

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

**Кваліфікаційна робота / проект**

Перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Реконструкція блюмінгу 1050 шляхом розробки нової системи  
калібрування валків для прокатування блюмів перетином 215×215 мм і  
300×330 мм зі сталі 40Х**

Виконав: студент V курсу, групи 6.1369-м-з  
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)


освітньої програми Обробка металів тиском

(код і назва освітньої програми)

О.А. Беседіна

(ініціали та прізвище)

Керівник

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

Рецензент

доц. каф. МТЕТБ, доц., к.т.н. О.С. Воденнікова

Запоріжжя – 2024 року

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 12 ” 02 2024 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

О.А. Беседіній

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) **Реконструкція блюмінгу 1050 шляхом розробки нової системи калібрування валків для прокатування блюмів перетином 215×215 мм і 300×330 мм зі сталі 40Х**

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” 12. 23 р. № 2212-с

2. Строк подання студентом роботи 24 травня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація прокатного цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь», літературні джерела.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки.  
Мета кваліфікаційної роботи – реконструкція обтискного стану 1050 (блюмінгу) ПрАТ «Дніпроспецсталь» шляхом застосування нових калібрровок та нових режимів обтиснень, що забезпечить підвищення продуктивності стану та поліпшення якості прокату і зменшення відходів металу.

Виконати розрахунки нових калібрувань валків блюмінгу 1050 і режими обтиснень для прокатки профілерозмірів основного сортаменту стана, що забезпечить скорочення утяжки торців блюмів без погіршення якості осьової зони розкату. застосувати комп'ютерну програму Mathcad Prime 9 для розрахунків напружень і деформацій прокатних валків обтискного стану.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення валків блюмінгу та іншого обладнання прокатного цеху, калібрування валків, графіки залежностей енергосилових параметрів прокатки від номера проходу тощо.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–4, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання 12.02.2024 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	12.02.24 – 13.03.24	
2.	Розділи 2 - 3	16.03.24 – 17.04.24	
3.	Охорона праці, висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	20.04.24 – 24.05.24	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Беседіна О.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Проценко В.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Бєлоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

## Реферат

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить: 127 с., 17 рис., 20 табл.; використано літературних джерела 22.

Об'єкт дослідження – обтискний прокатний стан для виробництва катаних блюмів – блюмінг «1050» ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Мета дипломного проекту – реконструкція обтискного стану «1050» шляхом розробки нової системи калібрування валків блюмінгу 1050, що дозволяє інтенсифікувати обтиснення в першому калібрі в перших проходах для більш раннього початку пророблення структури металу по висоті штаби.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків, які використовуються в прокатному виробництві. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical 2020 та Mathcad Prime 9.

Отримані результати і їх новизна – встановлено, що розраховані нові калібрування валків блюмінгу 1050 і режими обтиснень для прокатки профілерозмірів основного сортаменту стану забезпечують скорочення утяжки торців блюмів без погіршення якості осьової зони розкату. Застосовано комп'ютерні програми Mathcad Prime 9 і AutoCAD для розрахунків напружень і деформацій прокатних валків обтискного стану.

Отримані результати рекомендуються для впровадження на блюмінгу ПрАТ «Дніпроспецсталь» з метою покращення якості розкату і техніко – економічних показників виробництва.

БЛЮМІНГ, ОБТИСКНЕ ВИРОБНИЦТВО, ЗЛИВОК, МАКРОСТРУКТУРА, ПРОКАТНІ ВАЛКИ, КАЛІБРИ, КАЛІБРУВАННЯ, НАПРУЖЕННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, ПРОКАТНИЙ СТАН, МОДЕЛЮВАННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА .....	8
1.1 Стисла технічна характеристика обтискного стану «1050/950» ПрАТ «Дніпроспецсталь» .....	8
1.2 Технологія виробництва блюмів на стані «1050» .....	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	22
2.1 Розрахунок режимів обтиснень і енергосилових параметрів прокатки за запропонованою технологією .....	22
2.2 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки за діючою технологією .....	62
2.3 Розрахунок утяжки торців блюмів за діючим режимом прокатки та за розрахунковим варіантом .....	88
2.4 Глибина проникнення деформації при прокатці за формулою $H/D_p \leq 0,5$ .....	91
2.5 Аналіз і обговорення результатів розрахунків .....	99
2.6 Аналіз недоліків роботи обладнання стану «1050» .....	101
2.7 Пропозиції та заходи щодо вдосконалення процесу, технології, обладнання обтискного виробництва .....	102
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА .....	103
3.1 Розрахунок валків на міцність .....	104
3.2 Розрахунок на міцність валків блюмінгу у програмі Mathcad ....	108
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	114
4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища .....	114
4.2 Заходи з поліпшення умов праці .....	118
ВИСНОВКИ .....	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	125

## ВСТУП

Докорінне покращення якості металопродукції та нарощування продуктивності праці – це основні задачі, які стоять перед чорною та кольоровою металургією. Зростання якості прокату шляхом запобігання розвитку завжди наявних в об'ємі та на поверхні зливка дефектів та запобігання утворенню нових дефектів, є найважливішими резервами збільшення виходу гідного прокату, рівносильними збільшенню виробництва сталі.

Вивченням якості металу, прокатаного на блюмінгу, зв'язано з рядом труднощів. Якість розкатів залежить не тільки від умов нагріву та прокатки, але також і від стану поверхні та наявності внутрішніх дефектів зливка, обумовлених технологією сталеплавильного виробництва. Оцінити візуально якість поверхні зливка навіть при ретельному огляді складно у зв'язку з тим, що виявляються лише грубі дефекти поверхні, а більш дрібні тріщини, газові міхури, неметалеві включення тощо залишаються схованими під шаром окислів. Будучи концентратами напруг, дефекти призводять до зниження деформуємості сталі.

Аналіз наявних в літературі даних про вплив ступені деформації на якість макроструктури, про механізм утворення дефектів у вигляді загальної та центральної пористості, паукоподібних тріщин, осьових надривів та інших несучільностей, показує, що утворення цих дефектів зв'язано з особливостями напруженого та деформованого стану при прокатці високих штаб. Це пояснюється тим, що пластичність металу залежить не тільки від хімічного складу сталі, структури металу, температури та швидкості деформації, але також є складною функцією напруженого стану.

Результати численних досліджень показують, що якість деформованого металу в певній мірі залежить від ступеня обтиснення. З ростом абсолютного та сумарного обтиснення збільшується глибина проникання деформації, збільшується інтенсивність стискаючих напружень

у центральних шарах штаби, що в кінцевому підсумку створює сприятливі умови для заварювання наявних дефектів у вихідному зливку, перешкоджає виниканню внутрішніх надривів в процесі деформації.

Отже, покращення якості макроструктури великих профілів прокату можна досягнути декількома методами, а саме вдосконаленням технології виплавки та розливки сталі, вибором оптимальних параметрів зливку, мікролегуванням та гомогенізацією, застосуванням раціональних технологічних режимів прокатки. Тому розробка найбільш оптимальних умов деформування злиwkів з легованих сталей і сплавів, що попереджають утворення дефектів у металі під час прокатки, є важливою науковою і практичною задачею.

Метою даного дипломного проекту є реконструкція обтискного стану 1050 (блюмінгу) ПАТ "Дніпроспецсталь" шляхом застосування нових калібровок та нових режимів обтиснень, що забезпечить підвищення продуктивності стану та поліпшення якості прокату і зменшення відходів металу.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Стисла технічна характеристика обтискного стану «1050/950»

рніпроспцсталь

#### Призначення і сортамент стану

Стан складається з двох лінійно розташованих клітей – обтискної та заготівельної. Сортамент стану – квадрати зі стороною 98 ÷ 350 мм, електроди для ЕШП – квадрати зі стороною 240 мм, круг діаметром 130 ÷ 300 мм з вуглецевих, легованих і високолегованих сталей спеціального призначення, які потребують особливого режиму нагріву, прокатки і додаткової обробки готової продукції та заготовки.

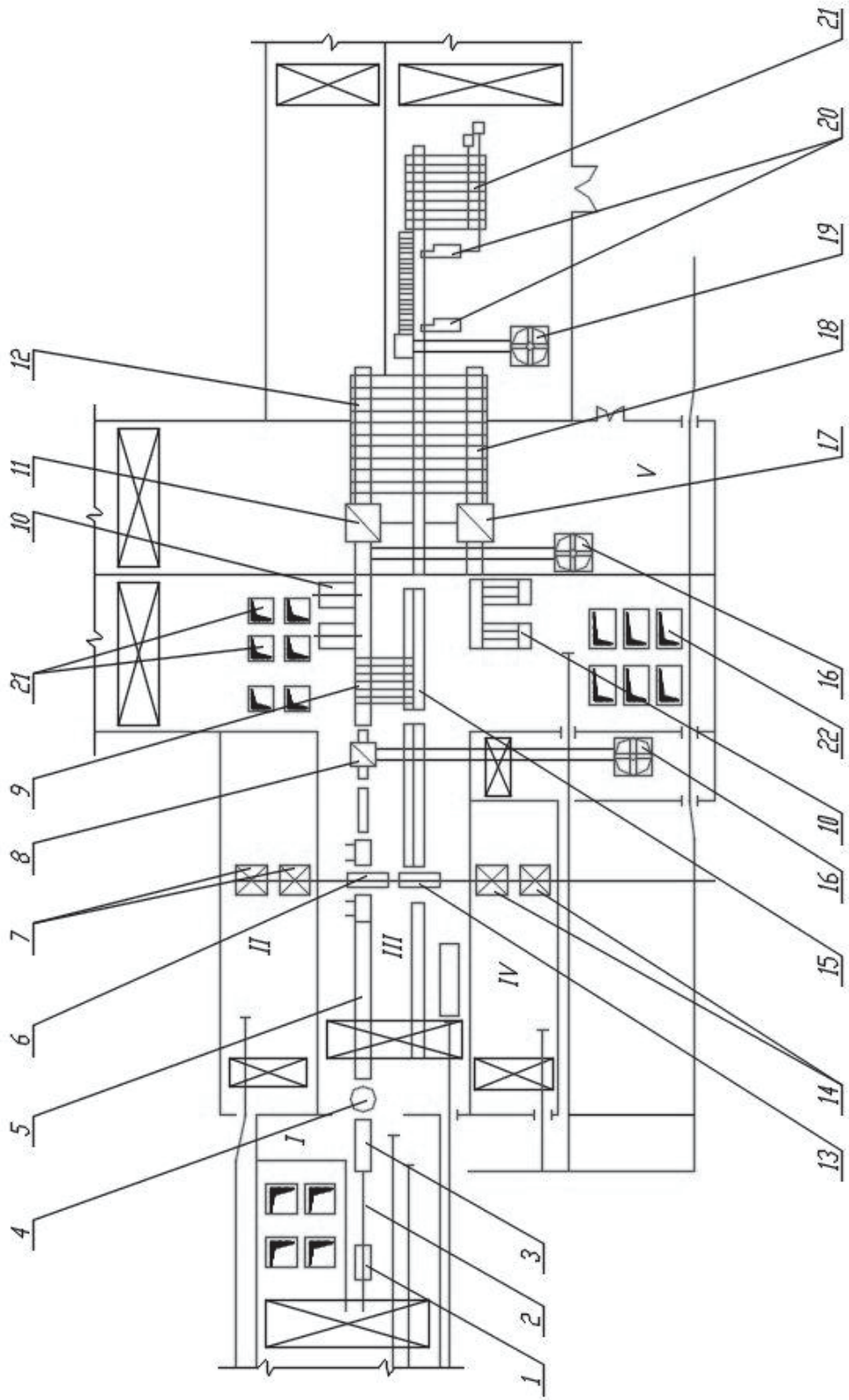
Стан прокатує зливки, передані в прокатний цех як гарячим, так і холодним всадом.

При розробці калібровок валків сортових станів виникає цілий ряд інженерних завдань, раціональне вирішення яких можливе тільки при наявності конкретної виробничої обстановки, технічних можливостей обладнання, пластичних властивостей оброблюваних матеріалів і багатьох інших технологічних факторів.

Найважливішими завданнями калібрування прокатних валків є:

1. Отримання точного профілю з гарною якістю поверхні, заданою структурою і належними механічними властивостями при відсутності дефектів прокатного походження.
2. Забезпечення високої продуктивності прокатного стану за рахунок застосування інтенсивних режимів деформації, скорочення кількості проходів і допоміжних операцій, підвищення швидкості прокатки, механізації та автоматизації процесу прокатки.
3. Забезпечення мінімальної собівартості прокату за рахунок застосування схем і режимів деформації, що вимагають мінімальної витрати металу, валків і енергії.





**Рисунок 1.2** - План розміщення стана 1050

Таблиця 1.1 - План стану 1050

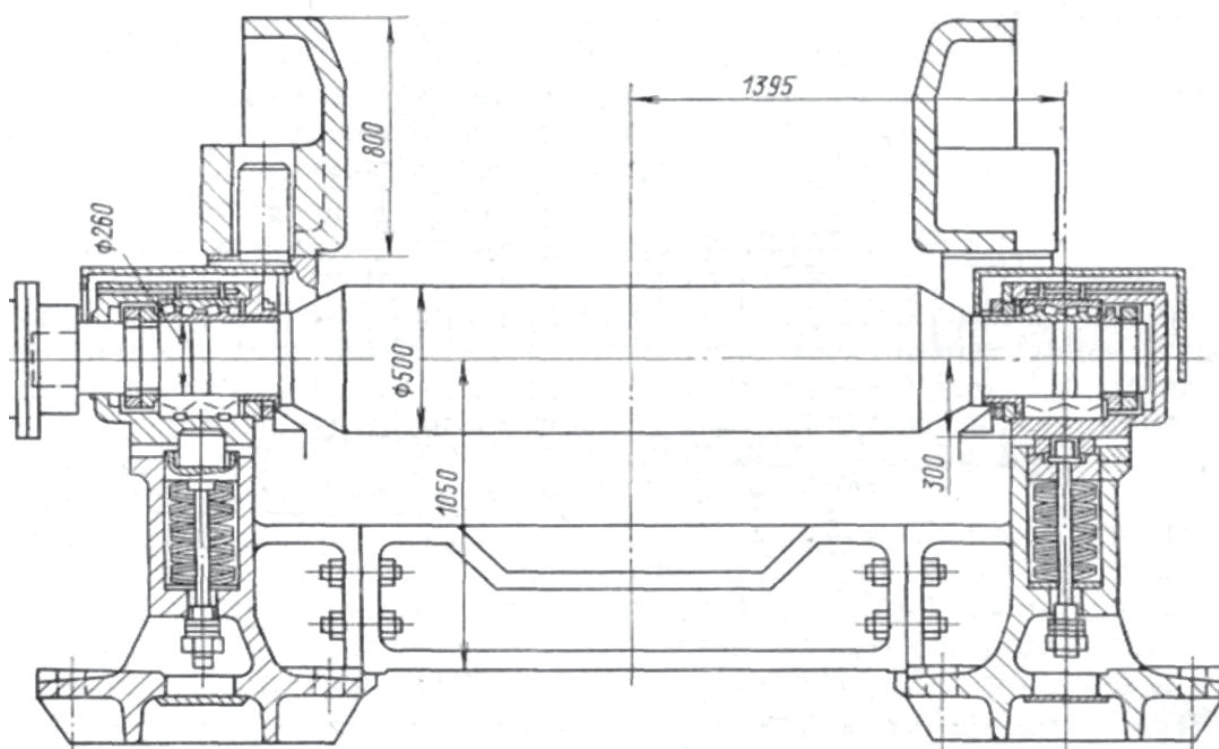
№	Найменування	Кількість	Примітка
<i>I</i>	<i>Проліт відділення нагрівальних колодязів</i>		
<i>II, IV</i>	<i>Електромашинні зали</i>		
<i>III</i>	<i>Становий проліт</i>		
<i>V</i>	<i>Проліт з ад'юстажем і складом</i>		
<i>1</i>	<i>Злишковіз</i>	<i>1</i>	$\vartheta=5,86$ м/с
<i>2</i>	<i>Чарунки нагрівальних колодязів</i>	<i>24</i>	<i>4,8x4,6 м</i>
<i>3</i>	<i>Приймальний рольганг</i>	<i>1</i>	$L=17,4$ м
<i>4</i>	<i>Обертальний стіл</i>	<i>1</i>	$D=2,9$ м
<i>5</i>	<i>Транспортний рольганг</i>	<i>1</i>	$L=21,18$ м
<i>6</i>	<i>Робоча кліть блюмінга 1050</i>	<i>1</i>	$D_6=1050$ мм
<i>7</i>	<i>Електродвигуни блюмінга 1050</i>	<i>2</i>	$N=2x3550$ кВт
<i>8</i>	<i>Ножниці зусиллям 900 т</i>	<i>1</i>	
<i>9</i>	<i>Передаючий штеппер</i>	<i>1</i>	$L=14$ м
<i>10</i>	<i>Прибиральний штеппер</i>	<i>4</i>	$L=8$ м
<i>11</i>	<i>Ножниці зусиллям 1250 т</i>	<i>1</i>	
<i>12</i>	<i>Передаючий штеппер</i>	<i>1</i>	$B=35,2$ м
<i>13</i>	<i>Робоча кліть двухвалкового реверсивного заготівельного стану 950</i>	<i>1</i>	$D_6=950$ мм
		<i>продовження→</i>	

<i>продовження таблиці 1.1 План стану 1050</i>			
<i>14</i>	<i>Електродвигуни заготівельного стану</i>	<i>2</i>	<i>N=2x3300 кВт</i>
<i>15</i>	<i>Рольганг заготівельного стану</i>	<i>1</i>	<i>L=61,2 м</i>
<i>16</i>	<i>Конвеєр обрізі від ножниць</i>		<i>L=38,6 м</i>
<i>17</i>	<i>Ножниці зусиллям 1250 т</i>		
<i>18</i>	<i>Передаючий штеппер</i>	<i>1</i>	<i>B=35,2 м</i>
<i>19</i>	<i>Конвеєр обрізі від пил</i>	<i>1</i>	<i>L=21,2 м</i>
<i>20</i>	<i>Пили гарячої різки</i>	<i>2</i>	<i>10270x6355x4950 мм</i>
<i>21</i>	<i>Прибиральний карман</i>	<i>1</i>	
<i>22</i>	<i>Неопалювальні колодязі</i>	<i>1</i>	<i>5x5x2 м</i>

### Прийомна ділянка

Злиwkовоз призначений для транспортування злиwkів від нагрівальних колодязів до приймального рольгангу і для укладання злиwkів на приймальний рольганг. Злиwkовоз складається з двох механізмів: механізму пересування і механізму перекидання люльки.

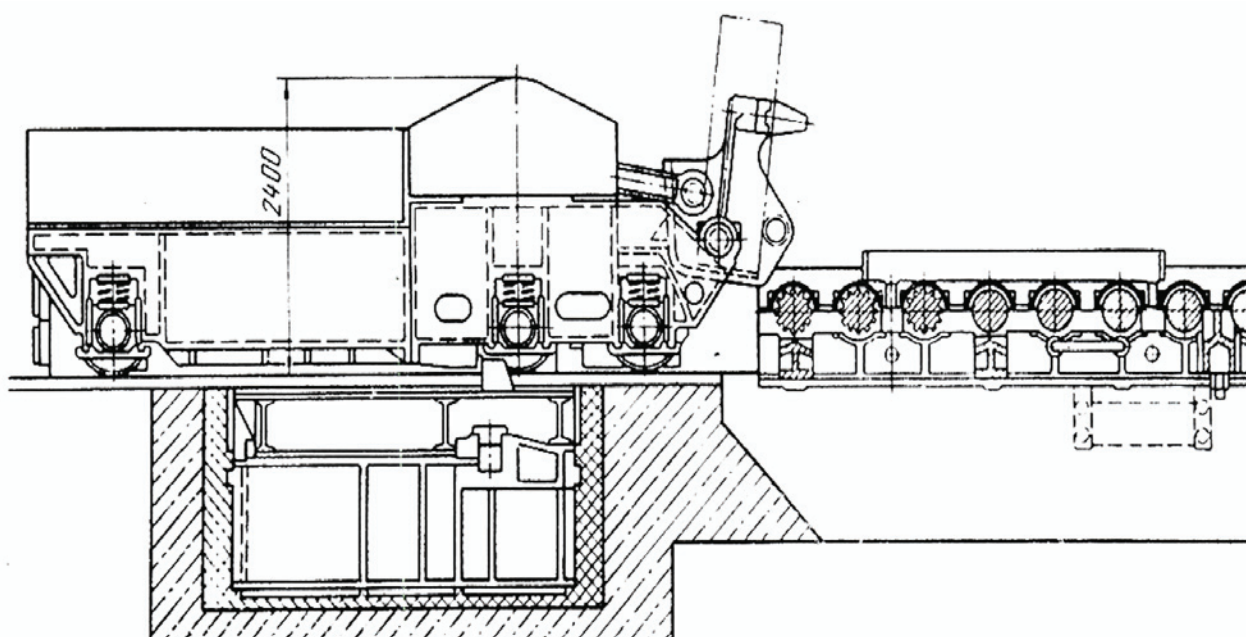
Приймальний рольганг призначений для приймання злиwkів від злиwkовоза і подачі його до поворотного столу (рис. 1.3).



**Рисунок 1.3** - Ролик приймального рольганга

Поворотний стіл призначений для повороту злиwkів на  $180^\circ$  в горизонтальній площині і направлення злиwkів до кліти донною частиною і розташований на відстані 39500 мм від стану. Поворотний стіл являє собою поворотну платформу діаметром 2900 мм і складається з 2-х механізмів: механізму повороту та рольгангу. Час розвороту на  $180^\circ$  – 4,5 с.

Транспортний рольганг призначений для транспортування злиwkів і розташований за поворотним столом; складається з 12-ти секцій (по 3 шт.) пустотілих роликів. Довжина рольганга  $12 * 1765 = 21180$  мм.

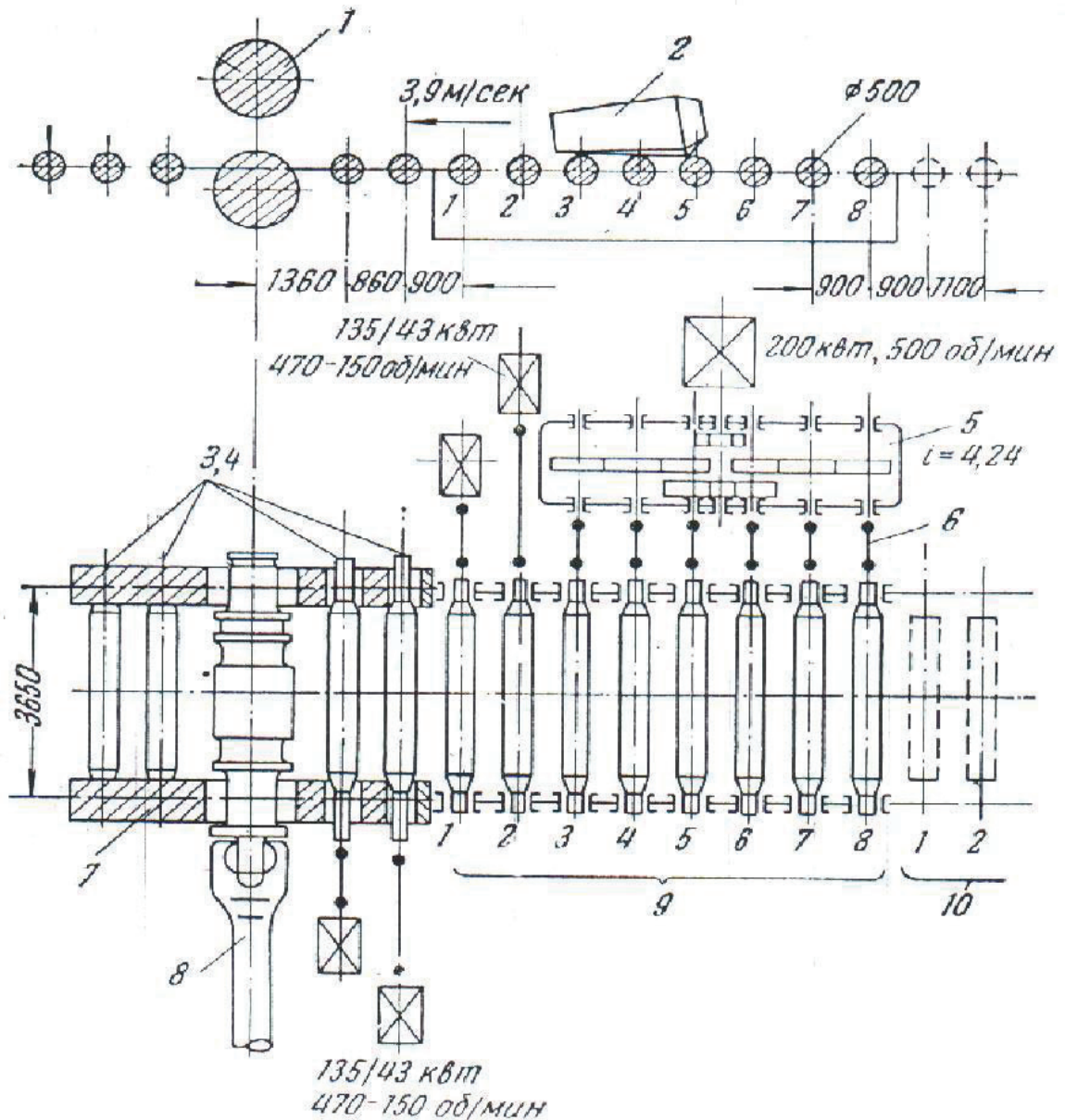


**Рисунок 1.4** - Зливковоз, рольганг і стаціонарний перекидач блюмів

#### **Ділянка робочих клітей**

Підвідний рольганг призначений для передачі зливків з транспортного рольгангу на робочий і є продовженням робочого рольгангу перед кліттю. Довжина підвідного рольгангу 14960 мм.

