

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота / проект**

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Удосконалення технології виробництва гарячекатаного рулонного прокату на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою зниження енерговитрат і підвищення якості продукції**

Виконав: студент II курсу, групи МЕТ-18-3мд  
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

К.Р. Андрєєва

(ініціали та прізвище)

Керівник

доц. каф. ОМТ, с.н.с., к.т.н.

В.М. Проценко

Рецензент

доц. каф. ОМТ, доц, к.т.н.

Ю.О. Белоконь

Запоріжжя  
2020

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

Факультет \_\_\_\_\_ металургії \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ обробки металів тиском \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) рівень \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 136 «Металургія» \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ Обробка металів тиском \_\_\_\_\_  
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОМТ

\_\_\_\_\_ О.В. Явтушенко

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТЦІ

\_\_\_\_\_ Андрєєвій Ксенії Романівні \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Удосконалення технології виробництва гарячекатаного рулонного прокату на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з метою зниження енерговитрат і підвищення якості продукції.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “16” 04. 19 р. № 583-с

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 24 грудня 2019 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. Аналіз собівартості продукції. Заходи з поліпшення умов праці при виробництві гарячекатаних штаб.

Мета кваліфікаційної роботи - проаналізувати існуючі технології виробництва гарячекатаних штаб, запропонувати рекомендації по удосконаленню технології і устаткування шляхом реконструкції чорнової групи клітей стана

1680, 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, заходи щодо забезпечення економії енергії і якості при виробництві. Розробити технічні рішення щодо переведення ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» на прокатку неперервнолитих слябів МНРС і реконструкції чорнової групи клітей стана для прокатки слябів завтовшки 200 мм. Виконати розрахунки режимів обтиснення, енергосилових параметрів прокатки, валків 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 валків кліті кварто і станини на міцність і деформацію.

#### 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 30.09.2019 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи   | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1.    | Реферат, вступ, загальна частина.   | 30.09.19-25.10.19             |          |
| 2.    | Спеціальна і механічна частини.   | 28.10.19-29.11.19             |          |
| 3.    | Охорона праці, економічна частина, висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації. | 02.12.19-11.01.20             |          |

**Студент**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Андрєєва К.Р.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Проценко В.М.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Нормоконтроль пройдено**

**Нормоконтролер**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Явтушенко О.В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## Реферат

Пояснювальна записка дипломного проекту (роботи) містить: 112 с., 31 рис., 20 табл.; використано літературних джерела 18.

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, запропонувати рекомендації по удосконаленню технології і устаткування шляхом реконструкції чорнової групи клітей стана 1680, 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 2019, Mathcad Prime 6.

Отримані результати і їх новизна – визначено основні тенденції розвитку і удосконалення технології виробництва штаб, забезпечення економії енергії і якості при гарячому прокатуванні штаб. Запропоновано замінити існуючі кліті чорнової групи стана на дві потужні реверсивні універсальні кліті. Це дозволить перевести ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» на прокатку неперервнолитих слябів МНРС, що значно зменшить енерговитрати, поліпшить якість і розширить сортамент продукції.

Виконано розрахунок валків кліті кварто і станини прокатної кліті закритого типу на міцність і деформацію із застосуванням програмного комплексу AutoCAD Mechanical 2019. Отримані результати рекомендуються для впровадження на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ПРОКАТНИЙ СТАН, РЕВЕРСИВНА КЛІТЬ, ПРОКАТНІ ВАЛКИ, ЕНЕРГОВИТРАТИ, СОРТАМЕНТ, ШТАБА, ШСГП.

## Abstract

The explanatory note of work of the master contains: 112 pages, 31 figures, 20 tables. It is used references 18.

A research object is the broadband rolling mill of the hot rolling of SHSGP a 1680 «Zaporizhstal» PSC that technology of rolling on him of roll rental from the low-carbon brands of steel.

The purpose of work of the master is determination of basic progress and improvement of technology of making trends staff, development of technology of production of manufacture of hot roll rental from to continuously cast slab in terms «Zaporizhstal» PSC.

Methods of calculations are standard methods of calculations which are utilized in a rental production. Calculations and computer design in the system of SAPR AutoCAD Mechanical 2018, Mathcad Prime 5.

It is got results and their novelty of – визначено basic progress, perfection of technology of production trends staff, providing of economy of energy and quality at the hot rolling staff. Technical solutions are offered on perfection of technology and mechanical equipment for the production of hot strips in the conditions of SHSGP 1680, which will allow to extend the assortment of products, promote its quality at simultaneous economy of resources and energy, as a result, to promote efficiency of production staff in terms «Zaporizhstal» PSC.

The calculation of rollers of cage of quarto is executed on durability and deformation with application of programmatic complex AutoCAD Mechanical 2018. Three-dimensional contour graphic arts are built in the program Mathcad Prime 5. The got results are recommended for introduction on «Zaporizhstal» PSC.

HOT ROLLING OF STRIPS, FLATTING MILL, RENTAL ROLLERS, POWER AND FORCE PARAMETERS, ASSORTMENT, SHSGP, BENDING of ROLLER.

## ЗМІСТ

|  |         |
|--|---------|
| ВСТУП .....  | с.<br>8 |
| 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА .....   | 10      |
| 1.1 Тенденції розвитку технологій і удосконалення обладнання широкоштабових станів гарячої прокатки (ШСГП) ..... | 10      |
| 1.2 Стан і перспективи застосування деяких спеціальних видів прокатки штаб .....                                 | 17      |
| 1.3 Модернізація, реконструкція і компоновка основного обладнання листопрокатних цехів .....                     | 23      |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....   | 33      |
| 2.1 Характеристика існуючого виробництва цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь» .....            | 33      |
| 2.2 Валки широкоштабового стана гарячої прокатки .....   | 39      |
| 2.3 Постановка задачі дипломного проекту .....   | 41      |
| 2.4 Характеристика прокатного стана за новою технологією .....   | 45      |
| 2.5 Завдання розробки режимів деформації .....   | 49      |
| 2.6 Розрахунок параметрів злитка .....   | 51      |
| 2.7 Розрахунок режимів обтиснень в чорновій групі клітей .....   | 52      |
| 2.8 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чорновій групі клітей .....                                   | 57      |
| 2.9 Розрахунок крутних моментів прокатки в чорновій групі .....  | 62      |
| 2.10 Температурний режим прокатки в чорновій групі клітей .....  | 63      |
| 2.11 Розрахунок режимів обтиснень при прокатуванні в чистовій групі клітей ШСГП 1680 .....                       | 64      |
| 2.12 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чистовій групі клітей .....                                  | 69      |
| 2.13 Технологія прокатки у вертикальних валках .....   | 73      |
| 3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА .....  | 78      |
| 3.1 Постановка задачі дослідження .....  | 78      |
| 3.2 Методика дослідження .....   | 79      |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3 Розрахунок робочого і опорного валків ШСГП 1680 на міцність і деформацію .....                                   | 79  |
| 3.4 Результати розрахунків листового валка на міцність і деформацію .....  | 86  |
| 4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ СТАНИНИ ПРОКАТНОЇ КЛІТИ .....   | 92  |
| 4.1 Станини закритого типу .....   | 92  |
| 4.2 Жорсткість робочих клітей .....  | 94  |
| 4.3 Розрахунок пружної деформації і напружень станини робочої кліті у програмному комплексі AutoCAD Mechanical ..... | 95  |
| 5 АНАЛІЗ СОБІВАРТОСТІ ПРОДУКЦІЇ .....  | 100 |
| 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....  | 104 |
| 6.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища .....                                  | 104 |
| 6.2 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів .....                                | 106 |
| ВИСНОВКИ .....   | 109 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....   | 111 |
| Додаток А - Публікація за темою кваліфікаційної магістерської роботи .....   | 113 |

## 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. 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 зарубіжних фірм.

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. На цих станах прокатують листи і штаби завтовшки від 1-1,2 до 12-16 мм і шириною до 1850 - 2150 мм.

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

Аналіз робіт показав, що найбільш широкого розповсюдження для виробництва широкої гарячекатаної штаби отримали неперервні і напівнеперервні ШСГП. Неперервні ШСГП характеризуються послідовним розташуванням клітей, розділених на чорнову (4 - 7 клітей) і чистову (6 - 8 клітей) групи. У кожній кліті чорнової групи здійснюється тільки один пропуск, а в чистовій групі прокатка ведеться неперервним способом. Напівнеперервні ШСГП на відміну від неперервних, в чорновій групі мають одну або дві реверсивні кліті, де здійснюється необхідне число проходів.



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 це вимагає великих капіталовкладень. Тому актуальним є визначення тенденцій розвитку і подальше вдосконалення технології і устаткування станів, що діють.

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

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати етапи розвитку, і так само існуючі технології і специфіку компоновки устаткування ШСГП. Виявити основні недоліки і тенденції розвитку ШСГП.

Машини неперервного розливання сталі (МНРС) мають великі переваги перед злитками, відлитими у виливниці; зокрема значно зменшуються витрати на виробництво і поліпшується якість продукції. Товщина слябів, відлитих на МНРС становить 200 – 260 мм. Але на існуючому ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» прокатуються сляби товщиною 105 – 168 мм. Тобто задача, яку необхідно вирішити полягає у тому, щоб виконати реконструкцію чорнової групи клітей стана ШСГП 1680 таким чином, щоб з'явилась можливість прокатування слябів завтовшки 200 мм.

Крім того, необхідно передбачити можливість редукування ширини сляба для отримання штаб різної ширини, оскільки 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.

Мета роботи – проаналізувати існуючі технології виробництва гарячекатаних штаб, запропонувати рекомендації по удосконаленню технології і устаткування шляхом реконструкції чорнової групи клітей стана 1680, 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)

Аналіз техніко - економічних показників роботи ШСГП показує, що підвищення якості продукції, розширення марочного сортаменту сталей і розмірного інтервалу тонколистового прокату, що випускається, можна швидше і ефективніше досягти не великими інвестиціями в будівництво нових широкоштабових станів, а постійною "покроковою" реконструкцією вузлів, механізмів і систем; модернізацією окремих ділянок технологічної лінії шляхом установки нових агрегатів замість застарілих; розділенням функції агрегату на два або три агрегати, з метою підсилення їх впливу на технологічний процес; перестановкою агрегатів, з об'єднанням їх в неперервні технологічні лінії, відповідно до вимог ринку тонкої, міцної і пластичної листової сталі, що постійно змінюються і посилюються, і в першу чергу автомобільною промисловістю, "законотворчість" якої - основний двигун підвищення всіх видів властивостей сталі, точності розмірів і рівня планшетності тонколистового прокату [1].

#### *Нагрівальні печі*

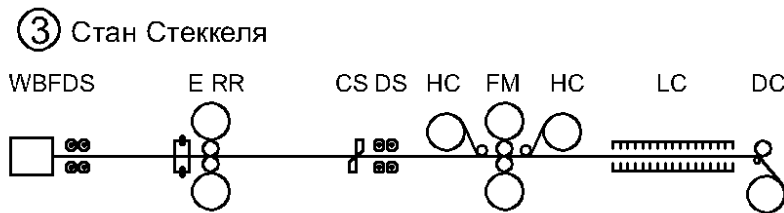
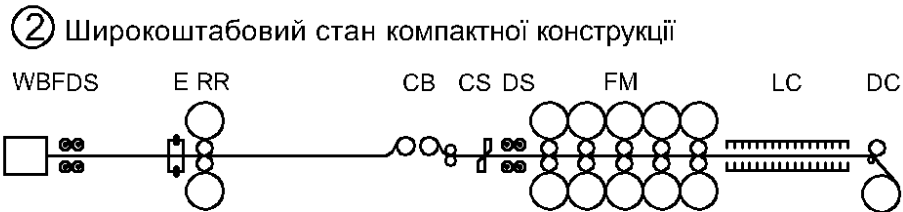
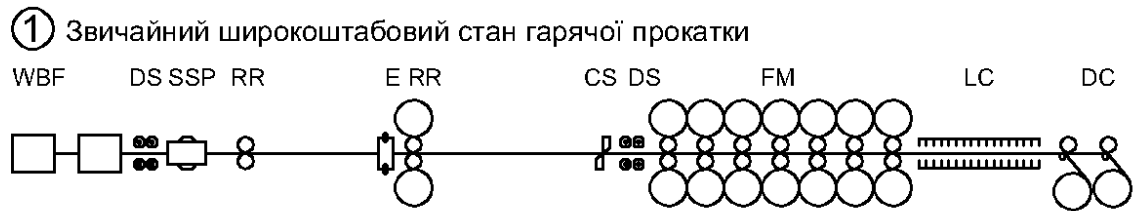
Сучасні широкоштабові стани отримують сляби конвертерної сталі транзитом з МНРС і зі складу для нагріву або підігріву, що забезпечує їх прокатку на тонкі штаби з температурою в останній кліті в області Агз. Нагрів або підігрів здійснюють зазвичай в багатозонних печах. У цих печах, обладнаних легко і точно керованими пальниками, прагнуть до створення умов, сприяючих нагріву сляба до практично однакової температури металу за всім його обсягом, або монотонним регламентованим збільшенням її до того кінця сляба, який буде "хвостом" розкату, що сприяє отриманню тонкої сталевий штаби однакової товщини по її довжині.

Печі ШСГП можна розділити на два основні класи: штовхательні, в яких сляби переміщуються уздовж зон нагріву до вікна видачі на відповідний рольганг стану за рахунок штовхання всього плоту у вузьку грань чергового сляба біля вікна його завантаження; і печі з "крокуючими" балками, в яких сляби переносяться трубами - балками "крок за кроком" із заданим режимом нагріву інтервалом часу на регламентовану конструкцією відстань від вікна завантаження до вікна видачі на відповідний рольганг. В цьому випадку виключається пошкодження нижньої поверхні слябів, як це має місце в печах з штовхачем, в яких сляб травмується під час ковзання по рейтерам гліссажних труб або на суцільному поді томильної зони. Тобто печі з рухомими балками мають більш високі техніко – економічні і експлуатаційні показники роботи.

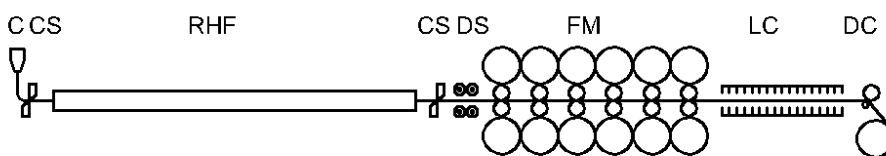
#### *Обладнання широкоштабових станів гарячої прокатки*

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. 1.1.

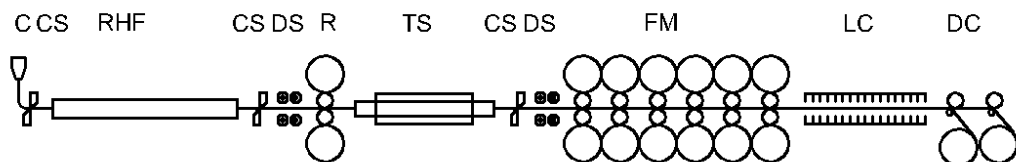
Будівництво компактних широкоштабових станів не вимагає значних капітальних витрат як на створення устаткування для прокатки штаб, так і на споруду будівлі прокатного цеху. Їх зводять в тих країнах і регіонах всього світу, де бурхливо розвивається автомобільна промисловість, яка останніми роками охоче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



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 1.1** – Схеми сучасних агрегатів для гарячої прокатки штаб

У складі устаткування станів, представлених схемами, проміжний пристрій перемотування, нерідко з поряд встановленою 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 прокатка штаб відповідно до заданої структури і властивостей готового прокату.

Прокатні кліті обладнані гідравлічними механізмами різного призначення, приладами всебічного вимірювання і контролю властивостей і розміру прокату, пристроями, здатними впливати в процесі прокатка 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.

Нові широкоштабові стани встановлені в останніх 15 - 20 років на металургійних комбінатах Південної Кореї, Китаю, Індії і ін. країн. Звертає увагу те, що практично всі знов зведені стани – напівнеперервні або три чверті неперервні. В цьому випадку довжина стана помітно менше довжини неперервного стана, що зменшує вартість будівництва як стана, так і будівлі, в якій він розміщується.

Устаткування ШСГП за вісімдесят років вдосконалення відмічене п'ятьма віхами на шляху до сучасного інноваційного виробництва листової сталі. Перше покоління ШСГП почало розвиватися в 1923 - 1926 rr. у зв'язку з тим, що була потрібна величезна кількість листового прокату для автомобілебудування. До кінця цього етапу річна продуктивність стана складала 1,5 - 2,5 млн. т.

Розширення сфер застосування листової сталі і підвищення вимог до її якості стало причиною створення в 1958 - 1960 pp. ШСГП другого покоління. Ці стани відрізнялися можливістю отримання рулонированої листової сталі із слябів підвищеної маси. На цьому етапі розвитку ШСГП об'єм їх виробництва збільшився до 3,5- 4,0 млн. т сталевого прокату в рік.

Проте промисловість і будівництво продовжувало споживати листову сталь в зростаючих масштабах. Виникла потреба в гарячекатаних штабах шириною до 2000 мм і більше, а також в штабах товщиною 1 мм і менше. Знов були посилені вимоги, що пред'являються до точності розмірів, ступеня планшетности, стану поверхні і фізико - механічних властивостей гарячекатаних штаб. Визначені показники якості гарячекатаних штаб, що використовувалися там, де раніше використовувалася холоднокатана листовая сталь. У зв'язку з цим в кінці 60 -х років спроектовані і побудовані ШСГП третього покоління. Річна продуктивність їх досягла 5,0 - 6,0 млн. т. Відносна маса рулону знаходилася в межах 27,0 - 35,7 кг/мм ширини штаби. Швидкість прокатка в останній кліті стана досягла 23,3 - 34,3 м/с.

Створенню ШСГП супроводило освоєння в 1968 - 1969 рр. машин безперервного розливання конвертерної сталі, найбільш придатної для виробництва тонколистового прокату відповідального призначення. Розвитку станів третього покоління сприяло створення в ті ж роки нового типу нагрівальних печей, обладнаних крокуючими балками. Застосування крокуючих балок дозволило вирішити проблему переміщення уздовж печі слябів великої маси, відлитих на МНРС, а також проблему рівномірного нагріву їх по товщині.

Всього 10 років було потрібно листопрокатникам, щоб перейти від виробництва штаб на ШСГП другого покоління до ШСГП третього покоління, в три рази менше, ніж у разі переходу від першого до другого покоління. Ще менше часу було потрібно для створення і введення в роботу станів четвертого покоління.

В останнє десятиліття ХХ століття науково - технічний прогрес металургії чорних металів відмічений видатними рішеннями в області виробництва плоского прокату. Це дозволило створити ШСГП п'ятого покоління. Стани оснащені системами автоматичного управління механізмами практично на всіх рівнях приводу і робочих клітей, системами автоматизованого управління температурним режимом прокатка і

переміщення штаби від входу в першу чорнову кліть до виходу з останньої кліті чистової групи стана і згортання її в рулон, системами автоматичного контролю всіх параметрів якості прокату. З'явилася можливість прокатки штаб широкого розмірного і марочного сортаменту, можливість управляти мікроструктурою прокатуваної сталі.

Разом з оптимізацією потужності ШСГП п'ятого покоління, досліджується раціональний склад і ефективне розміщення чорнових клітей стана. У ряді прокатних цехів металургійних підприємств 2 - 3 чорнові кліті встановлюють в безперервну групу, що помітно зменшує її довжину. З тією ж метою для підготовки розкату до чистової групи клітей встановлюють 1 - 2 реверсивні кліті.

При створенні ШСГП п'ятого покоління особливу увагу приділяли проблемі збереження тепла, накопиченого слябом в процесі його розливання на МНРС, прагнучи скоротити витрати на нагрів їх в методичних печах з крокуючими балками (витрати на теплову енергію, споживану печами стана, майже в два рази більше витрат на електроенергію, що витрачається на прокатку штаб). Відповідно до цього нерідко застосовують гарячий всад. Ефективний також метод збереження тепла розкату, згорнутого в рулон, або переміщення його по закритому проміжному рольгангу, обладнаному тунельною печу або теплоізоляційними (щитами) панелями. Покриті усередині тонкими листами спеціальних сплавів, поверхня яких має високу відбивну здатність, вони практично ліквідовують втрати тепла радіацією.

Разом з тенденцією в області вдосконалення ШСГП п'ятого покоління розробляти, створювати і застосовувати устаткування для економії теплової енергії при виробництві штаб, має місце тенденція скорочення витрати електроенергії в системах головного приводу стана шляхом застосування технологічного мастила. У разі подачі емульсії в зону осередку деформації металу зменшується коефіцієнт тертя між поверхнями робочих валків і штаби, а також поліпшується стан її поверхні і збільшується тривалість компанії валків.

Підвищення якості тонких сталевих штаб - помітна тенденція вдосконалення устаткування ШСГП п'ятого покоління. Їх продуктивним устаткуванням, "інструментом", що формує профіль гарячекатаної штаби, забезпечує її планшетність, є валки. Для осьового зсуву їх і попарного схрещування застосовується автоматизоване високоточне устаткування. Переміщення валків у вертикальній площині здійснюється високошвидкісними гідравлічними системами, що замінили електромеханічні. Знайдені оригінальні і високоефективні контури робочих валків (S - образний профіль), що створюють заданий контур осередку деформації протягом всієї компанії валків шляхом їх взаємного зрушення в осьовому напрямі в заданий момент виробництва, щоб компенсувати знос своєї поверхні в місцях контакту з підстиваючими кромками штаб, що попереджає їх локальне потовщення.

Застосування робочих валків, контур яких відповідає їх спеціальному призначенню, оснащених системою їх противигину, дозволяє отримувати на станах п'ятого покоління гарячекатані штаби, "геометрія" яких відповідає найвищим вимогам. Цьому сприяє контрольоване зонне охолодження робочих валків, тонко регулююче їх контур (профіль). Для цих цілей застосовують нове покоління автоматизованого обладнання, у складі якого система вимірювання температури їх поверхні.

Вдосконалення устаткування ШСГП п'ятого покоління з метою підвищення їх продуктивності - як і раніше в центрі уваги розробників сучасних технологій. Одним з надійних і ефективних шляхів підвищення продуктивності стана є застосування обладнання, що дозволяє вести нескінченну прокатку. Проте такий режим прокатки найуспішніше може бути застосований для виробництва штаб вузького сортаменту.

Підвищенню продуктивності стана може сприяти шліфівка робочих валків безпосередньо в кліті, або застосування устаткування для швидкої заміни валків.

До проблем, які чекають свого вирішення відноситься створення на ШСГП устаткування, яке б дозволило вести прокатку тонких штаб, що можуть



скласти конкуренцію штабам, отриманим на ливарно - прокатних агрегатах (ЛПА), створення яких на міні - заводах стало провідною тенденцією розвитку виробництва листового прокату в ХХІ столітті.

Все ще залишається проблемою можливість виробництва штаб широкого розмірного сортаменту із слябів, що не відрізняються розмірами по товщині і ширині [1, 2].

