

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
(перший (бакалаврський) рівень)

на тему Розрахунок режиму прокатування сталі 45 ХНМФА розмірами 4,5×1500 мм на стані 1680

Виконав: студентка 3 курсу, групи 6.1369-омт-с-3

Стипаненко Дар'я Олександрівна

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія

(шифр і назва)

Керівник Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Бєлоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **МТЕТБ**

Ю.О. Белоконь

“ 29 ” 12 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТКИ**

Стипаненко Дар'я Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекта) Розробка режиму прокатування сталі 45 ХНМФА розмірами 4,5×1500 мм на стані 1680

керівник роботи (проекту) Кругляк Дмитро Олегович к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.12.2022 року №1894-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 19.05.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Визначення режиму прокатки штаба 4,5×1500 мм, сталь – 45ХНМФА, стан – ШСГП 1680

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина, Механічна частина, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 12 слайдах (на 12 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Загальна частина</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i>	
<i>Технологічна частина</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i>	
<i>Механічна частина</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент кафедри</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 03.01.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>15.05-21.05.23</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>15.05-21.05.23</i>	
3	<i>Загальна частина</i>	<i>20.03-26.03.23</i>	
4	<i>Технологічна частина</i>	<i>27.03-09.04.23</i>	
4	<i>Механічна частина</i>	<i>10.04-16.04.23</i>	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>17.04-23.04.23</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>04.06.2023</i>	

Студент _____ *Д.О. Стипаненко* _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Д.О. Кругляк* _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	8
1.1 Гаряча прокатка широкоштабової сталі	8
1.2 Прокатка штаб на ШСГП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь»	13
1.3 Головна лінія стана та стисла технічна характеристика робочої кліті	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	23
2.1 Розрахунок параметрів гарячої прокатки штаб	23
2.2 Алгоритми розрахункової частини	27
2.3 Модель розрахунку сили прокатки через крутний момент при гарячому прокатуванні	30
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	83
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	83
3.2 Заходи з поліпшення умов праці	85
3.3 Виробнича санітарія	86
3.4 Заходи з електробезпеки	89
3.5 Заходи з пожежної та техногенної безпеки	90
3.6 Розрахунок повітрообміну у приміщенні	92
4 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ	94
Висновки	95
Перелік джерел посилання	96

ВСТУП

Прокатне виробництво є ключовим у випуску готової продукції чорної металургії. На металургійних підприємствах України експлуатується 11 блюмінгів і слябінгів, 5 заготовочних станів, 1 трубозаготівельний, 2 рейкобалковий, 8 великосортних, 7 середньосортних, 11 дрібносортних, 1 мілкосортний-дротовий, 5 дротових, 5 шаропрокатних, 1 осепрокатний, 1 колесопрокатний, 1 кільцепрокатний, 7 товстолистових станів гарячої прокатки, 2 безперервних широкоштабових стана гарячої прокатки, 1 універсальний, 2 безперервних стана холодної прокатки, 3 одноклітьових стана холодної прокатки, один 20-валковий стан холодної прокатки, 2 безперервних стану для прокатки жерсті. Експлуатовані прокатні стани забезпечують основні потреби внутрішнього ринку марочних і розмірного сортаменту продукції. Ряд станів вже модернізовано та реконструйовано.

Прокатування – це спосіб обробки металів тиском, що полягає в обтисненні їх між обертовими валками прокатних станів. Валки мають форму циліндрів, гладких чи з нарізаними на них заглибленнями (струмками), що при суміщенні двох валків утворюють калібри.

При прокатці метал піддається значної пластичної деформації стиску, завдяки чому руйнується його первинна лита структура й утвориться більш щільна, дрібнозерниста, підвищується якість металу.

Прокатку здійснюють на металургійних і машинобудівних заводах, при цьому одержують прокат – готові вироби або заготовки для наступної обробки куванням, штампуванням, пресуванням (видавлюванням), волочінням або різанням. На прокат переробляють близько 80 % усієї виплавленої сталі та більшу частину кольорових металів і сплавів; його використовують у будівництві, машинобудуванні та металообробці.

Залежно від виду прокат буває сортовий, листовий, трубний, періодичний і спеціальний.

При прокатуванні нагріті або холодні заготовки пропускають між обертовими валками прокатних станів. Є три основні види прокатки: поздовжня (для сортових і фасонних профілів), поперечна і поперечно-гвинтова (для деталей обертання).

Листова сталь є одним з найбільш економічних видів прокатної продукції, з якої виготовляють труби, гнуті профілі; вона широко використовується в машинобудуванні, суднобудуванні, автомобілебудуванні і для виготовлення побутової техніки. Тому в США, Японії і ФРН частка листової сталі в загальному обсязі виробництва складає - 60 - 70%.

За останні роки відбулися істотні зміни в технології та устаткування листопркатного виробництва, спрямовані головним чином на скорочення витрат металу і підвищення якості продукції. В області виробництва слябів практично повністю відмовляються від виробництва їх на слябингах і блюмінгах - слябингах і використовують машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Широке поширення отримали великі толстолистовые стани з довжиною бочки 3600 - 5500 мм для виробництва листів для великотоннажного флоту і труб великого діаметру.

Для прокатки тонколистової сталі в гарячому стані застосовують безперервні стани з новими конструкціями клітей, що забезпечують беспрограмний процес виробництва смуг, пристрої та системи контролю і регулювання точності поперечного і поздовжнього профілів перерізів. На багатьох сучасних широкосмугових станах гарячої прокатки освоєна прокатка смуг товщиною $h = 1,0 - 1,5$ мм, які дешевше подібних смуг, отриманих на станах холодної прокатки. Застосовують ливарно-прокатні комплекси (ЛПК) і агрегати прямий вилівки тонких смуг (до $h = 0,4$ мм). Найбільший розвиток отримало виробництво холоднокатаних смуг. За останнє десятиліття з'явилися принципово нові рішення забезпечення прокатки високоточних і планшетних смуг на станах порулонной і нескінченної прокатки. Впроваджуються суміщені лінії: травлення -

прокатка, відпал ,дресирування , обробка та ін. У сучасному цеху весь процес від початку і до кінця управляється від обчислювальних машин (ІОМ), в які включені локальні системи управління окремими операціями.

Беручи до уваги, що в даний час ще працюють традиційні широкосмугові стани гарячої прокатки, розглянемо останні тенденції вдосконалення технологічних процесів на зазначених станах.

1.ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Гаряча прокатка широкоштабової сталі

На широкоштабових станах прокочують штаби товщиною від 1,0 до 16мм з слябів масою 5 – 40 т. Матеріал штаб - м'яка, низьколегована і легована марки сталі. Для прокатки штабової продукції в гарячому стані використовують реверсивні (універсальні стани, стани Стеккеля), напівбезперервні і безперервні стани різного типу. До сучасних відносять безперервні стани, хоча в певних умовах можуть застосовувати і напівбезперервні стани з однією - двома реверсивними клітьми в чорновій групі. Сляби для прокатки штаб отримують з слябінга або з МБЛЗ. Незважаючи на відмінність конструкцій станів, спільними для них є такі основні технологічні операції:

- прокатка на стані з інтенсивним деформуванням металу;
- охолодження прокатої штаби в душируючих пристроях для поліпшення механічних властивостей і зниження утворення окалини;
- змотування штаби в рулон;
- охолодження рулонів;
- дресирування та оброблення (поперечна і поздовжня);
- упаковка листів і відвантаження споживачеві.

Останнім часом впроваджуються у виробництво технології суміщеного процесу лиття – прокатка, прокатка штаб з тонких слябів, прокатка штаб безпосередньо з рідкого металу.

Частина продукції широкоштабових станів використовується в цехах холодної прокатки для одержання штаб товщиною 0,4 – 2 мм, в цехах для виробництва гнутих профілів і тонкостінних зварних профілів (рис. 1.1). Інша частина гарячекатаного штабового металу (товарний продукт) спрямовується безпосередньо на машинобудівні заводи, будівництво, інші галузі народного господарства.

Листовий прокат є важливим конструкційним матеріалом, застосування якого в усьому світі постійно збільшується. Ця тенденція буде зберігатись ще багато років, так як інші матеріали в осяжному майбутньому не зможуть з ними конкурувати за вартістю, показниками якості, або обсягами виробництва.

В даний час йде інтенсивне технічне переозброєння підприємств, що випускають листовий прокат, з переходом на енергозберігаючі технології, що призводить до зниження собівартості продукції і підвищення її якості.

Широкоштабова сталь виробляється в Україні на двох металургійних комбінатах – ВАТ «Запоріжсталь» (широкоштабовий стан гарячої прокатки 1680, введений в експлуатацію 1938 р. і стани холодної прокатки, введені в експлуатацію в 1937-1963 р. р.) і ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат» (широкоштабовий стан гарячої прокатки 1700, введений в експлуатацію в 1960 р. і безперервний чотирьохкільцевий стан холодної прокатки 1700, введений в експлуатацію в 1963 р.)

Історію розвитку широкоштабових станів гарячої прокатки прийнято ділити на п'ять етапів, а самі стани, відповідно з цим, на п'ять поколінь. Основні характеристики станів різних поколінь наведено в табл. 3.1 [25] (ливарно-прокатний агрегат).

На стані 1680 впроваджена технологія прокатки за схемою «злиток-сляб-рол», проведена заміна двигунів головних приводів клітей чорнової і чистової груп, вдосконалена система прискореного охолодження штаб на відвідному рольгангу, встановлений койлбокс та ін. Реконструкція стану продовжується і в даний час. На ШСГП 1700 1994-1996р.р. спільно з французькою фірмою «Clisim» провели реконструкцію чистової групи клітей. Введення в експлуатацію гідравлічних натискних пристроїв, керованого противозгиба валків і системи їх зсуву поєднувалися з

впровадженням системи автоматичного управління процесом прокатки (АСУТП).

Застосування гідравлічних натискних пристроїв, ефективного противоизгиба валків, осьовий їх зсуву дозволяє суттєво-але

Рис.1.1. Схема вантажопотоку листового металу циклу прокатки: 1 - слябінг або МНЛЗ; 2 - сляби; 3 - складування і зачистка слябів; 4 - зачищені сляби; 5 - транзитна подача слябів; 6 – безперервний широкоштабовий стан (ШСГП); 7 - рулони гарячекатаної штаби; 8 - цех холодного прокату (ШСХП); 9 - обробка (травлення); 10 - рулони гарячекатаної штаби; 11 - цех гнутих профілів; 12 - товарна продукція; 13 - листки; 14 - рулони.

Таблиця 1.1.Розвиток станів гарячої прокатки

Параметри	Покоління станів гарячої прокатки				
	I	II	III	IV	ЛПМ
Період запуску станів	1926-1960г	1960-1970г	1970-1980г	1980г.	1990г.
Продуктивність, млн.т/р	1,5-2,5	3-4	5-6	5-6	< 2,0
Відносна маса рулонів, кг/мм	4-10	16-25	27-35,7	18-25	20-30
Маса рулонів, т	10-15	20-40	39,5-45	20-30	20
Максим. швидкість, м/с	≥2,5	≥1,5	27-34,3	20	≥0,8 до
Товщина штаби, мм	1100-500	1600-2200	≥0,8 до 2300	600-2000	1800
Ширина штаби, мм	0,15	0,15	2300	0,07	≤0,05
Допуск на товщину, мм	0-20	20	0,15	0-12	0-10
Допуск на ширину, мм	6	6	0-20	7	5-7
Число чістових клітей			Катаний і неперервно литий	Неперервно литий	Неперервно литий
Сляб	Катаний	Катаний	ервно литий	но литий	тонкий сляб

Одним з найбільш ефективних технічних рішень, що стабілізує температурні та енергосилові параметри прокатки, є оснащення широкоштабових станів проміжними перемоточними пристроями (Coilbox). Такі пристрої встановлені на 46 станах гарячої прокатки. Підвищення стабільності температурного режиму прокатки та відсутність необхідності вести прокатування з прискоренням зменшує відхилення по товщині штаби приблизно від ± 25 мкм (прокатка без системи Coilbox) до ± 10 мкм (прокатка з системою Coilbox).

В останні роки має місце зростання виробництва гарячекатаних штаб за рахунок введення компактних ливарно-прокатних агрегатів з використанням тонких слябів (50-75 мкм). Застосування новітніх досягнень науки і техніки дозволило досягти високих показників якості прокату, виробленого на таких агрегатах. Наприклад, відхилення по товщині складає $\pm 10 - \pm 5$ мкм. Така технологія із застосуванням сучасних способів виплавки, позапічної обробки і розливання сталі гарантує більш високі і стабільні експлуатаційні властивості прокату порівняно з виробленим прокаткою злитків, розлитих у виливниці.

Обидва широкоштабових стану України до теперішнього часу в якості заготовки використовують сляби, отримані на слябінгу прокаткою із злитків. Широкоштабовий прокат вітчизняного виробництва дещо поступається зарубіжному по точності геометричних розмірів і стабільності механічних властивостей, хоча і відповідає вимогам стандартів, в тому числі і деяких міжнародних. Дані за якістю прокату наведені в таблиці 1.2.

Докорінного підвищення якості гарячекатаних штаб можна досягти такими шляхами.

Рівень і стабільність механічних властивостей:

- перехід на використання безперервнолитої заготовки з застосуванням сучасних способів виплавки, позапічної обробки і розливання сталі;

- оснащення прокатного стану засобами стабілізації та керування температурним режимом прокатки і охолодження (екрани, перемотувальні сучасні пристрої, охолодження штаб перед змоткой у рулони та ін);
- введення систем автоматичного керування температурою прокатки і охолодженням штаб;
- оснащення пристроями для регульованого охолодження рулонів.

Таблиця 1.2. Показники якості гарячекатаного штабового прокату

Назва показників якості	Вітчизняна продукція	Продукція сучасних закордонних станів
Повздовжня різновтовщинність, мм	$\pm 0,16-0,25$	0,01-0,05
Поперечна різновтовщинність, мм	До 0,06-	0,01-0,05
Відхилення від плоскостності, мм/м	0,15	
Відхилення від ширини, мм	До 10-25	6-10
Точність забезпечування температур кінця прокатки і змотування, °С	До +15-30	+5-10
	$\pm 15-30$	$\pm 8-10$
Розподіл значень міцності, Н/мм ²	$\pm 20-50$	$\pm 5-10$
	$\pm 30-75$	± 20

Точність геометричних розмірів та якість поверхні:

- оснащення гідравлічними натискними пристроями горизонтальних валків чорнової групи клітей та чистової клітей групи;
- оснащення сучасними системами автоматичного управління процесом прокатки і регулювання технологічних параметрів з одночасним застосуванням сучасних засобів вимірювання поперечної різновтовщинності, площинності штаб;

- застосування ефективних систем охолодження і управління температурним режимом прокатних валків і сучасних зносостійких матеріалів робочих валків;

- використання сучасного обробного обладнання (згинально-розтяжних пристроїв, дресирувальних клітей та ін)

1.2.Прокатка штаб на ШСГП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь»

В Україні встановлено і працюють два безперервних широкоштабових станів (стан 1680 р. в Запоріжжі і стан 1700 р. в Маріуполі), на яких удосконалюється технологія виробництва штаб, забезпечується отримання штабової сталі з високою якістю поперечного профілю і механічними властивостями металу.

Безперервний стан 1680 гарячої прокатки штаб побудований (рис. 3.2) у 30-тих роках 20-го століття. На цьому стані прокочують штаби товщиною 2,0 – 8 мм, шириною 1000 – 1500мм з маловуглецевих марок сталі. Можлива також прокатка штаб з нержавіючих і легованих марок сталей товщиною $h > 3,5$ мм і шириною $B < 1300$ мм. Заготівлею для табору служать сляби товщиною 120 – 165 мм, масою $G = 5,5$ т і довжиною $L_{\text{сл}} = 4,5 - 4,7$ м, з яких прокочують штаби товщиною $h < 2,5$ мм ($B \leq 1000$ мм), а з слябів масою $G < 15$ т і довжиною $L_{\text{сл}} = 9 - 9,5$ м прокочують штаби товщиною $h > 2,5$ мм.