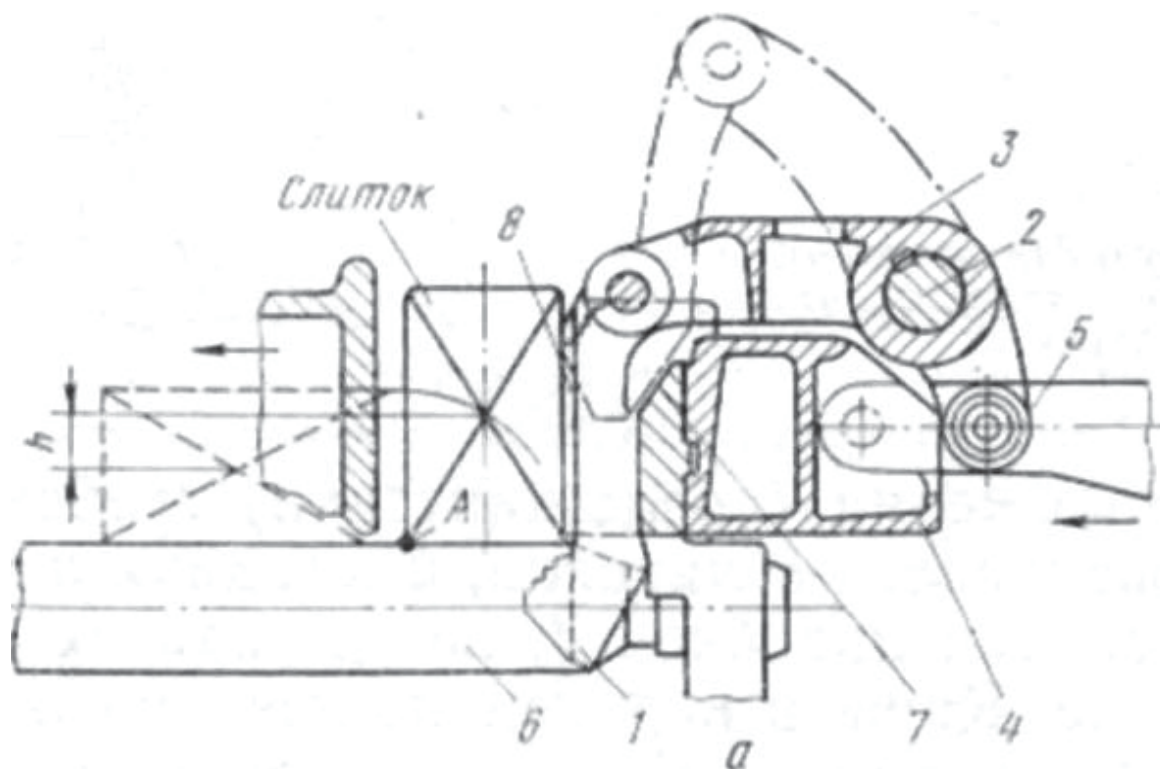
Робочі рольганги і станинні ролики обжимной кліті розташовані з передньої і задньої сторін кліті і призначені для задання розкату (зливка) в валки і прийому їх з валків. Передній робочий рольганг складається з 8 цільнокованих роликів з кроком 650 мм. Задній робочий рольганг має 8 роликів. Окружна швидкість роликів 1-3,5 м/с. Станинні ролики по 2 ролика з кожного боку розташовані безпосередньо в станинах кліті.



1–валки; 2–злиток; 3, 4–станинні ролики; 5–редуктор; 6–зубчаті шпинделі; 7–станина; 8–універсальний шпindel; 9–робочий рольганг; 10–розкатний рольганг

**Рисунок 1.5** - Робочий рольганг і станинні ролики блюмінгу 1050

Маніпулятор з кантувачем обтискної кліті призначений для передачі розкату з калібру в калібр і правки розкату. Кантувач призначений для кантування на  $90^\circ$  зливків (розкату).



1—кантуючі крюки; 2 – поворот валу; 3—важелі; 4—лінійка маніпулятора; 5—штанги; 6— ролики; 7— направляюча; 8 – робоча поверхня лінійки

**Рисунок 1.6 - Кантувач**

### **Обтискна робоча кліть**

Кліть складається з двох станин закритого типу.

Робочі валки виготовлені із сталі 60ХН. Діаметр нових робочих валків становить 1050 мм, мінімальний діаметр переточених валків – 970 мм.

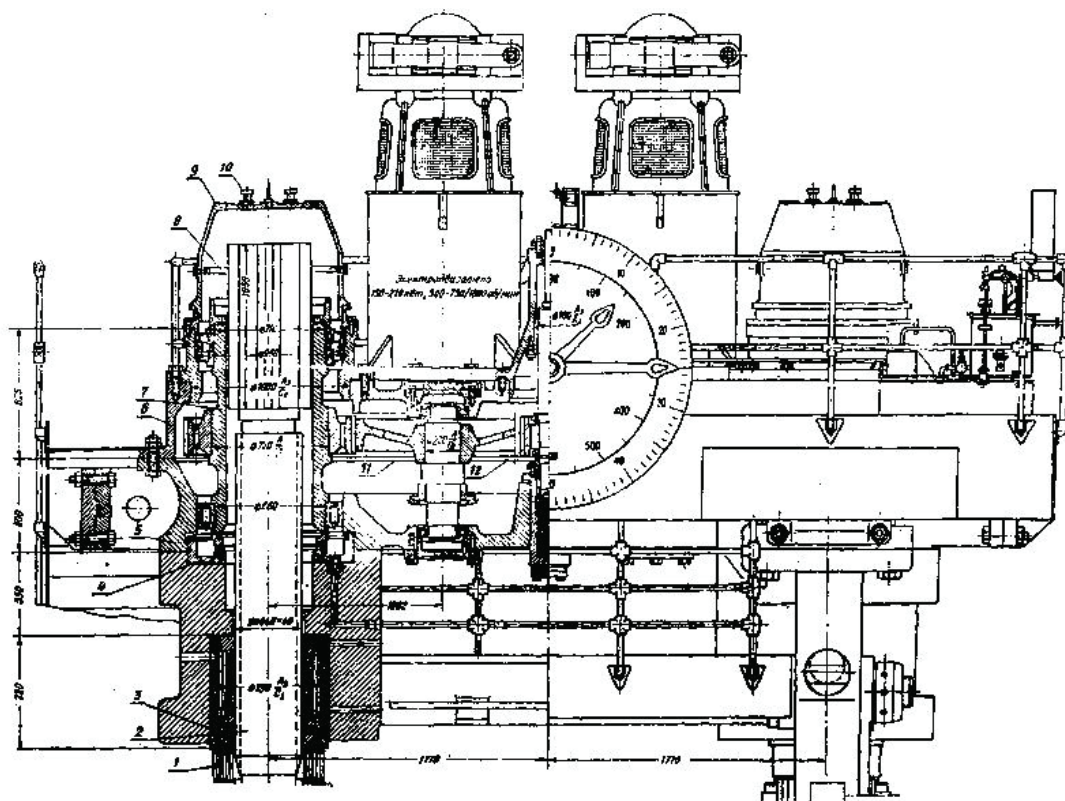
Робочі валки, довжина бочки яких дорівнює 2250 мм, мають шийки діаметром 640 мм і спираються на підшипники з текстолітовими вкладишами, охолоджувані водою. Найбільше зусилля прокатки складає 18500 кН, максимальна швидкість прокатки – 4,5 м/с. Привід індивідуальний від двох електродвигунів потужністю 3550 кВт кожний. Розхил валків змінюється в межах 10 ... 800 мм. Вертикальну установку верхнього валка здійснюють натискним пристроєм зі швидкістю 200 мм/с. Зрівноважування верхнього валка здійснюють системою гідравліки.

Виймку з кліти комплекту валків з подушками і установку в кліть нового комплекту виробляють за допомогою механізму заміни валків обжимної кліти.

**Заготовочна кліть** – двовалкова реверсивна.

Швидкість прокатки на заготовочній кліті до 5,5 м/с. Валки виготовлені із спеціального чавуну, шийки валків обертаються в текстолітових підшипниках. Для змащення й охолодження шийок валків до текстолітових вкладишів підведена вода, а також проводиться подача густого мастила для оберігання шийок валків від корозії.

Установку верхнього валка здійснюють натискним пристроєм. Максимальна висота підйому верхнього валка 200 мм зі швидкістю 5,95 мм/с. Зрівноважування верхнього валка гідравлічне.

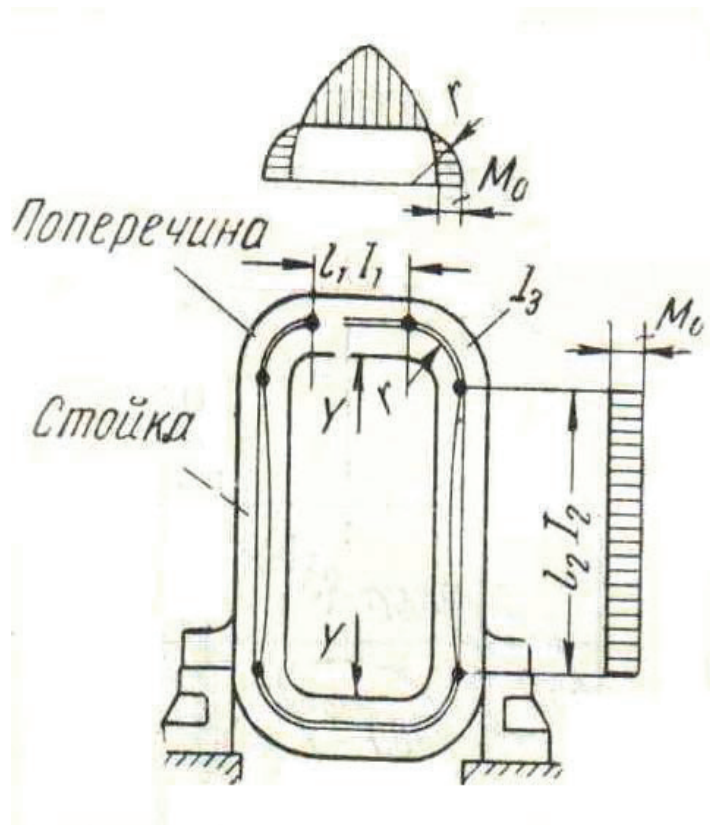


**Рисунок 1.7** - Натискний пристрій

Кліть має станини відкритого типу, перевалка валків здійснюється касетою за допомогою крана. Налаштування валків виконується безпосередньо в кліті.



Підпідлогові кантователі розташовані під підйомними столами з передньої і задньої сторони заготовочної кліті і призначені для кантування розкату перед заданням в калібр на  $45^\circ$  або на  $90^\circ$ , а також для переміщення розкату від одного калібру до іншого.



**Рисунок 1.8** - Станина закритого типу блюмінга 1050

## 1.2 Технологія виробництва блюмів на стані 1050

### Посадка зливків

Посадка зливків проводиться в нагрівальних рекуперативних колодязях стану «1050/950» призначених для нагріву зливків перед прокаткою.

*Стисла характеристика колодязів.*

В прольоті розташовано 12 груп колодязів. Група колодязів складається з 2-х самостійних чарунок з розмірами з 1 по 9 групи –  $4,8 \times 4,6 \times 3$  м, з 10 по 12 гр. –  $5,54 \times 4,65 \times 3$  м. У кожен чарунку вміщується 8 ÷ 18 злитків, які встановлюють по периметру колодязя.

Колодязь закривається кришкою, яка являє собою жорстку металеву раму, підтримуючу плоский підвісний звід. Для відкриття кришок застосовують

напольні крани, що пересуваються уздовж відділення нагрівальних колодязів. Швидкість підйому кришки 0,03 м /с, час підйому кришки 7 сек.

Колодязь опалюється коксо-доменно-природним газом калорійністю 1600 ккал/м<sup>3</sup>, який подається через пальник, встановлений у пальниковому каналі в центрі подини.

Для підігріву повітря кожен колодязь обладнаний двома рекуператорами. Рекуператори керамічні, з загальною поверхнею підігріву 270 м<sup>2</sup> використовують теплоту відхідних газів з температурою 1100 ÷ 1250° С.

Факел пальника спрямований вертикально вгору. Досягнувши верху колодязя, продукти горіння поширюються по чарунці, рівномірно омиваючи розташовані біля стін зливки. Відведення продуктів горіння з чарунки проводиться у пода чарунки через ряд отворів у 1 і 3 стінах і потрапляє в надрекуператорний простір.

Для забезпечення рівномірності нагріву злиwkів по висоті в період витримки застосовується широтно-імпульсний нагрів, коли паливо (газо-повітря) подається максимально при температурі в чарунці нижче заданої і мінімально (контрольний факел), коли температура дорівнює або вище заданої.

Допускаються коливання температури від заданої  $\pm 20^{\circ}$  С.

Процес нагріву злиwkів в чарунках здійснюється при підйомі температури з постійними витратами газу та повітря, встановленими нагрівальником і автоматично з широтно-імпульсною подачею газу-повітря при досягненні температури витримки. Для забезпечення безпеки при припиненні подачі палива спочатку закривається газ, потім повітря, при відновленні подачі палива подається повітря, потім газ.

Злиwки, що подаються з сталеплавильних цехів, садять в нагрівальні колодязі як гарячим, так і холодним всадом. Передачу гарячих злиwkів до нагрівальних колодязів здійснюють відповідно до щодобових графіків виплавки і прокатки сталі.

Перед посадкою зливків контролер ВТК і нагрівальник оглядають їх поверхню і відзначають всі помічені дефекти на зливках в журналі. Зливки повинні відповідати ВЗТУ 143-14-2000. Гарячі зливки, що мають грубі дефекти у вигляді поясів від прориву струменя, тріщин, приварени від ізложниць і великих шлакових включень, садять на нагрів за погодженням зі змінним керівництвом сталеплавильного цеху і прокатують по виходу придатного. Допускається наявність підголовних тріщин на відстані не більше 30 мм від паска, при яких масу зливка зменшують на 10%. Посадка холодних зливків з грубими дефектами не дозволена.

Посадку зливків в нагрівальних колодязях проводять відповідно до аналізної і робочої карти і дозволу контролера ВТК. Перед посадкою зливків гарячим всадом і після її закінчення контролер ВТК спільно з нагрівальником визначають температуру поверхні металу.

Мінімальна кількість зливків нагрівається в одній чарунці 6 штук (зливок масою 5,78; 6,5; 7,4) і 8 штук (3,6; 4,3). В одній чарунці можуть нагріватися зливки не більше трьох груп.

### **Нагрівання зливків**

Нагрівання зливків проводять відповідно до режимів. Допустимі відхилення від температур  $+10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ . Режимы нагріву гарячим всадом поширюються на зливки, що мають температуру поверхні при посадці  $750^{\circ}\text{C}$  і вище, для зливків з температурою поверхні  $500^{\circ}\text{C}$  і нижче застосовуються режими нагрівання холодного всаду.

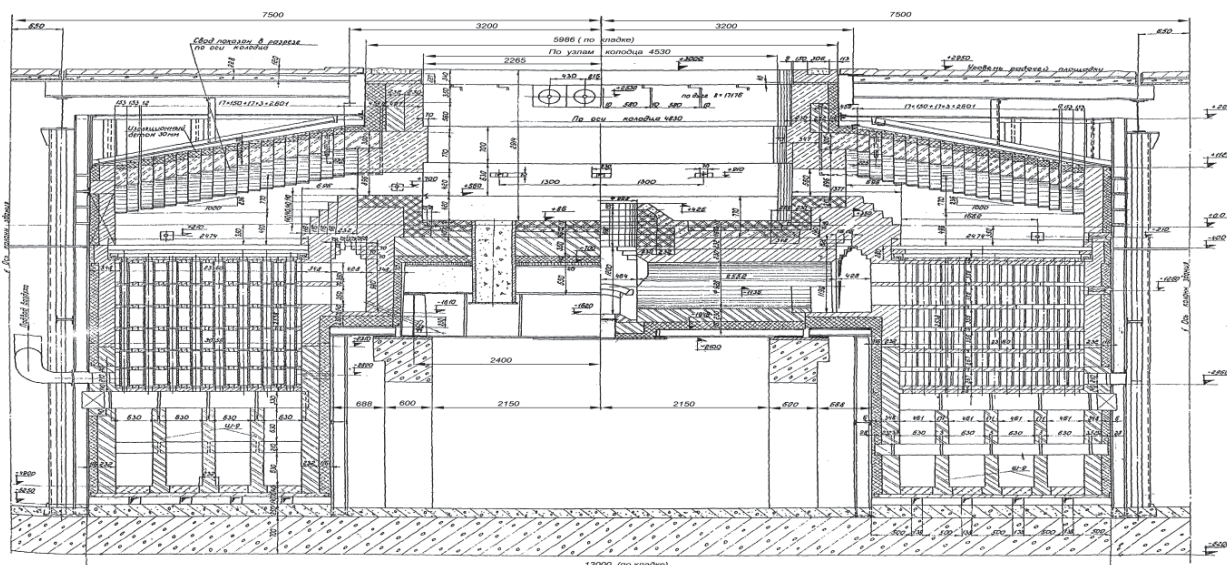
При посадці в чарунку зливків сталей різних груп, нагрів ведуть за режимом для сталі, що має більш повільний підйом температури, більш низьку температуру і меншу тривалість томлення. Після видачі цих зливків, роблять нагрівання з максимальною швидкістю до заданої температури зливків.

При спільному нагріванні зливків з особонизькою пластичністю, малопластичні зливки і зливки з задовільною пластичністю, нагрів здійснюють по режиму металу з особливо низькою пластичністю.

У ступенчатих режимах нагріву перехід з нижчого ступеню на вищий здійснюють з максимальною швидкістю, з вищого на нищий – відсіченням газу, а для 4 «а» групи відкриттям кришки.

При посадці зливків в нагрівальні чарунки тривалість накопичення при температурі 600–900°C повинна бути не більше 24 годин. Зниження температури після витримки на томленні дозволяється проводити не більше одного разу.

При повному відключенні газу або більш тривалих простоях стану метал охолоджують разом з чарункою із закритими кришками.



**Рисунок 1.9** - Рекуперативний нагрівальний колодязь стану „1050”

### **Видача зливків в прокатку**

Першими з чарунки видаються приставні зливки, решта злитків видають в суворій відповідності зі схемою посадки.

Видачу з колодязів нагрітих зливків, що йдуть для прокатки на сорт, повинні видавати плоскими кернами. Виняток можуть становити сталі, які прокатують на сорт з припуском під обдирання.

Видачу зливків проводять рівномірно, з таким розрахунком, щоб вони не затримувалися перед станом.

### **Прокатка зливків в обтискній кліті**

Для настройки стану призначають зливки паспортної болванки.

Прокатку зливків проводять відповідно з розбивкою марок сталі на групи по опору деформації, пластичності і здатності до розширення. Для кожної групи має бути розроблена і затверджена схема прокатки зливків.

Кліть складається з двох станин закритого типу.

Робочі валки виготовлені із сталі 60ХН. Діаметр нових робочих валків становить 1050 мм, мінімальний діаметр переточених валків – 970 мм.

Робочі валки, довжина бочки яких дорівнює 2250 мм, мають шийки діаметром 640 мм і спираються на підшипники з текстолітовими вкладишами, охолоджувані водою. Найбільше зусилля прокатки складає 18500 кН, максимальна швидкість прокатки – 4,5 м/с. Привід індивідуальний від двох електродвигунів потужністю 3550 кВт кожний. Розхил валків змінюється в межах 10 ... 800 мм. Вертикальну установку верхнього валка здійснюють натискним пристроєм зі швидкістю 200 мм/с. Зрівноважування верхнього валка здійснюють системою гідравліки.

Виїмку з кліті комплекту валків з подушками і установку в кліть нового комплекту здійснюють за допомогою механізму заміни валків обжимной кліті.

На основі літературного огляду і характеристик блюмінгу було запропоновано провести:

1. Розрахунок режиму деформації зливка з розмірами 720x720x2105 мм, що прокатується до блюма з розмірами 215x215 та 300x330 мм.
2. Визначити можливість деформаційного режиму, розрахувати енергосилові параметри прокатки зливка зі сталі 40Х на блюмінгу 1050 ПрАТ "Дніпрспецсталь".
3. Обробити та проаналізувати результати.

## 2

## ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок режимів обтиснень і енергосилових параметрів за запропонованою технологією прокатки

#### *Розрахунок режиму обтиснень блюмів перетином 215 × 215 мм із зливка масою 7,4 т*

Визначаємо режим обтиснень і розміри калібрів для прокатки блюмів перетином 215 × 215 мм із злиwkів сталі 40X. Використовуємо методику [7].

Розміри зливка 720 × 720 × 2205 мм. Маса зливка 7,4 т. Номінальний діаметр валків 1050 мм. Температура прокатки: початку – 1200°C, кінця – 1080°C. Привід валків від двох електродвигунів.

Визначимо максимальне обтиснення за умовою захоплення металу валками.

Відповідно до практичних рекомендацій приймаємо глибину врізу  $2H_{вр}$  для першого калібру 150 мм, для другого калібру 180 мм, для третього і четвертого калібру 160 мм, для п'ятого калібру 140 мм. Зазор між буртами валків приймаємо 10 мм. Тоді визначимо робочий (катаючий) діаметр валків.

$$D_p = (D_o - 2H_{вр} - S) \cdot k, \quad (2.1)$$

де  $D_o$  – початковий діаметр валків, мм;

$H_{вр}$  – глибина струмків, мм;

$S$  – зазор між робочими валками, мм;

$k$  – коефіцієнт переточки валків, приймається рівним 0,924 (7,6%).

$$D_{p1} = (1060 - 150 - 10) \cdot 0,924 = 832 \text{ мм};$$

$$D_{p2} = (1060 - 180 - 10) \cdot 0,924 = 804 \text{ мм};$$

$$D_{p3,4} = (1060 - 160 - 10) \cdot 0,924 = 822 \text{ мм};$$

$$D_{p5} = (1060 - 140 - 10) \cdot 0,924 = 840 \text{ мм}.$$

Визначаємо колову швидкість валків при середній частоті обертання валків в момент захоплення розкату  $n_y = 30$  об/хв.

$$U = \frac{\pi \cdot D_p \cdot n}{60}, \quad (2.2)$$

де  $n$  – частота обертання валків, об/хв.

$$U_1 = \frac{\pi \cdot 0,832 \cdot 30}{60} = 1,31 \text{ м/с};$$

$$U_2 = \frac{\pi \cdot 0,804 \cdot 30}{60} = 1,26 \text{ м/с};$$

$$U_{3,4} = \frac{\pi \cdot 0,822 \cdot 30}{60} = 1,29 \text{ м/с};$$

$$U_5 = \frac{\pi \cdot 0,84 \cdot 30}{60} = 1,32 \text{ м/с}.$$

По таблиці 2.4 допустимий кут захоплення  $[\alpha]$  складе: при прокатці в першому калібрі  $22^\circ 52'$ , у другому калібрі  $25^\circ 13'$ , в третьому і четвертому калібрі  $25^\circ 7'$ , в п'ятому  $25^\circ$  (по заводським даним).

Визначаємо максимальне обтиснення:

$$\Delta h_{\max \alpha} = 2 \cdot D_p \cdot \sin^2 \frac{[\alpha]}{2}, \quad (2.3)$$

де  $D_p$  – робочий (катаючий) діаметр валків, мм;

$[\alpha]$  – допустимий кут захоплення, град.

$$\Delta h_{\max \alpha 1} = 2 \cdot 832 \cdot \sin^2 \frac{[22^\circ 52']}{2} = 75,4 \text{ мм}.$$

$$\Delta h_{\max \alpha 2} = 2 \cdot 804 \cdot \sin^2 \frac{[25^\circ 13']}{2} = 77 \text{ мм}.$$

$$\Delta h_{\max \alpha 3,4} = 2 \cdot 822 \cdot \sin^2 \frac{[25^\circ 7']}{2} = 78 \text{ мм}.$$

$$\Delta h_{\max \alpha 5} = 2 \cdot 840 \cdot \sin^2 \frac{[25^\circ]}{2} = 79 \text{ мм.}$$

Визначимо максимальне обтиснення по потужності електродвигуна.

Для двох електродвигунів П-2-22 / 150-3,55 УХЛ4 знаходимо:

$$N = 2 \cdot 3550 = 7100 \text{ кВт};$$

$$M_H = 2 \cdot 754,3 = 1508,6 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$GD_{\text{я}}^2 = 2 \cdot 2480 = 4960 \text{ кН}\cdot\text{м}^2.$$

Допустимий момент електродвигунів:

$$M_{\text{дв.доп.}} = K_{\text{п}} \cdot M_H = 2,5 \cdot 1508,6 = 3771,5 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Далі визначаємо:

$$\Sigma GD^2 = 1,1 \cdot GD_{\text{я}}^2 = 1,1 \cdot 4960 = 5456 \text{ кН}\cdot\text{м}^2,$$

де  $\Sigma GD^2$  – наведений махового моменту електродвигуна,  $\text{кН}\cdot\text{м}^2$ ;

$GD^2$  – махового моменту якоря електродвигуна,  $\text{кН}\cdot\text{м}^2$ .

Динамічний момент ( $\text{кН}\cdot\text{м}$ )

$$M_{\text{дин}} = \frac{\Sigma GD^2}{375} \cdot a, \tag{2.4}$$

де  $a$  – прискорення валків,  $a = 40 \text{ об/хв} \cdot e$ .

$$M_{\text{дин}} = \frac{5456}{375} \cdot 40 = 582 \text{ кН}\cdot\text{м}$$



Момент холостого ходу від двох електродвигунів

$$M_{x.x.} = 0,035 \cdot M_H = 0,035 \cdot 1508,6 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.5)$$

Знаходимо допустимий момент прокатки при  $\eta = 0,95$  и  $\theta = 1$ :

$$M_{\text{пр.доп.}} = \eta \cdot \frac{M_{\text{дв.доп.}}}{\theta} - M_{\text{дин}} - M_{x.x.}, \quad (2.6)$$

де  $\theta$  – коефіцієнт, що враховує зниження крутного моменту електродвигуна, внаслідок ослаблення магнітного потоку при частоті обертання валків  $n$  більше номінальної  $n_H$ ,  $\theta = 1,0$ .

$$M_{\text{пр.доп.}} = 0,95 \cdot \frac{3771,5}{1,0} - 582 - 52,8 = 2948,1 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Далі визначаємо орієнтовне значення контактного тиску. Розміри поперечного перетину зливка  $H_0 \times B_0 = 720 \times 720$  мм. Орієнтовне значення обтиску складе:

$$\Delta h = 1,3 \cdot \Delta h_{\text{max}},$$

$$\Delta h = 1,3 \cdot 65 = 84 \text{ мм.}$$

Відносне обтиснення

$$\varepsilon = \Delta h \div H_0, \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = 84 \div 700 = 0,12.$$

Швидкість деформації при  $n \approx n_H = 45$  об/хв і

$$R = 416 \text{ мм:} \quad (2.8)$$

$$u = 0,105 \cdot n \sqrt{\varepsilon \cdot R \div H_0}$$

$$u = 0,105 \cdot 45 \sqrt{0,12 \cdot 416 \div 720} = 1,26 \text{ 1/с.}$$

За даними для сталі 40Х знаходимо:

За формулою Ніколаєва В.А. [8] знаходимо суму елементів хімічного складу марки сталі 40Х:

$$N_1 = 0,36\% C + 0,17\% Si + 0,5\% Mn + 0,2\% Ni + 0,8\% Cr + 0,2\% Cu = 2,23 \quad (2.9)$$

Для  $N_1 > 5$ :

$$\sigma_{0,д.} = 80 + 25[1 - ((5 - N_1)/4,5^{1,8})], \quad (2.10)$$

$$\sigma_{0,д.} = 80 + 25[1 - ((5 - 2,23)/4,5^{1,8})] = 90,16 \text{ Н/мм}^2$$

$$k_t = 1,66 - 1,1[(t/400) - 2]^{0,7}, \quad (2.11)$$

$$k_t = 1,66 - 1,1[(1200/400) - 2]^{0,7} = 0,59,$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2], \quad (2.12)$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - 0,12)^2] = 0,971.$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln u), \quad (2.13)$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 1,26) = 0,718.$$

Опір деформації:

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{o.d.} \cdot k_t \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_u, \quad (2.14)$$

$$\sigma_{\phi} = 90,16 \cdot 0,59 \cdot 0,971 \cdot 0,718 = 37,09 \text{ Н/мм}^2,$$

де  $k_t$ ,  $k_{\varepsilon}$ ,  $k_u$  – термомеханічні коефіцієнти, що враховують відповідно вплив температури металу, що прокочується, ступеня і швидкості деформації.

Довжина осередку деформації

$$\ell_d = \sqrt{\Delta h \cdot R} \quad (2.15)$$

$$\ell_d = \sqrt{84 \cdot 416} = 186,9 \text{ мм.}$$

Фактор форми осередку деформації  $\ell_d / h_{cp} = 186,9 / 658 = 0,284$ .

