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 ***Розробка режиму прокатки штаби 3,2х1400мм на широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680***

Виконав: студент IV курсу, групи 6.1362-омт-с
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Обробка металів тиском
(код і назва освітньої програми)
Д.С.Касьян
(ініціали та прізвище)

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

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

Запоріжжя – 2026 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. Бєлоконь

“ 23 ” 12 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Касьяну Дмитру Сергійовичу
(прізвище, ім’я, по батькові)

Тема роботи (проекту) ***Розробка режиму прокатки штаби 3,2х1400мм на широкоштабовому стані гарячої прокатки 1680***

керівник роботи (проекту) Бондаренко Юлія Володимирівна, к.т.н., доц.,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “23” 12 25 р. № 1831-с

1. Строк подання студентом роботи 10 червня 2026 року

2. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проекти, технічна документація , літературні джерела, інтернет-ресурси

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Механічна частина. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел

Мета кваліфікаційної роботи – розробка режиму прокатки штаби 3.2х1400мм на стані гарячої прокатки 1680..

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація виконана в програмі Power Point на 11 слайдах.

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання 10.06.2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	26.01.26 – 13.03.26	
2.	Розділи 2 - 3	16.03.26 – 17.04.26	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	20.04.26 – 22.05.26	

Студент _____ **Касьян Д.С.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ **Бондаренко Ю.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ **Бєлоконь Ю.О.**
(підпис) (прізвище та ініціал

Реферат

Пояснювальна записка дипломного проекту (роботи) містить: 73 с., _13_ рис., _9_ табл.; використано літературних джерела _13_.

Об'єкт дослідження – стан гарячої прокатки 1680 в умовах ПАТ «Запоріжсталь»

Мета роботи – розробка режиму прокатки штаби 3.2х1400мм на стані гарячої прокатки 1680.

Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків, які використовуються в прокатному виробництві. Розрахунки і комп'ютерне моделювання у системах САПР AutoCAD Mechanical 2020, Mathcad Prime 6.

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

Виконано розрахунок станини прокатної кліті закритого типу на міцність і деформацію, оптимальної виробничої програми відділення гнутих профілів цеху гарячої прокатки ПАТ «Запоріжсталь» із застосуванням програм AutoCAD Mechanical 2020 і Mathcad Prime 6. Отримані результати рекомендуються для впровадження на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

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

ЗМІСТ

с.

ВСТУП ……...……..…... 7

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА ……..… 9

1.1 Характеристика існуючого виробництва цеху гарячої прокатки тонкого листа ПАТ «Запоріжсталь» ……..……..9

1.2 Валки широкоштабового стана гарячої прокатки …..……..…16

1.3 Характеристика прокатного стана за новою технологією з використанням технологічних мастил ……18

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА……22

2.1 Завдання розробки режимів деформації ……...22

2.2 Розрахунок параметрів злитка ……24

2.3 Розрахунок режимів обтиснень в чорновій групі клітей ……25

2.4 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чорновій групі клітей 31

2.5 Розрахунок крутних моментів прокатки в чорновій групі …….. 37

2.6 Температурний режим прокатки в чорновій групі клітей …… 39

2.7 Розрахунок режимів обтиснень при прокатуванні в чистовій групі клітей ШСГП 1680 …… 73

2.8 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чистовій групі клітей …….. 44

2.9 Технологія прокатки у вертикальних валках …….. 50

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА …….. 55

3.1 Розрахунок на міцність станини прокатної кліті 55

3.2 Жорсткість робочих клітей …… 57

3.3 Розрахунок пружної деформації і напружень станини робочої кліті у програмному комплексі AutoCAD Mechanical …..…….. 58

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА …….62

4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища ……62

4.2 Розробка мір захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів ……..……

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ……68

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ …….…….. 72

ВСТУП

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

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

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

Вдосконалення технології і устаткування ШСГП направлене на гарантування належної якості прокату і значної продуктивності стана.

За кордоном широко використовуються ливарно-прокатні модулі (ЛПМ), які дають змогу отримувати тонкі і особливо тонкі гарячекатані штаби. Вони є комбінацією МНЛЗ, нагрівального пристрою і декількох прокатних клітей. Наразі впровадження ЛПМ в Україні проблематично, оскільки вимагає великих капіталовкладень. Тому актуальним є визначення

тенденцій розвитку і подальше вдосконалення технології і устаткування станів, який діють.

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

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

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

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

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

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

Для гарантування прокатки по схемі злиток-сляб-рулон (штаб подвійної маси) проведено модернізацію чорнових клітей: встановлені регульовані приводи на чорнових клітях Дуо №3, №4; вертикальних клітях

№1, №2, і №3, а також система автоматичної перебудови механізмів району чорнових клітей.

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

ЦГП включає наступне основне обладнання:

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

Методичні печі рекуперативні чотиризонні, обладнані рекуператорами, дворядні з двостороннім нагрівом з торцевою посадкою і видачею металу, з випарним охолоджуванням глисажних труб. Печі мають 4 теплотехнічних зони регулювання: 1 – методична; 2 – зварювальна; 3 – зварювальна; 4 – томильна. Повітря, необхідне для горіння, підігрівається в блоковому керамічному рекуператорі об'ємом 330 м3 до температури 500-650 градусів. Теплова потужність печей складає 53×106 ккал/год. Продуктивність печей при холодному всаді 65-75 т/ч, при гарячому всаді 110 – 140 т/ч. Розмір печі:

ширина 5220 мм, довжина методичної зони 5220 мм, довжина другої зварювальної зони 7810 мм, довжина першої зварювальної зони 9280 мм, довжина томильної зони 8930 мм, довжина (корисна) 31540 мм. Печі опалюються сумішшю доменного і природного газів з калорійністю газової суміші 1070 – 1450 ккал/нм3 (при температурі +20°С і тиску 760 мм. рт. ст.) і до 1600 ккал/нм^3 при їх форсованій роботі.

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

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

На рис. 1.1 зображена технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

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

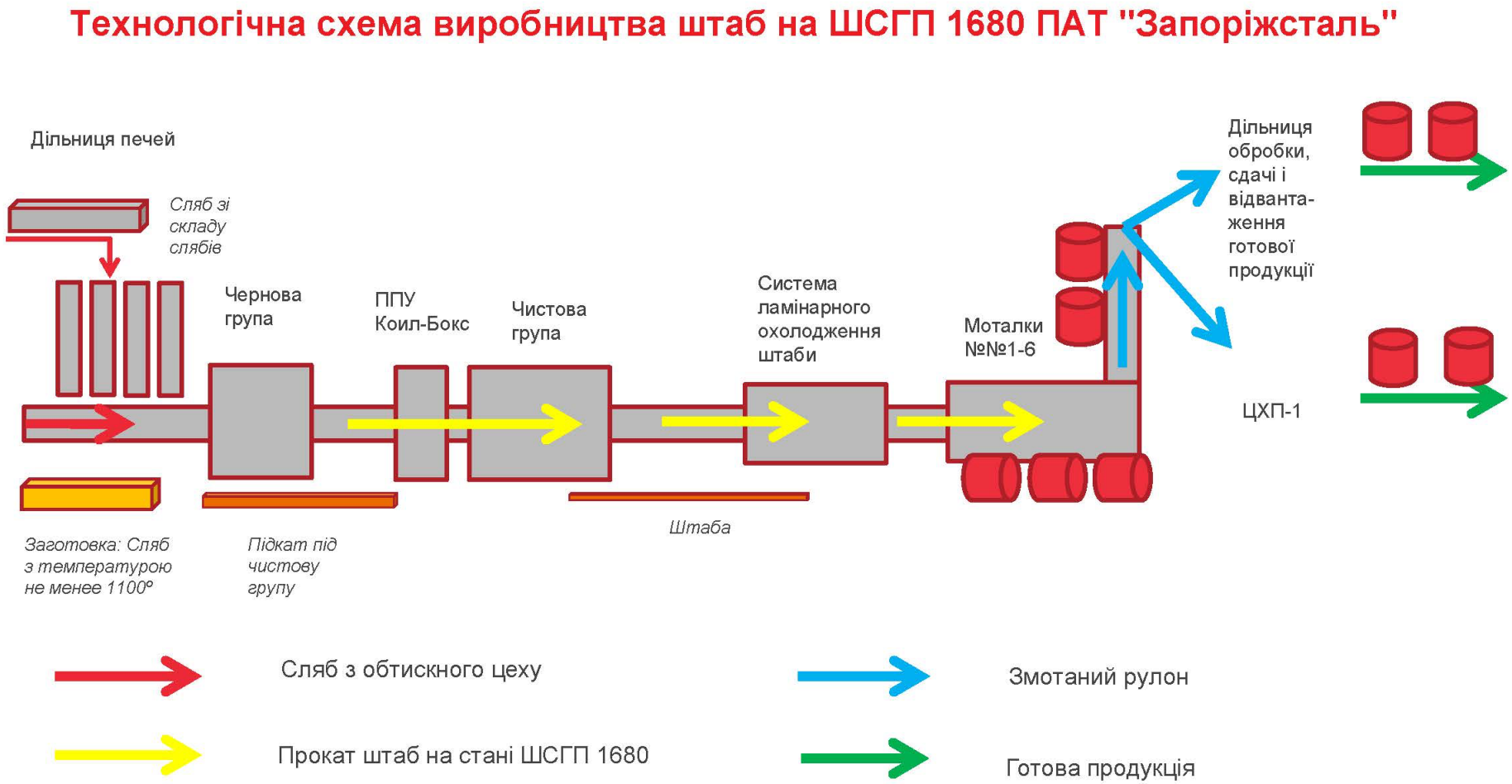


Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва штаб на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

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

На рис. 1.2 подана схема транзитної прокатки.

На рис. 1.3 подана схема розташування основного обладнання ШСГП – 1680 ПАТ «Запоріжсталь», в табл. 1.1 – характеристика робочих клітей стана ШСГП 1680.