На стані встановлені п'ять методичних чотирьохзонних печей з гли сажними трубами, з торцевою посадкою і видачею слябів. Печі опалюють сумішшю доменного, коксового та природного газів, калорійністю 1070 - 1350 ккал/м³. Однак у зв'язку з переходом на транзитну (пряму) прокатку слябів використовуються періодично 1 – 2 печі для прокатки зворотних або легованих (нержавіючих) слябів. Довжина печей 31,5 м, ширина 5,22 м. Холодні сляби надходять зі складу на стіл 1 і по рольгангу 2 до печей. Посадка слябів в печі 3, 4 виконується штовхачами 5. Одночасно з печей видаються нагріті сляби на нижній пічний рольганг 6. На поверхні сляби завжди є товстий (4 – 6 мм) шар пічної окалини, взламування якої

провадиться у двухвалковому окалиноломачі 8 при обтисненні сляба на 20 – 25 мм.

В чорновій групі встановлено чотири кліті: кліть 1 з робочими валками діаметром 940 мм і опорними 1320 мм; кліть 2 - з робочими валками діаметром 850 мм і опорними - 1240 мм; кліті 3, 4 – з валками діаметром відповідно 585 – 590 і 1240 мм. Всі опорні валки і робочі валки клітей 1 і 2 виготовлені з сталі марки 9ХФ. У клітях 3 і 4 використовують робочі валки, виготовлені з чавуну з вибіленої поверхнею.

Потужність двигуна клітей з горизонтальними валками дорівнює (кВт): кліть 1 – 6300; 2 – 4 – по 4000 кВт, а окружна швидкість робочих валків клітей 4 $v_4 = 1,9 - 2,53$ м/с. В чорновій групі застосовується безперервна прокатка слябів довжиною 9 – 9,5 м за таким режимом: окалиноломач – кліть 1, кліті 2 – 3 і кліті 3 – 4. Гуркіт виходить повністю з кліті 1 і тільки потім прокочується в групі клітей 2 – 3. У клітях 3 - 4 гуркіт прокочують після виходу з кліті 2. При вході в кліть 1 температура розкату понад 1170 - 1180°C, а по мірі прокатки температура переднього кінця розкату зменшується і за кліттю 4 становить 1080 - 1120°C (розкат подвійної маси). Перепад температури по довжині проміжного розкату 10-15°C.

Максимальні величини обтиснень у кожній кліті встановлюють з урахуванням допустимих кутів захоплення розкату валками, міцності валків і допустимого крутного моменту (див. розділ 1). У відповідності з зазначеними умовами в клітях чорнової групи допустимі відносні обтиснення для вуглецевих і низьколегованих марок сталей рівні (%):

Кліть	[ε]	Кліть	[ε]
1	35 – 37	3	37 – 40
2	37 – 40	4	37 - 40

Менші величини ε ставляться для штаб з шириною $B > 1250$ мм. В клітях з вертикальними валками усувають лише розширення металу в попередній кліті.

Гуркіт, який вийшов з кліті 4, проміжного рольганги довжиною $\sim 65\text{ м}$ проходить летючі ножиці, які відрізають дефектний передній кінець, чистової окалиноломача 13 для злому вторинної (повітряної) окалини і захоплюється робочими валками кліті 5 чистової групи 14. У чистову групу надходять гуркіт завтовшки 20-28мм (гуркіт довжиною 9 – 9,5 м) і довжиною 4 - 4,7 м). При роботі проміжного перемотувального пристрою (ППУ) 11 гуркіт довжиною 9-9,5 м змотують в рулон, а потім передній кінець рулону задають в першу кліть чистової групи. У цьому випадку перед чистовою окалиноломача температура розкату становить 1000-1010 $^{\circ}\text{C}$, а заднього 920-950 $^{\circ}\text{C}$. Після окалиноломача температура розкату знижується на 15-20 $^{\circ}\text{C}$.

В чистовій групі встановлено шість однотипних чотиривалкових клітей (кліті 5 – 10) з початковими діаметрами робочих валків 620мм (кліть №10) (двошарові чавунні валки з вибіленим шаром марки ЛПХНд – (70 – 73) (литі прокатні хромонікелеві з твердістю 70 – 73 HSD – по Шору). Опорні валки з кованої сталі марки 9 ХФ з твердістю поверхні 40 – 45 HSD. Між клітями встановлені ролики петлетримачів, які працюють в період прокатки в клітях переднього кінця штаби. Робочі валки клітей приводяться від двигунів потужністю 7000 кВт з тиристорним керуванням. Максимальна практична швидкість прокатки на кліті 10 становить $v_{10} = 9,2 \text{ м/с}$, а в попередніх клітях окружні швидкості відповідно до закону сталості секундних обсягів металу визначають за виразами

$$v_9 = v_{10} h_{10} / h_9; v_8 = v_{10} h_{10} / h_8; v_7 = v_{10} h_{10} / h_7 \text{ і т. д.}$$

Після захоплення валками кліті 5 передній кінець прокочується в наступних клітях, а після виходу заднього кінця з кліті 5 штаба послідовно виходить з чистової клітей групи. Таким чином, кінцеві ділянки штаби прокочують на стані без натягу, тоді як у сталому процесі (штаба знаходиться у всіх клітях стана) штаба прокочується з невеликим натягом ($\sigma_H = 10\text{--}30 \text{ Н/мм}^2$), що менше напруги течії металу при відповідних температурах. У разі якщо напруга натягу досягне напруги течії, відбувається утяжка штаби по ширині.

В процесі проходження штаби від кліті до кліті, температура металу знижується за рахунок відбору тепла навколишнім середовищем, водою і валками (рис. 3.3). Інтенсивність зниження температури по клітях чистової групи тим більше, чим менше товщина штаби. Мінімальна температура штаби товщиною $h = 2$ мм за кліттю 10 дорівнює $\sim 830 - 850^{\circ}\text{C}$. При вході підкату в кліть 5 температура його переднього кінця максимальна, а температура заднього кінця, який входить в кліть 5 пізніше (через 50-60с), виявляється нижче на $60 - 90^{\circ}\text{C}$ (розкат довжиною 4-4,5 м). Отже, відсутність натягу решт при прокатці і наявність температурного клину по довжині обумовлює зміну товщини штаби по довжині. При цьому товщина кінцевих ділянок буде більше, ніж товщина в середній частині довжини, а товщина заднього кінця – більше переднього кінця, внаслідок меншої температури металу (рис. 3.4) Для зменшення товщини заднього кінця в клітях 5-9 необхідно виконувати додаткове обтиснення кінцевої ділянки в межах 0,05-0,5 мм (більше обтиснення у кліті 5).

На ділянках 2 зміна товщини (високочастотна різнотовщинність) виникає внаслідок биття робочих і опорних валків, що мають діаметральний ексцентриситет, а на ділянках 3 (глісажні мітки) – виникає внаслідок охолодження сляба на глісажних трубах методичних печей, якщо сляби піддаються в них нагріванню. Приблизна різнотовщинність на ділянках штаби (проти номінальної товщини) становить (δh , мм): 1 - 0,05 - 0,08; 2 - 0,03; 3 - 0,04 - 0,05; 4 - 0,1 - 0,2. При транзитній (прямий) прокатки слябів з слябінга ділянки 3 різнотовщинності відсутні, а при наявності койлбокса товщина переднього і заднього кінців штаби зменшуються.

При прокатці штаб застосовують інтенсивні режими деформації (табл. 3.3). Як впливає з табл. 3.3, відносні і абсолютні обтиснення максимальні в чорновій групі клітей

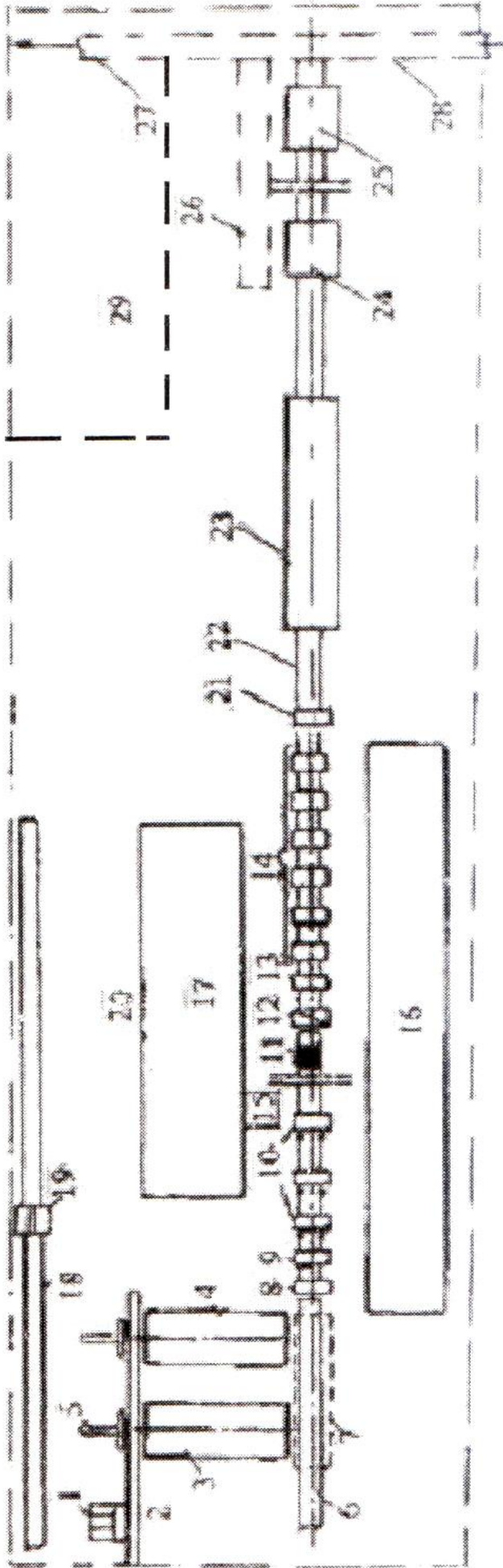


Рис.1.2. Схема розташування обладнання ШСП 1680: 1 – завантажувальний стіл для слябів; 2 – завантажувальний рольганг; 3,4 – нагрівальні печі; 5 – штовхачі слябів; 6 – транзитний рольганг від слябінга; 7 – теплові екрани; 8 – двухвалковый окалинломатель; 9 – перша чорнова кліть кварто; 10 – чорнові кліті з вертикальними валками; 11 – ППУ; 12 – легочі ножиці; 13 – чистовий окалинломатель; 14 – шість клітей кварто (№№ 5-10) чистової групи; 15 – індукційна установка для підігріву робочих валків перед установкою в кліть; 16 – машинний зал; 17 – вальцешліфувальна майстерня; 18 – рейковий шлях від слябінга; 19 – візок; 20 – дільниця верстатів для зачищення поверхонь слябів з якісних марок сталей; 21 – вимірювач розмірів штаби; 22 – відповідний рольганг; 23 – душіруюча установка; 24,25 – моталки; 26 – конвеєр прибирання рулонів; 28 – конвеєр рулонів в ЦХП; 29 – ділянка оброблення рулонів.

і в деяких клітках близькі до максимальних (див. вище). Середня нормальна напруга p_{CP} зростає від 86,7 Н/мм² (кліть 1) до 409 Н/мм² в кліті 8, що обумовлено зменшенням товщини і температури штаби (Ст. 08кп). Максимальна сила прокатки має місце в кліті 5 і становить $P = 16-17$ МН, але не перевищує допустимого значення $[P] = 18,5$ МН по шийці опорного валка.

Товщина штаби після кліті 10 контролюється рентгенівським мікрометром, а площинність візуально. На рольгангу за кліттю 10 штаби, які направляють на холодну прокатку інтенсивно охолоджуються водою в душирующих пристроях, що забезпечує отримання структури металу з рівномірними рівноосними зернами і високою пластичністю.

Частина рулонів по підземному конвеєру направляються в цех холодної прокатки, а інша частина – для дресування і оброблення на аркуші у відділенні цеху гарячої прокатки.

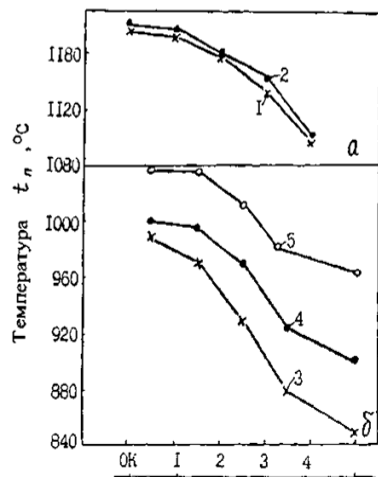


Рис.1.3.Розподіл температур штаби по клітках чорнової і чистої (б) груп ШСГП 1680. Розміри штаби після кліті 4:1-20 x 1200 мм (сляб Н=150 мм); 2-23x1250мм(сляб Н =160 мм). Розмір штаби після кліті 10: 3 - 2x1170 мм ($h_{II} = 20$ мм); 4 - 3x1250 мм ($h_{II} = 23$ мм); 5-4x1400мм ($h_{II} = 25$ мм). Криві 1,3,4,5-дані М. М. Сафьяна; 2–автора [7](нагрів слябів в печах)

1.3 Головна лінія стана та стисла технічна характеристика робочої кліті

Технологічна лінія (ТП) прокатки металу за складом обладнання і виконуваними функціями поділяють на три дільниці:

1. Підготовчу, де вихідні матеріали готуються до обробки тиском тим чи іншим методом прокатки; наприклад, в цехах гарячої прокатки – це нагрівальні печі, в цехах холодної прокатки – це безперервні лінії травлення металу для видалення окалини з поверхні штаб стравлюванням в розчинах кислот.

2. Технологічну ОМТ, як правило це одно- чи багатоклітьовий прокатний стан.

3. Поточно – закінчувальну, наприклад, на станах гарячої прокатки – це відвідні рольганги, душуючі устрої, холодильники, ножиці, моталки і т.ін, де виконуються закінчу вальні операції транзитом в ТЛ стана.

Кожна з цих дільниць важлива, але найбільш складна за складом обладнання і технологією є друга центральна дільниця, а саме – прокатний стан. Кожна із робочих клітей прокатного стану розміщена на своїй головній лінії (рис. 17), яка складається із прокатної кліті 5, електродвигуна 9 і передаточних механізмів: шпинделів 3 і 4, шестерінчастої кліті 6, муфт – 7 і редуктора – 8. [26]

Кліть призначена для прокатки металу поміж валками . Робоча кліть 1, шестерінчаста кліть 6, редуктор 8 і електродвигун 9 установлені і закріплені на фундаментах.

Електродвигуни виконують функцію рушія, утворюючи крутний момент для обертання валків як під час холостого ходу, так і в процесі деформації металу валками. Передавальні механізми не тільки передають значні за величиною крутні моменти і оберти, але й кількісно їх змінюють в процесі передачі від двигуна до валків. Так редуктор збільшує крутний

момент і зменшує оберти; шестерінчаста кліть поділяє крутний момент на частини відповідно до кількості приводних валків, найчастіше надвоє.

Шпинделі призначені для передачі значних крутних моментів при великих обертах під невеликими (до 10^0) кутами перекошування, що дозволяє змінювати розхил поміж валками шляхом підйому чи опускання горішнього валка (валків).

Муфти не тільки з'єднують вали, але й виконують функцію запобіжника, так при аварійних перевантаженнях в головній лінії насамперед руйнуються муфти, міцність котрих розрахована на передачу номінального крутного моменту. Цим запобігають руйнації прокатних валків, шпинделів, шестерінчастих валків, зубчатих колес редуктора. Муфти- найдешевші вузли головної лінії, вони швидко і більш зручно демонтуються, монтуються та замінюються.