Оскільки значення  $\ell_c / h_{cp}$  досить незначне, можна прийняти  $n'_{\sigma} = 1,0$ .  
коефіцієнт  $n''_{\zeta}$

$$n''_{\zeta} = (\ell_d / H_{cp})^{-0,4} = (0,284)^{-0,4} = 1,654. \quad (2.16)$$

Контактний тиск при  $\beta = 1,15$ :

$$P = \beta \cdot n'_{\sigma} \cdot n''_{\zeta} \cdot \sigma_{\phi}, \quad (2.17)$$

$$P = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,654 \cdot 37,09 = 106,36 \text{ Н/мм}^2.$$

Коефіцієнт плеча прикладання рівнодіючої

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot (\ell_d / h_{cp}) + 0,444 \cdot (\ell_d / h_{cp})^2, \quad (2.18)$$

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot (0,284) + 0,444 \cdot (0,284)^2 = 0,574.$$

Довжина осередку деформації при  $f_n = 0,05$ ,  $d_{ш} = 640$  мм і  $B_o = 720$  мм:

$$\ell_d = - \frac{f_n \cdot d_{ш}}{4 \cdot \psi} + \sqrt{\left(\frac{f_n \cdot d_{ш}}{4 \cdot \psi}\right)^2 + \frac{M_{пр.доп.}}{2 \cdot \psi \cdot P \cdot B_o}} \quad (2.19)$$

$$\ell_d = \frac{0,05 \cdot 640}{4 \cdot 0,574} + \sqrt{\left(\frac{0,05 \cdot 640}{4 \cdot 0,574}\right)^2 + \frac{2948,1}{2 \cdot 0,574 \cdot 106,36 \cdot 720}} = 172,31 \text{ мм.}$$

Максимальне обтиснення

$$\Delta h_{\max N} = \frac{2 \cdot \ell_d^2}{D_p} \quad (2.20)$$

$$\Delta h_{\max N} = \frac{2 \cdot 172,31^2}{832} = 78 \text{ мм.}$$

Розраховуємо максимальне обтиснення по міцності валків.

Для блюмінга 1050 довжина бочки валків 2250 мм, довжина шийки

$\ell = 640$  мм, ширина крайнього бурту  $B_6 = 65$  мм, ширина калібру по дну  $B_d = 723$  мм,  $B_{вр} = 759$  мм. Тоді отримаємо  $c = 320 + 65 + 379 = 764$  мм. Для сталевих кованих валків  $[\sigma] = 125$  Н/мм<sup>2</sup>.

Знаходимо допустиме зусилля прокатки:

$$P_{\text{доп}} = 0,1 \cdot D_p^3 \cdot [\sigma] \cdot \frac{L + \ell}{(L + \ell - c) \cdot c} \quad (2.21)$$

$$P_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 832^3 \cdot 125 \cdot \frac{2250 + 640}{(2250 + 640 - 764) \cdot 764} = 18500 \text{ кН.}$$

$\Delta h_{\max p}$  при  $p = 106,36$  МПа і  $B_{cp} = B_o = 720$  мм.

$$\Delta h_{\max p} = \frac{2}{D_p} \cdot \left( \frac{P_{\text{доп}}}{p \cdot B_{cp}} \right)^2 \quad (2.22)$$

$$\Delta h_{\max p} = \frac{2}{832} \cdot \left( \frac{18500 \cdot 10^3}{106,36 \cdot 720} \right)^2 = 85 \text{ мм.}$$

Вибираємо максимальне обтиснення.

В результаті розрахунків отримали значення  $\Delta h_{\max}$  за умовою захвату металу валками  $\Delta h_{\max \alpha} = 79$  мм; по потужності електродвигунів  $\Delta h_{\max N} = 78$  мм; по міцності валків  $\Delta h_{\max p} = 85$  мм. Остаточо приймаємо  $\Delta h_{\max} = 78$  мм.

Визначаємо середнє обтиснення за прохід.

$$\Delta h_{cp} = 0,8 \cdot \Delta h_{\max}; \quad (2.23)$$

$$\Delta h_{cp} = 0,8 \cdot 78 = 52 \text{ мм.}$$

Знаходимо число проходів, необхідне для прокатки блюмів перетином  $215 \times 215$  мм при  $H_o \times B_o = 720 \times 720$  мм :

$$n_{\text{пр}} = \frac{1,15 \cdot [(H_o - H_k) + (B_o - B_k)]}{\Delta h_{cp}} \quad (2.24)$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{1,15 \cdot [(720 - 215) + (720 - 215)]}{52} = 16,7.$$

приймаємо  $n_{\text{пр}} = 17$  і уточнюємо середнє обтиснення за прохід:

а) з боку з меншим числом проходів:

$$\Delta h_{\text{cp}} = \frac{1,15 \cdot [ (H_o - H_k) + (B_o - B_k) ]}{n_{\text{пр}} - 1}$$

$$\Delta h_{\text{cp}} = \frac{1,15 \cdot [ (720 - 215) + (720 - 215) ]}{17 - 1} = 72 \text{ мм},$$

б) з боку з великим числом проходів:

$$\Delta h_{\text{cp}} = \frac{1,15 \cdot [ (H_o - H_k) + (B_o - B_k) ]}{n_{\text{пр}} + 1}$$

$$\Delta h_{\text{cp}} = \frac{1,15 \cdot [ (720 - 215) + (720 - 215) ]}{21 + 1} = 64 \text{ мм}.$$

На підставі дослідних даних вибираємо розподіл проходів за калібром і порядок кантовок. Схема наведена в табл. 2.1.

**Таблиця 2.1** - Схема розподілу проходів за калібром і порядок кантовок

Калібри	I	II	III
№ прохода	1,2×3,4×5,6×7,8,9,	×11,12,13,14×15,	×17
Примітка. Знаком × позначена кантовка			

Складаємо остаточний режим обтиснень (таблиця 2.2) з урахуванням розрахунку розширення по кривих.

Результати розрахунку розширення наведені в таблиці 2.3. Допоміжні параметри визначені за формулами:

$$\ell_d = \sqrt{\Delta h \cdot R}$$

$$b_{cp} = B_o + \Delta b \div 2$$

$$h_{cp} = H_o - \Delta h \div 2$$

Розраховуємо довжину розкату і коефіцієнти витяжки по проходах.

У перших двох проходах довжину розкату приймаємо рівною довжині зливка – 2,205 м. Площі поперечного перерізу розкату по проходах наведені в табл. 2.4.

Об'єм обтискного металу:

$$V = G_{сл.} / \gamma, \tag{2.25}$$

де  $\gamma$  – щільність обжатого металу, дорівнює 7850 кг/м<sup>3</sup>;

$G_{сл.}$  – маса зливка, рівна 7,4 т.

$$V = 7400 / 7850 = 0,943 \text{ м}^3.$$

Довжина розкату складе:

після 17-го проходу:

$$(L_1)_{17} = \frac{V}{(H_1)_{17} \cdot (B_1)_{17}} \quad (2.26)$$

$$L_{17} = \frac{0,943}{0,215 \cdot 0,215} = 20,39 \text{ м};$$

після 16-го проходу:

$$L_{16} = \frac{0,943}{0,205 \cdot 0,270} = 17,03 \text{ м і т.д.}$$

Коефіцієнт витяжки в 17-му проході:

$$\lambda = \frac{(L_1)_{17}}{(L_1)_{16}}$$

$$\lambda_{21} = \frac{20,39}{17,03} = 1,299.$$

Результати розрахунків для інших проходів наведені в табл. 2.5.



**Таблиця 2.2 -** Результати попереднього розрахунку розширення при прокатці блюмів перетином 215 ×215 мм із злитка масою 7,4 т

№ проходу	$\ell_d$ , мм	$b_{cp}$ , мм	$h_{cp}$ , мм	$\frac{\ell_d}{b_{cp}}$	$\frac{h_{cp}}{b_{cp}}$	$\Delta b$ $\Delta h$	$\Delta b$ , мм	
							розрах.	прийняте
1	176,64	725	642,5	0,281	1,062	0,067	4,2	5
2	176,64	730	577,5	0,256	1,131	0,067	4,3	5
3	176,64	582,5	692,5	0,303	1,189	0,067	4,3	5
4	176,64	587,5	617,5	0,301	1,051	0,067	4,2	5
5	176,64	582,5	552,5	0,303	0,948	0,067	4,8	5
6	176,64	587,5	477,5	0,301	0,813	0,067	4,5	5
7	176,64	445	552,5	0,397	1,242	0,133	7,4	10
8	176,64	455	477,5	0,388	1,049	0,13	7,1	10
9	176,64	465	402,5	0,380	0,866	0,133	7,3	10
10	176,64	475	327,5	0,372	0,689	0,133	8,5	10
11	155,31	295	450	0,526	1,525	0,167	7,8	10
12	155,31	305	390	0,509	1,279	0,167	7,6	10
13	155,31	315	330	0,493	1,048	0,167	8,5	10
14	155,31	325	270	0,478	0,831	0,167	3,28	10
15	161,65	247,5	297,5	0,653	1,202	0,231	15,6	15
16	155,31	262,5	235	0,592	0,895	0,250	14,2	15
17	150,35	212,5	242,5	0,708	1,141	0,273	13,2	15

**Таблиця 2.3 -** Режим обтиснень з урахуванням розрахунку розширення прокатці блюмів перетином 215 × 215 мм

№ Калібру	№ проходу	H, мм	B, мм	обтиснення Δh, мм	$\frac{\Delta b}{\Delta h}$	розширення Δb, мм	$\frac{B}{H}$	
I	0	720	720					
	1	645	725	75	-	5		
	2	580	730	65	-	5	1,23	
	Кантовка							
	3	655	585	75	0,08	5		
	4	580	590	75	0,08	5	0,98	
	Кантовка							
	5	515	450	75	0,07	5		
	6	440	460	75	0,07	5	1,3	
	Кантовка							
	7	515	450	75	0,08	10		
	8	440	460	75	0,08	10	0,96	
	9	365	470	75	0,125	10		
10	290	480	75	0,125	10			
Кантовка								
II	11	420	300	60	0,166	10		
	12	360	310	60	0,166	10		
	13	300	320	60	0,166	10		
	14	240	330	60		10		
	Кантовка							
	15	265	255	65		15		
	16	205	270	60	0,166	15	1,28	
Кантовка								
III	17	215	215	55	0,143	15		

**Таблиця 2.4** - Довжина розкату  $L_1$ , коефіцієнти витяжки  $\lambda$ , кути захвату  $\alpha$   
по проходах

№ проходу	Н × В, мм	$\omega_1$ , мм <sup>2</sup>	$L_1$ , м	$\lambda$	$\alpha$ , рад
0	720 × 720	—			
1	645 × 725	467625	2205	1	0,428
2	580 × 730	423400	2205	1	0,398
3	655 × 585	383175	2460	1,116	0,428
4	580 × 590	342200	2755	1,120	0,428
5	515 × 585	301275	3129	1,136	0,428
6	440 × 600	259600	3631	1,161	0,428
7	515 × 450	231750	4068	1,120	0,428
8	440 × 460	202400	4657	1,145	0,428
9	365 × 470	171550	5495	1,180	0,428
10	290 × 480	139200	6772	1,232	0,428
11	420 × 300	126000	7482	1,105	0,389
12	360 × 310	111600	8447	1,129	0,389
13	300 × 320	96000	9820	1,16	0,389
14	240 × 330	79200	11902	1,21	0,389
15	265 × 255	67575	13950	1,17	0,405
16	205 × 270	55350	17031	1,22	0,389
17	215 × 215	46225	20393	1,20	0,368

## Розрахунок швидкісного режиму і енергосилових параметрів прокатки блюмів перетином 215×215 мм

Вихідні дані приведені в розрахунку режиму обтисків.

Приймаємо в перших проходах трикутну схему зміни частоти обертання валків.

Розраховуємо середнє прискорення  $k$  при середньому значенні робочого діаметру:

$$D_p = (832 + 804 + 822 + 840) / 4 = 824,5 \text{ мм.} \quad (2.27)$$

$$k = \frac{38,2}{D_p} = \frac{38,2}{0,824} = 46,35 \text{ об/хв} \cdot \text{с.}$$

Приймаємо раціональне значення  $a$  і  $b$ :  $a = b = k = 45 \text{ об/хв} \cdot \text{с}$

Призначаємо паузи між проходами: без кантування – 1,5 с, з кантуванням – 3,5 с. Початкову паузу між зливками приймаємо 4,0 с.

Визначаємо раціональні значення частоти обертання валків  $n_y$  та  $n_z$  в двох суміжних проходах без кантування.

Між 1-м та 2-м проходами:

$$n_{yy} = n_z = 0,5 \cdot k \cdot \tau_x = 0,5 \cdot 45 \cdot 1,5 = 33,7 \text{ об/хв.} \quad (2.28)$$

Між 3-м і 4-м проходами  $n_{yy} = n_z = 33,7 \text{ об/хв}$  і

т.д. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.5.

Визначаємо  $n_y$  и  $n_z$  в паузах з кантування.

Отримуємо:

$$n_{yy} = n_3 = 0,5 \cdot 45 \cdot 3,5 = 78,7 \text{ об/хв.}$$

Порівняємо отримане значення  $n_{yy}$  зі значенням  $(n_{yy})_{\text{зах}}$ , отриманим за умовою захвату розкату валками. Для першого калібру при максимальному обтисненні  $\Delta h = 65$  мм (див. таблицю) кут захоплення  $\alpha = 22,65^\circ$ . Інтерполяцією при  $\alpha = 22,65^\circ$  отримуємо швидкість прокатки  $V = 1,42$  м/с. Тоді знаходимо:

$$(n_{yy})_{\text{зах}} = \frac{60 \cdot 1,42}{\pi \cdot 0,832} = 32,6 \text{ об/хв.} \quad (2.29)$$

Таким чином, за умовою захвату розкату валками у першому калібрі можна прийняти  $n_{yy} = 32,6$  об/хв. Приймаємо  $n_{yy} = 30$  об/хв. Для уніфікації приймаємо у всіх проходах частоту обертання валків в момент захвату розкату 30 об/хв. Розраховуємо час зупинки електродвигуна у 1-у проході.

Визначаємо максимальну частоту обертання валків в першому проході при  $n_y = n_3 = 30$  об/хв:

$$n_m = \sqrt{60 \cdot k \cdot \left( \frac{L_1}{\pi \cdot D_p} + \frac{n_y^2}{120 \cdot a} + \frac{n_3^2}{120 \cdot b} \right)}. \quad (2.30)$$

$$n_m = \sqrt{60 \cdot 45 \cdot \left( \frac{2205}{3,14 \cdot 832} + \frac{30^2}{120 \cdot 45} + \frac{30^2}{120 \cdot 45} \right)} = 54,1 \text{ об/хв.}$$

Отримане значення  $n_m < n_{\text{max}}$ :  $54,1 < 90$ .

Розраховуємо тривалість прокатки на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків.

$$\left. \begin{aligned} \tau_p &= n_y / a, & \tau_{y1} &= (n_H - n_y) / a, & \tau_{y2} &= (n_m - n_H) / a \end{aligned} \right\} \quad (2.31)$$

$$\tau_{32} = (n_M - n_H) / b, \quad \tau_{31} = (n_H - n_3) / b, \quad \tau_0 = n_3 / b$$

де  $n_H$  – номінальне число обертів двигуна;

$\tau_p$  – час розгону обертання валків без

гуркоту;  $\tau_y$  – час прискорення валків разом з

гуркотом;  $\tau_3$  – час уповільнення валків;

$\tau_0$  – час зупинки валків.

$$\tau_p = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ с};$$

$$\tau_{y1} = \frac{45 - 30}{40} = 0,37 \text{ с};$$

$$\tau_{y2} = \frac{54,1 - 45}{40} = 0,227 \text{ с};$$

$$\tau_{32} = \frac{54,1 - 45}{40} = 0,227 \text{ с};$$

$$\tau_{31} = \frac{45 - 30}{40} = 0,37 \text{ с};$$

$$\tau_0 = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ с}.$$

Період прокатки:

$$T_{\text{пр}} = \frac{n_M}{a} + \frac{n_M}{b} \quad (2.32)$$

$$T_{\text{пр1}} = \frac{54,1}{40} + \frac{54,1}{40} = 2,704 \text{ с}.$$

Температура металу в першому проході задана 1200°C. В інших проходах температура розкату визначена за умови зміни її від проходу до проходу по лінійному закону.

Визначаємо енергосилові параметри прокатки для перетину зливка

$$H_0 \times B_0 = 720 \times 720 \text{ мм}.$$

Відносне обтиснення:

$$\varepsilon = \Delta h \div H_0 = 75 \div 720 = 0,1042 \text{ (10,42 \%)} \quad (2.33)$$

Швидкість деформації:

$$u = 0,105 \cdot n_M \sqrt{\varepsilon \cdot R_p \div H_0} \quad (2.34)$$

$$u = 0,105 \cdot 54,1 \sqrt{0,1042 \cdot 416 \div 720} = 1,39 \text{ 1/с.}$$

За даними для сталі 40X знаходимо

$$N_1 = 0,36\% C + 0,17\% Si + 0,5\% Mn + 0,2\% Ni + 0,8\% Cr + 0,2\% Cu = 2,23 \quad (2.35)$$

Для  $N_1 > 5$ :

$$\sigma_{0,д.} = 80 + 25[1 - ((5 - N_1)/4,5^{1,8})], \quad (2.10)$$

$$\sigma_{0,д.} = 80 + 25[1 - ((5 - 2,23)/4,5^{1,8})] = 90,16 \text{ Н/мм}^2$$

$$k_t = 1,66 - 1,1[(t/400) - 2]^{0,7}, \quad (2.37)$$

$$k_t = 1,66 - 1,1[(1200/400) - 2]^{0,7} = 0,59,$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2], \quad (2.38)$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - 0,1042)^2] = 1,008.$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln u), \quad (2.39)$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 1,39) = 0,726.$$

Знаходимо опір деформації:

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{o.d.} \cdot k_t \cdot k_{\varepsilon} \cdot k \quad (2.40)$$

$$\sigma_{\phi} = 90,16 \cdot 0,59 \cdot 1,008 \cdot 0,726 = 38,93 \text{ Н/мм}^2.$$

Довжина осередку деформації:

$$\ell_d = \sqrt{\Delta h \cdot R} = \sqrt{75 \cdot 416} = 176,64 \text{ мм.} \quad (2.41)$$

Середня висота осередку деформації:

$$h_{cp} = H_o - \Delta h \div 2 = 720 - 75 \div 2 = 682,5 \text{ мм.} \quad (2.42)$$

Коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх зон штаби:

$$n''_{\zeta} = (\ell_d / h_{cp})^{-0,4} = (176,64 / 682,5)^{-0,4} = 1,717. \quad (2.43)$$

Контактний тиск при  $\beta = 1,15$ ;  $n'_{\sigma} = 1,0$ :

$$p_{cp} = \beta \cdot n'_{\sigma} \cdot n''_{\zeta} \cdot \sigma_{\phi} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,717 \cdot 38,93 = 76,87 \text{ Н/мм}^2. \quad (2.44)$$

Посилення прокатки при  $b_{cp} = B_o = 720 \text{ мм}$ :

$$P = p_{cp} \cdot b_{cp} \cdot \ell_d \quad (2.45)$$

$$P = 76,87 \cdot 720 \cdot 176,64 \cdot 10^{-3} = 9029,6 \text{ кН.}$$



Коефіцієнт плеча прикладання рівнодіючої при

$$\ell_d / h_{cp} = 0,259:$$

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot (\ell_d / h_{cp}) + 0,444 \cdot (\ell_d / h_{cp})^2 \quad (2.46)$$

$$\psi = 0,79 - 0,259 + 0,444 \cdot 0,259^2 \cdot 0,887 = 0,603$$

$$\text{Момент деформації: } M = 2 \cdot P \cdot \ell_d \cdot \psi \quad (2.47)$$

$$M = 2 \cdot 9029,6 \cdot 0,17664 \cdot 0,59 = 1882,08 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Момент тертя при  $f_{\pi} = 0,05$  та  $d_{ш} = 0,64$  м:

$$M_{тр} = P \cdot f_{\pi} \cdot d_{ш} \quad (2.48)$$

$$M_{тр} = 9029,6 \cdot 0,05 \cdot 0,64 = 288,9 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Момент прокатки при  $\eta = 0,95$ :

$$M_{\pi} = \frac{M + M_{тр}}{\eta}$$

$$M_{\pi} = \frac{1882,6 + 288,9}{0,95} = 2285,9 \text{ кН}\cdot\text{м.} \quad (2.49)$$

Моменти  $M_a = M_b$  і  $M_{xx}$  були визначені вище і становлять:  $M_a = M_b = 582$  кН·м,

$$M_{xx} = 52,8 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Розраховуємо крутний момент на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків:

$$\begin{aligned}
 M_p &= 52,8 + 582 = 634,8 \text{ кН} \cdot \text{м}; \\
 M_y &= 52,8 + 582 + 2285,9 = 2920,6 \text{ кН} \cdot \text{м}; \\
 M_3 &= 52,8 - 582 + 2285,9 = 1756,7 \text{ кН} \cdot \text{м}; \\
 M_o &= 52,8 - 582 = -529,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}
 \tag{2.50}$$

Коефіцієнт  $\theta_m$  дорівнює:

$$\theta_m = 54,1 / 45 = 1,202.
 \tag{2.51}$$

Перевіримо електродвигуни на короткочасне перевантаження:

$$\frac{M_y \cdot \theta_m}{M_H} \leq k_{\Pi}
 \tag{2.52}$$

$$\frac{2920,6 \cdot 1,202}{1508,6} = 2,33 < 2,5.$$

Як видно, умова виконується. Тому можна прийняти, що електродвигуни задовольняють умові короткочасного перевантаження.

Визначаємо квадратичний момент за прохід:

$$M_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{M_p^2 \tau_p + M_y^2 \tau_{y1} + M_y^2 \xi^2 \tau_{y2} + M_3^2 \xi^2 \tau_{32} + M_3^2 \tau_{31} + M_o^2 \tau_o}{T_{\text{пр}}}}
 \tag{2.53}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{кв1}} &= \sqrt{\frac{0,634^2 \cdot 0,75 + 2,92^2 \cdot 0,37 + 1,216^2 \cdot 0,227 + 1,756^2 \cdot \\
 &\quad \cdot 1,216 \cdot 0,227 + 1,756^2 \cdot 0,37 + 0,529^2 \cdot 0,75}{2,502}} = \\
 &= 1,7281 \text{ МН} \cdot \text{м}
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{кв1}} = 1728,1 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Отриманий квадратичний момент перевищує номінальний момент електродвигунів  $M_{\text{н}} = 1508,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Однак, це допустимо, якщо в цілому за такт прокатки виконується  $M_{\text{кв}\Sigma} \leq 0,9 M_{\text{н}}$ .

$$M_{\text{кв}\Sigma} = 1276,2 \text{ кН} \cdot \text{м} < 0,9 \cdot 1508,6 = 1357,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Аналогічно першому проходу здійснюємо розрахунок для решти проходів. Основні результати розрахунку швидкісного і динамічного режимів прокатки наведені в табл. 2.5 і 2.6.

**Таблиця 2.5 - Дані по швидкісному режиму прокатки блюнів перетином 215 × 215 мм із зливків масою 7,4 т**

Номер п проходу	Частота обертання валків, об / хв				$\theta_M$	Час прокатки, с							$\tau_{огт},$ с	$\Sigma(\tau_{пр} + \tau_{огт}),$ с
	$n_y$	$n_M$	$n_{II}$	$n_3$		$\tau_p$	$\tau_y$	$\tau_{II}$	$\tau_3$	$\tau_o$	$T_{пр}$			
1	30	54,1		30	1,202	0,75	0,6022		0,6022	0,75	2,704		2,439	
2	30	54,1		30	1,202	0,75	0,6022		0,6022	0,75	2,704	2	7,409	
3	30	55,2		30	1,227	0,75	0,6309		0,6309	0,75	2,762		10,171	
4	30	56,8		30	1,263	0,75	0,6708		0,6708	0,75	2,842	2	15,012	
5	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	0,6372	0,5000	0,75	3,137		18,150	
6	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	0,8680	0,5000	0,75	3,368		21,518	
7	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	1,0684	0,5000	0,75	3,568		25,086	
8	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	1,3393	0,5000	0,75	3,839		28,925	
9	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	1,7241	0,5000	0,75	4,224		33,149	
10	30		50,0	50	1,111	0,75	0,5000	2,7106	0,1250	1,25	5,211	2	40,360	
11	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	1,8385	0,7500	0,75	4,839		45,198	
12	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	2,2209	0,7500	0,75	5,221		50,419	
13	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	2,7646	0,7500	0,75	5,765		56,184	
14	30		60,0	50	1,333	0,75	0,7500	3,9230	0,3750	1,25	7,048	2	65,232	
15	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	4,4007	0,7500	0,75	7,401		72,633	
16	30		60,0	50	1,333	0,75	0,7500	5,9545	0,3750	1,25	9,080	1,5	83,212	
17	30		60,0	50	1,333	0,75	0,7500	7,1094	0,3750	1,25	10,234	1,75	95,197	

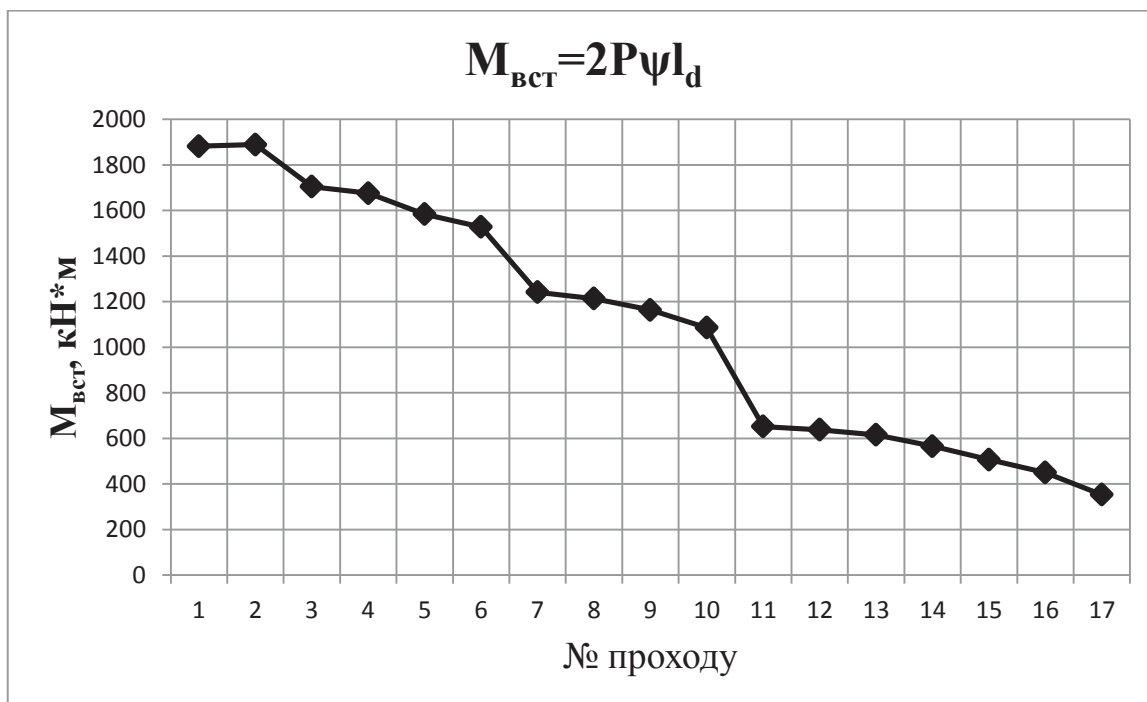
**Таблиця 2.6** - Основні результати розрахунку енергосилових параметрів прокатки блюмів перетином 215 × 215 мм

із зливка масою 7,4 т

№ проходу	t, °C	σ <sub>ф</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	n <sub>σ</sub>	b <sub>ср</sub> , мм	P <sub>ср</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	P, кН	ψ	M <sub>у</sub> , кН·м	M <sub>п</sub> , кН·м	M <sub>з</sub> , кН·м	M <sub>у</sub> ·θ <sub>м</sub>		M <sub>кв</sub> , кН·м	M <sub>кв</sub> , Σ, кН·м	M <sub>уст</sub> , кН·м
											M <sub>н</sub>	M <sub>кв</sub>			
1	1200	38,93	1,717	665	76,87	9029,6	0,590	2920,6	-	1756,7	2,33	1728,1	1728	1882,08	
2	1195	39,33	1,692	727,5	76,53	9155,7	0,584	2793,8	-	1629,8	2,23	1645,8	1441,8	1888,96	
3	1190	39,81	1,727	582,5	79,07	8135,8	0,593	2701,8	-	1537,9	2,20	1616,3	1491,2	1704,4	
4	1185	42,04	1,650	587,5	79,76	8276,8	0,573	2676,0	-	1512,0	2,24	1640,6	1419,9	1675,46	
5	1180	43,50	1,578	582,5	78,94	8122,6	0,552	2575,1	1993,1	1411,2	1,90	1596,5	1451,9	1583,99	
6	1175	46,54	1,489	587,5	79,67	8267,2	0,523	2520,0	1938,0	1356,1	1,86	1605,2	1477,0	1527,49	
7	1170	44,62	1,578	445	80,98	6364,9	0,552	2155,2	1573,3	991,3	1,59	1363,5	1461,4	1241,22	
8	1165	47,72	1,489	455	81,69	6565,3	0,523	2131,9	1549,9	968,0	1,57	1375,9	1450,3	1213,04	
9	1160	51,60	1,390	465	82,50	6776,0	0,486	2088,3	1506,3	924,3	1,54	1375,4	1441,0	1163,39	
10	1155	56,41	1,280	475	83,04	6967,3	0,441	2011,4	1429,4	847,5	1,48	1353,1	1393,5	1085,48	
11	1150	48,46	1,530	295	85,29	3907,4	0,537	1452,1	870,2	288,2	1,28	1008,9	1357,5	651,76	
12	1145	51,45	1,445	305	85,51	4050,5	0,507	1442,9	860,9	279,0	1,28	1012,2	1326,0	637,89	
13	1140	55,29	1,352	315	85,96	4205,1	0,471	1423,9	841,9	259,9	1,26	1007,3	1296,9	615,21	
14	1135	58,86	1,248	325	84,45	4262,5	0,427	1373,0	791,1	209,1	1,21	972,2	1245,3	565,35	
15	1130	60,76	1,276	247,5	89,18	3568,0	0,439	1288,2	706,2	124,2	1,14	892,9	1214,1	506,4	
16	1125	65,78	1,180	262,5	89,27	3639,4	0,398	1230,6	648,7	66,7	1,09	846,1	1168,2	449,92	
17	1120	64,28	1,211	212,5	89,49	2859,3	0,411	1102,8	520,8	-61,1	0,97	654,9	1113,1	353,37	



Зміна встановленого моменту прокатки по проходах



**Рисунок 2.1** - Енергосилові параметри процесу прокатки блюмів  $215 \times 215$  мм по розрахунковому режиму

**Розрахунок режиму обтиснень блюмів перетином  $300 \times 330$  мм із зливка масою 7,4 т**

Вихідні дані: розміри зливка ( $720 \times 720/610 \times 610$ ) 2205 мм, сталь спокійна 40Х.