## **1.2 Стан і перспективи застосування деяких спеціальних видів прокатки штаб**

Процес подовжньої прокатки в циліндрових валках – основа пластичної деформації металу при виробництві плоского прокату. При цьому пластична деформація металу здійснюється між приводними робочими валками, встановленими безпосередньо в осьовому напрямі, перпендикулярному напрямку прокатки. Для підвищення жорсткості валкового вузла застосовують опорні валки, на підшипники яких передається зусилля прокатки [3].

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

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

По-друге, розливання тонких слябів на МНЛЗ поєднується з їх прокаткою. Метал деформується в двофазній і однофазній областях безпосередньо на МНЛЗ. В цьому випадку актуальним завданням стає використання разом з подовжніми зсувних деформацій металу для кращого

руйнування литої структури. Крім того, низька швидкість розливання металу на МНЛЗ істотно подовжує час контакту гарячого металу з валками, тим самим погіршуючи теплові умови їх роботи.

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

По-четверте, перевалка робочих валків при листовому прокатуванні часто буває обумовлена не стільки станом їх поверхні, скільки зносом бочки валка в межах ширини прокатуваної штаби. Є підстави вважати, що причина положення, що склалося, полягає в самій суті реалізації процесу подовжньої прокатки, коли при деформації металу періодично оновлюється поверхня робочого валка тільки по периметру його поперечного перетину. Стає очевидною необхідність безперервного оновлення поверхні валка по довжині бочки. Це можливо, якщо в процесі деформації металу нижньому і верхньому робочим валкам разом з обертанням додати зустрічне або човниково-зустрічне осьове переміщення.

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

і залежно від вирішуваного завдання, можуть бути також схрещеними один щодо одного або паралельними.

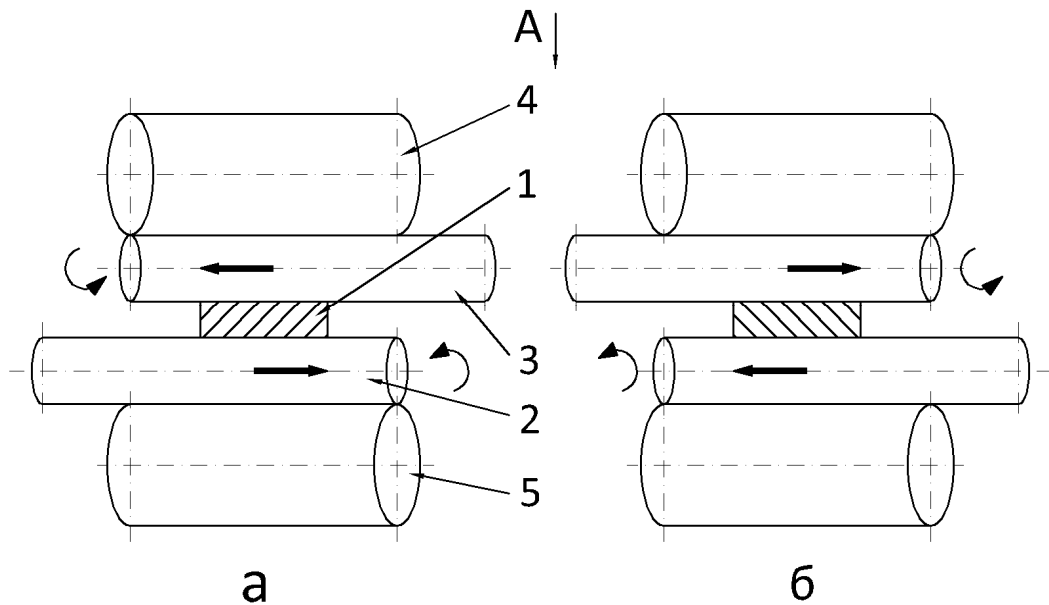
В цьому випадку в контактах кожного робочого валка із штабою і робочим валком виникають осьові по відношенню до робочого валка навантаження, під дією яких створюються навантаження, під дією яких створюються умови для переміщення робочого валка, що обертається, в осьовому напрямі за наявності металу в осередку деформації. Причому вказане осьове переміщення верхнього і нижнього робочих валків протилежно по напрямку і тим самим реалізується їх зустрічний осьовий рух. При необхідності човниково-зустрічного осьового переміщення робочих валків (така необхідність виникає у міру подовження прокатуваної заготовки, досить змінити напрям схрещування робочих валків або їх перекосів щодо опорних валків або і того і іншого разом (рис. 1.2).

Таким чином, в процесі подовжньої прокатки в циліндрових валках реалізується човниково-зустрічне осьове переміщення робочих валків безпосередньо при деформації металу. Тим самим одночасно з оновленням контакту поверхні робочого валка з металом по периметру його поперечного перетину, відбувається його оновлення по периметру подовжнього перетину валка. Швидкість осьового руху робочих валків, перш за все, залежить від швидкості їх обертання, кута перекосу між робочими і опорними валками, а також кута схрещування робочих валків.

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

На рис. 1.3 показано взаємне розташування осей робочих і опорних валків, при реалізації нових положень процесу подовжньої прокатки. Робочі валки схрещені на кут  $2\alpha$ , опорні – на кут  $2\beta$ , причому напрям повороту кожного робочого валка і опорного валка, що контактує з ним, однаковий. У

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



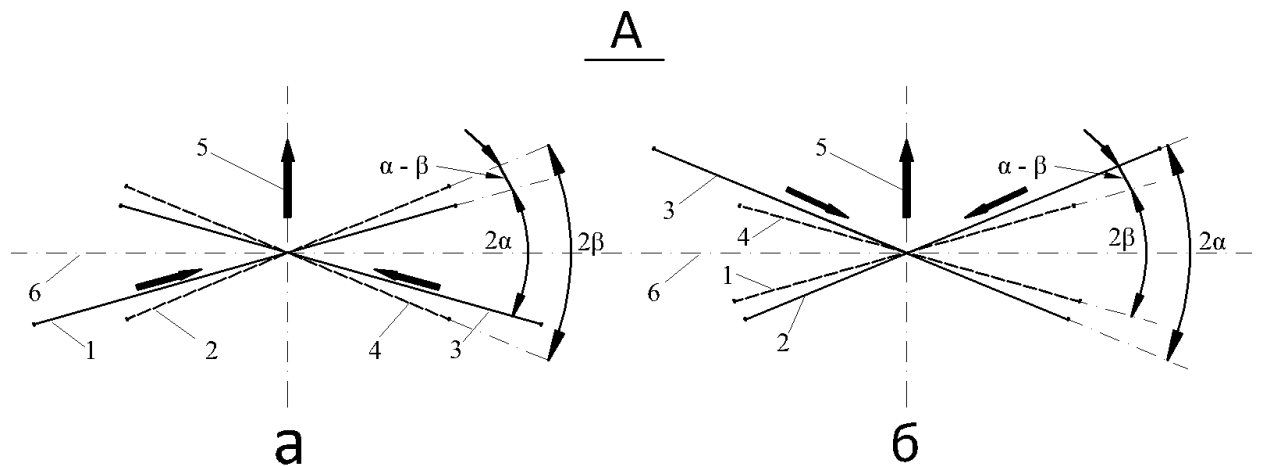
**Рисунок 1.2** – Початкове розташування валків в кліті кварто при зустрічному («а» або «б») або човниково-зустрічному («а» і «б») осьовому переміщенні робочих валків при подовжньому прокатуванні: 1 – прокатуваний метал; 2 і 3 – робочі валки; 4 і 5 – опорні валки; горизонтальні стрілки указують напрями осьового руху робочих валків. Стрілкою А показаний вигляд на рисунку 1.3.

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

Значення кутів  $2\alpha$  і  $2\beta$  визначаються вирішуваними в процесі подовжньої прокатки завданнями, проте передбачається, що кути  $2\beta$  не перевищують  $3^\circ$  і що модуль кутів  $|\alpha - \beta|$  на порядок менше значень кута  $2\beta$ .

В процесі подовжньої прокатки можливе часткове і комплексне вирішення вказаних завдань і відповідно часткова або комплексна реалізація відмічених нових положень. Природно, що завдання, що вирішуються при

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



**Рисунок 1.3** – Схема взаємного розташування осей робочих і опорних валків в кліті кварто в процесі подовжньої прокатки (вигляд А на рис. 1.1): а)  $2\alpha_1 < \beta$ ; б)  $2\alpha_2 > \beta$  ( $2\beta = \text{const}$ ;  $2\alpha_i$  – кут схрещування осей робочих валків;  $2\beta$  – кут схрещування опорних валків;  $\alpha_i - \beta$  – кут між робочим і контактуючим з ним опорним валком); 1, 3 – робочі валки; 2, 4 – опорні валки; 5 – напрям прокатки; 6 – вертикальна площина, перпендикулярна напрямку прокатки.

Реалізація розглянутого процесу подовжньої прокатки, що передбачає безперервне оновлення контакту поверхні бочки робочого валка з прокатуваним металом по периметру подовжнього перетину валка, в перспективі дозволяє:

- на листопрокатних комплексах МНЛЗ – ШСГП гарячої прокатки здійснювати безпрограмну прокатку;
- на МНЛЗ тонких слябів підсилити руйнування литої структури;

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

При проектуванні ливарно-прокатних 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 [4]. 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. 1.4.

Таким чином можна зробити висновок: в даний час не існує будь якого універсального методу обробки металів тиском, що забезпечує однаково

ефективне вирішення конкретних технологічних завдань. Досягти максимального ефекту 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.

### **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 [5].

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.

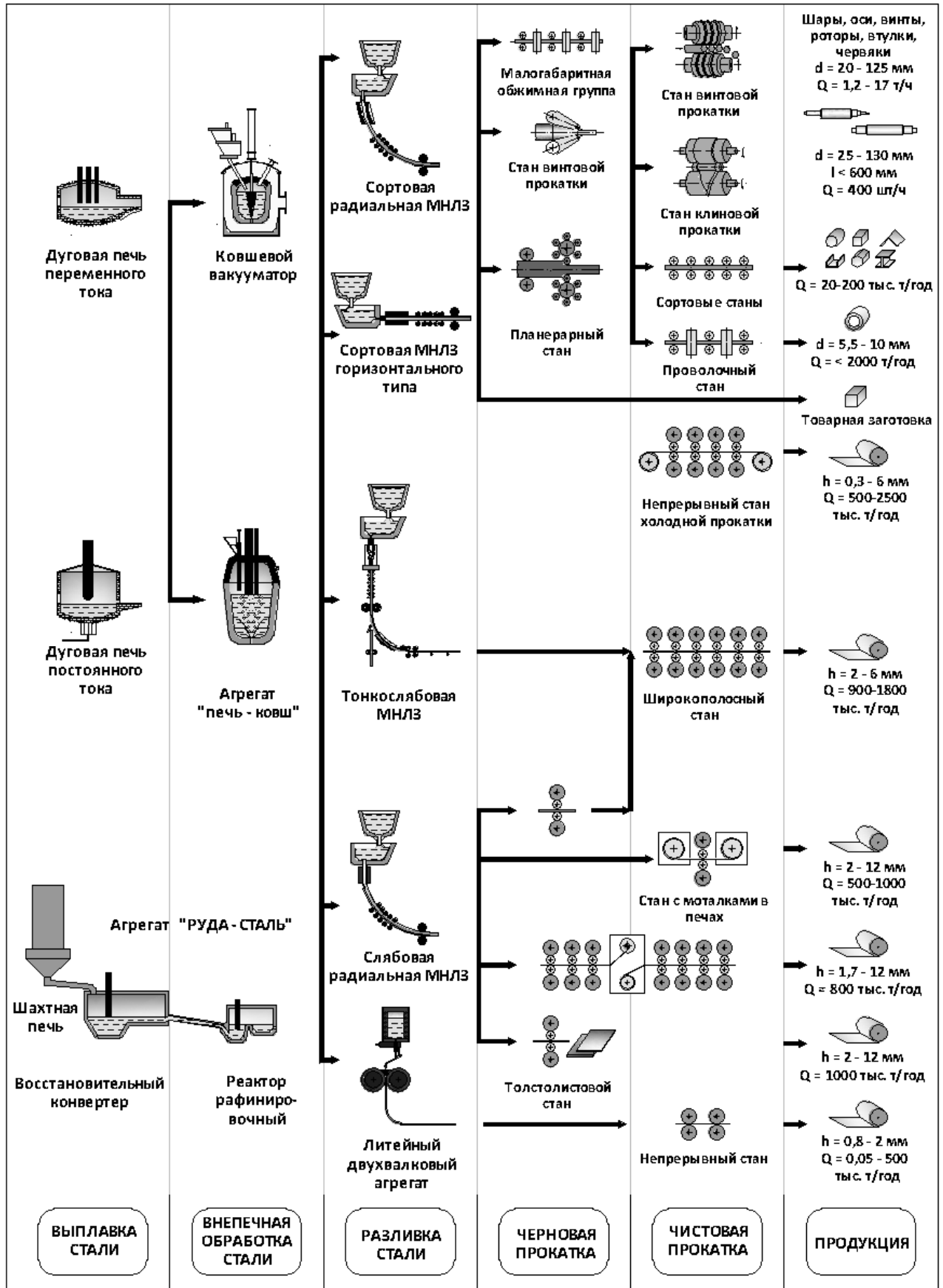


Рисунок 1.4 – Різновиди сучасних модулів для міні – заводів



Таблиця 1.1 – Модернізація неперервного стана гарячої прокатки

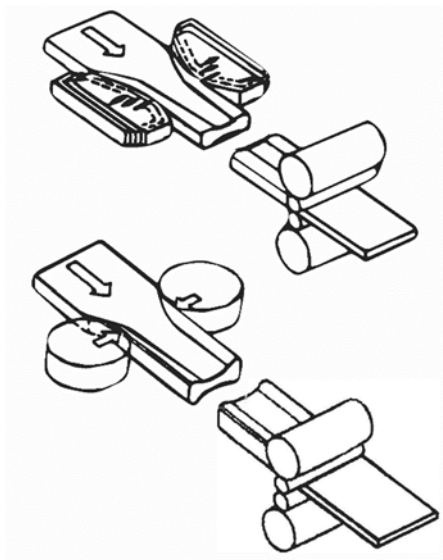
| Об'єкт модернізації  | Зменшення витрат на виробництво |   |   |   | Адаптація до вимог ринку |   |   |
|--|---------------------------------|---|---|---|--------------------------|---|---|
|  | 1                               | 2 | 3 | 4 | 5                        | 6 | 7 |
| Ділянка печі   | X                               |   |   | X | X                        |   |   |
| Нова вимірювальна система, системи автоматизації першого і другого рівня |                                 |   |   |   |                          |   |   |
| Чорнова група клітей   |                                 |   |   |   |                          |   |   |
| Окапиноламач   |                                 |   |   |   | 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 стану. Для цього застосовують вертикальні короткі валки - еджері, або плоскі бойки - редукуючі преси, які встановлюють в лінію стану, перед входом в його першу кліть. Взаємне положення слябів, еджерів і бойків пресу показано на рис. 1.5.

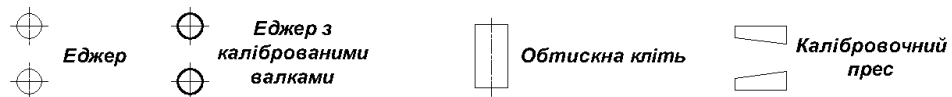


**Рисунок 1.5** - Схема взаємного положення слябів, валків еджера і бойків редукуючого пресу

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

|                                       |    |     |     |     |     |
|---------------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Обладнання</b>                     |    |     |     |     |     |
| <b>Програма прокатки</b>              |    |     |     |     |     |
| <b>Число проходів</b>                 | 3  | 5   | 5   | 6   | 3   |
| <b>Максимальне обтискання, мм</b>     | 60 | 170 | 100 | 170 | 300 |
| <b>Збільшення тривалості прокатки</b> | Ні | Так | Ні  | Ні  | Ні  |



**Рисунок 1.6** – Схеми і параметри технологічного процесу калібрування ширини слябів [1]

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:

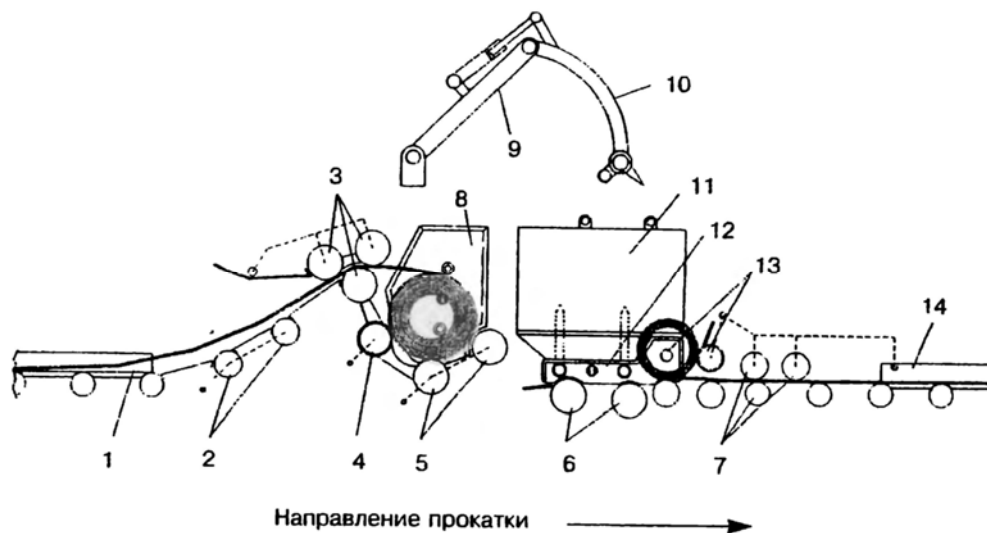
- управління програмою прокатки широкого марочного і розмірного сортаменту штаб стає гнучкішим і оперативним;
- процес нагріву слябів однорідної ширини стабілізує режим роботи печей, особливо штовхательних;
- створюються сприятливі умови для формування плоту слябів на декілька печей ШСГП.

Температури розкату перед чистовою групою клітей ШСГП, штаби на виході з цієї групи клітей і перед згортанням її в рулон, - рівень і стабільність в процесі переміщення їх по технологічній осі стана, - параметри, які визначають долю тонколистового виробництва: якість продукції і продуктивність агрегатів. Тому увага конструкторів листопрокатного обладнання прикована до проміжного і відвідного рольгангів, на яких ці температури формуються. Розробляються системи і способи найбільш ефективною стабілізації температури металу або, там, де це потрібно, в лічені секунди готові змінити її.

Гаряча прокатка штаб супроводжується значним зниженням температури металу під час його переміщення по технологічній лінії стана: швидкість охолодження розкату на проміжному рольгангу досягає 1,2 - 3,6°C/с.

Досвід останніх двох десятиліть показав, що найбільш ефективним способом зберегти тепло розкату, достатнє для подальшої прокатки його в чистовій групі клітей без їх прискорення, є згортання його на проміжному

рольгангу в рулон і подальше розгортання зі швидкістю, визначуваною технологічним процесом (швидкість охолодження згорнутого в рулон розкату, завтовшки 35 - 45 мм, не перевищує  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ). Відповідно до цієї концепції, в 70 - і роки був розроблений проект конструкції пристрою для згортання і розгортання розкату на проміжному рольгангу, а на початку 80-х - введений в експлуатацію перший проміжний перемотуючий пристрій (ППУ), названий “Койлбокс”. Його встановили в лінію проміжного рольганга широкоштабового стану четвертого покоління, в безпосередній близькості до чистової групи клітей, перед ножицями для обрізання кінців розкату. Його схема представлена на рис. 1.7.



1 – ввідна проводка; 2 – направляючі ролики; 3 – згинаючі ролики; 4 – формуючий ролик; 5 – нижні ролики 1; 6 – нижні ролики 2; 7 – тягнучі ролики і правильна машина; 8 – теплоізолюючі екрани; 9 – відгинач кінця штаби рулону (основний важіль; 10 – додатковий відгинач кінця штаби (допоміжний важіль); 11 – теплоізолюючі екрани; 12 – проводка 1; 13 – відведення кінця штаби; 14 – проводка ножиць для відрізання головної частини розкату

**Рисунок 1.7** – Схема перемотувального пристрою – Coillbox [6]

Спосіб рулонування розкату дозволяє не тільки зберегти його тепло, накопичене слябом під час нагріву в печі, але і вирішувати ряд техніко-економічних завдань, розкати яких, переміщаючись по проміжному рольгангу,

втрачають 120 - 150°C і більше за час, який необхідний, щоб вони повністю увійшли до чистової групи клітей: зберегти 3 – 5 % палив, що витрачається на нагрів слябів; подовжити компанію печі, з якої сляби поступають на прокатку на 40 - 50°C більш “холодніші”, ніж зазвичай, коли на проміжному рольгангу не встановлений Coilbox; стабілізувати швидкість прокатки.

"Койлбокс" є, по суті, моталкою без барабана, всі технологічні операції якої виконуються за заданою програмою системами автоматичного регулювання технологічними процесами.

Застосування "Койлбокса" дозволяє вирішити ряд важливих техніко - економічних завдань в області вдосконалення гарячої прокатки тонких і широких сталевих штаб на станах четвертого - п'ятого покоління.

Температура розкату питомою масою 15 - 20 кг/мм, згорнутого в рулон перед входом до чистової групи клітей практично не відрізняється від середньої температури виданого з печі сляба. Це дозволяє:

1. Понизити температуру нагріву слябів на 40 - 50°C, що дає економію палива до 3 - 5%;
2. Зменшити товщину розкату для виробництва того ж сортаменту штаб;
3. Скоротити довжину проміжного рольганга на 25 - 35 м: згортання розкату в рулон може бути почате ще до закінчення прокатки сляба в чорновій групі клітей.

Перепад температури між початковою і кінцевою ділянками розкату (питомою масою 15 - 20 кг/мм), згорнутого в рулон, не перевищує перед чистовою групою клітей 20°C, що майже в 10 разів менше перепаду, який має місце у разі, коли розкат переміщається по проміжному рольгангу в незгорнутому вигляді.

Ця обставина, разом із зміною положення його кінців і поверхонь, дозволяє:

1. Вести прокатку штаб в чистовій групі клітей без прискорення;
2. Зменшити встановлену потужність електродвигунів головних приводів чистових клітей на 20 - 30%, що скорочує витрату електроенергії до 10 - 12%;

3. Поліпшити якість прокату: деформація металу при практично постійній температурі сприяє отриманню штаб з необхідними властивостями, товщиною, формою і профілем;

4. Скоротити довжину проміжного рольганга на 30 - 40 м, або збільшити масу сляба: згорання розкату в рулон зі швидкістю до 5 м/с може бути почате ще до закінчення прокатки сляба в чорновій групі клітей;

5. Скоротити довжину відвідного рольганга: тривалість охолодження штаби водою збільшується відповідно до зменшення швидкості переміщення її під час і після прокатки в останній кліті стана;

6. Стабілізувати процес транспортування по відвідному рольгангу і згорання в рулон на підпільних або карусельних моталках особливо тонких штаб;

7. Розробити ефективні силові і температурно - швидкісні режими прокатки штаб, ґрунтуючись на стабільності технологічних параметрів розкатів, що поступають на чистову групу клітей тонколистового стана.