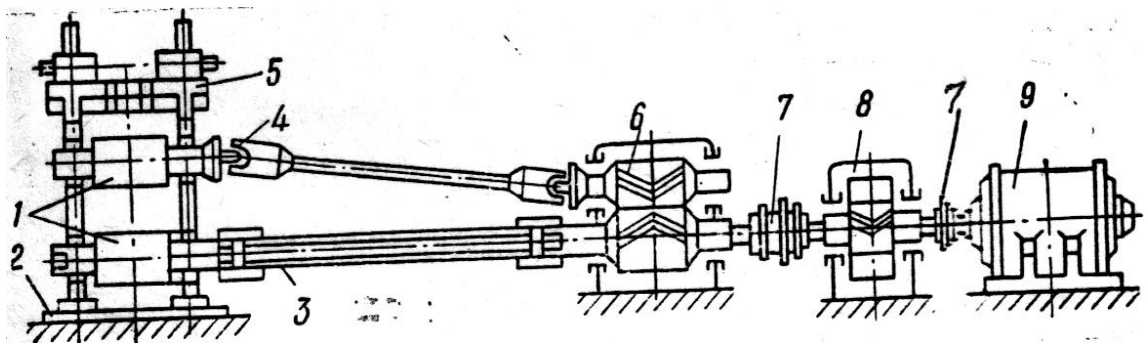


Рисунок 17 . Схема головної лінії прокатного стану: 1 – валки кліті; 2 – плитовина; 3,4 – шпинделі; 5 – кліть; 6 – шестерінчаста кліть; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – електродвигун.

До технічної характеристики прокатної кліті відносять технічні дані робочої кліті, електродвигуна валків і передавальних механізмів, а саме:

- діаметр валків, мм;
- довжина бочки валків, мм;
- діаметр шийки валка, мм;
- довжина шийки валка, мм;

- матеріал валків (сталь, чавун);
- тип підшипників валків (кочення, ковзання);
- тип станини прокатної кліти (закрита, відкрита);
- крок різьби натискних гвинтів, мм;
- максимальний розхил поміж валками, мм;
- конструкція врівноважуючого устрою верхнього валка (вантажове, пружинне);
- потужність головного електродвигуна N , кВт;
- частота обертів електродвигуна, об/хв.;
- кількість ступеней редуктора;
- передавальне число редуктора i ;
- конструкція шестерінчастої кліти (індивідуальна, комбінована);
- конструкція шпинделів (універсальні, тріфкові).

Користуючись даними технохарактеристики можна визначити: номінальний момент електродвигуна $M_{\text{ном}}$:

$$M_{\text{ном}} = \frac{N}{W}, \text{ кНм} \quad (1.1)$$

де N – потужність електродвигуна, кВт;

W – кутова швидкість, рад^{-1} .

$$W = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (1.2)$$

де n – частота обертів електродвигуна.

Частоту обертів валків $n_{\text{в}}$:

$$n_{\text{в}} = n/i \quad (1.3)$$

Момент на шийці валка $M_{\text{в}}$:

$$M_{\text{в}} = M_{\text{ном}} \cdot I \cdot \zeta \quad (1.4)$$

де I – передавальне число редуктора

$\zeta = \text{ККД головної лінії} .$

$$\zeta = \zeta_{\text{шп}} \cdot \zeta_{\text{ш.к}} \cdot \zeta_{\text{р}} \cdot \zeta_5 \quad (1.5)$$

$\zeta_{\text{шп}} = \zeta_{\text{м}} = 0,99$ - відповідно ККД шпинделів і муфт

$\zeta_{\text{ш.к}}=0,92-0,95$ - ККД шестеренчастої кліті

$\zeta_{\text{р}} = 0,95$ (для кожної ступені) – ККД редуктора

Якщо кліть має більше двох валків, то наводяться розміри бочок і шийок опорних і проміжних валків. Для обтискних станів і клітей часто необхідно вказувати максимальну висоту і швидкість підйому верхнього валка.

Взагалі в технічній характеристиці робочої кліті наводяться дані по вузлам; валковому, натискному, врівноважуючому і т.д. [27]

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок параметрів гарячої прокатки штаб

До енергосилових параметрів прокатки відносять силу, крутний момент і потужність прокатки, визначаються за формулами [1]

$$\begin{aligned} P &= p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot l_d, \text{ МН}; \\ M &= P \cdot \psi \cdot l_d, \text{ МН} \cdot \text{м}; \\ N &= 2 \cdot 960 \cdot M \cdot v / R, \text{ кВт}, \end{aligned} \quad (1.1)$$

де P , M , $N_{пр}$ – сила, крутний момент і потужність при пластичній деформації; середнє нормальне контактне напруження (Н/мм^2); B_{cp} – середня ширина штаби (м); l_d – довжина дуги контакту (м); коефіцієнт положення рівнодійної сил в осередку деформації; v – окружна швидкість валків (м/с); R – радіус валків (м).

У формулі (1.1) крутний момент визначається для одного валка.

Для розрахунку зазначених енергосилових параметрів в першу чергу необхідно визначити напруження течії металу, коефіцієнт тертя f і показник тертя f_p , середнє нормальне контактне напруження, а також коефіцієнт положення рівнодійної сил в осередку деформації.

Розрахунок напруги течії металу

Опір деформації металу одно

$$\sigma_{\phi} = \sigma_T \cdot \lambda, \quad (1.2)$$

де напруга течії металу; коефіцієнт Лодє (для прокатки плоских широких смуг; для сортової прокатки металу з розвиненим розширенням).

Напруга течії визначаємо по моделі [1] з урахуванням впливу вмісту в металі хімічних елементів. У загальному випадку напруга течії при деформації одно

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_u, \quad (1.3)$$

де базове напруга течії, визначене при фіксованих (базових) значеннях температури (t), відносного обтиснення (ε) і швидкості деформації (u):

$$\varepsilon = \Delta h / H; \quad u = v \cdot \varepsilon / l_d, \quad (1.4)$$

k_t, k_ε, k_u - коефіцієнти, що враховують вплив температури, відносного обтиснення і швидкості деформації.

Математична модель розрахунку базового напруження течії для різних марок сталей має вигляд:

Для $N_1 \leq 5$ (вуглецеві, конструкційні, інструментальні, низьколеговані сталі)

$$\sigma_{T\bar{0}} = 80 + 25 \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{5 - N_1}{4,5} \right]^{1,8} \right\}; \quad (1.5)$$

для $N_2 > 5$ (леговані, високолеговані сталі)

$$\sigma_{T\bar{0}} = 110 + 38 \cdot \left(\frac{N_2 - 2}{32} \right)^{0,25 \times N_2} \quad (1.6)$$

Таблиця 1.1 Групи сталей для розрахунку напруження течії металу

Група сталі	Метал
I	Вуглицеві та інструментальні 08кп; 08ю; 20; Ст.3; 45; Ст.6; У8 та інш.
II	Леговані та низьколеговані 40Х; ШХ15; 15ХСНД; 14ГН; 12ХН3А
III	20ХНМ; 60ХНГС2М; 35ХНГ2М; 30ХГСА; 18Х2Н4МВА; ХВГ; 60С2
IV	10ХН; 12Х17
V	20Х5НГ2; 15Х5М; 12ХНМФА; 20ХГНМ
VI	18ХГТ; 20ХГНР; 45ХН
	Високолеговані сталі
VII	4Х13; Х16Н5М4; Х17Н2; Х18Н9Т; Х18Н12М2Т; Р18

Де N_1 і N_2 - сума хімічних елементів в даній сталі, % (крім заліза, сірки і фосфору).

Формула поправочного коефіцієнта k_t залежно від температури має вигляд

$$k_t = 1,66 - 1,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^{0,7}, \quad (1.7)$$

де t – температура металу, $^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок коефіцієнтів виконують за формулами табл. 1.2, 1.3

Таблиця 1.2. Формули для розрахунку коефіцієнту k_{ε}

Група сталі	ε	Вираз
I, II	0,025...0,1	$k_{\varepsilon} = 0,8 + 0,2 \cdot [1 - 178 \cdot (0,1 - \varepsilon)^2]$
I, II	>0,1	$k_{\varepsilon} = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - \varepsilon)^2]$
IV	0,025...0,1	$k_{\varepsilon} = 0,7 + 0,3 \cdot [1 - 50 \cdot (0,1 - \varepsilon)^2]$
IV	>0,1	$k_{\varepsilon} = 1 + 0,68 \cdot [1 - 6,6 \cdot (0,5 - \varepsilon)^2]$
III, VI, VII	0,025...0,1	$k_{\varepsilon} = 0,7 + 0,3 \cdot [1 - 50 \cdot (0,1 - \varepsilon)^2]$
III, VI, VII	>0,1	$k_{\varepsilon} = 1 + 0,38 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - \varepsilon)^2]$
V	0,025...0,1	$k_{\varepsilon} = 0,7 + 0,3 \cdot [1 - 50 \cdot (0,1 - \varepsilon)^2]$
V	>0,1	$k_{\varepsilon} = 1,0 + 0,5 \cdot [1 - 9 \cdot (0,5 - \varepsilon)^2]$

Таблиця 1.3. Формули для розрахунку поправочного коефіцієнту k_u

Межі змін $u, \text{с}^{-1}$	Формула для k_u	Група сталі
0,4...10 0,001...0,4	$k_u = 0,38 + 0,065 \cdot (7 + \ell nu)$ $k_u = 0,22 + 0,072 \cdot (7 + \ell nu)$	I, II
0,001...10	$k_u = 0,38 + 0,065 \cdot (7 + \ell nu)$	III – VII
≥ 10	$k_u = 1,03 + 0,1 \cdot ((\ell nu) - 2,3)^{1,5}$ $k_u = 1,03 + 0,11 \cdot ((\ell nu) - 2,3)^{1,05}$	I, II III – V, VII

	$k_u = 1,03 + 0,13 \cdot ((\ln u) - 2,3)^{2,2}$	VI
--	---	----

Розрахунок коефіцієнта тертя

Коефіцієнт тертя розраховується:

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK}; \quad (1.8)$$

$$f_{II} = f \cdot (0,92 + 1,27 \cdot \varepsilon), \quad (1.9)$$

де f_0 – Коефіцієнт тертя; $k_B, k_T, k_M, k_V, k_e, k_{CM}, k_{OK}$ – поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно: матеріал валків, твердість поверхні валків, матеріал штаби, окружну швидкість валків і відносне обтиснення штаби, тип технологічної мастила, вид окалини на поверхні штаби; f_{II} – показник тертя.

Коефіцієнти f_0, k_T и k_V дорівнюють:

$$f_0 = 0,27 - 0,1[(t/400) - 2]^2;$$

$$k_T = 1 + 0,43(1 - HSD/65)^2;$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1,02 - 0,102v)^2 - \text{прив } < 10 \text{ м/с}; \quad (1.10, \text{a})$$

$$k_V = 0,76 \quad - \text{при } v < 10 \text{ м/с}; \quad (1.10, \text{б})$$

Коефіцієнт k_e дорівнює ($\varepsilon \geq 0,1$) $k_e = 0,85 + 0,5 \cdot \varepsilon$,

де t – температура метала, $^{\circ}\text{C}$; HSD – твердість валків по Шору; v – окружна швидкість валків, м/с; ε – відносний обтиск.

Про прокатці з емульсією ($k_{CM}=1,0$) і мінеральним мастилом коефіцієнт $k_{CM} = 0,9$, а з рослиною - $k_{CM} = 0,8$. При прокатці з пічню окалиною $k_{OK} = 0,7$, а с повітряною $k_{OK} = 1,0$.

Розрахунок середнього нормального контактного напруження

Загальне для всіх випадків гарячої прокатки, вираз для розрахунку середнього нормального напруження має вигляд [1].

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot n_{\phi} (1 - a) l_d / h_{cp} \right] \cdot \left[1 + (1 - l_d / h_{cp})^2 \right] \quad (1.12)$$

де σ_{ϕ} – спротив металу деформації ($\sigma_{\phi} = \sigma_T \cdot \lambda$); σ_T – напруження течії металу; λ – коефіцієнт Лоде ($\lambda = 1 - 1,15$); f_{II} – показник тертя;

Для умов прокатки на блюмінгу, заготівельних, великосортних станів, чорнових клітей сортових станів при $l_d / h_{CP} < 1$ і $f_{II} \approx 0,4$ маємо

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,2 \cdot n_{\phi} (1 - a) l_d / h_{cp} \right] \cdot \left[1 + (1 - l_d / h_{cp})^2 \right] \quad (1.13)$$

Для слябінгів, товстолистових станів, чорнових клітей широкоштабових станів при $n_{\phi} = 1$, $a \approx 0$, $l_d / h_{CP} < 1$ отримаємо

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,2 \cdot l_d / h_{cp} \right] \cdot \left[1 + (1 - l_d / h_{cp})^2 \right]. \quad (1.14)$$

Для сортових станів при $l_d / h_{CP} < 1$ маємо

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot n_{\phi} (1 - a) l_d / h_{cp} \right]. \quad (1.15)$$

Для листових (полосових) станів гарячої прокатки ($a \approx 0$)

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]. \quad (1.16)$$

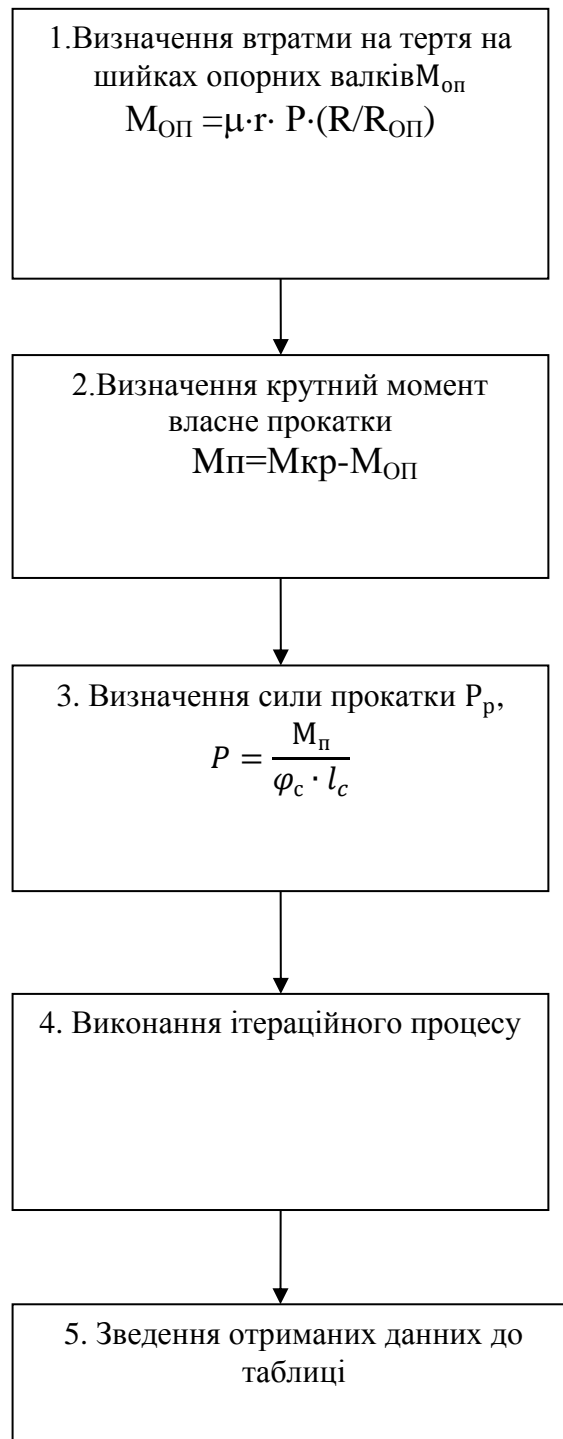
Для полосових станів холодної прокатки

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + C_H f_{II} \cdot l_C / h_{cp} \right], \quad (1.17)$$