Знаходимо число проходів, необхідне для прокатки блюмів перетином  $300 \times 330$  мм при  $H_o \times B_o = 720 \times 720$  мм:

$$n_{\text{пр}} = \frac{1,15 \cdot [(H_o - H_k) + (B_o - B_k)]}{\Delta h_{\text{ср}}} = \frac{1,15 \cdot [(720 - 300) + (720 - 330)]}{70} = 13,3$$

приймаємо  $n_{\text{пр}} = 13$  і уточнюємо середнє обтиснення за прохід:

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{931,5}{13} = 71,6 \text{ мм.}$$

На підставі дослідних даних здійснюємо розподіл проходів за калібром і порядок кантовок. Схема наведена в таблиці 2.7.

**Таблиця 2.7** - Схема розподілу проходів за калібром і порядок кантовок

Калібри	I	II	III
№ проходу	1,2× 3,4,5,6,7,8×	9,10,11,12×	13

Складаємо режим обтиснень. Приймаємо першу кантовку після другого проходу.

Прохід 1 (калібр 1). Обтиснення під час прокатки в цьому калібрі одно  $\Delta h = 75$  мм. Для перших двох проходів розширення приймаємо 5 мм. Для решти проходів середнє розширення розраховуємо за формулою А.П. Чекмарьова:

$$\Delta b = \frac{2 \cdot B_{cp} \cdot \Delta H}{(H + h) [ 1 + ( 1 + \alpha ) ( B_{cp} / R \cdot \alpha )^n ]} \quad (2.54)$$

де  $b_{cp}$  – середня ширина розкату;

$n$  – показник ступеня (  $n = 1$  при  $b_{cp} / \ell_d \leq 1$ ;  $n = 2$  при  $b_{cp} / \ell_d > 1$  ).

Маємо:

$$h_1 = h_0 - \Delta h_1 = 720 - 75 = 645 \text{ мм.}$$

Ширина розкату:

$$b_1 = b_0 + \Delta b = 720 + 5 = 725 \text{ мм.}$$

Прохід 2. Обтиснення по стороні Н. Приймаємо обтиснення

$$\Delta h_2 = 75 \text{ мм.}$$

$$h_2 = h_1 - \Delta h_2 = 645 - 75 = 570 \text{ мм.}$$

$$b_2 = b_1 + \Delta b = 725 + 5 = 730 \text{ мм.}$$

Після другого проходу передбачаємо кантовку. Аналогічно розраховуємо і інші проходи: залежно від обтиску визначаємо розширення і встановлюємо кантування відповідно до обраної схеми прокатки.

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.8. З таблиці видно, що розміри готового блюма не відповідають заданим. Здійснюємо коригування режиму обтиснень з урахуванням розширення. Отримані після коригування дані наведені в таблиці 2.9.

Розраховуємо довжину розкату і коефіцієнти витяжки по проходах.

У перших двох проходах довжину розкату приймаємо рівною довжині зливка – 2205 мм. Площі поперечного перерізу розкату по проходах наведені в таблиці.

Об'єм обтискного металу:



$$V = \frac{7400}{7850} = 0,943 \text{ м}^3 \quad (2.55)$$

довжина розкату складе:

після 13-го проходу:

$$L_{13} = \frac{0,943}{0,3 \cdot 0,33} = 9,525 \text{ м} \quad (2.56)$$

після 12-го проходу:

$$L_{12} = \frac{0,943}{0,32 \cdot 0,35} = 8,417 \text{ м}$$

коефіцієнт витяжки в 13-му проході:

$$\lambda_{13} = \frac{9,525}{8,186} = 1,13 \quad (2.57)$$

Результати розрахунків для інших проходів наведені в таблиці 2.10.

**Таблиця 2.8** - Попередній розрахунковий режим деформації при прокатці блюмів перетином  $300 \times 330$  мм

№ калібру	№ проходу	H, мм	B, мм	$\Delta h$ , мм	$\frac{\Delta b}{\Delta h}$	$\Delta b$ , мм	$\frac{B}{H}$	
I	0	720	720					
	1	655	725	65	–	5		
	2	595	730	60	–	5	1,22	
	Кантовка							
	3	660	605	70	0,142	10		
	4	590	615	70	0,142	10	1,04	
	Кантовка							
	5	545	600	70	0,142	10		
	6	475	610	70	0,142	10		
	7	405	620	70	0,142	10		
8	335	630	70	0,142	10	1,88		
Кантовка								
II	9	540	355	90	0,222	20		
	10	450	375	90	0,222	20	0,83	
Кантовка								
I	11	345	460	30	0,333	10	1,33	
	12	Холостий						
Кантовка								
II	13	360	365	100	0,2	20	1,01	
	14	Холостий						
	Кантовка							
	15	300	370	65	0,154	10		

Таблиця 2.9 - Режим обтиснень блюмів перетином 300 × 330 мм

№ калібру	№ проходу	H, мм	B, мм	Δh, мм	$\frac{\Delta b}{\Delta h}$	Δb, мм	$\frac{B}{H}$	l <sub>d</sub>	
I	0	720	720						
	1	645	725	75	0,07	5		174,64	
	2	570	730	75	0,07	5	1,28	174,64	
	Кантовка								
	3	660	575	70	0,07	5		170,64	
	4	590	580	70	0,07	5		170,64	
	5	520	585	70	0,07	5		170,64	
	6	450	590	70	0,07	5		170,64	
	7	380	595	70	0,07	5		170,64	
	8	310	605	70	0,14	10	1,95	170,64	
	Кантовка								
II	9	545	320	60	0,17	10		155,3	
	10	470	330	75	0,13	10		173,63	
	11	395	340	75	0,13	10		173,63	
	12	320	350	75	0,13	10	1,09	173,63	
III	Кантовка								
	13	300	330	50	0,20	10		143,35	

**Таблиця 2.10** - Довжина розкату  $L_1$ , коефіцієнти витяжки  $\lambda$ , кути захвату  $\alpha$   
по проходах

№ проходу	Н × В , мм	$\omega_1$ , мм <sup>2</sup>	$L_1$ , м	$\lambda$	$\alpha$ , рад
0	720 × 720				
1	645 × 725		2,205	1,0	0,428
2	570 × 730		2,205	1,0	0,428
3	660 × 575	379500	2,484	1,543	0,413
4	590 × 580	342200	2,755	1,109	0,413
5	520 × 585	304200	3,099	1,125	0,413
6	450 × 590	265500	3,551	1,146	0,413
7	380 × 595	226100	4,169	1,174	0,413
8	310 × 605	187550	5,026	1,206	0,413
9	545 × 320	174400	5,405	1,075	0,389
10	470 × 330	155100	6,078	1,124	0,435
11	395 × 340	134300	7,019	1,155	0,435
12	320 × 350	112000	8,417	1,199	0,435
13	300 × 330	99000	9,522	1,13	0,355

**Розрахунок швидкісного режиму і енергосилових параметрів прокатки блюнів перетином  $300 \times 330$  мм із зливка масою 7,4 т.**

Приймаємо в перших проходах трикутну схему зміни частоти обертання валків. Приймаємо раціональні значення  $a$  і  $b$ :  $a = b = k = 45$  об/хв  $\cdot$  с.

Призначаємо паузи між проходами: без кантування - 1,5 с, з кантуванням - 3,5 с. Початкову паузу між зливками приймаємо 4,0 с. Приймаємо  $n_y = 30$  об/хв.

Визначаємо максимальну частоту обертання валків в першому проході при  $n_y = n_3 = 30$  об/хв:

$$n_m = \sqrt{60 \cdot k \cdot \left( \frac{L_1}{\pi \cdot D_p} + \frac{n_y^2}{120 \cdot a} + \frac{n_3^2}{120 \cdot b} \right)} \quad (2.58)$$

$$n_m = \sqrt{60 \cdot 45 \cdot \left( \frac{2205}{3,14 \cdot 832} + \frac{30^2}{120 \cdot 40} + \frac{30^2}{120 \cdot 40} \right)} = 54,1 \text{ об/хв.}$$

Отримане значення  $n_m < n_{\max}$ :  $48,8 < 90$ .

Розраховуємо тривалість прокатки на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків.

$$\tau_p = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ с;}$$

$$\tau_{y1} = \frac{45-30}{40} = 0,37 \text{ с;}$$

$$\tau_{y2} = \frac{54,1-45}{40} = 0,227 \text{ с;}$$

$$\tau_{32} = \frac{54,1-45}{40} = 0,227 \text{ с;}$$

$$\tau_{31} = \frac{45-30}{40} = 0,37 \text{ с;}$$

$$\tau_0 = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ с.}$$

(2.59)

Період прокатки:

$$T_{\text{пр1}} = \frac{54,1}{40} + \frac{54,1}{40} = 2,704 \text{ с.} \quad (2.60)$$

Температура металу в першому проході задана 1200°C. В інших проходах температура розкату визначена за умови зміни її від проходу до проходу по лінійному закону.

Визначаємо енергосилові параметри прокатки для перетину зливка  $H_0 \times B_0 = 720 \times 720$  мм.

Відносне обтиснення:

$$\varepsilon = \Delta h \div H_0 = 75 \div 720 = 0,1042 \text{ (10,42 \%)} \quad (2.61)$$

Швидкість деформації:

$$u = 0,105 \cdot 54,1 \sqrt{0,104} \cdot 416 \div 720 = 1,39 \text{ 1/с.} \quad (2.62)$$

За даними для сталі 40Х знаходимо

$$N_1 = 0,36\% C + 0,17\% Si + 0,5\% Mn + 0,2\% Ni + 0,8\% Cr + 0,2\% Cu = 2,23$$

Для  $N_1 > 5$ :

$$\sigma_{\text{о.д.}} = 80 + 25[1 - ((5 - N_1)/4,5^{1,8})], \quad (2.63)$$

$$\sigma_{\text{о.д.}} = 80 + 25[1 - ((5 - 2,23)/4,5^{1,8})] = 90,28 \text{ Н/мм}^2$$

$$k_t = 1,66 - 1,1[(t/400) - 2]^{0,7}, \quad (2.64)$$

$$k_t = 1,66 - 1,1[(1200/400) - 2]^{0,7} = 0,533,$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2], \quad (2.65)$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43[1 - 6,3(0,5 - 0,1042)^2] = 1,008.$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln u), \quad (2.66)$$

$$k_u = 0,38 + 0,065(7 + \ln 1,39) = 0,716.$$

$$\sigma_{o.d.} = 90,28 \text{ МПа}, k_u = 0,716, k_t = 0,533, k_\varepsilon = 1,008. \quad (2.67)$$

Знаходимо опір деформації:

$$\sigma_\phi = \sigma_{o.d.} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 90,28 \cdot 0,533 \cdot 1,008 \cdot 0,716 = 34,73 \text{ Н/мм}^2.$$

Довжина осередку деформації:

$$\ell_d = \sqrt{\Delta h \cdot R} = \sqrt{75 \cdot 416} = 176,64 \text{ мм}. \quad (2.68)$$

Середня висота осередку деформації

$$h_{cp} = H_o - \Delta h \div 2 = 720 - 75 \div 2 = 682,5 \text{ мм}. \quad (2.69)$$

Коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх зон штаби:

$$n''_{\zeta} = (\ell_d / h_{cp})^{-0,4} = (176,64 / 682,5)^{-0,4} = 1,717. \quad (2.70)$$

Контактний тиск при  $\beta = 1,15$ ;  $n'_{\sigma} = 1,0$

$$p_{cp} = \beta \cdot n'_{\sigma} \cdot n''_{\zeta} \cdot \sigma_\phi = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,717 \cdot 34,73 = 68,58 \text{ Н/мм}^2. \quad (2.71)$$

Сила прокатки при  $b_{cp} = B_o = 720 \text{ мм}$ :

$$P = P_{cp} \cdot b_{cp} \cdot \ell_d = 68,58 \cdot 720 \cdot 176,64 \cdot 10^{-3} = 8752,2 \text{ кН}. \quad (2.72)$$

Коефіцієнт плеча прикладання рівнодіючої при

$$\ell_d / h_{cp} = 0,259: \quad (2.73)$$

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,259 + 0,444 \cdot 0,259^2 = 0,590. \quad (2.74)$$

Момент деформації:

$$M = 2 \cdot 8752,2 \cdot 0,176 \cdot 0,590 = 1824,8 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.75)$$

Момент тертя при  $f_{\pi} = 0,05$  і  $d_{ш} = 0,64$  м:

$$M_{тр} = 8752,2 \cdot 0,05 \cdot 0,64 = 280,1 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.76)$$

Момент прокатки при  $\eta = 0,95$ :

$$M_{\pi} = \frac{1824,8 + 280,1}{0,95} = 2215,6 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.77)$$

Моменти  $M_a = M_b$  і  $M_{xx}$  були визначені вище і становлять:

$$M_a = M_b = 582 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad M_{xx} = 52,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Розраховуємо крутний момент на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків:

$$M_p = 52,8 + 582 = 634,8 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_y = 52,8 + 582 + 2215,6 = 2850,4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 52,8 - 582 - 2215,6 = 1686,4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$



$$M_0 = 52,8 - 582 = -529,2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Коефіцієнт  $\theta_m$

$$\theta_m = 54,1 / 45 = 1,202. \quad (2.78)$$

Перевіримо електродвигуни на короткочасне перевантаження:

$$\frac{2850,4 \cdot 1,202}{1508,7} = 2,27 < 2,5$$

Як видно, умова виконується. Тому можна прийняти, що електродвигуни задовольняють умови короткочасного перевантаження.

Визначаємо квадратичний момент за прохід:

$$M_{\text{кв1}} = \sqrt{\frac{0,6348^2 \cdot 0,75 + 2,85^2 \cdot 0,375 + 2,85^2 \cdot 1,216 \cdot 0,227 + 1,51^2 \cdot 1,686 \cdot 0,227 + 1,686^2 \cdot 0,375 + 0,5293^2 \cdot 0,75}{2,704}} = 1682,4 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.79)$$

$$\text{де } \xi^2 = (\theta_m^2 + \theta_m + 1) = 1/3 (1,202^2 + 1,202 + 1) = 1,216.$$

Отриманий квадратичний момент не перевищує номінальний момент електродвигунів  $M_n = 1508,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Однак, це допустимо, якщо в цілому за такт прокатки виконується  $M_{\text{кв}\Sigma} \leq 0,9 M_n$ .

$$M_{\text{кв}\Sigma} = 1209,3 \text{ кН} \cdot \text{м} < 0,9 \cdot 1508,6 = 1357,7 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.80)$$

Аналогічно першому проходу здійснюємо розрахунок для решти проходів. Основні результати розрахунку швидкісного і динамічного режимів прокатки наведені у табл. 2.11 і 2.12.

Результати розрахунків нових режимів обтиснень дозволили запропонувати нове калібрування валків блюмінгу 1050, наведене на рис. 2.3.

**Таблиця 2.11** - Дані по швидкісному режиму прокатки блоків перетином 300 × 330 мм із злиwkів масою 7,4 т

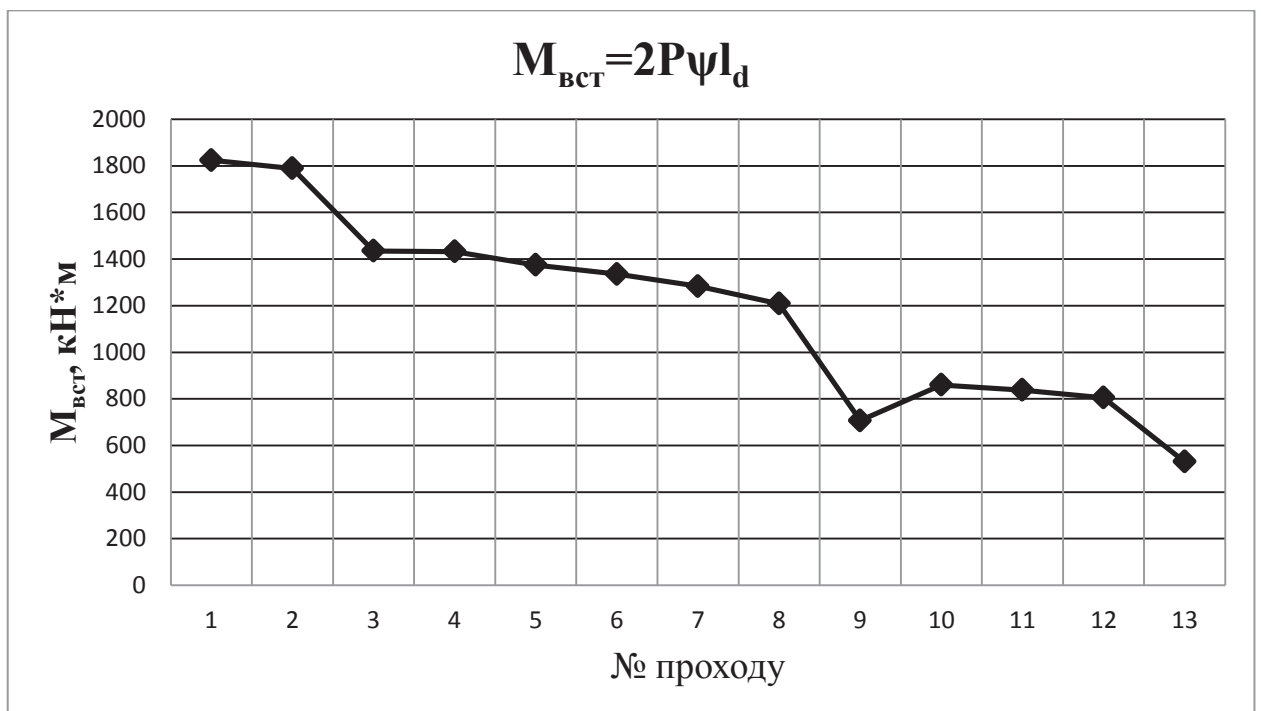
Номер проходу	Частота обертання валків, об / хв				$\theta_M$	Час прокатки, с							$\tau_{ост}$ , с	$\Sigma(\tau_{пр} + \tau_{ост}), с$
	$n_y$	$n_M$	$n_{II}$	$n_3$		$\tau_p$	$\tau_y$	$\tau_{II}$	$\tau_3$	$\tau_o$	$\tau_{пр}$			
1	30	54,1		30	1,202	0,75	0,6022		0,6022	0,75	2,704			2,44
2	30	54,1		30	1,202	0,75	0,6022		0,6022	0,75	2,704		2	7,14
3	30	56,4		30	1,254	0,75	0,6602		0,6602	0,75	2,820			9,96
4	30	58,6		30	1,302	0,75	0,7143		0,7143	0,75	2,929			12,89
5	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	0,6234	0,5000	0,75	3,123			16,02
6	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	0,8309	0,5000	0,75	3,331			19,35
7	30		50,0	30	1,111	0,75	0,5000	1,1151	0,5000	0,75	3,615			22,96
8	30		50,0	50	1,111	0,75	0,5000	1,9087	0,1250	1,25	4,534		2	29,50
9	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	1,0161	0,7500	0,75	4,016			33,51
10	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	1,2825	0,7500	0,75	3,532			37,04
11	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	1,6554	0,7500	0,75	4,655			41,70
12	30		60,0	60	1,333	0,75	0,7500	2,7714	0,3750	1,5	6,146		2	49,85
13	30		60,0	30	1,333	0,75	0,7500	2,6467	0,7500	0,75	5,647		1,75	57,24

**Таблиця 2.12** - Основні результати розрахунку енергосилових параметрів прокатки блюмів перетином 300 × 330 мм із зливка масою 7,4 т

№ проходу	t, °C	σ <sub>ф</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	n // σ	b <sub>ср</sub> , мм	ρ <sub>ср</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	P, кН	ψ	M <sub>y</sub> , кН·м	M <sub>п</sub> , кН·м	M <sub>з</sub> , кН·м	M <sub>y</sub> ·θ <sub>м</sub>		M <sub>квΣ</sub> , кН·м	M <sub>кв</sub> , кН·м	M <sub>вст</sub> , кН·м
											M <sub>н</sub>	M <sub>кв</sub>			
1	1200	34,73	1,717	722,5	68,58	8752,2	0,590	2850,4	—	1686,4	2,27	1682,4	1682,4	1824,2	
2	1195	36,68	1,639	727,5	69,13	8883,9	0,570	2815,9	—	1651,9	2,24	1660,1	1362,1	1788,9	
3	1190	35,63	1,754	572,5	71,85	7019,3	0,599	2381,7	—	1217,7	1,98	1433,7	1382,7	1434,9	
4	1185	37,91	1,681	577,5	73,28	7221,2	0,581	2385,1	—	1221,1	2,06	1484,0	1406,3	1431,8	
5	1180	39,32	1,603	582,5	72,48	7204,4	0,559	2324,9	1742,9	1161,0	1,71	1417,1	1408,4	1374,4	
6	1175	41,92	1,519	587,5	73,21	7339,3	0,533	2287,0	1705,0	1123,1	1,68	1427,2	1411,7	1335,0	
7	1170	45,32	1,427	592,5	74,37	7519,3	0,500	2239,7	1657,7	1075,7	1,65	1433,2	1415,1	1283,0	
8	1165	49,34	1,325	600	75,20	7699,2	0,460	2166,2	1584,2	1002,2	1,60	1373,1	1359,7	1208,6	
9	1160	40,38	1,706	315	79,20	3874,5	0,587	1509,3	927,3	345,3	1,33	1020,4	1323,6	706,38	
10	1155	46,13	1,536	325	81,48	4597,8	0,538	1694,7	1112,8	530,8	1,50	1314,5	1322,7	859,98	
11	1150	49,56	1,441	335	82,10	4775,8	0,505	1678,1	1096,1	514,1	1,48	1204,4	1310,1	837,51	
12	1145	54,31	1,335	345	83,37	4994,1	0,464	1649,9	1068,0	486,0	1,46	1108,5	1259,9	804,69	
13	1140	51,36	1,394	325	82,30	3792,3	0,488	1314,4	732,4	150,4	1,16	901,5	1209,3	530,57	



**Зміна встановленого моменту прокатки по проходах**



**Рисунок 2.2 - Енергосилові параметри прокатки блюмів перетином 300×330 мм по розрахунковому режиму**

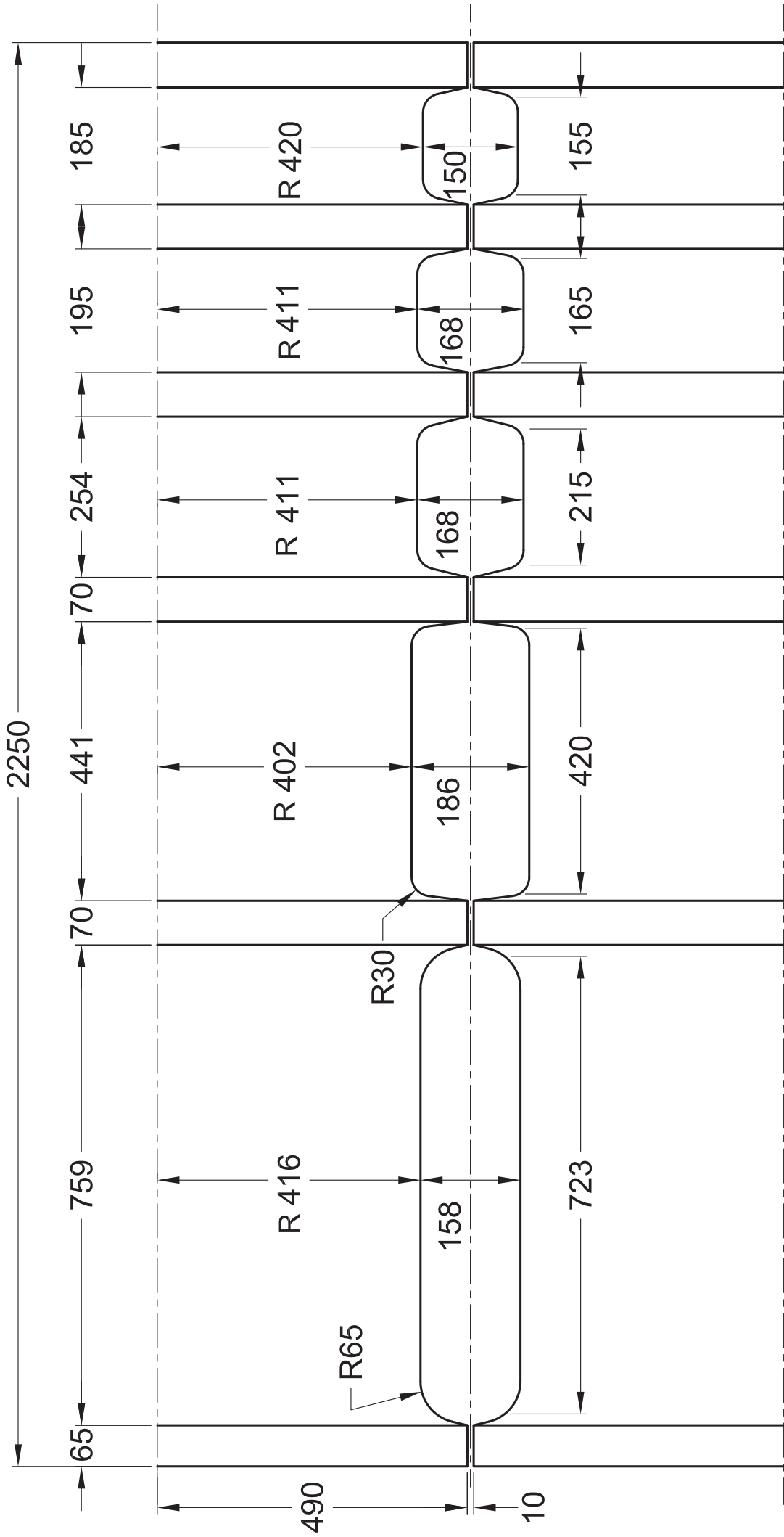


Рисунок 2.3 - Запропоноване нове калібрування валків блюмінгу 1050

## 2.2 Розрахунок енергосилових параметрів за діючою технологією

### *Розрахунок швидкісного і динамічного режиму прокатки блюмів перетином 215×215 мм із зливка масою 7,4 т*

Розміри зливка 720 × 720 × 2205 мм. Марка сталі 40Х. Маса зливка 7,4 т. Номінальний діаметр валків 1050 мм. Температура прокатки: початку –1200 ° С, кінця – 1110 ° С. Привід валків від двох електродвигунів.