Модернізація широкоштабового стана із застосуванням установки для згорання розкату в рулон розширює марочний і розмірний сортамент прокатуваних штаб, зменшує витрату енергії, стабілізує процес безперервної прокатки. Передбаченість його результатів зростає.

Проміжний рольганг ШСГП - та ділянка технологічної лінії виробництва тонких штаб, на якому розкат, що вийшов з чорнової групи клітей, безповоротно втрачає тепло, накопичене слябом під час його нагріву в методичній печі. Він входить до чистової групи клітей стана втративши за час переміщення 50°C і більше. Крім того, в розкаті неминуче виникає температурний клин від його переднього кінця, більш гарячого, ніж заднього, тим більший, чим довше розкат.

Обидва негативні явища практично не мають місця, якщо в лінії проміжного рольганга, як показано вище, встановлений пристрій перемотування типу Coilbox. Застосування його не тільки зберігає тепло розкату, але і за рахунок розвороту кінців (передній кінець розкату, гарячіший,

стає заднім) зменшує температурний клин під час прокатки на штабу в чистовій групі клітей.

Там, де проміжні пристрої перемотувань не встановлені, застосовують теплозберігаючі екрани, стримуючі втрату тепла розкатом під час переміщення його від однієї групи до іншої групи клітей.

Створення потужної і в той же час гнучкої і точної системи охолодження гарячекатаних штаб на відвідному рольгангу ШСГП - одне з основних завдань, що вирішуються при модернізації або реконструкції обладнання. Надійне, швидке і своєчасне охолодження штаби до заданої температури перед згортанням її в рулон - найважливіша ланка в ланцюзі технологічного процесу отримання металу із заданою структурою і механічними властивостями (разом із строго регламентованим режимом обтискання штаби в останніх клітях чистової групи стана до або після поліморфного, алотропічного перетворення  $Fe_{\gamma}$  в  $Fe_{\alpha}$ ).

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.



## 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 (уголки, 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 м<sup>3</sup> до температури 500-650 градусів. Теплова потужність печей складає 53×10<sup>6</sup> 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/мм<sup>3</sup> (при температурі +20°C і тиску 760 мм. рт. ст.) і до 1600 ккал/мм<sup>3</sup> 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 окалиноламах), чотири чотиривалкові кліті (№1, 2, 3, 4) і три вертикальні кліті (№1, 2, 3). До складу чистової групи входять: одна двовалкова кліть (чистовий окалиноламах) 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"

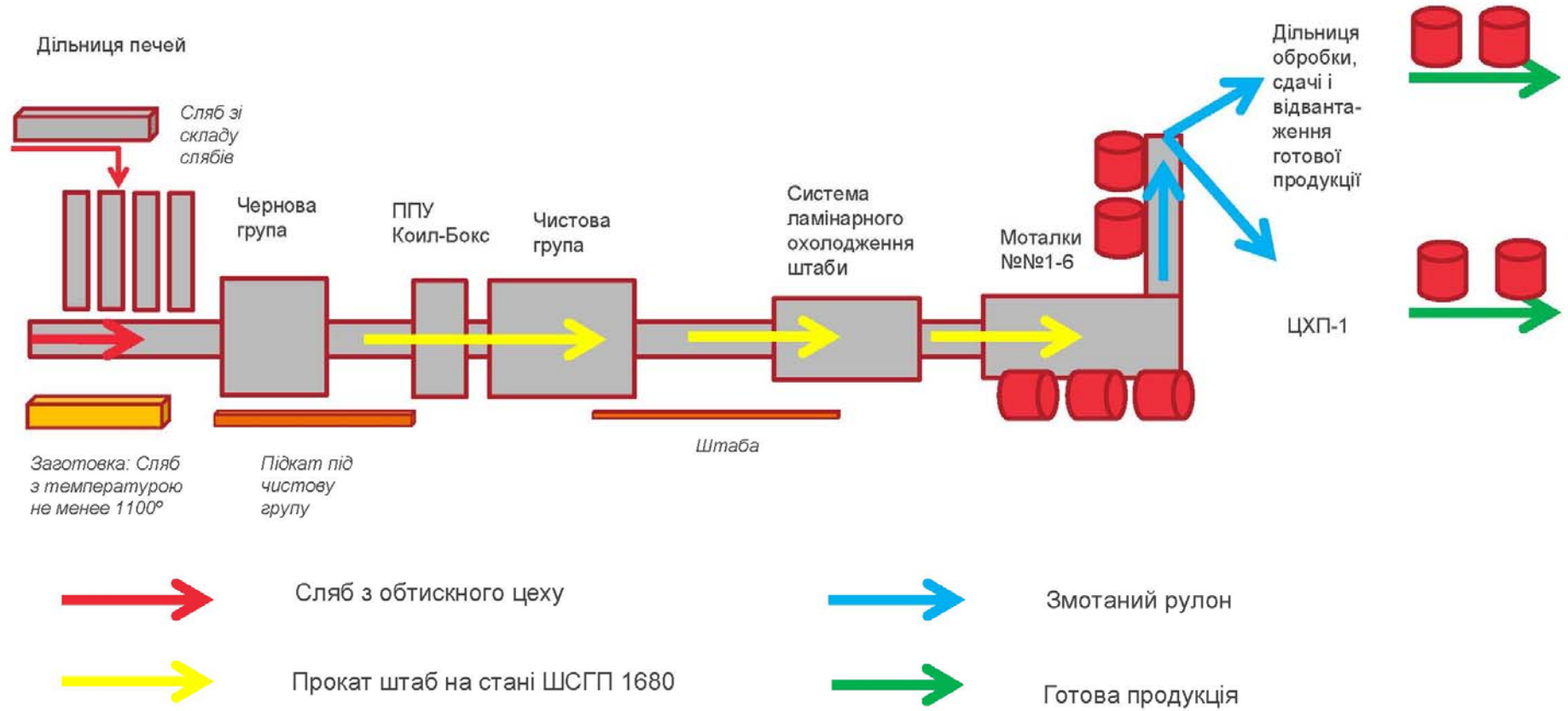
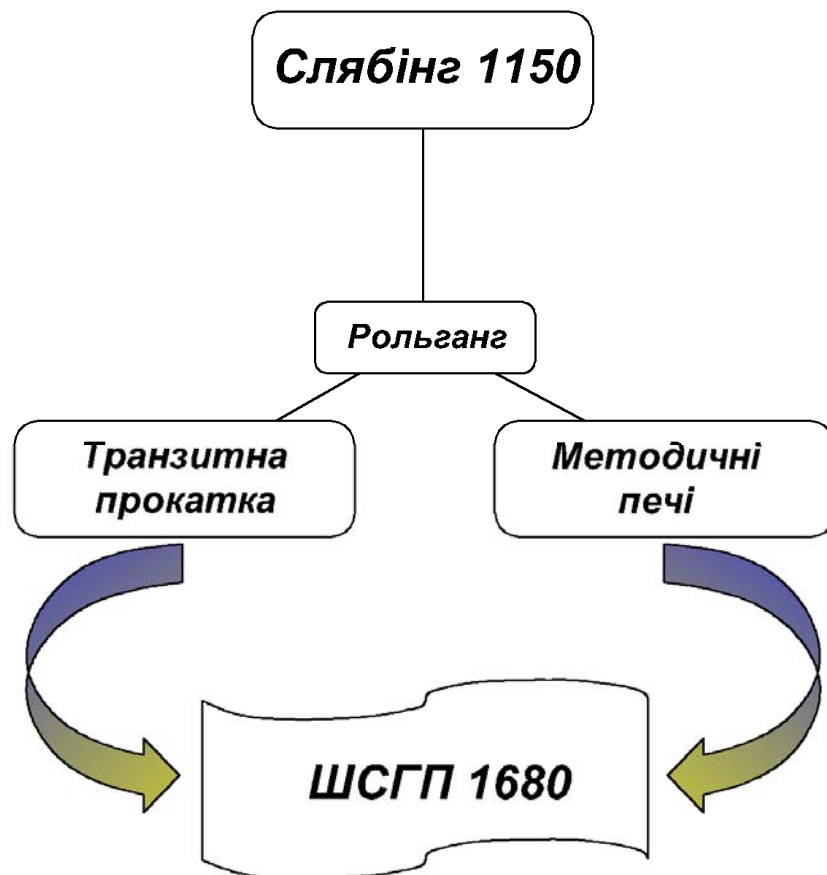


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

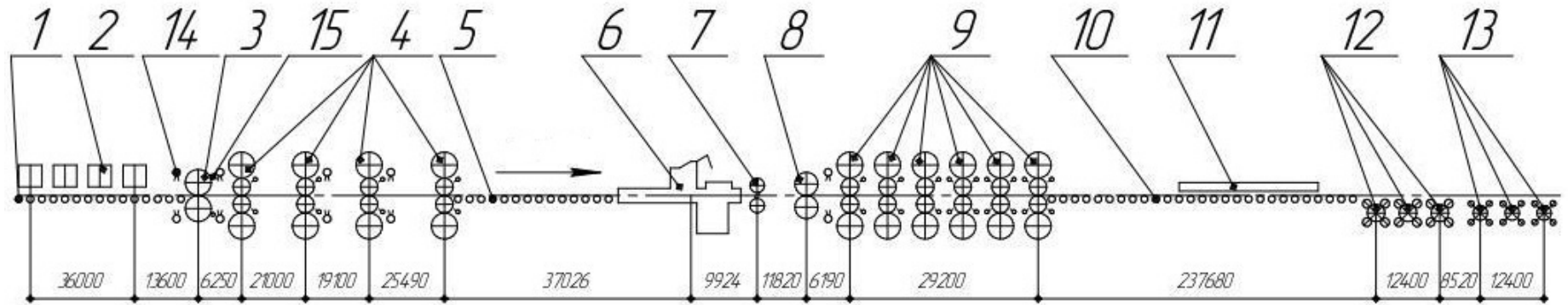
Сляби, що передаються з обтискного цеху, прокатуються на ШСГП-1680 на штаби необхідних розмірів по існуючим режимам обтиснень. 95% переданих зі слябінгу слябів задаються в ШСГП-1680 «транзитом» (без додаткового підігріву в методичних печах). Прокатані на ШСГП-1680 гарячекатані штаби охолоджуються до 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»



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 окалиноламач; 9 – чистові кліті; 10 – рольганг за чистовими клітями; 11 – установка охолодження штаби; 12 – моталки №№ 1, 2, 3; 13 – моталки №№ 4, 5, 6; 14 – система гідрозбиву окалини; 15 – система охолодження валків

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

**Таблиця 2.1** – Характеристика робочих клітей стана ШСГП 1680

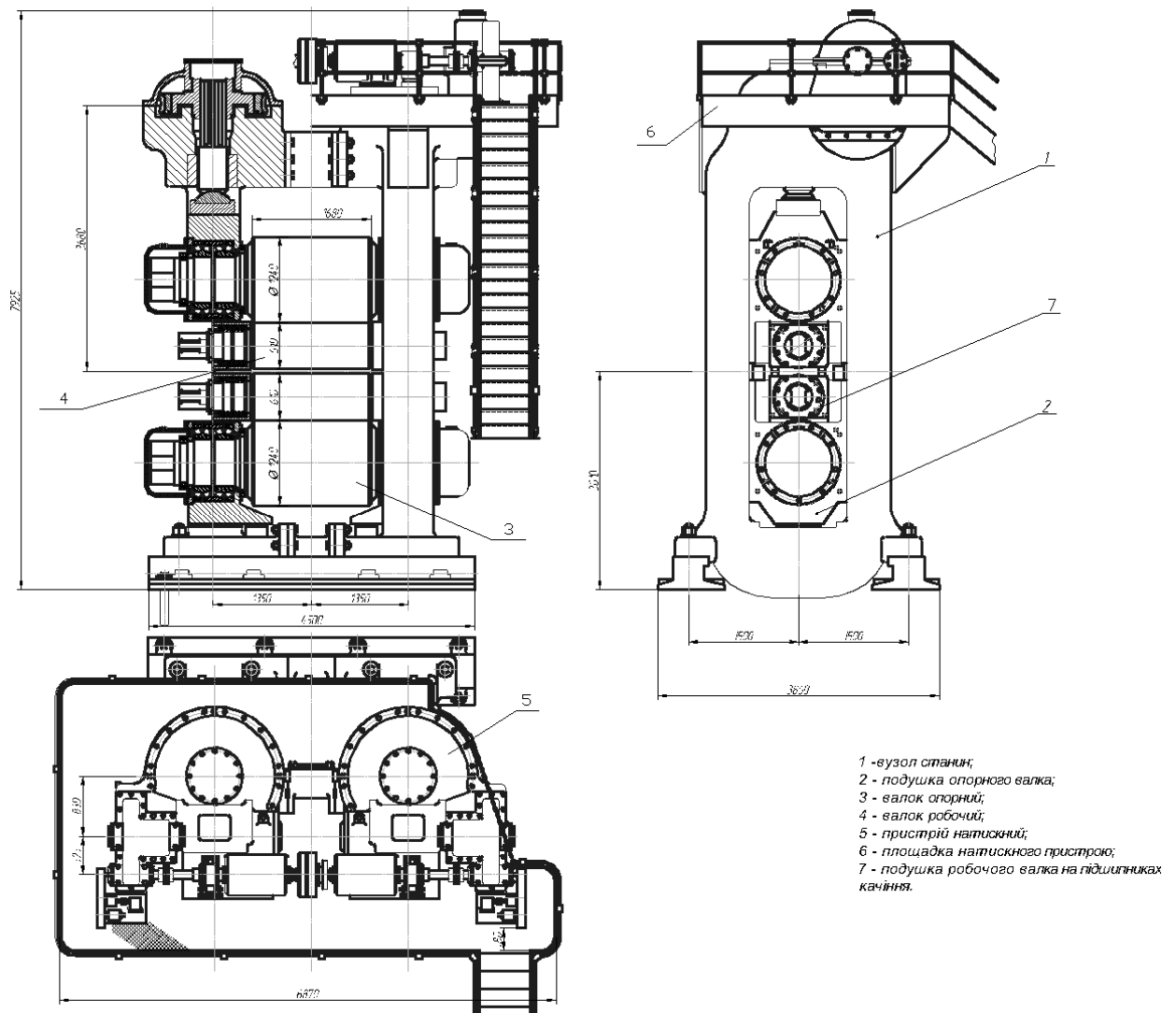
| № кліті                    | Потужність приводу, кВт | Число обертів валків у хвил. | Діаметр робочих валків | Діаметр опорних валків |
|----------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Горизонтальні кліті</b> |                         |                              |                        |                        |
| Чорновий<br>окалиналамач   | 2000                    | 500                          | 900                    | -                      |
| 1                          | 6300                    | 428                          | 940                    | 1320                   |
| 2                          | 4000                    | 500                          | 850                    | 1240                   |
| 3                          | 4000                    | 500                          | 593                    | 1240                   |
| 4                          | 4000                    | 500                          | 593                    | 1240                   |
| Чистовий<br>окалиналамач   | 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                   |
| <b>Вертикальні кліті</b>   |                         |                              |                        |                        |
| 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,

процесом кавітації. Тому валкам, - дуже дорогому інструменту, - приділяється найпильніша увага.



**Рисунок 2.4** - Робоча кліть кварто стана 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

Тому робочі валки для широкоштабових станів гарячої прокатки повинні мати широкі комплекси властивостей, повністю відповідаючи конкретним умовам листопрокатного виробництва: кількості і компоновці робочих клітей стана; ширині прокатуваних штаб; режимам прокатки штаб в умовах примусового вигину, а також штучного переміщення в напрямі, перпендикулярному осі стану і під кутом до цього напрямку; температурним режимам початку і кінця прокатки; режиму охолодження бочки валка;



режимам обтискання штаби і швидкості прокатки; режиму вільного чергування прокатки штаб, що відрізняються шириною.

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 [1].

### **2.3 Постановка задачі дипломного проекту**

Ідея замінити переривисте від виливниці до виливниці розливання рідкої сталі на безперервне розливання була сформульована ще в середині ХІХ століття. У той же період часу була висловлена ідея про необхідність здійснювати коливання ємкості, в яку заливають сталь, що сприяє витяганню з неї штаби, що кристалізується. Але тільки з середини ХХ століття почався бурхливий розвиток техніки і технології неперервного розливання сталі: конструкція машин розливання трансформувалася з вертикальних в радіальні, а потім в криволінійні; процес розливання був суміщений з перемішуванням сталі у виливниці, яка була названа "кристалізатор" і "м'яким" - обтисканням її після виходу штаби з кристалізатора.

Таблиця 2.2 – Прокатні валки широкоштабового стана гарячої прокатки ШСГП – 1680 [1]

| 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,<br>1270     | 1680              | 22,34,<br>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 |  |

До початку ХХІ століття частка способу неперервного розливання конвертерної сталі в загальному об'ємі її виробництва склала в світі понад 60 % і продовжує рости.

Машини неперервного розливання сталі (МНРС), залежно від форми технологічної осі, її вигину, діляться на декілька типів. Проте сучасні МНРС мають в своєму складі вертикальний кристалізатор і вертикальну ділянку вторинного охолодження, плавно перехідну в горизонтальну.

Великі переваги виробництва заготовок методом неперервного литва перед злитками, відлитими у виливниці, полягають в наступному:

- значно скорочується весь виробничий цикл, в плавильних цехах ліквідується парк виливниць;

- усувається складне і дороге устаткування слябінгу;

- на 10 - 20 % збільшується вихід придатного, оскільки усувається кінцева обрізь розкатів при прокатуванні злитків на обтискних станах;

- структура слябів, що відливаються, виходить щільнішою і одноріднішою, чим структура крупних злитків; у зв'язку з цим підвищуються і стають більш рівномірними механічні властивості виробів, що прокатуються з неперервно-ливої заготовки;

- отримувані на МНРС сляби за якістю поверхні значно перевершують злитки, що відливаються у виливниці.

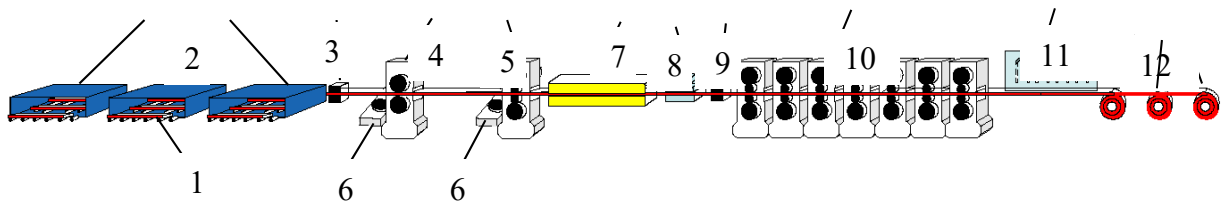
Застосування неперервного розливання сталі в масштабах, що все збільшуються, обумовлено і тим, що постійно росте потреба у високоякісній продукції, яку неможливо отримати при дискретному розливанні сталі у виливниці.

Таким чином основною метою дипломного проекту є розробка технології виробництва гарячекатаного рулонного прокату в умовах ПАТ «Запоріжсталь» з неперервнолитого слябу, що дозволить зменшити енерговитрати на виробництво [7] і покращити якість розкату [8].

Роботи по використанню неперервнолитих слябів ПАТ «ММК ім. Ілліча» проводилися на ПАТ «Запоріжсталь» (Программа работы 39-й

международной научно-технической конференции молодежи ОАО «Запорожсталь» 15 ноября 2012 г., доклад Литвиненко В.В., с. 44).

Але, як зазначалось вище, на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» з обтискного цеху поступають сляби товщиною 105 – 168 мм, а сучасна машина неперервної розливки сталі відливає сляби товщиною 200 і 260 мм, і шириною 1000 – 1600 мм. Тобто необхідно зробити реконструкцію чорнової групи клітей стана 1680 таким чином, щоб вона могла прокатувати сляби товщиною 200 - 220 мм. Для цього пропонується чорнові кліті замінити на дві потужні реверсивні кліті з вертикальними валками (еджерами), як показано на рис. 2.5.



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 підпідлогові моталки роликкового типу.

**Рисунок 2.5** – Схема модернізації основного обладнання ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» за новою технологією

В Загальній частині дипломного проекту 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 стана шляхом прокатки у вертикальних валках (еджерах, див. рис. 1.5). На рис. 2.5 вертикальні валки зображені під номером 6.

Таким чином, остаточно мету дипломного проекту можна сформулювати наступним чином: розробка технології виробництва

гарячекатаного рулонного прокату в умовах ПАТ «Запоріжсталь», яка дозволяє знизити енерговитрати, підвищити якість і розширити розмірний сортамент розкату за рахунок переходу на прокатку неперервнолитих слябів шляхом реконструкції чорнової групи клітей стана 1680.

#### 2.4 Характеристика прокатного стана за новою технологією

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 стана.

**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       |                         |                            |              |                  |      |

### *Нагрів слябів*

Неперервнолиті сляби завантажуються в печі з крокуючими балками за допомогою завантажувальної машини. У печах сляби переміщуються за допомогою гідравлічної системи крокуючих балок.

Сляби видаються з печі з температурою від 1150 до 1280°C за допомогою розвантажувальних машин.

### *Ділянка чорнової групи клітей стану*

Після видалення окалини на первинному окалиноламачі, сляб подається на двовалкову чорнову кліть Дуо.

Вертикальний еджер встановлений на вході кожної кліті чорнової групи. Еджери виконують функції автоматичного регулювання ширини і короткого ходу. Зазор еджера регулюється гідравлічними циліндрами. Перша чорнова кліть призначена для виконання трьох пропусків кожного сляба. Загальне обтиснення по товщині складає приблизно 100 мм.

На чотиривалковій реверсивній кліті Кварто заздалегідь прокатаний підкат катається ще в трьох - п'яти пропусках до товщини 32 - 45 мм. Чорновий стан обладнаний електромеханічною системою натискного механізму і встановленою знизу гідравлічною системою регулювання міжвалкового зазору. Для видалення окалини на вході і виході обох чорнових клітей встановлюються окалиноламачі.

Після останнього чорнового пропуску розкат далі прокатується в чистовій групі клітей. Панелі ЕНКО служать для збереження тепла розкату і для забезпечення меншого перепаду температури між переднім і заднім

кінцями розкату. У результаті, панелі ЕНКО забезпечують досягнення меншої мінімальної товщини штаби і більшої постійності остаточної властивості матеріалу.

### ***Чистова група клітей стана***

Після чорнових клітей стана встановлені важкі ножиці обрізів барабанного типу, які відрізують передній і задній кінці розкату. Ножиці обрізів обладнані системою оптимізації обрізі. Після відрізання переднього кінця, вторинна окалина знімається з розкату окалиноламахем з протяжними роликками, розташованим перед чистовими клітями.