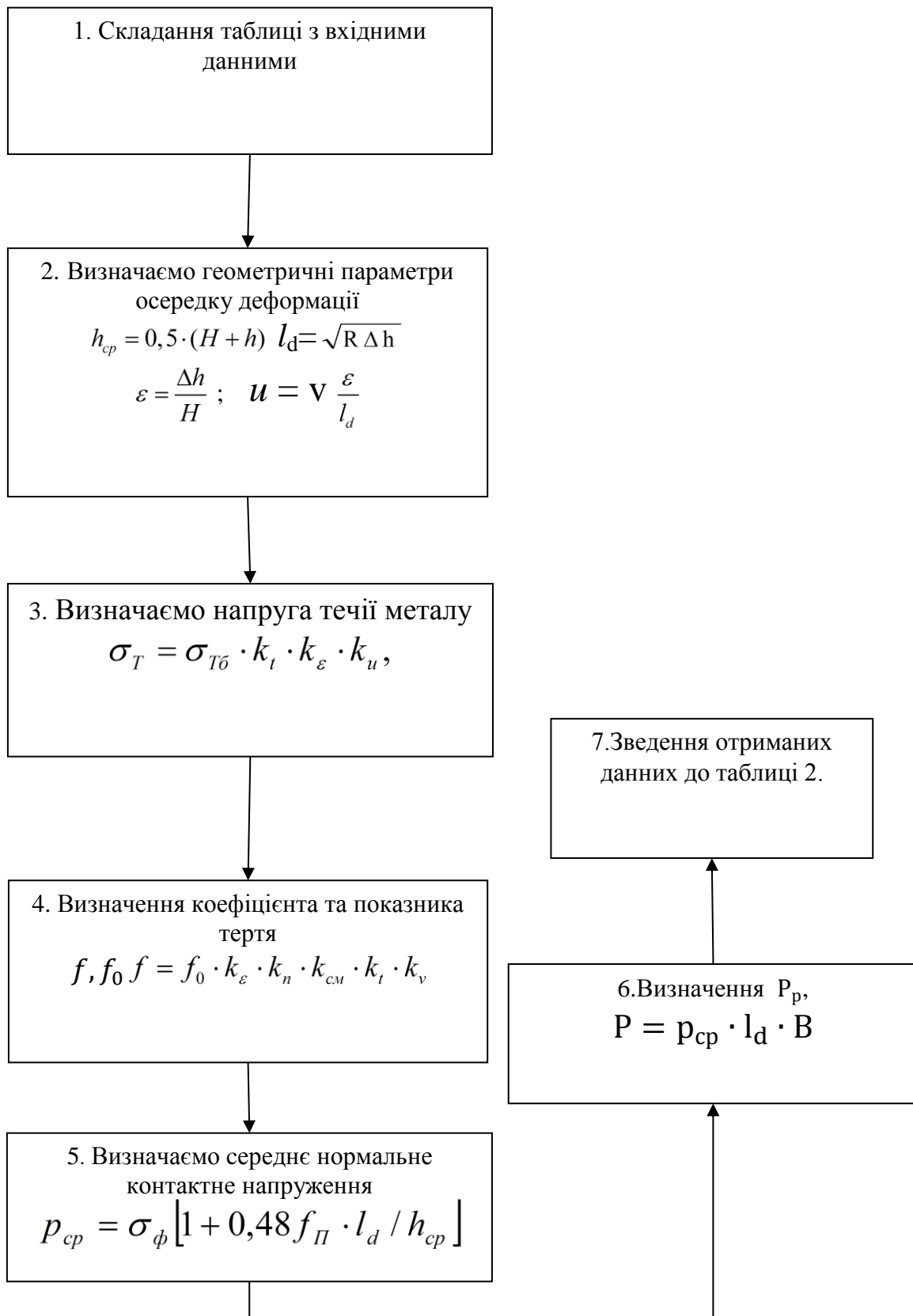
де l_C — довжина дугиконтакту з урахуванням пружної деформації валків та штаби [1].

2.3 Алгоритми розрахункової частини

Визначення крутного моменту прокатки на шийках робочих валків



Алгоритм розрахунку параметрів гарячої прокатки штаб



2.4 Модель розрахунку сили прокатки через крутний момент при гарячому прокатувані.

Таблиця.2.1 Режим обтиску в чистовій групі неперервного стана 1680[24]

Кліть	Товщина проходу, мм	Відносний обтиск, мм	Швидкість прокатки м/с	Мом, На робочих валках кН,м	Потужність ,кВт	Сила прокатки,МН	Середнє нормальне контактне напруження ,МН
Штаба 2,5·1500 мм з розкату 23·1500 мм							
5	11,74	11,26	1,52	742	3960	18,75	210
6	7,6	4,14	2,35	436	4130	14,15	255
7	4,96	2,64	3,6	248	4070	14,86	328
8	3,74	1,22	4,77	177,5	4410	11,6	360
9	2,84	0,93	6,35	123,5	3780	10,26	358
10	2,5	0,31	7,15	67,9	1940	6,12	337

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки для найбільш простого випадку гарячої прокатки штаби 2,5×1510 мм для кліті №5 на широкоштабовому стані 1680 гарячої прокатки[табл.2.1].

Кліть 5

Для отримання точних розрахункових даних по крутному моменту необхідні додаткові дослідження з уточнення розрахунку коефіцієнта плеча моменту і витрат на тертя кочення (ковзання) на контакті робочого і опорного валів для умов прокатки штабової сталі,

У загальному випадку статичний крутний момент прокатки $M_{\text{ПР}}$ на шийках робочих валків визначають з виразу

$$M_{\text{ПР}} = M_{\text{П}} + M_{\text{ТС}} + M_{\text{ОП}}$$

$$M_{\text{П}} = M_{\text{кр}} - M_{\text{ТС}} - M_{\text{ОП}}$$

де $M_{\text{П}}$ - крутний момент власне прокатки; $M_{\text{ТС}}$ - момент тертя кочення – ковзання на межвалковом контакті; $M_{\text{ОП}}$ - момент тертя в підшипниках опорних валків,

Втрати на тертя на шийках опорних валків визначимо за формулою

$$M_{\text{ОП}} = \mu \cdot r \cdot P \cdot (R/R_{\text{ОП}}),$$

$$M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 18,75 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,012 \text{ МН}\cdot\text{м},$$

де μ - коефіцієнт тертя в підшипниках опорних валків ($\mu=0,004$) ; $R_{\text{ОП}}$ - радіус опорного валка; r - радіус шийки опорного валка; R -радіус робочого валка.

Розрахуємо крутний момент власне прокатки за допомогою розрахункового моменту на шийці валка.

$$M_{\text{П}} = 0,37 - 0,012 = 0,359 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

Визначимо силу прокатки:

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,359}{0,45 \cdot 0,059} = 13,52 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 16 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,0104 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,37 - 0,0104 = 0,359 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,359}{0,45 \cdot 0,035} = 13,52 \text{ МН}$$

Кліть 6

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 14,15 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,009 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,218 - 0,009 = 0,209 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,209}{0,45 \cdot 0,035} = 13,26 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 13,26 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,0086 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,218 - 0,0086 = 0,209 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,209}{0,45 \cdot 0,035} = 13,26 \text{ МН}$$

Кліть 7

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 14,86 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,0096 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,124 - 0,0096 = 0,11 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,11}{0,44 \cdot 0,028} = 9,15 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 9,15 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,124 - 0,007 = 0,12 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,12}{0,44 \cdot 0,028} = 9,36 \text{ МН}$$

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 13 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,0084 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,124 - 0,0084 = 0,115 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,115}{0,44 \cdot 0,028} = 9,33 \text{ МН}$$

Кліть 8

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 11,6 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,0075 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,088 - 0,0075 = 0,08 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,08}{0,44 \cdot 0,019} = 9,56 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 9,56 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,006 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,088 - 0,006 = 0,082 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,082}{0,44 \cdot 0,019} = 9,8 \text{ МН}$$

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 10,5 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,0068 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,088 - 0,0068 = 0,081 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,081}{0,44 \cdot 0,019} = 9,68 \text{ МН}$$

Кліть 9

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 10,26 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,0066 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,061 - 0,0066 = 0,055 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,055}{0,43 \cdot 0,017} = 7,52 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 7,52 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,0048 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,061 - 0,0048 = 0,056 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,056}{0,43 \cdot 0,017} = 7,66 \text{ МН}$$

Кліть 10

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 6,12 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,0039 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,033 - 0,0039 = 0,029 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,029}{0,45 \cdot 0,010} = 6,44 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1, M_{\text{оп}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 6,44 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,0041 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{п}} = 0,033 - 0,0041 = 0,028 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{п}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,028}{0,45 \cdot 0,010} = 6,22 \text{ МН}$$

Розрахунок сили прокатки штаби 2,5×1510

Кліть 5

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки з допомогою енергосилових параметрів прокатки.

1. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації, використовуючи формули [1]

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{\text{cp}} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (23 + 11,74) = 17,37 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (305 \cdot 11,26)^{0,5} = 58,12 \text{ мм. ;}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{58,12}{305} = 0,19 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{11,74}{23} = 0,51 (51\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 1520 \cdot \frac{0,51}{58,12} = 13 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T\bar{0}} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,5 - 2)^{0,7} = 1,0;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,51)^2 \right] = 1,42;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(2,56 - 2,3)^{1,5} = 1,04;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,0 \cdot 1,422 \cdot 1,04 = 119,6 \text{ H / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячої прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{1010}{400} - 2 \right)^2 = 0,242 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 2.35)^2 = 1,23$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,3 = 1,0 .$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,242 \cdot 1,0 \cdot 0,927 \cdot 1,23 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,42;$$

$$f_{II} = 0,275(0,92 + 1,27 \cdot 0,3) = 0,66$$

**4. Середнє нормальне контактне напруження
розраховуємо з виразу (1.15)**

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 58,12 / 17,37 = 3,34$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 119,6 \left[1 + 0,48 \cdot 0,354 \cdot 3,34 \right] = 239,4 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 239,4 \cdot 0,059 \cdot 1,51 = 20,74 \text{ МН}$$

Кліть 6

**Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки з допомогою
енергосилових параметрів прокатки.**

**1. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації,
використовуючи формули [1]**

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (11,74 + 7,6) = 9,67 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 4,14)^{0,5} = 35,2 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{35,2}{305} = 0,11 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{4,14}{11,74} = 0,35 (35\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 2350 \cdot \frac{0,35}{35,2} = 23,3 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T\bar{0}} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,45 - 2)^{0,7} = 1,0;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,35)^2 \right] = 1,39;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,14 - 2,3)^{1,5} = 1,1;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,0 \cdot 1,422 \cdot 1,24 = 123,6 \text{ H / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{980}{400} - 2 \right)^2 = 0,25 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 2.35)^2 = 1,23$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,35 = 1,02 .$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 1,02 \cdot 1,23 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,38;$$

$$f_{II} = 0,21(0,92 + 1,27 \cdot 0,35) = 0,52$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 35,2 / 9,67 = 3,64$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 123,6 \left[1 + 0,48 \cdot 0,28 \cdot 3,64 \right] = 243,06 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 243,06 \cdot 0,036 \cdot 1,51 = 13,24 \text{ Мн}$$

Кліть 7

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (7,6 + 4,96) = 6,28 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 2,64)^{0,5} = 28,38 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{28,38}{300} = 0,095 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{2,64}{7,6} = 0,35 (35\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 3600 \cdot \frac{0,35}{28,38} = 44,07 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T\bar{0}} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,37 - 2)^{0,7} = 1,11;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,35)^2 \right] = 1,37;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,78 - 2,3)^{1,5} = 1,21;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,11 \cdot 1,37 \cdot 1,21 = 148,02 \text{ H / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячої прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{950}{400} - 2 \right)^2 = 0,26 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 3,6)^2 = 1,1$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,35 = 1,02 .$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 1,02 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,38;$$

$$f_{II} = 0,38(0,92 + 1,27 \cdot 0,35) = 0,52$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 28,34 / 6,28 = 4,52$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 154,83 [1 + 0,48 \cdot 0,52 \cdot 4,52] = 314,6 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 314,6 \cdot 0,028 \cdot 1,5 = 13,48 \text{ Мн}$$

Кліть 8

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (4,96 + 3,74) = 4,35 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 1,22)^{0,5} = 19,29 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{19,29}{300} = 0,064 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{1,22}{4,96} = 0,25 (25\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 4770 \cdot \frac{0,25}{19,29} = 60,82 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 0,55}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,32 - 2)^{0,7} = 1,16;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,25)^2 \right] = 1,26;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,1 - 2,3)^{1,5} = 1,27;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,16 \cdot 1,26 \cdot 1,27 = 149,64 \text{ H / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{930}{400} - 2 \right)^2 = 0,26 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2,35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 4,77)^2 = 0,98$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,25 = 0,97 .$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,35;$$

$$f_{II} = 0,35(0,92 + 1,27 \cdot 0,25) = 0,43$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 19,29 / 4,35 = 4,43$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 149,64 \left[1 + 0,48 \cdot 0,43 \cdot 4,43 \right] = 285,31 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 285,31 \cdot 0,019 \cdot 1,5 = 8,31 \text{ Мн}$$

Кліть 9

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (3,74 + 2,84) = 3,29 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 0,93)^{0,5} = 16,84 \text{ мм}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{0,93}{3,74} = 0,25 (25\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 6350 \cdot \frac{0,25}{16,84} = 93,75 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{(5 - 0,55)}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,25 - 2)^{0,7} = 1,24;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,25)^2 \right] = 1,26;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,57 - 2,3)^{1,5} = 1,37;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,24 \cdot 1,26 \cdot 1,37 = 172,83 \text{ Н / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{900}{400} - 2 \right)^2 = 0,26 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2,35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 6,35)^2 = 0,87$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,25 = 0,97 .$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 0,97 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,33;$$

$$f_{II} = 0,33(0,92 + 1,27 \cdot 0,25) = 0,41$$

**4.Середнє нормальне контактне напруження
розраховуємо з виразу (1.15)**

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 16,84 / 3,29 = 5,12$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 172,83 \left[1 + 0,48 \cdot 0,41 \cdot 5,12 \right] = 347,72 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 347,72 \cdot 0,017 \cdot 1,5 = 8,84 \text{ МН}$$

Таблиця.2.2 Режим обтиску в чистовій групі неперервного стана 1680[24]

Кліть	Товщина проходу, мм	Відносний обтиск, мм	Швидкість прокатки м/с	Мом, На робочих валках кН,м	Потужність ,кВт	Сила прокатки,МН	Середнє нормальне контактне напруження ,МН
Штаба 3·1500 мм з розкату 25·1500 мм							
5	12,88	12,12	1,54	652,5	3550	13,67	160
6	8,38	4,5	2,37	384	3520	12,12	228
7	5,64	2,74	3,52	240	3640	13,75	322
8	4,19	1,45	4,74	162,8	3380	10,15	320
9	3,22	0,97	6,16	110	2910	10,8	397
10	3	0,22	6,62	51	1270	4,86	340

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки для найбільш простого випадку гарячої прокатки штаби 3×1400 мм для кліті №5 на широкоштабовому стані 1680 гарячої прокатки.

Кліть 5

Для отримання точних розрахункових даних по крутному моменту необхідні додаткові дослідження з уточнення розрахунку коефіцієнта плеча моменту і витрат на тертя кочення (ковзання) на контакті робочого і опорного валів для умов прокатки штабової сталі,

У загальному випадку статичний крутний момент прокатки $M_{\text{ПР}}$ на шийках робочих валків визначають з виразу

$$M_{\text{ПР}} = M_{\text{П}} + M_{\text{ТС}} + M_{\text{ОП}}$$

$$M_{\text{П}} = M_{\text{кр}} - M_{\text{ТС}} - M_{\text{ОП}}$$

де $M_{\text{П}}$ - крутний момент власне прокатки; $M_{\text{ТС}}$ - момент тертя кочення – ковзання на межвалковом контакті; $M_{\text{ОП}}$ - момент тертя в підшипниках опорних валків,

Втрати на тертя на шийках опорних валків визначимо за формулою

$$M_{\text{ОП}} = \mu \cdot r \cdot P \cdot (R/R_{\text{ОП}}),$$

$$M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 13,67 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,009 \text{ МН}\cdot\text{м},$$

де μ - коефіцієнт тертя в підшипниках опорних валків ($\mu=0,004$); $R_{\text{ОП}}$ - радіус опорного валка; r - радіус шийки опорного валка; R - радіус робочого валка.