Розраховуємо довжину розкату і коефіцієнти витяжки по проходах.

У перших двох проходах довжину розкату приймаємо рівною довжині зливка – 2,205 м. Площі поперечного перерізу розкату по проходах наведені в таблиці 2.14.

Об'єм обтискного металу:

$$V = G_{\text{сл.}}/\gamma, \quad (2.81)$$

де  $\gamma$  – щільність обтискного металу, рівна 7850 кг/м<sup>3</sup>;

$G_{\text{сл.}}$  – маса зливка, рівна 7,4 т.

$$V = 7400 / 7850 = 0,943 \text{ м}^3.$$

Довжина розкату складе:

після 19-го проходу:

$$(L_1)_{19} = \frac{V}{(H_1)_{21} \cdot (B_1)_{21}} \quad (2.82)$$

$$L_{19} = \frac{0,943}{0,215 \cdot 0,215} = 20,39 \text{ м};$$

після 18-го проходу:

$$L_{18} = \frac{0,943}{0,205 \cdot 0,255} = 18,03 \text{ м і т.д.}$$

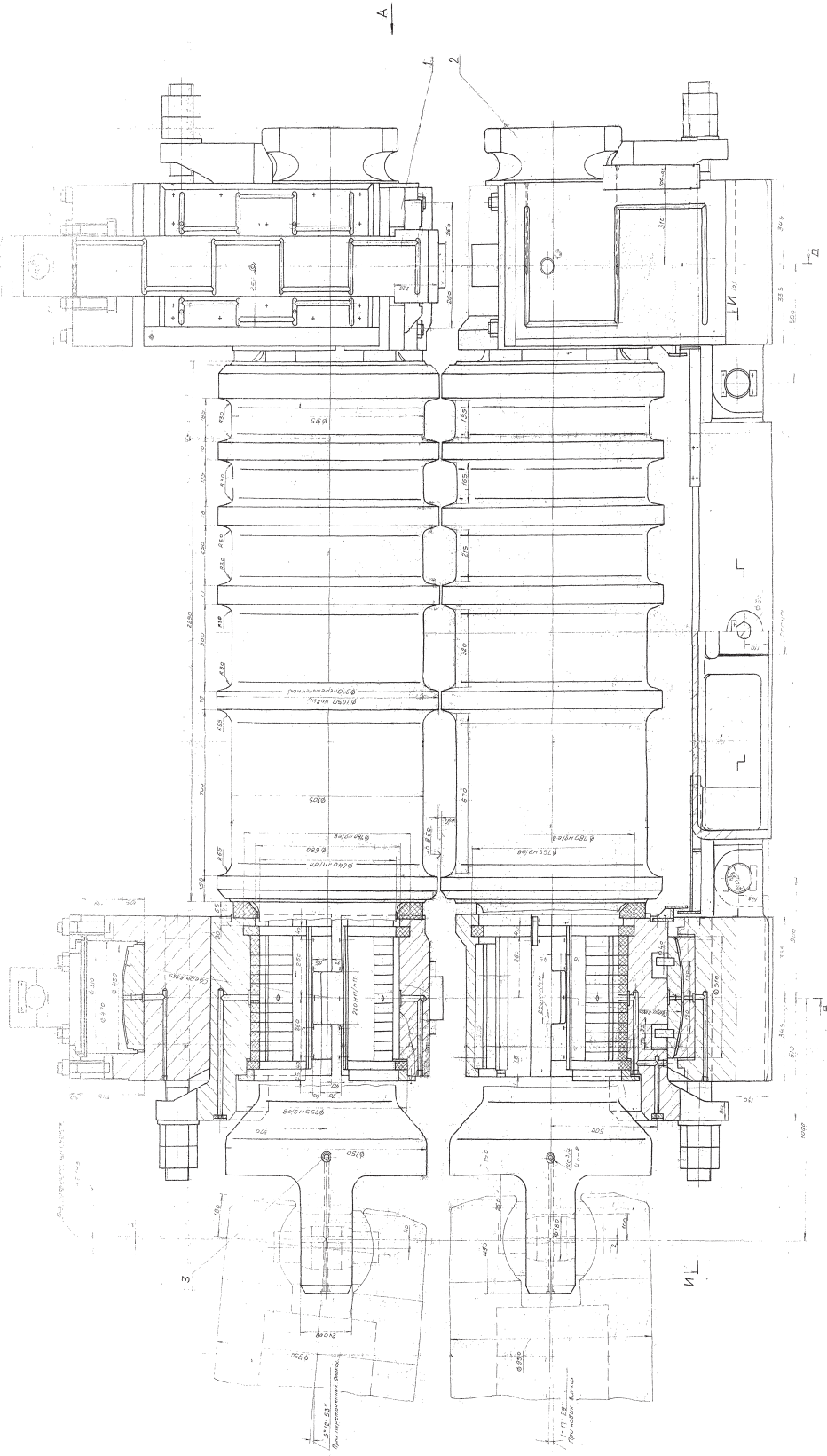
Коефіцієнт витяжки в 19-му проході:

$$\lambda = \frac{(L_1)_{19}}{(L_1)_{18}} \quad (2.83)$$

$$\lambda_{19} = \frac{20,39}{18,03} = 1,13.$$

Результати розрахунків для інших проходів наведені в таблиці 2.14.

На рис. 2.4 наведена існуюча схема калібровок валків блюмінгу 1050 [9].



1 - валок; 2 - подушка; 3 - шпindel  
Рисунок 2.4 - Існуюча монтажна схема калібрів валків блюмінгу 1050



Таблиця 2.13 - Режим обтиснень при прокатці блюмів перетином 215 × 215 мм

№ Калібру	№ проходу	H, мм	B, мм	Обтиснен ня Δh, мм	$\frac{\Delta b}{\Delta h}$	Розши- рення Δb, мм	$\frac{B}{H}$	I <sub>d</sub>	
I	0	720	720						
	1	655	725	65	-	5		164,43	
	2	595	730	60	-	5	1,23	157,98	
	Кантовка								
	3	660	595	70	3,000	15		170,64	
	4	590	620	70	0,143	10		170,64	
	5	520	630	70	0,143	10		170,64	
	6	450	640	70	0,143	10		170,64	
	7	385	650	65	0,154	10		164,43	
	8	325	660	60	0,167	10	2,03	157,98	
Кантовка									
II	9	570	340	90	0,167	15		190,21	
	10	480	350	90	0,111	10	0,73	190,21	
Кантовка									
I	11	320	490	30	0,333	10	1,53	111,71	
	12	Холостий							
Кантовка									
II	13	405	335	85	0,176	15		184,85	
	14	320	350	85	0,176	15	1,09	184,85	
	Кантовка								
	15	290	330	60	0,167	10		155,3	
	16	230	340	60	0,167	10	1,48	155,3	
Кантовка									
III	17	270	245	70	0,214	15		169,61	
	18	205	255	65	0,154	10	1,24	163,44	
	Кантовка								
	19	215	215	40	0,250	10		128,21	

**Таблиця 2.14** - Довжина розкату  $L_1$ , коефіцієнти витяжки  $\lambda$ , кути захвату  $\alpha$  по проходам

№ проходу	Н × В , мм	$\omega_1$ , мм <sup>2</sup>	$L_1$ , мм	$\lambda$	$\alpha$ , град
0	720 × 720	—	—	—	—
1	655 × 725	—	2205	—	22,80
2	595 × 730	—	2205	—	21,89
3	660 × 610	402600	2341	1,062	6,28
4	590 × 620	365800	2577	1,101	23,67
5	520 × 630	327600	2878	1,117	23,67
6	450 × 640	288000	3273	1,138	23,67
7	385 × 650	250250	3767	1,151	22,80
8	325 × 660	214500	4395	1,167	21,89
9	570 × 340	193800	4864	1,107	27,37
10	480 × 350	168000	5611	1,154	27,37
11	320 × 490	156800	6012	1,071	15,43
12	—	—	—	—	—
13	405 × 335	135675	6948	1,156	26,58
14	320 × 350	112000	8417	1,21	26,58
15	290 × 330	95700	9850	1,17	22,28
16	230 × 340	78200	12055	1,22	22,28
17	270 × 245	66150	14251	1,18	23,82
18	2205 × 255	52275	18033	1,27	22,94
19	215 × 215	46225	20393	1,13	17,95

**Розрахунок швидкісного і динамічного режимів прокатки блюмів перетином  $215 \times 215$  мм**

Приймаємо в перших проходах трикутну схему зміни частоти обертання валків.

Розраховуємо середнє прискорення  $k$  при середньому значенні робочого діаметру:

$$D_p = (832 + 804 + 822 + 840) / 4 = 824,5 \text{ мм.}$$

$$k = \frac{38,2}{D_p} = \frac{38,2}{0,824} = 46,35 \text{ об/хв} \cdot \text{с.} \quad (2.84)$$

Приймаємо раціональні значення  $a$  і  $b$ :  $a = b = k = 40 \text{ об/хв} \cdot \text{с.}$

Призначаємо паузи між проходами: без кантування – 1,5 с, з кантуванням – 3,5 с. Початкову паузу між злитками приймаємо 4,0 с.

Визначаємо раціональні значення частоти обертання валків  $n_y$  і  $n_z$  у двох суміжних проходах без кантування.

Між 1 – м і 2 – м проходами:

$$n_{yy} = n_z = 0,5 \cdot k \cdot \tau_x = 0,5 \cdot 45 \cdot 1,5 = 33,7 \text{ об/хв.} \quad (2.85)$$

Між 3–м і 4–м проходами  $n_{yy} = n_z = 33,7 \text{ об/хв.}$  і т.д.

Результати розрахунку наведені в таблиці 2.15.

Визначаємо  $n_y$  і  $n_z$  в паузах з кантування.

Отримуємо:

$$n_{yy} = n_z = 0,5 \cdot 45 \cdot 3,5 = 78,7 \text{ об/хв.} \quad (2.86)$$

Порівняємо отримане значення  $n_{yy}$  зі значенням  $(n_{yy})_{зах}$ , певним за умовою захвату розкату валками. Для першого калібру при максимальному обтисненні  $\Delta h = 65$  мм (див. табл. 2.3) кут захвату  $\alpha = 22,65^\circ$ . При  $\alpha = 22,65^\circ$  отримуємо швидкість прокатки  $V = 1,42$  м/с. Тоді знаходимо:

$$(n_{yy})_{зах} = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D_p} \quad (2.87)$$

$$(n_{yy})_{зах} = \frac{60 \cdot 1,42}{\pi \cdot 0,832} = 32,6 \text{ об/хв.}$$

Таким чином, за умовою захвату розкату валками в першому калібрі можна прийняти  $n_{yy} = 32,6$  об/хв. Приймаємо  $n_{yy} = 30$  об/хв. Для уніфікації приймаємо у всіх проходах частоту обертання валків в момент захвату розкату 30 об / хв. Розраховуємо час зупинки електродвигуна у 1-му проході.

Визначаємо максимальну частоту обертання валків в першому проході при  $n_y = n_3 = 30$  об/хв.:

$$n_M = \sqrt{60 \cdot k \cdot \left( \frac{L_1}{\pi \cdot D_p} + \frac{n_y^2}{120 \cdot a} + \frac{n_3^2}{120 \cdot b} \right)} \quad (2.88)$$

$$n_M = \sqrt{60 \cdot 40 \cdot \left( \frac{2205}{3,14 \cdot 832} + \frac{30^2}{120 \cdot 40} + \frac{30^2}{120 \cdot 40} \right)} = 54,1 \text{ об/хв.}$$

Отримане значення  $n_M < n_{max}$ :  $54,1 < 90$ .

Розраховуємо тривалість прокатки на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків.

$$\left. \begin{aligned} \tau_p &= n_y / a, & \tau_{y1} &= (n_H - n_y) / a, & \tau_{y2} &= (n_M - n_H) / a \end{aligned} \right\}$$

$$\tau_{32} = (n_M - n_H) / b, \quad \tau_{31} = (n_H - n_3) / b, \quad \tau_o = n_3 / b \quad (2.89)$$

де  $n_H$  – номінальне число оборотів двигуна;

$\tau_p$  – час розгону обертання валків без гуркоту;

$\tau_y$  – час прискорення валків разом з гуркотом;

$\tau_3$  – час уповільнення валків;

$\tau_o$  – час зупинки валків.

$$\tau_p = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ с};$$

$$\tau_{y1} = \frac{45-30}{40} = 0,37 \text{ с};$$

$$\tau_{y2} = \frac{54,1-45}{40} = 0,227 \text{ с};$$

$$\tau_{32} = \frac{54,1-45}{40} = 0,227 \text{ с};$$

$$\tau_{31} = \frac{45-30}{40} = 0,37 \text{ с};$$

$$\tau_o = \frac{30}{40} = 0,75 \text{ с}.$$

Період прокатки

$$T_{пр} = \frac{n_M}{a} + \frac{n_M}{b} \quad (2.90)$$

$$T_{пр1} = \frac{54,1}{40} + \frac{54,1}{40} = 2,704 \text{ с}.$$

Температура металу в першому проході задана 1200 ° С. В інших проходах температура розкату визначена за умови зміни її від проходу до проходу по лінійному закону.

Визначаємо енергосилові параметри прокатки для перетину зливка

$$H_o \times B_o = 720 \times 720 \text{ мм}.$$

Відносне обтиснення

$$\varepsilon = \Delta H \div H_0 = 65 \div 720 = 0,09 \text{ (9,03 \%)} . \quad (2.91)$$

Швидкість деформації

$$u = 0,105 \cdot n_M \sqrt{\varepsilon \cdot R_p \div H_0} \quad (2.92)$$

$$u = 0,105 \cdot 54,1 \sqrt{0,09 \cdot 416 \div 720} = 1,3 \text{ 1/с.}$$

За даними для сталі 40Х знаходимо  $\sigma_{o.d.} = 90,16 \text{ Н/мм}^2$ ,

$$k_u = 0,718, k_t = 0,533, k_\varepsilon = 0,971.$$

Знаходимо опір деформації:

$$\sigma_\phi = \sigma_{o.d.} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u \quad (2.93)$$

$$\sigma_\phi = 90,16 \cdot 0,577 \cdot 0,97 \cdot 0,746 = 33,50 \text{ Н/мм}^2.$$

Довжина осередку деформації

$$\ell_d = \sqrt{\Delta H \cdot R} = \sqrt{65 \cdot 416} = 164,44 \text{ мм.} \quad (2.94)$$

Середня висота осередку деформації

$$h_{cp} = H_0 - \Delta h \div 2 = 720 - 65 \div 2 = 687,5 \text{ мм.} \quad (2.95)$$

Коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх зон штаби:

$$n_\sigma^{//} = (\ell_d / h_{cp})^{-0,4} = (164,44 / 687,5)^{-0,4} = 1,772. \quad (2.96)$$

Контактний тиск, при

$$\beta = 1,15; n'_\sigma = 1,0:$$

$$p_{cp} = \beta \cdot n'_\sigma \cdot n''_\zeta \cdot \sigma_\phi = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,772 \cdot 33,50 = 68,28 \text{ Н/мм}^2. \quad (2.97)$$

Сила прокатки при  $b_{cp} = B_o = 720$  мм:

$$P = p_{cp} \cdot b_{cp} \cdot \ell_d \quad (2.98)$$

$$P = 68,28 \cdot 720 \cdot 164,44 \cdot 10^{-3} = 7466,5 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча прикладання рівнодіючої, при

$$\ell_d / h_{cp} = 0,239:$$

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot (\ell_d / h_{cp}) + 0,444 \cdot (\ell_d / h_{cp})^2 \quad (2.99)$$

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,239 + 0,444 \cdot 0,239^2 = 0,603.$$

Момент деформації

$$M = 2 \cdot P \cdot \ell_d \cdot \psi \quad (2.100)$$

$$M = 2 \cdot 7466,5 \cdot 0,1644 \cdot 0,603 = 1481,3 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Момент тертя, при  $f_n = 0,05$  і  $d_{ш} = 0,64$  м:

$$M_{тр} = P \cdot f_n \cdot d_{ш} \quad (2.101)$$

$$M_{тр} = 7466,5 \cdot 0,05 \cdot 0,64 = 238,9 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Момент прокатки, при  $\eta = 0,95$ :

$$M_{\Pi} = \frac{M + M_{\text{тр}}}{\eta} \quad (2.102)$$

$$M_{\Pi} = \frac{1481,3 + 238,9}{0,95} = 1810,8 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Моменти  $M_a = M_b$  і  $M_{xx}$  були визначені вище в п. 2.1 і становлять:  $M_a = M_b = 582 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ,  $M_{xx} = 52,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Розраховуємо крутний момент на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків:

$$\left. \begin{aligned} M_p &= M_{xx} + M_a \\ M_y &= M_{xx} + M_a + M_q \\ M_3 &= M_{xx} - M_b + M_q \\ M_0 &= M_{xx} - M_b \end{aligned} \right\} \quad (2.103)$$

$$M_p = 52,8 + 582 = 634,8 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_y = 52,8 + 582 + 1810,8 = 2445,5 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 52,8 - 582 + 1810,8 = 1281,6 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_0 = 52,8 - 582 = -529,2 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Коефіцієнт  $\theta_m$  дорівнює:



$$\theta_M = n_M / n_H \quad (2.104)$$

$$\theta_M = 54,1 / 45 = 1,202.$$

Перевіримо електродвигуни на короткочасне перевантаження:

$$\frac{M_y \cdot \theta_M}{M_H} \leq k_{\pi} \quad (2.105)$$

$$\frac{2445,5 \cdot 1,202}{1508,6} = 1,95 < 2,5.$$

Як видно, умова виконується. Тому можна прийняти, що електродвигуни задовольняють умові короткочасного перевантаження.

Визначаємо квадратичний момент за прохід.

$$M_{KB} = \sqrt{\frac{M_p^2 \tau_p + M_y^2 \tau_{y1} + M_y^2 \xi^2 \tau_{y2} + M_3^2 \xi^2 \tau_{32} + M_3^2 \tau_{31} + M_o^2 \tau_o}{T_{\text{пр}}}} \quad (2.106)$$

$$M_{KB1} = \sqrt{\frac{0,634^2 \cdot 0,75 + 2,445^2 \cdot 0,375 + 2,445^2 \cdot 1,216 \cdot 0,227 + 1,281^2 \cdot 1,216 \cdot 0,227 + 1,281^2 \cdot 0,37 + 0,529^2 \cdot 0,75}{2,704}}$$

$$= 1,423 \text{ МН} \cdot \text{м} = 1423,0 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Отриманий квадратичний момент не перевищує номінальний момент електродвигунів  $M_H = 1508,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Однак, це допустимо, якщо в цілому за такт прокатки виконується  $M_{KB\Sigma} \leq 0,9 M_H$ .

$$M_{KB\Sigma} = 1056,5 \text{ кН} \cdot \text{м} < 0,9 \cdot 1508,6 = 1357,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

налогічно до попереднього розрахунку зроблено розрахунок для цих же параметрів. Результати розрахунку статичного і динамічного моментів прокатки наведені в табл. 2. і 2. .

Таблиця 2.15 - Дані по швидкісному режиму прокати блоків перетином 215 × 215 мм із злиwkів масою 7,4 т

№ проходу	Частота обертання валків, об / хв				$\theta_m$	Час прокати, с							$\tau_{ост}, c$	$\Sigma(\tau_{пр} + \tau_{ост}), c$
	$n_y$	$n_m$	$n_{п}$	$n_3$		$\tau_p$	$\tau_y$	$\tau_{п}$	$\tau_3$	$\tau_o$	$\tau_{пр}$			
1	30	54,1	-	30	1,202	0,75	0,6022	-	0,6022	0,75	2,704	-	2,704	
2	30	52,8	-	30	1,173	0,625	0,6951	-	0,5701	0,75	2,640	2	7,345	
3	30	55,2	-	30	1,227	0,75	0,6309	-	0,6309	0,75	2,762	-	10,106	
4	30	55,9	-	30	1,243	0,625	0,7736	-	0,6486	0,75	2,797	-	12,904	
5	30	-	50,0	30	1,111	0,75	0,5000	0,5217	0,5000	0,75	3,022	-	15,925	
6	30	-	50,0	30	1,111	0,75	0,5000	0,7035	0,5000	0,75	3,203	-	19,129	
7	30	-	50,0	30	1,111	0,75	0,5000	0,9303	0,5000	0,75	3,430	-	22,559	
8	30	-	60,0	60	1,333	0,75	0,7500	1,1197	-	1,5	4,120	1,5	28,179	
9	30	-	60,0	30	1,333	0,75	0,7500	0,8017	0,7500	0,75	3,802	-	31,981	
10	30	-	60,0	60	1,333	0,75	0,7500	1,6601	-	1,5	4,660	1,5	38,141	
11	30	-	80,1	30	1,781	0,75	1,2536	-	1,2536	0,75	4,007	-	47,537	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,389	-	
13	30	-	70,0	30	1,556	0,75	1,0000	0,9304	1,3750	0,75	4,805	-	52,342	
14	30	-	70,0	60	1,556	0,75	1,0000	1,9112	0,1250	1,5	5,036	1,25	58,629	
15	30	-	70,0	30	1,556	0,75	1,0000	1,9158	1,0000	0,75	5,416	-	64,044	
16	30	-	60	60	1,333	0,75	0,7500	4,2125	-	1,5	7,212	1,25	72,507	
17	30	-	60	30	1,333	0,75	0,7500	4,3962	0,7500	0,75	7,396	-	79,903	
18	30	-	60	60	1,333	0,75	0,7500	6,4241	-	1,5	9,424	1,25	90,577	
19	30	-	80	60	1,778	0,75	1,2500	4,6289	0,5000	1,5	8,629	1,75	100,95	

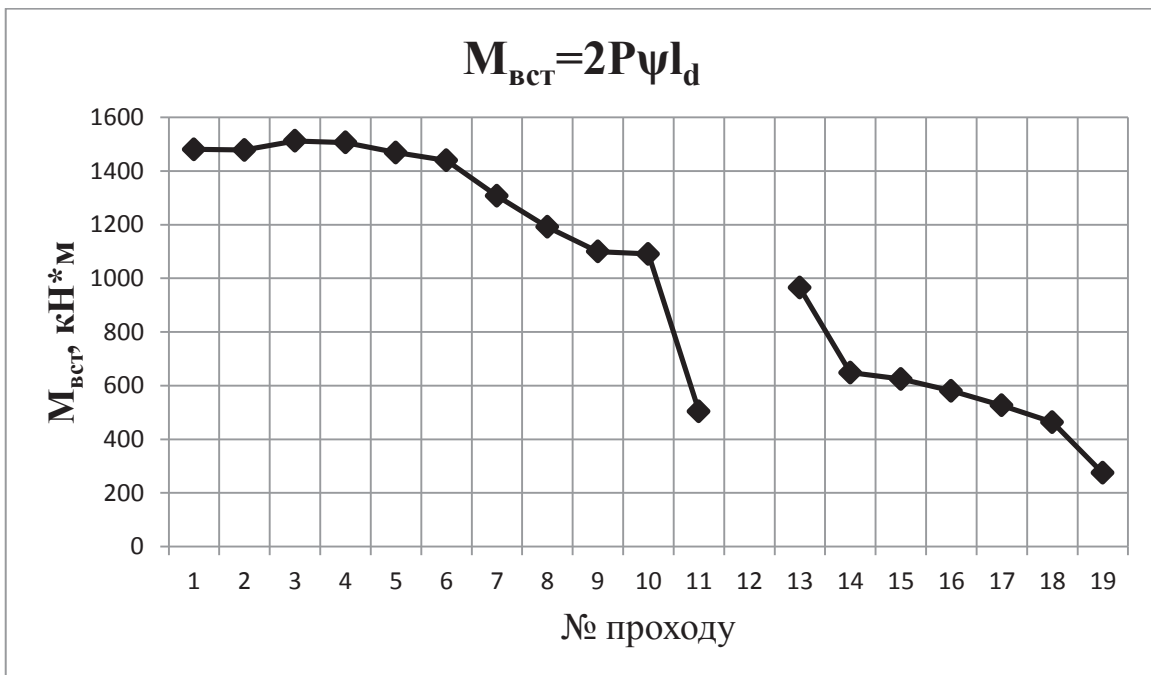
**Таблиця 2.16** - Основні результати розрахунку енергосилових параметрів прокатки блюмів перегином 215 × 215 мм

із зливка масою 7,4 т

№	Аноди	t, °C	σ <sub>ф</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	n <sup>//</sup> σ	В <sub>сп</sub> , мм	Р <sub>сп</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	Р, кН	ψ	M <sub>у</sub> , кН·м	M <sub>п</sub> , кН·м	M <sub>з</sub> , кН·м	M <sub>у</sub> ·θ <sub>м</sub>		M <sub>кв</sub> , кН·м	M <sub>квΣ</sub> , кН·м	M <sub>вст</sub> , кН·м
												M <sub>н</sub>	M <sub>н</sub>			
1		1200	33,50	1,772	665	68,28	7466,5	0,603	2445,5	—	1281,6	1,95	1423,0	1423	1480,7	
2		1195	34,37	1,733	727,5	68,51	7874,2	0,594	2456,1	—	1292,2	1,91	1492,7	1060,1	1477,9	
3		1190	21,46	2,916	587,5	71,98	7396,0	0,599	835,1	—	-328,8	0,68	1468,4	1308,8	1511,99	
4		1185	37,45	1,681	615	72,38	7596,5	0,581	2476,0	—	1312,1	2,04	1569,0	1357,3	1506,31	
5		1180	39,16	1,603	625	72,18	7698,7	0,559	2440,9	1858,9	1276,9	1,80	1475,5	1371,8	1468,77	
6		1175	41,81	1,519	635	73,01	7911,5	0,533	2415,8	1833,9	1251,9	1,78	1497,2	1385,6	1439,16	
7		1170	44,02	1,452	645	73,48	7793,6	0,510	2272,0	1690,0	1108,1	1,67	1431,8	1386,2	1307,19	
8		1165	47,46	1,382	655	75,45	7807,5	0,483	2152,5	1570,5	988,6	1,90	1541,5	1366,7	1191,54	
9		1160	44,54	1,599	332,5	81,90	5179,6	0,558	1966,9	1384,9	802,9	1,74	1374,0	1362,5	1099,49	
10		1155	48,02	1,501	345	82,88	5439,0	0,527	1965,6	1383,6	801,7	1,74	1453,5	1342,2	1090,42	
11		1150	42,87	1,552	485	76,50	4145,0	0,544	1304,3	—	140,4	1,54	1018,6	1235,4	503,8	
12		1145	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
13		1140	52,76	1,424	327,5	86,42	5231,6	0,499	1827,7	1245,7	663,7	1,88	1403,0	1247,1	965,13	
14		1135	58,58	1,309	237,5	88,19	3871,7	0,453	1448,0	866,0	284,0	1,49	1090,8	1219,4	648,31	
15		1130	55,93	1,335	325	85,88	4334,9	0,464	1438,6	856,6	274,6	1,48	1130,7	1209,6	624,76	
16		1125	60,68	1,229	335	85,75	4461,3	0,у4	1395,6	813,7	231,7	1,23	1014,0	1178,7	580,62	
17		1120	61,01	1,265	237,5	88,72	3574,1	0,434	1309,1	727,1	145,2	1,16	914,4	1154,9	526,2	
18		1115	66,60	1,161	250	88,94	3634,1	0,390	1244,7	662,7	80,8	1,10	869,2	1118,5	463,3	
19		1110	61,99	1,274	210	90,83	2445,8	0,438	1006,5	424,5	-157,5	1,19	714,8	1079,3	274,71	



Зміна встановленого моменту прокатки по проходах



**Рисунок 2.5** - Графіки енергосилових параметрів прокатки блюмів  
перетином  $215 \times 215$  мм за діючою технологією

***Розрахунок швидкісного і динамічного режиму прокатки блюмів  
перетином 300 × 330 мм із зливка масою 7,4 т***

Вихідні дані: розміри зливка (720 × 720 / 610 × 610 × ) × 2205 мм, сталь спокійна 40Х. Режим обтиснень представлений в табл. 2.17.

