поверхні валків, ще не пошкодженою ерозією, розвиненою частинками окалини, струменями рідини, що охолоджує валки,

Традиційним матеріалом валків гарячої прокатки є чавун, відбілений шар якого має високу твердість і зносостійкість. У середині минулого століття почали застосовувати чавунні валки, вибілений шар якого містив контрольовану кількість дрібнодисперсних частинок вільного графіту: "Indefinite chill" (чавун, глибоко вибілений відливанням у виливниці).

Показником якості робочих валків, які встановлюють в кліті чорнової групи ШСГП, властивістю їх бочок, є ступінь їх захоплюючої здатності - здатності виконати задане обтискання сляба або розкату без пробуксовки в будь-якому пропуску прокатки через осередок деформації. Ця здатність визначається, головним чином, природою валкового матеріалу - кількістю, дисперсністю і твердістю карбідів в матриці структури активного шару бочки, а також твердістю власне матриці, її зносостійкістю. Високохромиста сталь має декілька гіршу захоплюючу здатність, ніж сталь марки "Adamite". Але володіючи достатньою зносостійкістю і опором утворенню розгарних тріщин, забезпечувала відносно високу якість поверхні розкатів і більшу тривалість прокатної компанії, сприяла підвищенню продуктивності стана.

У табл. 2.2 наведено основні властивості прокатних валків широкоштабового стана гарячої прокатки ШСГП – 1680 [5].

2.3 Оцінка стабільності якості листопрокатної продукції

До основних показників якості гарячекатаних штаб відносяться точність геометричних розмірів та рівень механічних властивостей металу. Діючі стандарти обумовлюють допустимі відхилення по товщині і ширині штаб, а також відхилення від площинності. Зменшення поля розкиду розмірів штаб дозволяє заощаджувати значну кількість металу. До металу, призначеного для подальшої холодної прокатки (підкату), пред'являються особливо високі порівняно зі стандартними вимоги. Норми, передбачені, наприклад, у ГОСТ 19903, не завжди забезпечують стабільність процесу холодної прокатки та високу якість готової продукції. Насамперед додаткові вимоги відносяться до профілю поперечного перетину гарячекатаних штаб.

Таблиця 2.2 – Прокатні валки широкоштабового стана гарячої прокатки ШСГП – 1680 [5]

Кліть	Тип валка	Матеріал валка	Діаметр бочки, мм	Довжина бочки, мм	Вага валка, т	Нормативний парк валків, шт.	Витрати валка шт/кг на тону за 2015 р.	Витрати валка шт/кг на тону за 2016 р.
Дуо	Робочий	50ХН	900	1680	13,20	8	-	-
№ 1	Опорний	90ХФ	1320	2440	35,42	6	-	-
	Робочий	90ХФ	940	2440	19,10	12	6/0,035	6/0,035
№ 2	Робочий	90ХФ	850	1680	9,65	16	12/0,035	19/0,056
№ 2 – 10	Опорний	90ХФ	1240, 1270	1680	22,34, 23,12	62	24/0,166	9/0,063
		70Х3ГНМФ						
		75ХМФ						
		90ХМФ						
		VC4CM						
№ 3 – 10	Робочі чавунні відцентрові	Високохромісті, індефініт	626	1680	5,59	200	240/0,412	228/0,393
№ 9	Робочі чавунні з чечевичним рельєфом	індефініт	626	1680	5,585	6	Гарантоване напрацювання – 1500 тон на валок	

Досвід показує [1], що найбільш раціональна форма поперечного перетину гарячекатаного штабового підкату – «чечевицеподібна». Випуклість профілю повинна становити 0,05 – 0,12 мм залежно від ширини, товщини та призначення холоднокатаних штаб. Так, підкат для жерсті шириною 700 – 900 мм повинен мати опуклість трохи більше 0,05 мм, для автолиста – 0,08 мм. Максимальна опуклість підкату товщиною до 3 мм, шириною до 1250 мм – 0,08 мм, товщиною понад 3 мм та шириною від 1250 до 1500 мм – 0,12 мм. В узагальненому вигляді можна вважати, що раціональна величина опуклості повинна перебувати між двома граничними значеннями (рис. 2.5), що визначаються за допомогою виразів:

$$\delta h_{\text{макс}} = 0,04 + 0,08 \cdot 10^{-7} \cdot B^2 \cdot h; \quad h_{\text{мін}} = 0,01 + 0,04 \cdot 10^{-7} \cdot B^2 \cdot h,$$

де B – ширина підкату, мм; h – товщина підкату, мм.

Важливим показником є клиноподібність штаби. Вона не має перевищувати 1% від товщини штаби (на 1 м ширини). Профіль штаби має бути симетричним. Місцеві (локальні) потовщення не повинні перевищувати 0,3 величини опуклості профілю поперечного перетину.

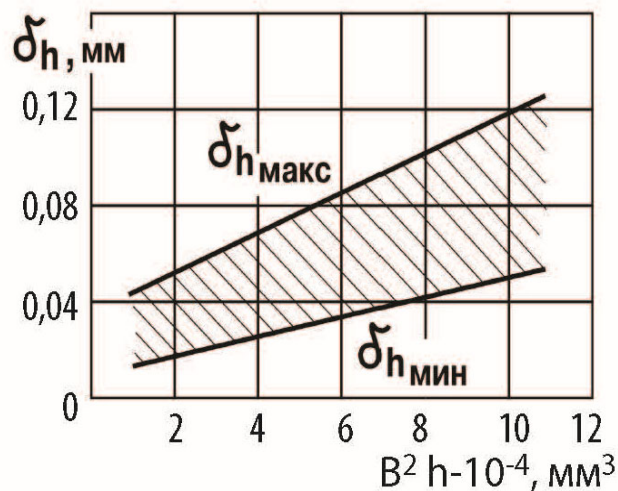


Рисунок 2.5 – Раціональна величина опуклості δh підкату для холодної прокатки залежно від ширини B і товщини h гарячекатаних штаб

Поздовжня різнотовщинність підкату значною мірою визначає стабільність процесу холодної прокатки та умови прокатки штаб зі звареними швами на неперервних станах. Рекомендована допустима величина поздовжньої різнотовщинності – не більше 0,1 мм.

Результати дослідження точності геометричних розмірів гарячекатаних штаб наведено у роботі [1].

Поздовжня різнотовщинність гарячекатаних штаб зазвичай становить 0,1 – 0,3 мм, поперечна різнотовщинність – 0,01 – 0,15 мм. Ці величини в основному відповідають вимогам до гарячекатаних штаб, проте не завжди прийнятні для підкату, що використовується в цехах холодної прокатки. Точність розмірів гарячекатаних штаб визначається переважно величиною їх поздовжньої різнотовщинності, обумовленої потовщенням кінців, і коливаннями товщини у межах партії прокату.

Аналогічна закономірність проявляється і під час розгляду різноширинності штаб. Відхилення ширини від заданої величини спостерігаються, як правило, на кінцевих ділянках штаб, що прокочуються. Ширина штаб (не враховуючи кінцевих ділянок) змінюється найчастіше у межах ± 5 мм на 90-93 % їх довжини.

Важливим показником якості є площинність штаб. Більші величини неплщинності, як правило, відповідають ширшим штабам. Площинність холоднокатаних штаб залежить від форми поперечного перетину підкату. Підкат із симетричним двоопуклим «чечевицеподібним» профілем поперечного перетину при опуклості до 0,12 мм надає найбільшій стійкості до утворення неплщинності холоднокатаних штаб.

Як зазначалося вище, механічні властивості металопродукції, виробленої на широкоштабових станах, непостійні у межах партії і плавки. Головна причина нестабільності механічних властивостей – це непостійність хімічного складу. Другим за значимістю фактором нестабільності механічних властивостей штаб є зміна температури кінця прокатки. На рис. 2.6 показано залежності механічних властивостей тонких (1,8 мм) гарячекатаних штаб зі

сталі 10кп від температури $T_{\text{кп}}$ кінця прокатки. Тут видно, що зміни $T_{\text{кп}}$ навіть у межах 10°C можуть суттєво впливати на структуру та властивості гарячекатаного металу. На рис. 2.7 а наведені середні квадратичні відхилення температури кінця прокатки штаб. Дані отримані за умови прокатки при відключеній системі автоматичного регулювання температури прокатки. Діапазон коливань температури кінця прокатки штаб одного типорозміру становив $\pm(20 - 40)^{\circ}\text{C}$ по всьому масиву експериментальних даних.

Нестабільність температури кінця прокатки по довжині штаби і між штабами в партії обумовлюється, головним чином, коливаннями температури розкочування на проміжному рольгангу, а між штабами різних партій – відмінностями у швидкості прокатки. Наприклад на рис. 2.7,б,в показані середні значення та середні квадратичні відхилення температури розкатів T_p і заправної швидкості V_z .

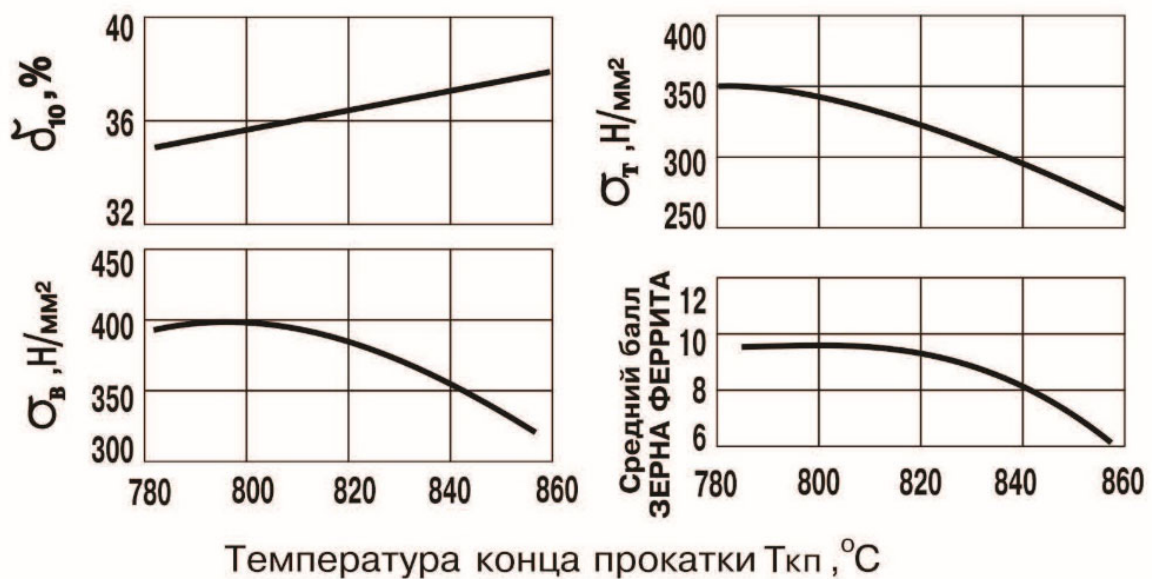


Рисунок 2.6 – Залежність механічних властивостей штаб товщиною 1,8 мм зі сталі 10кп від температури кінця прокатки. Температура змотування $600 - 620^{\circ}\text{C}$

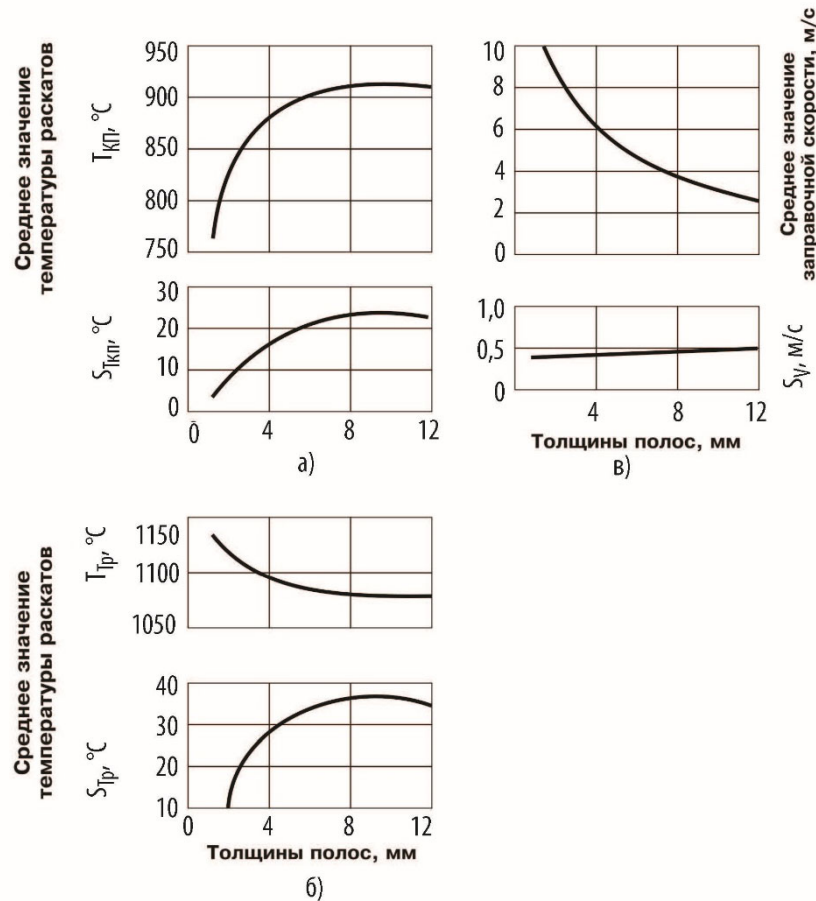


Рисунок 2.7 – Середні значення та середні квадратичні відхилення температури кінця прокатки на ШСГП 2000 штаб $T_{кп}$ різних товщин (а); температури розкатів T_p за чорною групою клітей при прокатуванні штаб різних товщини (б); заправної швидкості V_z штаб різних товщин (в)

Вплив умов нагріву слябів на стабільність технології прокатки листів та штаб

Основним завданням нагріву є забезпечення необхідної температури слябів, що видаються на прокатку, з мінімальним її розкидом у межах партії слябів (плавки). Однак конструкційні особливості методичних печей у ряді випадків ускладнюють вирішення цього завдання.

У методичних печах нагрівання металу відбувається з трьох сторін: зверху та з вузьких торців. Широкі торці послідовно розташованих слябів контактують між собою. Нижня поверхня сляба контактує або з монолітною

подиною, або з глісажними трубами, які на ряді печей покриті рейтерами. Нестабільність нагріву проявляється, в першу чергу, наявністю на слябі глісажних міток, які дестабілізують процес прокатки лінії ШСГП. Відмінність температур металу в зоні міток і поза межами може досягати 50 – 200°C. Крім того, має місце температурний перепад у поперечному перетині слябів. Експериментально встановлено, що розподіл температури слябів $T_{сл}$ за їхньою товщиною характеризується коефіцієнтом варіації $V_{T_{сл}}$, рівним 3 – 12% при максимальному значенні $T_{сл}$ на верхній поверхні слябів.

Зазначені вище фактори діють у разі однорядного або симетричного багаторядного способу посаду слябів. В умовах «шахового» посада слябів характер розподілу $T_{сл}$ за їх довжиною інший через переважні умови нагрівання вільних кінцевих ділянок слябів. Перепад температур по довжині нагрітих слябів у межах однієї плавки може становити 5% і більше, тоді як у разі однорядного посаду слябів розкид температур не перевищує 1 – 2%. Як показує досвід, використання печей з комплексним нижнім та верхнім обігрівом суттєво (в 1,5 – 2 рази) вирівнює температуру в поздовжньому та поперечному перетинах слябів.

До факторів, що визначають стабільність нагріву слябів, відносяться якісні показники палива, яким є або природний газ, або коксодоменна суміш газів. Теплота згоряння палива цих видів суттєво різна: у природного газу в 5 разів вища, ніж у коксодоменного. Зміна характеристик, наприклад, газу може призвести до зміни його теплоти згоряння у 1,5 – 2 рази. Непостійність вмісту компонентів коксодоменної суміші також негативно відбивається на стабільності нагріву.

Аналізуючи результати вимірів у лінії ШСГП 1700 температури $T_{сл}$ більш ніж 500 слябів безпосередньо після їх видачі з нагрівальних печей, можна зробити такі висновки [1]. Для кожної печі $T_{сл}$ є випадковою величиною, а закон її розподілу відповідає нормальному. Статистичні характеристики $T_{сл}$ по печах ШСГП 1700 представлені у табл. 2.5, де $X_{T_{сл}}$ –

середнє значення температури слябів, °С; $S_{T_{сл}}$ – середнє квадратичне відхилення, °С.

Таблиця 2.5 – Статистичні характеристики температури слябів, що видаються із печей ШСГП 1700

Номер печі	$X_{T_{сл}}$, °С	$S_{T_{сл}}$, °С
1	1260	6
2	1259	9
3	1256	6
4	1265	10

Перевірка кількох масивів $T_{сл}$ для слябів гарячого та холодного посаду дозволила встановити, що ці масиви належать до однієї сукупності. Це пояснює досить велику величину $S_{T_{сл}}$. Нестабільність режиму нагріву слябів була викликана в основному незадовільним станом обладнання печей і мінливістю якості палива, що використовується – коксодоменної суміші.

Рівномірність нагріву металу під прокатку є гарною основою задля забезпечення стабільності технологічного процесу прокатки на ШСГП. Для вирішення цього завдання в повному обсязі під час гарячої прокатки необхідно також забезпечити стабільну тривалість транспортування металу лінії стану від нагрівальних печей до моталок.

Тривалість τ транспортування розкатів в лінії ШСГП 1700 заміряли на трьох характерних ділянках: першій – від кожної з чотирьох нагрівальних печей до вертикального окалиноломателя на вході в чорнову групу клітей; другий – у міжклітинних проміжках чорнової групи, третій – на проміжному рольгангу. Обсяги вибірок на кожній ділянці склалися з 136 – 180 слябів. Перевірка масивів вибірок за критерієм χ^2 показала нормальний закон розподілу для тривалості руху слябів та розкатів на всіх ділянках.

Аналіз тривалості транспортування слябів різних перетині в (210×910, 195×1060, 180×1530 мм) і розкатів товщинами 40, 35, 37 мм на кожній ділянці ШСГП 1700 виявив рівність їх емпіричних центрів розподілів, однорідність і рівність дисперсій. Це дає можливість узагальнювати результати аналізу обмеженої кількості типорозмірів слябів і розкатів на весь сортамент стану.

Статистичні характеристики розподілу тривалості транспортування слябів і розкатів наведені в табл. 2.6 та 2.7. Тут і далі в цьому розділі позначено X – середнє значення параметра, S – середнє квадратичне відхилення, V – коефіцієнт варіації.

Зменшення коефіцієнтів варіації тривалості транспортування слябів від печей № 2-4 обумовлюється зміною середніх величин X_t , за рахунок часу проходження слябом відстані між сусідніми печами, що становить ~ 11 с.

Значний, у 2 рази більший, розкид величин коефіцієнта варіації тривалості транспортування розкочування на рольгангах перед горизонтальним окалиноломателем, 1-ї та 3-ї клітьми чорнової групи пояснюється підтримкою необхідної величини технологічної паузи між розкочуванням у чистовій групі клітей при порушенні темпу видачі слябів з печі або темпу прокатки.

Таблиця 2.6 – Статистичні характеристики тривалості транспортування слябів від нагрівальних печей до вертикального окалиноломателя в чорновій групі клітей ШСГП 1700

Номер печі	X_t , с	S_t , с	V_t
1	13,7	1,16	0,085
2	24,7	0,99	0,040
3	35,8	1,08	0,030
4	47,1	1,13	0,024

Таблиця 2.7 – Статистичні характеристики тривалості транспортування розкатів по чорновій групі клітей до проміжного рольгангу ШСГП 1700

Показник	Транспортування до кліті						На проміжному рольгангу
	*Г/ок	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
X_{τ} , с	15,7	16,6	22,2	19,9	25,2	34,6	46,8
S_{τ} , с	0,97	0,82	0,53	1,01	0,77	1,05	7,03
V_{τ}	0,062	0,049	0,028	0,05	0,031	0,030	0,043

Виявлені закономірності дозволяють з надійністю 95% вказати можливі діапазони значень тривалості транспортування слябів та розкатів ($X_{\tau} \pm S_{\tau}$) на всіх розглянутих ділянках: на першій ділянці: від печі № 1 – 13,2 ÷ 16 с; від печі № 2 – 23,7 ÷ 25,7 с; від печі № 3 – 34,6 ÷ 37 с; від печі № 4 – 45,8 ÷ 48,4 с; на другій ділянці – 130 ÷ 140 с; на третій ділянці – 45 ÷ 51 с.

Для другої (міжклітинний проміжок чорнової групи) та третьої (проміжний рольганг) ділянок з урахуванням адитивності дисперсії нормального розподілу кількох змінних, загальна сумарна дисперсія може досягати $\sim 10 \text{ с}^2$, максимальний розкид тривалості транспортування металу при проходженні трьох розглянутих ділянок складатиме $\sim 20 \text{ с}$.

2.4 Характеристика прокатного стану за новою технологією з використанням технологічних мастил

Раніше відзначалося, що споживачі зазвичай прагнуть отримувати тонкий лист, ширина якого відповідала б розміру заготовки для деталі: в цьому випадку можна уникнути операції прирізання і знизити кількість відходів. Для цього ширину сляба коректують в процесі прокатки, перед входом до чорнової групи клітей широкоштабового стану шляхом прокатки у вертикальних валках (еджерах). На рис. 2.3 вертикальні валки зображені під номером 6.

Пропонований стан гарячої прокатки розрахований на отримання штаби шириною 800 – 1,550 мм; в його склад входить наступне основне обладнання:

- Три (3) нагрівальні печі з крокуючими балками;
- Рольганги;
- Первинний окалиноламах струменями води високого тиску;
- 2-х валковий реверсивний чорновий стан з прикріпленим до нього еджером;
- 4-х валковий реверсивний чорновий стан з прикріпленим до нього еджером;
- Теплозахисні панелі ЕНКО;
- Ножиці обрізів;
- Окалиноламах струменями води високого тиску з протяжними роликами перед чистовою групою клітей;
- Чистові кліті F1 – F7;
- Відвідний рольганг з ламінарним охолодженням;
- 3 підпідлогові моталки (роликового типу);
- Система транспортування рулонів.

В табл. 2.3 наведена характеристика вихідних матеріалів і отримуваної продукції, в табл. 2.4 - характеристика чорнової групи клітей прокатного стану.