Розрахуємо крутний момент власне прокатки за допомогою розрахункового момента на шийці валка.

$$M_{\text{П}} = 0,33 - 0,009 = 0,317 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

Визначимо силу прокатки:

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,317}{0,45 \cdot 0,061} = 11,56 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 13 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,008 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,33 - 0,008 = 0,32 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,32}{0,45 \cdot 0,061} = 11,58 \text{ МН}$$

Кліть 6

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 12,12 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,008 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,192 - 0,008 = 0,184 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,184}{0,45 \cdot 0,037} = 11,06 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 11,5 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,192 - 0,007 = 0,185 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,186}{0,45 \cdot 0,035} = 11,08 \text{ МН}$$

Кліть 7

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 13,75 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,009 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,12 - 0,009 = 0,11 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,11}{0,44 \cdot 0,029} = 8,7 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 9 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,006 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,12 - 0,006 = 0,114 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,114}{0,44 \cdot 0,029} = 8,95 \text{ МН}$$

Кліть 8

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 10,15 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,088 - 0,0075 = 0,08 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,08}{0,44 \cdot 0,019} = 9,56 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{OП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 9,56 \left(\frac{300}{600}\right) = 0,006 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,081 - 0,006 = 0,075 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,075}{0,44 \cdot 0,021} = 8,1 \text{ МН}$$

$$1. M_{\text{OП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 8,1 \left(\frac{300}{600}\right) = 0,005 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,081 - 0,005 = 0,076 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,076}{0,44 \cdot 0,021} = 8,24 \text{ МН}$$

Кліть 9

$$1. M_{\text{OП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 10,8 \left(\frac{300}{600}\right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,055 - 0,007 = 0,048 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,048}{0,44 \cdot 0,017} = 6,47 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{OП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 9 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,006 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,055 - 0,006 = 0,049 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,049}{0,44 \cdot 0,017} = 6,63 \text{ МН}$$

Кліть 10

$$1. M_{\text{OП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 4,86 \left(\frac{300}{600}\right) = 0,003 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,026 - 0,003 = 0,023 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,023}{0,46 \cdot 0,008} = 6,07 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{OП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 5 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,003 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,026 - 0,003 = 0,023 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,023}{0,46 \cdot 0,008} = 6,05 \text{ МН}$$

Розрахунок сили прокатки штаби 3×1500

Кліть 5

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки з допомогою енергосилових параметрів прокатки.

1. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації, використовуючи формули [1]

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (25 + 12,88) = 18,94 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (305 \cdot 12,12)^{0,5} = 61 \text{ мм. ;}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{61}{305} = 0,2 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{12,12}{23} = 0,53 (53\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 1520 \cdot \frac{0,53}{61} = 13,35 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,5 - 2)^{0,7} = 1,06;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,53)^2 \right] = 1,43;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(2,56 - 2,3)^{1,5} = 1,04;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,06 \cdot 1,43 \cdot 1,04 = 126,95 \text{ Н / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{970}{400} - 2 \right)^2 = 0,25.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,54)^2 = 1,35$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_e = 0,85 + 0,5 \cdot 0,53 = 1,11.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,11 \cdot 1,06 \cdot 1,35 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,48;$$

$$f_{II} = 0,48(0,92 + 1,27 \cdot 0,53) = 0,76$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 61 / 18,94 = 3,21$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 126,95 \left[1 + 0,48 \cdot 0,72 \cdot 3,21 \right] = 275,75 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 275,75 \cdot 0,061 \cdot 1,4 = 23,47 \text{ МН}$$

Кліть 6

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки з допомогою енергосилових параметрів прокатки.

1. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації, використовуючи формули [1]

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (12,88 + 8,38) = 10,63 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 4,5)^{0,5} = 37,2 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{37,2}{305} = 0,12 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{4,5}{12,88} = 0,35 (35\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 2350 \cdot \frac{0,35}{37,2} = 23,3 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 0,55}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,36 - 2)^{0,7} = 1,12;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,35)^2 \right] = 1,37;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,14 - 2,3)^{1,5} = 1,1;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,12 \cdot 1,37 \cdot 1,11 = 137,17 \text{ Н / мм}^2.$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{945}{400} - 2 \right)^2 = 0,26.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 2.37)^2 = 1,24$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,35 = 1,02.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 1,02 \cdot 1,24 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,44;$$

$$f_{II} = 0,44(0,92 + 1,27 \cdot 0,35) = 0,6$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 37,2 / 10,63 = 3,21$$

$$p_{cp} = \sigma_\phi \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 137,17 [1 + 0,48 \cdot 0,6 \cdot 3,49] = 274,07 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 274,07 \cdot 0,036 \cdot 1,4 = 14,213 \text{ Мн}$$

Кліть 7

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (8,38 + 5,64) = 7,01 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 2,74)^{0,5} = 28,91 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{28,91}{300} = 0,096 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{2,74}{8,38} = 0,48 (48\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 3520 \cdot \frac{0,48}{28,91} = 39,81 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 0,55}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,31 - 2)^{0,7} = 1,17;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,33)^2 \right] = 1,35;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,78 - 2,3)^{1,5} = 1,21;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,17 \cdot 1,35 \cdot 1,21 = 152,83 \text{ Н / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{OK},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{925}{400} - 2 \right)^2 = 0,26.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 3,52)^2 = 1,1$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_e = 0,85 + 0,5 \cdot 0,33 = 1,01.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 1,01 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,41;$$

$$f_{II} = 0,41(0,92 + 1,27 \cdot 0,33) = 0,55$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 28,91 / 7,01 = 4,12$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 154,83 [1 + 0,48 \cdot 0,41 \cdot 4,12] = 322,57 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 322,51 \cdot 0,029 \cdot 1,4 = 13,06 \text{ Мн}$$

Кліть 8

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (5,64 + 4,19) = 4,91 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 1,45)^{0,5} = 21,03 \text{ мм}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{1,45}{5,64} = 0,26 (26\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 4740 \cdot \frac{0,26}{21,03} = 57,95 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,27 - 2)^{0,7} = 1,21;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,26)^2 \right] = 1,27;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,1 - 2,3)^{1,5} = 1,27;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,21 \cdot 1,27 \cdot 1,27 = 158,65 \text{ Н / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячої прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_\varepsilon \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{910}{400} - 2 \right)^2 = 0,26.$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_V при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 4,74)^2 = 0,99$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,26 = 0,98.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,37;$$

$$f_{II} = 0,37(0,92 + 1,27 \cdot 0,26) = 0,41$$

4.Середнє нормальне контактне напруження

розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 21,03 / 4,91 = 4,28$$

$$p_{cp} = \sigma_\phi \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 158,65 [1 + 0,48 \cdot 0,41 \cdot 4,28] = 308,65 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 308,65 \cdot 0,021 \cdot 1,4 = 9,09 \text{ Мн}$$

Кліть 9

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (4,19 + 3,22) = 3,7 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 0,97)^{0,5} = 17,2 \text{ мм}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{0,97}{4,19} = 0,23 (23\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 6160 \cdot \frac{0,23}{17,2} = 82,91 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 0,55}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,23 - 2)^{0,7} = 1,26;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,23)^2 \right] = 1,23;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,54 - 2,3)^{1,5} = 1,37;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,26 \cdot 1,23 \cdot 1,37 = 171,52 \text{ Н / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{895}{400} - 2 \right)^2 = 0,26 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_V при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 6,16)^2 = 0,88$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,23 = 0,97.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 0,88 \cdot 0,97 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,34;$$

$$f_{II} = 0,34(0,92 + 1,27 \cdot 0,23) = 0,41$$

4. Середнє нормальне контактне напруження

розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 17,2 / 3,7 = 4,64$$

$$p_{cp} = \sigma_\phi \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 171,51 [1 + 0,48 \cdot 0,41 \cdot 4,64] = 329,04 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 329,04 \cdot 0,021 \cdot 1,4 = 7,92 \text{ Мн}$$

Таблиця.2.3 Режим обтиску в чистовій групі неперервного стана 1680[24]

Кліть	Товщина проходу, мм	Відносний обтиск, мм	Швидкість прокатки м/с	Мом, На робочих валках кН,м	Потужність ,кВт	Сила прокатки,МН	Середнє нормальне контактне напруження ,МН
Штаба 4,5·1500 мм з розкату 25·1400 мм							
5	14,2	11,8	1,57	558	3150	12,47	154
6	9,4	4,8	2,37	345	3420	11,6	230
7	7,38	3,02	3,5	216	3380	12,1	247
8	5,75	1,63	4,7	182	3720	8,67	262
9	4,7	1,05	6,04	98	2540	8,74	317
10	4,5	0,2	6,37	36	862	4,27	316

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки для найбільш простого випадку гарячої прокатки штаби 4,5×1500 мм для кліті №5 на широкоштабовому стані 1680 гарячої прокатки[табл.2.3].

Кліть 5

Для отримання точних розрахункових даних по крутному моменту необхідні додаткові дослідження з уточнення розрахунку коефіцієнта плеча моменту і витрат на тертя кочення (ковзання) на контакті робочого і опорного валів для умов прокатки штабової сталі,

У загальному випадку статичний крутний момент прокатки $M_{\text{ПР}}$ на шийках робочих валків визначають з виразу

$$M_{\text{ПР}} = M_{\text{П}} + M_{\text{ТС}} + M_{\text{ОП}}$$

$$M_{\text{П}} = M_{\text{кр}} - M_{\text{ТС}} - M_{\text{ОП}}$$

де $M_{\text{П}}$ - крутний момент власне прокатки; $M_{\text{ТС}}$ - момент тертя кочення – ковзання на межвалковом контакті; $M_{\text{ОП}}$ - момент тертя в підшипниках опорних валків,

Втрати на тертя на шийках опорних валків визначимо за формулою

$$M_{\text{ОП}} = \mu \cdot r \cdot P \cdot (R/R_{\text{ОП}}) ,$$

$$M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 12,47 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,008 \text{ МН}\cdot\text{м},$$

де μ - коефіцієнт тертя в підшипниках опорних валків ($\mu=0,004$) ; $R_{\text{ОП}}$ - радіус опорного валка; r - радіус шийки опорного валка; R -радіус робочого валка.

Розрахуємо крутний момент власне прокатки за допомогою розрахункового момента на шийці валка.

$$M_{\text{П}} = 0,279 - 0,008 = 0,271 \text{ МН}\cdot\text{м}$$

Визначимо силу прокатки:

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,271}{0,46 \cdot 0,06} = 9,82 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 11 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,279 - 0,007 = 0,272 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,272}{0,46 \cdot 0,062} = 9,85 \text{ МН}$$

Кліть 6

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 11,6 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,008 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,173 - 0,008 = 0,165 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,165}{0,45 \cdot 0,038} = 9,65 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 11 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,173 - 0,007 = 0,165 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,165}{0,45 \cdot 0,038} = 9,67 \text{ МН}$$

Кліть 7

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 12,1 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,008 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,108 - 0,008 = 0,1 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,1}{0,45 \cdot 0,03} = 7,42 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 11 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,007 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,108 - 0,007 = 0,101 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,101}{0,45 \cdot 0,03} = 7,47 \text{ МН}$$

Кліть 8

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 8,67 \cdot \left(\frac{300}{600}\right) = 0,006 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,091 - 0,006 = 0,085 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,085}{0,44 \cdot 0,022} = 8,82 \text{ МН}$$

Кліть 9

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 8,74 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,006 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,049 - 0,006 = 0,043 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,043}{0,44 \cdot 0,018} = 5,47 \text{ МН}$$

Розрахуємо силу прокатки за допомогою ітераційного методу.

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 7 \cdot \left(\frac{300}{600} \right) = 0,005 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{П}} = 0,049 - 0,005 = 0,044 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,044}{0,44 \cdot 0,018} = 5,61 \text{ МН}$$

Кліть 10

$$1. M_{\text{ОП}} = 0,004 \cdot 0,325 \cdot 4,27 \left(\frac{300}{600} \right) = 0,003 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$2. M_{\text{П}} = 0,018 - 0,003 = 0,015 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$3. P = \frac{M_{\text{П}}}{\psi \cdot l_d} = \frac{0,015}{0,47 \cdot 0,008} = 4,05 \text{ М}$$

Розрахунок сили прокатки штаби 3×1500**Кліть 5**

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки з допомогою енергосилових параметрів прокатки.

1. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації, використовуючи формули [1]

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (25 + 14,2) = 19,6 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (305 \cdot 11,8)^{0,5} = 60 \text{ мм. ;}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{60}{305} = 0,2 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{11,8}{23} = 0,51(51\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 1570 \cdot \frac{0,51}{60} = 13,43c^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 H / мм^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,75 - 2)^{0,7} = 0,96;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,51)^2 \right] = 1,43;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(2,53 - 2,3)^{1,5} = 1,04;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 0,96 \cdot 1,43 \cdot 1,04 = 115,49 H / мм^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{1010}{400} - 2 \right)^2 = 0,24 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,57)^2 = 1,34$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_{\varepsilon} = 0,85 + 0,5 \cdot 0,51 = 1,11.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,24 \cdot 1,11 \cdot 1,2 \cdot 1,34 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,43;$$

$$f_{II} = 0,43(0,92 + 1,27 \cdot 0,51) = 0,68$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 60 / 19,6 = 3,06$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 115,49 \left[1 + 0,48 \cdot 0,68 \cdot 3,06 \right] = 230,74 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 230,74 \cdot 0,06 \cdot 1,4 = 19,38 \text{ МН}$$

Кліть 6

Розглянемо алгоритм розрахунку сили прокатки з допомогою енергосилових параметрів прокатки.

1. Визначаємо геометричні параметри осередку деформації, використовуючи формули [1]

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (14,2 + 9,4) = 11,8 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = (300 \cdot 4,8)^{0,5} = 38,2 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{38,2}{305} = 0,12 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{4,8}{14,2} = 0,34 (34\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 2370 \cdot \frac{0,34}{38,2} = 20,94 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[\frac{(5 - 0,55)}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,46 - 2)^{0,7} = 1,02;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,34)^2 \right] = 1,36;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,14 - 2,3)^{1,5} = 1,1;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,02 \cdot 1,36 \cdot 1,11 = 123,98 \text{ Н / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячої прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури метал:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{985}{400} - 2 \right)^2 = 0,25 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_V при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 2.37)^2 = 1,24$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,34 = 1,02.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 1,02 \cdot 1,24 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,38;$$

$$f_{II} = 0,38(0,92 + 1,27 \cdot 0,34) = 0,52$$

4. Середнє нормальне контактне напруження

розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 38,2 / 11,8 = 3,24$$

$$p_{cp} = \sigma_\phi \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 123,98 \left[1 + 0,48 \cdot 0,52 \cdot 3,24 \right] = 223,76 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 223,76 \cdot 0,038 \cdot 1,4 = 11,99 \text{ Мн}$$

Кліть 7

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (9,4 + 6,38) = 7,89 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = (300 \cdot 3,02)^{0,5} = 30,35 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{l_d}{R} = \frac{30,35}{300} = 0,106 \text{ рад.}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{3,02}{9,4} = 0,32 (32\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 3850 \cdot \frac{0,32}{30,35} = 37,05 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ Н / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,41 - 2)^{0,7} = 1,07;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,32)^2 \right] = 1,21;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(3,78 - 2,3)^{1,5} = 1,21;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,07 \cdot 1,27 \cdot 1,27 = 140,47 \text{ Н / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при

гарячої прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{945}{400} - 2 \right)^2 = 0,25 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_V при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 3,5)^2 = 1,11$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,32 = 1,01.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 1,01 \cdot 1,11 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,36;$$

$$f_{II} = 0,36(0,92 + 1,27 \cdot 0,32) = 0,48$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 30,36 / 7,89 = 3,85$$

$$p_{cp} = \sigma_\phi \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 140,47 \left[1 + 0,48 \cdot 0,48 \cdot 3,85 \right] = 265,36 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 265,26 \cdot 0,03 \cdot 1,4 = 11,27 \text{ Мн}$$

Кліть 8

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (6,38 + 4,75) = 5,56 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 1,63)^{0,5} = 22,3 \text{ мм}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{1,63}{6,38} = 0,26(26\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 4700 \cdot \frac{0,26}{30,35} = 53,85 c^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T\bar{0}} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 H / мм^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,36 - 2)^{0,7} = 1,12;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,26)^2 \right] = 1,27;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,1 - 2,3)^{1,5} = 1,27;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,12 \cdot 1,27 \cdot 1,27 = 145,99 H / мм^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{945}{400} - 2 \right)^2 = 0,25 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 4,7)^2 = 0,99$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_{\varepsilon} = 0,85 + 0,5 \cdot 0,26 = 0,98.$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,33;$$

$$f_{II} = 0,33(0,92 + 1,27 \cdot 0,26) = 0,42$$

4. Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 22,3 / 5,56 = 4,01$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 145,99 [1 + 0,48 \cdot 0,42 \cdot 4,01] = 262,71 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 262,71 \cdot 0,022 \cdot 1,4 = 8,2 \text{ Мн}$$