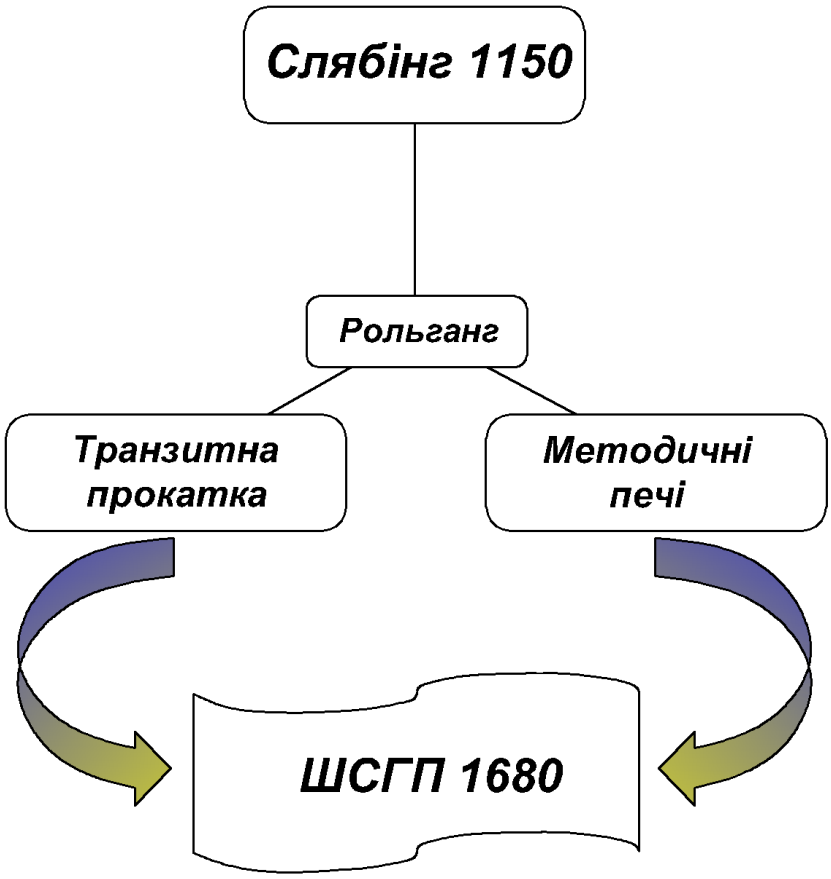
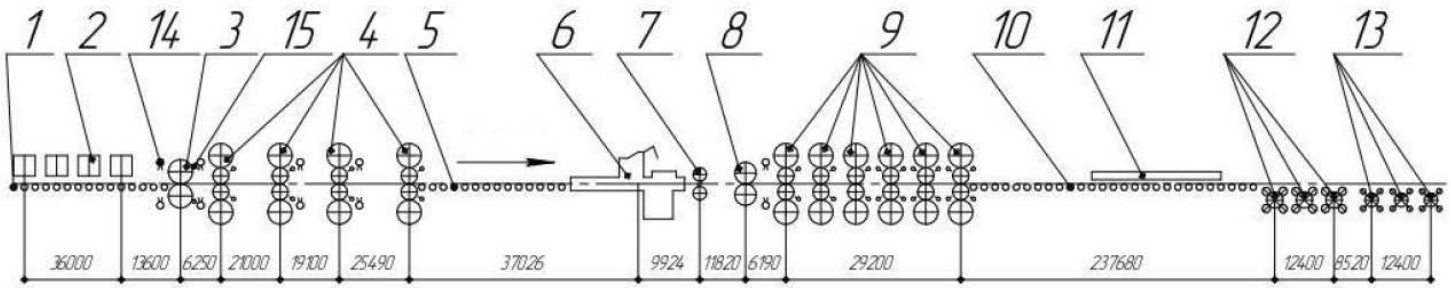


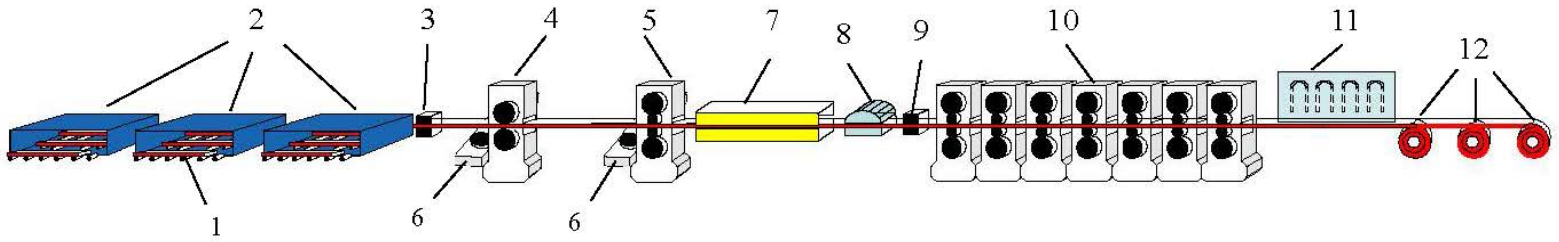
Рисунок 1.2 – Схема транзитної прокатки в ЦГП ПАТ «Запоріжсталь»

СХЕМА РОЗТАШУВАННЯ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ ШСГП – 1680 ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»



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

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



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

Рисунок 1.3 – Схема розташування основного обладнання ШСГП – 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

Таблиця 1.1 – Характеристика робочих клітей стана ШСГП 1680

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

На рис. 1.4 подана робоча кліть стана 1680 ПАТ «Запоріжсталь».

1.2 Валки широкоштабового стана гарячої прокатки

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

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

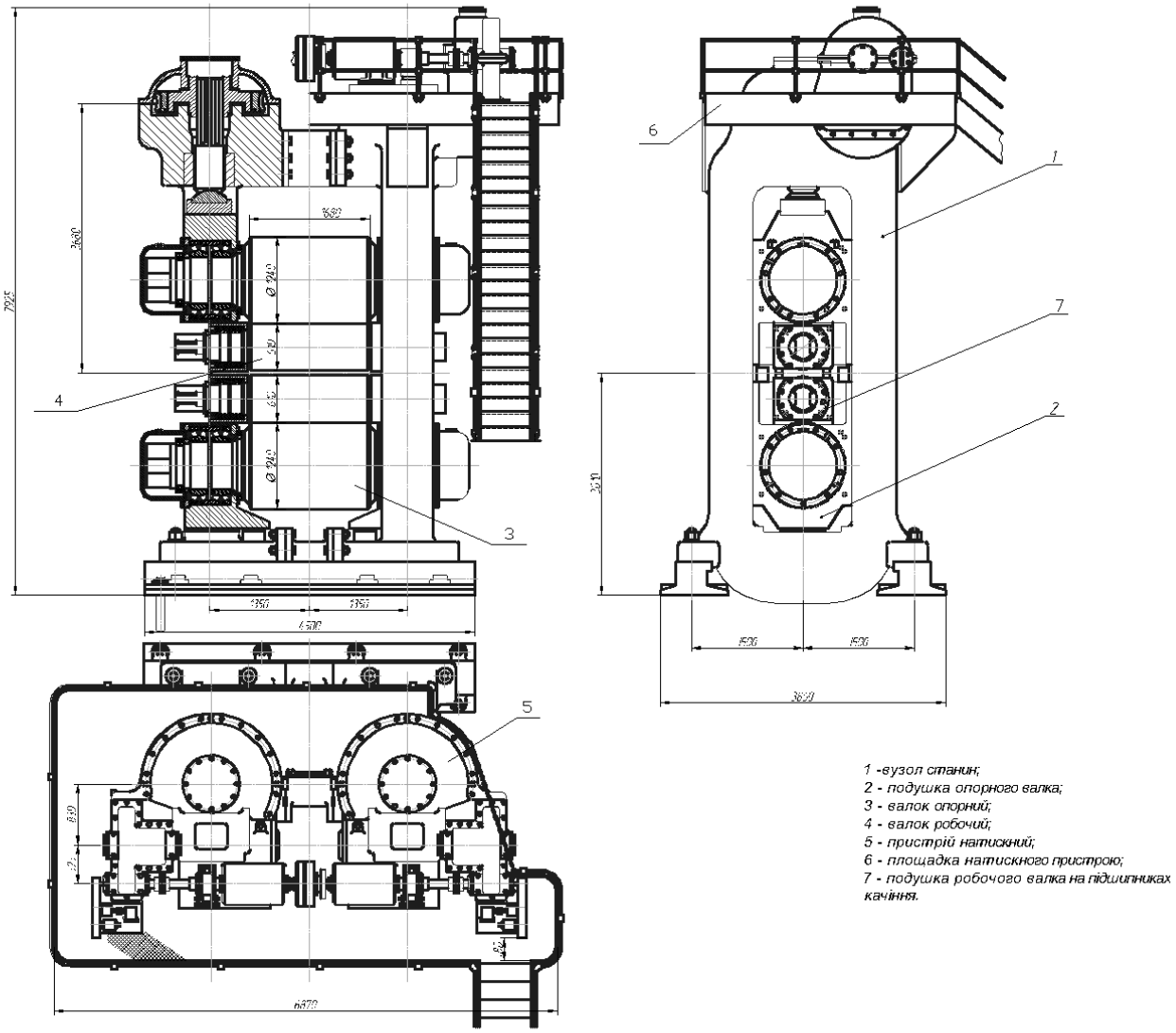


Рисунок 1.4 – Робоча кліть кварто стана 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

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

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

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

У табл. 1.2 наведено основні властивості прокатних валків широкоштабового стана гарячої прокатки ШСГП – 1680 [4].

1.3 Характеристика прокатного стана за новою технологією з використанням технологічних мастил

Раніше відзначалося, який споживачі зазвичай прагнуть отримувати тонкий лист, ширина якого відповідала б розміру заготовки для деталі: в цьому випадку можна уникнути операції прирізання і знизити кількість відходів. Для цього ширину сляба коректують в процесі прокатки, перед входом до чорнової групи клітей широкоштабового стана шляхом прокатки у вертикальних валках (еджерах). На рис. 1.3 вертикальні валки зображені під номером 6.

Таблиця 1.2 – Прокатні валки широкоштабового стана гарячої прокатки ШСГП – 1680 [4]

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

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

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

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

Таблиця 1.3 - Характеристика вихідних матеріалів і отримуваної продукції

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

Таблиця 1.4 - Характеристика чорнової групи клітей прокатного стана

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

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Завдання розробки режимів деформації

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

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

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

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

– сумарне обтиснення в чорновій групі повинне бути максимальним з урахуванням збереження найбільш високої температури розкату;

– кут захвату, сила прокатки і потужність двигуна головного привода не повинні перевищувати припустимі величини;

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

Кожна перебудова включає зміну розчину між валками на всіх або частини клітей, швидкості прокатки, а при зміні ширини - перебудову

напрямних лінійок і моталок. Скорочення часу на перебудову чистової кліті стана може бути досягнуте за рахунок зменшення кількості товщини підкату. Вона становить 23-28мм.

Необхідною умовою нормального процесу прокатки в чистовій неперервній групі є сталість минаючих за секунду обсягів металу по клітях. При рівності ширини розкату у всіх клітях умова сталості цих обсягів запишеться у вигляді [11 – 13]:

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

де h – товщина розкату; v – швидкість виходу металу з валків.

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

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

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

Розподіл обтиснень по клітях дозволяє у всіх клітях, крім двох останніх, зберігати постійної силу прокатки. У передостанній кліті значення сили прокатки становить 75% сили в попередніх клітях, а в останньої - 45%. Зниження сили прокатки в останніх клітях дозволяє (регулюванням обтиснення) зменшити ПОР і ПРР і поліпшити форму листів. Крім того, регулювання обтиснення в останніх клітях у межах 12-20 % сприяє одержанню листів з необхідними механічними властивостями.