Розраховуємо довжину розкату і коефіцієнти витяжки по проходах.

У перших двох проходах довжину розкату приймаємо рівною довжині зливка – 2205 мм. Площі поперечного перерізу розкату по проходах наведені в таблиці 2.18. Об'єм обтискного металу:

$$V = \frac{7400}{7850} = 0,943 \text{ м}^3 \quad (2.107)$$

Довжина розкату складе:

після 15-го проходу:

$$L_{15} = \frac{0,943}{0,3 \cdot 0,33} = 9,525 \text{ м} \quad (2.108)$$

після 13-го проходу:

$$L_{13} = \frac{0,943}{0,32 \cdot 0,36} = 8,186 \text{ м}$$

коефіцієнт витяжки в 15-му проході:

$$\lambda_{15} = \frac{9,525}{8,186} = 1,163 \quad (2.109)$$

Результати розрахунків для інших проходів наведені в табл. 2.18.

Таблиця 2.17 - Режим обтиснень блоумів перетином 300×330 мм

№ калібру	№ проходу	H, мм	B, мм	Δh, мм	$\frac{\Delta b}{\Delta h}$	Δb, мм	$\frac{B}{H}$	l <sub>d</sub>	
I	0	720	720						
	1	655	725	65	0,077	5		164,43	
	2	595	730	60	0,083	5	1,22	157,98	
	Кантовка								
	3	660	605	70	0,142	10		170,64	
	4	590	615	70	0,142	10	1,04	170,64	
	Кантовка								
	5	540	605	75	0,2	15		176,63	
	6	465	620	75	0,2	15		176,63	
	7	395	630	70	0,143	10		170,64	
	8	325	640	70	0,143	10	1,96	170,64	
	Кантовка								
II	9	530	350	110	0,227	25		210,28	
	10	420	370	110	0,182	20	0,8	210,28	
I	Кантовка								
	11	340	430	30	0,333	10	1,26	111,71	
	12	Холостий							
III	Кантовка								
	13	320	360	110	0,182	20	1,12	212,64	
	14	Холостий							
	Кантовка								
	15	300	330	60	0,166	10		157,03	

**Таблиця 2.18** - Довжина розкату  $L_1$ , коефіцієнти витяжки  $\lambda$ , кути захвату  $\alpha$  по проходам

№ проходу	Н × В, мм	$\omega_1$ , дм <sup>2</sup>	$L_1$ , м	$\lambda$	$\alpha$ , рад
0	720 × 720				
1	655 × 725		2,205	1,0	0,395
2	595 × 730		2,205	1,0	0,379
3	660 × 605	39,93	2,362	1,071	0,410
4	590 × 615	36,285	2,598	1,099	0,410
5	540 × 605	32,67	2,886	1,111	0,425
6	465 × 620	28,83	3,270	1,133	0,425
7	395 × 630	24,885	3,789	1,159	0,410
8	325 × 640	20,8	4,533	1,196	0,410
9	530 × 350	18,55	5,083	1,121	0,523
10	420 × 370	15,54	6,068	1,194	0,523
11	340 × 430	14,62	6,450	1,063	0,268
12					
13	320 × 360	11,52	8,186	1,269	0,523
14					
15	300 × 330	9,9	9,525	1,163	0,386

**Розрахунок швидкісного режиму і енергосилових параметрів прокатки блюнів перетином  $300 \times 330$  мм із зливка масою 7,4 т**

Приймаємо в перших проходах трикутну схему зміни частоти обертання валків. Приймаємо раціональні значення  $a$  і  $b$ :  $a = b = k = 45$  об/хв  $\cdot$  с.

Призначаємо паузи між проходами: без кантування – 1,5 с, з кантуванням – 3,5 с. Початкову паузу між зливками приймаємо 4,0 с. Приймаємо  $n_y = 30$  об/хв.

Визначаємо максимальну частоту обертання валків в першому проході при  $n_y = n_3 = 30$  об/хв:

$$n_M = \sqrt{60 \cdot k \cdot \left( \frac{L_1}{\pi \cdot D_p} + \frac{n_y^2}{120 \cdot a} + \frac{n_3^2}{120 \cdot b} \right)} \quad (2.110)$$

$$n_M = \sqrt{60 \cdot 45 \cdot \left( \frac{2205}{3,14 \cdot 832} + \frac{30^2}{120 \cdot 45} + \frac{30^2}{120 \cdot 45} \right)} = 56,38 \text{ об/хв.}$$

Отримане значення  $n_M < n_{\max}$ :  $56,38 < 90$ .

Розраховуємо тривалість прокатки на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків.

$$\tau_p = \frac{30}{40} = 0,66 \text{ с;}$$

$$\tau_{y1} = \frac{45-30}{40} = 0,33 \text{ с;}$$

$$\tau_{y2} = \frac{54,1-45}{40} = 0,251 \text{ с;}$$

$$\tau_{32} = \frac{54,1-45}{40} = 0,251 \text{ с;}$$

$$\tau_{31} = \frac{45-30}{40} = 0,33 \text{ с;}$$

$$\tau_0 = \frac{30}{40} = 0,66 \text{ с.}$$

(2.111)



Період прокатки

$$T_{\text{пр1}} = \frac{56,38}{45} + \frac{56,38}{45} = 2,502 \text{ с.} \quad (2.112)$$

Температура металу в першому проході задана 1200 ° С. В інших проходах температура розкату визначена за умови зміни її від проходу до проходу по лінійному закону.

Визначаємо енергосилові параметри прокатки для перетину зливка

$$H_0 \times B_0 = 720 \times 720 \text{ мм.} \quad (2.113)$$

Відносне обтиснення

$$\varepsilon = \Delta h \div H_0 = 65 \div 720 = 0,09 \text{ (9,03 \%)} .$$

Швидкість деформації

$$u = 0,105 \cdot 56,38 \sqrt{0,09 \cdot 416 \div 720} = 1,349 \text{ 1/с.} \quad (2.114)$$

За даними для сталі 40Х знаходимо

$$\sigma_{\text{о.д.}} = 90,28 \text{ Н/мм}^2, \quad k_u = 0,722, \quad k_t = 0,533, \quad k_\varepsilon = 0,971.$$

Знаходимо опір деформації

$$\sigma_\phi = \sigma_{\text{о.д.}} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 90,28 \cdot 0,533 \cdot 0,971 \cdot 0,722 = 33,7 \text{ Н/мм}^2. \quad (2.115)$$

Довжина осередку деформації

$$\ell_d = \sqrt{\Delta h \cdot R} = \sqrt{65 \cdot 416} = 164,44 \text{ мм.} \quad (2.116)$$

Середня висота осередку деформації

$$h_{cp} = H_0 - \Delta h \div 2 = 720 - 65 \div 2 = 687,5 \text{ мм.} \quad (2.117)$$

Коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх зон штаби.

$$n''_{\zeta} = (\ell_d / h_{cp})^{-0,4} = (164,44 / 687,5)^{-0,4} = 1,772 . \quad (2.118)$$

Контактний тиск, при  $\beta = 1,15$ ;  $n'_{\sigma} = 1,0$ :

$$p_{cp} = \beta \cdot n''_{\sigma} \cdot n'_{\zeta} \cdot \sigma = 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,772 \cdot 33,7 = 68,67 \text{ Н/мм}^2 \quad (2.119)$$

Сила прокатки при  $b_{cp} = B_0 = 720 \text{ мм}$ :

$$P = p_{cp} \cdot b_{cp} \cdot \ell_d = 68,6 \cdot 720 \cdot 164,44 \cdot 10^{-3} = 8130,3 \text{ кН.} \quad (2.120)$$

Коефіцієнт плеча прикладання рівнодіючої, при

$$\ell_d / h_{cp} = 0,239:$$

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,239 + 0,444 \cdot 0,239^2 = 0,603 \quad (2.121)$$

Момент деформації

$$M = 2 \cdot 8130,3 \cdot 0,1644 \cdot 0,603 = 1611,9 \text{ кН} \cdot \text{м.} \quad (2.122)$$

Момент тертя, при  $f_n = 0,05$  і  $d_{ш} = 0,64 \text{ м}$ :

$$M_{\text{тр}} = 8130,3 \cdot 0,05 \cdot 0,64 = 260,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент прокатки при  $\eta = 0,95$ :

$$M_{\text{п}} = \frac{1611,9 + 260,2}{0,95} = 1970,6 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.123)$$

Моменти  $M_a = M_b$  і  $M_{\text{xx}}$  були визначені вище і становлять:

$$M_a = M_b = 582 \text{ кН} \cdot \text{м}, M_{\text{xx}} = 52,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Розраховуємо крутний момент на характерних ділянках схеми зміни частоти обертання валків:

$$M_p = 52,8 + 582 = 634,8 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_y = 52,8 + 582 + 1970,6 = 2605,4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 52,8 - 582 + 1970,6 = 1441,4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_0 = 52,8 - 582 = -529,2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Коефіцієнт  $\theta_m$

$$\theta_m = 56,38 / 45 = 1,253$$

Перевіримо електродвигуни на короткочасне перевантаження:

$$\frac{2605,4 \cdot 1,253}{1508,6} = 2,16 < 2,5 \quad (2.124)$$

Як видно, умова виконується. Тому можна прийняти, що електродвигуни задовольняють умові короткочасного перевантаження.

Визначаємо квадратичний момент за прохід.

$$M_{\text{кв1}} = \sqrt{\frac{0,6348^2 \cdot 0,666 + 2,6054^2 \cdot 0,333 + 2,605^2 \cdot 1,273 \cdot 0,251 + 1,441^2 \cdot 1,273 \cdot 0,251 + 1^2 \cdot 0,333 + 2,502^2 \cdot 0,666}{2,502}} = 1575,2 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.125)$$

$$\text{де } \xi^2 = (\theta_m^2 + \theta_m + 1) = 1/3 (1,253^2 + 1,253 + 1) = 1,273.$$

Отриманий квадратичний момент перевищує номінальний момент електродвигунів  $M_H = 1508,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . Однак, це допустимо, якщо в цілому за такт прокатки виконується  $M_{\text{кв}\Sigma} \leq 0,9 M_H$ .

$$M_{\text{кв}\Sigma} = 1276,2 \text{ кН} \cdot \text{м} < 0,9 \cdot 1508,6 = 1357,7 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.126)$$

Аналогічно першому проходу здійснюємо розрахунок для решти проходів. Основні результати розрахунку швидкісного і динамічного режимів прокатки наведені в табл. 2.19 і 2.20.

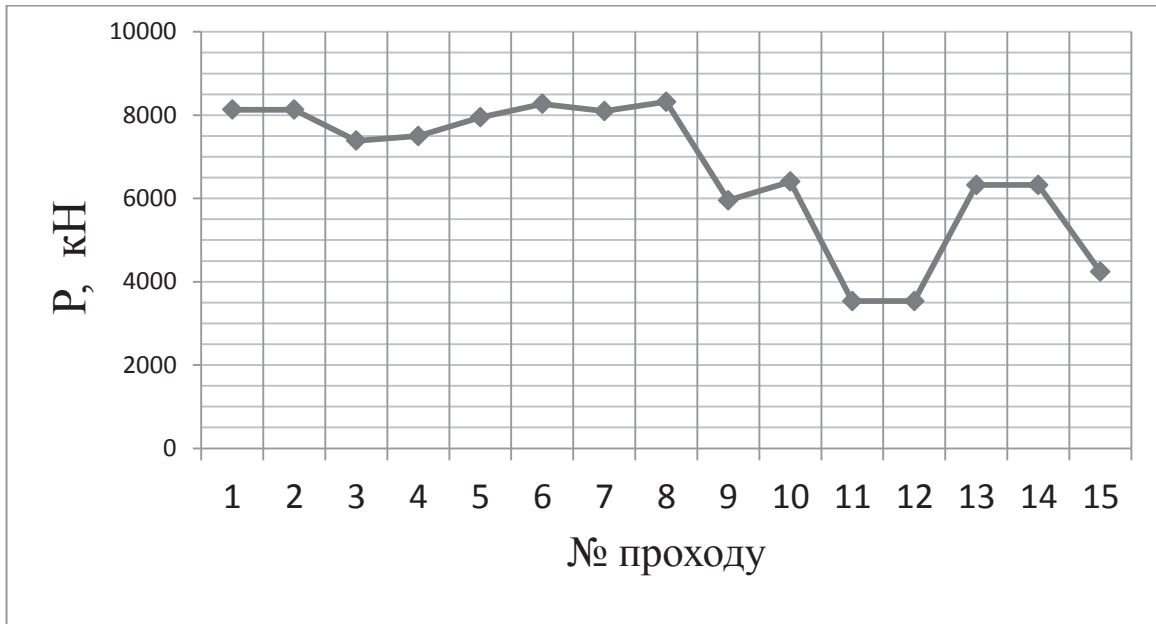
**Таблиця 2.19** - Дані по швидкісному режиму прокатки блюмів перегином  $300 \times 330$  мм із злиwkів масою 7,4 т

№ проходу	Частота обертання валків, об / хв				$\theta_m$	Час прокатки, с							$\tau_{ост},$ с	$\Sigma(\tau_{пр} + \tau_{ост}),$ с
	$n_y$	$n_m$	$n_{п}$	$n_3$		$\tau_p$	$\tau_y$	$\tau_{п}$	$\tau_3$	$\tau_0$	$\tau_{пр}$			
1	30	56,3	-	30	1,253	0,666	0,586	-	0,586	0,666	2,502		2,502	
2	30	56,3	-	30	1,253	0,666	0,586	-	0,586	0,666	2,505	2,16	7,167	
3	30	57,8	-	30	1,284	0,666	0,617	-	0,617	0,666	2,569		9,736	
4	30	59,87	-	30	1,333	0,666	0,664	-	0,664	0,666	2,661	2,16	14,557	
5	30	62,3	-	30	1,384	0,666	0,717	-	0,717	0,666	2,769		17,362	
6	30	65,4	-	30	1,453	0,666	0,786	-	0,786	0,666	2,906		20,232	
7	30	-	60	30	1,333	0,666	0,666	0,450	0,666	0,666	3,114		23,346	
8	30	-	60	30	1,333	0,666	0,666	0,735	0,666	0,666	3,399	2,16	28,905	
9	30	-	60	30	1,333	0,666	0,666	1,013	0,666	0,666	3,677		32,582	
10	30	-	60	30	1,333	0,666	0,666	1,400	0,666	0,666	4,064	2,16	38,806	
11	30	-	60	30	1,333	0,666	0,666	1,468	0,666	0,666	4,132		42,938	
12											4,132	2,16	49,23	
13	30	-	60	30	1,333	0,666	0,666	2,242	0,666	0,666	4,906		54,136	
14											4,906	2,16	61,202	
15	30	-	60	50	1,333	0,666	0,666	3,069	0,222	1,111	5,73		66,932	

**Таблиця 2.20** - Основні результати розрахунку енергосилових параметрів прокатки блюмів перетином 300 × 330 мм із зливка масою 7,4 т

№ прохода	t, °C	σ, Н/мм <sup>2</sup>	n <sup>//</sup> σ	b <sub>ср</sub> , мм	P <sub>ср</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	P, кН	ψ	M <sub>ys</sub> , кН·м	M <sub>пз</sub> , кН·м	M <sub>зс</sub> , кН·м	M <sub>y</sub> ·θ <sub>m</sub>		M <sub>квΣ</sub> , кН·м	N <sub>дв</sub> , кВт	M <sub>вст</sub> , кН·м
											M <sub>кв</sub> , кН·м	M <sub>п</sub>			
1	1200	33,7	1,772	720	68,67	8130,3	0,603	2605,4	—	1441,4	2,16	1575,2	1575,2	4001	1612,3
2	1195	34,7	1,733	727,5	70,75	8131,3	0,594	2514,3	—	1350,3	2,08	1519,3	1293,4	3816	1526,1
3	1190	35,77	1,754	600	72,14	7386	0,599	2472,5	—	1308,5	2,10	1521,4	1357,3	3900	1509,9
4	1185	37,27	1,681	610	72,04	7498,6	0,581	2452,1	—	1288,1	2,16	1556,7	1294,3	4092	1486,9
5	1180	40,77	1,606	597,5	75,29	7945,8	0,560	2556,8	—	1392,8	2,34	1690,5	1363,9	4608	1571,9
6	1175	43,76	1,519	612,5	76,44	8269,7	0,533	2552,1	—	1388,1	2,46	1764,8	1429,6	4968	1557,1
7	1170	45,62	1,447	625	75,9	8094,7	0,507	2383,8	1801,8	1219,8	2,10	1671,7	1464,1	4924	1400,6
8	1165	49,56	1,347	635	76,77	8318,5	0,469	2316,2	1739,6	1152,2	2,05	1686,4	1437,3	5206	1331,5
9	1160	48,43	1,506	337,5	83,87	5952,2	0,529	2229,3	1647,3	1065,3	1,97	1661,5	1464,3	5261	1324,2
10	1155	53,11	1,385	360	84,59	6403,5	0,485	2225,5	1643,5	1061,5	1,96	1715,9	1452,1	5658	1306,1
11	1150	40,79	1,588	425	74,49	3536,2	0,555	1215,4	633,4	51,4	1,07	800,7	1402,6	2088	438,49
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	1145	59,29	1,26	350	85,9	6322,1	0,432	2056,9	1474,9	892,9	1,81	1633	1342,5	5664	1161,4
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	1135	53,99	1,352	325	83,94	4236,9	0,471	1429,5	847,5	265,5	1,26	1034,4	1244,7	5665	626,75

Розподіл сили прокатки по проходах



Зміна встановленого моменту прокатки по проходах

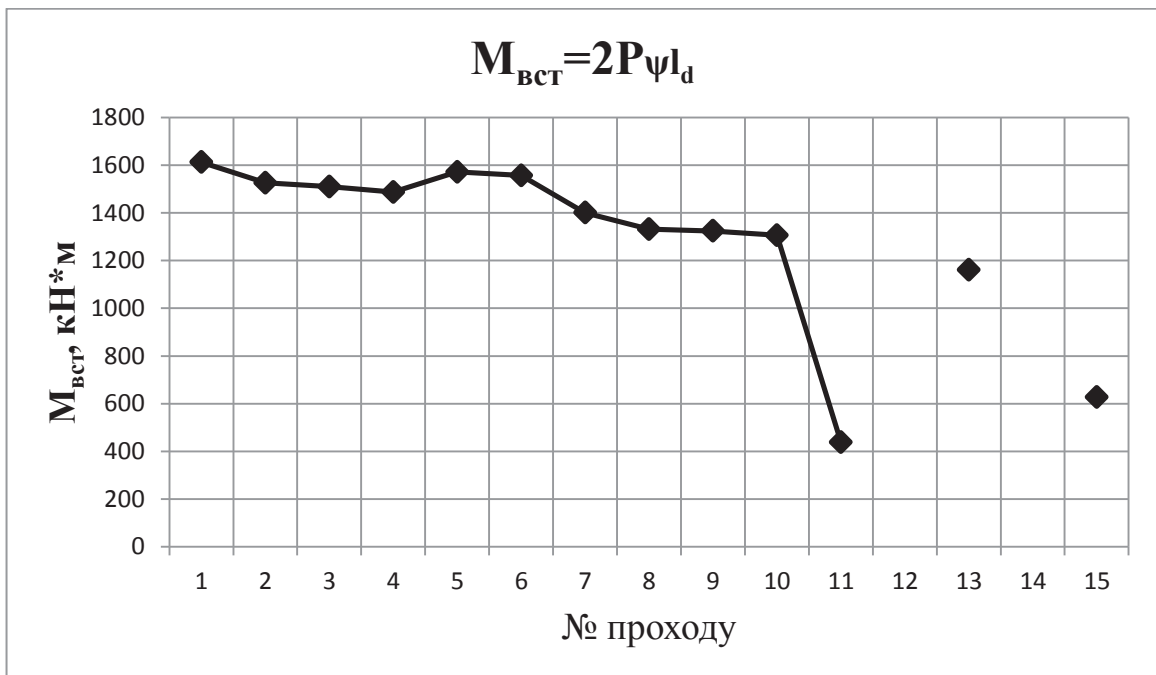


Рисунок 2.6 - Енергосилові параметри прокатки блюмів перетином 300×330 мм за діючою технології

### 2.3 Розрахунок утяжки торців блюмів за діюч м режимом прокатки та за розрахунков м варіантом

Дані для розрахунку наведені в п.2.1 та 2.2. Розрахунок проводимо за виразами у вигляді:

#### 1. Передній торець штаби

а) при  $l_\delta/h_{cp} < 0,2$

$$\Delta l_{n.m} = 0,8 \left[ \frac{3}{4} \Delta h + \left( R - \frac{\Delta h}{2} \right) \ln \frac{1 - \frac{\Delta h}{2R}}{1 - \frac{\Delta h}{4R}} \right];$$

б) при  $0,2 < l_\delta/h_{cp} < 1$

$$\Delta l_{\Sigma nm} = 0,4R \left\{ \sin \alpha \left[ 2 \sin \left( \alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right) \times \cos \left( \alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right) - \sin \alpha \cos \alpha - \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} + \varphi_k - \frac{\alpha}{2} \right] + \right. \\ \left. + \cos \alpha \left[ 2 \cos^2 \left( \alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right) - \cos^2 \alpha - \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \ln \frac{\cos \alpha \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos^2 \left( \alpha - \frac{\varphi_k}{2} \right)} \right] \right\}$$

де

$$\varphi_k = \arcsin h_0/5 R$$

#### 2. Задній торець штаби:

а) при  $l_\delta/h_{cp} < 0,6$

$$\Delta l_{zm} = 2R \left[ \frac{\Delta h}{2R} + \ln \left( 1 - \frac{\Delta h}{4R} \right) \right];$$

б) при  $0,6 < l_\delta/h_{cp} < 1$

$$\Delta l_{\Sigma zm} = 4R \left[ \sin^2 \left( \frac{\alpha - \varphi_k}{2} \right) - \cos^2 \left( \frac{\alpha - \varphi_k}{2} \right) + \cos^2 \frac{\alpha}{2} + \ln \cos \frac{\alpha}{2} \right],$$

де  $\alpha - \varphi_k = \arcsin \frac{h_1}{R}$ .



Таблиця 2.21 - Результати розрахунку утяжки торців блюмів

№ проходу	Діючий режим обтиснень				Розрахунковий режим обтиснень			
	Профілерозмірів				Профілерозмірів			
	Кв.215		300×330		Кв.215		300×330	
	$\Delta l_{nm}$	$\Delta l_{zm}$	$\Delta l_{nm}$	$\Delta l_{zm}$	$\Delta l_{nm}$	$\Delta l_{zm}$	$\Delta l_{nm}$	$\Delta l_{zm}$
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	
1	-7,37	36,70	-5,68	31,90	-5,68	31,90	-6,91	36,70
2	-6,48	31,90	-5,43	29,49	-5,43	29,49	-7,37	36,70
3	-7,31	36,70	-6,23	34,30	-6,23	34,30	-6,23	34,30
4	-7,77	36,70	-6,65	34,30	-6,65	34,30	-6,65	34,30
5	-8,18	36,70	-7,56	36,70	-7,06	34,30	-7,06	34,30
6	-8,64	36,70	-8,02	36,70	-7,48	34,30	-7,48	34,30
7	-8,18	36,70	-7,81	34,30	-7,23	31,90	-7,90	34,30
8	-8,64	36,70	-8,23	34,30	-6,92	29,49	-8,33	34,30
9	-9,11	36,70	-12,21	53,21	-9,38	43,81	-5,74	29,48
10	-9,59	36,70	-13,01	53,21	-9,97	43,81	-8,11	36,68
11	-6,81	29,48	-3,04	14,87	-3,12	14,87	-8,56	36,68
12	-7,13	29,48	-13,75	385,23	-9,80	41,44	-9,01	36,68
13	-7,46	29,48	-7,13	29,48	-10,35	41,44	-5,82	24,64
14	-7,77	190,55	-	-	-7,19	29,48	-	-

## Продовження таблиці 2.21 - Результати розрахунку утяжки торців блюмів

15	-8,32	31,90	-	-	-7,52	169,08	-	-
16	-7,96	109,61	-	-	-8,59	34,30	-	-
17	-7,19	138,61	-	-	-8,30	100,76	-	-
18	-4,87	19,77	-	-			-	-
Σ	-133,9	921,2	-104,7	807,9	131,75	798,74	-95,2	703,3

З таблиці 2.21 видно, що при виконанні режиму обтиснень згідно з розрахунковим режимом величина обрізу зменшиться в середньому в 1,14 рази:

1) при прокатці кв.215:

- передній торець в 0,78 рази;

- задній торець 1,15 рази;

2) при прокатці штаби 300 × 330:

- передній торець 1,09 рази;

- задній торець 1,14 рази.