Кліть 9

Середня товщина штаби в осередку деформації

$$h_{cp} = 0,5 \cdot (H + h) = 0,5 \cdot (4,75 + 3,7) = 4,22 \text{ мм}$$

Довжина дуги і кут контакту штаби з валками

$$l_d = \sqrt{R \Delta h} = (300 \cdot 1,05)^{0,5} = 17,9 \text{ мм}$$

Відносне обтиснення і швидкість деформації

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H} = \frac{1,05}{4,75} = 0,22 (22\%);$$

$$u = v \frac{\varepsilon}{l_d} = 6040 \cdot \frac{0,22}{17,9} = 74,61 \text{ с}^{-1}.$$

2. Визначаємо напруга течії металу за формулами

(1.1)-(1.5) і табл. 1.1 – 1.3. Маємо:

$$N_1 = 0,08 + 0,01 + 0,38 + 0,02 + 0,06 = 0,55\% ;$$

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left\{ 1 - \left[(5 - 0,55) / 4,5 \right]^{1,8} \right\} = 80,89 \text{ H / мм}^2 ;$$

$$k_t = 1,66 - 1,1(2,31 - 2)^{0,7} = 1,17;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,23)^2 \right] = 1,22;$$

$$k_u = 1,03 + 0,1(4,54 - 2,3)^{1,5} = 1,37;$$

$$\sigma_T = 80,89 \cdot 1,17 \cdot 1,22 \cdot 1,37 = 157,9 \text{ H / мм}^2 .$$

3. Визначаємо коефіцієнт і показник тертя при гарячій прокатки [1] за формулою (1.8)

$$f = f_0 \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_e \cdot k_{CM} \cdot k_{ok},$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, що залежить від температури металу

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \cdot \left(\frac{925}{400} - 2 \right)^2 = 0,26 .$$

При твердості валків 70 HSD маємо:

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1,0$$

Коефіцієнт k_v при $v = 2.35$ м/с з формули (1.10):

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 6,04)^2 = 0,89$$

Для відносного обтиснення маємо:

$$k_\varepsilon = 0,85 + 0,5 \cdot 0,23 = 0,96 .$$

Для вироблених (зношених) валків маємо $k_B \approx 1,2$, для штаби з сталі 08кп - $k_M = 1,0$; при прокатці штаби з вторинної окалиною $k_{OK} = 1,0$; при охолодженні водою валків $k_{CM} = 1,0$

Тоді коефіцієнт тертя з формули (1.8), а показник тертя з формули (1.9) дорівнюють:

$$f = 0,25 \cdot 1,0 \cdot 0,89 \cdot 0,96 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,31;$$

$$f_{II} = 0,31(0,92 + 1,27 \cdot 0,23) = 0,38$$

4. Середнє нормальне контактне напруження

розраховуємо з виразу (1.15)

$$\text{для } l_d / h_{cp} = 17,9 / 4,22 = 4,24$$

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} \left[1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d / h_{cp} \right]$$

$$p_{cp} = 157,9 \left[1 + 0,48 \cdot 0,38 \cdot 4,24 \right] = 278,38 \text{ Н / мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B$$

$$P = 278,38 \cdot 0,018 \cdot 1,4 = 6,97 \text{ Мн}$$

Далі, аналогічно алгоритму, виконуємо розрахунок енергосилових параметрів прокатки штаби та визначення крутячого моменту прокатки на шийках робочих валків відповідно до представлених марок сталі.

Отримані дані зведені в таблиці.

Таблиця.2.4 Розрахункові данні Р при при прокатці штаби 2.5·1500 через енергосилові параметри і момент прокатки, $N_1 = 0,55 \% \sigma_{T\delta} = 80,89$.

Кліть	ϵ	U, c^{-1}	$\sigma_T, H/mm$	f	$\rho_{cp}, H/mm^2$	Р экс.	Р, МН	Р _М МН
5	0,49	12,70	115,50	0,43	0,66	18,75	20,74	13,52
6	0,35	23,32	126,59	0,38	0,52	14,15	13,24	13,26
7	0,35	44,07	148,02	0,34	0,47	14,86	13,48	9,33
8	0,25	60,82	149,64	0,30	0,37	11,6	8,31	9,68
9	0,25	93,75	172,83	0,27	0,33	10,26	8,84	7,66
10	0,11	80,26	145,97	0,24	0,25	6,12	3,41	6,22

Таблиця.2.5 Розрахункові данні Р при прокатці штаби 3·1500 через енергосилові параметри і момент прокатки, $N_1 = 0,55 \% \sigma_{T\delta} = 80,89$.

Кліть	ε	U, c^{-1}	$\sigma_T, H/mm$	f	$\rho_{cp}, H/mm^2$	Р экс.	Р, МН	P_M МН
5	0,53	13,35	126,95	0,45	267,90	13,67	23,47	11,58
6	0,35	22,35	137,17	0,39	259,47	12,12	14,21	11,08
7	0,33	39,81	154,83	0,35	297,87	13,75	13,06	8,95
8	0,26	57,95	158,65	0,30	282,17	10,15	9,09	8,24
9	0,23	82,91	171,52	0,27	296,74	10,8	7,92	6,63
10	0,07	55,22	131,31	0,24	171,65	4,86	2,12	6,05

Таблиця.2.6 Розрахункові данні Р при прокатці штаби 4,5·1500 через енергосилові параметри і момент прокатки, $N_1 = 0,55\%$ $\sigma_{T\bar{0}} = 80,89$.

Кліть	ε	U, c^{-1}	$\sigma_T, \text{H/mm}$	f	$p_{cp}, \text{H/mm}^2$	Р экс.	Р, МН	Р _М МН
5	0,53	13,35	126,95	0,45	267,90	12,47	18,99	9,85
6	0,35	22,35	137,17	0,39	259,47	11,6	11,99	9,67
7	0,33	39,81	154,83	0,35	297,87	12,1	11,27	7,47
8	0,26	57,95	158,65	0,30	282,17	8,67	8,20	8,81
9	0,23	82,91	171,52	0,27	296,74	8,74	6,97	5,61
10	0,07	55,22	131,31	0,24	171,65	4,27	1,71	3,92

За отриманими результатами побудуємо графіки
Відносний обтиск по клітям

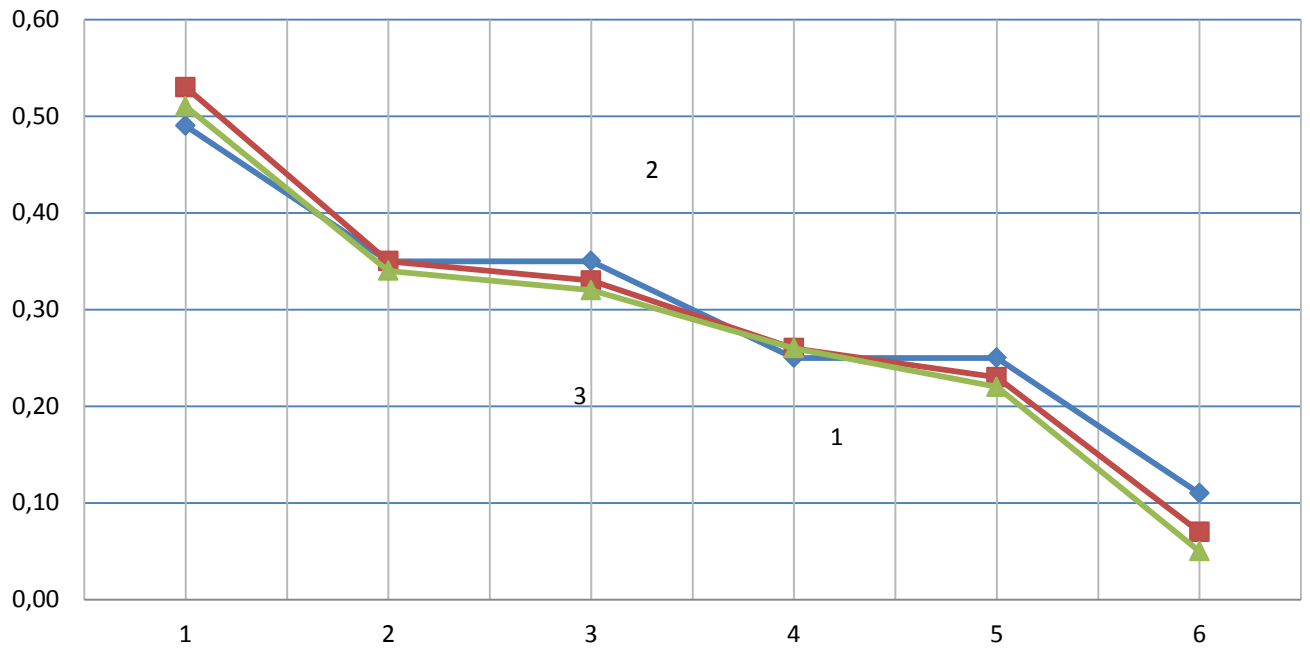


Рисунок. 2.1. Зміна відносного обтиснення по клітям стана(1- штаба 2,5·1500, 2- штаба 3·1500, 3-штаба 4,5·1500).

Штаба 2,5·1500 мм

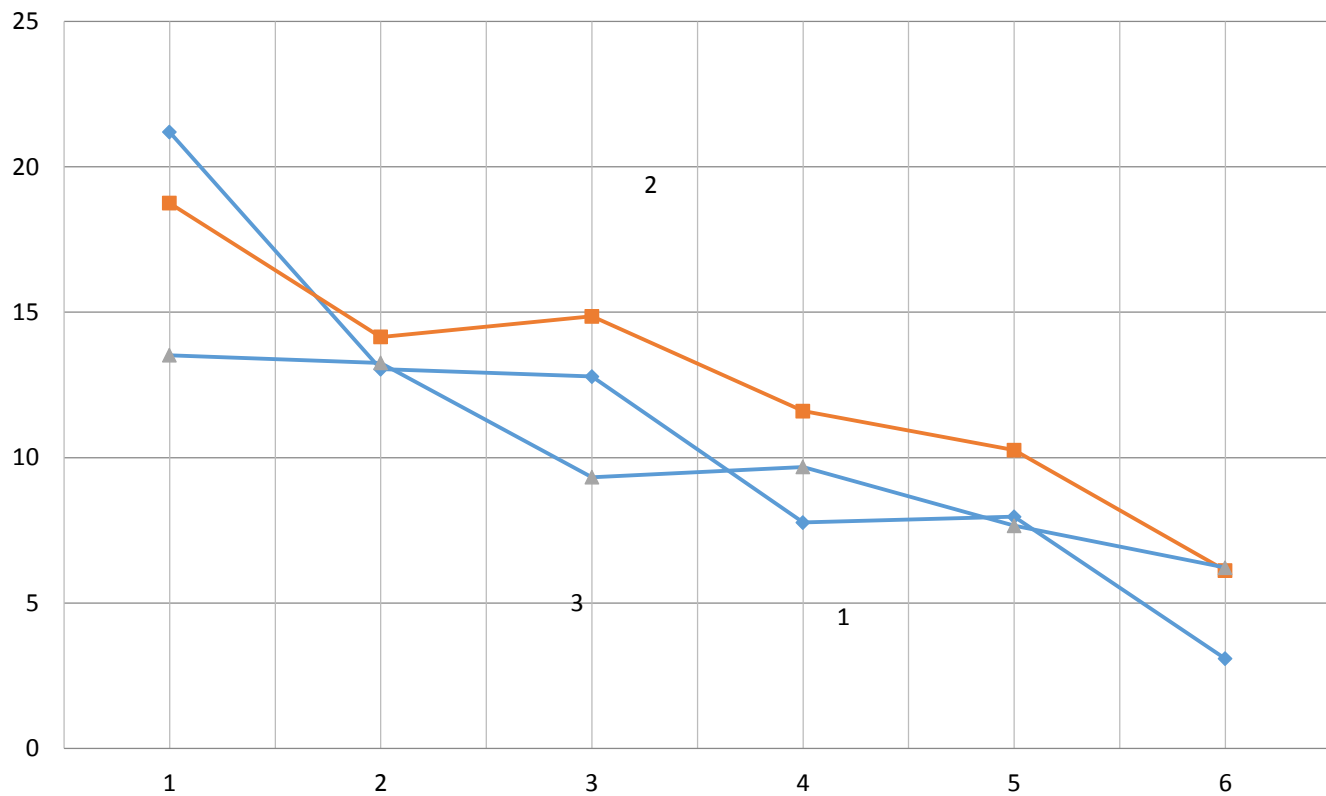


Рисунок. 2.2. Зміна сили прокатки по клітям стана при розрахунку штаби 2,5·1500 (1-Розрахункова сила прокатки, 2- Експериментальна сила прокатки, 3- Сила прокатки розрахова за допомогою крутного моменту.)

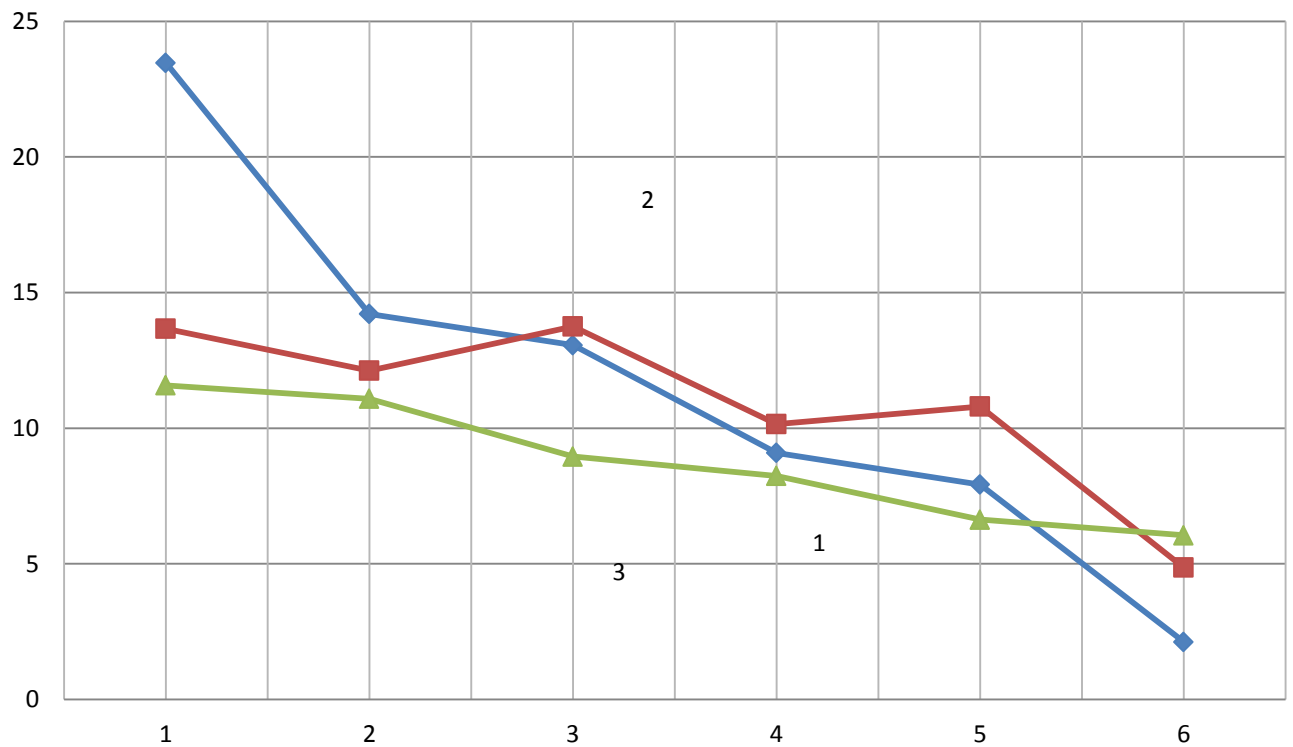
Штаба 3·1500 мм

Рисунок. 2.3. Зміна сили прокатки по клітям стана при розрахунку штаби 3·1500 (1-Розрахункова сила прокатки, 2-Експериментальна сила прокатки, 3- Сила прокатки розрахова за допомогою крутного моменту.)