Потрібно розрахувати параметри злитка, який прокатується, і режими деформації при прокатці штаби перетином 3,2 × у рулон масою 16т.

Стан 1680 має у своєму составі: чорнову групу із чотирьох клітей і чистову групу із семи клітей. Перша кліть кварто з діаметром валків: Др=880 мм і Дсп=1245 мм; діаметри опорних валків клітей 2-10 Дрп= 1170 мм. Діаметр валків 2 кліті Др= 780 мм, 3 кліті – Др= 580 мм, 4-11 клітей – Др= 580 мм.

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

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

2.2 Розрахунок параметрів злитка

Приймаємо максимальну товщину підкату для клітей чистової групи [13]:

$$h_к = 20 \text{ мм}.$$

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

Товщину сляба визначимо за залежністю:

$$h_{сл} = \frac{h_k}{1 - E_{\Sigma}} \tag{2.1}$$

де h_k – мм-товщина підкату після чорнової групи;

$E_{\Sigma} = 0{,}9$-сумарне відносне обтиснення в частках одиниці [13];

$$h_{сл} = \frac{20}{1 - 0.9}$$

тоді знаючи масу одержуваного рулону визначаємо масу сляба:

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

де $m_р$ = 16 т – маса рулону; kрм= 1,08 – видатковий коефіцієнт [11];

У такий спосіб довжина сляба L = , тобто злиток має наступні параметри:

200·1400·7900 мм.

2.3 Розрахунок режимів обтиснень в чорновій групі клітей

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

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

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

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

Коефіцієнт тертя при захвату металу валками визначається по формулі [12].

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

де t – температура розкату в кліті, °С

V – швидкість прокатки в кліті, м/с

Температурний інтервал прокатки в клітях чорнової групи згідно з технологічної інструкції [12]:

$$1060 \le t \le 1120 \text{ °C}$$

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

при V_{fl} = 0,63 м/с

f_o = 1,05-0,0005·1120 - 0,056·0,63 = 0,453

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

f_1 = 1,05 - 0,0005• 1100 - 0,056·1.02 = 0,442

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

f_2 = 1,05 - 0,0005 • 1090 - 0,056 ·1,09 = 0,443

Кліть № 3: t=1070°С при V_3= 1,99м/с

f_3 = 1,05 - 0,0005 • 1070 - 0,056·1,99 = 0,403

Кліть № 4: t=1060°С при V = 3,48 м/с

f_4 = 1,05 - 0,0005 • 1060 - 0,056 • 3,48 = 0,328

Умова захвату металу валками tg $\alpha \le f$,

де α - кут захвату металу валками в радіанах.

Максимальний кут захвату визначимо за формулою:

$$\alpha_{\max} = arctg \quad f \; ; \tag{2.3}$$

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

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

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

Величину максимально припустимих обтиснень по куті захвату. Визначимо по формулі:

$$\Delta h_{\max} \le \alpha^2 \cdot R_{p\ \min} \tag{2.4}$$

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

Відповідно до технологічної інструкції [10]:

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

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

$R_{p\ min\ 4}$ = 580/2=290 мм.

Отже величини максимально припустимих обтиснень по куті захвату будуть наступні:

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

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

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

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

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

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

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

Нехай приймемо $E_д$ = 19%

$\Delta h_д = \Delta h_{\sum черн} \cdot E_д = 180 \cdot 0{,}19 = 35$ мм, приймаємо $\Delta h_д = 35$ мм $< h_{max\ д}$

нехай приймемо E_1 =35%

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

нехай приймемо E_2 = 19%

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

нехай приймемо E_3 = 18%

$\Delta h_3 = \Delta h_{\sum черн} \cdot E_2 = 180 \cdot 0{,}18 = 32$ мм, приймаємо $\Delta h_3 = 36$ мм $< h_{max\ 3}$

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

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

Звідси

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

Звідси $$E_4 = \frac{\Delta h_4}{\Delta h_{\sum черн}} \cdot 100 = 10\%$$

Підсумки розрахунків наводимо у табл. 2.1.

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

Таблиця 2.1 – Обтиснення чорнової групи клітей

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

З рівності сталості секундного обсягу й з обліком того, який в неперервні й групі клітей b1h1 = b2h2, отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження. Знаючи, що швидкості прокатки в клітях безперервної групи жорстко зв'язані умовою сталості секундних обсягів і з огляду на той фактор, що ширина штаби у всіх клітях практично однакова, то рівність можна записати:

$$v_1 h_1 = v_2 h_2;$$

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

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

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

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

h_j- товщина штаби на вході в кліть.

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

Швидкість прокатки в кліті № 1 буде дорівнює :

$$V_1 = \frac{\pi \cdot R_1 \cdot n_1}{30} \tag{2.6}$$

де R_1 - радіус робочого валка, м

n_1 - число обертів валка, об/хв

$$V_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}440 \cdot 22{,}2}{30} = 1.02\,м/с; \quad V_д = \frac{h_1 \cdot V_1}{h_д} = \frac{102 \cdot 1{,}02}{165} = 0{,}63\,\text{м/с}$$

Визначаємо швидкості прокатки для другої безперервної підгрупи чорнової групи клітей.

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

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

де R_2- радіус робочого валка, м

n_2 - число обертів валка

$$V_2 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}39 \cdot 25{,}5}{30} = 1.04 \text{ м/с}; \; V_3 = \frac{h_2 \cdot V_2}{h_3} = \frac{67 \cdot 1{,}04}{35} = 1{,}99\,\text{м/с};$$

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

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

$$V = V_в(1+S); \tag{2.7}$$

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

S - випередження

Відповідно до запропонованої Екелундом формули [8]

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

де d - діаметр валків, м

γ - нейтральний кут, радий

h - товщина штаби на виході з валків, м

Нейтральний кут визначимо по залежності:

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

де f - коефіцієнт тертя;

α - кут захвату, радіани.

Кут захвату визначається по формулі:

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

де Δh - абсолютне обтиснення

R - радіус валка, мм.

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

$$\alpha_д = \sqrt{\frac{\Delta h_д}{R_д}} = \sqrt{\frac{35}{405}} = 0{,}293 \text{ радіан;}$$

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

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

Швидкість виходу металу з валків з урахуванням випередження:

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

Для другої підгрупи визначаємо випередження для кліті № 3, 4

Кут захвату для клітей № 3, 4:

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

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

Розміри сляба: H = 0,2 м , B = 1,4 м, L = 7,9 м.

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

2.4 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чорновій групі клітей

Визначаємо середню товщину підкату:

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

де h_i - товщина підкату на вході в кліть, мм

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

$$h_{срд} = \frac{200+165}{2} = 183\,\text{мм};\ h_{ср1} = \frac{165+102}{2} = 134\,\text{мм};$$

$$h_{ср2} = \frac{102+67}{2} = 85\,\text{мм};\ h_{ср3} = \frac{67+35}{2} = 51\,\text{мм};$$

$$h_{ср4} = \frac{35+20}{2} = 28\,\text{мм}.$$

Довжину дуги захвату згідно [8] визначимо за формулою:

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

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

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

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

Визначаємо відношення довжини дуги захвату до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_д}{h_{срд}} = \frac{119{,}05}{183} = 0{,}65;\ \frac{l_1}{h_{ср1}} = \frac{166{,}5}{134} = 1{,}24;$$

$$\frac{l_2}{h_{ср2}} = \frac{116{,}83}{835} = 1{,}37;\ \frac{l_3}{h_{ср3}} = \frac{96{,}33}{51} = 1{,}88;$$

$$\frac{l_4}{h_{ср4}} = \frac{65{,}95}{28} = 2{,}35.$$

Відносне обтиснення по клітях:

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

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

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

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

Згідно даним Целікова [10] для визначення середнього контактного тиску використаються наступні формули.

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

$$P_{ср} = 1{,}15\sigma_T \left(1 + \frac{l_\partial}{6h_{ср\partial}}\right)\left(\frac{l_\partial}{h_{ср\partial}}\right)^{0{,}4}; \qquad (2.14)$$

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

Згідно [8]:

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

де σ_0 - базисний опір деформації,

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

Базисне значення й коефіцієнтів наведені в літературі [11].

Для сталі Ст. 1 σ_0 = 85 МПа

При t = 1120°С κ_t=0,62

E= 21,2% κ_E=1,25

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда [12]:

$$U_{ср\partial} = \frac{V_\partial \cdot \alpha_\partial}{l_\partial}; \qquad (2.16)$$

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

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

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

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі:

$$P = P_{ср} \cdot B \cdot l_{д} \ ; \qquad (2.17)$$

де В - ширина матеріалу, який прокатується, м м

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

Для кліті № 1 при $\frac{l_1}{h_{ср1}} = 1{,}24$

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

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

При $t = 1100^0$C κ_t=0,65; E=61,7% κ_E=1,24

$$U_{ср1} = \frac{V_1 \cdot \alpha_1}{l_1} \ ; \ \alpha = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{63}{440}} = 0.369 \text{ радіан}$$

$$U_{срд} = \frac{1.02 \cdot 0{,}369}{0{,}1665} = 2.31c^{-1} \quad \kappa_u = 0{,}86; \ \sigma_T = 85 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}24 \cdot 0{,}86 = 58{,}91 \text{ МПа};$$

$$P_{ср1} = 1{,}15 \cdot 58{,}91\left(1 + \frac{166{,}5}{6 \cdot 134}\right) = 81{,}77 \text{ МПа}; \ P_1 = 81{,}77 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}1665 = 19{,}06 \text{ МН}.$$

Для кліті №2 при $\frac{l_2}{h_{ср2}} = 1{,}37$

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

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

При $t = 1090^0$C κ_t=0,7; E=52,2% κ_E=1,22

$$U_{ср2} = \frac{V_2 \cdot \alpha_2}{l_2} \ ; \qquad (2.22)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} = \sqrt{\frac{35}{390}} = 0.3 \text{ рад}; \ U_{ср2} = \frac{1{,}04 \cdot 0{,}3}{0{,}11683} = 2{,}67c^{-1} \quad \kappa_u = 0{,}9;$$

$$\sigma_T = 85 \cdot 0{,}7 \cdot 1{,}22 \cdot 0{,}9 = 65{,}33 \text{ МПа}; \ P_{с2р} = 1{,}15 \cdot 65.33\left(1 + \frac{116{,}83}{6 \cdot 85}\right) = 92{,}33 \text{ МПа};$$

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

Для кліті №3 при $\frac{l_3}{h_{ср3}} = 1{,}88$

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

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

При t = 1070^{0}С κ_t=0,75; E=91,4% κ_E=1,21

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

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}} = \sqrt{\frac{35}{385}} = 0.299 \text{ рад; } U_{cp3} = \frac{1{,}99 \cdot 0{,}299}{0{,}09633} = 6{,}17c^{-1} \quad \kappa_u = 0{,}95$$

σ_T=85·0,75·1,21·0,95=73.28 МПа; $P_{cp3} = 1{,}15 \cdot 73{,}28\left(1+\frac{96{,}33}{6 \cdot 51}\right) = 110{,}73$МПа

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

Для кліті №4 при = 2,35. Розрахунок середнього контактного тиску виконуємо по формулі Бровмана [13] тому який >2

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

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

При t = 1060^{0}С κ_t=0,81; E=75% κ_E=1,20

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

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

σ_T=85·0,81·1,20·1,09=90.05 МПа;

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

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

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

ДУО - матеріал валків 50ХН [σ]$_з$= 150 МПа;

Кліть № 1 - матеріал валків 9ХФ [σ]$_з$ = 160 МПа;

Кліть № 2 - матеріал валків 9ХФ [σ]$_з$ = 160 МПа;

Кліть № 3 - матеріал валків високолегований чавун [σ]$_з$ = 90 МПа;

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

Допускні зусилля прокатки для двовалкової кліті згідно [11] розраховуємо по формулі:

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

де d - діаметр валка, м;

a - відстань між осями натискних гвинтів, м;

b - ширина прокатаної штаби, м.