Норма технологічної обрізи при прокатці по діючому режиму для переднього і заднього торців становлять відповідно 2,5% і 16%. При прокатці по розрахунковому режиму норма технологічної обрізи для переднього і заднього торців складуть відповідно 2% і 12%.

Таким чином, вплив технологічних параметрів прокатки на формування кінців розкату і вихід придатного вказує на те, що основними визначальними факторами глибини утяжки торців блюмів є величина сумарного обтиснення зливка і сумарне обтиснення за прохід.

## 2.4 Глибина проникнення деформації при прокатці за формулою $H/D_p \leq 0,5$

Вихідні данні наведені в розрахунковій частини пп. 2.1, 2.2.

**Таблиця 2.22** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.3)

№ Проходу	H, мм	№ калібру	Висота калібру, мм	$h_d$
1	725	I	832	0,871
2	730			0,877
3	655			0,787
4	590			0,709
5	515			0,6189
6	460			0,552
7	515			0,6189
8	460			0,552
9	470			0,564
10	480			0,5769
11	420	II	804	0,522
12	360			0,447
13	320			0,398
14	330			0,41
15	265			0,329
16	270			0,335
17	215	III	822	0,267



**Рисунок 2.7** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.3)

**Таблиця 2.23** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.9)

№ Проходу	H, мм	№ калібру	Висота калібру, мм	$h_d$
1	720	I	832	0,831
2	730			0,877
3	660			0,793
4	590			0,709
5	585			0,715
6	590			0,709
7	595			0,715
8	605			0,727
9	545	II	804	0,677
10	470			0,584
11	395			0,491
12	350			0,435
13	330			0,410



**Рисунок 2.8** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.9)

**Таблиця 2.24** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.13)

№ проходу	H, мм	№ калібру	Висота калібру, мм	$h_d$
1	725	I	832	0,871
2	730			0,877
3	660			0,793
4	620			0,745
5	630			0,757
6	640			0,769
7	650			0,781
8	660			0,793
9	570	II	804	0,708
10	480			0,597
11	490	I	832	0,588
12	Холостий хід			
13	405	II	804	0,503
14	350			0,435
15	330			0,41
16	340			0,422
17	270	III	822	0,335
18	255			0,317
19	215			0,267

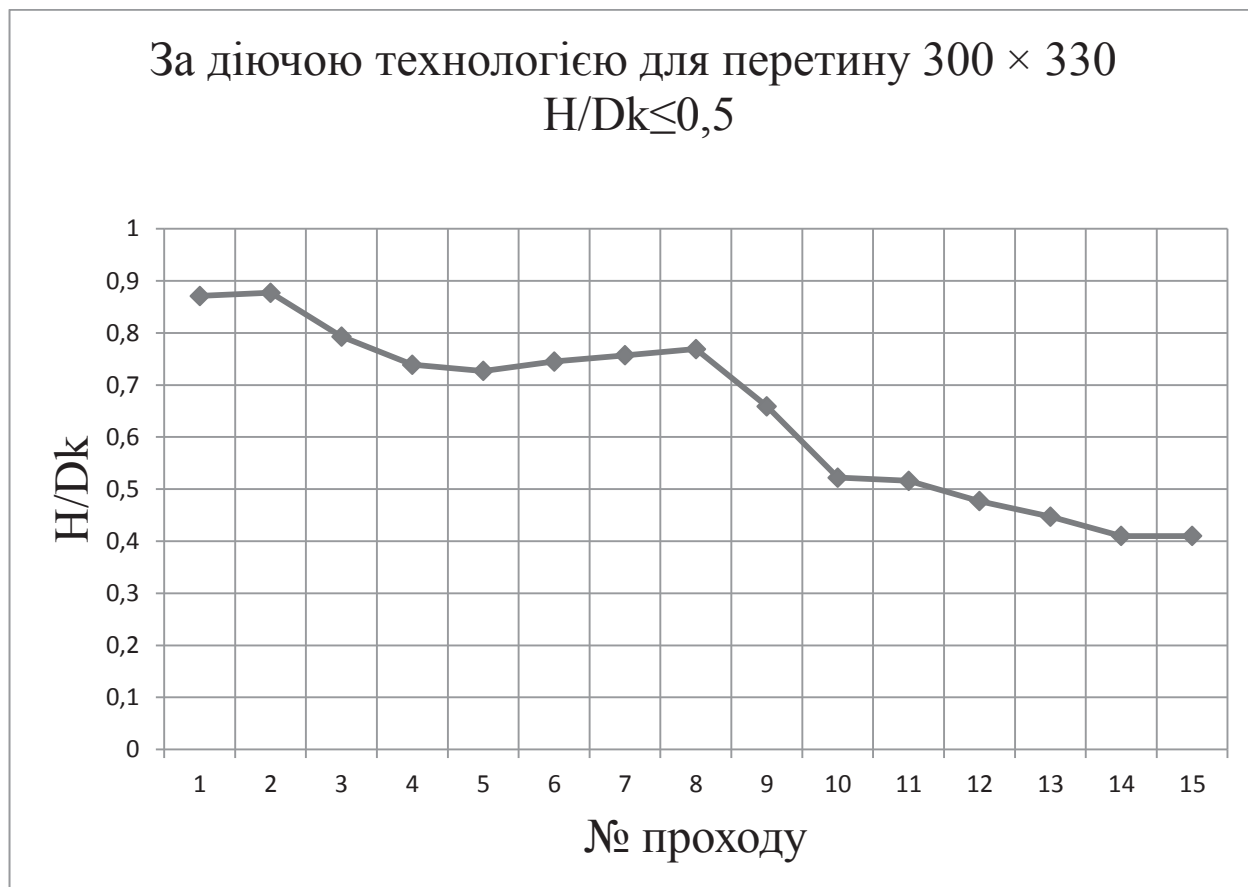


**Рисунок 2.9** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.13)



**Таблиця 2.25** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.17)

№ проходу	H, мм	№ калібру	Висота калібру, мм	$h_d$
1	725	I	832	0,871
2	730			0,877
3	660			0,793
4	615			0,739
5	605			0,727
6	620			0,745
7	630			0,757
8	640			0,769
9	530	II	804	0,659
10	420			0,522
11	430	I	832	0,516
12	Холостий хід			
13	360	II	804	0,447
14	Холостий хід			
15	330	II	804	0,410



**Рисунок 2.10** - Глибина проникнення деформації при прокатці металу  
(до табл. 2.17)

## 2.5 Аналіз і обговорення результатів розрахунків

Макроструктура заготовок відіграє значну роль при подальшому прокатуванні на станах для отримання готових профілів.

Внутрішні дефекти готового прокату в абсолютній більшості є спадковими, тобто повторюють дефекти заготівлі. Основними дефектами є: неметалеві включення, флокени, пліви, рванини, волосовини, усадкова раковина та рихлість, закат.

Дефекти макроструктури в свою чергу є спадковими, тобто повторюють несущільності, всадкові дефекти, грубі неметалеві включення та інші.

Таким чином, проблема роботи по підвищенню якості зливків такими методами: рафінування металу синтетичними шлаками в ковші, розливка під рідким шлаком (з екзотермічною сумішшю), вакуумно – дуговий (ВДП) та електроднопроміневий (ЕЛП) переплави, продувка металу аргоном у ковші, позапічне вакуумування, вібрації, - є вельми актуальними.

В роботі розраховані режими обтисків та енергосилові параметри процесу при прокатуванні блюмів перетинами 215×215 та 300×330 із сталі 40Х за чинною технологією та запропонованими режимами прокатки. Крім того, розраховано глибину проникнення деформації, з метою покращення продеформування литої структури від поверхні до осі зливка.

По результатах розрахунку можна зробити висновки:

- при прокатці блюму по запропонованій технології перетином 215×215 повне пропрацювання штаби по висоті почнеться у 12 проході з результатом співвідношення  $H/D_k \leq 0,5$  0,447;
- при прокатці блюму 300×330 повне пропрацювання розпочнеться у 11 проході з результатом 0,491;
- при прокатці блюму по чинній техногії перетином 215×215 повне пропрацювання штаби по висоті почнеться у 14 проході з результатом співвідношення  $H/D_k \leq 0,5$  0,435;

- при прокатці блюму 300×330 повне пропрацювання розпочнеться у 13 проході з результатом 0,447.

Рекомендовано на стані 1050/950 провести дослідні прокатки зі збільшенням величини обтисків в перших проходах для проникнення деформації до осі зливка на більш ранніх стадіях. Це в свою чергу, дозволить не тільки повністю уникнути залишків литої структури в заготівках, але й отримати більш якісну макроструктуру в готових профілях.

Для повної гарантії не попадання в готову продукцію металу з внутрішніми несучільностями та дефектами макроструктури до споживача, проводити ультразвуковий контроль та його вдосконалення.

## 2.6 Аналіз недоліків роботи обладнання стану «1050»

Разом з позитивними чинниками в роботі прокатного стану 950 1050 мають місце такі, які призводять до зниження якості продукції, що випускається, погіршують показники по зростанню продуктивності праці і зниженню собівартості продукції, що випускається. До основних з таких чинників потрібно віднести морально і фізично зношене устаткування, застарілу технологію виробничого процесу, недостатню кваліфікованість і відповідальність трудового колективу. Близько 70% браку безпосередньо залежить від людей.

До недоліків в роботі устаткування стану 1050 можна віднести такі як:

1. Велика витрата часу і палива на нагрів конструкційних і низько легованих сталей, що приводить до зменшення продуктивності і витрат коштів.
2. Недостатня швидкість обтискної і заготовочної клітей, що зменшує продуктивність стану.
3. Велика витрата робочої сили і часу, що погіршує швидкість прокату металу, а також різання розкатів на мірні довжини, що може привести до зупинки або простою стану.
4. Застаріла немодернізована конструкція нагрівальних колодязів, що приводить до великих витрат палива, а також до випалювання металу, збільшення часу нагріву і частих ремонтів колодязів.
5. Повільна швидкість розкрою дрібного профілю заготовки на ножицях 1250 т і на ділянці роторних пил, що приводить до затримки і охолодження наступного розкату.
6. Заклинювання групових приводів рольгангу, що приводить до простою стану.
7. Брак нового реконструйованого устаткування для нових профілів і марок сталей. Наприклад, недостатня вантажопідйомність зливковоза, що не дозволяє збільшити масу зливків і продуктивність стану.

## **2.7 Пропозиції та заходи щодо вдосконалення процесу, технології, обладнання обтискного виробництва**

Однією з головних цілей прокатного цеху є зниження рівня витрат від браку. На сьогоднішній день рівень фактичних витрат по браку становить 1,45%. Планом передбачено знизити його до 1,3%. Для усунення недоліків в роботі стану 1050 розроблено наступні заходи:

1. Знизити температуру і час нагріву конструкційних і низколегованих сталей в нагрівальних колодязях з метою зниження витрати палива і часу нагріву.
2. Впровадження автоматичної машини таврування металу в потоці стану.
3. Збільшити швидкість різання металу на мірні довжини профілю квадрата 105 на ножицях 1250 т. Так само збільшити швидкість різання в прольоті роторних пил.
4. Встановити пристосування для визначення головної обрізі для зменшення відходів.
5. Реконструювання групових приводів рольгангів в цілях зниження простою із-за заклинювання окремих роликів рольганга.
6. Виконати реконструкцію зливковогоза для укладання і транспортування підвищеної ваги зливків до 7400 т.
7. Побудувати склад валків для стану 1050.

### 3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок валків на міцність

##### *Теоретичний вступ*

Для розрахунків використовуємо методику, наведену в [10]. Розрахункова схема навантаження каліброваного валка блюмінгу 1050 наведена на рис. 3.1, із якого видно, що валок має п'ять калібрів. При прокатуванні штаби в калібри 1 на валок діє сила прокатування  $P_1$ , в калібрі 2 –  $P_2$ , в калібрі 3 –  $P_3$  і т.д. Відповідно цим силам до шийки валка необхідно прокласти крутні моменти  $M_{кр1}$ ,  $M_{кр2}$ ,  $M_{кр3}$  і т.д. Під час прокатування у будь-якому  $i$ -му калібрі реакції  $R_{Ai}$ ,  $R_{Bi}$  на опорах А і В дорівнюють:

$$R_{Ai} = Pi \frac{a - x_i}{a} \quad (3.1)$$

$$R_{Bi} = Pi \frac{x_i}{a} \quad (3.2)$$

Згинаючий момент у перерізі  $x_i$  (по середині калібру)

$$M_{zi} = R_{Ai}x_i = R_{Bi}(a - x_i)$$

або в кінцевому вигляді

$$M_{zi} = Pi \frac{a - x_i}{d} x_i \quad (3.3)$$

$$\text{де} \quad a = L_{\sigma} + 2C = L_{\sigma} + 2\frac{l_u}{2} = L_{\sigma} + l_u \quad (3.4)$$

$a$  - відстань поміж осями натискних гвинтів або центрами підшипників валків;

$L_{\sigma}$  - довжина бочки валка;

$l_u$  - довжина шийки валка.

Напруження визначаються дзеркальними формулами  $M/W$ . Згинаючі напруження:

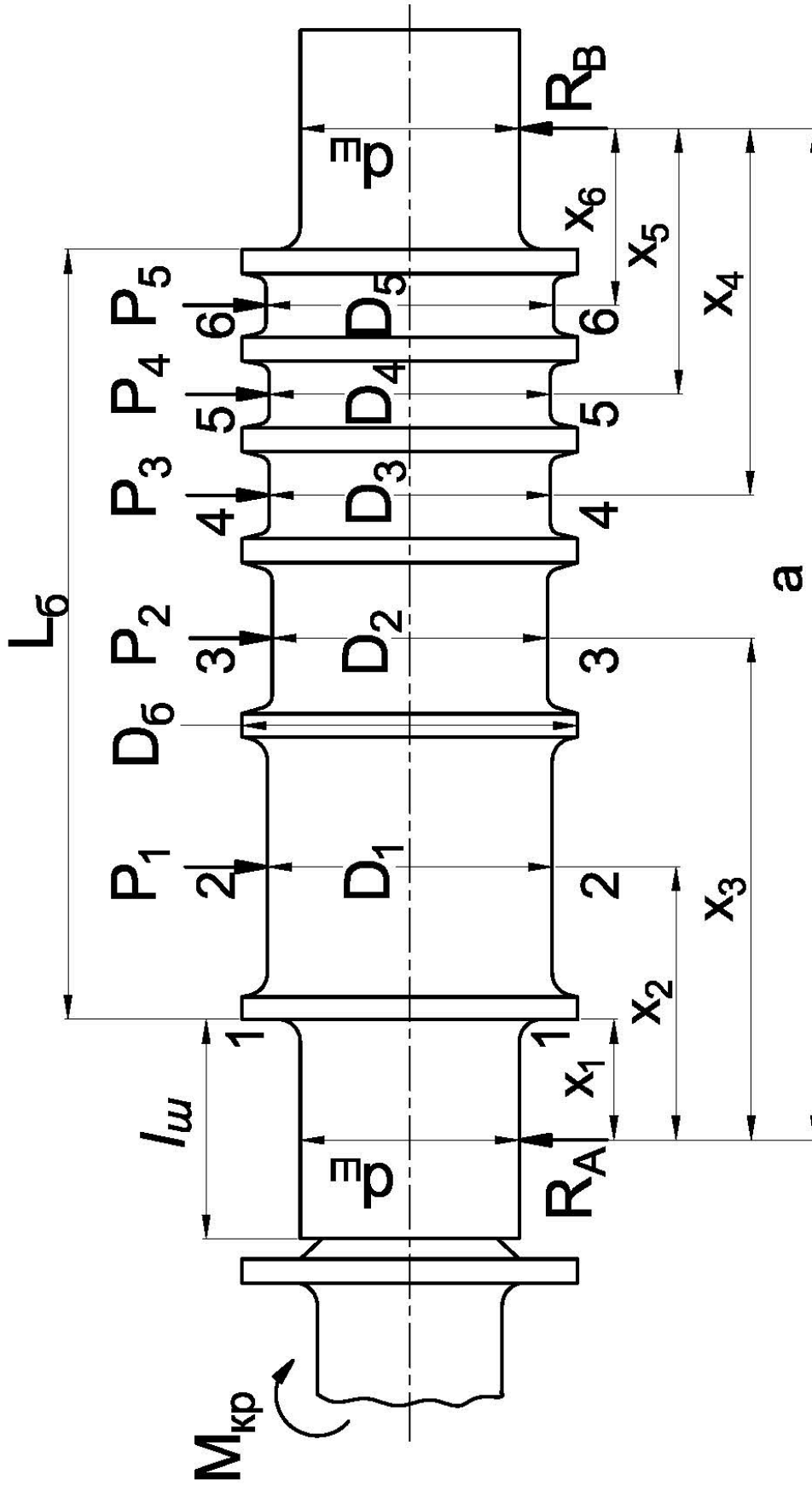


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема навантаження валка блюмінгу 1050



– в бочці валка

$$\sigma_{зб} = \frac{M_{zi}}{W_{zi}} = \frac{M_{zi}}{0,1D_{\delta i}^3} \quad (3.5)$$

де  $M_{zi}$  - згинаючий момент в  $i$ -му перерізі бочки;

$W_{zi}$  - момент спротиву бочки згину в  $i$ -му перерізі;

$D_{\delta i}$  - мінімальний (після останнього переточування) діаметр бочки по дну  $i$ -го калібру.

– в шийці валка:

$$\sigma_{зш} = \frac{M_{зи}}{W_{зи}} = \frac{M_{зи}}{0,1d_{и}^3} \quad (3.6)$$

де  $M_{зи}$  - момент згинання шийки;

$W_{зи}$  і  $d_{и}$  - відповідно момент спротиву шийки згину та її діаметр.

Момент згинання (див. рис. 3.1) шийок визначають по максимальним реакціям в опорах:

– для лівої шийки:

$$M_{злш} = R_{Ai \max} \frac{l_{и}}{2} \quad (3.7)$$

– для правої шийки:

$$M_{зпш} = R_{Bi} \frac{l_{и}}{2} \quad (3.8)$$

Напруження згинання в шийках валків:

$$\sigma_{злш} = \frac{M_{злш}}{W_{и}} = \frac{M_{злш}}{0,1d_{и}^3} \quad (3.9)$$

$$\sigma_{зпш} = \frac{M_{зпш}}{W_{и}} = \frac{M_{зпш}}{0,1d_{и}^3} \quad (3.10)$$

Ураховуючи (3.7) та (3.8) в кінцевому вигляді отримаємо:

$$\sigma_{злш} = R_{Ai \max} \frac{l_{и}}{0,2d_{и}^3} \quad (3.11)$$

$$\sigma_{зпш} = R_{Bi} \frac{l_{и}}{0,2d_{и}^3} \quad (3.12)$$

Визначення напружень кручення:

– в бочці:

$$\tau_{\delta} = \frac{M_{кр\ max}}{W_{кр\delta}} \quad (3.13)$$

– в шийці приводній:

$$\tau_{шпр} = \frac{M_{кр\ max}}{W_{кри}} \quad (3.14)$$

де  $M_{кр\ max}$  - максимальний крутний момент;

$W_{кри}$  і  $W_{кр\delta}$  - відповідно моменти спротиву шийки та бочки накручення.

В кінцевому вигляді:

$$\tau_{\delta} = \frac{M_{кр\ max}}{0,2D_{\delta}^3} \quad (3.15)$$

$$\tau_{ш} = \frac{M_{кр\ max}}{0,2d_{ш}^3} \quad (3.16)$$

де  $D_{\delta}$  - теж саме, що і в (3.5).

Еквівалентні зведені напруження визначають для сталених валків за четвертою теорією міцності, тобто:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_3^2 + 3\tau^2} \quad (3.17)$$

Для відлитої валків із чавуну на основі теорії Мора:

$$\sigma_e = 0,375\sigma_3 + 0,625\sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau^2} \quad (3.18)$$

Розраховані напруження  $\sigma_e$  мають бути меншими або в найгіршому випадку дорівнювати допустимим, тобто

$$\sigma_e \leq [\sigma] \quad (3.19)$$

### 3.2 Розрахунок на міцність валка блюмінгу у програмі Mathcad

Розрахунки виконуємо із застосуванням пакету комп'ютерних програм Mathcad Prime 9. Нижче наведені вихідні дані для розрахунку (див. рис. 3.1).

## Варіант № j = 1

$s := \text{READEXCEL}(\text{".\Вихідні дані 1.xlsx"}, \text{"Лист1!В2:АА3"})$

$$P_1 := (s^{(0)})_j = 8.884 \text{ МН}; \quad P_2 := (s^{(1)})_j = 4.994 \text{ МН}; \quad P_3 := (s^{(2)})_j = 3.792 \text{ МН};$$

$$P_4 := (s^{(3)})_j = 2.859 \text{ МН}; \quad P_5 := (s^{(4)})_j = 2.446 \text{ МН};$$

$$M_{kp1} := (s^{(5)})_j = 2816 \text{ КН}\cdot\text{м}; \quad M_{kp2} := (s^{(6)})_j = 1650 \text{ КН}\cdot\text{м}; \quad M_{kp3} := (s^{(7)})_j = 1314 \text{ КН}\cdot\text{м};$$

$$M_{kp4} := (s^{(8)})_j = 1103 \text{ КН}\cdot\text{м}; \quad M_{kp5} := (s^{(9)})_j = 1007 \text{ КН}\cdot\text{м};$$

$$D_1 := (s^{(11)})_j = 832 \text{ мм}; \quad D_2 := (s^{(12)})_j = 804 \text{ мм}; \quad D_3 := (s^{(13)})_j = 822 \text{ мм}; \quad D_4 := (s^{(14)})_j = 822 \text{ мм};$$

$$D_5 := (s^{(15)})_j = 840 \text{ мм}; \quad D_6 := (s^{(10)})_j = 1050 \text{ мм};$$

$$d_w := (s^{(16)})_j = 640 \text{ мм}; \quad l_w := (s^{(17)})_j = 640 \text{ мм}; \quad l_6 := (s^{(18)})_j = 2250 \text{ мм}; \quad a := (s^{(19)})_j = 2955 \text{ мм};$$

$$x_1 := (s^{(20)})_j = 352.5 \text{ мм}; \quad x_2 := (s^{(21)})_j = 797 \text{ мм}; \quad x_3 := (s^{(22)})_j = 1467 \text{ мм};$$

$$x_4 := (s^{(23)})_j = 1070.5 \text{ мм}; \quad x_5 := (s^{(24)})_j = 776 \text{ мм}; \quad x_6 := (s^{(25)})_j = 517 \text{ мм};$$

1. Виконуємо ескіз валка в масштабі та схему його навантаження відповідними силами (рис. 3.1).

2. Визначимо опорні реакції на шийці валка за формулами (3.1) і (3.2) відповідно під час прокатування в калібрах 1, 2, 3, 4 і 5.

$$R_{A1} := P_1 \cdot \frac{a - x_2}{a} = 6.488 \text{ МН}; \quad R_{B1} := P_1 \cdot \frac{x_2}{a} = 2.396 \text{ МН};$$

$$R_{A2} := P_2 \cdot \frac{a - x_3}{a} = 2.515 \text{ МН}; \quad R_{B2} := P_2 \cdot \frac{x_3}{a} = 2.479 \text{ МН};$$

$$R_{A3} := P_3 \cdot \frac{x_4}{a} = 1.374 \text{ МН}; \quad R_{B3} := P_3 \cdot \frac{a - x_4}{a} = 2.418 \text{ МН};$$

$$R_{A4} := P_4 \cdot \frac{x_5}{a} = 0.751 \text{ МН}; \quad R_{B4} := P_4 \cdot \frac{a - x_5}{a} = 2.108 \text{ МН};$$

$$R_{A5} := P_5 \cdot \frac{x_6}{a} = 0.428 \text{ МН}; \quad R_{B5} := P_5 \cdot \frac{a - x_6}{a} = 2.018 \text{ МН};$$

3. Визначаємо згинаючі моменти по середині калібрів 1, 2, 3, 4 і 5 (відповідно перерізи на рис. 3.1: 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 6-6), користуючись формулою (3.3):

$$M_{32} := R_{A1} \cdot \frac{x_2}{1000} = 5.171 \text{ МН}\cdot\text{м}; \quad M_{33} := R_{A2} \cdot \frac{x_3}{1000} = 3.689 \text{ МН}\cdot\text{м};$$

$$M_{34} := R_{B3} \cdot \frac{x_4}{1000} = 2.589 \text{ МН}\cdot\text{м}; \quad M_{35} := R_{B4} \cdot \frac{x_5}{1000} = 1.636 \text{ МН}\cdot\text{м};$$

$$M_{36} := R_{B5} \cdot \frac{x_6}{1000} = 1.043 \text{ МН}\cdot\text{м}; \quad \text{ORIGIN} := 2$$

4. Визначаємо, в якому калібрі має місце найбільше навантаження на бочці валка. Для цього калібра визначаємо напруження за формулами (3.5, 3.13):

$$M_3 := \begin{bmatrix} M_{32} \\ M_{33} \\ M_{34} \\ M_{35} \\ M_{36} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.171 \\ 3.689 \\ 2.589 \\ 1.636 \\ 1.043 \end{bmatrix} \text{ МН}\cdot\text{м}; \quad \max(M_3) = 5.171 \text{ МН}\cdot\text{м};$$

$$p := \text{match}(\max(M_3), M_3) = [2] \quad \text{ORIGIN} := 1 \quad p_1 = 2$$

$$D := \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 832 \\ 804 \\ 822 \\ 822 \\ 840 \end{bmatrix} \text{ мм}; \quad D_{p_1-1} = 832 \text{ мм}; \quad D_{\min} := D_{p_1-1} = 832 \text{ мм};$$

де  $D_{min}$  - мінімальний катаючий діаметр після останнього переточування валків.

$$\sigma := \frac{\max(M_3)}{0.1 \cdot \left(\frac{D_{min}}{1000}\right)^3} = 89.782 \text{ Н/мм}^2;$$

$$M_{кр} := \begin{bmatrix} M_{кр1} \\ M_{кр2} \\ M_{кр3} \\ M_{кр4} \\ M_{кр5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2816 \\ 1650 \\ 1314 \\ 1103 \\ 1007 \end{bmatrix} \text{ КН}\cdot\text{м}; \quad M_{кр_{p_1-1}} = 2816 \text{ КН}\cdot\text{м};$$

$$\tau_6 := \frac{M_{кр_{p_1-1}}}{1000 \cdot \left(\frac{D_{min}}{1000}\right)^3} = 24.447 \text{ Н/мм}^2;$$

Валки кліті блюмінгу можуть бути виготовлені або литвом із легованого чавуну, або ж куванням із сталі 60ХН, тому еквівалентні напруження визначаємо відповідно за формулами (3.18) і (3.17):

$$\sigma_B := 0.375 \cdot \sigma + 0.625 \cdot \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau_6^2} = 97.564 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{всм} := \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_6^2} = 99.267 \text{ Н/мм}^2;$$

Запас міцності  $n$  для бочки валків:

– із чавуну ( $\sigma_B = 400 \text{ Н/мм}^2$ )

$$n_6 := \frac{\sigma_B}{\sigma_6} = 4.1 \quad < [n] = 5$$

– із сталі ( $\sigma_{вст} = 750 \text{ Н/мм}^2$ )

$$n_{бст} := \frac{\sigma_{вст}}{\sigma_{вст}} = 7.555 \quad > [n] = 5$$

Очевидно, що тільки валки, відкуті із сталі 60 ХН мають достатній запас міцності, а валки, відлиті із чавуну, по умовам міцності не прийнятні.

5. Розраховуємо на міцність приводну шийку (переріз 1-1 на рис. 3.1) для сталевих відкутих валків.