Таблиця 2.3 - Характеристика вихідних матеріалів і отримуваної продукції

Характеристика продукції	Сляб		Штаба		Рулон	
	Товщина	220 мм	1,0-16 мм	Маса	32 т	
Ширина	800-1550 мм	800-1550 мм	Питома вага	22,7 кг/мм		
Довжина/Продуктивність	4,7 - 12 м	4,7 млн. т/рік	Діаметр	2050 мм		

Таблиця 2.4 - Характеристика чорнової групи клітей прокатного стану

Розміри валків, мм			Зусилля прокатки, кН	Потужність двигуна, кВт	Швидкість двигуна, об/хвил	Перед. число	Швидкість, м/сек
Кліть Дуо	вертикальні	1100/1000	5000	2×900	0 – 180/370	4,8:1	4,04
	горизонтальні	1350/1230×1700	30000	2×3500	0 – 30/60	1:1	3,86
Кліть Кварто	вертикальні	1100/1000	5000	2×900	0 – 180/550	4,8:1	6,00
	робочі	1250/1130×1700	45000	2×7500	0 – 60/100	1:1	5,92
	опорні	1500/1350×1700					

2.5 Ефективність використання технологічних мастил при гарячому прокатуванні штаб

Мастила при гарячому прокатуванні і вимоги до них

Технологічні мастила безпосередньо в процесі прокатування шляхом подачі у осередок деформації між штабою і валками застосовуються в обов'язковому порядку при холодному прокатуванні листів. Проте останнім часом технологічні мастила знаходять все більш широке застосування і в процесі гарячого прокатування листового металу в основному на ШСГП. Їх використання дозволяє підвищити ефективність виробництва прокату, знизити витрати енергії і знос валків, зменшити зусилля на валки, знизити температуру робочих валків, зменшити величину коефіцієнта тертя, скоротити кількість дефектів, знизити окалиноутворення, підвищити якість поверхні штаби, а також підвищити продуктивність стану і поліпшити якість прокату.

В той же час, при гарячому прокатуванні існують несприятливі умови для утворення і утримання рівномірного змащувального шару на валках або штабі [2].

Перша проблема полягає у тому, що вода, яка застосовується для

охолодження валків, не тільки змиває мастило з поверхні валка, але і погіршує адгезію масла до металевої поверхні. Також, в осередку деформації мастило знаходиться під дією високого тиску і температури, які приводять до розкладання мастила. Проте її горіння в осередку деформації не відбувається у зв'язку малого (соті долі секунди) часу знаходження в осередку деформації.

У зв'язку з наявністю таких екстремальних умов, до мастила пред'являють наступні вимоги:

- мастило повинне забезпечувати ефективне зниження сили тертя і зносу валків;
- не змиватися з валків і не видавлюватися з осередку деформації, утворюючи рівномірну плівку;
- не викликати корозії обладнання і прокатуваного металу;
- бути доступною, дешевою і недефіцитною;
- задовольняти вимогам санітарії і гігієни;
- бути технологічною з погляду подачі в осередок деформації;
- легко віддалятися з поверхні готового прокату після охолодження.

Основний ефект від застосування технологічних мастил полягає у зниженні сили прокатування, що у свою чергу впливає на зниження витрат електроенергії на прокатування (табл. 2.5).

Таким чином, питома витрата електроенергії, споживаної на прокатування з використанням мастила в чистовій клітці товстолистового стана 2300, знизилася на 5,3...12,5 %.

В цілому, переваги застосування мастил при гарячому прокатуванні наступні:

- збільшення стійкості валків по зносу на 50...70 %, за рахунок чого знижуються втрати часу на перевалку валків і підвищується продуктивність на 1,5...2 %;
- зниження сили прокатування на 10...20 %, за рахунок чого забезпечується економія електроенергії на 6...10 %, зменшується прогин валків і підвищується точність прокатування;

Таблиця 2.5 – Витрати електроенергії при прокатуванні листів з мастилом і без на ТЛС 2300 Донецького металургійного заводу [2]

Розміри листа	Число прокатаних листів	Питома витрата електроенергії без мастила, кВт·год/т	Питома витрата електроенергії при використанні мастила кВт·год/т	Зниження витрат електроенергії, %
7x1500	26	17,44	15,9	8,8
7x1500	30	20,44	18,67	8,8
8x1600	50	21,53	18,8	12,5
8x1500	30	16,29	15,1	7,3
8x1600	32	18,9	17,3	8,5
8x1600	36	18,5	17,2	7
10x1400	26	15,8	14,1	10,8
8x1400	30	17,1	16,2	5,3

– зниження теплопередачі від розкату до валків, за рахунок чого знижується пікове значення температури поверхні валків на 50...100°C, знижується рівень термічної напруги у валках і підвищується його стійкість, а також зменшуються втрати тепла розкатом;

– «м'якші» умови роботи валків сприяють зменшенню числа валків, які списуються внаслідок викрошування поверхні, у декілька разів;

– поліпшується якість поверхні листів за рахунок чистоти поверхні валків;

– змінюється фазовий склад окалини - знижується її твердість, що полегшує її видалення. Кількість окалини зменшується в 1,5...2 рази.

Види мастил для гарячого прокатування

Мастила, які використовуються при гарячому прокатуванні по агрегатному стана можна розділити на: тверді, пластичні (консистентні) і рідкі. За походженням виділяють мастила, що ґрунтуються на застосуванні неорганічних (графіть, тальк і ін.), органічних (мінеральні масла, жири і ін.)

матеріалів, і синтетичні мастила (наприклад, використання розчинних у воді полімерів). На рис. 2.5 представлена класифікація технологічних змащувальних засобів, вживаних при гарячому прокатуванні.

Тверді мастила в основному виготовляються на основі графіту у вигляді брикетів. Шар мастила наносять на валок шляхом притиснення брикету до поверхні валка, що обертається.

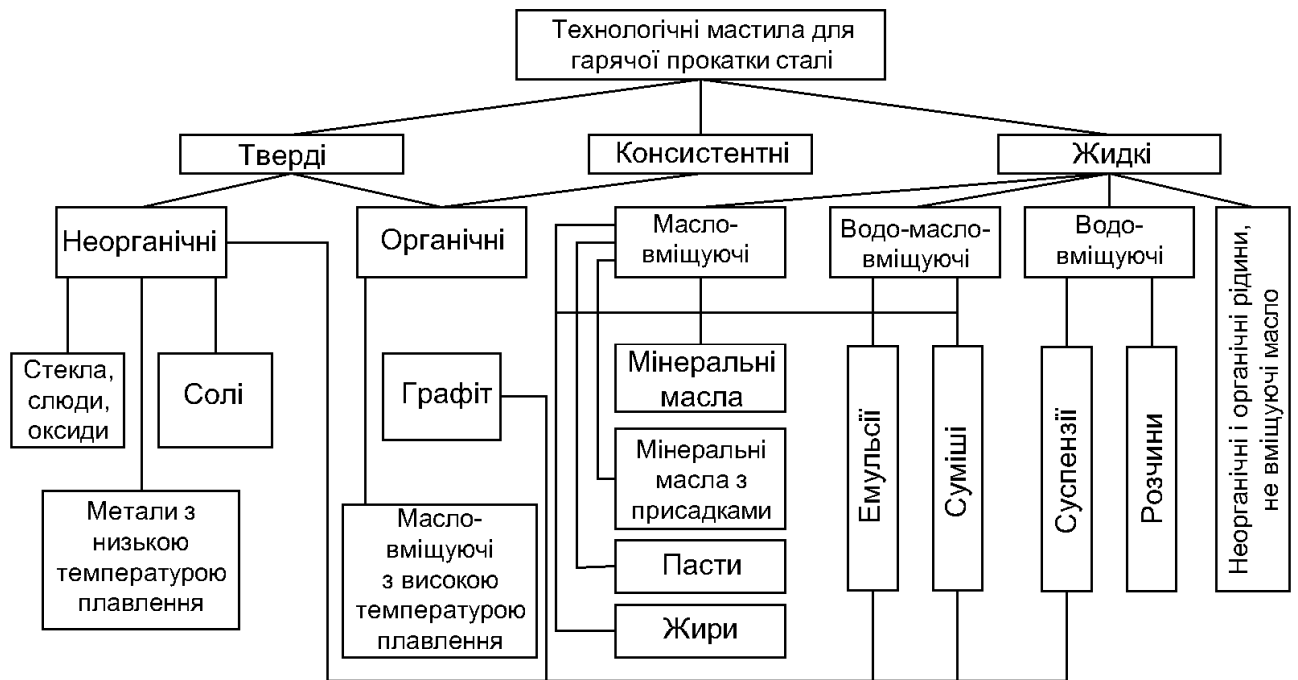


Рисунок 2.5 – Класифікація технологічних мастил для гарячого прокатування сталі [8]

Проте конструктивні труднощі кріплення брикетів і складність тонкого дозування не дозволили цим мастилам отримати широке застосування.

Технологічні мастила на основі *рідкого скла*, наносяться на поверхню штаби. Проте, не дивлячись на високу ефективність, вони не знайшли широкого застосування на станах у зв'язку з труднощами їх рівномірного нанесення на всю поверхню штаби і видалення скляної плівки з поверхні готового прокату. Також такі мастила несприятливо впливають на умови

роботи персоналу стана.

Консистентні і пастоподібні мастила також вельми ефективні, але із-за труднощів тонкого дозування теж не знайшли широкого промислового застосування. Сольові мастила застосовуються у вигляді водних розчинів, які можна наносити на заготовку до її нагріву в печі. Проте такі мастила викликають підвищену корозію металу, що деформується, і обладнання.

Найбільш раціональним, як показали результати досліджень і досвід застосування мастил на промислових станах, є використання *рідких технологічних мастил*, які можуть застосовуватися в чистому вигляді, у вигляді емульсій, водомасляних сумішей, у вигляді розчину один в одному, розплаву і так далі. Характеристики рідких змащувальних систем представлені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Деякі фізико-хімічні характеристики водних змащувальних систем [8]

Характеристика системи	Розмір частинок дисперсної фази, мкм	Видимість частинок в оптичному мікроскопі	Час повного розшарування, хвил.	Адгезійна здатність
Суспензії	1-50	Хороша	0,01–0,5	Висока
Водо-масляні суміші	> 50	Хороша	0,05–0,5	Висока
Емульсії	0,1-50	Слабка	30–1200	Достатня
Дійсні розчини	<0,001	Не видимі	Не розділимі	Мінімальна

Як технологічне мастило при гарячому прокатуванні запропоновані складні суміші наступних складів: суміш мінерального масла з рослинним, мінерального з касторовим і добавками окислу парафіну, поліоксилетиленсолбутан, мастила на основі жирів і інші суміші. Для підвищення ефективності мастила як спеціальні добавки можна використовувати жири і жирні кислоти. Характеристика деяких мастил, які можуть бути використані як технологічне мастило для гарячого прокатування

приведена в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристика мастил, які можуть бути використані як технологічне мастило для гарячого прокатування [8]

Мастила	В'язкість при 50°C, 10 м/с	Температура застигання, °C	Число омилення	Кислотне число	іодне число
ОХМ	500-600	+12	140-160	30-45	60-65
Бавовняне масло	90-100	-1	195	15	103-110
Коріандр-2	120-100	+10	190	10	90-95
Суріпне масло	80-90	-12	173-180	12	105-122
Талове масло	100-110	-1	190	130-140	100-120
Мастило консерваційне ЖКБ-Г	50	+12,5	15	30	-
Мастило для гарячої прокатки ЖКБ-Г	до 30	+3	30	10	-
Мастило для гарячої прокатки ТСП	100-110	-1	190	130	70-80
Масло коріандру	90-100	-4	190	10	95-100

Способи нанесення мастил

Мастило можна наносити як на штабу, так і на прокатні валки. При нанесенні на штабу мастило повинне бути негорючим (солі, силікатні розплави), її наносять або перед прокатною кліттю або на заготовку перед нагрівом в печі, проте, як вже вказувалось, дані способи не знайшли широкого застосування.

Тому основним є спосіб нанесення мастила на прокатні валки. існують різні способи подачі технологічних мастил на валки:

1. введення разом з рідиною, що охолоджує, через колектори охолодження;
2. розбризкування за допомогою форсунок;
3. нанесення контактними пристроями;
4. розпилювання повітрям або парою.

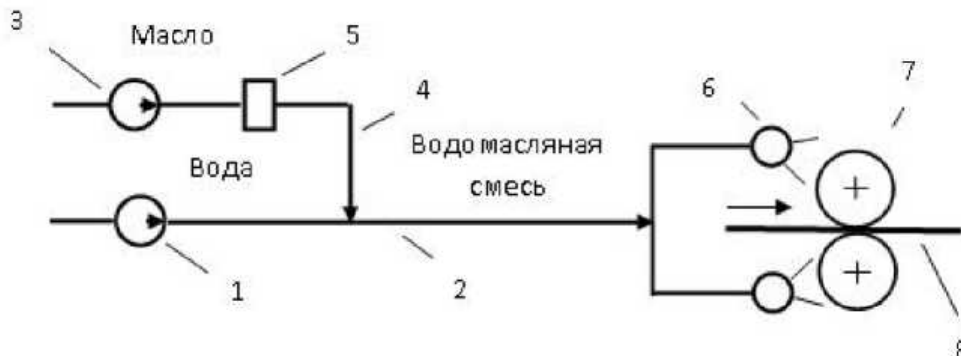
Вибір способу залежить від конкретних умов застосування: типу стана, температури прокатування, прокатуваного металу, швидкості прокатування.

Розглянемо вищеперелічені способи.

Введення мастила разом з рідиною, що охолоджує, через колектори охолодження.

За цим способом мастило вводиться в трубопровід системи охолодження безпосередньо перед колектором подачі води на прокатні валки. Така система достатньо проста, проте при її використанні існують певні труднощі із забезпеченням точного дозування мастила і утворенням рівномірної змащувальної плівки.

Розглянемо, як приклад, подачу мастила на валки сортового стана (рис. 2.6). На сортовому стані гарячого прокатування валки охолоджуються водою, що подається насосом по трубопроводу через колектори охолодження безпосередньо в калібри.



1 – насос подачі води, що охолоджує; 2 – трубопровід; 3 – насос подачі масла; 4 – трубопровід подачі масла; 5 – клапан; 6 – колектори охолодження; 7 – прокатні валки; 8 – розкат

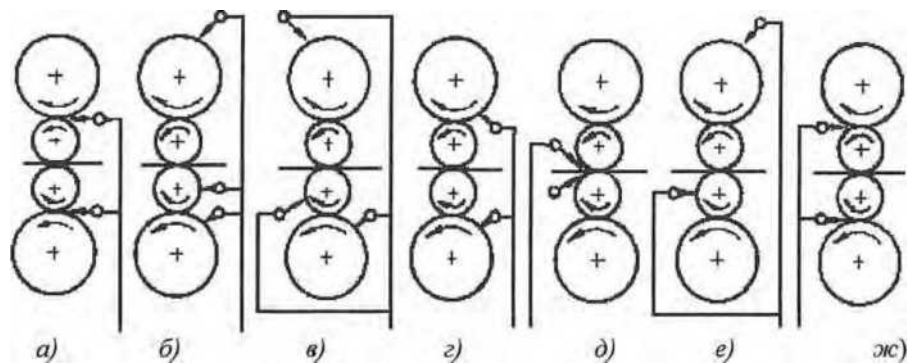
Рисунок 2.6 – Система технологічного мастила при приготуванні суміші в колекторах

Мастило у вигляді суміші мінерального масла з жировими присадками подають насосом по трубопроводу в магістраль подачі води, де вона, під впливом турбулентності, змішується з водою, і отримана водомасляна суміш з

колекторів поступає в калібри валків. За відсутності розкату в клітях подача мастила припиняється за рахунок спрацьовування клапана, наявність розкату у валках контролюється за допомогою спеціальних датчиків.

Розбризкування за допомогою форсунок.

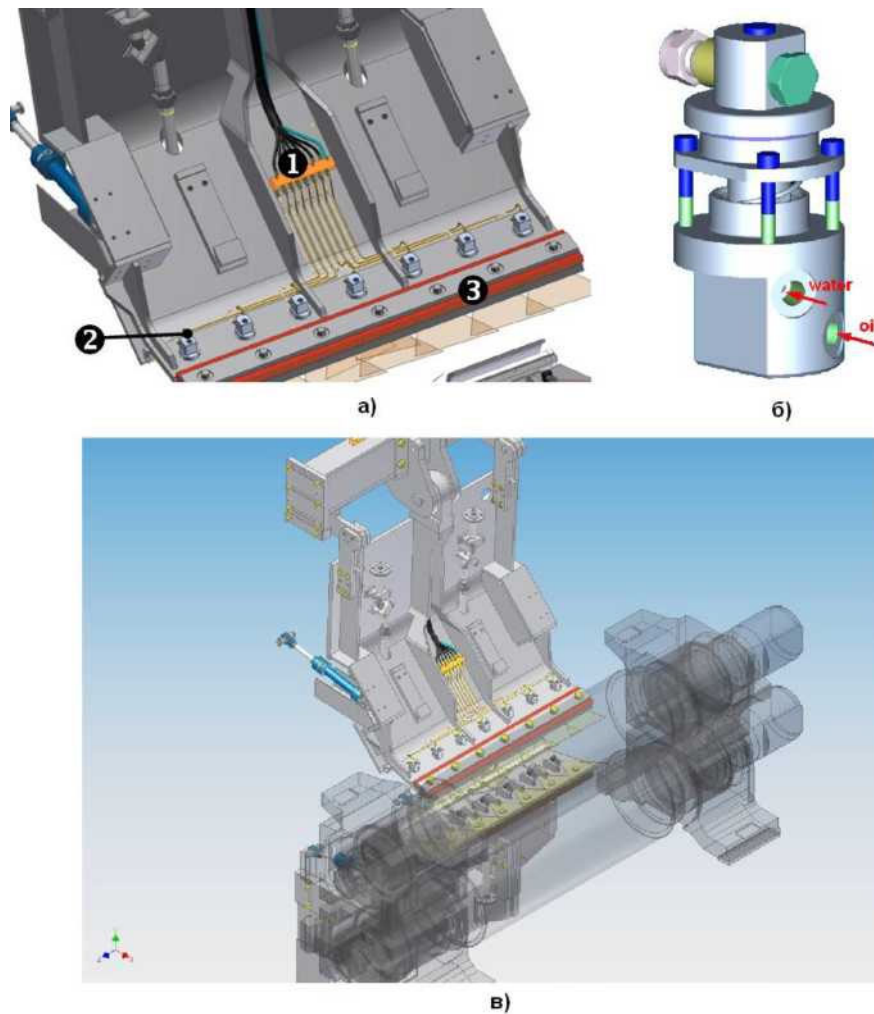
Для реалізації даного способу в просторі прокатної кліті необхідна установка форсунок для подачі змащуючої рідини на робочі валки. Схеми автономної подачі мастила на валки чотиривалкових клітей безперервних широкоштабових станів приведені на рис. 2.7. При використанні даного способу мастило заздалегідь готується в спеціальному баку, а потім подається на валки. У багатьох випадках передбачають подачу мастила на опорні валки, при цьому кількість форсунок для подачі мастила на нижні валки більше, ніж на верхніх [8].



а – стан 1725 в Піттсбурзі (США), б – стан в Равенськрейге (Англія), в – стан 1725 фірм «Шарон стил» (Англія), г – стан 1525 фірм «Шарон стил» (Англія), д – подача мастила в осередок деформації, е – комбінований спосіб подачі мастила (автономно на верхній опорний валок і спільно з водою, що охолоджує, на нижній робочий валок), ж – подача мастила при односторонньому охолодженні валків

Рисунок 2.7 – Схеми подачі технологічного мастила на валки [8]

На рис. 2.8 представлена система нанесення мастила на робочі валки фірми Siemens.



1 – трубопроводи води і мастила, 2 – форсунки, 3 – стрічка ущільнювача
Рисунок 2.8 – Пристрій для нанесення мастила на робочі валки (а),
 конструкція форсунок (б) і розташування пристрою в робочій кліті (в)

Основні форсунки для розбризкування мастила встановлюються з робочого боку валків, а з вихідного боку встановлюються форсунки для охолодження валків. Приготування водомасляної суміші проводиться безпосередньо в самій форсунці, а рівномірний розподіл суміші по поверхні валка забезпечується стрічкою ущільнювача.

Використання форсунок можливе і на сортових станах. В цьому випадку форсунки встановлюються так, щоб мастило відразу потрапляло безпосередньо в калібр (рис. 2.9).

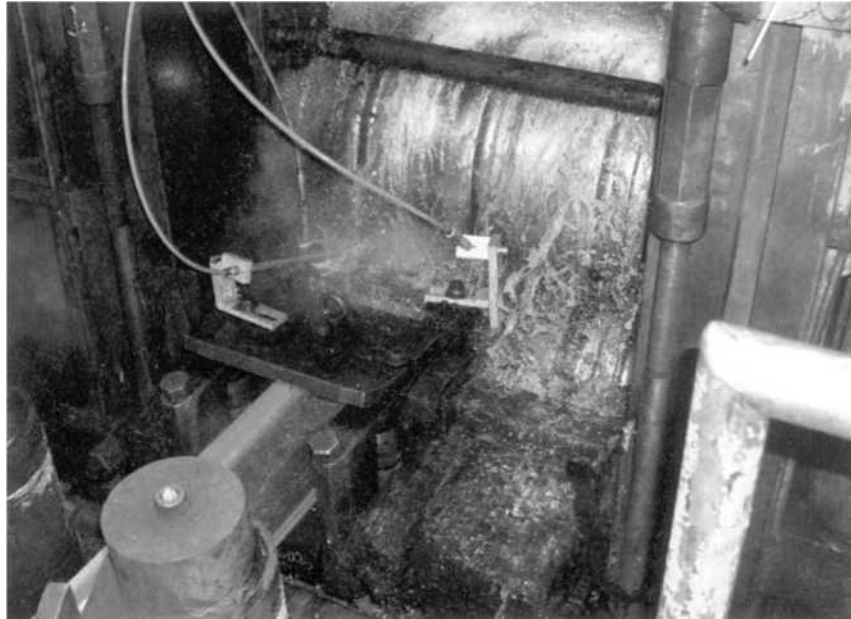


Рисунок 2.9 – Подача мастила в калібр кліті сортового стана

Нанесення мастила контактними пристроями.

За цим способом мастило наноситься за допомогою контактних пристроїв, які притискаються до валка. Контактуючий елемент, який є металевим або текстолітовим коробом, заповнений мастилом, по периметру забезпечують еластичним зносостійким матеріалом, який віджимає воду з валка і утримує мастило в пристрої. Також можливо нанесення мастила за допомогою пористого матеріалу, або шляхом притиснення брикетів. Спосіб дозволяє використовувати мастило, як в твердому, так і в пастоподібному або рідкому стані.