Чистова група стана складається з вхідної роликової направляючої, після якої встановлено сім чотиривалкових клітей F1 - F7. Регулювання міжвалкового зазору здійснюється довгими циліндрами HAGS. Для регулювання профілю і площинності штаби всі чистові кліті обладнані системою зсуву і противигину робочих валків. Для всіх чистових клітей передбачені робочі валки системи SmartCrown.

Низько-інерційні гідравлічні петлеутримувачі передбачені між клітями чистової групи для забезпечення стабільності процесу прокатки. Для клітей F1 - F4 передбачено змащування мастилом робочих валків, а також антипилінг. Система відведення диму передбачена для клітей F4 - F7. Колектори міжклітьового охолодження штаби і поперечні форсунки встановлені між всіма клітями для підвищення продуктивності стана і зменшення окалиноутворення.

Швидка зміна робочих валків передбачена для всіх клітей.

За чистовою групою клітей передбачена опорна конструкція для вимірників товщини, ширини, профілю і площинності штаби.

### ***Ламінарне охолодження, змотування штаби в рулони і склад рулонів***

Штаба подається до підпідлогових моталок відвідним рольгангом. Система ламінарного охолодження штаби передбачена на ділянці відвідного рольгангу для охолодження штаби до необхідної температури змотування в

рулони. Система ламінарного охолодження штаби обладнана верхніми і нижніми колекторами, що охолоджують, для охолодження як верхньої, так і нижньої поверхні штаби. Для різних марок сталі заданого сортаменту продукції можна застосовувати різні стратегії охолодження.

В кінці відвідного рольгангу штаба змотується на підпідлогових моталках. Кожна підпідлогова моталка обладнана трьома гідравлічними роликками з регулюванням переходів. Перед кожною підпідлоговою моталкою розташований ролик, що тягне, для забезпечення необхідного натягнення змотування для всього сортаменту продукції.

Після змотування рулони транспортуються на склад рулонів візками для рулонів, ланцюговим транспортером і транспортерами з крокуючими балками. Огляд рулонів можна здійснювати на оглядовій ділянці відповідно до графіка інспекції рулонів. На ділянці системи транспортування рулонів встановлені машини для їх обв'язування, зважування і маркування.

В кінці транспортерів з крокуючими балками рулони вивантажуються кранами і подаються на склад для зберігання і подальшого відвантаження.



## 2.5 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 клітках 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 клітках. При рівності ширини розкату у всіх клітках умова сталості цих обсягів запишеться у вигляді:

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

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 клітках 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 клітках дозволяє у всіх клітках, крім двох останніх, зберігати постійної сили прокатки. У передостанній клітці величина сили прокатки становить 75% сили в попередніх клітках, 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 составі: 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 –  $D_b= 760$  мм, кліть №3 –  $D_b= 570$  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.

## 2.6 Розрахунок параметрів злитка

Приймаємо максимальну товщину підкату для клітей чистової групи [9]:

$$h_k = 20 \text{ мм.}$$

Уважаємо, що раз у завданні заданий метод прямої прокатки, то по існуючих технологічних схемах ширину сляба приймаємо рівної 1400 мм.

Товщину сляба визначимо по залежності:

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

де  $h_k$  - мм-товщина підкату після чорнової групи;

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

$$h_{сл} = \frac{20}{1 - 0.9}$$

тоді знаючи масу одержуваного рулону знаходимо масу сляба:

$$G_{сл} = m_p \cdot k_{pm} = 16 \cdot 1.08 = 17.3 \text{ т;}$$

де  $m_p = 16$  т - маса рулону;

$k_{pm} = 1,08$  - видатковий коефіцієнт [8];

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

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

## 2.7 Розрахунок режимів обтиснень в чорновій групі клітей

Максимальна товщина підкату для клітей чорнової групи  $h = 19-20$  мм.

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

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

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

Коефіцієнт тертя при захвату металу валками визначається по формулі [8].

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

де  $t$  - температура розкату в кліті, °С

$V$  - швидкість прокатки в кліті, м/с

Температурний інтервал прокатки в клітях чорнової групи відповідно до технологічної інструкції [10]:

$$1060 \leq t \leq 1120 \text{ °С}$$

Температуру розкату в кожній кліті беремо приблизно. Кліть "ДУО" (чорновий окалинозламувач):  $t = 1120$ °С

при  $V_{fl} = 0,63$  м/с

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

Кліть № 1:  $t = 1100$ °С при  $V_1 = 1,02$  м/с

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

Кліть № 2:  $t = 1090$ °С при  $V_2 = 1,09$  м/с

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

Кліть № 3:  $t = 1070$ °С при  $V_3 = 1,99$  м/с

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

Кліть № 4:  $t = 1060$ °С 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  $\operatorname{tg} \alpha \leq f$ ,

де  $\alpha$  - кут захвату металу валками в радіанах.

Максимальний кут захвату визначимо по формулі:

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

$$\alpha_{\max \delta} = \arctg 0,453 = 24,27^{\circ}; \alpha_{\max 1} = \arctg 0,442 = 23,60^{\circ}$$

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

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

Величину максимально припустимих обтиснень по куті захвату.

Визначимо по формулі:

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

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

Відповідно до технологічної інструкції [10]:

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

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

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

Отже величини максимально припустимих обтиснень по куті захвату будуть наступні:

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

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

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

Розрахункові величини обтиснень по кожній із клітей згідно припустимих відносних обтиснень у клітях чорнової групи [10] наступні:

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

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

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

Нехай приймемо  $E_{\delta} = 19\%$

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

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  $E_3 = 18\%$

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

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. 2.5.

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

**Таблиця 2.5** - 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 неперервні й групі клітей  $b_1 h_1 = b_2 h_2$ , 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:

$$v_1 h_1 = v_2 h_2;$$

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

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

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.

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

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:

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

де  $V_B$ - швидкість отримана без обліку випередження, м/с

$S$  - випередження

Відповідно до запропонованої Екелундом формули [8]

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

де  $d$  - діаметр валків, м

$\gamma$  - 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;

$\alpha$  - кут захвату, радіани.

Кут захвату визначається по формулі:

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

де  $\Delta h$  - абсолютне обтиснення

$R$  - радіус валка, мм.

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

$$\alpha_o = \sqrt{\frac{\Delta h_o}{R_o}} = \sqrt{\frac{35}{405}} = 0,293 \text{ радian};$$

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

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

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

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

## 2.8 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 [8] 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:

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

$$\frac{l_2}{h_{cp2}} = \frac{116,83}{85} = 1,37; \quad \frac{l_3}{h_{cp3}} = \frac{96,33}{51} = 1,88;$$

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

Відносне обтиснення по клітках:

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

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

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

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

Згідно даним Целікова [10] 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  $\sigma_T$  - границя текучості металу, що прокатується, відповідним реальним умовам обробки.

Згідно [8]:

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

де  $\sigma_0$  - базисний опір деформації,

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

Базисне значення  $\sigma_0$  й коефіцієнтів  $k_t, k_E, k_u$  наведені в літературі [8].

Для сталі Ст. 1  $\sigma_0 = 85$  МПа

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

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

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда [8]:

$$U_{cp0} = \frac{V_0 \cdot \alpha_0}{l_0} ; \quad (2.16)$$

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

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

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

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі:

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

де  $B$  - ширина матеріалу, що прокатується, м

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

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

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

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_E \cdot k_u; \quad (2.19)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

тиску виконуємо по формулі Бровмана [8] тому що  $\frac{l}{h_{cp}} > 2$

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

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

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

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

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

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

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

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

Згідно довідковим даним [10] значення напруг, що допускають, наступні:

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

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

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

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

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

Допускні зусилля прокатки для двовалкової кліті згідно [9] розраховуємо по формулі:

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

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:

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

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

$d_{\text{on}}$  - 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:

$$[P] = \frac{0,4d_{\text{ш.он}}^3 \cdot [\sigma]_{\text{уз}}}{L_{\text{ш.он}}}; \quad (2.31)$$

де:  $d_{\text{ш.он}}$  і  $L_{\text{ш.он}}$  - відповідно діаметр і довжина шейки опорного валка

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

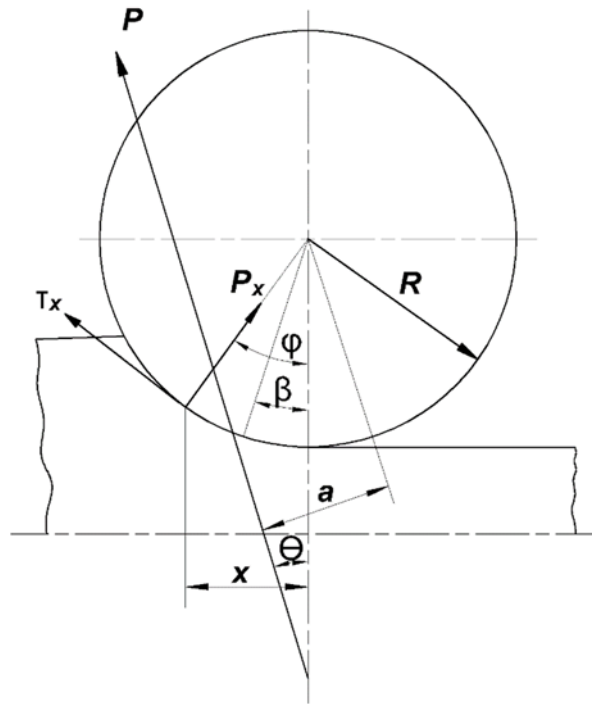
$$P < [P].$$

## 2.9 Розрахунок крутних моментів прокатки в чорновій групі

Крутний момент, створюваний силою  $P$  дорівнює:

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

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



**Рисунок 2.6** - 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  $\varphi$  - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля

прокатки

У такий спосіб:

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

Згідно експериментальним даним Клименко [9]:

Для кліті "ДУО" при  $\frac{l_0}{h_{cp,0}} = 0,65$   $\varphi = 0,47$

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

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

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

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

Відповідно до вище наведеного:

$M_{прд} = 9,87 \cdot 0,47 \cdot 0,11905 = 0,55 \text{ МН} \cdot \text{м}; M_{пр1} = 19,06 \cdot 0,55 \cdot 0,1665 = 1,74 \text{ МН} \cdot \text{м};$

$M_{пр2} = 15,09 \cdot 0,56 \cdot 0,11683 = 0,98 \text{ МН} \cdot \text{м}; M_{пр3} = 14,88 \cdot 0,6 \cdot 0,09633 = 0,86 \text{ МН} \cdot \text{м};$

$M_{пр4} = 10,21 \cdot 0,7 \cdot 0,6595 = 0,47 \text{ МН} \cdot \text{м}.$

Припустимий крутний момент визначаємо по формулі:

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

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

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

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

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

Для кліті № 4  $[M_{np}] = 2 \cdot 23,4 \cdot 0,7 \cdot 0,6595 = 2,16 \text{ МН} \cdot \text{м}$

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

## 2.10 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 [10].

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

де  $T_0$  - температура початку охолодження, до

$\tau$  - час охолодження, с

$h$  - товщина штаби, мм

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

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

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

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

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

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

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

Величина обтиснень у вертикальних валках універсальних клітей вибирається такий, щоб ліквідувати розширення, отримані при прокатці в горизонтальних валках. Результати розрахунків зводимо в табл. 2.6.

### 2.11 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.

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

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:

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



**Таблиця 2.6 - Режим деформацій у клітях 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 2.7 – Режим деформацій у клітях 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                              |

Коефіцієнт  $v_i$  вибираємо виходячи з умови, що потужність  $N$ , що витрачає на прокатку в перших чотирьох клітках 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:

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

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

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

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

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

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

Абсолютне обтиснення по клітках 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;

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

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

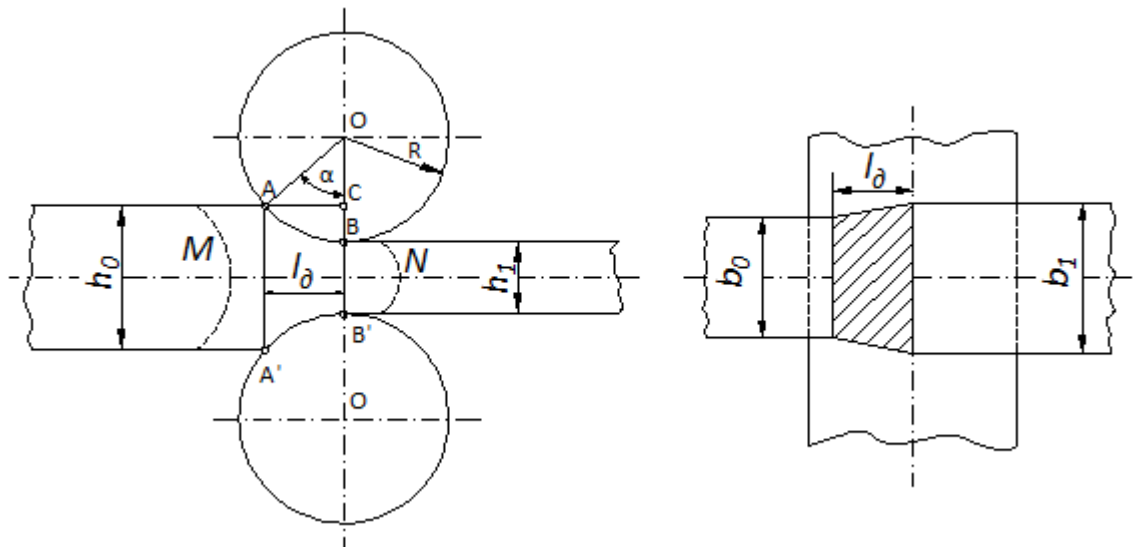
$$\Delta h_9 = 4,69 - 3,84 = 0,85 \text{ мм}; \quad \Delta h_{10} = 3,84 - 3,2 = 0,64.$$

Відносні обтиснення по клітках визначимо по формулі (рис. 2.7):

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

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

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



а – поздовжній перетин; б – поперечний перетин

**Рисунок 2.7** – 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

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

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

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

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

де  $V_e$  - швидкість отримана без обліку випередження, м/с

$S$  – випередження

Відповідно до запропонованої Екелундом формули [10]

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

де  $d$  - діаметр валків, м;  $\gamma$  - 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;  $\alpha$  - кут захвату, рад.

Кут захвату визначається по формулі:

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

Де  $\Delta h$  - абсолютне обтиснення;  $R$  - радіус валка, мм;

$d = 580$  мм; отже  $R = 290$  мм.

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

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

Розрахунок коефіцієнта тертя ведемо по формулі Екелунда [10]

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

Тоді швидкість виходу штаби з урахуванням ковзання:

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

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

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

## 2.12 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 [8] 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 [7] 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  $\sigma_T$  - границя текучості металу, що прокатується.

$$\text{Згідно [10]} \quad \sigma_T = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_E \cdot k_u; \quad (2.49)$$

де  $\sigma_0$  - базисний опір деформації;  $k_t \cdot k_E \cdot k_u$  - термомеханічні коефіцієнти відповідно враховуючу температуру, ступінь і швидкість деформації.

Базисне значення  $\sigma_0$  й коефіцієнтів  $k_t \cdot k_E \cdot k_u$  наведені в літературі [9].

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;

$\delta_0$  і  $\delta_1$  - 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:

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

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  $\varphi$  - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки.

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

$\varphi$  - коефіцієнт плеча моменту згідно [8] 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  $\delta_0$  й  $\delta_1$  наведені в [10]:

$$\delta_0 = 1,7 \text{ МПа}$$

$$\delta_1 = 4,3 \text{ МПа} .$$

Температуру прокатки визначимо по формулі:

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

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

$h_n$  - товщина підкату, мм;  $h_{\kappa}$  - товщина кінця прокатки, мм.

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

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

$$U_{cp6} = \frac{2,43 \cdot 0,116}{0,03367} = 7,68c^{-1} \quad K_u=0,98$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,99 = 83,3MPa$$

$$P'_{cp6} = 1,15 \cdot 83,3(0,75 + 0,25 \cdot 2,81) = 139,14MPa$$

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

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

Кліть № 7:  $\delta_0 = 4,3MPa$  ;  $\delta_0 = 5,2MPa$

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

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

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

$$\sigma_T = 85 \cdot 0,97 \cdot 1,19 \cdot 1,04 = 102,04MPa$$

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

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

$$P_7 = 191,17 \cdot 1,4 \cdot 0,0367 = 9,82 MH$$

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

Кліть № 8:  $\delta_0 = 5,2MPa$  ;  $\delta_0 = 9,4MPa$

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

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

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

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

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

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

$$P_8 = 237,11 \cdot 1,4 \cdot 0,02444 = 8,11 MH$$

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

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



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

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

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

$$\sigma_T = 85 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,02 = 116,52 \text{ МПа}$$

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

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

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

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

Кліть № 10:  $\delta_0 = 4,6 \text{ МПа}$ ;  $\delta_0 = 0$

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

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

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

$$\sigma_T = 85 \cdot 1,18 \cdot 1,0 \cdot 1,117 = 112,03 \text{ МПа}$$

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

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

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

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

Результати розрахунків зводимо в табл. 2.7.

### 2.13 Технологія прокатки у вертикальних валках

Вертикальні валки призначені для бічного обтиснення сляба і вирівнювання бічних крайок штаби, що прокатується відповідно до обраної схеми прокатки (рис. 1.5).

Розрахункові величини обтиснень по кожній із клітей згідно припустимих відносних обтиснень у клітях чорнової групи визначається по формулі:

$$\Delta b_{p, \max, i} = b_{i-1} \cdot E_{\max, i}; \quad (2.58)$$

де  $E_{\max, i}$  - припустиме відносне обтиснення;  $b_{i-1}$  - ширина штаби до прокатки, мм.

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.58) одержимо наступні припустимі відносні обтиснення:

$$\Delta b_{p.\max.1} = 1415 \cdot 0,015 = 21,22 \text{ мм}$$

$$\Delta b_{p.\max.2} = 1410 \cdot 0,01 = 14,1 \text{ мм}$$

$$\Delta b_{p.\max.3} = 1405 \cdot 0,0075 = 10,53 \text{ мм}$$

Приймаємо  $E_1 = 0,55\%$  тоді:  $\Delta b_1 = 1415 - 1410 = 5 \text{ мм}$  .

Приймаємо  $E_2 = 0,55\%$  тоді:  $\Delta b_1 = 1410 - 1405 = 5 \text{ мм}$  .

Приймаємо  $E_3 = 0,55\%$  тоді:  $\Delta b_1 = 1405 - 1400 = 5 \text{ мм}$  .

Швидкість прокатки в клітях вертикальних валків повинна бути рівною швидкості заднього кінця штаби при прокатці в клітях з горизонтальними валками й підраховується по формулі [8]:

$$V_{\text{едж}} = \frac{V_{\text{кл}} \cdot h_1}{h_0} ; \quad (2.59)$$

де:  $h_0$  - товщина штаби до прокатки, мм;  $h_1$  - товщина штаби після кліті, у якої встановлена кліть вертикальних валків, мм.

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.59) знайдемо швидкості прокатки в клітях вертикальних валків:

$$V_{\text{едж.1}} = \frac{1,04 \cdot 67}{102} = 0,68 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{едж.1}} = \frac{1,99 \cdot 35}{67} = 1,03 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{едж.1}} = \frac{3,48 \cdot 20}{35} = 1,98 \text{ м/с} .$$

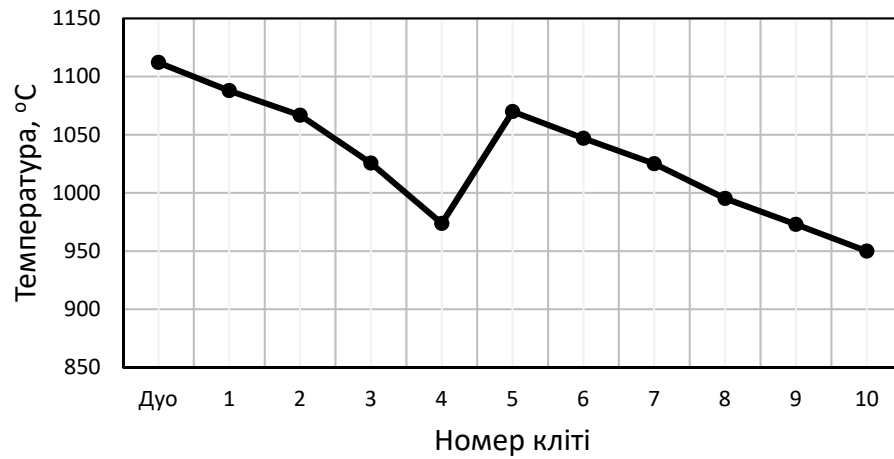
Результати розрахунків зводимо в таблицю № 2.8.