Найбільші реакції та крутні моменти діють на цю шийку під час прокатування в першому та другому калібрах, тому і напруження визначаємо для цих умов за формулами (3.11), (3.16) і (3.17).

При прокатуванні в калібрі 1:

$$\sigma_{13w} := R_{A1} \cdot \frac{\frac{l_w}{1000}}{0.2 \cdot \left(\frac{d_w}{1000}\right)^3} = 79.198 \quad \text{Н/мм}^2;$$

$$\tau_{1w} := \frac{\frac{M_{кр1}}{1000}}{0.2 \cdot \left(\frac{d_w}{1000}\right)^3} = 53.711 \quad \text{Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{e1} := \sqrt{\sigma_{13w}^2 + 3 \cdot \tau_{1w}^2} = 122.176 \quad \text{Н/мм}^2;$$

При прокатуванні в калібрі 2:

$$\sigma_{23w} := R_{A2} \cdot \frac{\frac{l_w}{1000}}{0.2 \cdot \left(\frac{d_w}{1000}\right)^3} = 30.698 \quad \text{Н/мм}^2;$$

$$\tau_{2ш} := \frac{\frac{M_{кр2}}{1000}}{0.2 \cdot \left(\frac{d_{ш}}{1000}\right)^3} = 31.471 \quad \text{Н/мм}^2;$$

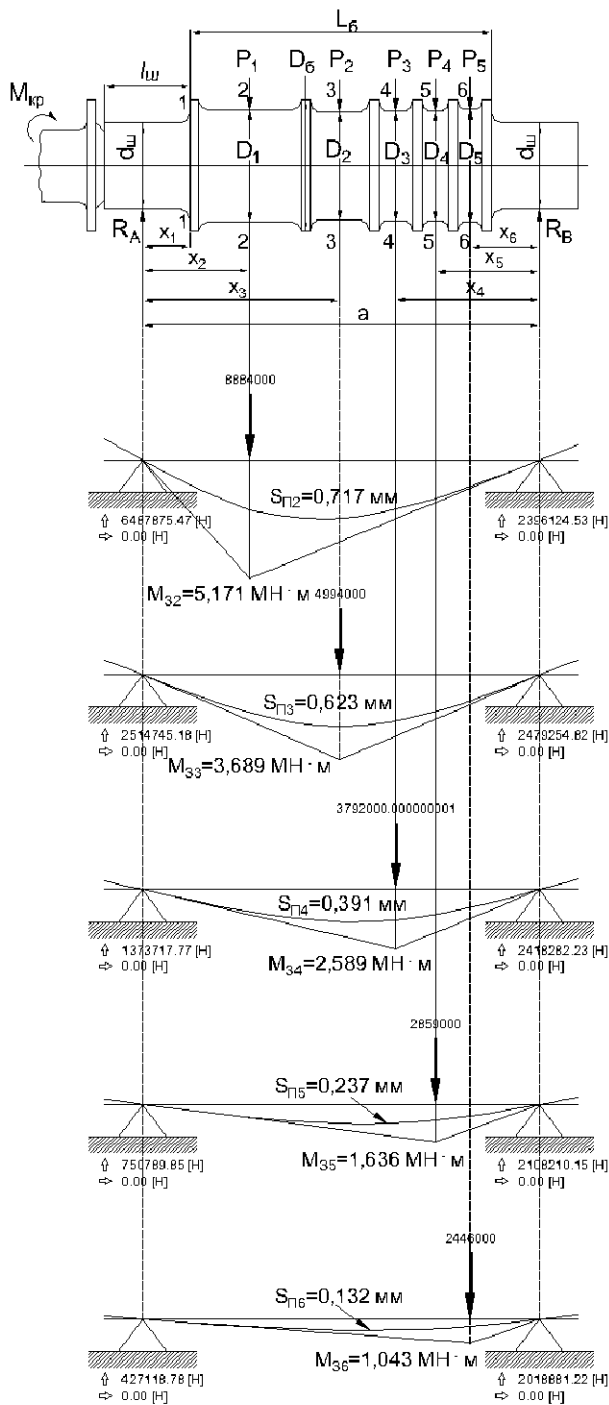
$$\sigma_{e2} := \sqrt{\sigma_{2зш}^2 + 3 \cdot \tau_{2ш}^2} = 62.559 \quad \text{Н/мм}^2;$$

Таким чином напруження в приводній шийці більше при прокатуванні в 1-у калібрах. Запас міцності по шийці валка по максимальному напруженні  $\sigma_{e1}$ :

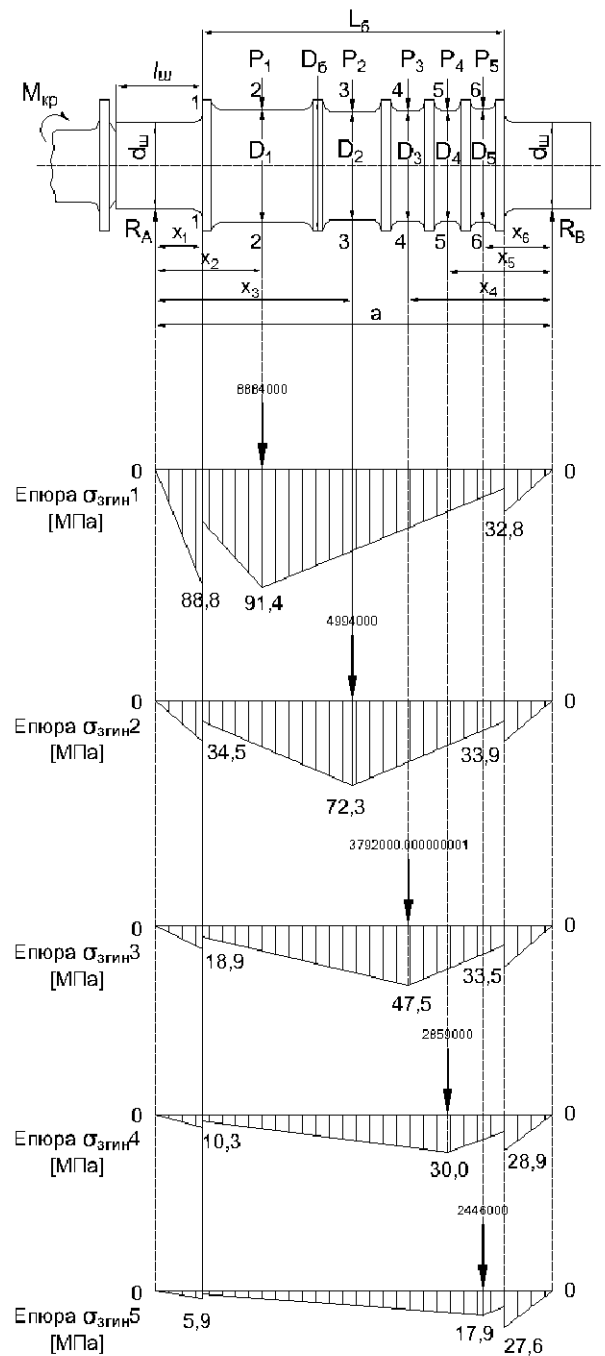
$$n_{ш} := \frac{\sigma_{Всг}}{\sigma_{e2}} = 11.989 > [n]=5$$

На рис. 3.2 і 3.3 наведено результати розрахунків валка блюмінгу на міцність і деформацію.

**Висновок:** Розрахунки показали, що за заданими експериментальними значеннями сил прокатування та крутних моментів валки кліті блюмінгу 1050 мають достатні запаси міцності, а саме  $n_{\sigma} = 7,555$ ;  $n_{ш} = 11,989$ , що більше мінімального допустимого значення, яке дорівнює п'яти. Аналогічно розраховуються на міцність валки всіх типів сортопрокатних станів.



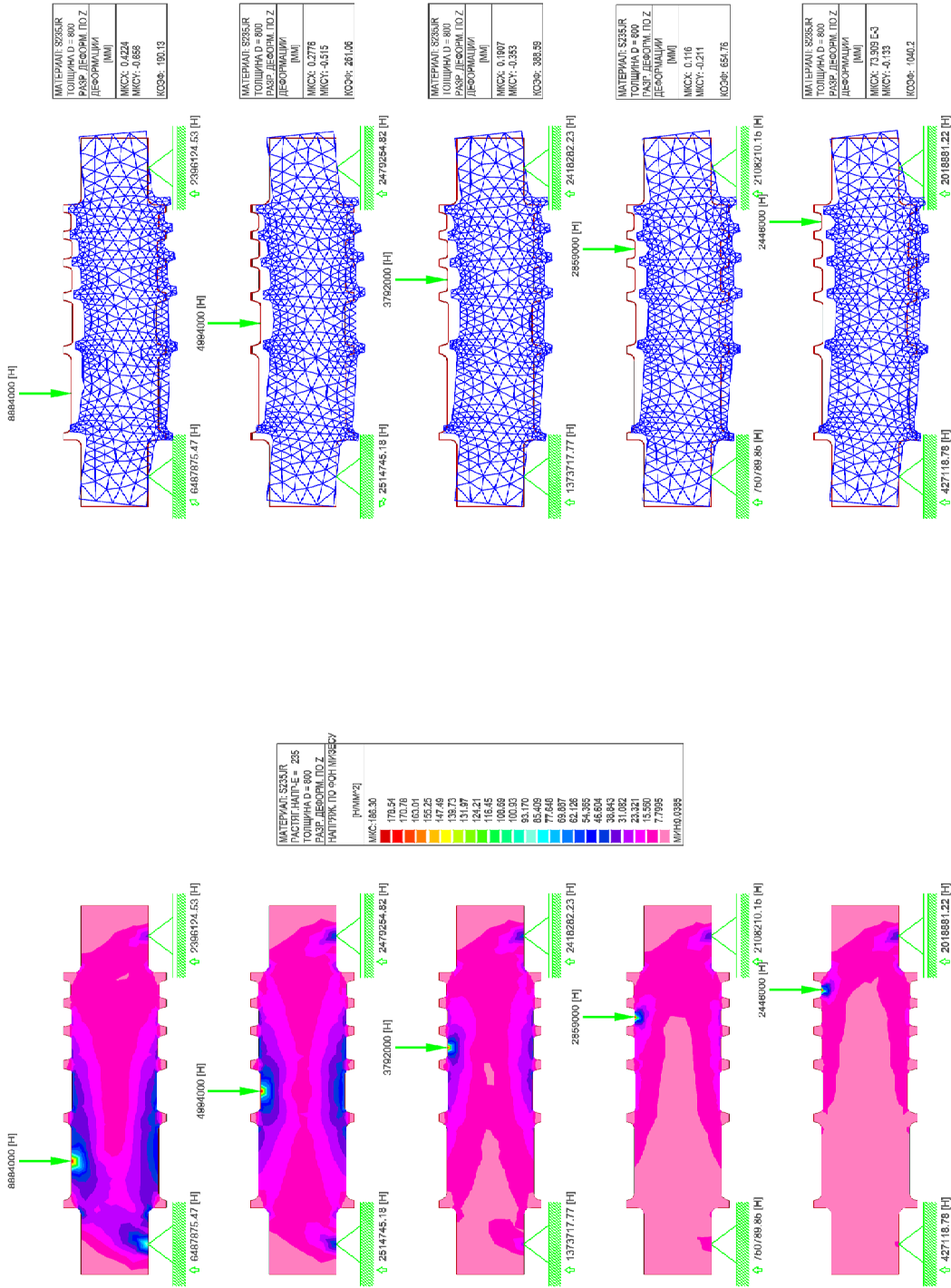
Опорні реакції, згинальні моменти  $M_3$  і прогинання валка  $S_{\pi}$  при прокатуванні відповідно в калібрах 1 - 5



Розрахункова схема і епюри згинальних напружень валка блюмінгу при прокатуванні в калібрах 1 - 5

Рисунок 3.2 – Розрахункові епюри згинальних моментів і напружень валка блюмінгу при прокатуванні в калібрах 1 - 5





**Результати розрахунків методом кінцевих елементів деформації валка блюмінгу при прокатці в калібрах 1 - 5**

**Результати розрахунків методом кінцевих елементів напружень валка блюмінгу при прокатці в калібрах 1 - 5**

**Рисунок 3.3 – Результати розрахунків напружень і деформації валка блюмінгу методом кінцевих елементів**

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Прокатний цех оснащений різноманітним механічним і електричним підйомно-транспортним устаткуванням, обслуговування якого вимагає чіткого дотримання правил техніки безпеки й норм виробничої санітарії. Прокатне виробництво відрізняється від інших металургійних виробництв високою швидкістю технологічних операцій, інтенсивністю вантажопотоків і розмаїтістю метеорологічних умов на різних ділянках.

Одним з основних ділянок цеху є стан гарячої прокатки, на якому проводять гарячу обробку металу тиском. Стан гарячої прокатки має ділянки: пічна, чорнова і чистова група клітей, хвостова частина.

Технологічний процес на стані 1050 механізований і автоматизований, операції з металом здійснюються без особистої участі обслуговуючого персоналу.

На виробництві застосовуються наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці [20]:

- огорожувальні пристрої, що створюють перешкоду між людиною й небезпечним фактором, що надійно охороняють працюючого незалежно від правильності або неправильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів - відключення устаткування при порушенні контролюючого параметра (температури, переміщення, величини струму або напруги, зусилля);

- гальмові пристрої для швидкої зупинки частин, що рухаються, машин і устаткування; блокувальні пристрої, що забезпечують фіксацію частин механізму в певному стані; сигналізація перед наступаючою небезпекою (світлова, звукова).

Умови праці характеризуються наявністю таких шкідливих факторів, як запиленість, загазованість, тепловипромінювання й шум. Багато основних і

допоміжних технологічних операцій супроводжуються виділенням значних кількостей пилу. Вміст різних елементів у пилу пропорційно хімічному вмісту сталі. Найбільш високий вміст пилу спостерігається в становому прольоті й на складі готової продукції.

При прокаті зливків на стані виділяється пил, що містить окисли заліза. У зв'язку із цим проводиться пиловловлення. Для цих цілей установлені скрубери. Основними джерелами виділення шкідливих газів служать нагрівальні пристрої, прокатні стани й інше технологічне устаткування.

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, що випромінюється нагрітими заготівлями й устаткуванням стана. Більша інтенсивність теплового випромінювання має місце на робочих місцях у нагрівальних печей, у прокатного стана, на ділянці ножиців і пив гарячого різання, а так само в штабелів гарячого металу на складах готової продукції.

Виділення тепла на деяких ділянках досягає  $411 \text{ Вт/м}^2$ . Інтенсивне інфрачервоне випромінювання, крім прямого впливу на робітників, нагріває навколишні поверхні і предмети, які стають додатковими потужними джерелами тепловиділення. В результаті повітря цеху в теплий період року значно нагрівається до  $37^\circ\text{C}$ . У холодний період року тепловиділення, створюючи сильний тепловий напір, сприяє інтенсивному повітрообміну, за рахунок якого повітря робочої зони нерідко значно переохолоджується.

У технологічних процесах цеху основними потенційними небезпеками є ураження електричним струмом, рухомі машини і механізми. Джерелами прихованої небезпеки дії електричного струму служать електроустановки. Робота електротермічного устаткування створює небезпеку теплового ураження персоналу [20].

Для робочого місця вальцювальника відповідно до гігієнічної класифікації дана характеристика трудового процесу і оцінка чинників виробничого середовища, яка представлена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого й  
 трудового процесу вальцювальника

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Факт. знач.	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	2	3	4	5	6	7	8
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>						90
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		
	<u>III клас небезпеки</u>						90
	Ангідрид сірчистий	10	6,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
	Масла мінеральні	5	6,78	1,36			
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	26,3			6,58	90
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ.	92	95	3			90
4	Шум, дБА	80	87	7			100
5	Інфразвук дБ						

Продовження Таблиці 4.1 – Оцінка чинників виробничого  
й трудового процесу вальцювальника

6	Ультразвук дБ						
7	Іонізуюче випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м; - діапазон промислової частоти, кв/м; - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), вт/м <sup>2</sup>						
8	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря <sup>0</sup> С;	13-27	37			10	90
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,3- 0,6	0,6				
	- відносна вологість повітря, %;	40-60	45				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	411			411	83
9	Температура навколишнього повітря(під час роботи на відкритому повітрі), <sup>0</sup> С: - улітку - узимку						
10	Атмосферний тиск						
11	Тяжкість і напруженість праці	Категорія робіт - важка, III напружена					

Таким чином, проведений аналіз умов праці дозволяє зробити висновок, що умови праці відносяться до III класу 3 ступеня. Робоче місце має в наявності 5 чинників I ступеня, 1 чинник II ступеня і 5 чинників III ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

#### **4.2 Заходи з поліпшення умов праці**

Пил виявляє шкідливу дію на організм людини, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в легені, пил може викликати специфічні професійні захворювання, такі як силікоз, силікатоз, антракоз та ін. [20].

Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є механізація виробничих процесів з аспірацією пилу з місць її утворення, а також зрошування водою при різних робочих операціях, пов'язаних з пилоутворенням. Також необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратор ШБ-2 «лепесток», який усуває дію пилу на організм працюючих [20].

Одному з основних заходів по попередженню можливого отруєння оксидом вуглецю (II), сірчистим ангідридом, оксидом марганцю і іншими газами є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Ці місця є газонебезпечними. Перелік таких місць і ділянок складається заздалегідь і затверджується головним інженером заводу. Працівники санітарно-технічних лабораторій і газорятувальні служби щодоби по встановленому графіку контролюють склад повітряного середовища в усіх газонебезпечних місцях. При виявленні виділень або скупчень газу негайно приймають заходи по припиненню допуску в газонебезпечні зони людей і локалізації джерела виділення газу [20].

Основними заходами щодо боротьби з пилом у прокатному виробництві є:

- впровадження раціональних технологічних процесів і вдосконалення устаткування;
- застосування ефективної герметизації всіх пиловиділяючих джерел, зволоження пилу водою або парою;
- пристрій спеціальної пиловловлювальної вентиляції від місць пилоутворення з очищенням повітря перед викидом його в атмосферу через систему фільтрів, регулярне збирання пилу з робочих місць спеціальними пилососами, застосування індивідуальних засобів захисту (респіраторів, окулярів, спецодягу й ін.).

Заходами щодо зменшення загазованості є: забезпечення постійного нагляду за дотриманням технологічних інструкцій і інструкцій з техніки безпеки; дотримання затверджених технологічних режимів; проведення регулярних профілактичних оглядів устаткування й газових комунікацій для своєчасного згоряння газу й справності системи видалення продуктів згоряння.

Для поліпшення мікроклімату на робочих місцях передбачена природна і механічна подача повітря душируючими установками з обробкою повітря на типових кондиціонерах до постійних робочих місць.

Також потрібна витяжна вентиляція за допомогою місцевих відсмоктувань і механічної вентиляції з верхньої зони, і природна загальнообмінна вентиляція з верхньої зони [20].

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

Для огороження припливу холодного повітря ззовні під час в'їзду й виїзду транспорту над воротами встановлені пристрої для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16-20<sup>0</sup>С.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря. У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу.

З метою забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені три ряди отворів для природної вентиляції: 1 ряд - на рівні 1,5 м від підлоги; 2 ряд - на рівні 4,5 м від підлоги.

У прокатному цеху застосовується природне й штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 роботи, що виконуються персоналом, відносяться до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для освітлення застосовують, як правило, газорозрядні лампи. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості освітлення.

Для загального освітлення застосовують світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становить 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на 1 розряд.

У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне, яке 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 й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь, потребуючі обслуговування при



аварійних режимах, становить 5 % освітленості, нормованої дня загального робочого освітлення, але не менш 2 лк. Аварійне освітлення для евакуації персоналу, проходів і сходів не менш 0,5 лк.

Окремі ручні операції в прокатних цехах сполучені зі шкідливим впливом вібрації на організм людини. Особливо небезпечними є ручна вирубка пороків на поверхні металу пневматичними зубилами, наждакове зачищення поверхні, ручне таврування металу за допомогою пневмоінструменту. Нормами визначена маса вібруючого устаткування й сила натиску на нього працюючого.

Маса вібруючого устаткування і його частин, що утримується руками в різних положеннях у процесі роботи, не повинна перевищувати 10 кг. Сила натиску працюючого на вібруюче устаткування і його частини не повинна перевищувати 20 кгс.

Всі робітники, зайняті на роботах з вібруючим устаткуванням, повинні проходити один раз у рік медичний огляд. Санітарними нормами й правилами заборонений допуск до роботи з вібрацією осіб молодше 18 років і жінок у період вагітності.

Надмірний шум негативно позначається на продуктивності праці.

Тривала дія шуму може привести до зниження слуху, а іноді до глухоти. Шум негативно впливає на серцево-судинну і центральну нервову систему.

Для захисту виробничого персоналу від шуму устаткування його повністю закривають герметично звукоізолюючим кожухом, який виготовляють зазвичай із сталевих листів товщиною 2-3 мм, а внутрішні поверхні облицьовували звукопоглинальними матеріалами. Якщо це не зробити, то за рахунок хорошої відбивної здатності сталевих листів рівень шуму усередині кожуха різко підвищиться і його фактична звукоізоляція виявиться зменшеною на 18-20 дБА. Звукоізолюючий кожух встановлюють на пружних прокладеннях, а машину ретельно віброізолюють від фундаменту, не допускаючи жорстких контактів між

машиною і кожухом. Отвори для циркуляції повітря і проходу комунікацій забезпечуються глушниками шуму або герметизуються сальниками.

Для захисту від шумових навантажень на організм людини застосовуються спеціальні вставки у вуха «беруши» і противошумові навушники.

У процесі прокатки виділяється значна кількість тепла, випромінюваного нагрітими заготівлями й устаткуванням стана. Більша інтенсивність теплового випромінювання має місце на робочих місцях у нагрівальних печей, у прокатного стана, на ділянці ножиців і пив гарячого різання, а так само в штабелів гарячого металу на складах готової продукції.

Підвищена теплова дія на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму. Посилене потовиділення при напруженій м'язовій роботі в умовах підвищеного температурного режиму призводить до втрати кров'ю хлористого натрію, що є основним елементом що утримує в крові воду. Вимивання з'єднань хлору з організму призводить до пониження кислотності шлункового соку і виникнення шлунково-кишкових захворювань [20].

Для зниження шкідливої дії тепла на організм людини стінки і колони мають бути теплоізолювані, а над печами мають бути влаштовані зонти з витяжними трубами. З боків електропечей для захисту від променистого тепла мають бути влаштовані екрани у вигляді щитів з металевих листів і азбесту або сіток, безперервно зрошуваних водою. Також використовують спеціальний одяг для запобігання працюючих у гарячому цеху від впливу теплового випромінювання й опіків.

## ВИСНОВКИ

Задача підвищення якості сортового металу актуальна на сучасному етапі розвитку прокатного виробництва.

В дипломному проекті були розглянуті питання, пов'язані з розробкою нової системи калібрування валків блюмінгу 1050, що дозволяє інтенсифікувати обтиснення в першому калібрі в перших проходах для більш раннього початку пророблення структури металу по висоті штаби.

В загальній частині дипломного проекту встановлено, що прокатка сталей з підвищеним опором деформації з малими відносними обтисненнями призводить до зменшення нерівномірності висотної деформації. Нерівномірність поздовжньої деформації збільшується. Пластична деформація стиснення при заданих умовах прокатки на блюмінгу не проникає на всю глибину штаби і поширюється за межі геометричного осередку деформації. Найбільш небезпечними зонами з точки зору можливого порушення суцільності металу є приконттактні шари і центральна область штаби, в яких розвинені поздовжні напруження розтягування.

Дана технічна характеристика блюмінгу ПАТ «Дніпроспецсталь» і основних його ділянок, призначення і сортамент стану 1050. Детально наведена технологія прокатки на блюмінгу, конструкція основних агрегатів прокатного стана.

В спеціальній частині дипломного проекту наведено розрахунок режимів обтиснень і енергосилових параметрів прокатки блюмів перетином 215x215 мм і 300x330 мм по запропонованій технології (тобто з інтенсивними обтиснення в першому калібрі в перших проходах) у порівнянні з існуючою технологією. Запропоновано нове калібрування валків блюмінгу 1050.

Розрахунком енергосилових параметрів показана можливість підвищення абсолютних обтиснень при прокатці зливків конструкційних легованих сталей. Досліджено вплив величини обтисків на якість макроструктури легованих сталей. Встановлено, що при більш високих

обтисненнях, які забезпечують відношення  $H/D_k \leq 0,5$  створюється більш сприятлива схема напружено – деформованого стану, що забезпечує отримання макроструктури з більшою щільністю, ніж при діючому режимі обтисків. Нові калібрування валків блюмінгу 1050 і режими обтиснень для прокатки профілерозмірів основного сортаменту стана забезпечують скорочення утяжки торців блюмів без погіршення якості осьової зони розкату.

В механічній частині наведено розрахунок на міцність валків блюмінгу. У цьому розділі застосовано сучасні комп'ютерні технології для проектування і розрахунку валків прокатних станів. Зокрема використано систему САПР AutoCAD Mechanical 2020 і пакет програм Mathcad Prime 9 для комп'ютерного моделювання валків, розрахунку моментів і прогинів, побудови епюр, визначення напружень і деформацій. Комп'ютерна програма автоматизує багато стандартних проектних задач, використовує метод кінцевих елементів (МКЕ), дозволяє отримати результати розрахунків у наглядному вигляді і у багатьох випадках дозволяє уникати тестування на дослідних зразках.

У частині «Охорона праці та техногенна безпека» виконано аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів процесу виробництва прокатної продукції. Запропоновано заходи з поліпшення умов праці на обтискному стані 1050, у т.ч. заходи з електробезпеки, заходи з пожежної і техногенної безпеки. Виконано розрахунки заходів захисту від поразки електричним струмом.

Таким чином, в результаті проведеної роботи на обтискному стані 1050 ПрАТ «Дніпроспецсталь» запропоновано нові режими обтиснень, нове калібрування валків, що забезпечить підвищення продуктивності стану та поліпшення якості макроструктури прокату і зменшення відходів металу. Додаткове виробництво прокату складе близько 10 тис. тон на рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

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

16. Серода Б. П., Проценко В. М. Виготовлення спеціальних видів прокату : навчально-методичний посібник для здобувачів ЗДІА спеціальності 7.090404 "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 88 с.
17. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунок валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі «AutoCAD Mechanical». Металургія : Збірник наукових праць. Запоріжжя , 2018. Вип. 2 (40). С. 85 – 90.
18. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V, Bondarenko Y, Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. Conference Proceedings – METAL 2020. 29th International Conference on Metallurgy and Materials. May 20 - 22, 2020, Brno, Czech Republic, EU. P. 440 – 445. <https://www.confer.cz/metal/2020/3500-mathematical-modeling-of-physical-properties-of-anisotropic-materials>. (Дата звернення: 15.09.2023).
19. Таратута К.В., Проценко В.М., Востоцький С.М. Комп'ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. IV Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси (ІМТСК-2023). 25-26 травня 2023 року. Черкаси. С 40 – 42. [https://fotius.cdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Book\\_IMTСК\\_2023.pdf](https://fotius.cdu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Book_IMTСК_2023.pdf). (Дата звернення: 15.09.2023).
20. Румянцев В. Р., Кутузова І. О. Профілактика виробничого травматизму та професійних захворювань : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 132 с.
21. ДСТУ 8302 : 2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
22. ДСТУ 3008 : 2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [На заміну ДСТУ 3008-95. Чинний від 2017-07-01]. Київ : Держстандарт України, 1995. 26 с. (Інформація та документація).