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

$$P_д < [P]$$

Для чотиривалкової кліті допускне зусилля прокатки визначаємо:

1. З умови міцності бочки опорних валків:

$$[P] = \frac{0{,}8d_{оп}^{\ 3} \cdot [\sigma]_{из}}{2a - L_{б.оп}}\ ; \qquad (2.30)$$

де: $L_{б.оп}$ - довжина бочки опорного валка, м;

$d_{оп}$ - діаметр бочки опорного валка, м.

Для сталевих валків 9ХФ:

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

2. З умови міцності шейки опорного валка:

$$[P] = \frac{0{,}4d_{ш.оп}^{\ 3} \cdot [\sigma]_{из}}{L_{ш.оп}}\ ; \qquad (2.31)$$

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

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

$$P < [\text{P}].$$

2.5 Розрахунок крутних моментів прокатки в чорновій групі клітей

Крутний момент, створюваний силоміць Р дорівнює:

$$M_{пр} = P\ a \tag{2.32}$$

де а - плече рівнодіючої сили Р щодо центра валка (рис. 2.1).

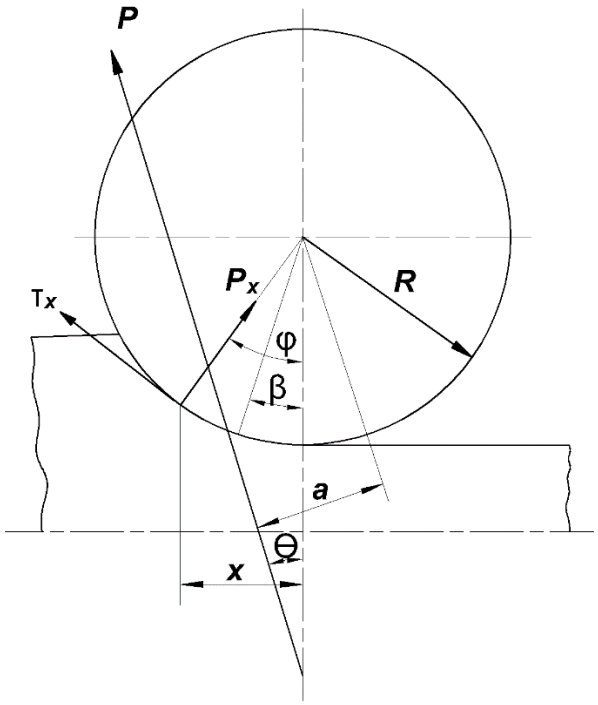


Рисунок 2.1 – Схема дії сил на валок при прокатуванні

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

$$a = \varphi \cdot l\ ; \tag{2.33}$$

де - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки

У такий спосіб:

$$M_{пр} = P\ ;\ _{\varphi \cdot l}\ ^{\circ} \tag{2.34}$$

Згідно експериментальним даним Клименко [12]:

Для кліті "ДУО" при $\frac{l_д}{h_{ср.д}} = 0{,}65$ $\varphi = 0{,}47$

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

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

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

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

Відповідно до вище наведеного:

$M_{пр\,д} = 9{,}87 \cdot 0{,}47 \cdot 0{,}11905 = 0{,}55$ МН·м; $M_{пр\,1} = 19{,}06 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}1665 = 1{,}74$ МН·м;

$M_{пр\,2} = 15{,}09 \cdot 0{,}56 \cdot 0{,}11683 = 0{,}98$ МН·м; $M_{пр\,3} = 14{,}88 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}09633 = 0{,}86$ МН·м;

$M_{пр\,4} = 10{,}21 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}6595 = 0{,}47$ МН· м.

Припустимий крутний момент визначаємо по формулі:

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

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

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

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

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

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

$$M_{пр} < [M_{пр}]$$

2.6 Температурний режим прокатки в чорновій групі клітей

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

або випромінюванням і конвекцією. Розрахунок спаду температури прокатки в чорнових клітях виконаємо використовуючи рівняння [12].

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

де T_0 - температура початку охолодження, до

τ - час охолодження, с

h - товщина штаби, мм

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

$$\tau = \frac{L}{V} \ ; \tag{2.36}$$

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

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

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

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

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

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

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

Температура підкату перед входом у чистову групу становить t =1070°С.

Температура кінця прокатки $t_к$ = 950 °С.

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

$$h_t = \frac{h_n \cdot h_k}{\left(v_t \cdot h_n^m + (1 - v_t) h_k^m\right)^{\frac{1}{m}}}; \qquad (2.37)$$

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

h_n - товщина підкату перед чистовою групою, мм

h_k - кінцева товщина штаби, мм

vi - коефіцієнт завантаження клітей

m - коефіцієнт, який розраховує по емпіричній формулі:

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

Таблиця 2.2 - Режим деформацій у клітях чорнової групи ШСГП 1680

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

Таблиця 2.3 – Режим деформацій у клітях чистової групи ШСГП 1680

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

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

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

Отже:

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

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

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

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

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

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

Абсолютне обтиснення по клітях визначимо за формулою:

$$\Delta h_i = h_0 - h_i \tag{2.38}$$

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

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

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

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

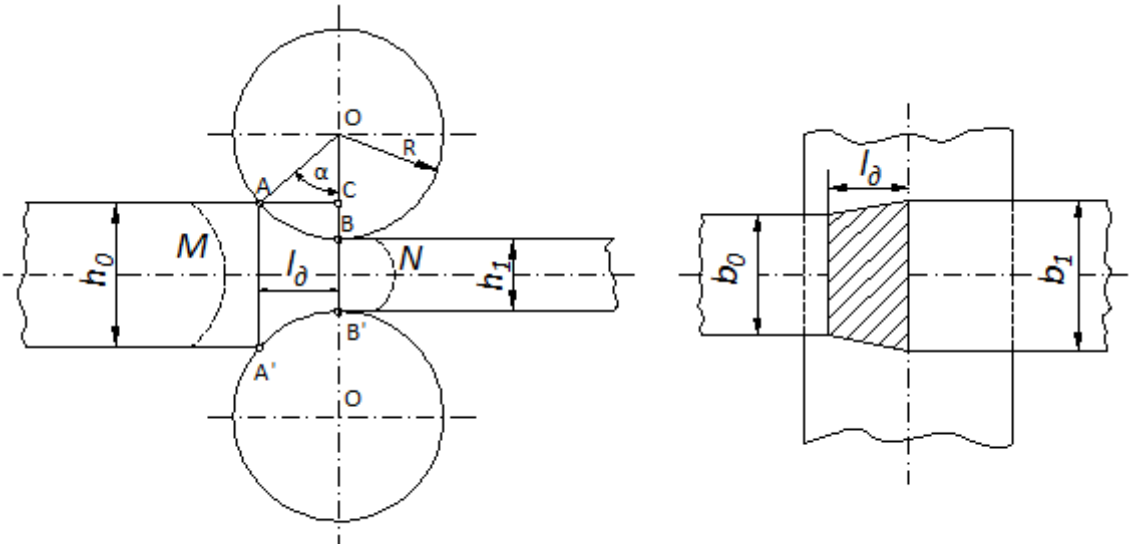
$$\Delta h_9 = 4{,}69 - 3{,}84 = 0{,}85 \text{ мм;} \quad \Delta h_{10} = 3{,}84 - 3{,}2 = 0{,}64.$$

Відносні обтиснення по клітях визначимо за формулою (рис. 2.12):

$$E_i = \frac{\Delta h_i}{h_0} \cdot 100\% \text{ ;} \tag{2.39}$$

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

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



а – поздовжній перетин; б – поперечний перетин

Рисунок 2.2 – Осередок деформування при прокатуванні

З рівності сталості секундного обсягу і з обліком того, який в неперервні й групі клітей b1h1 = b2h2, отримана залежність для розрахунку швидкості прокатки в кожній кліті без обліку випередження.

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

При V10 = 7 м/с отримаємо: м/с

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

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

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

$$V = V_в(1 + S);\qquad (2.41)$$

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

S – випередження

Відповідно до запропонованої Екелундом формули [13]

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

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

h - товщина штаби на виході з валків, м.

Нейтральний кут визначимо по залежності:

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

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

Кут захвату визначається по формулі:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}; \tag{2.44}$$

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

d = 580 мм; отже R = 290 мм.

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

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

Розрахунок коефіцієнта тертя ведемо по формулі Екелунда [11]

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

де t – температура прокатки, ^{0}C.

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

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

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

Підставляючи дані у формулу (2.45) отримаємо:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Підставляючи отримані дані у формулу (2.42) отримаємо випередження:

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

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

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

Тоді швидкість виходу штаби з урахуванням ковзання:

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

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

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

2.8 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки в чистовій групі клітей

Визначаємо середню товщину підкату:

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

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

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

$$h_{ср5}=\frac{20+13,94}{2}=16,97 \text{ мм};\ h_{ср6}=\frac{13,94+10,03}{2}=11,98 \text{ мм};$$

$$h_{ср7}=\frac{10,03+6,75}{2}=8,39 \text{ мм};\ h_{ср8}=\frac{6,75+4,69}{2}=5,72 \text{ мм};$$

$$h_{ср9}=\frac{4,69+3,84}{2}=4,26 \text{ мм};\ h_{ср10}=\frac{3,84+3,2}{2}=3,52 \text{ мм}.$$

Довжину дуги захвату згідно [11] визначимо за формулою:

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

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

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

Визначаємо відношення довжини дуги захвату до середньої товщини підкату:

$$\frac{l_5}{h_{ср5}}=\frac{41,92}{16,97}=2,47;\ \frac{l_6}{h_{ср6}}=\frac{33,67}{11,98}=2,81;\ \frac{l_7}{h_{ср7}}=\frac{30,84}{8,39}=3,67;$$

$$\frac{l_8}{h_{ср8}}=\frac{24,44}{5,72}=4,27;\ \frac{l_9}{h_{ср9}}=\frac{15,7}{4,26}=3,68;\ \frac{l_{10}}{h_{ср10}}=\frac{13,92}{3,52}=3,95.$$

Розрахунок енергосилових параметрів 5-ої кліті:

Для кліті №5 при . Розрахунок середнього контактного тиску виконуємо по формулі Бровмана [11] тому, який >2.