**Таблиця 2.8** - Обтиснення вертикальної кліті ШСГП 1680

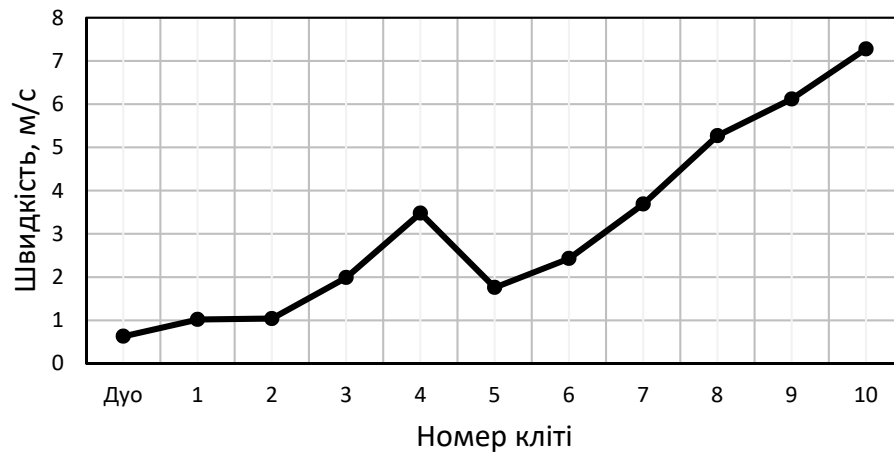
| № вертикальної кліті | Розрахункове обтиснення, мм | Припустиме обтиснення, мм | Швидкість прокатки у кліті, м/с |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1                    | 5                           | 21,11                     | 0,68                            |
| 2                    | 5                           | 14,10                     | 1,03                            |
| 3                    | 5                           | 10,53                     | 1,98                            |

За даними табл. 2.6 і 2.7 на рис. 2.8 - 2.9 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

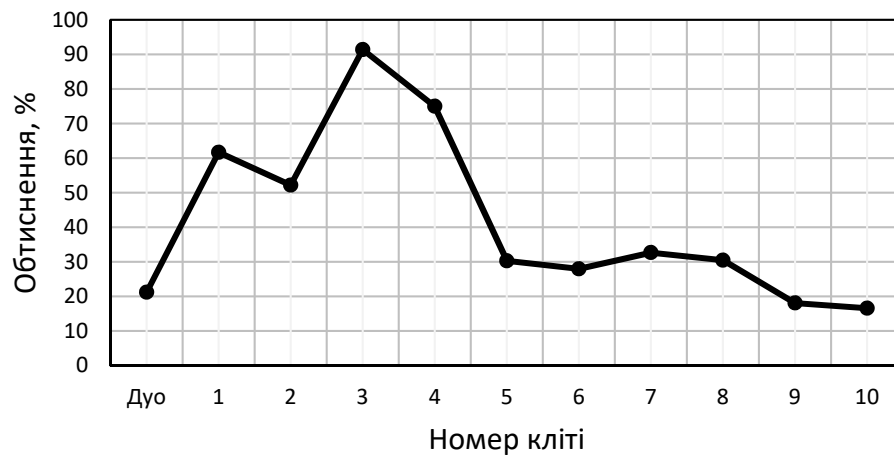
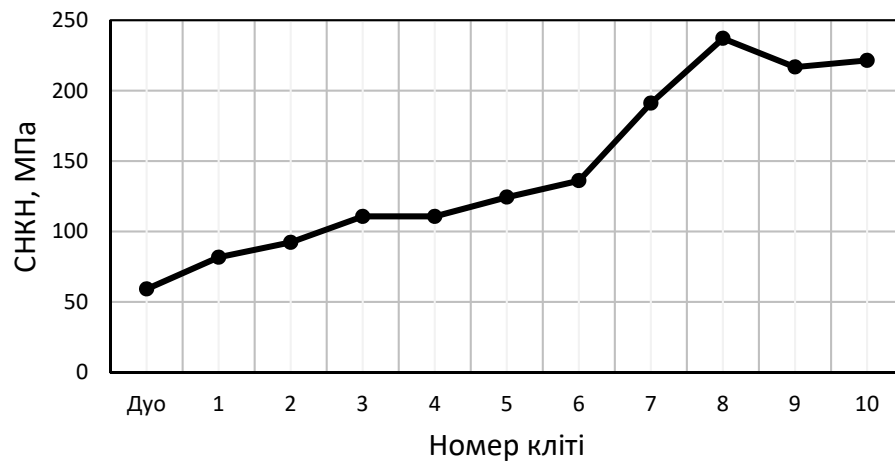
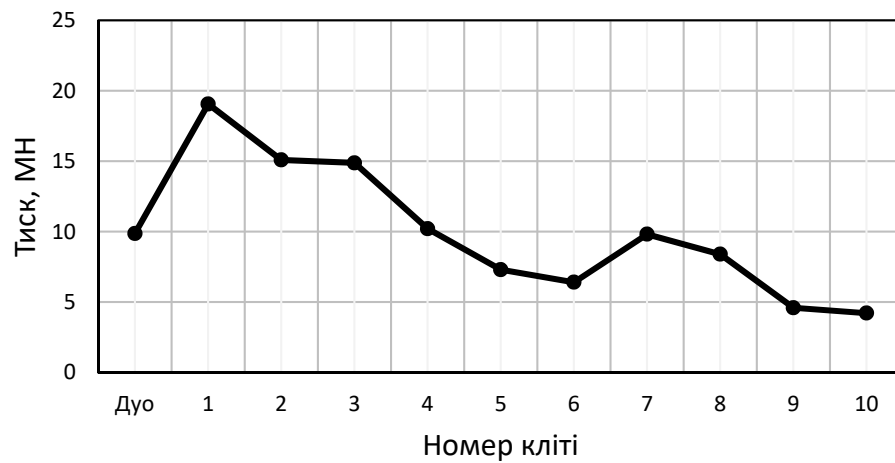


Рисунок 2.8 - Енергосилові параметри прокатки на стані 1680

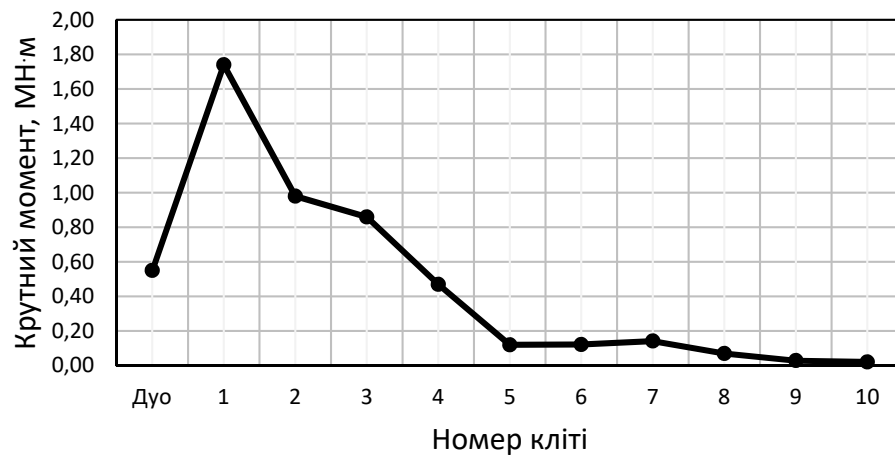
### Середнє нормальне контактне напруження



### Повний тиск металу на валки по клітям стана



### Крутний момент на один валок



Продовження Рисунку 2.8

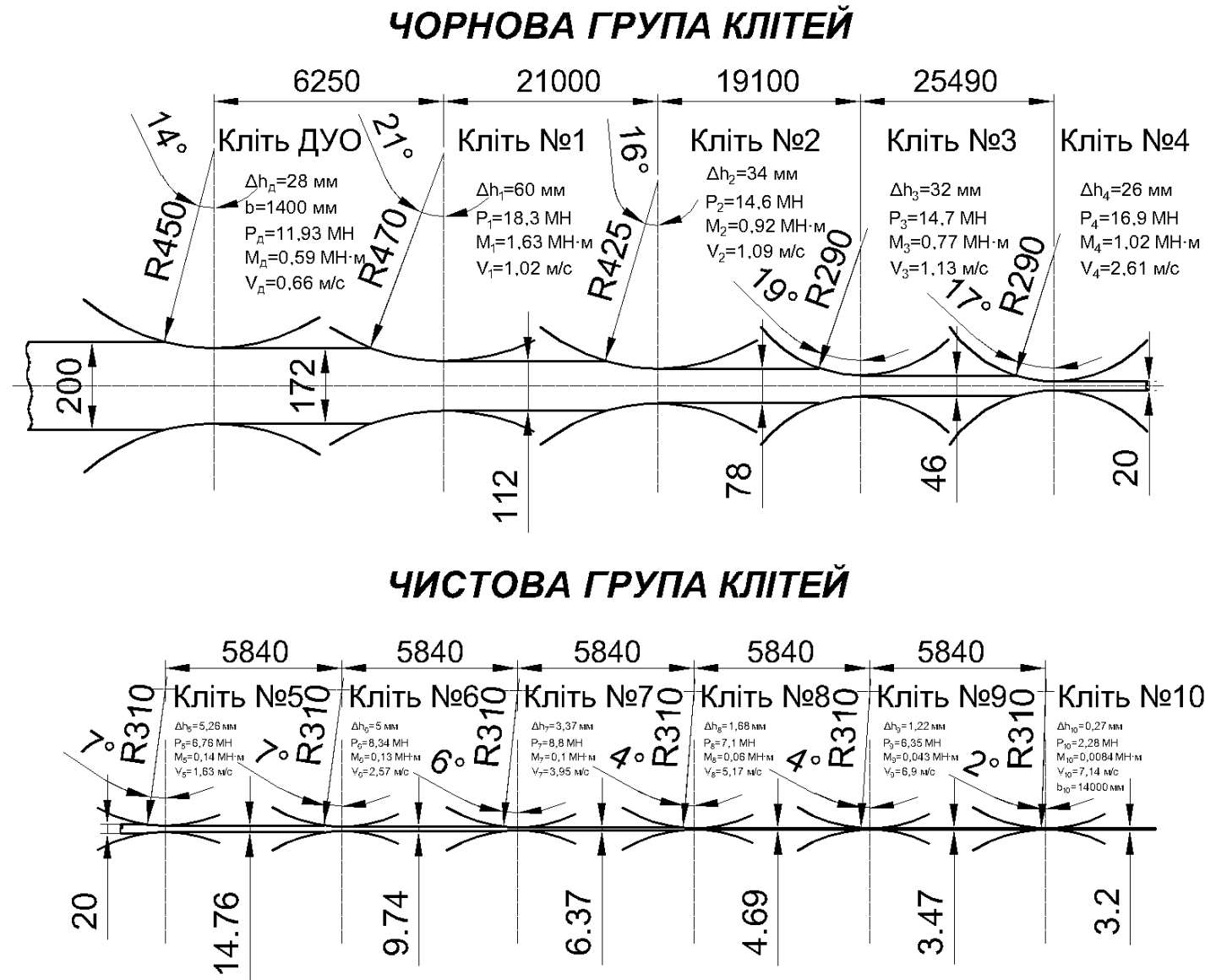


Рисунок 2.9 - Режими обтиснень і енергосилові параметри прокатки на стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

### 3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

Питанню автоматизації комп'ютерного моделювання присвячена велика кількість робіт [11-13]. Розглядаються можливості автоматизації графічного моделювання в КОМПАС-3D, AutoCAD Mechanical, Autodesk Inventor, ABAQUS тощо, які надають інструменти проектування на основі правил і засобів автоматизації, що прискорюють процес і дозволяють користувачам концентруватися на реалізації проектного задуму, а не на моделюванні геометрії ручним способом. На базі функціональних вимог до виробу, системи САПР автоматично створюють інтелектуальні компоненти, надаючи можливість економити час проектувальника, дозволяють здійснювати перевірку моделей без випробування дослідних зразків.

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

#### 3.1 Постановка задачі дослідження

Метою даного розділу є дослідження можливості геометричного моделювання валків прокатних станів і виконання розрахунків на міцність і деформацію в програмному комплексі AutoCAD Mechanical 2019 [14].

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

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

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma} \geq [n] \text{ або } n = \frac{\tau_B}{\tau} \geq [n], \quad (3.1)$$

де  $\sigma_B$  і  $\tau_B$  – межа міцності матеріалу валка по нормальним і дотичним напруженням, МПа;

$\sigma$  і  $\tau$  - відповідно розрахункове нормальне і дотичне напруження, МПа.

Допустиме значення коефіцієнта запасу міцності для всіх деталей прокатної кліті, окрім станини, приймають рівним 5, а для станини, як найбільш відповідального елемента прокатного стана – 10 [6].

Напруження згину в бочці валка визначають за формулою [9]:

$$\sigma_{\text{згин}} = M_{\text{згин}}/W_{\text{б}} = M_{\text{згин}}/(0,1D^3) \quad (3.2)$$

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

$W_{\text{б}}$  – момент опору поперечного перетину бочки валка на вигин, м<sup>3</sup>;

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

Для каліброваних валків у цю формулу необхідно підставити значення максимального згинального моменту, для чого необхідно визначити згинальні моменти, що діють при прокатуванні в різних калібрах.

### 3.2 Методика дослідження

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

Основний спосіб розрахунку існуючого валу полягає у визначенні контуру і вставці сил і опор. Програма розраховує всі необхідні значення і будує відповідні епюри моментів і деформацій [14].

### 3.3 Розрахунок робочого і опорного валків ШСГП 1680 на міцність і деформацію

Створимо розрахункову модель і виконаємо розрахунок на міцність і деформацію робочих і опорних валків чотиривалкової кліті стана

550/1500/2500 для прокатування штаб, використовуючи такі ж вихідні дані, як в прикладі 17 [9, стор. 108].

Розрахункова схема валків кліті кварто із зазначенням розмірів і навантажень приведена на рис. 3.1. Оскільки навантаження на робочий і опорний валок різні, то розрахунки проводимо окремо для робочого і опорного валка.

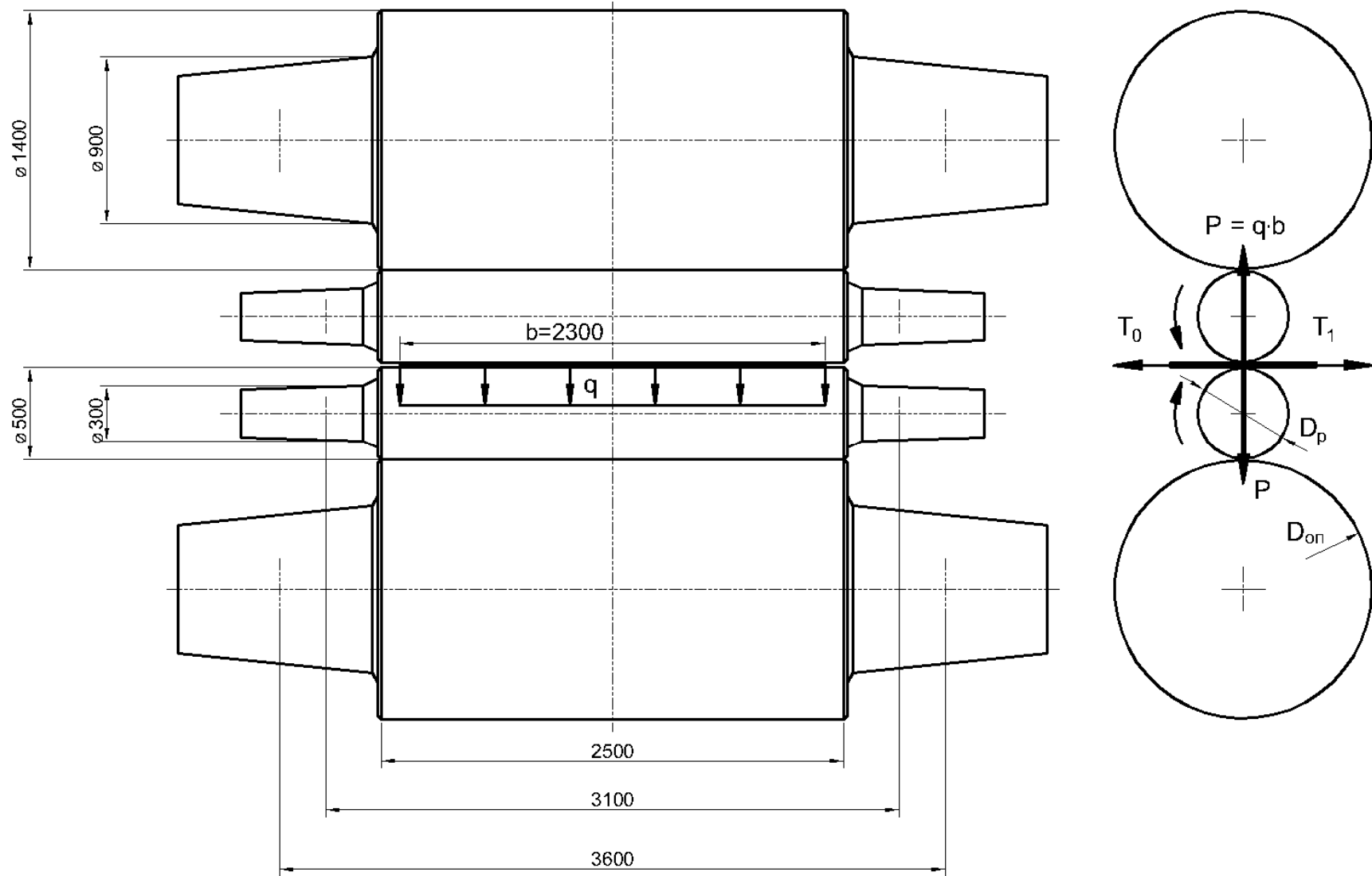
На першому етапі рішення задачі по схемі на рис. 3.1 (або по компоновальному кресленню) виконується 2D модель валка за допомогою генератора валів AutoCAD Mechanical. Перед виконанням любых розрахунків на валку необхідно створити його контур. На рис. 3.2 (а) наведено діалогове вікно «Генератор валів». За допомогою кнопки 1 будуються гладкі циліндричні ділянки валка за заданими довжинами і діаметрами. Потім за допомогою кнопки 2 добавляються галтелі.

На другому етапі (після створення контура валка) за допомогою діалогового вікна "Розрахунок валу" (рис. 3.2 б) проводиться розрахунок. Вихідними даними для розрахунку валка є: матеріал валка, момент крутіння на робочому валку; сили, що діють на валок у вертикальній і горизонтальній площині.

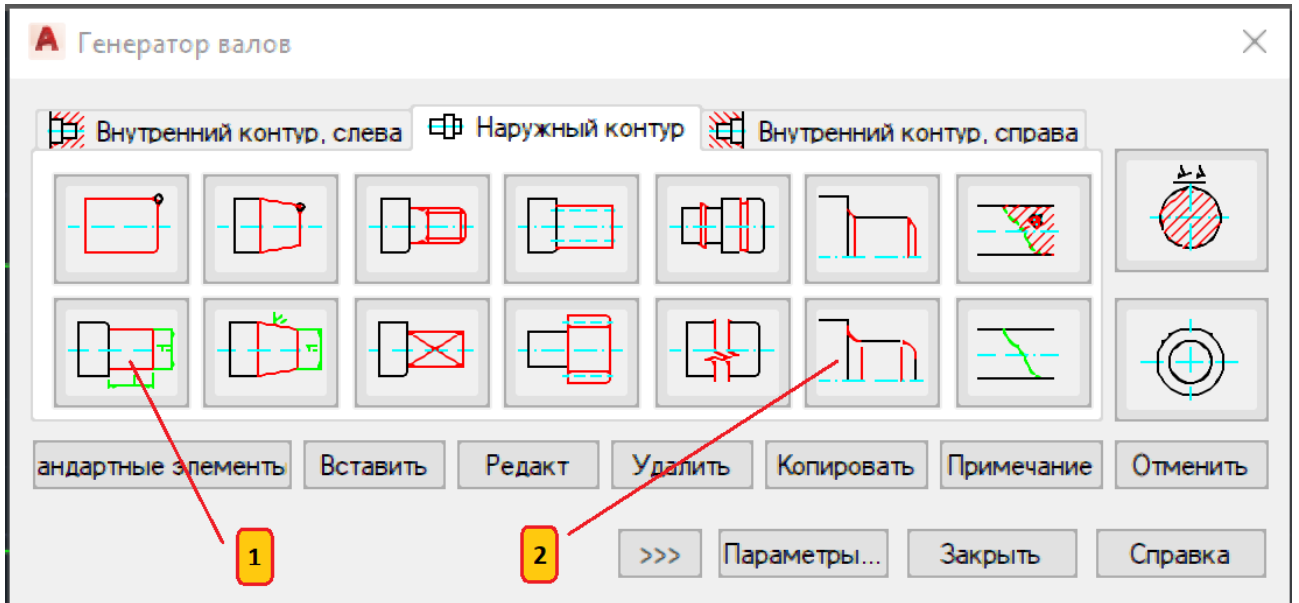
Матеріал валка вибирається за допомогою опції «Редагувати». Відкривається діалогове вікно «Матеріал» (рис. 3.3 а), в якому вибирається стандарт матеріалу. У нашому розрахунку вибирається німецький стандарт DIN. Виводиться вікно з різноманітними марками сталей і інших металів (рис. 3.3 б). Ми вибираємо сталь 34CrAlMo5 (аналог вуглецевої сталі 9Х2 і 9ХФ з підвищеним вмістом хрому і марганцю), що має межу текучості  $\sigma_T = 600$  МПа і межу міцності  $\sigma_B = 800$  МПа.

Виводиться діалогове вікно вибору властивостей матеріалу валка (рис. 3.4), в якому можна відредагувати показники міцності, вид термомеханічної обробки тощо.