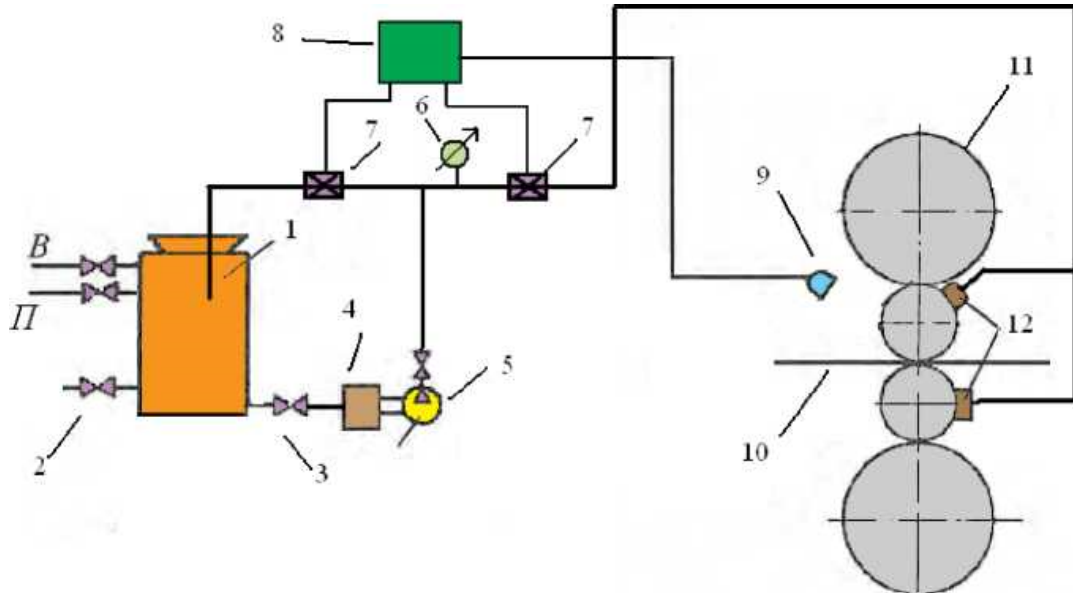
Система для нанесення мастила контактним способом включає 2 підсистеми:

1. підсистема зберігання і приготування мастила;
2. підсистема подачі мастила на валки робочої кліті.

Перша підсистема включає резервуари для зберігання концентрованого рідкого мастила, ємкості для приготування суміші необхідної концентрації і температури. Друга підсистема складається з насосів, фільтрів, запорної і регулюючої арматури, магістралей для транспортування мастила і пристроїв

для нанесення мастила на валки.

Схему пристрою для контактного нанесення мастила на валки чотиривалкової кліті ШСГП представлена на рис. 2.10.



1 – бак; 2 – зливний патрубок; 3 – запорний вентиль; 4 – фільтр; 5 – насос; 6 – манометр; 7 – клапан; 8 – блок управління; 9 – датчик наявності штаби в кліті; 10 – штаба; 11 – валки; 12 – контактний пристрій для нанесення мастила

Рисунок 2.10 – Система для подачі мастила на валки контактним способом

Контактним пристроєм є текстолітовий короб, який ущільнений по контуру войлоком і відкритою стороною притиснутий до валків. Водомасляна суміш (концентрація масла 6...8%) готується в баку ємкістю 9 м³ шляхом продування парою і повітрям протягом 20 хвилин. Суміш підігрівається до 50-60°C. Мастило подається тільки в той момент, коли штаба знаходиться в кліті, що контролюється датчиком. Система має два контури, перший використовується для перемішування суміші, другої для подачі суміші на валки.

Розпилювання мастила повітрям або паром.

Даний спосіб передбачає створення так званого масляного туману

усередині робочого простору прокатної кліті. Масло поступає у всмоктуючу камеру ежектора, де змішується з робочим середовищем і у вигляді масляного туману прямує до контактних пристроїв, де розпилюється по поверхні валків.

Не дивлячись на всі переваги з погляду ефективності нанесення мастила, даний спосіб має ряд істотних недоліків. По-перше, доводиться застосовувати достатньо складне обладнання і повністю ізолювати робочий простір кліті. По-друге, масляний туман створює небезпечні умови для здоров'я робітників стана.

2.6 Завдання розробки режимів деформації

Технологія прокатки гарячекатаної штаби 3,2 x 1400 зі сталі Ст1, рулон масою 16 т на стані ШСГП 1680. Сталь Ст1 містить: С - 0,06-0,12%, Si - 0,05-0,30%, Mn - 0,25-0,50%, Cr-0,3%, S - 0,05%, P-0,04%, N-0,01%.

Завданням розробки режимів деформації для якого-небудь прокатного стана є знаходження таких умов прокатки, які забезпечать максимальне виробництво стана (максимальні допустимі швидкості прокатки і величини обтиснення), висока якість поверхні листів (відсутність дефектів), висока якість поперечного і поздовжнього профілів штаби, висока якість форми (допустиме значення хвилястості і коробоватості), раціональні величини сил і потужності прокатки тощо.

Основним завданням прокатки в чорнових клітях ШСГП є видалення окалини з поверхні слябів і одержання необхідних розмірів підкату для чистової групи.

До раціонального режиму обтиснень у чорновій групі ШСГП пред'являються наступні вимоги:

- сумарне обтиснення в чорновій групі повинне бути максимальним з урахуванням збереження найбільш високої температури розкату;
- кут захвату, сила прокатки і потужність двигуна головного привода не повинні перевищувати припустимі величини;

- діапазон товщини підкату після чорнової групи для всього сортаменту стана повинен бути мінімальним, щоб спростити перенастроювання чистової групи клітей.

Кожна перебудова включає зміну розчину між валками на всіх або частини клітей, швидкості прокатки, а при зміні ширини - перебудову напрямних лінійок і моталок. Скорочення часу на перебудову чистової кліті стана може бути досягнуте за рахунок зменшення кількості товщини підкату. Вона становить 23-28 мм.

Необхідною умовою нормального процесу прокатки в чистовій неперервній групі є сталість минаючих за секунду обсягів металу по клітях. При рівності ширини розкату у всіх клітях умова сталості цих обсягів запишеться у вигляді [12 – 14]:

$$h_5 v_5 = h_6 v_6 = \dots h_n v_n ,$$

де h – товщина розкату;

v – швидкість виходу металу з валків.

Режим обтиснень у чистовій групі ШСГП буде раціональним, якщо продуктивність чистової групи буде максимальної при прокатці штаби даного типорозміру; штаба має високу точність геометричних розмірів і форми, мікроструктура, міцні властивості і якість поверхні задовольняють ДСТУ або ТУ; сила прокатки і потужність двигуна не перевищують припустимих величин;

Розподіл обтиснень і швидкостей прокатки по клітях забезпечують просте настроювання стана і перенастроювання чистової групи клітей в мінімально короткий час.

Продуктивність стана визначається при заданих розмірах сляба і листа, швидкістю прокатки в чистовій групі і паузами між їхнім завданням у чистову групу.

Розподіл обтиснень по клітях дозволяє у всіх клітях, крім двох останніх, зберігати постійної сили прокатки. У передостанній кліті величина сили прокатки становить 75% сили в попередніх клітях, а в останньої - 45%.

Зниження сили прокатки в останніх клітках дозволяє (регулюванням обтиснення) зменшити ПОР і ПРР і поліпшити форму листів. Крім того, регулювання обтиснення в останніх клітках у межах 12-20 % сприяє одержанню листів з необхідними механічними властивостями.

Потрібно розрахувати параметри злитка, що прокатується, і режими деформації при прокатці штаби перетином $3,2 \times 1400$ мм у рулон масою 16т.

Стан 1680 має у своєму складі: чорнову групу із чотирьох клітей і чистову групу із семи клітей. Перша кліть кварто з діаметром валків: $D_p=880$ мм і $D_{ст}=1245$ мм; діаметри опорних валків клітей 2-10 $D_{рп}= 1170$ мм. Діаметр валків 2 кліті $D_p= 780$ мм, 3 кліті – $D_p= 580$ мм, 4-11 клітей – $D_p= 580$ мм.

Вертикальні кліті мають валки діаметром: кліть №1 і 2 – $D_v= 760$ мм, кліть №3 – $D_v= 570$ мм.

Робочі валки клітей 1, 2 виготовлені з кутої сталі 9×90, робочі валки 3-12 клітей - чавунні з вибіленим шаром 58-68 HSD (чорнова група); 68-65 HSD - у чистовій групі. Опорні валки всіх клітей виготовлені з кутої сталі 9×90.

2.7 Розрахунок параметрів злитка

Приймаємо максимальну товщину підкату для клітей чистової групи [14]:

$$h_k = 20 \text{ мм.}$$

Уважаємо, що раз у завданні заданий метод прямої прокатки, то за існуючими технологічними схемами ширину сляба приймаємо рівної 1400 мм.

Товщину сляба визначимо за залежністю:

$$h_{сл} = \frac{h_k}{1 - E_{\Sigma}} \quad (2.1)$$

де h_k – мм-товщина підкату після чорнової групи;

$E_{\Sigma} = 0,9$ -сумарне відносне обтиснення в частках одиниці [14];

$$h_{сл} = \frac{20}{1 - 0.9}$$

тоді знаючи масу одержуваного рулону знаходимо масу сляба:

$$G_{cl} = m_p \cdot k_{pm} = 16 \cdot 1,08 = 17,3 \text{ т};$$

де $m_p = 16 \text{ т}$ – маса рулону;

$k_{pm} = 1,08$ – видатковий коефіцієнт [12];

У такий спосіб довжина сляба $L = 7,9 \text{ м}$, тобто злиток має наступні параметри:

$$200 \cdot 1400 \cdot 7900 \text{ мм.}$$

2.8 Розрахунок режимів обтиснень в чорновій групі клітей

Максимальна товщина підкату для клітей чорнової групи $h = 19\text{-}20 \text{ мм}$.

Сумарне висотне обтиснення складе $\Delta h_{\Sigma} = 200 - 3,2 = 197,8 \text{ мм}$.

Сумарне обтиснення в чистовій групі складе $\Delta h_{\Sigma} = 20 - 3,2 = 16,8 \text{ мм}$.

Сумарне обтиснення в чорновій групі складе $\Delta h_{\Sigma} = 200 - 20 = 180 \text{ мм}$.

Коефіцієнт тертя при захвату металу валками визначається по формулі [13].

$$F = 1,05 - 0,0005t - 0,056V; \quad (2.2)$$

де t – температура розкату в кліті, $^{\circ}\text{C}$

V – швидкість прокатки в кліті, м/с

Температурний інтервал прокатки в клітях чорнової групи відповідно до технологічної інструкції [13]:

$$1060 \leq t \leq 1120 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температуру розкату в кожній кліті беремо приблизно. Кліть "ДУО" (чорновий окалинозламувач): $t = 1120^{\circ}\text{C}$

при $V_{fl} = 0,63 \text{ м/с}$

$$f_0 = 1,05 - 0,0005 \cdot 1120 - 0,056 \cdot 0,63 = 0,453$$

Кліть № 1: $t = 1100^{\circ}\text{C}$ при $V_1 = 1,02 \text{ м/с}$

$$f_1 = 1,05 - 0,0005 \cdot 1100 - 0,056 \cdot 1,02 = 0,442$$

Кліть № 2: $t = 1090^{\circ}\text{C}$ при $V_2 = 1,09 \text{ м/с}$

$$f_2 = 1,05 - 0,0005 \cdot 1090 - 0,056 \cdot 1,09 = 0,443$$

Кліть № 3: $t = 1070^{\circ}\text{C}$ при $V_3 = 1,99 \text{ м/с}$

$$f_3 = 1,05 - 0,0005 \cdot 1070 - 0,056 \cdot 1,99 = 0,403$$

Кліть № 4: $t=1060^\circ\text{C}$ при $V = 3,48$ м/с

$$f_4 = 1,05 - 0,0005 \cdot 1060 - 0,056 \cdot 3,48 = 0,328$$

Умова захвату металу валками $\text{tg } \alpha \leq f$,

де α - кут захвату металу валками в радіанах.

Максимальний кут захвату визначимо по формулі:

$$\alpha_{\max} = \text{arctg } f ; \quad (2.3)$$

$$\alpha_{\max \text{ } \varnothing} = \text{arctg } 0,453 = 24,27^0 ; \quad \alpha_{\max \text{ } 1} = \text{arctg } 0,442 = 23,60^0$$

$$\alpha_{\max \text{ } 2} = \text{arctg } 0,443 = 23,79^0 ; \quad \alpha_{\max \text{ } 3} = \text{arctg } 0,403 = 23,07^0$$

$$\alpha_{\max \text{ } 4} = \text{arctg } 0,328 = 18,15^0$$

Величину максимально припустимих обтиснень по куті захвату.

Визначимо по формулі:

$$\Delta h_{\max} \leq \alpha^2 \cdot R_{p \text{ } \min} \quad (2.4)$$

де $R_{p \text{ } \min}$ - мінімальний робочий радіус валків, мм.

Відповідно до технологічної інструкції [11]:

$$R_{p \text{ } \min \text{ } \varnothing} = 810/2=405 \text{ мм}; \quad R_{p \text{ } \min \text{ } 1} = 880/2=440 \text{ мм};$$

$$R_{p \text{ } \min \text{ } 2} = 780/2=390 \text{ мм}; \quad R_{p \text{ } \min \text{ } 3} = 580/2=290 \text{ мм};$$

$$R_{p \text{ } \min \text{ } 4} = 580/2=290 \text{ мм}.$$

Отже величини максимально припустимих обтиснень по куті захвату будуть наступні:

$$\Delta h_{\max \text{ } \varnothing} = (0,453)^2 \cdot 405 = 83,10 \text{ мм}; \quad \Delta h_{\max \text{ } 1} = (0,442)^2 \cdot 440 = 85,96 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\max \text{ } 2} = (0,443)^2 \cdot 390 = 76,53 \text{ мм}; \quad \Delta h_{\max \text{ } 3} = (0,403)^2 \cdot 290 = 47,09 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\max \text{ } 4} = (0,328)^2 \cdot 290 = 31,19 \text{ мм}.$$

Розрахункові величини обтиснень по кожній із клітей згідно припустимих відносних обтиснень у клітях чорнової групи [11] наступні:

$$\Delta h_{p \text{ } \max \text{ } \varnothing} = \Delta h_{\sum \text{ черн}} \cdot E_{\varnothing} = 180 \cdot 0,19 = 35 \text{ мм}; \quad \Delta h_{p \text{ } \max \text{ } 1} = \Delta h_{\sum \text{ черн}} \cdot E_1 = 180 \cdot 0,35 = 63 \text{ мм}$$

$$\Delta h_{p \text{ } \max \text{ } 2} = \Delta h_{\sum \text{ черн}} \cdot E_2 = 180 \cdot 0,19 = 35 \text{ мм}; \quad \Delta h_{p \text{ } \max \text{ } 3} = \Delta h_{\sum \text{ черн}} \cdot E_3 = 180 \cdot 0,18 = 36 \text{ мм}.$$

Оптимальне обтиснення в чорновому окалинозламувачі 5–20 %. При менших обтисненнях шар окалини погано зламується, а при більших вдавлюється в поверхню сляба .

Нехай приймемо $E_{\delta} = 19\%$

$$\Delta h_{\delta} = \Delta h_{\Sigma \text{ черн}} \cdot E_{\delta} = 180 \cdot 0,19 = 35 \text{ мм, приймаємо } \Delta h_{\delta} = 35 \text{ мм} < h_{\text{max } \delta}$$

нехай приймемо $E_1 = 35\%$

$$\Delta h_1 = \Delta h_{\Sigma \text{ черн}} \cdot E_1 = 180 \cdot 0,35 = 63 \text{ мм, приймаємо } \Delta h_1 = 63 \text{ мм} < h_{\text{max } 1}$$

нехай приймемо $E_2 = 19\%$

$$\Delta h_2 = \Delta h_{\Sigma \text{ черн}} \cdot E_2 = 180 \cdot 0,19 = 35 \text{ мм, приймаємо } \Delta h_2 = 35 \text{ мм} < h_{\text{max } 2}$$

нехай приймемо $E_3 = 18\%$

$$\Delta h_3 = \Delta h_{\Sigma \text{ черн}} \cdot E_3 = 180 \cdot 0,18 = 32 \text{ мм, приймаємо } \Delta h_3 = 36 \text{ мм} < h_{\text{max } 3}$$

Тоді $\Delta h_4 = \Delta h_{\Sigma \text{ черн}} - \Delta h_{\delta} - \Delta h_1 - \Delta h_2 - \Delta h_3 = 180 - 35 - 63 - 35 - 32 = 15 \text{ мм}$

$$E_4 = \frac{\Delta h_4}{\Delta h_{\Sigma \text{ черн}}} \cdot 100 = 10\%$$

Звідси

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.8.

Відповідно до зробленої модернізації стана чорнову групу ділимо на дві неперервні підгрупи, у першу входять кліті "ДУО" і кліть № 1, у другу - кліті № 2, 3, 4.

Таблиця 2.8 – Обтиснення чорнової групи клітей

Кліть	Розрахункове обтиснення, мм	Максимально припустиме обтиснення по куту захвату, мм
ДУО	35	83,10
1	63	85,96
2	35	76,53
3	32	47,09
4	15	31,19

З рівності сталості секундного обсягу й з обліком того, що в неперервній групі клітей $b_1h_1 = b_2h_2$, отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження. Знаючи, що швидкості прокатки в клітях безперервної групи жорстко зв'язані умовою сталості секундних обсягів і з огляду на той фактор, що ширина штаби у всіх клітях практично однакова, то рівність можна записати:

$$v_1h_1 = v_2h_2;$$

Таким чином, якщо швидкість і товщина штаби в останній кліті задані, то швидкість прокатки в інших клітях визначається з вираження:

$$V_j = \frac{h_{j-1} \cdot v_{j-1}}{h_j} \quad (2.5);$$

де: h_{j-1} - товщина штаби на виході із кліті;

V_{j-1} - швидкість на виході із кліті;

h_j - товщина штаби на вході в кліть.

Тому що оберти "ДУО" підбудовуємо під оберти кліті № 1, спочатку визначаємо швидкість у кліті № 1.

Швидкість прокатки в кліті № 1 буде дорівнює :

$$V_1 = \frac{\pi \cdot R_1 \cdot n_1}{30} \quad (2.6)$$

де R_1 - радіус робочого валка, м

n_1 - число обертів валка, об/хв

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 0,440 \cdot 22,2}{30} = 1,02 \text{ м/с}; \quad V_0 = \frac{h_1 \cdot V_1}{h_0} = \frac{102 \cdot 1,02}{165} = 0,63 \text{ м/с}$$

Визначаємо швидкості прокатки для другої безперервної підгрупи чорнової групи клітей.

Тому що ми підбудовуємо оберти під кліть № 2, тобто спочатку визначаємо швидкість прокатки для другої кліті.

$$V_0 = \frac{\pi \cdot R_2 \cdot n_2}{30};$$

де R_2 - радіус робочого валка, м

n_2 - число обертів валка

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 0,39 \cdot 25,5}{30} = 1,04 \text{ м/с}; \quad V_3 = \frac{h_2 \cdot V_2}{h_3} = \frac{67 \cdot 1,04}{35} = 1,99 \text{ м/с};$$

$$V_4 = \frac{h_3 \cdot V_3}{h_4} = \frac{35 \cdot 1,99}{20} = 3,48 \text{ м/с}.$$

Певну в такий спосіб швидкість необхідно скорегувати на величину випередження. Швидкість виходу штаби визначають по формулі:

$$V = V_0(1 + S), \quad (2.7)$$

де V_0 - швидкість отримана без обліку випередження, м/с

S - випередження

Відповідно до запропонованої Екелундом формули [9]

$$S = \frac{\gamma^2}{2} \left(\frac{d}{h} - 1 \right); \quad (2.8)$$

де d - діаметр валків, м

γ - нейтральний кут, радий

h - товщина штаби на виході з валків, м

Нейтральний кут визначимо по залежності:

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{2} - \frac{1 - \cos \alpha}{2f}; \quad (2.9)$$

де f - коефіцієнт тертя;

α - кут захвату, радіани.

Кут захвату визначається по формулі:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}; \quad (2.10)$$

де Δh - абсолютне обтиснення

R - радіус валка, мм.

Для першої підгрупи визначаємо швидкість із урахуванням випередження для кліті "ДУО".

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{\Delta h_0}{R_0}} = \sqrt{\frac{35}{405}} = 0,293 \text{ радian};$$

$$\sin \gamma_0 = \frac{\sin 0,293}{2} - \frac{1 - \cos 0,293}{2 \cdot 0,453} = 0,0025$$

$$S_{\delta} = \frac{0,15^2}{2} \left(\frac{0,810}{0,165} - 1 \right) = 0,04$$

Швидкість виходу металу з валків з урахуванням випередження:

$$V_t = 0,63 \cdot (1 + 0,04) = 0,65 \text{ м/с}$$

Для другої підгрупи визначаємо випередження для кліті № 3, 4

Кут захвату для клітей № 3, 4:

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}} = \sqrt{\frac{35}{290}} = 0,347 \text{ радіан.}$$

Розраховуємо приблизну довжину розкату після виходу з кожної кліті чорнової групи:

Розміри сляба: $H = 0,2 \text{ м}$, $B = 1,4 \text{ м}$, $L = 7,9 \text{ м}$.

$$V_{\text{сляба}} = H \cdot B \cdot L = 0,2 \cdot 1,4 \cdot 7,9 = 2,21 \text{ м}^3.$$

2.9 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чорновій групі клітей

Визначаємо середню товщину підкату:

$$h_{cp} = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}; \quad (2.11)$$

де h_i - товщина підкату на вході в кліть, мм

h_{i+1} - товщина підкату на виході із кліті, мм

$$h_{cp0} = \frac{200 + 165}{2} = 183 \text{ мм}; \quad h_{cp1} = \frac{165 + 102}{2} = 134 \text{ мм};$$

$$h_{cp2} = \frac{102 + 67}{2} = 85 \text{ мм}; \quad h_{cp3} = \frac{67 + 35}{2} = 51 \text{ мм};$$

$$h_{cp4} = \frac{35 + 20}{2} = 28 \text{ мм.}$$

Довжину дуги захвату згідно [9] визначимо по формулі:

$$l = \sqrt{R \Delta h}; \quad (2.12)$$

$$l_0 = \sqrt{405 \cdot 35} = 119,05 \text{ мм}; \quad l_1 = \sqrt{440 \cdot 63} = 166,5 \text{ мм};$$

$$l_2 = \sqrt{390 \cdot 35} = 116,83 \text{ мм}; \quad l_3 = \sqrt{290 \cdot 32} = 96,33 \text{ мм};$$

$$l_4 = \sqrt{290 \cdot 15} = 65,95 \text{ мм.}$$

Визначаємо відношення довжини дуги захвату до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_0}{h_{cp0}} = \frac{119,05}{183} = 0,65; \quad \frac{l_1}{h_{cp1}} = \frac{166,5}{134} = 1,24;$$

$$\frac{l_2}{h_{cp2}} = \frac{116,83}{835} = 1,37; \quad \frac{l_3}{h_{cp3}} = \frac{96,33}{51} = 1,88;$$

$$\frac{l_4}{h_{cp4}} = \frac{65,95}{28} = 2,35.$$

Відносне обтиснення по клітках:

$$E_i = \frac{\Delta h_i}{h_i} \cdot 100\% ; \quad (2.13)$$

$$E_0 = \frac{35}{165} \cdot 100\% = 21,2\% ; \quad E_1 = \frac{63}{102} \cdot 100\% = 61,7\% ;$$

$$E_2 = \frac{35}{67} \cdot 100\% = 52,2\% ; \quad E_3 = \frac{32}{35} \cdot 100\% = 91,4\% ;$$

$$E_4 = \frac{15}{20} \cdot 100\% = 75\% .$$

Згідно даним Целікова [11] для визначення середнього контактного тиску використовуються наступні формули.