Штаба 4.5·1500 мм

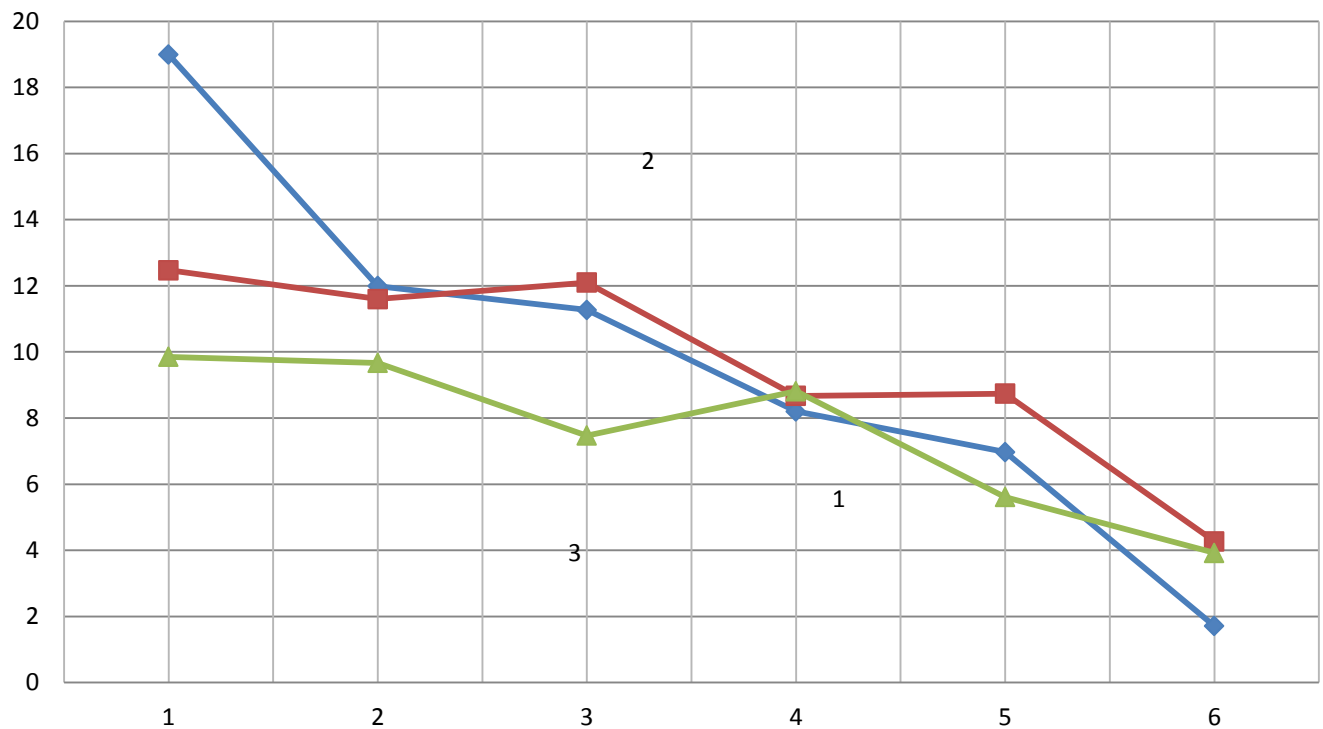


Рисунок. 2.4. Зміна сили прокатки по клітям стана при розрахунку штаби 4,5·1500 (1-Розрахункова сила прокатки, 2- Експериментальна сила прокатки, 3- Сила прокатки розрахова за допомогою крутного моменту.)

Середнє нормальне контактне напруження по клітям

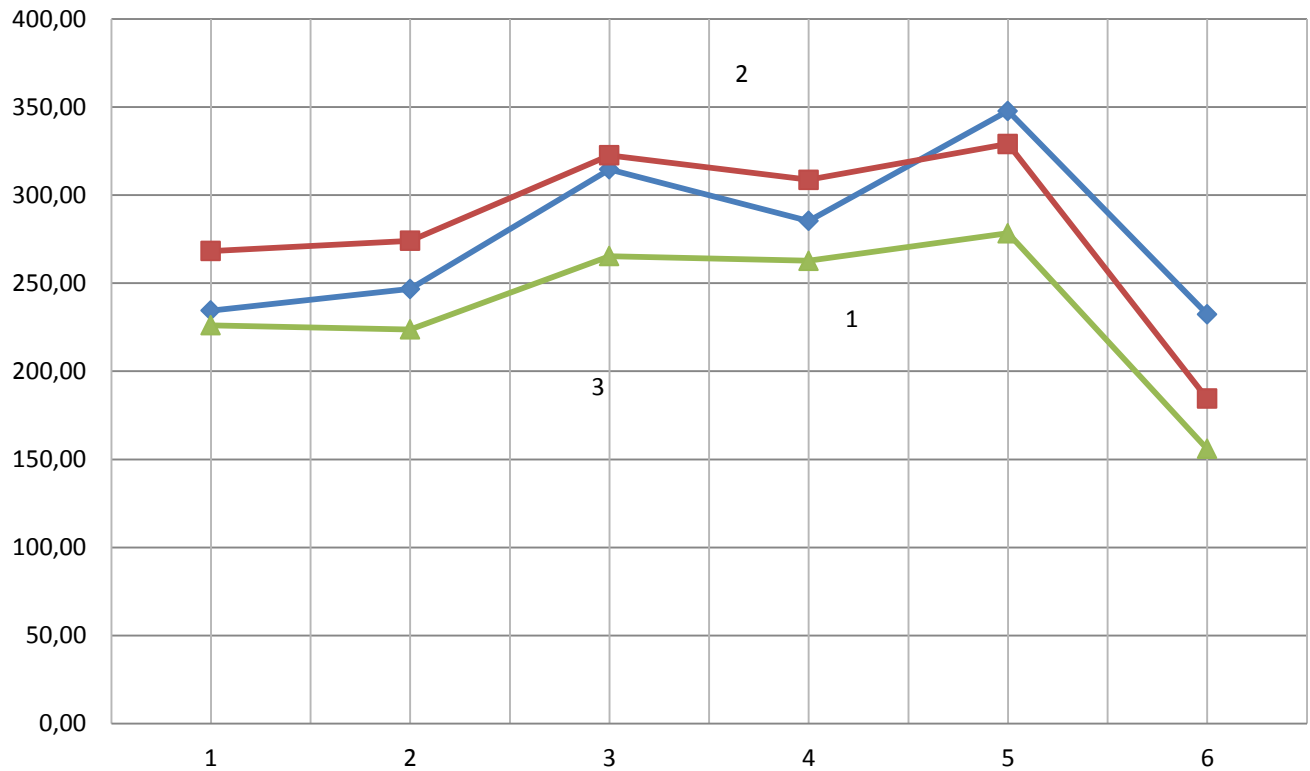
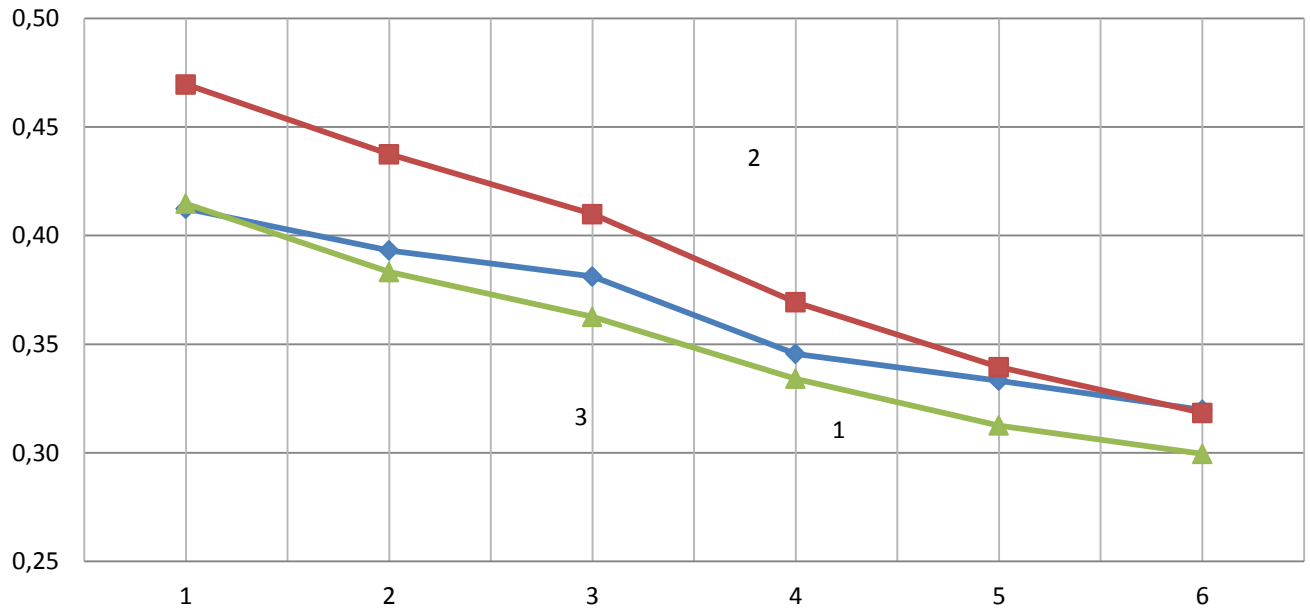


Рисунок. 2.5. Зміна середнього нормального контактного напруження P_{cp} по клітям стана (1-штаба $2,5 \cdot 1500$, 2-штаба $3 \cdot 1500$, 3-штаба $4,5 \cdot 1500$).

Коефіцієнт тертя по клітям



Показник тертя по клітям

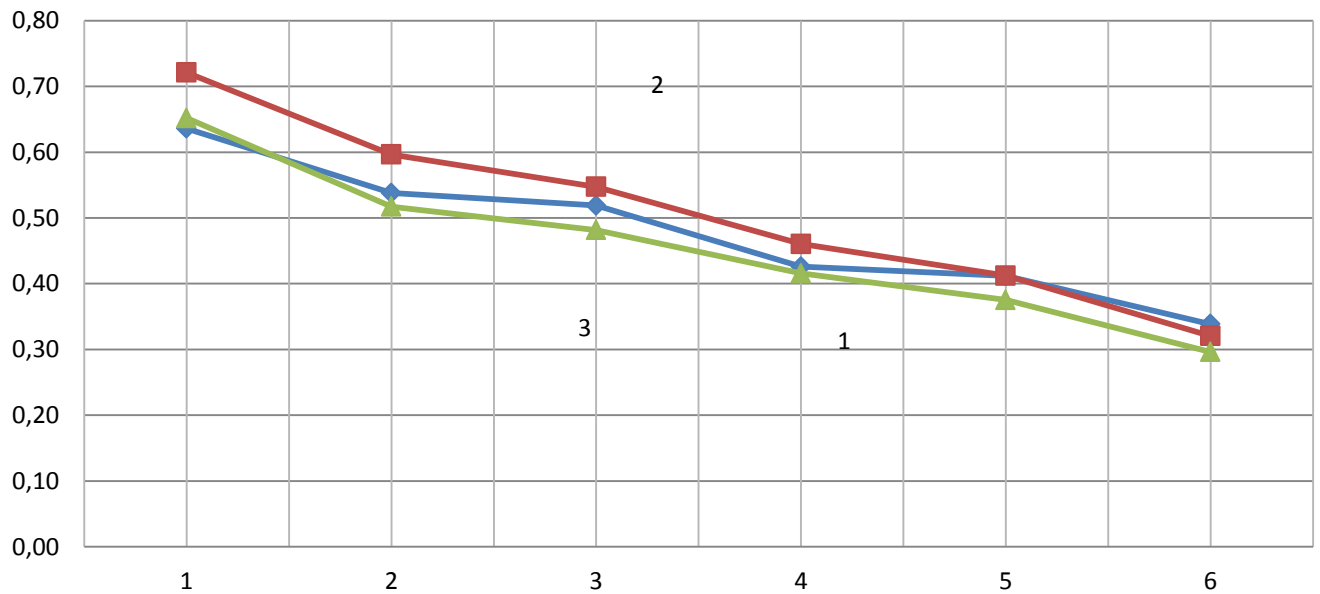


Рисунок. 2.6. Зміна коефіцієнта тертя f та показника тертя f_{Π} по клітям стана (1- штаба $2,5 \cdot 1500$, 2-штаба $3 \cdot 1500$, 3-штаба $4,5 \cdot 1500$).

Напруження течії металу

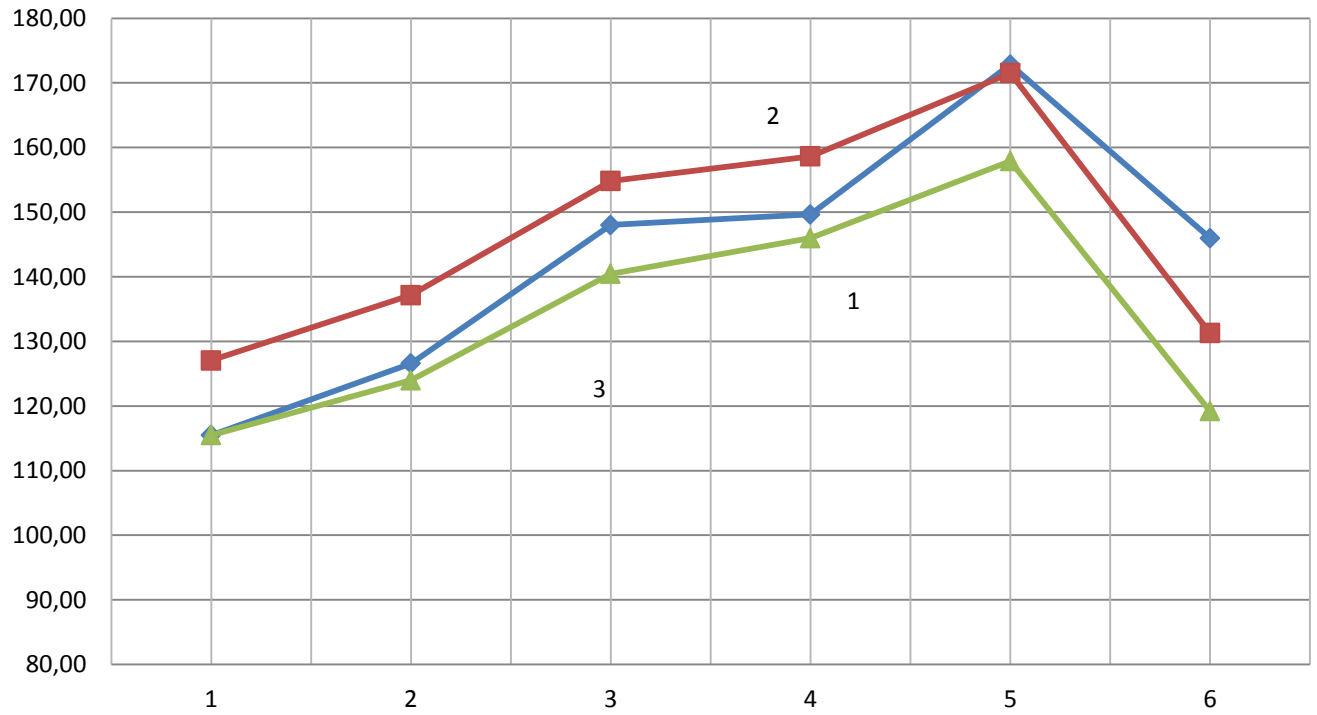


Рисунок. 2.7. Зміна напруження течії металу σ_T по клітям стана (1-штаба $2,5 \cdot 1500$, 2-штаба $3 \cdot 1500$, 3-штаба $4,5 \cdot 1500$).

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Безпосередня робота працівників виробничого приміщення пов'язана з обробкою, плануванням, обліком та зберіганням інформації. Оскільки одним з головних факторів підвищення продуктивності праці, а також збереження здоров'я працівників та студентів є забезпечення та поліпшення оптимальних умов праці, аналіз стану охорони праці у учбовій аудиторії є актуальним завданням.

Об'єктом дослідження є приміщення кафедри ОМТ, план якого наведено на рис. 3.1.