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

де - границя текучості металу, який прокатується.

Згідно [12] $\sigma_T=\sigma_0\cdot k_t\cdot k_E\cdot k_u$; (2.49)

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

Базисне значення σ_0 й коефіцієнтів $k_t\cdot k_E\cdot k_u$ наведені в літературі [12].

Для сталі Ст 1 σ_0 = 85 МПа. При t= 1070 °С k_t =0,81, E = 30,3% k_E=1,21.

Для визначення середньої швидкості деформації застосовуємо формулу Екелунда:

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

Тоді формула (2.50) прийме вид:

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

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

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

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

Вплив натягу штаби на тиск урахуємо додатково за допомогою формули:

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

де Р`$_{ср}$ - середній контактний тиск без врахування натягу штаби, МПа;

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

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

Повне зусилля прокатки визначаємо по формулі:

$$P = P_{cp} \cdot B \cdot l_o ; \qquad (2.53)$$

де В - ширина матеріалу, який прокатується, м.

$$P_5 = 124{,}45 \quad 1{,}4 \quad 0{,}04192 = 7{,}3MH .$$

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

$$M_{пр} = P \cdot a \ ; \qquad (2.54)$$

де а - плече рівнодіючої сили Р щодо центра валка (рис. 2.6).

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

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

де - коефіцієнт плеча моменту або коефіцієнт плеча зусилля прокатки.

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

- коефіцієнт плеча моменту згідно [8] визначимо за формулою:

$$\varphi = 0.498 - 0.028\frac{l}{h_{ср}} \ .$$

Тоді підставляючи чисельні значення у формулу отримаємо:

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

Отже $M_{пр5} = 7{,}3 \cdot 0{,}42 \cdot 0{,}04192 = 0{,}12 МН \cdot м$.

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

Кліть №6:

Натяги δ_0 й δ_1 наведені в [12]:

$\delta_0 = 1{,}7 МПа$

$\delta_1 = 4{,}3 МПа.$

Температуру прокатки визначимо за формулою:

$$t = t_{пк} - \frac{(t_{пк} - t_к)h_к}{h_п - h_к}\left(\frac{h_п}{h} - 1\right); \qquad (2.57)$$

де $t_{пк}$ - температура підкату, °С; $t_к$ - температура кінця прокатки, °С;

$h_п$ - товщина підкату, мм; $h_к$ - товщина кінця прокатки, мм.

$$t_б = 1070 - \frac{(1070-950)3,2}{20-3,2}\left(\frac{20}{10,03}-1\right) \approx 1047^0 C \qquad K_t=0,9$$

E=28% $K_E=1,1$

$$U_{срб} = \frac{2,43 \cdot 0.116}{0,03367} = 7,68c^{-1} \qquad K_u=0,98$$

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

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

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

$P_б = 136,14 \cdot 1,4 \cdot 0,03367 = 6,41МН$; $\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 2,81 = 0,41$.

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

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

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

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

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

$$P'_{ср7} = 1,15 \cdot 102,04(0,75 + 0,25 \cdot 3,67) = 195,67МПа$$

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

$P_7 = 191,17 \bullet 1,4 \bullet 0,0367 = 9,82$ МН

$\varphi = 0,498 - 0,028 \cdot 3,67 = 0,395$; $M_{пр7} = 9,82 \cdot 0,395 \cdot 0,0367 = 0,142мН \cdot м$.

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

$$t_8 = 1070 - \frac{(1070-950)3,2}{20-3,2}\left(\frac{20}{4,69}-1\right) = 995,3^0 C \qquad K_t=1,07$$

E = 30,5% KE=1,18

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

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

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

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

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

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \cdot 4{,}27 = 0{,}378;\ M_{пр8} = 8{,}11 \cdot 0{,}378 \cdot 0{,}02444 = 0{,}07 мН \cdot м.$$

Кліть № 9: $\delta_0 = 9{,}4 МПа$; $\delta_0 = 4{,}6 МПа$

$$t_9 = 1070 - \frac{(1070 - 950)3{,}2}{20 - 3{,}2}\left(\frac{20}{3{,}84} - 1\right) = 973^0 C \qquad K_t=1{,}2$$

E = 18,1% KE=1,02

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

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

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

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

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

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \cdot 3{,}68 = 0{,}394;\ M_{пр9} = 4{,}76 \cdot 0{,}394 \cdot 0{,}0157 = 0{,}029 мН \cdot м.$$

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

$$t_{10} = 1070 - \frac{(1070 - 950)3{,}2}{20 - 3{,}2}\left(\frac{20}{3{,}2} - 1\right) = 950^0 C \qquad K_t=1{,}18$$

E =16,6% K_E=1,0

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

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

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

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

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

$$\varphi = 0{,}498 - 0{,}028 \cdot 3{,}95 = 0{,}38;\ M_{пр10} = 4{,}22 \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}01362 = 0{,}021 мН \cdot м.$$

Підсумки розрахунків наводимо у табл. 2.7.

2.9 Технологія прокатки у вертикальних валках

Вертикальні валки використовуються для бічного обтиснення сляба і вирівнювання бічних крайок штаби, який прокатується згідно з обраної схеми прокатки (рис. 1.5).

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

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

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

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

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

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

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

Приймаємо Е1=0,55 % тоді: .

Приймаємо Е2 = 0,55% тоді: .

Приймаємо Е3 = 0,55% тоді: .

Швидкість прокатки в клітях вертикальних валків повинна бути рівною швидкості заднього кінця штаби при прокатці в клітях з горизонтальними валками й підраховується по формулі [13]:

$$V_{эдж} = \frac{V_{кл} \cdot h_1}{h_0} \ ; \qquad (2.59)$$

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

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

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

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

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

Таблиця 2.4 - Обтиснення вертикальної кліті ШСГП 1680

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

За даними табл. 2.2 і 2.3 на рис. 2.3 – 2.4 зображено режими обтиснень і енергосилові параметри прокатки на стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь».