Для кліті "ДУО" при $\frac{l}{h_{cp}} = 0,57$

$$P_{cp} = 1,15\sigma_T \left(1 + \frac{l_0}{6h_{cp0}} \right) \left(\frac{l_0}{h_{cp0}} \right)^{0,4} ; \quad (2.14)$$

де σ_T - границя текучості металу, що прокатується, відповідним реальним умовам обробки.

Згідно [9]:

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_E \cdot k_u ; \quad (2.15)$$

де σ_0 - базисний опір деформації,

k_t, k_E, k_u - термомеханічні коефіцієнти відповідно враховуючу температуру, ступінь і швидкість деформації.

Базисне значення σ_0 й коефіцієнтів k_t, k_E, k_u наведені в літературі [12].

Для сталі Ст. 1 $\sigma_0 = 85$ МПа

При $t = 1120^\circ\text{C}$ $\kappa_t = 0,62$

$E = 21,2\%$ $\kappa_E = 1,25$

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда [13]:

$$U_{cp0} = \frac{V_\delta \cdot \alpha_\delta}{l_\delta}; \quad (2.16)$$

$$U_{cp0} = \frac{0,65 \cdot 0,293}{0,119} = 1,6 \text{ c}^{-1}; \quad \kappa_u = 0,84$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,62 \cdot 1,25 \cdot 0,84 = 55,33 \text{ МПа}$$

$$P_{cp} = 1,15 \cdot 55,33 \left(1 + \frac{119,05}{6 \cdot 183} \right) \left(\frac{119,05}{183} \right)^{0,4} = 59,22 \text{ МПа}$$

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі:

$$P = P_{cp} \cdot B \cdot l_\delta; \quad (2.17)$$

де B - ширина матеріалу, що прокатується, м

$$P_\delta = 59,22 \cdot 1,4 \cdot 0,11905 = 9,87 \text{ МН}$$

Для кліті № 1 при $\frac{l_1}{h_{cp1}} = 1,24$

$$P_{cp} = 1,15 \alpha_T \left(1 + \frac{l}{6h_{cp}} \right); \quad (2.18)$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot \kappa_t \cdot \kappa_E \cdot \kappa_u; \quad (2.19)$$

При $t = 1100^\circ\text{C}$ $\kappa_t = 0,65$; $E = 61,7\%$ $\kappa_E = 1,24$

$$U_{cp1} = \frac{V_1 \cdot \alpha_1}{l_1}; \quad \alpha = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{63}{440}} = 0,369 \text{ радіан}$$

$$U_{cp0} = \frac{1,02 \cdot 0,369}{0,1665} = 2,31 \text{ c}^{-1} \quad \kappa_u = 0,86; \quad \sigma_T = 85 \cdot 0,65 \cdot 1,24 \cdot 0,86 = 58,91 \text{ МПа};$$

$$P_{cp1} = 1,15 \cdot 58,91 \left(1 + \frac{166,5}{6 \cdot 134} \right) = 81,77 \text{ МПа}; \quad P_l = 81,77 \cdot 1,4 \cdot 0,1665 = 19,06 \text{ МН.}$$

Для кліті №2 при $\frac{l_2}{h_{cp2}} = 1,37$

$$P_{cp} = 1,15\alpha_T \left(1 + \frac{l}{6h_{cp}} \right); \quad (2.20)$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_l \cdot k_E \cdot k_u; \quad (2.21)$$

При $t = 1090^0\text{C}$ $\kappa_l=0,7$; $E=52,2\%$ $\kappa_E=1,22$

$$U_{cp2} = \frac{V_2 \cdot \alpha_2}{l_2}; \quad (2.22)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{35}{390}} = 0,3 \text{ рад}; \quad U_{cp2} = \frac{1,04 \cdot 0,3}{0,11683} = 2,67 c^{-1} \quad \kappa_u = 0,9;$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,7 \cdot 1,22 \cdot 0,9 = 65,33 \text{ МПа}; \quad P_{c2p} = 1,15 \cdot 65,33 \left(1 + \frac{116,83}{6 \cdot 85} \right) = 92,33 \text{ МПа};$$

$$P_2 = 92,33 \cdot 1,4 \cdot 0,11683 = 15,09 \text{ МН.}$$

Для кліті №3 при $\frac{l_3}{h_{cp3}} = 1,88$

$$P_{cp} = 1,15\alpha_T \left(1 + \frac{l}{6h_{cp}} \right); \quad (2.23)$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_l \cdot k_E \cdot k_u; \quad (2.24)$$

При $t = 1070^0\text{C}$ $\kappa_l=0,75$; $E=91,4\%$ $\kappa_E=1,21$

$$U_{cp3} = \frac{V_3 \cdot \alpha_3}{l_3}; \quad (2.25)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}} = \sqrt{\frac{35}{385}} = 0,299 \text{ рад}; \quad U_{cp3} = \frac{1,99 \cdot 0,299}{0,09633} = 6,17 c^{-1} \quad \kappa_u = 0,95$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,75 \cdot 1,21 \cdot 0,95 = 73,28 \text{ МПа}; \quad P_{cp3} = 1,15 \cdot 73,28 \left(1 + \frac{96,33}{6 \cdot 51} \right) = 110,73 \text{ МПа}$$

$$P_3 = 110,73 \cdot 1,4 \cdot 0,09633 = 14,88 \text{ МН.}$$

Для кліті №4 при $\frac{l_4}{h_{cp4}} = 2,35$. Розрахунок середнього контактного

тиску виконуємо по формулі Бровмана [14] тому що $\frac{l}{h_{cp}} > 2$

$$P_{cp} = 1,15 \cdot \sigma_T \left(0,75 + \frac{0,25}{h_{cp}} \right); \quad (2.26)$$

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_l \cdot k_E \cdot k_u; \quad (2.27)$$

При $t = 1060^0\text{C}$ $\kappa_l=0,81$; $E=75\%$ $\kappa_E=1,20$

$$U_{cp4} = \frac{V_4 \cdot \alpha_4}{l_4}; \quad (2.28)$$

$$\alpha_4 = 0,288 \text{ рад}; U_{cp4} = \frac{3,48 \cdot 0,288}{0,0659} = 15,2 \text{ с}^{-1} \quad \kappa_u = 1,09;$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,81 \cdot 1,20 \cdot 1,09 = 90,05 \text{ МПа};$$

$$P_{cp4} = 1,15 \cdot 90,05(0,75 + 0,25 \cdot 2,35) = 110,71 \text{ МПа};$$

$$P_4 = 110,71 \cdot 1,4 \cdot 0,0659 = 10,21 \text{ МН}.$$

Згідно довідковим даним [11] значення напруг, що допускають, наступні:

ДУО - матеріал валків 50ХН $[\sigma]_3 = 150 \text{ МПа}$;

Кліть № 1 - матеріал валків 9ХФ $[\sigma]_3 = 160 \text{ МПа}$;

Кліть № 2 - матеріал валків 9ХФ $[\sigma]_3 = 160 \text{ МПа}$;

Кліть № 3 - матеріал валків високолегований чавун $[\sigma]_3 = 90 \text{ МПа}$;

Кліть № 4 - матеріал валків високолегований чавун $[\sigma]_3 = 90 \text{ МПа}$.

Допускні зусилля прокатки для двовалкової кліті згідно [12] розраховуємо по формулі:

$$[P] = \frac{0,8d^3 \cdot [\sigma]_{uz}}{2a - b}; \quad (2.29)$$

де d - діаметр валка, м;

a - відстань між осями натискних гвинтів, м;

b - ширина прокатої штаби, м.

$$[P] = \frac{0,8 \cdot 0,81^3 \cdot 150}{2 \cdot 2,7 - 1,4} = 15,94 \text{ МН}$$

$$P_0 < [P]$$

Для чотиривалкової кліті допускне зусилля прокатки визначаємо:

1. З умови міцності бочки опорних валків:

$$[P] = \frac{0,8d_{on}^3 \cdot [\sigma]_{uz}}{2a - L_{\sigma.on}}; \quad (2.30)$$

де: $L_{\sigma.on}$ - довжина бочки опорного валка, м;

d_{on} - діаметр бочки опорного валка, м.

Для сталевих валків 9ХФ:

$$[P] = \frac{0,8 \cdot 1,17^3 \cdot 160}{2 \cdot 2,7 - 1,68} = 55,1 \text{ МН.}$$

2. З умови міцності шейки опорного валка:

$$[P] = \frac{0,4 d_{u.on}^3 \cdot [\sigma]_{uz}}{L_{u.on}} ; \quad (2.31)$$

де: $d_{u.on}$ і $L_{u.on}$ - відповідно діаметр і довжина шейки опорного валка

$$[P] = \frac{0,4 \cdot 0,65^3 \cdot 160}{0,75} = 23,4 \text{ МН}$$

$$P < [P].$$

2.10 Розрахунок крутних моментів прокатки в чорновій групі клітей

Крутний момент, створюваний силоміць P дорівнює:

$$M_{np} = P a \quad (2.32)$$

де a - плече рівнодіючої сили P щодо центра валка (рис. 2.11).

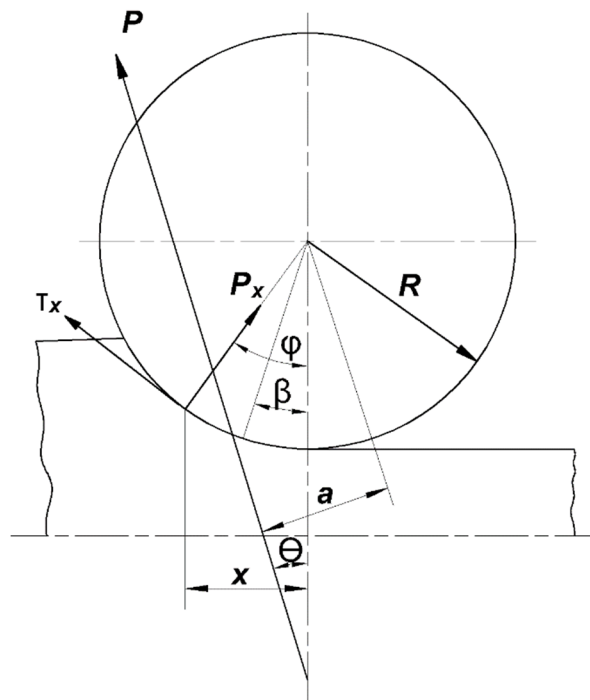


Рисунок 2.11 – Схема дії сил на валок при прокатуванні

Плече «а» прийняте визначати як деяку частину довжини осередку деформації:

$$a = \varphi \cdot l ; \quad (2.33)$$

де φ - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки

У такий спосіб:

$$M_{np} = P ; \varphi \cdot l \quad (2.34)$$

Згідно експериментальним даним Клименко [13]:

$$\text{Для кліті "ДУО" при } \frac{l_{\delta}}{h_{cp.\delta}} = 0,65 \quad \varphi = 0,47$$

$$\text{Для кліті № 1 при } \frac{l_1}{h_{cp.1}} = 1,24 \quad \varphi = 0,55$$

$$\text{Для кліті № 2 при } \frac{l_2}{h_{cp.2}} = 1,37 \quad \varphi = 0,56$$

$$\text{Для кліті № 3 при } \frac{l_3}{h_{cp.3}} = 1,88 \quad \varphi = 0,60$$

$$\text{Для кліті № 4 при } \frac{l_4}{h_{cp.4}} = 2,35 \quad \varphi = 0,70.$$

Відповідно до вище наведеного:

$$M_{np\delta} = 9,87 \cdot 0,47 \cdot 0,11905 = 0,55 \text{ МН}\cdot\text{м}; \quad M_{np1} = 19,06 \cdot 0,55 \cdot 0,1665 = 1,74 \text{ МН}\cdot\text{м};$$

$$M_{np2} = 15,09 \cdot 0,56 \cdot 0,11683 = 0,98 \text{ МН}\cdot\text{м}; \quad M_{np3} = 14,88 \cdot 0,6 \cdot 0,09633 = 0,86 \text{ МН}\cdot\text{м};$$

$$M_{np4} = 10,21 \cdot 0,7 \cdot 0,06595 = 0,47 \text{ МН}\cdot\text{м}.$$

Припустимий крутний момент визначаємо по формулі:

$$[M_{np}] = 2 \cdot [P] \cdot \varphi \cdot I$$

$$\text{Для кліті "ДУО" } [M_{np}] = 2 \cdot 15,94 \cdot 0,47 \cdot 0,11905 = 1,78 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$\text{Для кліті № 1 } [M_{np}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,55 \cdot 0,1665 = 4,28 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$\text{Для кліті № 2 } [M_{np}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,56 \cdot 0,11683 = 3,06 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$\text{Для кліті № 3 } [M_{np}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,6 \cdot 0,09633 = 2,7 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$\text{Для кліті № 4 } [M_{np}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,7 \cdot 0,06595 = 2,16 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

$$M_{np} < [M_{np}]$$

2.11 Температурний режим прокатки в чорновій групі клітей

Для розрахунку температурного режиму прокатки товстих смуг і аркушів можна обмежитися обліком втрат тепла тільки випромінюванням або

випромінюванням і конвекцією. Розрахунок спаду температури прокатки в чорнових клітях виконаємо використовуючи рівняння [13].

$$\Delta t = 0.0021 \left(T_0 + \frac{273}{100} \right)^4 \tau / h_i ; \quad (2.35)$$

де T_0 - температура початку охолодження, до

τ - час охолодження, с

h - товщина штаби, мм

Час знаходження розкату в кліті визначимо легко, по його довжині після виходу із кліті і швидкості прокатки:

$$\tau = \frac{L}{V} ; \quad (2.36)$$

$$\tau_0 = \frac{L_0}{V_0} = \frac{9,1}{0,63} = 14,4c ; \tau_1 = \frac{L_1}{V_1} = \frac{14}{1,02} = 13,72c ; \tau_2 = \frac{L_2}{V_2} = \frac{20}{1,04} = 18,34c ;$$

$$\tau_3 = \frac{L_3}{V_3} = \frac{28,8}{1,99} = 14,47c ; \tau_4 = \frac{L_4}{V_4} = \frac{78,9}{3,48} = 22,67c .$$

$$\text{Отже: } \Delta t_0 = 0,0021 \left(1120 + \frac{273}{100} \right)^4 \frac{14,4}{165} = 7,86^0 C ;$$

$$\Delta t_1 = 0,0021 \left(1120 + \frac{273}{100} \right)^4 \frac{13,72}{102} = 12,1^0 C ; \Delta t_2 = 0,0021 \left(1120 + \frac{273}{100} \right)^4 \frac{18,34}{67} = 23,2^0 C ;$$

$$\Delta t_3 = 0,0021 \left(1120 + \frac{273}{100} \right)^4 \frac{14,4}{35} = 44,4^0 C ; \Delta t_4 = 0,0021 \left(1120 + \frac{273}{100} \right)^4 \frac{22,67}{20} = 86,2^0 C .$$

Величина обтиснень у вертикальних валках універсальних клітей вибирається такий, щоб ліквідувати розширення, отримані при прокатці в горизонтальних валках. Результати розрахунків зводимо в табл. 2.9.

2.12 Розрахунок режимів обтиснень при прокатуванні в чистовій групі клітей ШСГП 1680

Температура підкату перед входом у чистову групу становить $t = 1070^{\circ}C$.

Температура кінця прокатки $t_k = 950^{\circ}C$.

При розробці режимів обтиснень у клітях чистової групи використаємо формулу, виведену з умови рівномірного завантаження клітей № 4, 5 і зменшень завантаження двигунів в останніх клітях (табл. 2.10).

$$h_i = \frac{h_n \cdot h_k}{\left(v_i \cdot h_n^m + (1-v_i)h_k^m\right)^{\frac{1}{m}}}; \quad (2.37)$$

де h_i - товщина штаби на виході з i -ої кліті, мм

h_n - товщина підкату перед чистовою групою, мм

h_k - кінцева товщина штаби, мм

v_i - коефіцієнт завантаження клітей

m - коефіцієнт, що розраховує по емпіричній формулі:

$$m = 0,3 + \frac{0,21}{h_k} = 0,3 + \frac{0,21}{3,2} = 0,36.$$

Коефіцієнт v_i вибираємо виходячи з умови, що потужність N , що витрачає на прокатку в перших чотирьох клітях однакова, а в інших двох становить 0,75N і 0,68N:

$$v_5 = 0,149 \quad v_7 = 0,555 \quad v_9 = 0,874; \quad v_6 = 0,331 \quad v_8 = 0,736 \quad v_{10} = 1.$$

Отже:

$$h_5 = \frac{20 \cdot 3,2}{\left(0,149 \cdot 20^{0,36} + (1-0,149) \cdot 3,2^{0,36}\right)^{\frac{1}{0,36}}} = 13,94 \text{ мм};$$

$$h_6 = \frac{20 \cdot 3,2}{\left(0,331 \cdot 20^{0,36} + (1-0,331) \cdot 3,2^{0,36}\right)^{\frac{1}{0,36}}} = 10,03 \text{ мм};$$

$$h_7 = \frac{20 \cdot 3,2}{\left(0,552 \cdot 20^{0,36} + (1-0,552) \cdot 3,2^{0,36}\right)^{\frac{1}{0,36}}} = 6,75 \text{ мм};$$

$$h_8 = \frac{20 \cdot 3,2}{\left(0,736 \cdot 20^{0,36} + (1-0,736) \cdot 3,2^{0,36}\right)^{\frac{1}{0,36}}} = 4,69 \text{ мм};$$

$$h_9 = \frac{20 \cdot 3,2}{\left(0,874 \cdot 20^{0,36} + (1-0,874) \cdot 3,2^{0,36}\right)^{\frac{1}{0,36}}} = 3,84 \text{ мм};$$

$$h_{10} = \frac{20 \cdot 3,2}{\left(1 \cdot 20^{0,36} + (1-1) \cdot 3,2^{0,36}\right)^{\frac{1}{0,36}}} = 3,2 \text{ мм}.$$

Абсолютне обтиснення по клітях визначимо по формулі:

$$\Delta h_i = h_0 - h_i \quad (2.38)$$

де h_0 - товщина підкату на вході в кліть, мм;

h_i - товщина підкату на виході з i -ої кліті, мм;

Таблиця 2.9 - Режим деформацій у клітках чорнової групи ШСГП 1680

№ кліті	Температура прокатки, °С	Швидкість прокатки, м/с	Кут захвату, рад	Абсолютне обтиснення мм	Відносне обтиснення %	Довжина розкату, м	Довжина осередку деформації, мм	Середній питомий тиск, МПа	Повний тиск металу на валки, МН	Крутний момент на один валок, МН·м
Дуо	1112,1	0,63	0,453	35	21,2	9,1	119,05	59,22	9,87	0,55
1	1087,9	1,02	0,442	63	61,7	14	166,5	81,77	19,06	1,74
2	1066,8	1,04	0,443	35	52,2	20	116,83	92,33	15,09	0,98
3	1025,6	1,99	0,403	32	91,4	34,3	96,33	110,73	14,88	0,86
4	973,8	3,48	0,328	15	75	78,9	65,95	110,71	10,21	0,47

Таблиця 2.10 – Режим деформацій у клітках чистової групи ШСГП 1680

№ кліті	Температура прокатки, °С	Швидкість прокатки, м/с	Кут захвату, рад.	Абсолютний обтиск, мм	Відносний обтиск, %	Довжина осередку деформації, мм	Середній питомий тиск, МПа	Повний тиск металу на валки, МН	Крутний момент на один валок, МН·м
5	1070	1,76	0,144	6,06	30,3	41,92	124,45	7,3	0,12
6	1047	2,43	0,116	3,91	28	33,67	136,14	6,41	0,122
7	1025,1	3,69	0,106	3,28	32,7	30,84	191,17	9,82	0,142
8	995,3	5,27	0,084	2,06	30,5	24,44	237,11	8,4	0,07
9	973	6,12	0,054	0,85	18,1	15,7	216,77	4,6	0,029
10	950	7,28	0,046	0,64	16,6	13,62	221,5	4,22	0,021

$$\Delta h_5 = 20 - 13,94 = 6,06 \text{ мм}; \Delta h_6 = 13,94 - 10,03 = 3,91 \text{ мм};$$

$$\Delta h_7 = 10,03 - 6,75 = 3,28 \text{ мм}; \Delta h_8 = 6,75 - 4,69 = 2,06 \text{ мм};$$

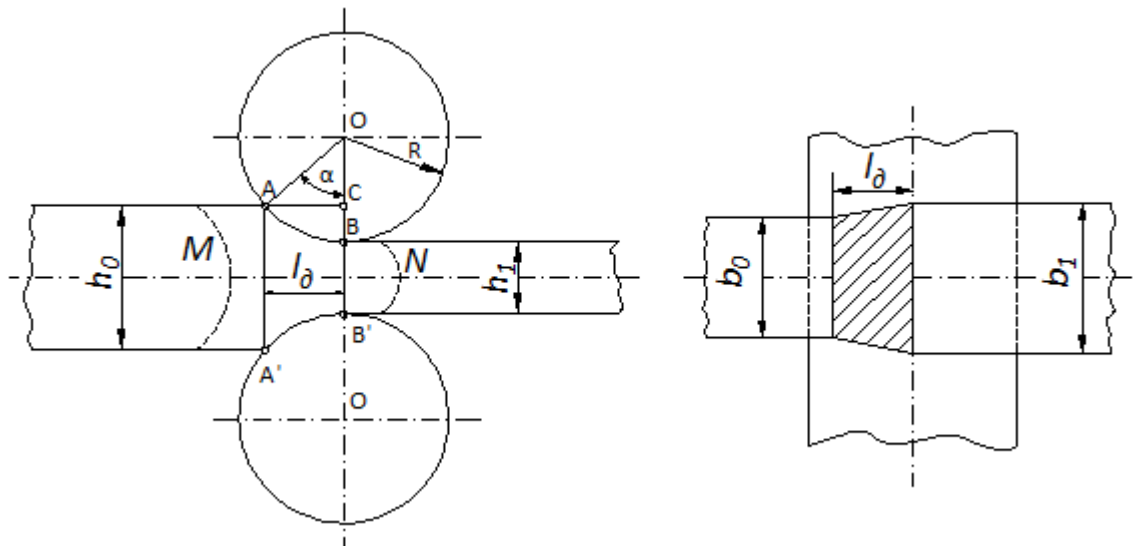
$$\Delta h_9 = 4,69 - 3,84 = 0,85 \text{ мм}; \Delta h_{10} = 3,84 - 3,2 = 0,64.$$

Відносні обтиснення по клітях визначимо по формулі (рис. 2.12):

$$E_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} \cdot 100\% ; \quad (2.39)$$

$$E_5 = \frac{6,06}{20} \cdot 100\% = 30,3\% ; E_6 = \frac{3,91}{13,94} \cdot 100\% = 28\% ; E_7 = \frac{3,28}{10,03} \cdot 100\% = 32,7\% ;$$

$$E_8 = \frac{2,06}{6,75} \cdot 100\% = 30,5\% ; E_9 = \frac{0,85}{4,69} \cdot 100\% = 18,1\% ; E_{10} = \frac{0,64}{3,84} \cdot 100\% = 16,6\% .$$



а – поздовжній перетин; б – поперечний перетин

Рисунок 2.12 – Осередок деформування при прокатуванні

З рівності сталості секундного обсягу і з обліком того, що в неперервній групі клітей $b_1 h_1 = b_2 h_2$, отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження.

$$V_{i-1} = \frac{h_i \cdot V_i}{h_{i-1}} ; \quad (2.40)$$

При $V_{10} = 7$ м/с одержимо: $V_9 = \frac{h_{10} \cdot V_{10}}{h_9} = \frac{3,2 \cdot 7}{3,84} = 5,83$ м/с

$$V_8 = \frac{h_9 \cdot V_9}{h_8} = \frac{3,84 \cdot 5,83}{4,69} = 4,78 \text{ м/с}; V_7 = \frac{h_8 \cdot V_8}{h_7} = \frac{4,69 \cdot 4,78}{6,75} = 3,32 \text{ м/с};$$

$$V_6 = \frac{h_7 \cdot V_7}{h_6} = \frac{6,75 \cdot 3,32}{10,03} = 2,23 \text{ м/с}; V_5 = \frac{h_6 \cdot V_6}{h_5} = \frac{10,03 \cdot 2,23}{13,94} = 1,6 \text{ м/с}.$$

Певно в такий спосіб швидкість необхідно скорегувати на величину випередження. Швидкість виходу штаби визначають по формулі:

$$V = V_6(1 + S); \quad (2.41)$$

де V_6 - швидкість отримана без обліку випередження, м/с

S – випередження

Відповідно до запропонованої Екелундом формули [14]

$$S = \frac{\gamma^2}{2} \left(\frac{d}{h} - 1 \right); \quad (2.42)$$

де d - діаметр валків, м; γ - нейтральний кут, рад.;

h - товщина штаби на виході з валків, м.