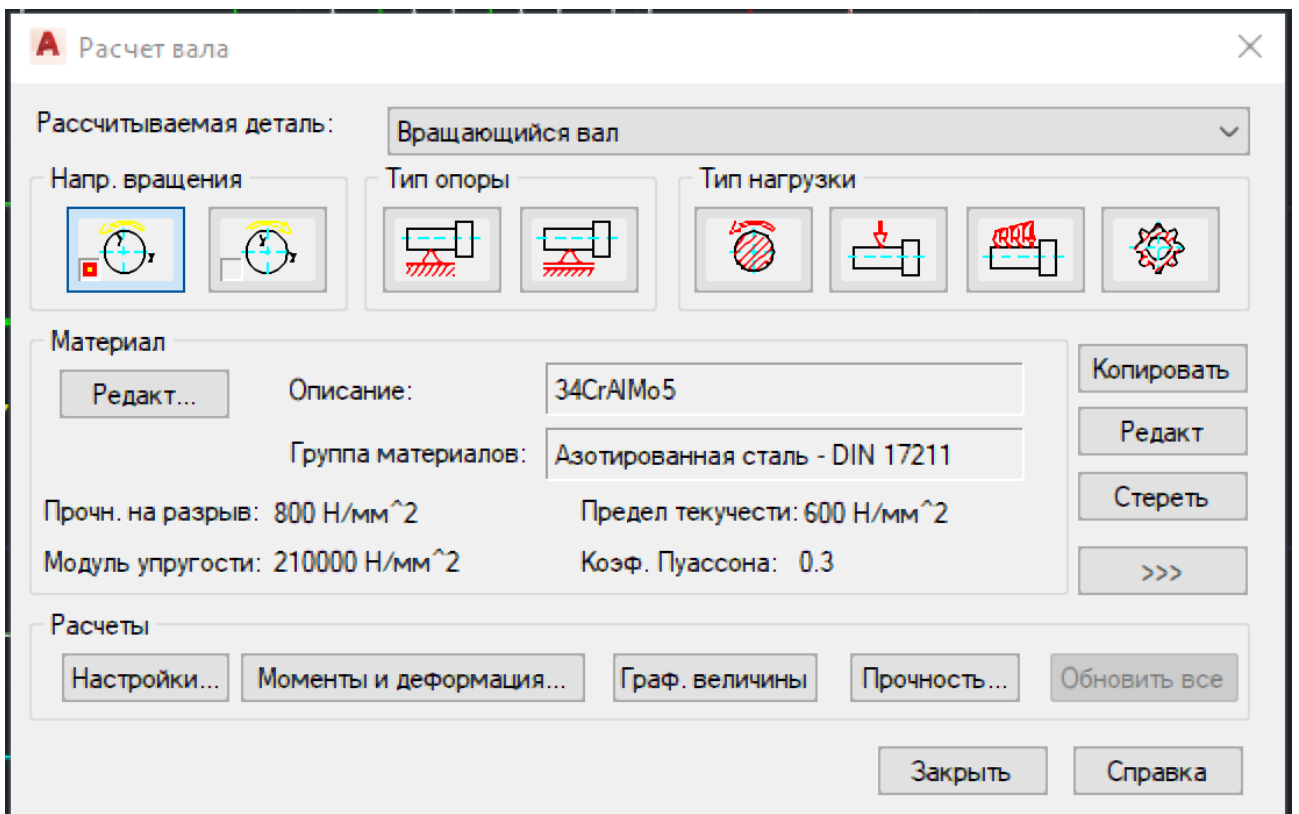




**Рисунок 3.1** - Схема для розрахунку чотиривалкової кліті кварто на міцність і деформацію

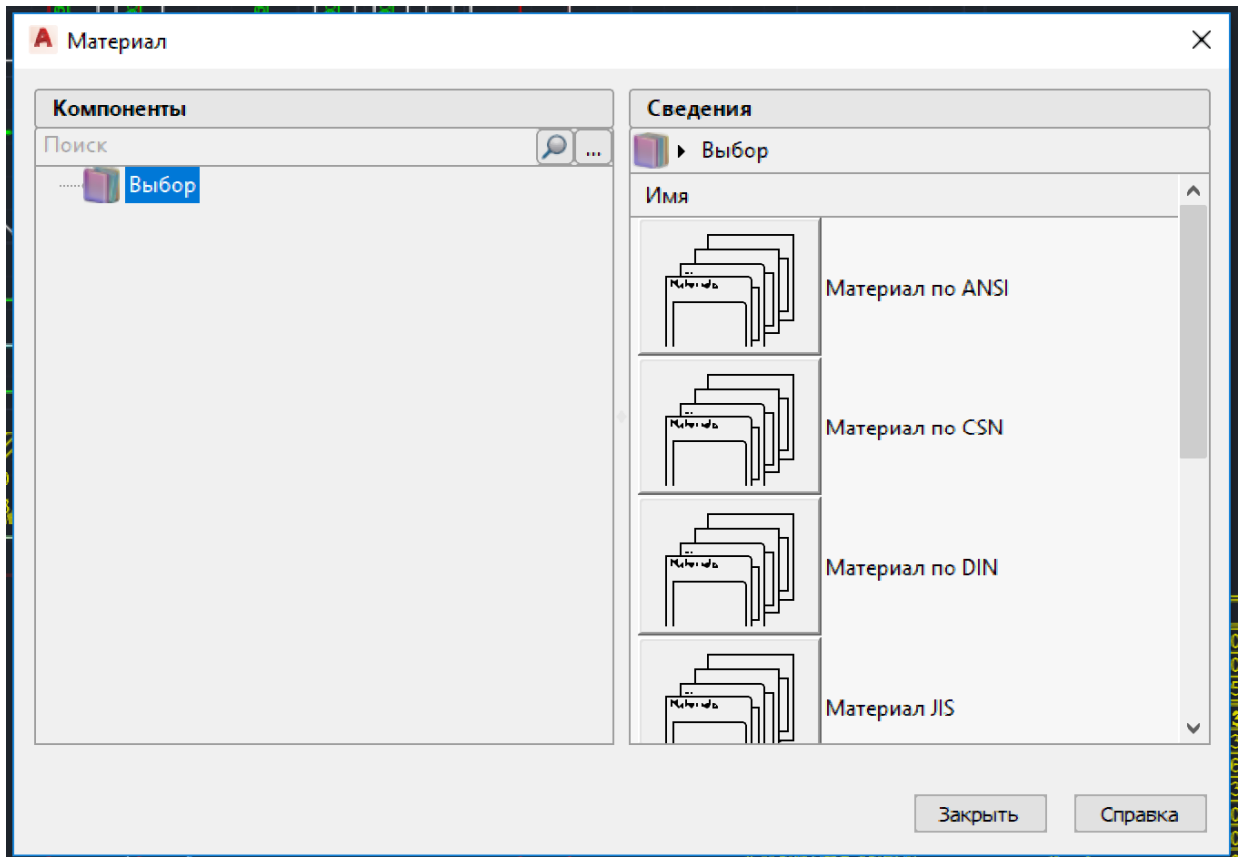


а

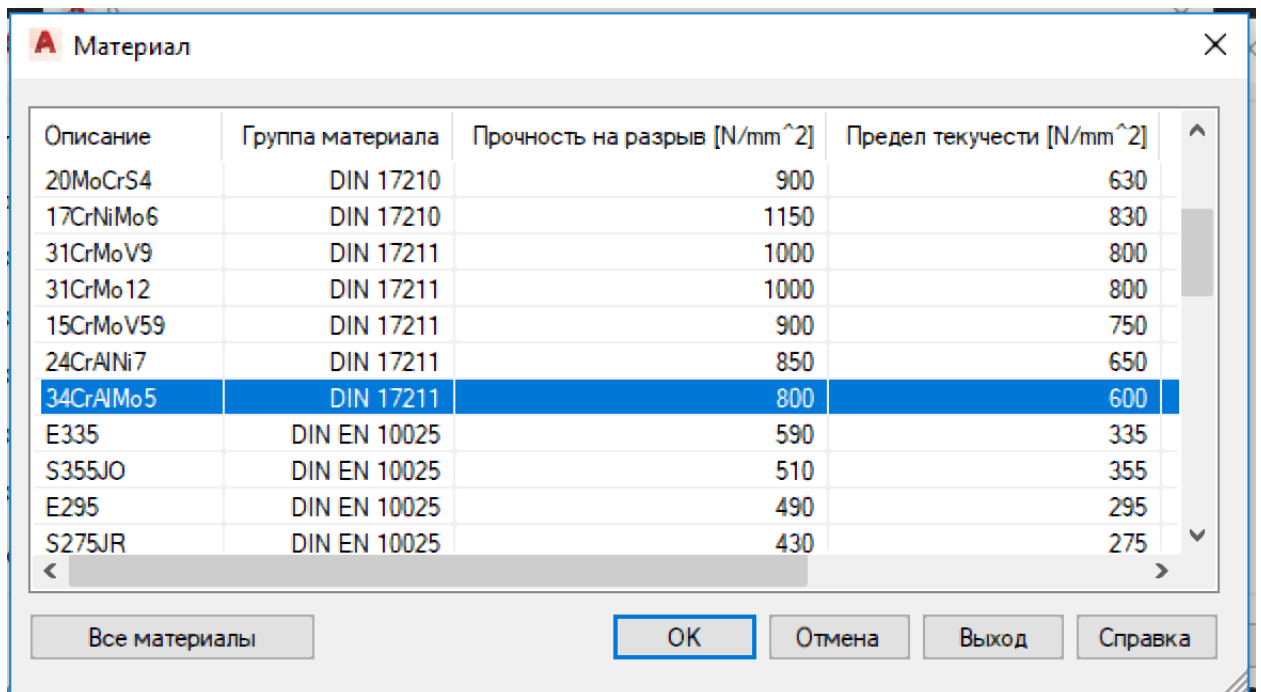


б

Рисунок 3.2 - Діалогові вікна «Генератор валів» (а) і «Розрахунок валу» (б)

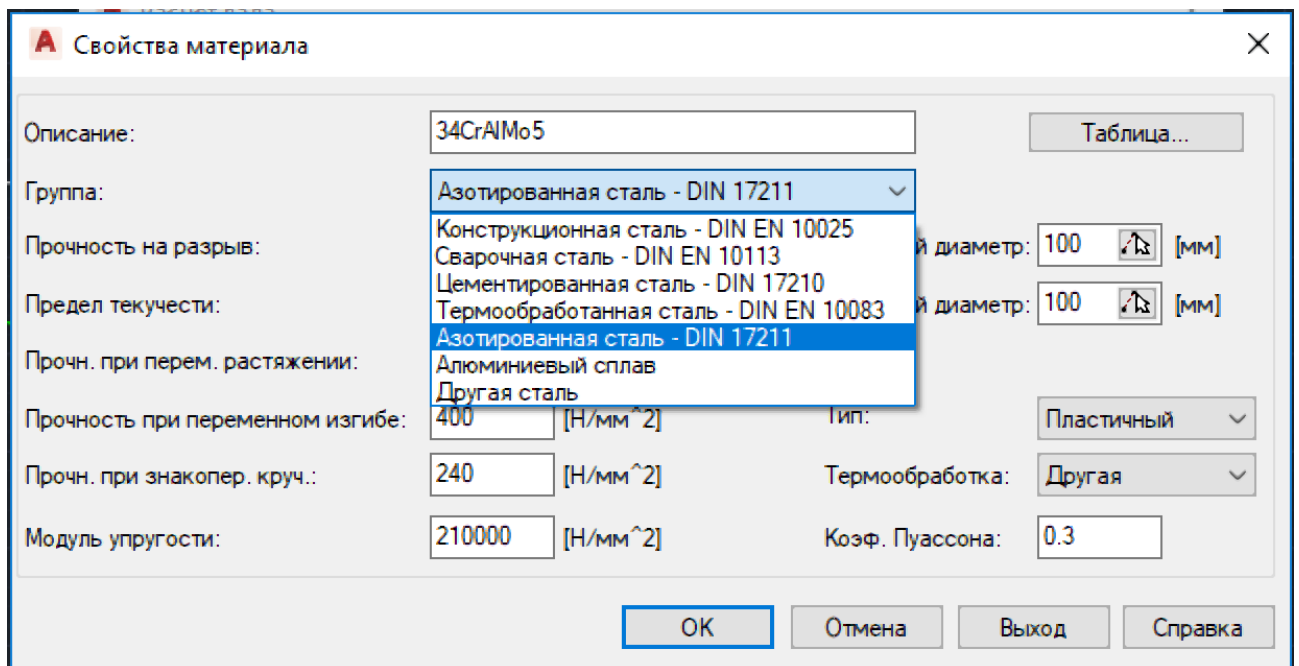
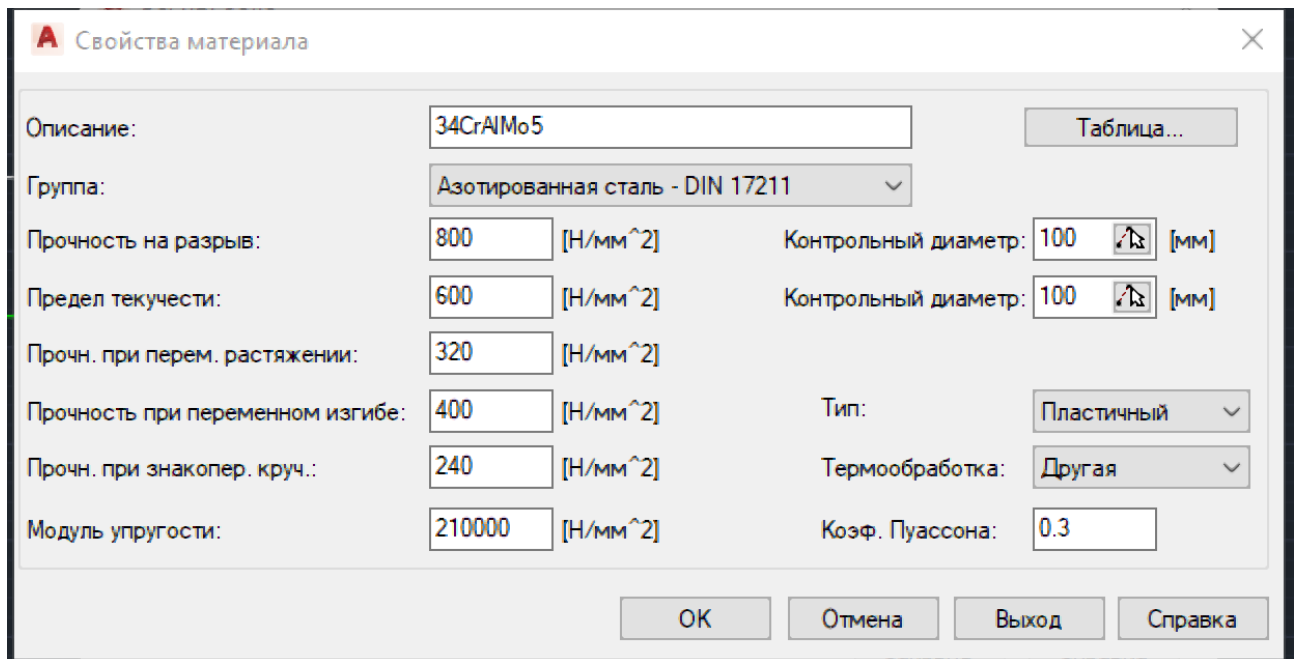


а



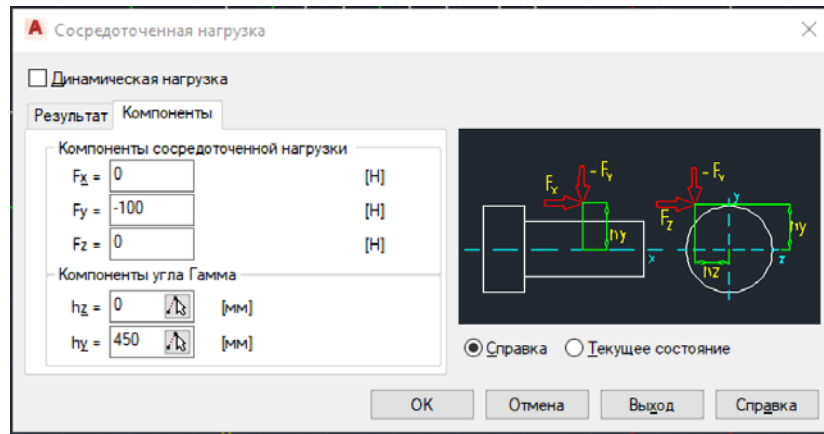
б

Рисунок 3.3 - Диалогові вікна вибору матеріалу валка

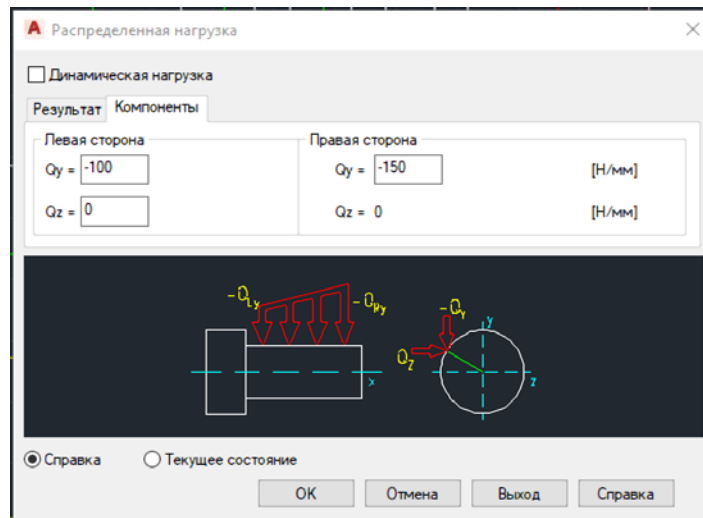


**Рисунок 3.4** – Діалогові вікна вибору властивостей матеріалу валка

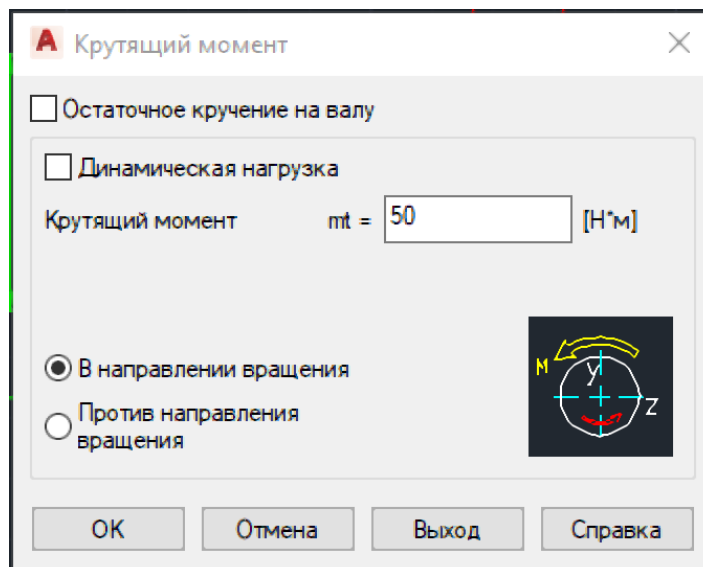
Після цього вибирається тип опор (рис. 3.2 б) і місце їх розташування на валку. Вказуються корисні навантаження. В AutoCAD Mechanical при розрахунку навантаження використовується геометрія креслення. У нашому прикладі навантаження є розподіленим по ширині штаби (рис. 3.1 і 3.5 б), але може застосовуватися і крапкове, зосереджене навантаження (рис. 3.5 а).



а



б



в

Рисунок 3.5 – Типы навантажень на валок: а – зосереджене;  
б – розподільне; в – крутний момент

Вказується крутний момент на валку (рис. 3.5 в) і результат побудови розрахункової схеми виглядає так, як показано на рис. 3.6 і 3.7.

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

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

### 3.4 Результати розрахунків листового валка на міцність і деформацію

Результати розрахунків робочого і опорного валків представлені відповідно на рис. 3.6 і 3.7. По отриманим епюрам визначаються небезпечні перетини валка – по середині бочки і в шийці валка по галтелі (у місці з'єднання шийки і бочки валка). При необхідності уточняється геометрія валка. При цьому генератор валів автоматично перераховує всі дані. На завершальному етапі виконується робоче креслення валка.

Порівнюючи розрахункові дані, приведені в літературі з обчисленими значеннями в AutoCAD Mechanical можна переконатися, що вони мають близькі значення. Так коефіцієнт запасу статичної міцності **по межі текучості** для опорного валка (крутний момент відсутній) дорівнює 5,3 (рис. 3.7), а в літературі [9] – 5,2 в перетині 1-1. У шийці робочого валка визначений тільки запас міцності при крученні  $n_{\tau} = 6,8$  [9]; за нашими даними коефіцієнт запасу міцності з урахуванням кручення і вигину дорівнює  $n_{ш}^p = 4,4$  (рис. 3.6), що також достатньо [9, стор. 109]. При сумісній дії кручення і вигину сумарна (еквівалентне) напруга в шийці для сталевих валків визначається по формулі (дані узяті на рис. 3.6):

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

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

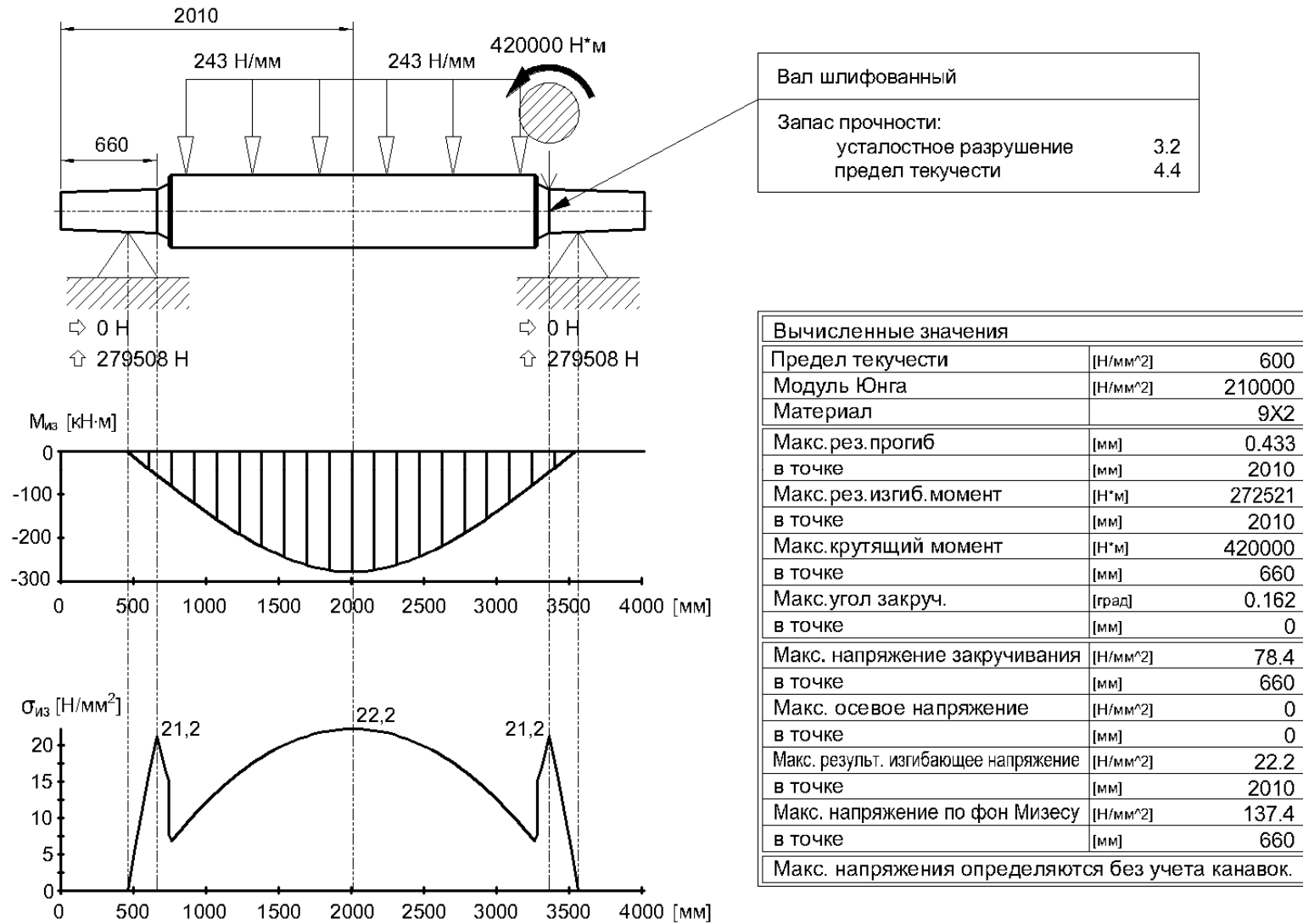


Рисунок 3.6 – Результаты розрахунку робочого валка на міцність і деформацію

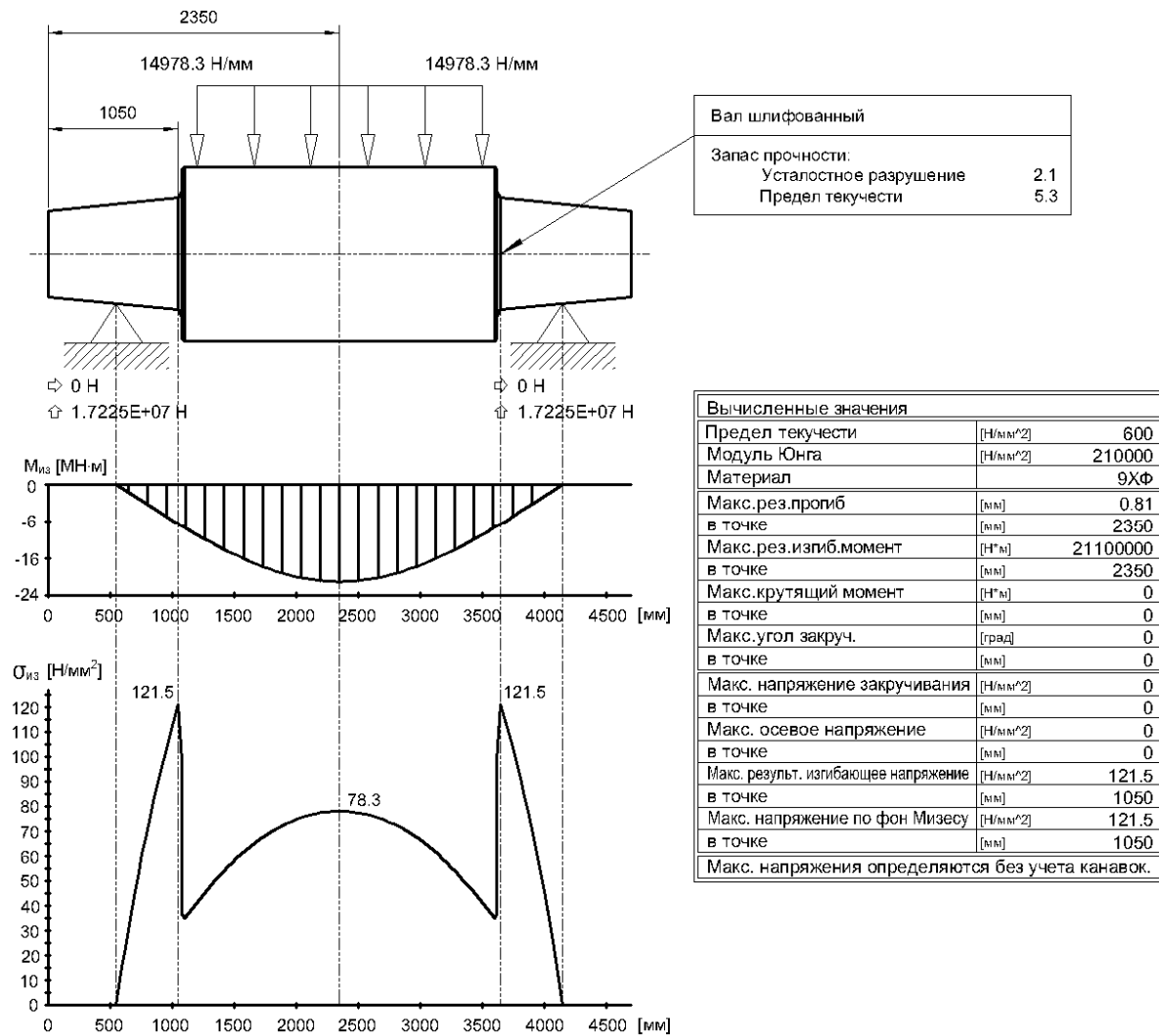


Рисунок 3.7 – Результаты розрахунку опорного вала на міцність і деформацію



Визначимо розрахункові коефіцієнти запасу міцності **по межі міцності**, використовуючи формулу (3.1) і розрахункові донні на рис. 3.6 і 3.7:

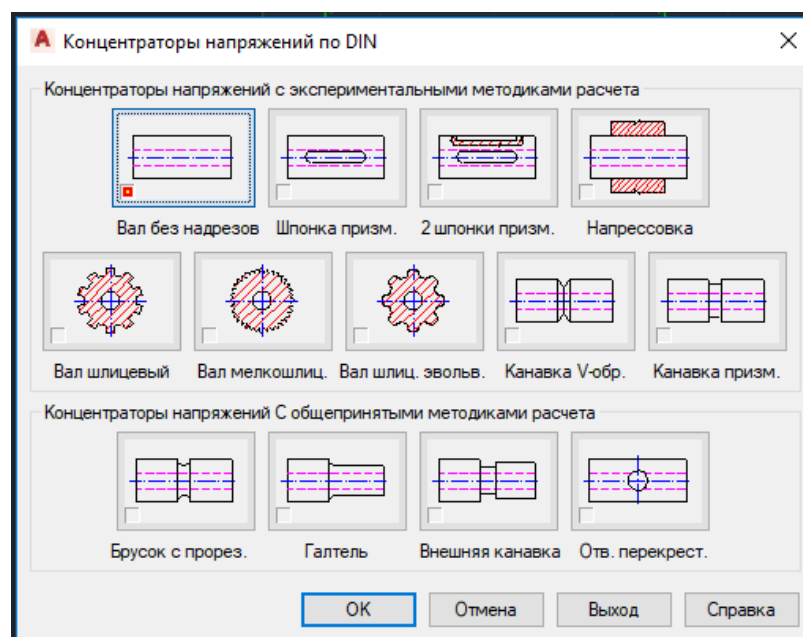
$$\text{у бочці опорного валка: } n_6^{\text{оп}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{из.б}}^{\text{оп}}} = \frac{800}{78,3} = \mathbf{10,2},$$

$$\text{у шийці опорного валка: } n_{\text{ш}}^{\text{оп}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{из.ш}}^{\text{оп}}} = \frac{800}{121,5} = \mathbf{6,6},$$

$$\text{у шийці робочого валка: } n_{\text{ш}}^{\text{р}} = \frac{\tau_{\text{в}}}{\tau_{\text{кр.ш}}^{\text{р}}} = \frac{800 \cdot 0,7}{78,4} = \mathbf{7,1}.$$

Програма AutoCAD Mechanical має можливість враховувати при розрахунках міцності велику кількість концентраторів напружень, різноманітних коефіцієнтів, меж міцності, плинності і втоми при симетричних і несиметричних циклах згинання і крутіння, стану поверхні матеріалу тощо (рис. 3.8), що дозволяє виконувати розрахунки на міцність досить швидко і з великою точністю.

AutoCAD Mechanical виконує також розрахунок на втомну або циклічну міцність в будь-якому перетині валка. Для робочого і опорного валків коефіцієнт запасу втомної міцності в шийці валка по галтелі відповідно дорівнює 3,2 і 2,1 (рис. 3.6 і 3.7). Мінімальне допустиме значення цього коефіцієнта 1,3 – 2,5 [10].



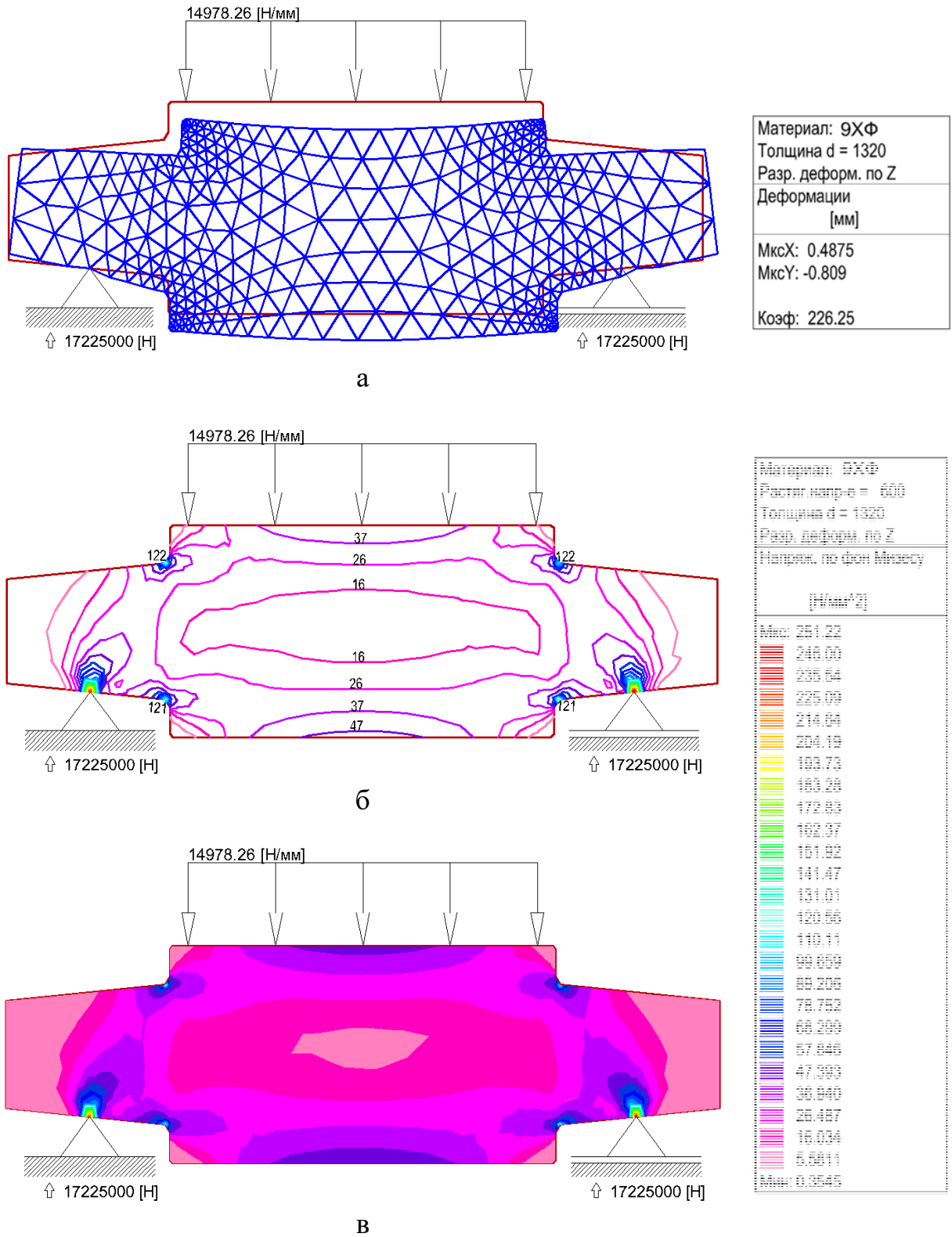
**Рисунок 3.8** – Вибір концентраторів напружень в AutoCAD Mechanical при згинанні і крутінні валка

Таким чином, всі отримані коефіцієнти запасу міцності вище допустимого  $[n]=5$ , тобто всі елементи валків мають достатню міцність, а найбільш слабкими елементами валків є шийка в місці з'єднання з бочкою валка. Цей перетин є концентратором напруження.

Прогинання валків впливає на нерівномірність товщини прокатуваної штаби по ширині і на жорсткість прокатної кліті. Прогинання опорного валка, визначене AutoCAD Mechanical (рис. 3.7 і 3.9) складає по середині бочки 0,81 мм, обчислене в літературі – 0,86 мм [9], що достатньо близько.

AutoCAD Mechanical дозволяє виконувати також оцінку напружено-деформованого стану металу методом скінченних елементів (МСЕ) [13]. Ці результати можуть бути використані для удосконалення конструкції прокатного валка. Мета методу – дати уявлення про розподіл напружень і деформацій. На рис. 3.9 (а-в) представлені результати розрахунку опорного валка МСЕ, які показують, що локалізація напружень відбувається на поверхні валка, в опорах і по галтелі, в місці з'єднання шийки і бочки валка. Умовно опори валка показані точковими, тому і напруження в них максимальне. На практиці валки встановлені на підшипниках і навантаження розподіляється по всій ширині підшипникового вузла, що можна врахувати при розрахунках в AutoCAD Mechanical.

*Висновок.* Використання генераторів компонентів і розрахункових модулів AutoCAD Mechanical 2018 дозволяє автоматизувати багато стандартних проектних завдань, виконувати розрахунки відповідно до міжнародних стандартів DIN або ANSI і значно скоротити час виконання розрахунків на міцність і деформацію валків прокатних станів. Порівняння даних, отриманих в AutoCAD Mechanical 2018, показує їх відповідність з літературними даними, отриманими розрахунковим шляхом. Реалізація алгоритму МСЕ дозволяє враховувати в розрахунках різні властивості матеріалів і різноманітні граничні умови для областей зі складною конфігурацією, наочно представити результати розрахунків. Показано що програмний комплекс AutoCAD Mechanical 2018 може бути використаний при розрахунку валків робочих клітей прокатних станів.



**Рисунок 3.9** – Розрахунок методом скінченних елементів опорного валка на деформацію (а); ізолінії (б) і ізообласті (в) напружень у валку

## 4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ СТАНИНИ ПРОКАТНОЇ КЛІТИ

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 кліти в момент захвату штаби або при прокатуванні з натяганням, звичайно зневажають [9, 10]. Методика розрахунку залежить від типу станини.

### 4.1 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. 4.1) [15].

У загальному випадку в станині можна виділити три небезпечні перетини: поперечний перетин нижньої поперечини (див. рис. 4.1, 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 поперечною (перетин IV-IV на рис. 4.1, б и в). Типова форма вказаних перетинів зображена на рис. 4.2 [15].

Для кожного небезпечного перетину, в залежності від його форми (див. рис. 4.2), 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. 4.2. Ці моменти згинають стояки станини до середини її вікна, а поперечини – по напрямку дії сили  $R_{\max}$  [15].

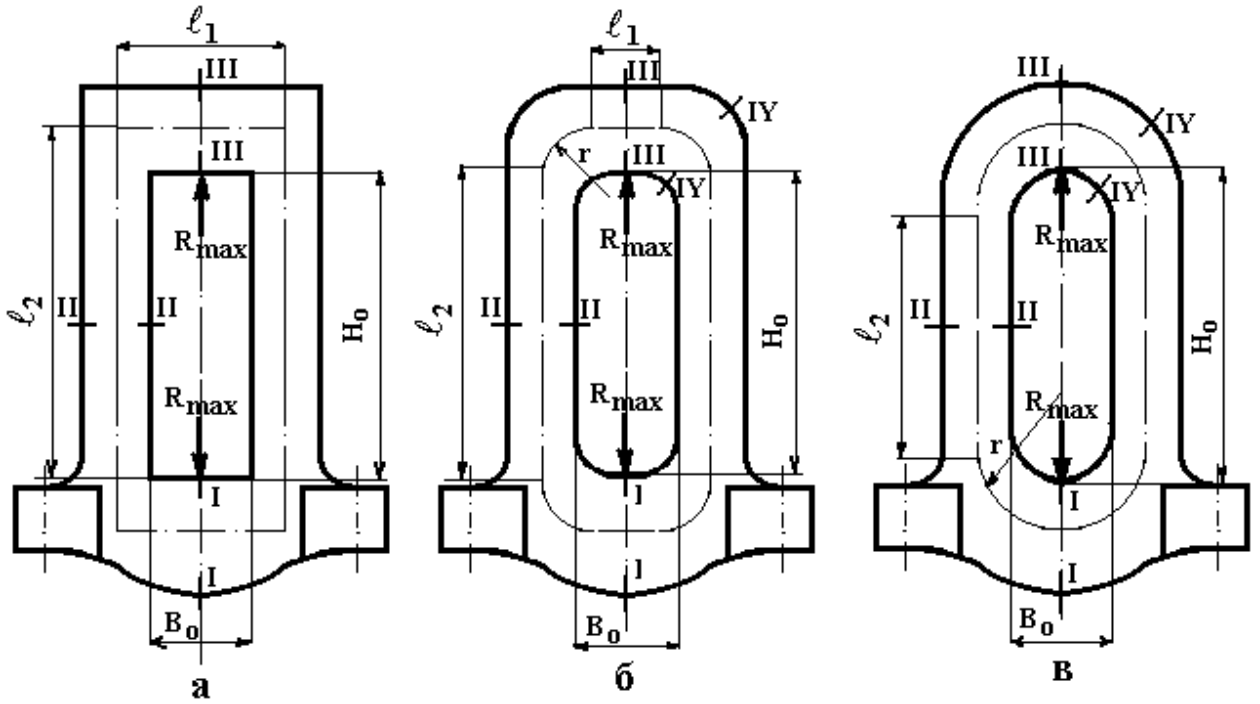


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема станини закритого типу

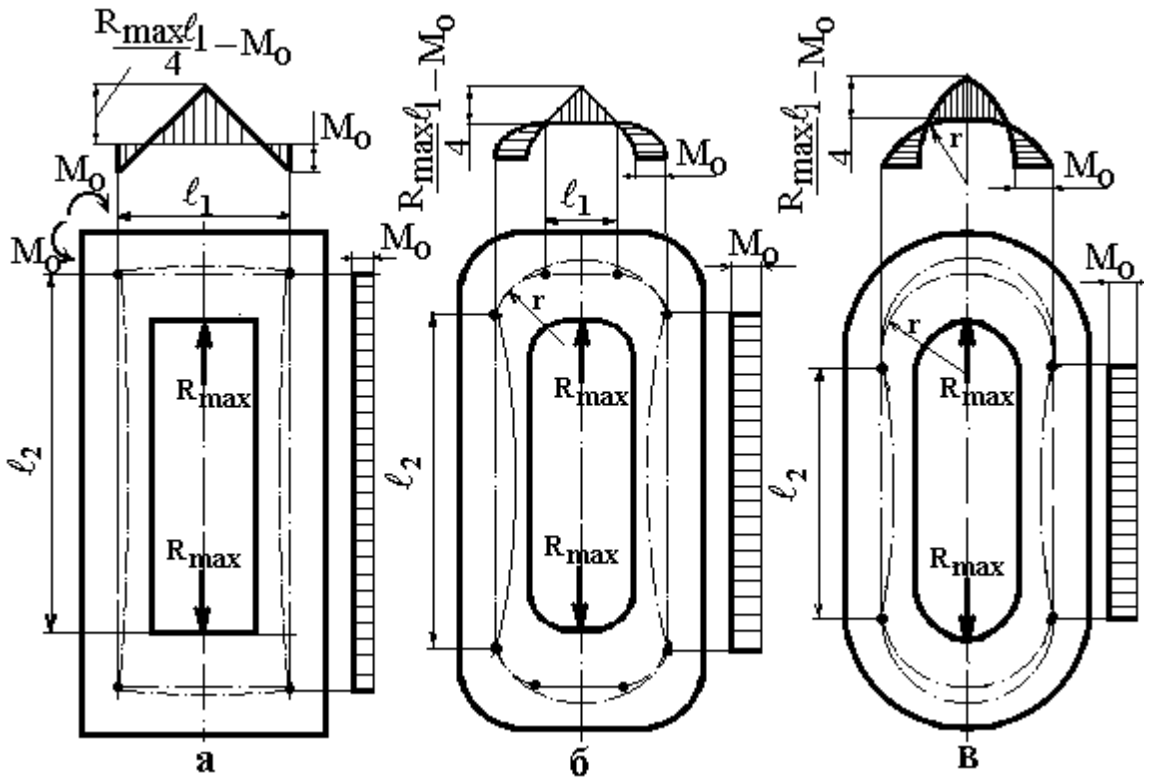


Рисунок 4.2 – Епюри згинаючих моментів в станинах закритого типу

## 4.2 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:

$$C = \frac{P}{f_{\text{кл}}}, \text{ кН/мм} \quad (4.1)$$

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 [15]:

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| 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:

$$f_{\text{кл}} = f_{\text{вал}} + f_{\text{п}} + f_{\text{под}} + f_{\text{н.у}} + f_{\text{ст}} + f_{\text{і}}, \quad (4.2)$$

де  $f_{\text{вал}}$ ,  $f_{\text{п}}$ ,  $f_{\text{под}}$ ,  $f_{\text{н.у}}$ ,  $f_{\text{ст}}$ ,  $f_{\text{і}}$  - 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 [9, 10, 15].

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

Виконаємо розрахунок пружної деформації станини відповідно до прикладу, наведеному у роботі [15, стор. 82]. Слід зазначити, що розрахунок, наведений у роботі [15] 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 [14].

Форма і розміри станини показані на рис. 4.3. 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) [13]. 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 кліті. На рис. 4.4 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. 4.5. Визначається тип опор і вказуються місця їх розташування, зазначається діюча сила  $R_{\max}$  (див. рис. 4.1, 4.2), 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/мм<sup>2</sup>. 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. 4.4 б, в. Як видно, характер деформації співпадає з літературними даними [15]. 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 [15, стор. 84]. Крім того, програма розрахувала деформацію станини і у горизонтальному напрямку по осі X – 0,749 мм. Такий розрахунок у роботі [15] відсутній.

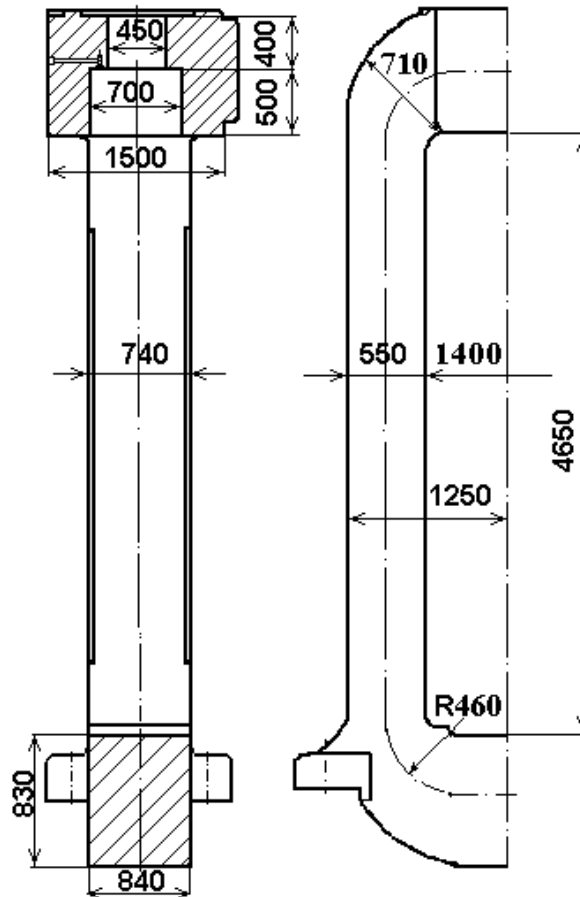
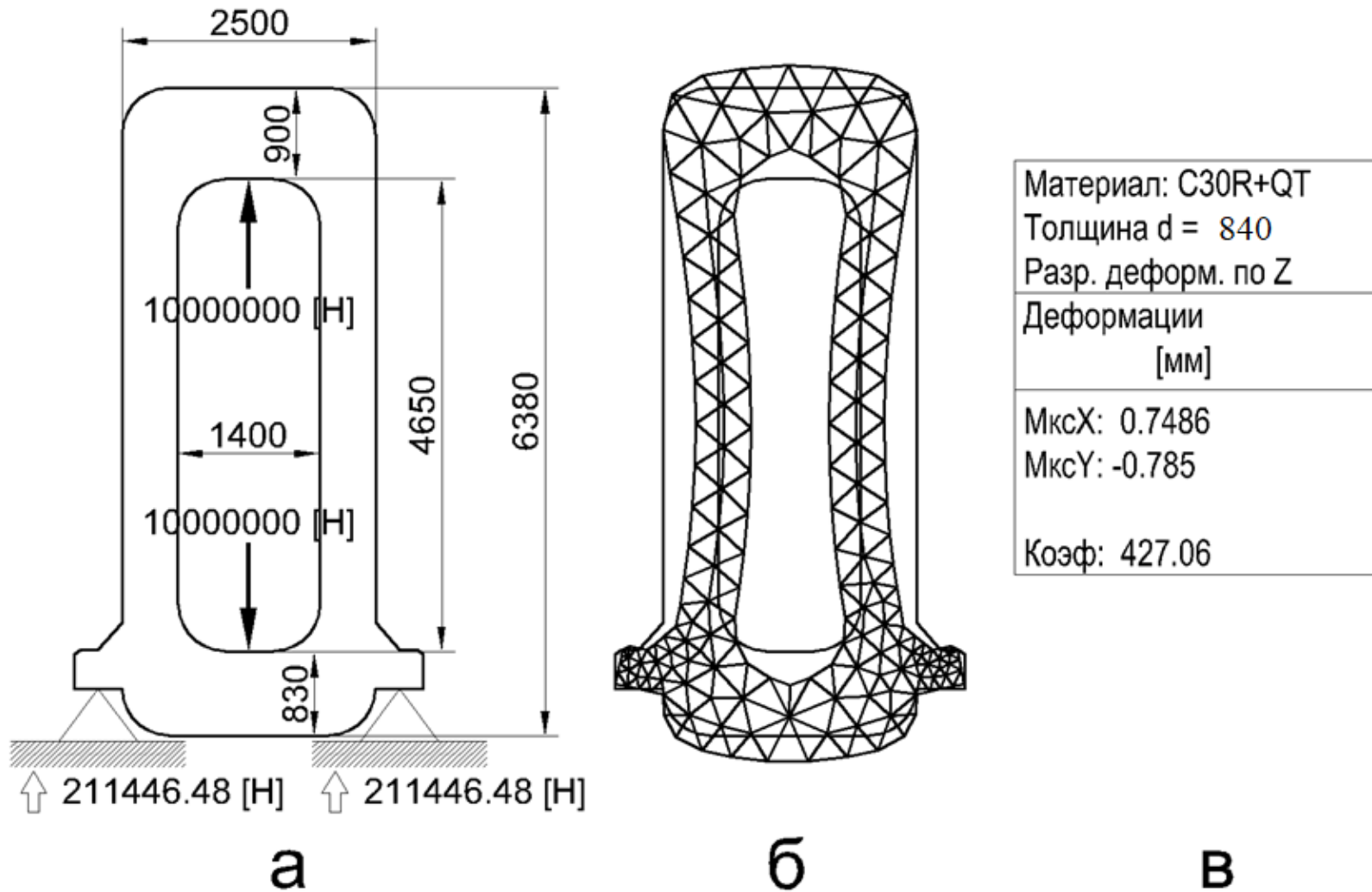