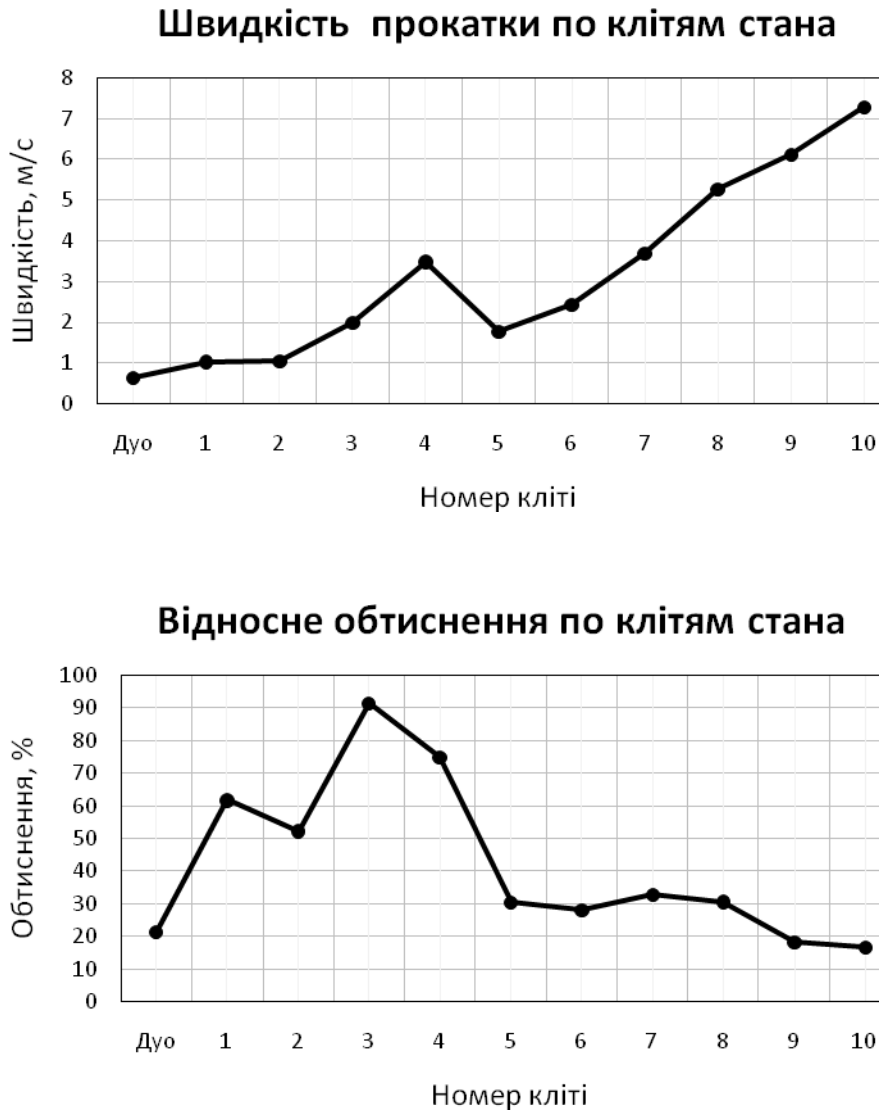


Рисунок 2.3 – Енергосилові параметри прокатки на стані 1680







Продовження Рисунку 2.3

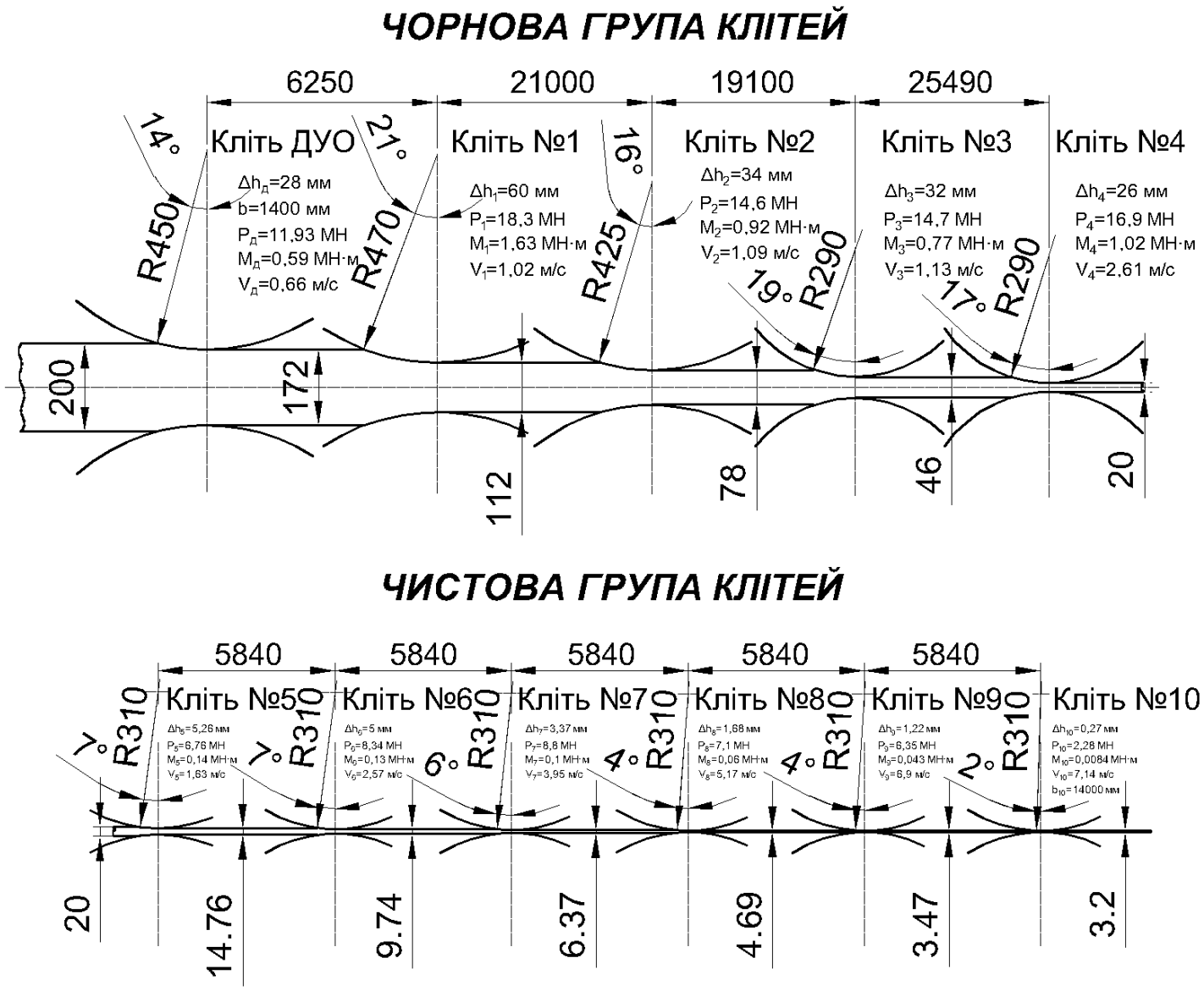


Рисунок 2.4 - Режими обтиснень і енергосилові параметри прокатки на стані 1680 ПАТ «Запоріжсталь»

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

Питанню автоматизації комп'ютерного моделювання присвячена велика кількість робіт [14-17]. Розглядаються можливості автоматизації графічного моделювання в КОМПАС-3D, AutoCAD Mechanical, Autodesk Inventor, ABAQUS тощо, які надають інструменти проектування на основі правил і засобів автоматизації, який прискорюють процес і дозволяють користувачам концентруватися на реалізації проектного задуму, а не на моделюванні геометрії ручним способом. На базі функціональних вимог до виробу, системи САПР автоматично створюють інтелектуальні компоненти, надаючи можливість економити час проектувальника, дозволяють здійснювати перевірку моделей без випробування дослідних зразків.

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

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

3.1 Розрахунок на міцність станини прокатної кліті

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

Станини розраховують на максимальну реакцію Rmax від зусилля прокатки, яка передається на станину через подушки, запобігаючий елемент і натискний механізм. Горизонтальними зусиллями, які діють на станину кліті в момент захвату штаби або при прокатуванні з натяганням, звичайно зневажають [9, 10]. Методика розрахунку залежить від типу станини.

Станини закритого типу

Станину закритого типу розглядають, як жорстку статично невизначену раму, який складається з двох однакових стояків і двох поперечин, які можуть бути прямокутної форми, зі закругленими кутами або напівкруглими (рис. 3.1) [18].

У загальному випадку в станині можна виділити три небезпечні перетини: поперечний перетин нижньої поперечини (див. рис. 3.1, перетин I-I,), поперечний перетин стояка (перетин II-II), поперечний перетин верхньої поперечини (перетин III - III,) і поперечний перетин у місці сполучення стояка з верхньою поперечиною (перетин IY-IY на рис. 3.1, б и в). Типова форма вказаних перетинів зображена на рис. 3.2 [18].

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

Під дією сили Rmax в кутах жорсткої рами виникають статично невизначені згинаючі моменти M0, направлені, як показано на рис. 3.2. Ці моменти згинають стояки станини до середини її вікна, а поперечини – по напрямку дії сили Rmax [15].

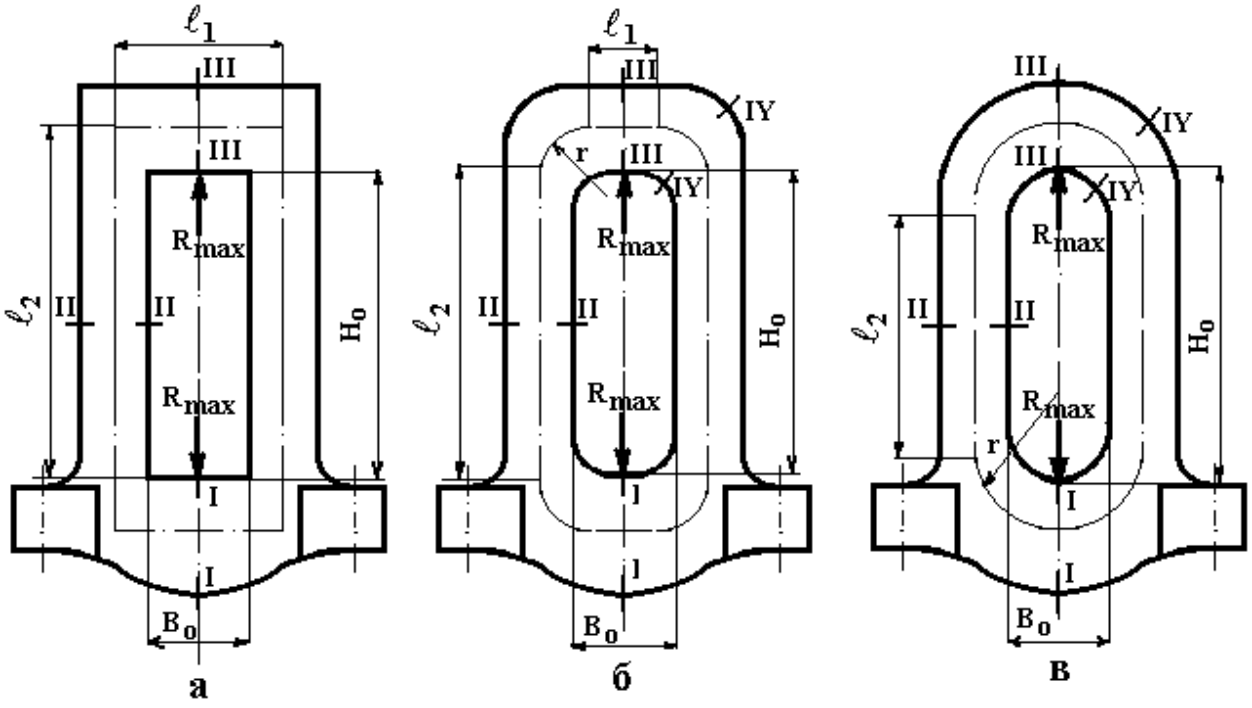


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема станини закритого типу

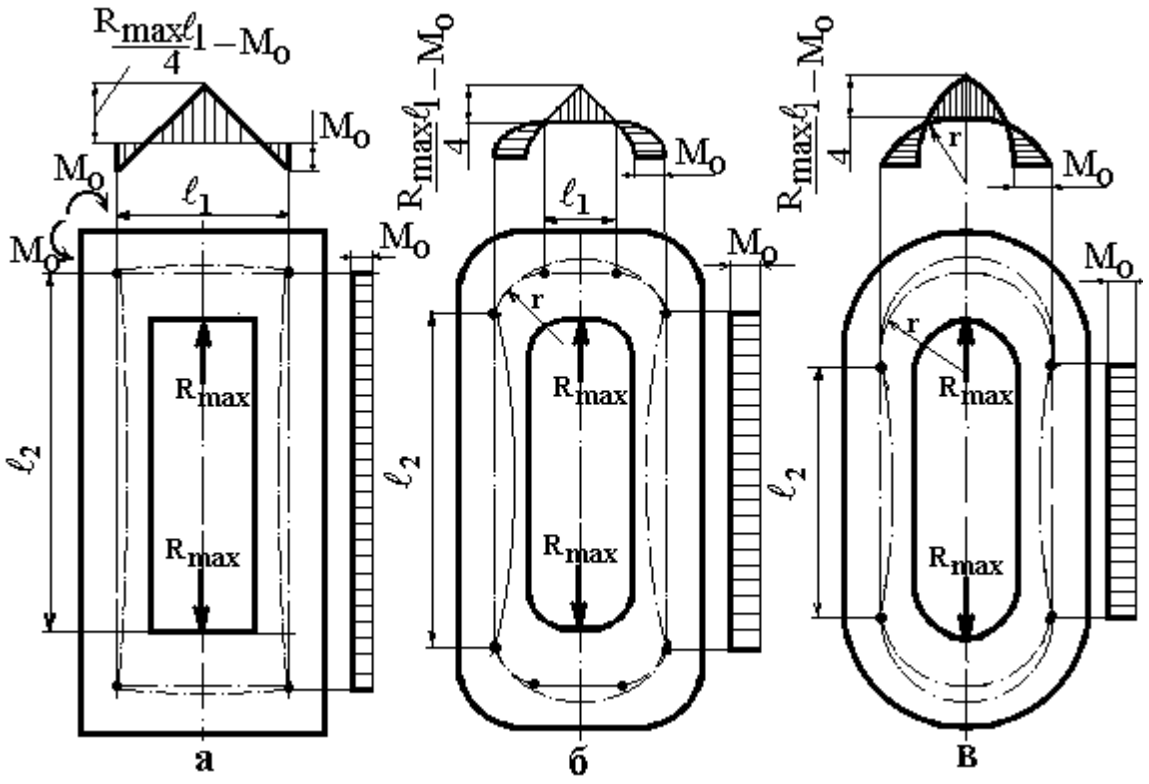


Рисунок 3.2 – Епюри згинаючих моментів в станинах закритого типу

3.2 Жорсткість робочих клітей

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

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

де P – повне зусилля прокатки; fкл – загальна пружна деформація усіх елементів робочої кліті під дією зусилля P.

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

Коефіцієнти жорсткості робочих клітей сучасних прокатних станів змінюються в наступних межах , кН/мм [13, 18]:

дротові	400 - 700,
дрібносортні	600 - 1000,
середньосортні	700 - 1300,
крупносортні	800 - 1600,
товстолистові	4000-7000,
тонколистові гарячої прокатки	4500-8000,
тонколистові холодної прокатки	5500-10000.