Нейтральний кут визначимо по залежності:

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{2} - \frac{1 - \cos \alpha}{2f}; \quad (2.43)$$

де f – коефіцієнт тертя; α - кут захвату, рад.

Кут захвату визначається по формулі:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}; \quad (2.44)$$

Де Δh - абсолютне обтиснення; R - радіус валка, мм;

$d = 580$ мм; отже $R = 290$ мм.

$$\alpha_5 = \sqrt{\frac{6,06}{290}} = 0,144 \text{ рад}; \alpha_6 = \sqrt{\frac{3,91}{290}} = 0,116 \text{ рад}; \alpha_7 = \sqrt{\frac{3,28}{290}} = 0,106 \text{ рад};$$

$$\alpha_8 = \sqrt{\frac{2,06}{290}} = 0,084 \text{ рад}; \alpha_9 = \sqrt{\frac{0,85}{290}} = 0,054 \text{ рад}; \alpha_{10} = \sqrt{\frac{0,64}{290}} = 0,046 \text{ рад}.$$

Розрахунок коефіцієнта тертя ведемо по формулі Екелунда [12]

$$\mu = 0,8(1,05 - 0,0005t); \quad (2.45)$$

де t – температура прокатки, °С.

Температурами розкатів у кожній кліті задаємося приблизно до діючого процесу прокатки з інтервалу 1070 - 950°С.

Кліть № 5 - 1070 °С; Кліть № 6 - 1050 °С; Кліть №7-1020 °С;

Кліть №8-1000 °С; Кліть № 9 - 975 °С; Кліть №10-950 °С.

Підставляючи дані у формулу (2.45) одержимо:

$$\mu_5 = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 1070) = 0,41 ; \mu_6 = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 1050) = 0,42 ;$$

$$\mu_7 = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 1020) = 0,43 ; \mu_8 = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 1000) = 0,44 ;$$

$$\mu_9 = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 975) = 0,45 ; \mu_{10} = 0,8(1,05 - 0,0005 \cdot 950) = 0,46 .$$

Підставляючи у формулу (2.43) значення кутів захвату і коефіцієнтів тертя одержимо:

$$\sin \gamma_5 = \frac{\sin 0,144}{2} - \frac{1 - \cos 0,144}{2 \cdot 0,41} = 0,00126 ; \sin \gamma_6 = \frac{\sin 0,116}{2} - \frac{1 - \cos 0,116}{2 \cdot 0,42} = 0,001 ;$$

$$\sin \gamma_7 = \frac{\sin 0,106}{2} - \frac{1 - \cos 0,106}{2 \cdot 0,43} = 0,00092 ; \sin \gamma_8 = \frac{\sin 0,084}{2} - \frac{1 - \cos 0,084}{2 \cdot 0,44} = 0,00073 ;$$

$$\sin \gamma_9 = \frac{\sin 0,054}{2} - \frac{1 - \cos 0,054}{2 \cdot 0,45} = 0,00047 ; \sin \gamma_{10} = \frac{\sin 0,046}{2} - \frac{1 - \cos 0,046}{2 \cdot 0,46} = 0,0004 .$$

Звідси: $\gamma_5 \approx 0,072$; $\gamma_7 \approx 0,052$; $\gamma_9 \approx 0,026$; $\gamma_6 \approx 0,057$; $\gamma_8 \approx 0,041$; $\gamma_{10} \approx 0,022$.

Підставляючи отримані дані у формулу (2.42) одержимо випередження:

$$S_5 = \frac{0,072^2}{2} \left(\frac{0,58}{0,01394} - 1 \right) = 0,105 ; S_6 = \frac{0,057^2}{2} \left(\frac{0,58}{0,01003} - 1 \right) = 0,092 ;$$

$$S_7 = \frac{0,052^2}{2} \left(\frac{0,58}{0,00675} - 1 \right) = 0,114 ; S_8 = \frac{0,041^2}{2} \left(\frac{0,58}{0,00469} - 1 \right) = 0,103 ;$$

$$S_9 = \frac{0,026^2}{2} \left(\frac{0,58}{0,00384} - 1 \right) = 0,0507 ; S_{10} = \frac{0,022^2}{2} \left(\frac{0,58}{0,0032} - 1 \right) = 0,04 .$$

Тоді швидкість виходу штаби з урахуванням ковзання:

$$V_5 = 1,6(1 + 0,105) = 1,76 \text{ м/с} ; V_6 = 2,23(1 + 0,092) = 2,43 \text{ м/с} ;$$

$$V_7 = 3,32(1 + 0,114) = 3,69 \text{ м/с} ; V_8 = 4,78(1 + 0,103) = 5,27 \text{ м/с} ;$$

$$V_9 = 5,83(1 + 0,0507) = 6,12 \text{ м/с} ; V_{10} = 7(1 + 0,04) = 7,28 \text{ м/с} .$$

2.13 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чистовій групі клітей

Визначаємо середню товщину підкату:

$$h_{cp} = \frac{h_i + h_{i+1}}{2} ; \quad (2.46)$$

де h_i - товщина підкату на вході в кліть, мм;

h_{i-1} - товщина підкату на виході з кліті, мм.

$$h_{cp5} = \frac{20 + 13,94}{2} = 16,97 \text{ мм}; \quad h_{cp6} = \frac{13,94 + 10,03}{2} = 11,98 \text{ мм};$$

$$h_{cp7} = \frac{10,03 + 6,75}{2} = 8,39 \text{ мм}; \quad h_{cp8} = \frac{6,75 + 4,69}{2} = 5,72 \text{ мм};$$

$$h_{cp9} = \frac{4,69 + 3,84}{2} = 4,26 \text{ мм}; \quad h_{cp10} = \frac{3,84 + 3,2}{2} = 3,52 \text{ мм}.$$

Довжину дуги захвату згідно [12] визначимо по формулі:

$$l = \sqrt{R\Delta h}; \quad (2.47)$$

$$l_5 = \sqrt{290 \cdot 6,06} = 41,92 \text{ мм}; \quad l_6 = \sqrt{290 \cdot 3,91} = 33,67 \text{ мм}; \quad l_7 = \sqrt{290 \cdot 3,28} = 30,84 \text{ мм};$$

$$l_8 = \sqrt{290 \cdot 2,06} = 24,44 \text{ мм}; \quad l_9 = \sqrt{290 \cdot 0,85} = 15,7 \text{ мм}; \quad l_{10} = \sqrt{290 \cdot 0,64} = 13,62 \text{ мм}.$$

Визначаємо відношення довжини дуги захвату до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_5}{h_{cp5}} = \frac{41,92}{16,97} = 2,47; \quad \frac{l_6}{h_{cp6}} = \frac{33,67}{11,98} = 2,81; \quad \frac{l_7}{h_{cp7}} = \frac{30,84}{8,39} = 3,67;$$

$$\frac{l_8}{h_{cp8}} = \frac{24,44}{5,72} = 4,27; \quad \frac{l_9}{h_{cp9}} = \frac{15,7}{4,26} = 3,68; \quad \frac{l_{10}}{h_{cp10}} = \frac{13,92}{3,52} = 3,95.$$

Розрахунок енергосилових параметрів 5-ої кліті:

Для кліті №5 при $\frac{l_5}{h_{cp5}} = 2,47$. Розрахунок середнього контактного тиску

виконуємо по формулі Бровмана [12] тому, що $\frac{l}{h_{cp}} > 2$.

$$P_{cp} = 1,15\sigma_T \left(0,75 + 0,25 \frac{l}{h_{cp}} \right); \quad (2.48)$$

де σ_T - границя текучості металу, що прокатується.

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_E \cdot k_u; \quad (2.49)$$

де σ_0 - базисний опір деформації; $k_t \cdot k_E \cdot k_u$ - термомеханічні коефіцієнти відповідно враховуючу температуру, ступінь і швидкість деформації.

Базисне значення σ_0 й коефіцієнтів $k_t \cdot k_E \cdot k_u$ наведені в літературі [13].

Для сталі Ст 1 $\sigma_0 = 85$ МПа. При $t = 1070$ °С $k_t = 0,81$, $E = 30,3\%$ $k_E = 1,21$.

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда:

$$U_{cp} = \frac{V \cdot \alpha}{l}; \quad (2.50)$$

Тоді формула (2.50) прийме вид:

$$U_{cp5} = \frac{V_5 \cdot \alpha_5}{l_5}, \quad (2.51)$$

де $\alpha_5 = 0,144$ радіан; $V_5 = 1,76$ м/с; $l_5 = 41,92$ мм.

$$U_{cp5} = \frac{1,76 \cdot 0,144}{0,04192} = 6,04 \text{ с}^{-1} \quad k_u = 0,95; \quad \sigma_T = 85 \cdot 0,81 \cdot 1,21 \cdot 0,95 = 79,14 \text{ МПа};$$

$$P_{cp} = 1,15 \cdot 79,14 \cdot (0,75 + 0,25 \cdot 2,47) = 124,45 \text{ МПа}.$$

Вплив натягу штаби на тиск урахуємо додатково за допомогою формули:

$$P_{cp} = P'_{cp} \left(1 - \frac{\delta_0 + \delta_1}{2P'_{cp}} \right); \quad (2.52)$$

де P'_{cp} - середній контактний тиск без врахування натягу штаби, МПа;

δ_0 і δ_1 - відповідно задній і передні питомий натяг, МПа.

Однак в 5-ої кліті задній натяг відсутній, а передній невеликий, тому можна їм зневажити.

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі:

$$P = P_{cp} \cdot B \cdot l_d; \quad (2.53)$$

де B - ширина матеріалу, що прокатується, м.

$$P_5 = 124,45 \cdot 1,4 \cdot 0,04192 = 7,3 \text{ МН}.$$

Крутний момент, створюваний силою P дорівнює (рис. 2.6):

$$M_{np} = P \cdot a; \quad (2.54)$$

де a - плече рівнодіючої сили P щодо центра валка (рис. 2.6).

Плече «а» прийнято визначати, як деяку частину довжини осередку деформації:

$$a = \varphi \cdot l; \quad (2.55)$$

де φ - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки.

У такий спосіб: $M_{np} = P \cdot \varphi \cdot l; \quad (2.56)$

φ - коефіцієнт плеча моменту згідно [9] визначимо по формулі:

$$\varphi = 0,498 - 0,028 \frac{l}{h_{cp}}.$$

Тоді підставляючи чисельні значення у формулу одержимо:

$$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 2,47 = 0,42$$

Отже $M_{np5} = 7,3 \cdot 0,42 \cdot 0,04192 = 0,12 \text{ МН} \cdot \text{м}.$

Розрахунок енергосилових параметрів в інших клітях чистової групи ведемо аналогічно 5-ої кліті але з обліком переднього й заднього натягу штаби.

Кліть №6:

Натяги δ_0 й δ_1 наведені в [13]:

$$\delta_0 = 1,7 \text{ МПа}$$

$$\delta_1 = 4,3 \text{ МПа.}$$

Температуру прокатки визначимо по формулі:

$$t = t_{нк} - \frac{(t_{нк} - t_k)h_k}{h_n - h_k} \left(\frac{h_n}{h} - 1 \right); \quad (2.57)$$

де $t_{нк}$ - температура підкату, °С; t_k - температура кінця прокатки, °С;

h_n - товщина підкату, мм; h_k - товщина кінця прокатки, мм.

$$t_{\sigma} = 1070 - \frac{(1070 - 950)3,2}{20 - 3,2} \left(\frac{20}{10,03} - 1 \right) \approx 1047^{\circ} \text{C} \quad K_t = 0,9$$

$$E = 28\% \quad K_E = 1,1$$

$$U_{cp\sigma} = \frac{2,43 \cdot 0,116}{0,03367} = 7,68 \text{ c}^{-1} \quad K_u = 0,98$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,99 = 83,3 \text{ МПа}$$

$$P'_{cp\sigma} = 1,15 \cdot 83,3(0,75 + 0,25 \cdot 2,81) = 139,14 \text{ МПа}$$

$$P_{cp} = 139,14 \left(1 - \frac{1,7 + 4,3}{2 \cdot 139,14} \right) = 136,14 \text{ МПа}$$

$$P_{\sigma} = 136,14 \cdot 1,4 \cdot 0,03367 = 6,41 \text{ МН}; \quad \varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 2,81 = 0,41.$$

Кліть № 7: $\delta_0 = 4,3 \text{ МПа}$; $\delta_0 = 5,2 \text{ МПа}$

$$t_7 = 1070 - \frac{(1070 - 950)3,2}{20 - 3,2} \left(\frac{20}{6,75} - 1 \right) = 1025,1^{\circ} \text{C} \quad K_t = 0,97$$

$$E = 32,7\% \quad K_E = 1,19$$

$$U_{ch7} = \frac{3,69 \cdot 0,107}{0,03084} = 12,8 \text{ c}^{-1} \quad K_u = 1,04$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,97 \cdot 1,19 \cdot 1,04 = 102,04 \text{ МПа}$$

$$P'_{cp7} = 1,15 \cdot 102,04(0,75 + 0,25 \cdot 3,67) = 195,67 \text{ МПа}$$

$$P_{cp} = 195,67 \left(1 - \frac{4,3 + 5,2}{2 \cdot 195,67} \right) = 191,17 \text{ МПа}$$

$$P_7 = 191,17 \cdot 1,4 \cdot 0,0367 = 9,82 \text{ МН}$$

$$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 3,67 = 0,395; \quad M_{np7} = 9,82 \cdot 0,395 \cdot 0,0367 = 0,142 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Кліть № 8: $\delta_0 = 5,2 \text{ МПа}$; $\delta_0 = 9,4 \text{ МПа}$

$$t_8 = 1070 - \frac{(1070 - 950)3,2}{20 - 3,2} \left(\frac{20}{4,69} - 1 \right) = 995,3^{\circ}C \quad K_t=1,07$$

$$E = 30,5\% \quad K_E=1,18$$

$$U_{ch8} = \frac{5,27 \cdot 0,076}{0,0244} = 16,41c^{-1} \quad K_u=1,09$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 1,07 \cdot 1,18 \cdot 1,09 = 116,97MPa$$

$$P'_{cp8} = 1,15 \cdot 116,97(0,75 + 0,25 \cdot 4,27) = 244,48MPa$$

$$P_{cp} = 244,48 \left(1 - \frac{5,2 + 9,4}{2 \cdot 244,48} \right) = 237,11MPa$$

$$P_8 = 237,11 \cdot 1,4 \cdot 0,02444 = 8,11 \text{ МН}$$

$$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 4,27 = 0,378; \quad M_{np8} = 8,11 \cdot 0,378 \cdot 0,02444 = 0,07 \text{ мН} \cdot \text{м}.$$

Кліть № 9: $\delta_0 = 9,4MPa$; $\delta_0 = 4,6MPa$

$$t_9 = 1070 - \frac{(1070 - 950)3,2}{20 - 3,2} \left(\frac{20}{3,84} - 1 \right) = 973^{\circ}C \quad K_t=1,2$$

$$E = 18,1\% \quad K_E=1,02$$

$$U_{ch9} = \frac{6,12 \cdot 0,064}{0,0157} = 24,94c^{-1} \quad K_u=1,12$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,02 = 116,52MPa$$

$$P'_{cp9} = 1,15 \cdot 116,52(0,75 + 0,25 \cdot 3,68) = 223,77MPa$$

$$P_{cp} = 223,77 \left(1 - \frac{9,4 + 4,6}{2 \cdot 223,77} \right) = 216,77MPa$$

$$P_9 = 216,77 \cdot 1,4 \cdot 0,0157 = 4,76 \text{ МН}$$

$$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 3,68 = 0,394; \quad M_{np9} = 4,76 \cdot 0,394 \cdot 0,0157 = 0,029 \text{ мН} \cdot \text{м}.$$

Кліть № 10: $\delta_0 = 4,6MPa$; $\delta_0 = 0$

$$t_{10} = 1070 - \frac{(1070 - 950)3,2}{20 - 3,2} \left(\frac{20}{3,2} - 1 \right) = 950^{\circ}C \quad K_t=1,18$$

$$E = 16,6\% \quad K_E=1,0$$

$$U_{ch10} = \frac{7,28 \cdot 0,030}{0,01362} = 16,03c^{-1} \quad K_u=1,117$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 1,18 \cdot 1,0 \cdot 1,117 = 112,03MPa$$

$$P'_{cp10} = 1,15 \cdot 112,03(0,75 + 0,25 \cdot 3,95) = 223,84MPa$$

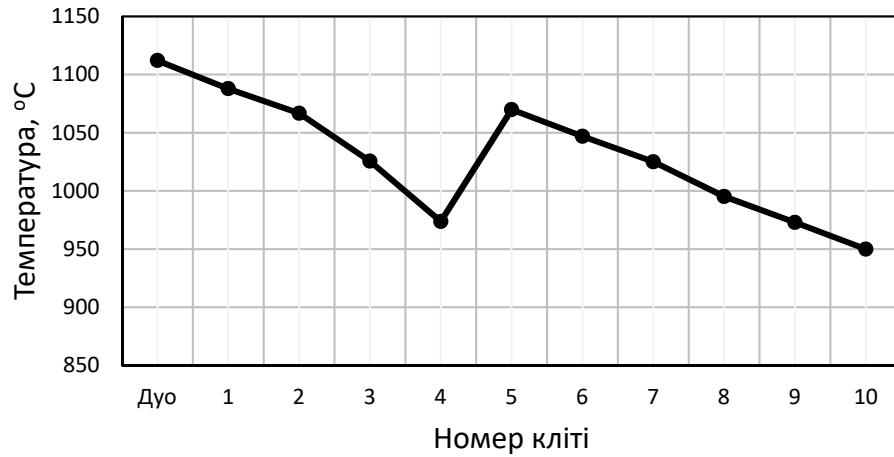
$$P_{cp} = 223,84 \left(1 - \frac{4,6}{2 \cdot 223,84} \right) = 221,5MPa$$

$$P_{10} = 221,5 \cdot 1,4 \cdot 0,01362 = 4,22 \text{ МН}$$

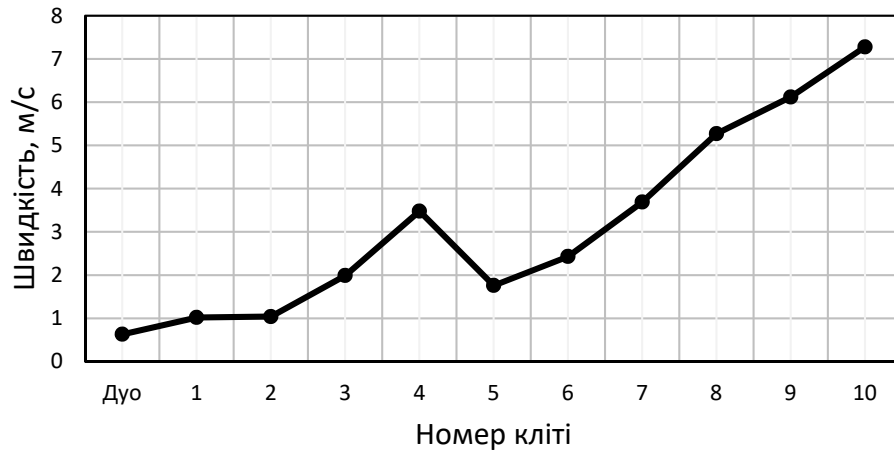
$$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 3,95 = 0,38; \quad M_{np10} = 4,22 \cdot 0,38 \cdot 0,01362 = 0,021 \text{ мН} \cdot \text{м}.$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.7. За даними табл. 2.9 і 2.10 на рис. 2.13 – 2.14 зображено режими обтиснень і енергосилові параметри прокатки на стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