Рисунок 4.3 – До розрахунку пружної деформації станини

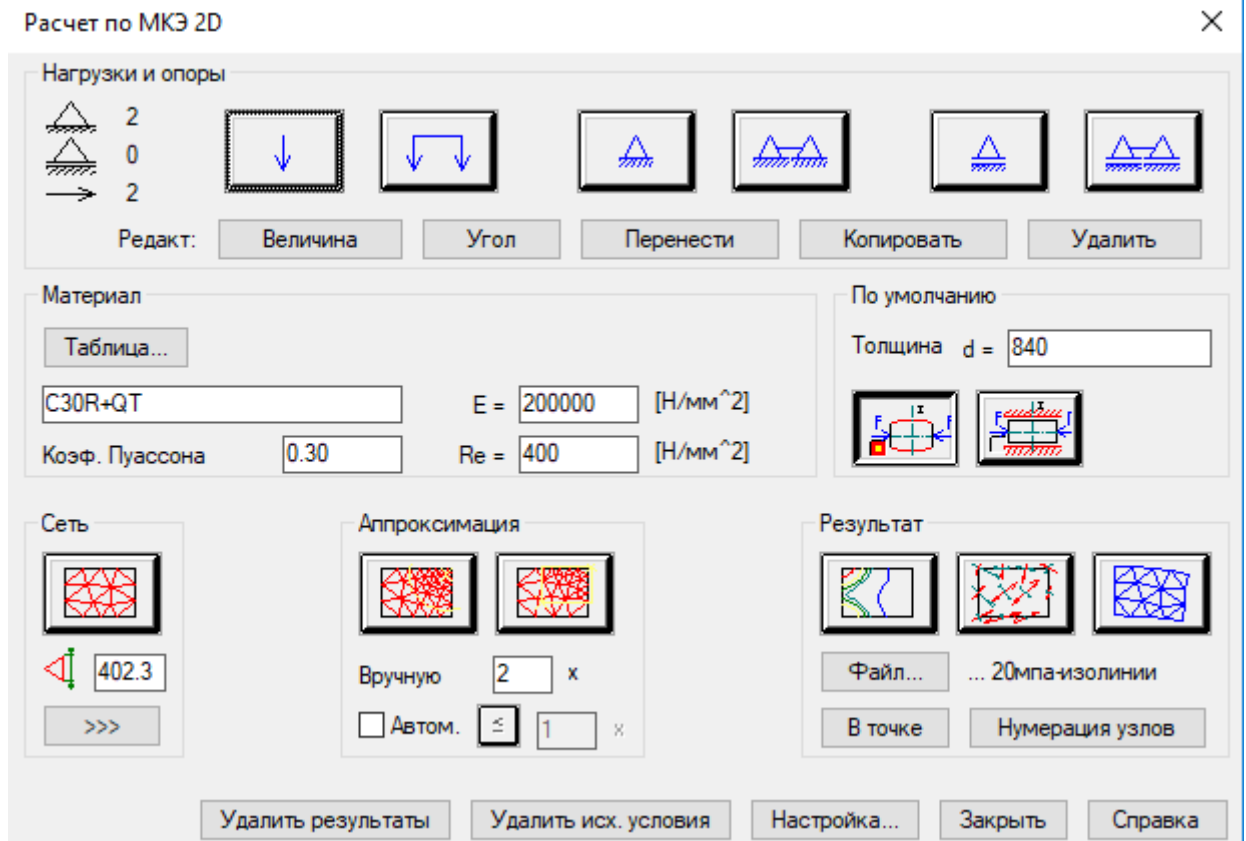
Крім деформацій МСЕ відображає напруження, які виникають у станині під дією сили у т.ч. небезпечні перетини і місця. На рис. 4.6 наведено результати розрахунків станини прокатного стану методом скінченних елементів: у вигляді ізоліній (а) і у вигляді ізобластей (б). Найбільш небезпечними є високі локальні напруження у місцях прикладання сили  $R_{max}$ , тобто поперечні перекладини станини.





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

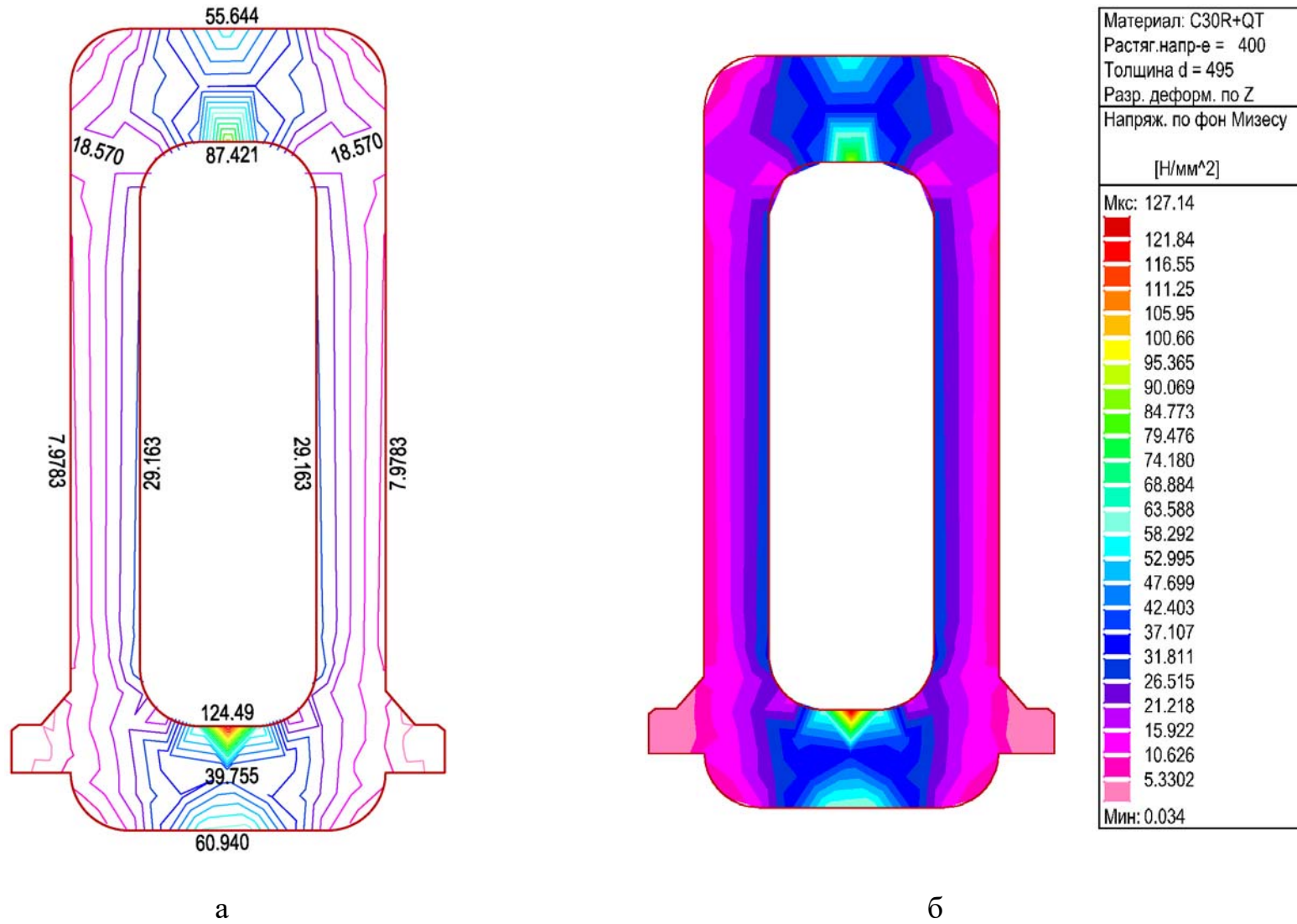
**Рисунок 4.4** – Розрахункова схема і результати розрахунків станини прокатного стана на деформацію



**Рисунок 4.5** – 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 4.6** - Результати розрахунків станини прокатного стана методом скінченних елементів

## 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 [16].

Аналіз собівартості продукції має такі **завдання**: перевірка обґрунтованості прийнятих управлінських рішень щодо собівартості; об'єктивна оцінка виконання прийнятих рішень, під час якої виявляються відхилення фактичних витрат від 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) виграти 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 додержало, 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 звіт-них 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:  $386,75 - 124,25 + 280,5 = 543 \text{ тис. грн.}$

Підприємство допустило небажане зростання собівартості на 280,5 тис. грн - за рахунок зміни рівня витрат, проте за рахунок покращення структури на 124,25 тис. грн воно дещо знизило собівартість [16].

## 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 [17, 18]:

- 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 <sup>3</sup> :                               |                        |                |  |      |       |                             |
|       | <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 <sup>3</sup>                             | 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 <sup>3</sup>              |                        |                |  |      |       |                             |
| 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 <sup>3</sup>                              | 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 32<sup>0</sup> 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 [17, 18].

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 –1500лк; 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 1мм - 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 [17, 18].

## 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 неперервнолиті 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 переваги, які дозволяють отримати прокатку в схрещених робочих і опорних валках.

Зазначається, що одним з глобальних напрямів в сучасній світовій металургії є створення модульних технологій, які дозволяють досягти максимального ефекту.

**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. Виконана постановка задачі дипломного проекту, яка полягає у переході на прокатку неперервнолитих слябів МНРС, що дозволить значно скоротити енерговитрати, покращити якість продукції, розширити її сортамент.

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 і деформацію робочих і опорних валків кліті кварто. У цьому розділі застосовано сучасні комп'ютерні технології для проектування і розрахунку валків прокатних станів. Зокрема використано систему САПР AutoCAD Mechanical 2019 для комп'ютерного моделювання валків, розрахунку моментів і прогинів, побудови епюр, визначення напружень і деформацій. Комп'ютерна програма автоматизує багато стандартних проектних задач, дозволяє отримати результати розрахунків у наглядному вигляді. Порівняння даних, отриманих в AutoCAD Mechanical 2019, показує їх відповідність з літературними даними, отриманими розрахунковим шляхом.

**4. У 4-му розділі** 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.

**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.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. **Беняковский, М.А.** Автомобильная сталь и тонкий лист / М.А. Беняковский, В.А. Масленников. – Череповец: Изд. дом «Череповец», 2007. – 636 с.
2. **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.
3. **Хлопонин, В.Н.** Особенности силового и кинематического взаимодействия прокатываемой полосы и валков с перекошенными осями / В.Н. Хлопонин // Сталь. – 1995. - № 3. – С. 37 – 41.
4. **Сивак, Б.А.** Модульный принцип – основа современной металлургии / Б.А. Сивак, А.В. Протасов // Тяжёлое машиностроение. – 2000. - № 5. – С. 2 – 6.
5. **Майерл, Дж.** Направления модернизации станов горячей прокатки полосы / Дж. Майерл, Г. Джумлия // Новости черной металлургии за рубежом. - 2005. - №9. - С. 41 - 44.
6. **Фрикке, Г.** Модернизация станов горячей прокатки полосы / Г. Фрикке, А. Ледерер // "Черные металлы". - 1998. - №7. - С. 3 - 10.
7. **Остапенко, А.Л.** Снижение энергозатрат при прокатке полос / А. Л. Остапенко, Ю. В. Коновалов, А. Е. Руднев, В. В. Кисиль. - К.: Техніка, 1983. - 223 с.
8. **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.
9. **Королев, А.А.** Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А.А. Королев. - М.: Металлургия, 1985. - 376 с.
10. **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. - М.: Металлургия, 1988. – 680 с. - ISBN 5-229-00035-X.
11. **Цепин, М.А.** Использование специализированных программ при разработке технологических процессов обработки металлов давлением [Текст] / М.А. Цепин, В.В. Бегнарский, Н.Л. Лисунец, М.В. Сеницын, М.А. Ерохов // Цветные металлы. – 2007. - № 5. – С. 98 – 101. – Бібліогр.: с. 101.
  12. **Большаков, В.П.** Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor [Текст] / В.П. Большаков, А.Л. Бочков. - СПб.: Питер, 2013. - 304 с. - Бібліогр.: с. 300. - ISBN 978-5-496-00041-3.
  13. **Боровік, П.В.** Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінченних елементів: навч. посіб. [Текст] / П.В. Боровік. - Алчевськ: ДонДТУ, 2012. - 170 с. - Бібліогр.: с. 163 - 170.
  14. **Федорченков, А.П.** AutoCAD Mechanical. Практическое руководство / А.П. Федорченков, А.М. Кимаев. – М.: «ТехБук», 2004. – 688 с.
  15. **Шейко С.П.** Устаткування цехів ОМТ: методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 «Обробка металів тиском» / С.П. Шейко, А.К. Коваленко. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 104 с.
  16. **Проскурович, О.В.** Комп'ютерні технології економічного аналізу: Навчальний посібник /Проскурович О.В., Бойчук В.А. - Львів: Новий Світ-2000, 2012. – 310 с. - ISBN 78-966-418-210-9.
  17. **Румянцев, В.Р.** Охрана праці та техногенна безпека: метод. вказівки до виконання розділу дипломних проектів (робіт) для студ. ЗДІА (спеціалістів) напряму 6.050401 "Металургія / В.Р. Румянцев, С.П. Панасейко, І.О. Ткаліч. ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2011. - 43 с.
  18. **Жидецкий, В.Ц.** Основы охраны труда / В.Ц. Жидецкий, В.С. Джигирей, А.В. Мельников. – Львов: Афиша, 2000. – 351 с.



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

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

**ЗБІРНИК**  
наукових праць студентів,  
аспірантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2019»

**Том V**

«Секції Криворізького факультету ЗНУ»  
«Секції Інженерного інститут ЗНУ»

Запоріжжя  
2019

|  |    |
|--|----|
| <b>Мотчанова Світлана</b>  |    |
| <i>ПОНЯТТЯ, ХАРАКТЕРИСТИКА І ВИДИ РІШЕНЬ В МЕНЕДЖМЕНТІ</i> .....   | 73 |
| <b>Ходус Олег</b>  |    |
| <i>УПРАЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИМИ ПРОЕКТАМИ У ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»...</i>                                      | 75 |
| <b>ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ</b>   |    |
| <b>СЕКЦІЯ «МЕТАЛУРГІЯ»</b>   |    |
| <b>Андрєєва Ксенія</b>   |    |
| <i>РОЗРАХУНОК ВАЛКІВ ПРОКАТНИХ СТАНІВ НА МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМАЦІЮ У ПРОГРАМІ AUTOCAD MECHANICAL</i> .....             | 77 |
| <b>Батичко Олена</b>   |    |
| <i>РОЗРАХУНОК НОРМАЛЬНИХ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ШТАБ</i> .....                | 78 |
| <b>Бондаренко Оксана</b>   |    |
| <i>КОНСТРУКТИВНІ МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗУСИЛЛЯ ПРИ РОЗПОДІЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ</i> ..... | 79 |
| <b>Варченко Дмитро</b>   |    |
| <i>ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕТРИВКИХ ФУТЕРОВОК В МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСАХ</i> .....  | 80 |
| <b>Воденнікова Оксана</b>  |    |
| <i>АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА КОЛІСНИХ СТАЛЕЙ</i> .....                         | 82 |
| <b>Воденнікова Оксана</b>  |    |
| <i>РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЧОРНІЙ МЕТАЛУРГІЇ</i> .....  | 84 |
| <b>Власенко В.В.</b>   |    |
| <i>ПОЗАПІЧНЕ РАФІНУВАННЯ ФЕРОСИЛІЦІЮ ВІД АЛЮМІНІЮ</i> .....  | 86 |
| <b>Груша Артем</b>   |    |
| <i>ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛЕВОГО ЛОМУ В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ</i> .....   | 88 |
| <b>Дворецький Володимир</b>  |    |
| <i>АЛГОРИТМ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ</i> .....  | 90 |
| <b>Детюк Наталія</b>   |    |
| <i>МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЧАСТИНОК ПРИ ОТРИМАННІ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ МЕТОДОМ РОЗПИЛЕННЯ</i> .....               | 91 |
| <b>Іванюк Анна</b>   |    |
| <i>ПРО ВИРОБНИЦТВО І СПОЖИВАННЯ ТИТАНУ</i> .....   | 93 |
| <b>Кідалов Владіслав</b>   |    |
| <i>УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ НА РЕВЕРСИВНОМУ СТАНІ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ 1200</i> .....                           | 94 |
| <b>Кузнєцова Наталія</b>   |    |
| <i>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ПОЧАТКОВОЇ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИТЯГУВАННЯ КОРОБЧАСТИХ ДЕТАЛЕЙ</i> .....                | 95 |
| <b>Лепіна Яна</b>  |    |
| <i>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ РОЗКРИЛИ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК СКЛАДНОГО КОНТУРУ</i> .....                           | 96 |
| <b>Лисиця Ганна</b>  |    |
| <i>ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАСТИЛ ПРИ ХОЛОДНОМУ ЛИСТОВОМУ ШТАМПУВАННЯ</i> .....                     | 97 |

Отже, ефективне функціонування системи управління проектами підприємства потребує відповідного інформаційно-аналітичного забезпечення, основною метою якого є підготовка пропозицій для прийняття рішення керівництвом ПАТ «АМКР» щодо своєчасного попередження або зниження впливу негативних внутрішніх та зовнішніх загроз. Для цього менеджменту ПАТ «АМКР» пропонується використати розроблені організаційно-управлінські заходи та розроблену у роботі модель інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності системи економічної безпеки підприємства.

### **Література**

1. Минаев Э. С. Управление производством и операциями : учебное пособие. М., 2009. 328 с.
2. Польшаков В. І., Ткаленко Н. В. . Інвестиційний менеджмент : навч. посіб. К. : Кондор. 2009. 172 с.
3. Правдюк Н. Л., Слівінська А. В. Сутність інвестиційної діяльності : роль та значення інвестицій. Вісник Запорізького національного університету. 2010. № 2 (6). С. 195-198.

## **ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

### **СЕКЦІЯ «МЕТАЛУРГІЯ»**

**Андрєєва Ксенія**

магістрант 1 курсу факультету металургії

Наук. кер.: к.т.н., доц. Проценко В.М.

### **РОЗРАХУНОК ВАЛКІВ ПРОКАТНИХ СТАНІВ НА МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМАЦІЮ У ПРОГРАМІ AUTOCAD MECHANICAL**

Питанню автоматизації комп'ютерного моделювання присвячена велика кількість робіт [1]. 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.

Метою роботи є дослідження можливості геометричного моделювання валків прокатних станів і виконання розрахунків на міцність і деформацію в програмному комплексі AutoCAD Mechanical 2019 [2].

При визначенні міцності валок розглядають як двохопорну балку, навантажену силою прокатки і крутним моментом, що приводить до появи в тілі валка нормальних і дотичних напружень. Програма забезпечує статичний розрахунок, який має велике значення для розрахунку навантаження на вал і підшипники котіння або ковзання.

Основний спосіб розрахунку валу в AutoCAD Mechanical полягає у визначенні контуру і вставці сил і опор. Програма розраховує всі необхідні значення і буде відповідні епюри моментів і деформацій [2].

Використання генераторів компонентів і розрахункових модулів AutoCAD Mechanical дозволяє автоматизувати багато стандартних проектних завдань, виконувати розрахунки відповідно до міжнародних стандартів DIN або ANSI і значно скоротити час виконання розрахунків на міцність і деформацію валків прокатних станів. Порівняння даних, отриманих в AutoCAD Mechanical, показує їх відповідність з літературними даними, отриманими розрахунковим шляхом. Реалізація алгоритму МСЕ (метод скінченних елементів) дозволяє враховувати в розрахунках різні властивості матеріалів і різноманітні граничні умови для областей зі складною конфігурацією, наочно представити результати розрахунків. Показано що програмний комплекс AutoCAD Mechanical 2019 може бути використаний при розрахунку валків робочих клітей прокатних станів.

### Література

1. Боровік, П.В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінченних елементів: навч. посіб. [Текст] / П.В. Боровік. - Алчевськ: ДонДТУ, 2012. - 170 с.
2. Федорченков, А.П. AutoCAD Mechanical. Практическое руководство [Текст] / А.П. Федорченков, А.М. Кимаев. – М.: «ТехБук», 2004. – 688 с. – Библиогр.: с. 688. – ISBN 978-5-49807-774-1.

**Батичко Олена**

магістрант 1 курсу факультету металургії  
Наук. кер.: к.т.н., доц. Проценко В.М.

### **РОЗРАХУНОК НОРМАЛЬНИХ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ШТАБ**

Метою роботи є розробка алгоритму і комп'ютерної програми розрахунку нормальних контактних напружень в осередку деформації при холодному прокатуванні штаб на реверсивному стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь» у програмному комплексі Mathcad Prime 5. Іншою метою є порівняльний аналіз формул, що використовуються для розрахунку нормальних контактних напружень в осередку деформації. Застосування сучасної комп'ютерної програми обумовлює актуальність та практичну значимість даної роботи як для навчального процесу, так і для науково-дослідної і проектно-конструкторської роботи. Питанню розрахунку нормальних контактних напружень в осередку деформації при прокатуванні штаб присвячено значну кількість робіт [1].

Для визначення величини тисків у довільному перетині осередку деформації розроблено алгоритм розрахунку, відображений на відповідній блок-схемі. Осередок деформації розбивається на ряд перетинів (від 0 до k).