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

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

де $f_{вал}$, $f_{п}$, $f_{под}$, $f_{н.у}$, $f_{ст}$, $f_{і}$ - пружна деформація відповідно валків, подушок, підшипників, деталей натискного пристрою, станини та інших елементів (стакана, клинів, підкладок тощо). Методи розрахунків вказаних складових пружної деформації кліті наведені в роботах [12, 18].

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

Виконаємо розрахунок пружної деформації станини згідно з прикладу, наведеному у роботі [12, стор. 82]. Слід зазначити, який розрахунок, наведений у роботі [12 виконано за громіздкими формулами і має досить складний характер. Метою нашого дослідження було застосування комп'ютерного програмного комплексу AutoCAD Mechanical, що значно спрощувало і прискорювало розрахунки [14].

Форма і розміри станини показані на рис. 3.3. Матеріал станини – сталь марки 35Л, для якої модуль пружності приймаємо Е=2.0105 МПа.

Аналіз деформації станини виконується методом скінченних елементів (МСЕ) [16]. Підсумки розрахунків МСЕ можуть бути використані для

удосконалення конструкції станини. Треба мати на увазі, який існують спеціальні задачі, для вирішення яких МСЕ не передбачений. Мета цього методу – надати користувачу уявлення про розподіл напружень і деформацій.

Спочатку потрібно у програмному комплексі AutoCAD Mechanical створити креслення станини прокатної кліті. На рис. 3.4 а подана розрахункова схема станини із зображенням контурів станини і розмірів.

Далі потрібно задати граничні умови у діалоговому вікні «Расчет по МКЭ», зображеному на рис. 3.5. Визначається тип опор і вказуються місця їх розташування, зазначається діюча сила Rmax (див. рис. 3.1, 3.2), яка дорівнює 10 МН, як в прикладі, наведеному у роботі [15, стор. 82]. Вибирається матеріал – сталь С30R+QT, яка є аналогом сталі 35Л і має межу текучості 400 Н/мм2. Задається товщина станини 840 мм, модуль пружності Е=2.0105 МПа, коефіцієнт Пуассона 0,3.

Далі виконується розрахунок деформацій станини, результати якого наведено на рис. 3.4 б, в. Як видно, характер деформації співпадає з літературними даними [12. Деформація у вертикальному напрямку по осі Y склала 0,785 мм (масштабний коефіцієнт рисунку 427,06), який майже співпадає з величиною, отриманою за формулами розрахунковим шляхом – fст = 0,784 мм [12, стор. 84]. Крім того, програма розрахувала деформацію станини і у горизонтальному напрямку по осі X – 0,749 мм. Такий розрахунок у роботі [12] відсутній.

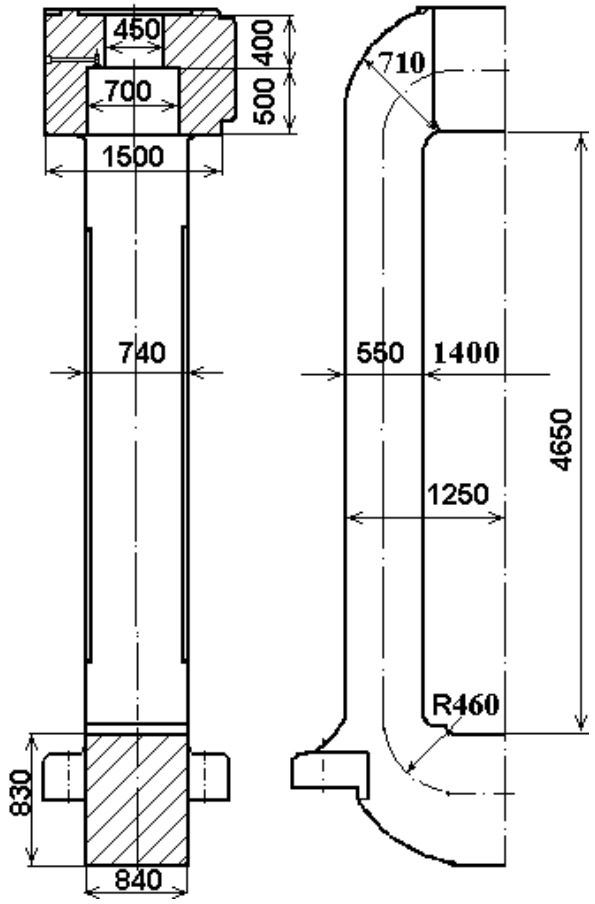
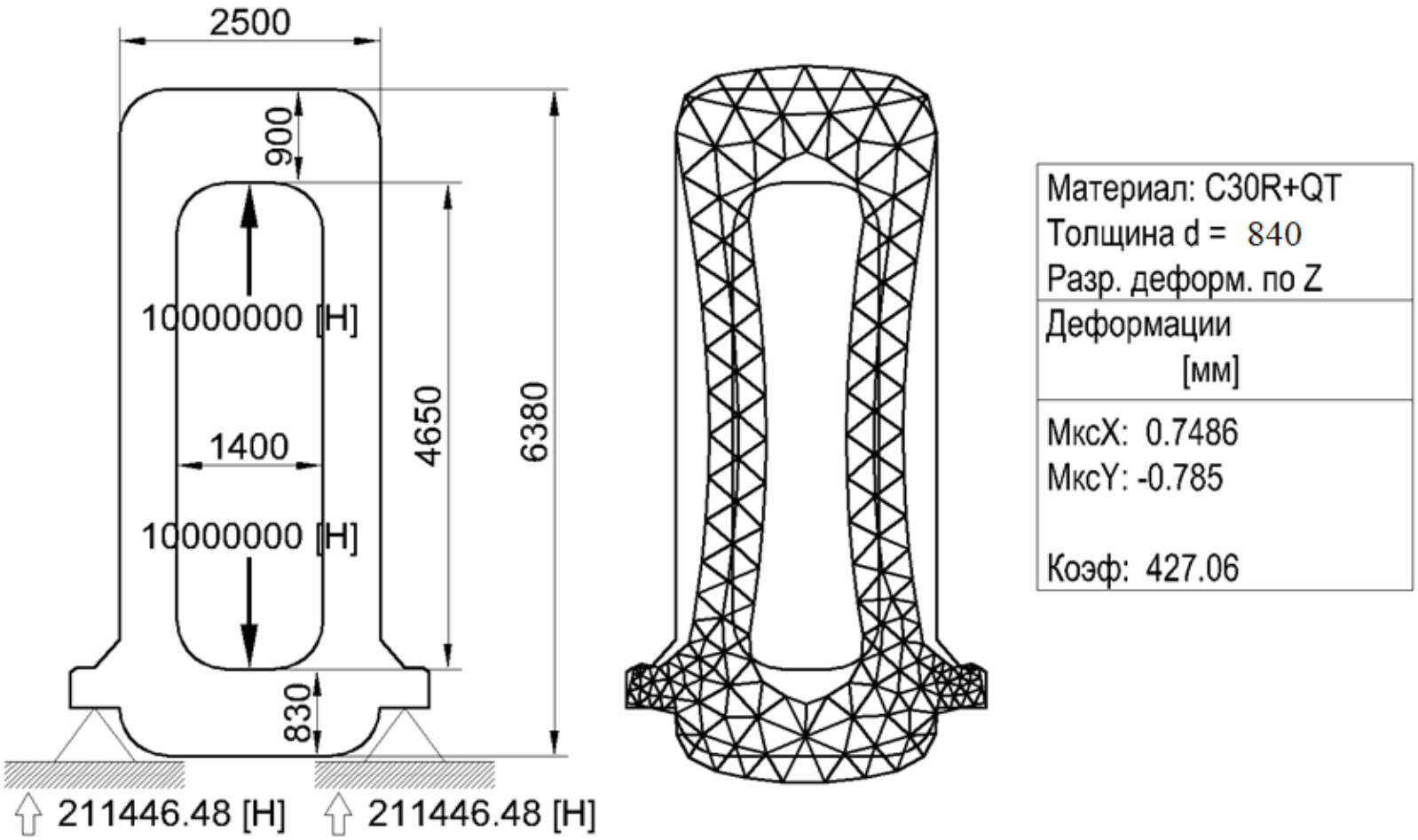


Рисунок 3.3 – До розрахунку пружної деформації станини

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



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

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

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Проблеми охорони навколишнього середовища, пов'язані з виробництвом сталі, включають насамперед такі:

• Викиди в атмосферу

• Тверді відходи

• Стояні води

• Шум

Викиди в атмосферу. На додаток до переходу з виробництвом викидів в атмосферу, який обговорюється нижче, викидати в атмосферу забруднюючі речовини можуть електростанції для звичайних потреб, що працюють на побічному газі (наприклад, на коксовому, доменному та конвертерному газі).

Тверді частинки (ТЧ) можуть утворюватися на кожній стадії технологічного процесу і зберігати різні вмісту мінеральних оксидів, металів (наприклад, миш'яку, кадмію, ртуті, свинцю, нікелю, хрому, цинку та марганцю) та оксидів металів. Їх джерелами можуть бути установки плавлення і рафінування (ДП, КП, ЭДП) і нагрівальні печі (залежно від виду палива); механічні операції (наприклад, зачищення та шліфування) та навантаження/розвантаження матеріалів (наприклад, привід, напрямок, кероване повторне використання та обробка матеріалів та керування продуктами). Додаткові джерела сонячних батарей в атмосфері (ТЧ) можуть бути складуванням, передачею по конвеєру, завантаженням, коксуванням і видачею вугілля, а також гасіння коксу.

Теплові процеси. Викиди в атмосферу важких частинок можуть відбуватися в результаті теплових процесів, включаючи коксування, спікання, обгортання та пряме відновлення.

Установки з коксовими печами включають викид електричного розряду в атмосферу значної кількості пилу. Безперервний викид в атмосферу частинок може призвести до спалаху нижнього потоку газу через трубу горіння. Періодичні та неорганізовані викиди можуть відбуватися з багатьох джерел, включаючи заслінки печей та піддува, засувки та завантажувальні люки. Викиди можуть також відбуватися при видачі, гасінні та сортуванні коксового газу (періодичні викиди) та при переробці коксового газу.

Рекомендовані заходи щодо запобігання та зниження вартості моноблоків з коксових установок включають:

• встановлення витяжних парасольок на коксові батареї;

• ремонт та очищення всіх неорганічних сполук, пов'язаних з коксовою піччю (наприклад, топки печей, заслінок печей, піддуваних печей, засувок та завантажувальних люків, а також ущільнень стояків опоки), необхідних для гарантування нешкідливої та безпечної експлуатації;

• більш ефективне операційне управління для гарантування стабільності операцій, щоб уникнути, наприклад, сирого вибивання;

• міра щодо гарантування "бездимного" завантаження;

• введення системи сухого гасіння коксу;

• установка акумулятора кокса, який не виймається;

• зниження завантаження коксу в доменну піч, включаючи вдування пиловугільного палива.