Зміна температури штаби по клітям стана



Швидкість прокатки по клітям стана

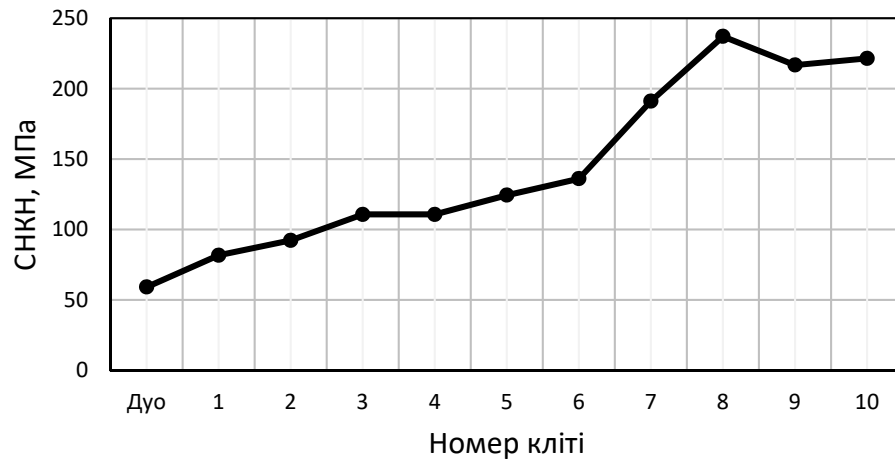


Відносне обтиснення по клітям стана

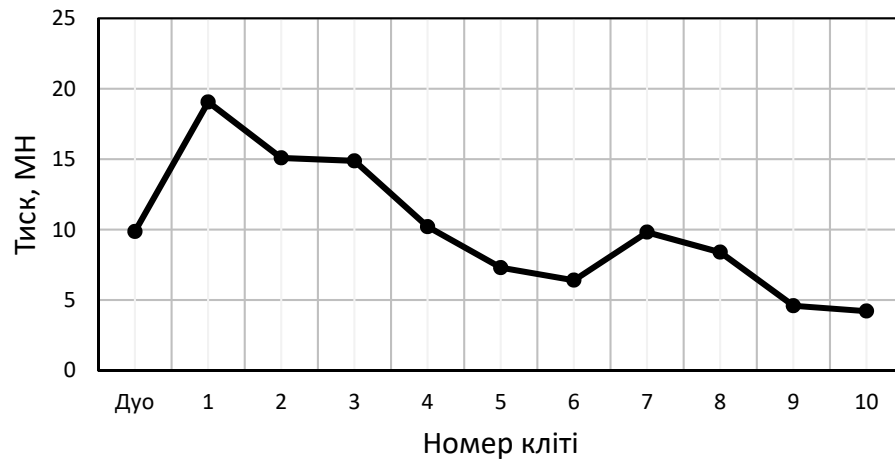


Рисунок 2.13 – Енергосилові параметри прокатки на стані 1680

Середнє нормальне контактне напруження



Повний тиск металу на валки по клітям стана



Крутний момент на один валок



Продовження Рисунку 2.13

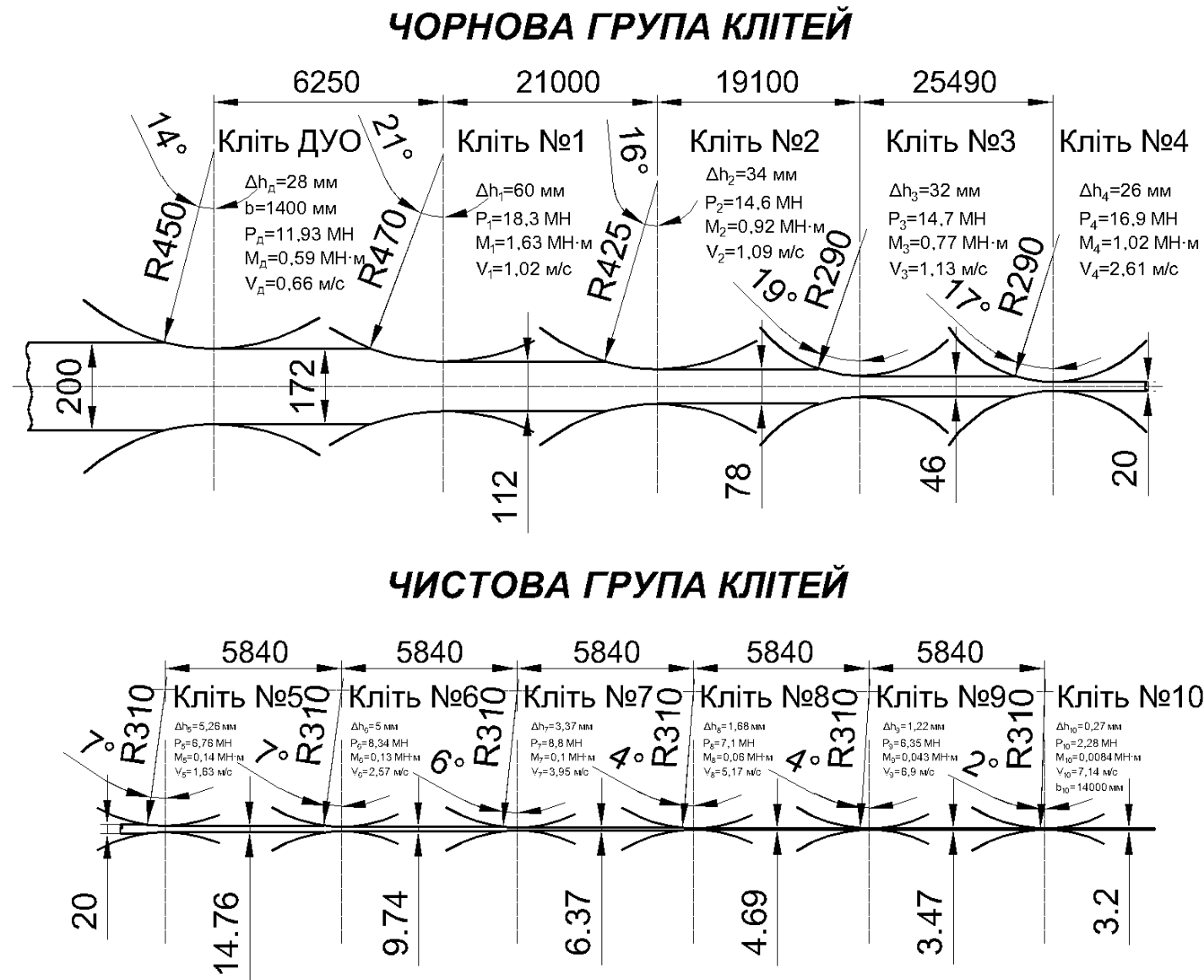


Рисунок 2.14 - Режими обтиснень і енергосилові параметри прокатки на стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

Питанню автоматизації комп'ютерного моделювання присвячена велика кількість робіт [15-18]. Розглядаються можливості автоматизації графічного моделювання в КОМПАС-3D, AutoCAD Mechanical, Autodesk Inventor, ABAQUS тощо, які надають інструменти проектування на основі правил і засобів автоматизації, що прискорюють процес і дозволяють користувачам концентруватися на реалізації проектного задуму, а не на моделюванні геометрії ручним способом. На базі функціональних вимог до виробу, системи САПР автоматично створюють інтелектуальні компоненти, надаючи можливість економити час проектувальника, дозволяють здійснювати перевірку моделей без випробування дослідних зразків.

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

Метою даного розділу є дослідження можливості геометричного моделювання станин прокатних станів і виконання розрахунків на міцність і деформацію в програмному комплексі AutoCAD Mechanical 2019 [15].

3.1 Розрахунок на міцність станини прокатної кліті

Станини звичайно виготовляють з литої сталі марок 25Л, 35Л і т.п. з $\sigma_B = 500 \div 600$ МПа; для дрібносортних і середньосортних станів станини можуть бути виготовлені з високоміцного чавуну з $\sigma_B = 400 \div 450$ МПа.

Станини розраховують на максимальну реакцію R_{max} від зусилля прокатки, яка передається на станину через подушки, запобігаючий елемент і натискний механізм. Горизонтальними зусиллями, які діють на станину кліті в момент захвату штаби або при прокатуванні з натяганням, звичайно зневажають [10, 11]. Методика розрахунку залежить від типу станини.

Станини закритого типу

Станину закритого типу розглядають, як жорстку статично невизначену раму, що складається з двох однакових стояків і двох поперечин, які можуть бути прямокутної форми, зі закругленими кутами або напівкруглими (рис. 3.1) [19].

У загальному випадку в станині можна виділити три небезпечні перетини: поперечний перетин нижньої поперечини (див. рис. 3.1, перетин I-I), поперечний перетин стояка (перетин II-II), поперечний перетин верхньої поперечини (перетин III - III,) і поперечний перетин у місці сполучення стояка з верхньою поперечиною (перетин IV-IV на рис. 3.1, б и в). Типова форма вказаних перетинів зображена на рис. 3.2 [19].

Для кожного небезпечного перетину, в залежності від його форми (див. рис. 3.2), виконують розрахунок площі поперечного перетину, координати центру тяжіння, моменту інерції та моменту опору згину.

Під дією сили R_{\max} в кутах жорсткої рами виникають статично невизначені згинаючі моменти M_0 , направлені, як показано на рис. 3.2. Ці моменти згинають стояки станини до середини її вікна, а поперечини – по напрямку дії сили R_{\max} [16].

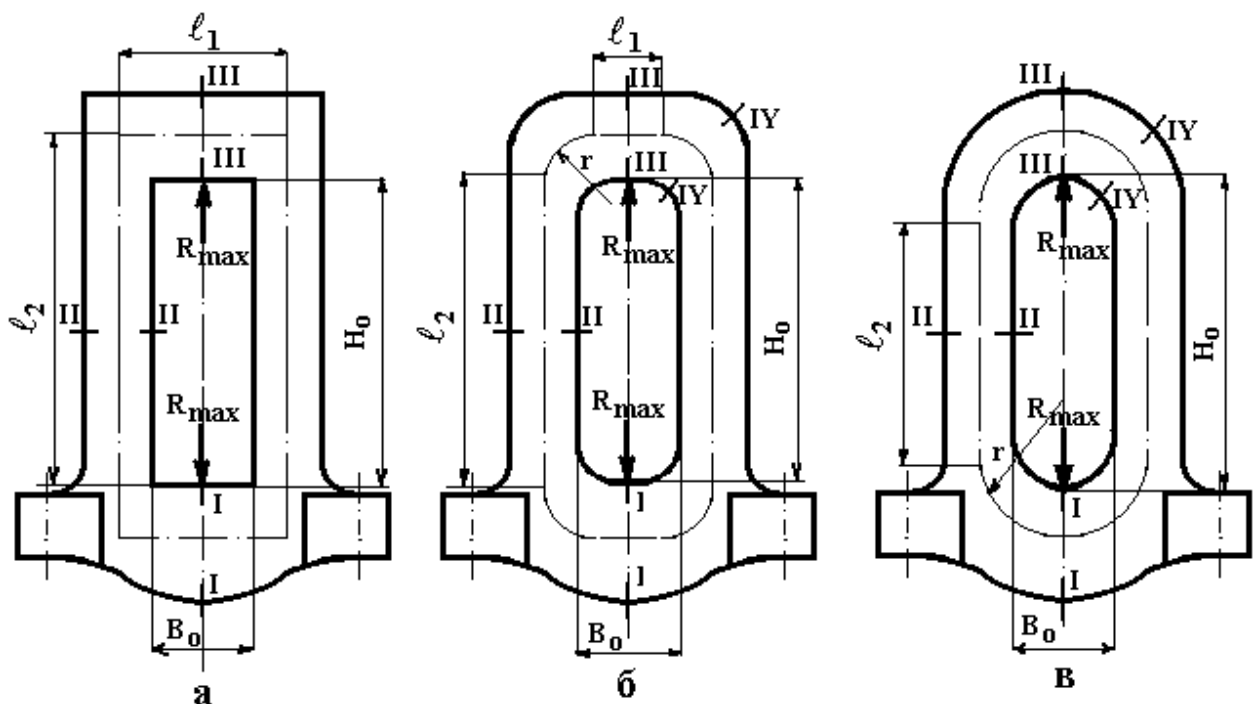


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема станини закритого типу

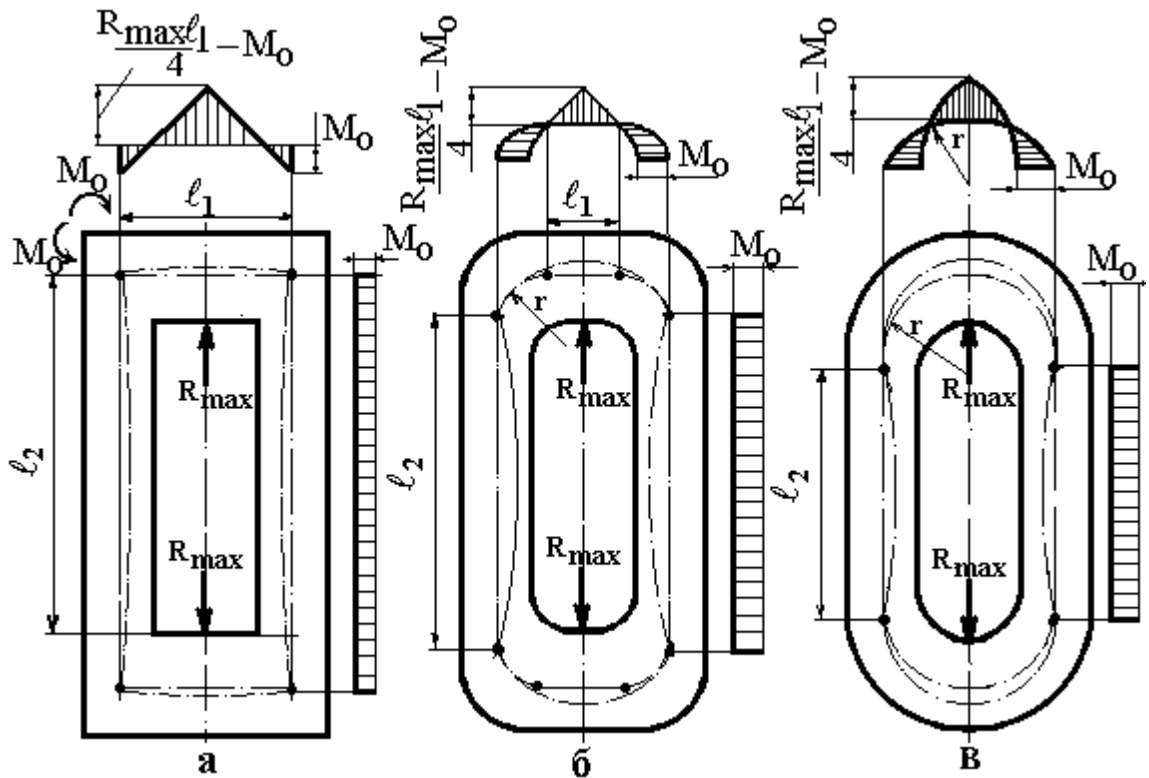


Рисунок 3.2 – Епюри згинаючих моментів в станинах закритого типу

3.2 Жорсткість робочих клітей

Жорсткість робочих клітей – це один з найважливіших факторів, що визначає точність розмірів прокату. Кількісно жорсткість кліті оцінюють **коефіцієнтом (модулем) жорсткості**, який дорівнює:

$$C = \frac{P}{f_{\text{кл}}}, \text{кН/мм} \quad (3.1)$$

де P – повне зусилля прокатки; $f_{\text{кл}}$ – загальна пружна деформація усіх елементів робочої кліті під дією зусилля P .

Коефіцієнт жорсткості визначає величину зусилля прокатки, при якому установочний зазор між валками збільшується за рахунок пружної деформації кліті на 1 мм.

Коефіцієнти жорсткості робочих клітей сучасних прокатних станів змінюються в наступних межах, кН/мм [14, 19]:

дротові

400 - 700,

дрібносортні	600 - 1000,
середньосортні	700 - 1300,
крупносортні	800 - 1600,
товстолистові	4000-7000,
тонколистові гарячої прокатки	4500-8000,
тонколистові холодної прокатки	5500-10000.

Для теоретичного визначення коефіцієнта жорсткості кліті необхідно при визначеному зусиллі прокатки розрахувати її загальну пружну деформацію, яка дорівнює сумі пружних деформацій усіх її деталей:

$$f_{\text{кл}} = f_{\text{вал}} + f_{\text{п}} + f_{\text{под}} + f_{\text{н.у}} + f_{\text{ст}} + f_{\text{i}}, \quad (3.2)$$

де $f_{\text{вал}}$, $f_{\text{п}}$, $f_{\text{под}}$, $f_{\text{н.у}}$, $f_{\text{ст}}$, f_{i} - пружна деформація відповідно валків, подушок, підшипників, деталей натискного пристрою, станини та інших елементів (стакана, клинів, підкладок тощо). Методи розрахунків вказаних складових пружної деформації кліті наведені в роботах [13, 19].

3.3 Розрахунок пружної деформації і напружень станини робочої кліті у програмному комплексі AutoCAD Mechanical

Виконаємо розрахунок пружної деформації станини відповідно до прикладу, наведеному у роботі [13, стор. 82]. Слід зазначити, що розрахунок, наведений у роботі [13] виконано за громіздкими формулами і має досить складний характер. Метою нашого дослідження було застосування комп'ютерного програмного комплексу AutoCAD Mechanical, що значно спрощувало і прискорювало розрахунки [15].

Форма і розміри станини показані на рис. 3.3. Матеріал станини – сталь марки 35Л, для якої модуль пружності приймаємо $E=2.0 \cdot 10^5$ МПа.

Аналіз деформації станини виконується методом скінченних елементів (МСЕ) [17]. Результати розрахунків МСЕ можуть бути використані для удосконалення конструкції станини. Треба мати на увазі, що існують

спеціальні задачі, для вирішення яких МСЕ не передбачений. Мета цього методу – надати користувачу уявлення про розподіл напружень і деформацій.

Спочатку необхідно у програмному комплексі AutoCAD Mechanical створити креслення станини прокатної кліти. На рис. 3.4 а наведена розрахункова схема станини із зображенням контурів станини і розмірів.

Далі необхідно задати граничні умови у діалоговому вікні «Расчет по МКЭ», зображеному на рис. 3.5. Визначається тип опор і вказуються місця їх розташування, зазначається діюча сила R_{max} (див. рис. 3.1, 3.2), яка дорівнює 10 МН, як в прикладі, наведеному у роботі [15, стор. 82]. Вибирається матеріал – сталь С30R+QT, яка є аналогом сталі 35Л і має межу текучості 400 Н/мм². Задається товщина станини 840 мм, модуль пружності $E=2.0 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3.

Далі виконується розрахунок деформацій станини, результати якого наведено на рис. 3.4 б, в. Як видно, характер деформації співпадає з літературними даними [13]. Деформація у вертикальному напрямку по осі Y склала 0,785 мм (масштабний коефіцієнт рисунку 427,06), що майже співпадає з величиною, отриманою за формулами розрахунковим шляхом – $f_{ст} = 0,784$ мм [13, стор. 84]. Крім того, програма розраховувала деформацію станини і у горизонтальному напрямку по осі X – 0,749 мм. Такий розрахунок у роботі [13] відсутній.

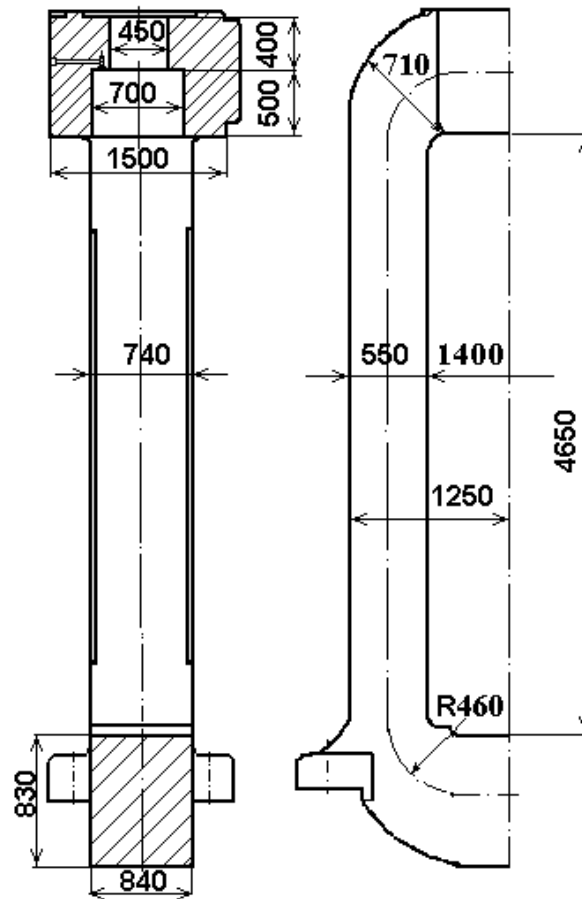
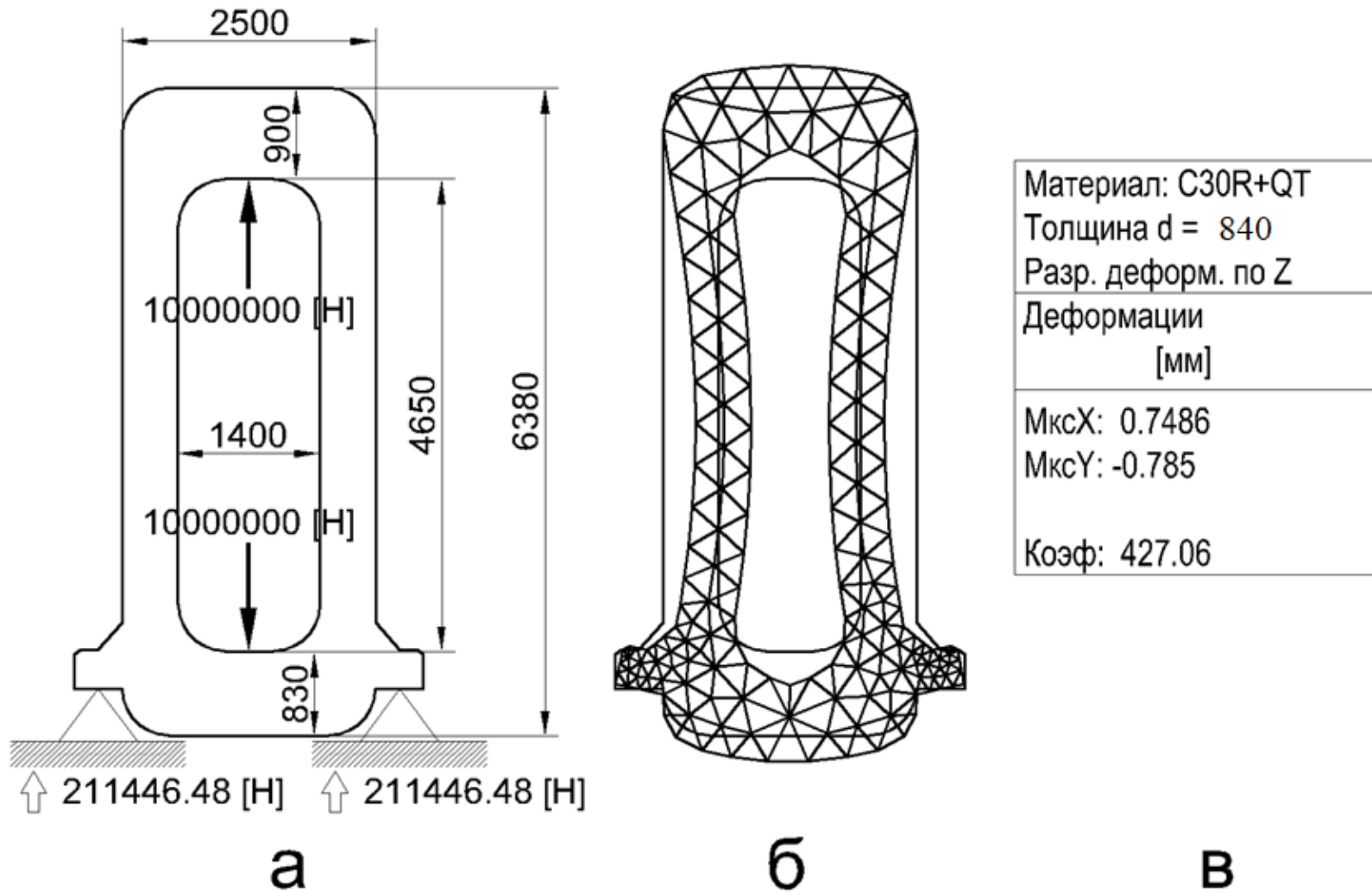


Рисунок 3.3 – До розрахунку пружної деформації станини

Крім деформацій МСЕ відображає напруження, які виникають у станині під дією сили у т.ч. небезпечні перетини і місця. На рис. 3.6 наведено результати розрахунків станини прокатного стану методом скінченних елементів: у вигляді ізоліній (а) і у вигляді ізобластей (б). Найбільш небезпечними є високі локальні напруження у місцях прикладання сили R_{\max} , тобто поперечні перекладини станини.



а – розрахункова схема станини прокатного стана; б, в – результати розрахунків станини на деформацію

Рисунок 3.4 – Розрахункова схема і результати розрахунків станини прокатного стана на деформацію

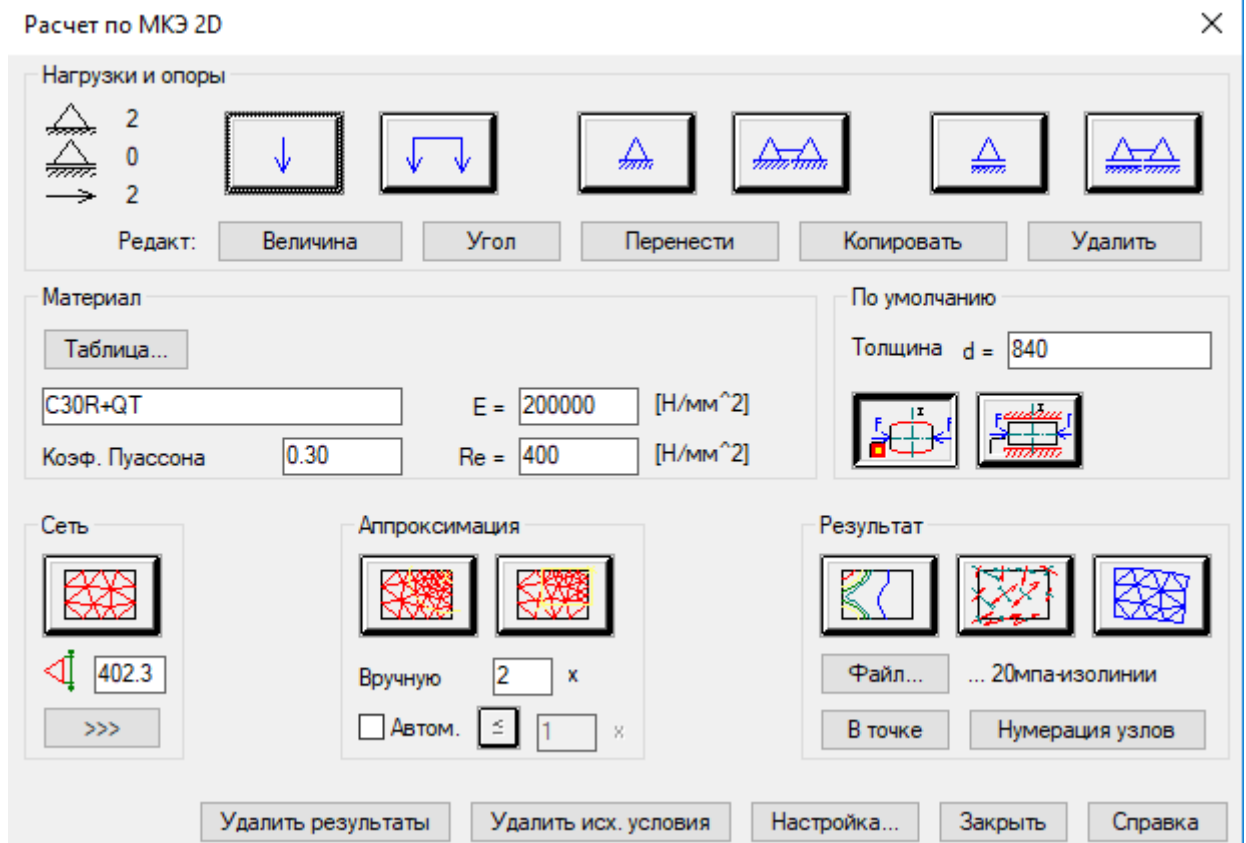
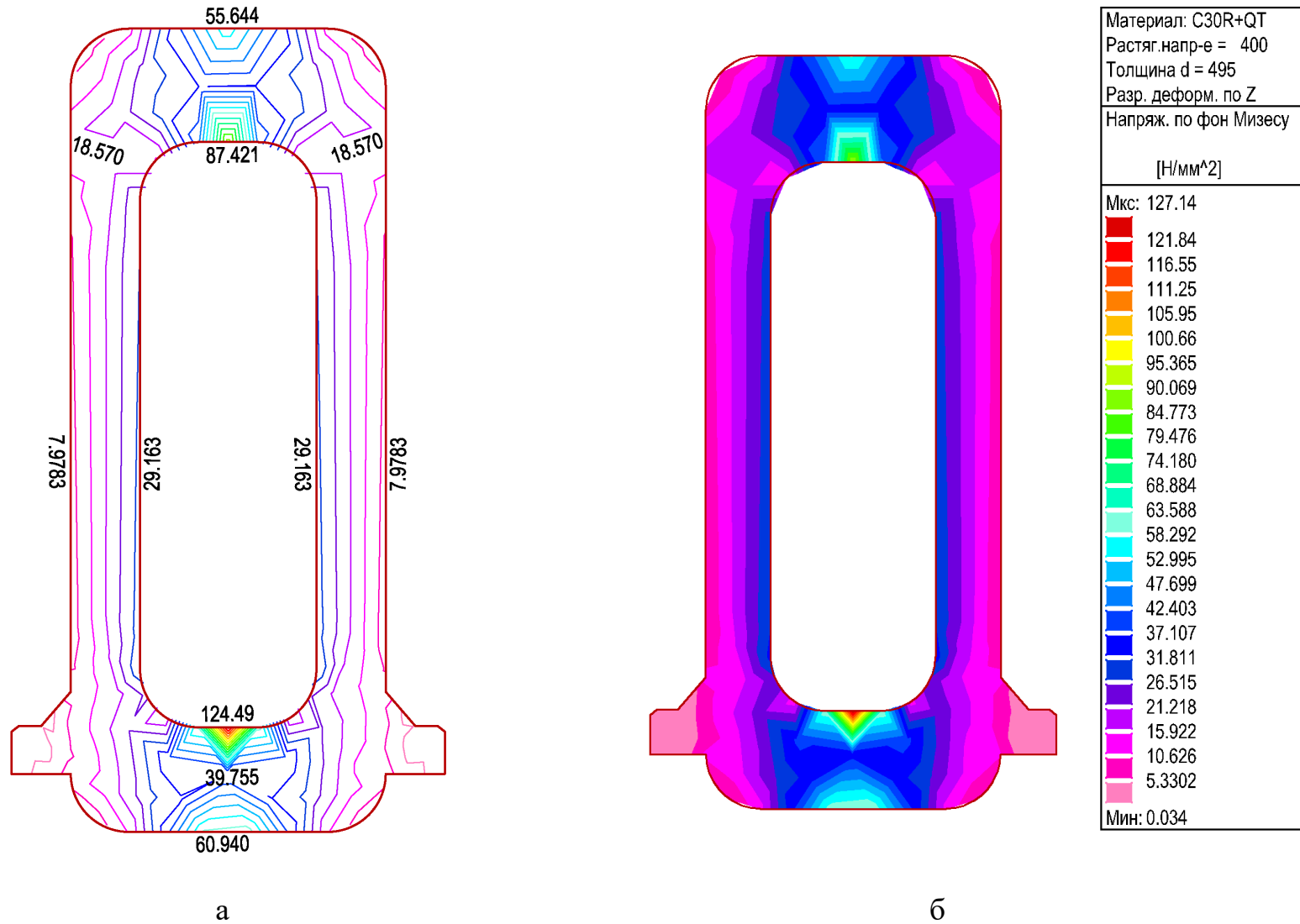


Рисунок 3.5 – Задання граничних умов у методі скінченних елементів

Таким чином, можна зробити висновок, що математичне моделювання методом МСК дозволяє розширити уявлення про процеси, що досліджуються і сприяє вивченню впливу значущих чинників на параметри технологічних процесів, що досліджуються, шляхом чисельного моделювання, що дешевше за натурні експерименти. При цьому експериментальні дослідження необхідні для визначення початкових даних і граничних умов (наприклад, властивостей матеріалу і умов контактної взаємодії), а також для перевірки результатів моделювання.

Результати розрахунків пружної деформації станини робочої кліти у програмному комплексі AutoCAD Mechanical співпадають з літературними даними, тобто з розрахунками за формулами у «ручному режимі». Це підтверджує доцільність використання комп'ютерної програми AutoCAD Mechanical для виконання розрахунків на міцність і деформацію елементів обладнання ОМД, як більш швидкісні, точні і наглядні.



а – ізолінії; б - ізообласті

Рисунок 3.6 – Результати розрахунків станини прокатного стана методом скінченних елементів

4.1 Оптимізація виробничої програми відділення гнутих профілів цеху гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь»

У даному розділі оптимізація виробничої програми має на увазі визначення програми, яка забезпечує отримання заданого обсягу виробництва при найнижчих витратах, тобто найменшої кількості відходів.

Розглянемо конкретний приклад, який може бути використаний і в інших випадках. У ЦГПТЛ на складі є гарячекатані рулони зі сталі 08пс однакової довжини штаби, але різної ширини, а саме: 1000 мм, 1250 мм, 1400 мм і 1500 мм. Їх треба розрізати (відповідно до розмірного і профільного сортаменту гнутих профілів) на агрегаті поздовжнього різання АПР-4 на стрічки шириною 210 мм, 290 мм і 320 мм, яких потрібно відповідно, рулонів: 210, 161 і 175 штук. Як задовільнити цю потребу, розрізавши мінімальну кількість рулонів?

Типовий прийом полягає у тому, що заздалегідь визначаються варіанти розкрою рулону. Кожен варіант приймається за окреме невідоме, і при вирішенні визначається, скільки рулонів розрізати за одним варіантом, скільки – за другим і т.д.

Розглянемо детально розкром рулону шириною 1500 мм. По рулонам іншої ширини далі наведено тільки остаточно отримані дані. У табл. 4.1 наведені варіанти розкрою рулону шириною 1500 мм.

Так, у першій строчці наведений варіант, позначений невідомою x_1 . Рулон шириною 1500 мм розрізають поздовжньо на стрічки шириною: 2 – по 210 мм, 2 – по 290 мм і 1 – шириною 320 мм. При цьому утворюється відхід шириною 180 мм. Відповідно при варіанті 2 з рулону 1500 мм отримують 2 стрічки шириною 210 мм, 1 стрічку шириною 290 мм і 2 стрічки шириною 320 мм, відхід – 150 мм по ширині рулону (табл. 4.1).

У табл. 4.1 виписано тільки так звані *повноцінні* варіанти, тобто такі, в яких відход менше ширини самої вузької стрічки (210 мм). Це природне припущення може привести до того, що знайдений в результаті розрахунку

план розкрою буде дещо відрізняться від дійсного оптимуму. Однак на такий шаг треба іти свідомо, бо число варіантів підвищилося б у багато разів. У цьому прикладі розгляд тільки *повноцінних* варіантів не погіршує результатів розрахунків, але у практичних задачах відхилення цілком можливі.

Вихідні рівняння повинні відповідати вимогам щодо нарізання заданої кількості рулонів стрічки по їх видам (ширині), а саме:

Таблиця 4.1 – Варіанти розкрою рулону 1500 мм на стрічки

Кількість рулонів стрічки шириною, мм			Відходи по ширині рулону 1500, мм	Номер невідомої
210	290	320		
2	2	1	180	x ₁
2	1	2	150	x ₂
5	0	1	130	x ₃
1	3	1	100	x ₄
1	2	2	70	x ₅
4	1	1	50	x ₆
2	0	3	120	x ₇
7	0	0	30	x ₈
0	4	1	20	x ₉
1	1	3	40	x ₁₀
3	3	0	0	x ₁₁
1	4	0	130	x ₁₂
1	0	4	10	x ₁₃

$$2 \cdot x_1 + 2 x_2 + 5 x_3 + x_4 + x_5 + 4 x_6 + 2 x_7 + 7 \cdot x_8 + x_{10} + 3 \cdot x_{11} + x_{12} + x_{13} = 210$$

$$2 \cdot x_1 + x_2 + 0 x_3 + 3 \cdot x_4 + 2 x_5 + x_6 + 4 \cdot x_9 + x_{10} + 3 x_{11} + 4 x_{12} + 0 x_{13} = 161$$

$$x_1 + 2 \cdot x_2 + x_3 + x_4 + 2 x_5 + x_6 + 3 x_7 + x_9 + 3 x_{10} + 0 x_{11} + x_{12} + 4 x_{13} = 175$$

Ці рівняння вимагають, щоб кількість рулонів стрічки точно дорівнювало б потребі.

Функціонал може бути записаний по різному. Скористуємося тим, що при даній постановці задачі мінімізація кількості рулонів еквівалентна мінімізації кількості відходів, і запишемо функціонал наступним чином:

$$F = 180 \cdot x_1 + 150 \cdot x_2 + 130 \cdot x_3 + 100 \cdot x_4 + 70 \cdot x_5 + 50 \cdot x_6 + 120 \cdot x_7 + 30 \cdot x_8 + 20 \cdot x_9 + 40 \cdot x_{10} + 0 \cdot x_{11} + 130 \cdot x_{12} + 10 \cdot x_{13}.$$

Оптимальний план дає наступні ненульові значення основних невідомих (рис. 4.1):

$$x_8 = 1; x_{11} = 54; x_{13} = 44.$$

Це означає, що 1 рулон шириною 1500 мм треба розрізати на стрічки по варіанту x_8 (табл. 4.1), 54 рулони треба розрізати на стрічки по варіанту x_{11} і 44 рулони шириною 1500 мм треба розрізати на стрічки по варіанту x_{13} . Кількість відходів при цьому (тобто при розкрою 99 рулонів шириною 1500 мм) складе 460 мм ширини, або у середньому 4,64 мм на 1 рулон (0,31 %).

Аналогічні розрахунки розкрою рулонів іншої ширини показують, що кількість відходів буде більше, ніж при розкрою рулонів шириною 1500 мм, а саме, при розкрою рулонів шириною 1000, 1250 і 1400 мм кількість відходів відповідно складе 2932, 1960 і 1388 мм ширини рулонів. На рис. 4.2 наведений графік кількості відходів, що утворюються при розкрою рулонів різної ширини.

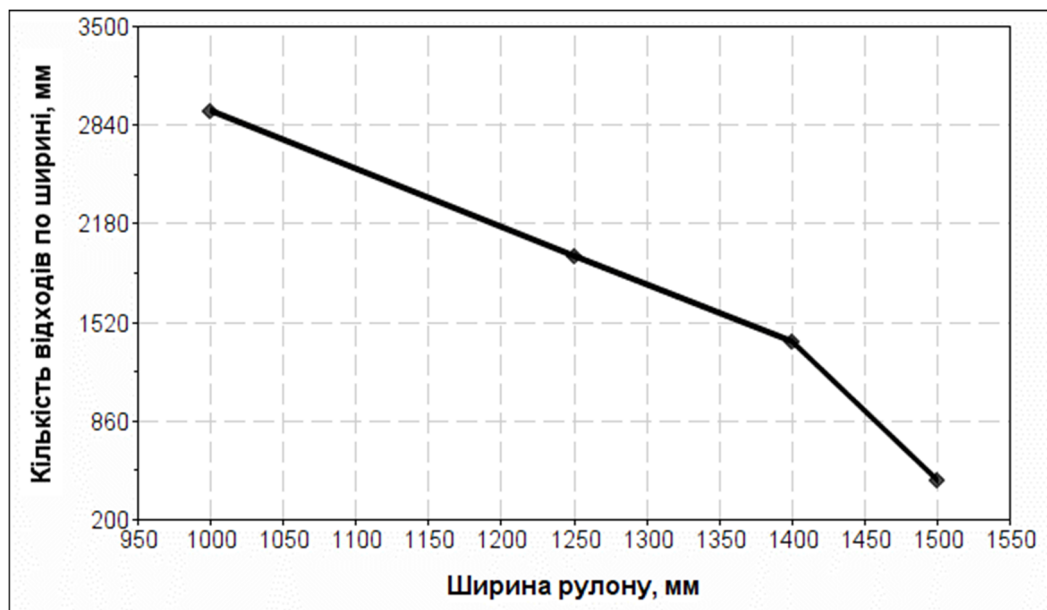


Рисунок 4.2 - Залежність кількості відходів, що утворюються при розкрою, від ширини рулонів

Таким чином, вирішено задачу лінійного програмування у програмному комплексі Mathcad Prime 8, яка є інструментом вирішення аналогічних задач оптимізації, зокрема виробничої програми прокатного виробництва.

Начальные приближения	$F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}) :=$ $:= 180 \cdot x_1 + 150 \cdot x_2 + 130 \cdot x_3 + 100 \cdot x_4 + 70 \cdot x_5 + 50 \cdot x_6 + 120 \cdot x_7 + 30 \cdot x_8 +$ $+ 20 \cdot x_9 + 40 \cdot x_{10} + 0 \cdot x_{11} + 130 \cdot x_{12} + 10 \cdot x_{13}$ $x_1 := 0 \quad x_2 := 0 \quad x_3 := 0 \quad x_4 := 0 \quad x_5 := 0 \quad x_6 := 0$ $x_7 := 0 \quad x_8 := 0 \quad x_9 := 0 \quad x_{10} := 0 \quad x_{11} := 0 \quad x_{12} := 0 \quad x_{13} := 0$																																		
Ограничения	$2 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 5 \cdot x_3 + x_4 + x_5 + 4 \cdot x_6 + 2 \cdot x_7 + 7 \cdot x_8 + x_{10} + 3 \cdot x_{11} + x_{12} + x_{13} = 210$ $2 \cdot x_1 + x_2 + 0 \cdot x_3 + 3 \cdot x_4 + 2 \cdot x_5 + x_6 + 4 \cdot x_9 + x_{10} + 3 \cdot x_{11} + 4 \cdot x_{12} + 0 \cdot x_{13} = 161$ $x_1 + 2 \cdot x_2 + x_3 + x_4 + 2 \cdot x_5 + x_6 + 3 \cdot x_7 + x_9 + 3 \cdot x_{10} + 0 \cdot x_{11} + x_{12} + 4 \cdot x_{13} = 175$ $x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \quad x_3 \geq 0 \quad x_4 \geq 0 \quad x_5 \geq 0 \quad x_6 \geq 0 \quad x_7 \geq 0$ $x_8 \geq 0 \quad x_9 \geq 0 \quad x_{10} \geq 0 \quad x_{11} \geq 0 \quad x_{12} \geq 0 \quad x_{13} \geq 0$																																		
Решатель	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_1</td> <td rowspan="13" style="padding: 5px;">$:= \text{minimize}(F, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}) =$</td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_2</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_3</td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_4</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_5</td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_6</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_7</td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_8</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_9</td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_{10}</td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_{11}</td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_{12}</td> <td style="padding: 5px;">1</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">x_{13}</td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">54</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">0</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"></td> <td style="padding: 5px;">44</td> </tr> </table>	x_1	$:= \text{minimize}(F, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}) =$	x_2	0	x_3	x_4	0	x_5	x_6	0	x_7	x_8	0	x_9	x_{10}	0	x_{11}	x_{12}	1	x_{13}		0			0			54			0			44
x_1	$:= \text{minimize}(F, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}) =$	x_2		0																															
x_3		x_4		0																															
x_5		x_6		0																															
x_7		x_8		0																															
x_9		x_{10}		0																															
x_{11}		x_{12}		1																															
x_{13}				0																															
				0																															
				54																															
				0																															
				44																															
		$F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}) = 460$																																	

Рисунок 4.1 – Розрахунок у програмному комплексі Mathcad оптимального розкрою рулонів 1500 мм на стрічки шириною 210, 290 і 320 мм у кількості 210, 161 і 175 штук рулонів відповідно

5 АНАЛІЗ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Виробництво та реалізація продукції потребують трудових, матеріальних і грошових витрат. Витрати підприємства на спожиті засоби виробництва, предмети праці й оплату праці працівників, виражені в грошовій формі, утворюють собівартість продукції.

Собівартість продукції - це основний якісний показник роботи підприємства. Її рівень відбиває досягнення та недоліки роботи як підприємства в цілому, так і кожного структурного підрозділу. Систематичне зниження собівартості продукції має важливе народногосподарське значення, бо дає змогу за стабільних ринкових цін збільшувати прибуток на кожну гривню витрат, підвищує конкурентоспроможність продукції [20].

Аналіз собівартості продукції має такі **завдання**: перевірка обґрунтованості прийнятих управлінських рішень щодо собівартості; об'єктивна оцінка виконання прийнятих рішень, під час якої виявляються відхилення фактичних витрат від прогнозних; з'ясування чинників цих відхилень; підрахунок резервів дальшого зниження собівартості продукції; розроблення заходів із мобілізації внутрішньовиробничих резервів та використання їх у виробництві.