Агломераційні установки можуть створити найбільшу кількість окремих одиниць на металургійних комбінатах. Викиди в атмосферу з агломераційною установкою спочатку в першу чергу у зв'язку з операціями навантаження/розвантаження матеріалів, які створюють зважені в атмосфері тверді частинки та викликають реакцію горіння на агломераційній стрічці

Рекомендовані заходи щодо запобігання та скорочення кількості батарей в атмосфері з агломераційними установками включають таке:

• Забезпечує часткову або повну рециркуляцію газу, який надходить, агломераційної установки згідно з якості та продуктивності системи агломерації.

• Використання імпульсних систем електростатичних пиловловлювачів (ESP), ESP з рукавними фільтрами або гарантування попереднього видалення пилу (з ESP або циклонами) на додаток до вологих скруберів високого тиску для очищення відпрацьованих газів від пилу. Присутність тонкого пилу, який складається виключно з хлоридів лужних металів та свинцю, може знизити ефективність ЕФ. Окочування ламкості руди (замість агломерації) може призвести до викидів в атмосферу пилу та частинок внаслідок дроблення джерела, із зони випалу на стрічці затвердіння та у зв'язку з операціями сортування та навантаження/розвантаження. Рекомендовані заходи щодо запобігання та скорочення викидів в атмосферу глобальних батарей із встановленням аналогічних наведених вище заходів щодо процесу агломерації.

Операції плавки. Викиди в атмосферу важких частинок із доменної печі (ДП) включають викиди з ливарного цеху (в основному частинок оксиду заліза та графіту) та очищення доменних газів, який виходять з вершин печі. Заходи щодо запобігання та зменшення великогабаритних блоків з доменної печі включають використання систем видалення пилу, у тому числі скруберів і ESP, до вторинного використання відпрацьованого газу

Викид в атмосферу важких частинок з КП, пов'язаний з попередньою обробкою гарячого металу (включаючи транспортування гарячого металу, сіроочищення та видалення шлаку), операціями завантаження, продуванням кисню для вимикання газу та окисленням домішок та операціями з розтину льотки. Рекомендовані заходи щодо запобігання та зменшення кількості батарей у системах КП включають таке:

• використання засобів первинного уловлювання вихідних конвертерних газів, включаючи скрубери Вентурі, із застосуванням методики повного спалювання або без них;

• використання засобів вторинного уловлювання для незалежності газу, який виходить із КП;

• Герметизація ліній розливу металу із встановленими витяжними вентиляторами.

Електродугові печі (ЕДП) уловлюють тверді частинки в процесі плавки, продування киснем і знеуглерожування (викиди в атмосферу первинних газів), а також завантаження і розтину льотки (викиди в атмосферу вторинних газів).

Рекомендовані заходи щодо запобігання та зменшення кількості одиниць вимірювання в одиницях ЕДП включають:

• Швидке охолодження газу, потім проходження рукавних фільтрів. У рукавні фільтри можна помістити поглинач (наприклад, вапно або вугілля) для додаткового видалення летких компонентів.

• Використання прямої екстракції газу, який виходить, герметизації витяжних парасольок і очищення На ділянці лиття (лиття зливків та безперервне лиття) тверді частинки та метали утворюються при транспортуванні розплаву сталі у формі та при різанні виробу на задану довжину з кисневопаливними гірками при безперервному розливанні. Фільтри та інше очисне обладнання повинні бути забезпечені витяжкою, особливо при лиття та прокаті, а також у цеху цеху, якщо це потрібно. Пилоуловлювальні тканинні фільтри та ESP більш ефективно видаляють частинки, а вологий скрубер дозволяє вловлювати і водорозчинні речовини (наприклад, діоксиди [SO)2] та хлориди). Ручні фільтри зазвичай встановлюються зниження температури в плавильному цеху. Часто перед ними ставлять циклони, які виконують роль іскрогасників.

Механічні операції . Зачищення та шліфування можуть призвести до викиду органічних частинок в атмосферу. Фільтри, які вибираються в залежності від конкретних операцій, потрібно забезпечити витяжкою

Тверді відходи та шкідливі продукти Більшість відходів, який залишилися в металургійній промисловості, використовуються повторно для отримання додаткових вигод від різних продуктів, таких як шлак, окалини і пил. Відходи можуть містити шлак від ДП; пил та шлам з очищення доменного газу; тонкий пил із очищенням конвертерного газу; якась частина конвертерного шлаку; вміст металів з високим вмістом хлоридів лужних металів і хлоридів обумовлено останньою стадією електростатичного осадження та очищенням вихідних газів, що надходять із стрічкової агломерації. Зі смолою та іншими органічними речовинами (наприклад, бензолом, толуолом, ксилолом), виділеними з коксового газу на установці, необхідне його очищення. Шлак або залишки шлаку можна продавати як побічний продукт (наприклад, доменний шлак або шлак конвертерний для застосування в цивільному будівництві, дорожньому будівництві і виробництві цементу). Печі ЕДП виробляють шлаки у значній кількості. Якщо повторне використання шлаку з ЕДП виявиться економічним чи технічним невигідним, його слід розмістити разом із пилом з очищенням вихідних газів на полігонах, заданих з урахуванням властивостей шлаку та пилу. При розміщенні відвалів шлаку потрібно враховувати місцеві геологічні умови.

Металеві відходию Металеві залишки та різні продукти в процесах прокатки та обробки (наприклад, зачищену окалину та абразивний шлам, пил від зачистки, окалину з прокатного стану, опади від очищення води та вторинні окалини, шліфувальний шлам, а також масло та мастильно-охолоджувальні процеси). Перед використанням потрібно обробити деякі перехідні продукти (наприклад, масляну забруднену СОЖ, вторинну окалину та шліфувальний шлам з повторним встановленням очисної води).

Сточні водию Запаси, який утворюються в цій галузі, включають, наприклад, правила, воду для охолодження, зливові стоки, воду для промивання і різні види технологічних стоків. Охолоджену воду зазвичай використовують повторно у технологічному процесі. Вода для промивання

може містити зважені тверді речовини (зокрема, що надходить за лічильник змиву пилу), мастильні матеріали та інші забруднюючі речовини, залежно від типу технологічного процесу. Оксид заліза, отриманий в результаті регенерації хлористоводневої кислоти, може використовуватися в ряді галузей промисловості як високоякісна сировина (наприклад, для виробництва феромагнітних матеріалів, залізного порошку або будівельних матеріалів, пігменти, скло та кераміка). Рекомендовані заходи щодо запобігання утворенню стоків охолоджувальної та промивної води включають;

• по можливості слід використовувати сухі методи видалення пилу з технологічного обладнання та з приміщень, а воду для промивання слід збирати і очищати перед її зливом або повторним використанням;

• слід організувати збір розливів та витоків забрудненої води (*наприклад, за допомогою захисних колодязів та дренажних систем)*

Процес прокатк . Стоки з видаленням окалини містять зважені тверді речовини та емульгована олія з грубою окалиною. Очищення стоків відбувається в басейнівідстійнику, в якому тверді речовини, в основному оксиди заліза, осідають у дно басейну, а вибухи на поверхні олії, який містить шар, видаляються за допомогою гребкового механізму і відводяться в систему каналізації. Перед використанням води, що охолоджує, в процесі повторного прокату потрібно зібрати і очистити

Шумю На металургійних комбінатах можуть існувати джерела шуму, такі як навантаження/розвантаження металобрухту та продукції; робота вентиляторів для відпрацьованих газів чи газових продуктів; вентиляторів охолодження в технологічному процесі та витяжок; взагалі робочого ротаційного обладнання; системи видалення пилу; завантаження печей; процес плавки в ЕДП; пальники паливні; операція різкого; процес подачі катанки; а також системи транспортування та вентиляції.

Рекомендовані методи зниження, запобігання та боротьби з шумом включають:

• огородження виробничих будівель та/або ізолювання конструкцій;

• гарантування покриття та огородження ділянок зберігання та навантаження/розвантаження металобрухту, а також листів та слябів;

• аеропортія вентиляційних труб та застосування заслінок;

• використання методу спіненого шлаку в ЕДП;

• обмеження навантаження/розвантаження та транспортування металобрухту у нічний час, якщо це потрібно.

4.2 Засоби захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір захисту виробничої сфери і робочих місць наведені в табл. 4.1.

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

У прокатному цеху застосовується природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі [20, 21].

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

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

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

1ряд – на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд – на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд – на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла і вентиляції, у прольоті стана передбачені витяжні ліхтарі. У літню пору для природної вентиляції використаються

також відкриті ворота. Але оскільки джерел тепла багато (нагрівальна піч, нагрітий метал і т.д.), то передбачена система приточної вентиляції [20, 21].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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

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

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

3. У механічній частині роботи наведено розрахунок на міцність станини прокатної кліті закритого типу.

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Василєв Я. Д., Мінаєв О. А Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.

2. Ніколаєв В.О., Мазур В. Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 320 с.

3. Ніколаєв, В.А. Горяча прокатка листів та штаб. Запорожье : ЗДІА, 2013. 169 с.

4. Клименко, П.Л. Зміцненя сталі та кольорових металів при холодній та гарячій деформації. Днепропетровск : Пороги, 2011. 187 с. ISBN 978 617 518 133 1.

5. Cook, P.M. The real curves, stress rate of deformation for the steels by reduction. The Institution of Mechanion Engineer, 1957. P. 75 77.

6. Середа Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.

7. Середа Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.

8. Sheyko S., Belokon Y., Hrechanyi O., Vasilchenko T. Thermoplastic processing of structural metallic materials. Experiments, theory and modeling. Cham: Springer, 2024. 112 p. ISBN 978-3-031-73895-1. https://doi.org/10.1007/978-3-031-73896-8.

9. Laasraoui A, Jonas J. Prediction of steel flow stresses at high temperature and strain rates. Metall. Trans. A. 1991. No. 22. P. 1545 1558.

10. Moreira A., Junior J., Balancin O. Prediction of Steel Flow Stresses under Hot Working Conditions. Materials Research. 2005. Vol. 8, No. 3. P. 309 315.

11. Яковченко А.В., Пугач А.А., Ивлева Н.І. Аналіз точності відомих методів розрахунку напруга перебігу металу в залежності від хімічного 89 складу сталі. Вестник Приазовского государственного технического университета. 2011. № 2(23). С. 69 80.

12. Голінько В.І. Основи охорони праці. Підручник. М-во освіти і науки України Нац. гірн. ун-т. 2-ге вид. Д.: НГУ, 2014. 271 с.

13. Чернявська В.О., Дуброва Н.Й. Основи безпечної праці. Навч. посіб. для здобувачів проф. (проф.-техн.) освіти. Київ: ТОВ «ПРОПАПІР», 2023. 240 с. ISBN 978-617-95300-0-5.