Для проведення аналізу використовуються такі **джерела інформації**: прогнозова собівартість продукції; аналітичні розрахунки, норми й нормативи споживання ресурсів; звітна інформація, зокрема «Звіт про фінансові результати» ф. 2, «Звіт з праці» ф. 1-ПВ і ф. 3-ПВ, дані оперативного обліку.

Облік, прогнозування та аналіз собівартості спирається на такі **узагальнюючі показники**.

- 1) собівартість одиниці продукції;
- 2) виконання прогнозу зниження собівартості порівнянної продукції;
- 3) витрати на 1 грн товарної продукції.

Для досягнення конкурентоспроможності підприємство змушене постійно прогнозувати зниження собівартості своєї продукції.

Для визначення обґрунтованості прогнозового рівня собівартості виробленої продукції, використовують дані про залишки нереалізованої продукції на початок і кінець року, обсяг реалізації та складають розрахунок (таблиця 5.1).

Фактичні витрати на 1 грн виробленої продукції порівнюють із прогнозними, визначають та оцінюють наявні відхилення.

З таблиці 5.1 бачимо, що за прогнозового обсягу реалізації в оптових цінах підприємства 12484,5 тис. грн та прогнозового прибутку від реалізації 2437,5 тис. грн, собівартість реалізованої продукції становить 10047 тис. грн, а прогнозова собівартість товарної продукції з урахуванням зміни прогнозних залишків нереалізованої продукції на початок і кінець року - 10174,5 тис. грн.

Таблиця 5.1 - Розрахунок рівня собівартості продукції, тис. грн.

№	Показник	За оптовими цінами підприємства	За прогнозовою собівартістю	Прибуток	Витрати на 1 грн продукції
1	Залишки нереалізованої продукції на початок року	615	480	135	78,05
2	Реалізація продукції	12484,5	10047	2437,5	80,48
3	Залишки нереалізованої продукції на кінець року	730,5	607,5	123	83,16
4	Випуск товарної продукції (ряд. 2 + ряд. 3-ряд. 1)	12600	10174,5	2425,5	80,75

Зазвичай внаслідок систематичного зниження собівартості витрати на одну гривню продукції в залишках нереалізованої продукції на кінець року мають бути нижчі від середньорічних, а в собівартості товарного випуску - нижчі, ніж у собівартості реалізованої продукції, бо в останню закладено підвищені витрати в залишках нереалізованої продукції на початок року.

На підприємстві, яке ми аналізуємо, цієї вимоги не дотримало, собівартість товарної та нереалізованої продукції постійно зростає, а тому зменшується прибуток на одну гривню продукції. Високий рівень витрат у залишках нереалізованої продукції був спричинений зростанням цін на матеріали і зниженням попиту на дорогу продукцію. Ця обставина може призвести до погіршення фінансового стану підприємства.

Маючи розрахунковий рівень собівартості товарної продукції, обчислюють прогнозове завдання щодо її зниження проти минулого звітного періоду і розробляють прогноз організаційно-технічних заходів, який забезпечить це зниження.

Міра ефективності використання матеріальних, трудових і грошових засобів з найбільшою повнотою розкривається під час вивчення собівартості товарної продукції, бо об'єктом аналізу стають ресурси підприємства, використані для основної діяльності.

Аналіз собівартості товарної продукції починають із загальної оцінки виконання прогнозу собівартості, визначають відхилення звітних показників від прогнозних, їх динаміку, виявляють фактори, що вплинули на це відхилення, роблять відповідні висновки.

На підставі облікових даних одержано таку інформацію:

- випуск товарної продукції за прогнозом - 12600 тис. грн, фактичний - 12750 тис. грн;

- собівартість продукції за прогнозом - 10174,5 тис. грн, фактично - 10717,5 тис. грн, собівартість фактично випущеної продукції за прогнозними нормами і фактичною структурою - 10437 тис. грн.

Порівняння фактичної собівартості з прогнозовою показало, що абсолютне відхилення дорівнює 543 тис. грн. Це відхилення виникло під впливом таких факторів:

- 1) зміни обсягу продукції;
- 2) зміни структури виробленої продукції;
- 3) зміни рівня витрат (за рахунок зміни кількості використаних матеріалів, цін на сировину і матеріали).

Для виявлення впливу цих факторів виконаємо такі розрахунки:

- 1) визначаємо рівень виконання прогнозу виробництва товарної продукції:

$$12750:12600 - 100 = 101,19\%;$$

- 2) підраховуємо собівартість фактичного випуску продукції за прогнозними нормами і структурою:

$$10437 - 101,19:100 = 10561,25 \text{ тис. грн};$$

- 3) визначаємо вплив зміни обсягу товарної продукції на собівартість:

$$10561,25 - 10174,5 = 386,75 \text{ тис. грн};$$

- 4) визначаємо вплив зміни структури на собівартість:

$$10437 - 10561,25 = -124,25 \text{ тис. грн};$$

- 5) визначаємо вплив зміни рівня витрат на собівартість:

$$10717,5 - 10437 = 280,5 \text{ тис. грн.}$$

Загальне відхилення становить: $386,75 - 124,25 + 280,5 = 543$ тис. грн.

Підприємство допустило небажане зростання собівартості на 280,5 тис. грн - за рахунок зміни рівня витрат, проте за рахунок покращення структури на 124,25 тис. грн воно дещо знизило собівартість [20].

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

До основних небезпечних і шкідливих факторів у цеху гарячої прокатки відносяться [21, 22]:

- інфрачервоне випромінювання гарячого металу, під впливом якого робітник проводить 83,3% усього робочого часу і яке при даних роботах впливає на зорові органи людини (300 - 400 Вт/м);
- шкідливі хімічні речовини такі як: ангідрид хромовий, оксид марганцю, акролеїн, сірководень, оксид вуглецю і мінеральні мастила, які протягом 83,3% робочого часу впливають на внутрішні органи людини;
- пил, який виділяється при вигорянні оксиду металу. Пил є одним з основних шкідливих факторів, який протягом 91,4% робочого часу впливає на слизову оболонку органів подиху, що приводить до захворювань;

Оцінка факторів виробничого середовища наведена в табл. 6.1.

Для зменшення впливу інфрачервоного випромінювання на зорові органи робітників раціонально використати світлові екрани (фільтри), які безпосередньо встановлюються на постах чорнової і чистової групи, де оператори і вальцювальники візуально контролюють процес прокатки.

З таблиці 6.1 видно, що робота операторів, вальцювальників відноситься до робіт зі шкідливими і небезпечними умовами праці. Відповідно до гігієнічної класифікації умов праці вальцювальник має право на: пенсію по старості на пільгових умовах за списком №1; додаткову відпустку 24 дні; надбавку до зарплати 24%, молоко. Ст. 141 КЗОТ містить загальні вказівки про порядок видачі за рахунок підприємства спецодягу і запобіжних пристосувань (окуляри, маски, респіратори, мило тощо) всім працюючої на особливо шкідливих роботах з перебуванням у ненормальній температурі.

Таблиця 6.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Факти ч. знач.	III клас вредн. і опасн. усл. і характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ :						
	<u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3р		90
	<u>III-IV клас небезпеки</u>						
	Ангідрид сірчастий	10	16,83	1,63р			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25р			90
2.	Масла мінеральні	5	6,78	1,36р		6,58р	90
	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	26,3				90
3.	Вібрація (загальна й локальна), дБ						
4.	Шум, дБ	80	105			25	100
5.	інфразвук, дБ						
6.	Ультразвук, дБ						
7.	Неіонізуюче випромінювання:						
	- радіочастотний діапазон, В/м						
	- діапазон промислової частоти, кв/м						
	- оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ³						
8.	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря, °С	18- 27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	<0,3				
	- відносна вологість повітря, %	55	32				
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м ³	140	411		411		83
9.	Температура навколишнього повітря (під час роботи на відкритому повітрі), °С						
	улітку						
10.	узимку						
11.	Атмосферний тиск						
	Вага і напруженість праці						

6.2 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Засоби захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії і призначення	Місце установки
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабінки і перегородки	Звукопоглинання і відбиття, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, у приміщенні оператора
Паровиділення	Витяжна вентиляція	Примусове механічне відсмок. пари, що утворилася	Над станом
Небезпечний рівень струму	ізоляція і огороження струмоведучих частин; заземлення й блокування	Захист від дотику до струмоведучих частин, захист від дотику до металевих частин устаткування. Захист від високих рівнів струму	Навколо струмоведучих частин, біля корпусів електродвигуна
Рухливі механізми	Запобіжники плавкі, пускачі дистанційні Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від зіткнення із частинами, що рухаються, і механізмами.	На панелях пульта керування
Метал що переміщається	Огороження і розмітка небезпечної зони. Знаки безпеки	Захист від травм під час руху й переміщення металу	На території небезпечної зони

Прокатний цех ставиться до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Тут діють такі шкідливі фактори виробничого середовища: висока температура повітря (перевищує 32⁰ С) запиленість повітря (перевищує в 2,13 рази ГДК) струмопровідним пилом, шум, інфрачервоне випромінювання. З огляду на, вищевикладене зробимо вибір мережі і покажемо на розрахунках, що вона задовольняє умовам безпеки.

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

По технологічних вимогах і за умовами безпеки самої оптимальної є чотирипровідна мережа із глухозаземленою нейтраллю, тому що вона дозволяє використати дві робочі напруги - лінійну і фазну. Від чотирипровідної мережі 380 В можна жити як силове навантаження - трифазне або однофазне, включаючи її між фазними проводами на лінійну напругу 380 В, так і освітлювальне, включаючи її між фазним і нульовим провідниками, тобто на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів і меншого перетину проводів.

У прокатному цеху застосовується природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі [21, 22].

Згідно СНіПу-4-79 роботи, виконувані персоналом при прокатці слябів, ставляться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи і вимог до якості освітлення. Для загального освітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становить 150Лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом; пунктах керування системами водопостачання, вентиляції і каналізації, у машинному залі і диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь потребуючі обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого освітлення, але не менш 2лк. Аварійне освітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5лк.

Для виробничих приміщень, у яких виробляються точні роботи, установлені три розряди з мінімальними нормами при комбінованому освітленні лампами накаливання: I розряд – для робіт, що вимагають розрізнення деталей розміром 0,1мм і менш - 400 – 1500 лк; II розряд – для робіт, що потребують розрізнення деталей розміром більше 0,1 до 0,3мм - 300 – 1000лк; III розряд – для робіт, що потребують розрізнення деталей розміром більше 0,3 до 1 мм – 200 – 500лк; IV розряд – для робіт малої точності, що вимагають розрізнення деталей розміром від 1,0 до 10мм - 100 – 150лк; V розряд – для грубих робіт, що потребують розрізнення деталей розміром більше 10 мм – 100лк.

Для обігріву цеху в зимову пору року уздовж стін на ділянках, де працюють люди, установлене водяне опалення. Для перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД-300. Вони розташовані так, щоб від них струмінь примусової подачі повітря сковзала уздовж прольоту.

Для огороження припливу холодного повітря під час в'їзду і виїзду транспорту над воротами встановлені для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16 - 20°C.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу, виділення пилу – незначне. Ділянка стана БШСГП 1680 ставиться до Ia групи: для забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції:

1ряд – на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд – на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд – на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. У літню пору для природної вентиляції використовуються також відкриті ворота. Але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), то передбачена система приточної вентиляції [21, 22].

ВИСНОВКИ

1. У загальній частині роботи розглянуто основні тенденції удосконалення технології і обладнання широкоштабових станів гарячої прокатки і перспективи застосування сучасних агрегатів для гарячої прокатки штаб. Відзначається, що за кордоном для отримання гарячекатаної штаби використовуються в основному неперервнолитої сляби, що виробляються на МНРС - машинах неперервного розливання сталі. Наводяться переваги прокатки слябів МНРС у порівнянні зі злитками, відлитими у виливниці.

Відзначається, що на даний час впровадження ливарно-прокатних модулів і станів нескінченної прокатки в Україні проблематично, оскільки це вимагає великих капіталовкладень. Тому актуальним є подальше вдосконалення технології і устаткування станів, що діють.

Наведено ефективні енергозберігаючі технології, які дозволяють значно знизити енерговитрати у прокатному виробництві, а також шляхи модернізації, реконструкції і компоновки основного обладнання листопрокатних цехів .

2. У технологічній частині роботи наведена характеристика існуючого виробництва цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь». Дана характеристика основного обладнання, приведена технологічна схеми прокатки на ШСГП 1680, схема розташування основного обладнання, характеристика транзитної прокатки.

Виконано оцінку стабільності якості листопрокатної продукції. До основних показників якості гарячекатаних штаб відносяться точність геометричних розмірів та рівень механічних властивостей металу. Встановлено, що найбільш раціональна форма поперечного перетину гарячекатаного штабового підкату – «чечевицеподібна». В узагальненому вигляді отримано вираз, що визначає раціональну величина опуклості штаби.

Дана характеристика технологічних мастил, які використовуються при гарячому прокатуванні штаб, вимоги до них, методи і обладнання для їх

застосування. Показано переваги, які утворюються при застосування мастил. Запропоновано використання водомасильних сумішей у якості мастил.

Запропоновано виконати реконструкцію чорнової групи клітей ШСГП 1680, замінивши існуючі кліть Дуо і чотири кліті Кварто на дві потужні універсальні реверсивні кліті, які дозволять прокатувати сляби завтовшки 200 мм і виконувати редукування ширини слябів для отримання штаби різноманітної ширини.

В технологічній частині виконано розрахунок режимів деформації і енергосилових параметрів прокатки в чорновій і чистовій групах клітей стана 1680 ПАТ «Запоріжсталь». Отримані дані наглядно представлені у таблицях і на схемі.

3. У механічній частині роботи наведено розрахунок на міцність станини прокатної кліті закритого типу. Результати розрахунків пружної деформації станини у програмному комплексі AutoCAD Mechanical співпадають з літературними даними, тобто з розрахунками за формулами у «ручному режимі». Це підтверджує доцільність використання комп'ютерної програми AutoCAD Mechanical для виконання розрахунків на міцність і деформацію елементів обладнання ОМД, як більш швидкісні, точні і наглядні.

4. В організаційній частині виконано оптимізацію виробничої програми відділення гнутих профілів ЦГПТЛ ПАТ «Запоріжсталь» шляхом вирішення задачі лінійного програмування розкрою рулонів на стрічки на агрегаті повздовжнього різання. Встановлено, що найменша кількість відходів утворюється при розкрою рулонів 1500 мм завширшки на стрічки заданої ширини і на задану кількість рулонів цих стрічок.

5. У розділі «Аналіз собівартості продукції» наведено основні визначення та показники, розрахунок рівня собівартості продукції та його аналіз.

6. У частині «Охорона праці та техногенна безпека» наведено аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища, розроблено заходи щодо захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Мазур В. Л., Ноговицын А. В.** Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения) : монография. Днепропетровск : РВА «Дніпро-VAL», 2010. 500 с.
2. **Данилов Н. И.** Основы энергосбережения : учебник. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 564 с.
3. **Скляр В. О.** Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии : уч. пособие. Донецк : ДонНТУ, 2014. 224 с.
4. **Беняковский М. А.** Автомобильная сталь и тонкий лист : монография. Череповец : Изд. дом «Череповец», 2007. 636 с.
5. **Коновалов Ю. В.** Справочник прокатчика : справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. Москва : «Теплотехник», 2008. 640 с.
6. **Майерл Дж.** Направления модернизации станов горячей прокатки полосы / Дж. Майерл, Г. Джумлия // Новости черной металлургии за рубежом. - 2005. - №9. - С. 41 – 44.
7. **Шепель А. А.** Совершенствование технологий и оборудования процесса прокатки на широкополосных станах первого поколения / А.А. Шепель // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – №5/1 (19). – С. 46 – 50.
8. **Сивак Б. А.** Модульный принцип – основа современной металлургии / Б.А. Сивак, А.В. Протасов // Тяжёлое машиностроение. – 2000. - № 5. – С. 2 – 6.
9. **Кокорин В. Н.** Применение смазочно-охлаждающих технологических жидкостей в производстве прокатки листового материала : учебное пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2004. 55 с.
10. **Фрикке Г.** Модернизация станов горячей прокатки полосы / Г. Фрикке, А. Ледерер // "Черные металлы". - 1998. - №7. - С. 3 – 10.
11. **Остапенко А. Л. и др.** Снижение энергозатрат при прокатке полос : монография. Киев : Техніка, 1983. 223 с.

12. **Николаев В. А.** Горячая прокатка листов и полос Учебное пособие. Часть 1. По дисциплине «Производство горячекатаных полос». / В.А. Николаев. Запорожье : ЗГИА, 2014. 176 с.
13. **Королев А. А.** Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станков учебник для ВУЗов. Москва : Metallurgy, 1985. 376 с.
14. **Целиков А. И.** Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката: учебник для ВУЗов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – Москва : Metallurgy, 1988. 680 с.
15. **Цепин М. А.** Использование специализированных программ при разработке технологических процессов обработки металлов давлением / М. А. Цепин, В.В. Бегнарский, Н. Л. Лисунец, М. В. Сеницын, М. А. Ерохов // Цветные металлы. – 2007. – № 5. – С. 98 – 101.
16. **Большаков В. П., Бочков А. Л.** Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. СПб. : Питер, 2013. 304 с.
17. **Боровік П. В.** Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінченних елементів: навч. посіб. Алчевськ : ДонДТУ, 2012. 170 с.
18. **Федорченков А. П., Кимаев А. М.** AutoCAD Mechanical. Практическое руководство. Москва : «ТехБук», 2004. 688 с.
19. **Шейко С. П. Коваленко А. К.** Устаткування цехів ОМТ : методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів ЗДіА спеціальності 7.090404 «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗДіА, 2011. 104 с.
20. **Проскурович О. В., Бойчук В. А.** Комп'ютерні технології економічного аналізу: Навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2012. 310 с.
21. **Румянцев В. Р., Панасейко С. П., Ткаліч і. О.** Охорона праці та техногенна безпека : метод. вказівки до виконання розділу дипломних проектів (робіт) для студ. ЗДіА (спеціалістів) напряму 6.050401 "Металургія . ЗДіА : Запоріжжя : ЗДіА, 2011. 43 с.
22. **Жидецкий В. Ц. и др.** Основы охраны труда : учебник для ВУЗов. Львов : Афиша, 2000. 351 с.

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

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізька міська рада
Запорізька обласна державна адміністрація
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Київський національний університет будівництва і архітектури
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Національний транспортний університет

МАТЕРІАЛИ

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

18-20 жовтня 2022 року

Запоріжжя

2022

алюмінатних розчинів під вакуумом проведено впливом на режим течії потоку в нагрівних трубках апарата та створенням по всій довжині трубок падаючої плівки.

Висновки.

1. Проаналізовано особливості випарювання розчинів у глиноземному виробництві.
2. Виявлено напрями інтенсифікації випарювання розчинів у глиноземному виробництві.

Список використаних джерел

1. Насекан Ю.П. Виробництво глинозему : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 190 с.
2. Иванов А.И., Насекан Ю.П., Иванова Л.П. Технология производства глинозема : монография. Запорожье : ЗГИА, 2005. 262 с.

УДК 621.771 (076)

Шибек М.П., магістрант 2 курсу,
Науковий керівник – к.т.н., доцент Проценко В.М.

СТАБІЛЬНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ШТАБ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЇЇ ПОКРАЩЕННЯ НА НЕПЕРЕРВНОМУ СТАНІ

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

До основних показників якості гарячекатаних штаб відносяться точність геометричних розмірів та рівень механічних властивостей металу. Діючі стандарти обумовлюють допустимі відхилення по товщині і ширині штаб, а також відхилення від площинності. Актуальність роботи полягає у зменшенні поля розкиду розмірів штаб, що дозволяє заощаджувати значну кількість металу. До металу, призначеного для подальшої холодної прокатки (підкату), пред'являються особливо високі вимогами. Норми, передбачені, наприклад, у ГОСТ 19903, не забезпечують стабільність процесу холодної прокатки та високу якість готової продукції. Насамперед додаткові вимоги відносяться до профілю поперечного перетину гарячекатаних штаб.

Досвід показує [1], що найбільш раціональна форма поперечного перерізу гарячекатаного штабового підкату – сочевицеподібна. Випуклість профілю повинна становити 0,05-0,12 мм залежно від ширини, товщини та призначення холоднокатаних штаб. Так, підкат для жерсті шириною 700-900 мм повинен мати опуклість трохи більше 0,05 мм, для автомобільного листа – 0,08 мм. Максимальна опуклість підкату товщиною до 3 мм, шириною до 1250 мм – 0,08 мм, товщиною понад 3 мм та шириною від 1250 до 1500 мм – 0,12 мм. В узагальненому вигляді можна вважати, що раціональна величина опуклості

повинна перебувати між двома граничними значеннями: шириною підкату (B) та товщиною підкату (h).

Важливим показником є клиноподібність штаб. Вона не має перевищувати 1% від товщини штаб (на 1 м ширини). Профіль штаб має бути симетричним. Місцеві (локальні) потовщення не повинні перевищувати 0,3 величини опуклості профілю поперечного перетину.

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.

УДК 621.771.01

Щербань М.А., магістрант 2 курсу
Науковий керівник – д.т.н, професор Белоконь Ю.О.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ДЕФОРМАЦІЇ НА НЕПЕРЕРВНИХ СТАНАХ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

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

На широкоштабових станах холодної прокатки (НСХП) відносний обтиск по клітках стану розподіляють по декількох варіантах:

- 1) максимальний відносний обтиск призначають в першій клітці стану;
- 2) максимальний відносний обтиск призначають в другій клітці стану;
- 3) відносний обтиск практично однаковий в усіх клітках стану, окрім чистової, в якій воно менше;
- 4) відносний обтиск практично однаковий в усіх клітках окрім першої, де воно менше.

У першому варіанті максимально використовують пластичні властивості гарячекатаного підкату при деформації металу в першій клітці стану при недостатній потужності електродвигунів в подальших клітках, а також при прокатці тонких штаб ($h = 0,4 - 0,5$ мм) на п'ятикліткових станах. Крім того, цей режим деформації дозволяє збільшити товщину гарячекатаного підкату і в той же час підвищити продуктивність широкоштабового стану гарячої прокатки.

Другий режим деформації штаб забезпечує вирівнювання подовжньої різнотовщинності штаби в першій клітці при порівняно невеликому обтиску ($\epsilon = 14 - 25\%$) і достатній потужності приводів в подальших клітках. Раціональний розподіл відносного обтиску в другому варіанті забезпечує прокатку штаб в 2х - 3х клітках стану з однаковим тиском металу на валки. Це дозволяє отримувати високу якість поперечного профілю штаби за рахунок однакових пружних деформацій комплекту валка і подібної форми міжвалкового зазору в клітках.