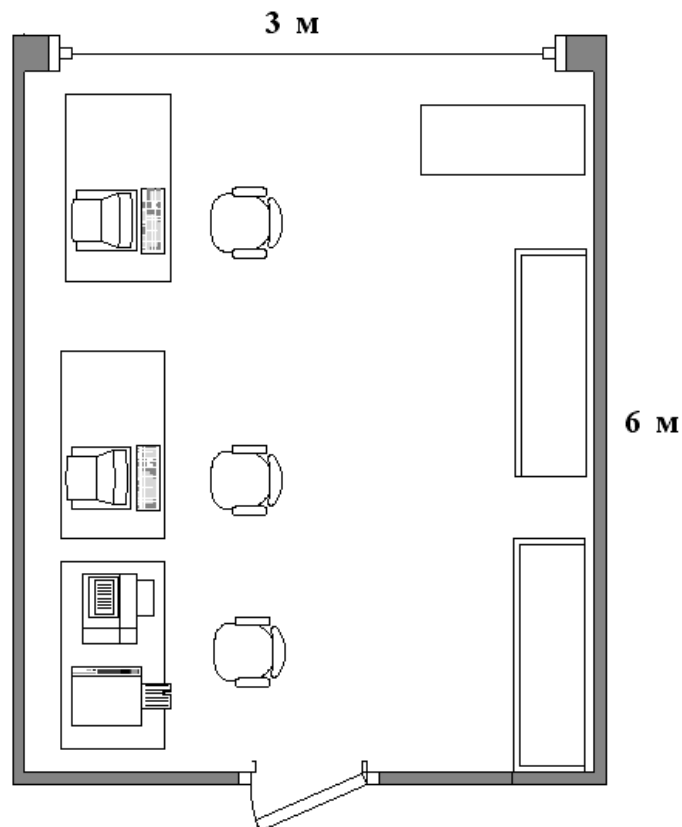


Рисунок 3.1 – План приміщення

Площа кімнати становить 18 м^2 , висота – 2,6 м, об'єм – $46,8 \text{ м}^3$. У

кабінеті працює 2 чоловіка, на кожного доводиться 9 м^2 площі приміщення і $23,4 \text{ м}^3$ об'єму приміщення. У відповідності з СНіП 11-90-81 найменше допустиме значення площі і об'єму виробничих приміщень на одного працюючого складає відповідно 6 м^2 і 20 м^3 , отже фактичне значення площі приміщення на одного працюючого більше нормативного.

У приміщенні розташовано 2 персональних комп'ютера (ПК), принтер, сканер, факс, розміщені 3 письмових стола, 2 шафи для зберігання документів, шафа для одягу.

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори по природі виникнення поділяються на фізичні, хімічні, психофізіологічні, біологічні [12].

В приміщенні на людину можуть негативно діяти наступні фізичні фактори: підвищена або знижена температура повітря; надмірна запиленість повітря; підвищена або знижена вологість повітря; недостатня освітленість робочого місця; перевищуючі припустимі норми шуму; підвищений рівень іонізуючого випромінювання; підвищений рівень електромагнітних полів; підвищений рівень статичної електрики; небезпека ураження електричним струмом; бляклість екрана дисплея.

До хімічних факторів відноситься – виникнення в результаті іонізації повітря при роботі комп'ютера активних часток.

До психофізіологічних факторів можна віднести наступні: перенапруження зорового аналізатора; нервово-емоційне напруження; розумове напруження. Біологічні фактори в даному приміщенні відсутні.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів для робочого місця приміщення представлені в таблиці 3.1.

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в приміщенні характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ 1 клас безпеки <u>озон</u>	0,1	0,02	-	-	-	80
	2 клас безпеки _____	-	-	-	-	-	-
	3-4 класи безпеки <u>оксиди азоту</u>	5	1,8	-	-	-	80
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	1,8	-	-	-	80
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	-	-	-	-	-	
4	Шум, дБА	50-60	42	-	-	-	50
5	Неіонізуючі випромінювання: -радіочастотний діапазон, в/м	12	-	-	-	-	100
	-діапазон промислової частоти, кв/м	21	7	-	-	-	
	-оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²	0,5	-	-	-	-	
6	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С	22-24	24	-	-	-	100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,1	-	-	-	100
	-відносна вологість повітря %	40-60	60	-	-	-	100
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	100	-	-	-	-
7	Категорія важкості і напруженість праці	Категорія важкості – легка 1а. Категорія напруженості – помірно напружена.					
8	Загальна оцінка умов праці	Умови праці відповідають нормативним вимогам.					

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Виробнича діяльність змушує зазнавати недолік у рухливості й активній фізичній діяльності. Щоб виключити виникнення захворювань необхідно мати можливість вільної зміни поз. Необхідно дотримувати режим праці і відпочинку з перервами, заповнюваними «відволікаючими» м'язовими

навантаженнями на ті ланки опорно-рухового апарату, що не включені в підтримку основної робочої пози.

Антропологічні характеристики людини визначають габаритні і компоновані параметри його робочого місця, а також вільні параметри окремих його елементів.

Робоче місце повинне займати площу не менш 6 м^2 , висота приміщення повинна бути не менш 4 м, а обсяг – не менш 20 м^3 на одну людину. Висота над рівнем підлоги робочої поверхні повинна складати 720 мм. Бажано, щоб робочий стіл при необхідності можна було регулювати по висоті в межах 680-780 мм. Оптимальні розміри поверхні столу $1600 \times 1000 \text{ мм}^2$. Під столом повинен бути простір для ніг з розмірами по глибині 650 мм. Робочий стіл повинен також мати підставку для ніг, розташовану під кутом 15° до поверхні столу. Довжина підставки 400 мм, ширина – 350 мм. Віддаленість клавіатури від краю столу повинна бути не більш 300 мм, що забезпечить працівнику зручну опору для передпліч. Відстань між очима людини й екраном монітора повинна складати 40-80 см.

Робочий стілець повинен бути оснащений підйомно-поворотним механізмом. Висота сидіння повинна регулюватися в межах 400-500 мм. Глибина сидіння повинна складати не менш 380 мм, а ширина – не менш 400 мм. Висота опорної поверхні спинки не менш 300 мм, ширина – не менш 380 мм. Кут нахилу спинки стільця до площини сидіння повинен змінюватися в межах $90-110^\circ$.

3.3 Виробнича санітарія

Для створення і автоматичної підтримки в приміщенні оптимальних значень температури та вологості повітря в холодну пору року використовується водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер є вентиляційною установкою, яка за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища [12].

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення в відповідності з ДБН В.2.5-28-2006 [13].

Природне освітлення у виробничих приміщеннях з ПК повинне проникати через бічні отвори, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід. Величина коефіцієнта природної освітленості (к.п.о.) повинна відповідати нормативним рівням по ДБН В.2.5-28-2006 і має бути не нижче 1,5%. При виконанні роботи категорії високої зорової точності (найменший розмір об'єкту розрізнення 0,3...0,5 мм) к.п.о. має бути не нижче 1,5%, при зоровій роботі середньої точності (найменший розмір об'єкту розрізнення 0,5...1,0 мм) – не нижче 1,0 %.

При виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності – 200 лк і 300 лк відповідно. При цьому все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога [13].

У виробничих приміщеннях, де розташовані ПК, слід застосовувати загальні рівномірні системи освітлення. Загальне освітлення має бути виконане у вигляді суцільних або переривистих ліній світильників, що розміщуються збоку від робочих місць (переважно зліва) паралельно напрямку зору працівників. Для загального освітлення необхідно застосовувати світильники з розсіювачами і дзеркальними сітками або відбивачами.

На робочому місці передбачено природне і штучне освітлення. Природне освітлення здійснюється через бічний отвір, а штучне за допомогою освітлювальних приладів. Штучне освітлення (робоче) здійснюється за допомогою люмінесцентних світильників. Світло розсіяне, колір стін і стелі світлий, фарба матова. Загальне освітлення достатнє, лампи розташовані зверху і створюють м'яке розсіяне світло. ПК розташовані таким чином, що світло не потрапляє в очі працівника і не відбивається від монітора.

Високий рівень шуму, що створюється друкованими пристроями, розмножувальною технікою, обладнанням для кондиціонування повітря, вентиляторами систем охолодження, є одним з несприятливих факторів виробничого середовища. Зовнішніми джерелами шуму в приміщенні є проїжджаючі транспортні засоби.

Тривала дія шуму високої інтенсивності призводить до патології слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу веде до виробничих помилок.

Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 60 дБА. Для того, щоб домогтися цього рівня шуму рекомендується застосовувати звукопоглинаюче покриття стін. Зниження шуму можна забезпечити екрануванням робочого місця (постановкою перегородок, діафрагм), установкою в комп'ютерних приміщеннях устаткування, що робить мінімальний шум, раціональним плануванням приміщення.

Значення еквівалентного шуму в даному приміщенні дорівнює 42 дБА, що не перевищує нормативне значення, отже наше приміщення не потребує будь-яких засобів захисту від шуму.

Основним джерелом електромагнітного випромінювання та електричного поля є дисплеї (монітори). Вони являють собою джерела найбільш шкідливих випромінювань, що несприятливо впливають на здоров'я людини. Електромагнітне поле має електричну і магнітну складову. Вважається, що магнітна складова викликає велику реакцію, ніж електрична.

ПК є джерелами таких випромінювань як: м'якого рентгенівського; ультрафіолетового 200-400 нм; видимого 400-700 нм; ближнього інфрачервоного 700-1050 нм; радіочастотного 3 кгц-30Мгц; електростатичних полів.

Ультрафіолетове випромінювання корисне в невеликих кількостях, але у великих дозах приводить до дерматиту шкіри та головного болю. Інфрачервоне випромінювання приводить до перегріву тканин людини

(особливо хрусталика ока), підвищенню температури тіла. Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більш 20 кв/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В. При підвищеному рівні напруженості полів варто скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви на протязі півтори годин роботи і, звичайно ж, застосовувати захисні екрани. Захисний екран, виготовлений із дрібної сітки або скла, збирає на собі електростатичний заряд. Для зняття заряду екран монітора заземлюють.

Може виникнути небезпека по рівнях напруженості електромагнітного поля (ЕМП). На відстані 5-10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м^2 по електричній складовій, що значно перевищує припустимі значення СанПіН 2.2.2. 542-96.

При підвищеному рівні напруженості полів слід скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви протягом півтора годин роботи, обов'язково застосовувати захисні екрани, не розмішувати їх концентровано в робочій зоні і вимикати їх, якщо на них не працюють.

Для безпечної роботи на ПК необхідно перебувати на відстані не менше 50 см від екрана дисплея. Для зниження впливу всіх видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку.

На протязі роботи на корпусі комп'ютера накопичується статична електрика. На відстані 5-10 см від екрана напруженість електростатичного поля складає 60-280 кв/м, тобто в 10 разів перевищує норму 20 кв/м. Для запобігання утворення та захисту від статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори та зволожувачі, а підлоги повинні мати антистатичне покриття.

3.4 Заходи з електробезпеки

За небезпекою ураження електричним струмом приміщення належить

до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом працюючих. Напруга джерела живлення комп'ютерів у приміщенні – 220 В.

Основними причинами поразки працівників приміщення електричним струмом на робочому місці можуть бути:

- поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах комп'ютера у результаті пошкодження ізоляції;
- несправність розетки;
- пошкодження ізоляції дротів комп'ютера;
- порушення правил експлуатації техніки;
- заборонене використання електричних приладів, таких як електричні плити, чайники, обігрівачі.

Основними заходами запобігання ураження електричним струмом в приміщенні є захист від дотику до частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, застосування малих напруг, захисного заземлення і відключення, а також організаційні заходи [14].

Заземлення корпусу ПК забезпечено підведенням жили, що заземлює, до живильних розеток. Опір заземлення 4 Ом, згідно ПУЕ для електроустановок з напругою до 1000 В.

Основними організаційними заходами є інструктаж і навчання безпечним методам праці, а також перевірка знань правил безпеки й інструкцій відповідно до займаної посади стосовно до виконуваної роботи.

При проведенні незапланованого і планового ремонту обчислювальної техніки виконуються наступні дії: відключення комп'ютера від мережі та перевірка відсутності напруги. Після виконання цих дій проводиться ремонт несправного устаткування. Якщо ремонт проводиться на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою, то виконання роботи проводиться не менш чим двома особами з застосуванням електрозахисних засобів.

3.5 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Аналізоване приміщення за небезпекою виникнення пожежі відповідно

до ОНТП 24-86 відноситься до категорії В (пожеженебезпечні – в ньому наявні легкозаймисті речовини – папір, дерево) [15].

Можливими причинами пожежі можуть бути: коротке замикання в електричній мережі; займання паперу, дерева через необережне поводження з вогнем; розповсюдження вогню з сусідніх приміщень.

Для попередження пожежі на стелі розміщена пожежна сигналізація, а також встановлений вуглекислотний вогнегасник типу ВВ-2. Система електричної пожежної сигналізації виявляє пожежу на початковій стадії і сповіщає про місце її виникнення, а також автоматично включає стаціонарні установки гасіння пожеж.

Автоматичні оповісники здійснюють посилку сигналу при різних ознаках. Комбіновані теплові та димові оповіщувачі типу КИ-1 мають чутливий елемент у вигляді іонізуючої камери (реагування на дим) і терморезистори (реагування на теплоту). Температура спрацювання цих оповісники 50-80 °С. Автоматичне сповіщення продубльоване кнопковим.

Для запобігання виникненню пожежонебезпечних ситуацій впроваджується комплекс організаційних та технічних заходів, які спрямовані на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожеж, обмеження їх розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожеж [13]. Таким заходами є:

- організаційні – використання приладів, інструменту, паяльників за призначенням, дотримання робочих в належному порядку, проведення інструктажу (щомісячного, квартального, позачергового);
- технічні – дотримання правил протипожежної безпеки при проектуванні, проведенні проводки, опалення, вентиляції, освітлення, та розміщення обладнання;
 - режимного характеру – заборона куріння в недозволених місцях;
 - експлуатаційні – своєчасні профілактичні огляди, ремонти та випробовування.

В випадку виникнення пожежі перш за все потрібно відключити

джерело живлення, сповістити про пожежу в пожежну частину. Евакуювати сторонніх людей, які могли опинитися в небезпечній зоні і лише після цього приступити до гасіння пожежі і рятування цінного обладнання.

Будівля, в якій знаходиться наше приміщення обов'язково має резервний вихід на випадок екстреної евакуації працівників і неможливістю використання основного виходу.

3.6 Розрахунок повітрообміну у приміщенні

Розрахуємо повітрообмін у приміщенні при працюючих в кількості 2 особи, 2 комп'ютера, принтеру і сканеру, потужності освітлювальних приладів 520 Вт. Температура повітря у приміщенні 24 °С. Максимальна кількість тепла від сонячної радіації через вікна 150 Вт. Різниця температур припливного та видаляемого повітря складає ~5 °С. Кількість явного тепла, яке виділяється однією людиною 95 Вт. Теплоємність повітря $C_p=1000$ Дж/кг; $\rho=1,2$ кг/м³. Потужність одного комп'ютера 300 Вт.

Проведемо розрахунок надходження тепла в приміщення, Вт:

$$Q_{надл.} = Q_{обл.} + Q_{л} + Q_{осв.} + Q_{рад.}, \quad (3.1)$$

Надходження тепла під час роботи обладнання, Вт:

$$Q = n \cdot P \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (3.2)$$

де n – кількість комп'ютерів, $n=2$;

$P=300$ Вт – встановлена потужність комп'ютера;

$k_1 = 0,8$, коефіцієнт використання встановленої потужності;

$k_2 = 0,5$, коефіцієнт одночасної роботи обладнання;

$$Q_{обл.} = 2 \cdot 300 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 240 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо надходження тепла від людей, Вт:

$$Q_L = n_L \cdot q_L, \quad (3.3)$$

$$Q_L = 2 \cdot 95 = 190 \text{ Вт.}$$

Обчислюємо кількість загального тепла в приміщенні:

$$Q_{надл.} = 240 + 190 + 520 + 150 = 1100 \text{ Вт.}$$

Проведемо розрахунок повітрообміну, м³/год:

$$L = \frac{Q \cdot 3600}{C_p \cdot \rho \cdot (t_{вид} - t_{примл.})}, \quad (3.4)$$

$$L = \frac{1100 \cdot 3600}{1000 \cdot 1,2 \cdot (24 - 19)} = 660 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату у приміщенні необхідно подавати не менше 660 м³/год повітря.

В розділі «Охорона праці та техногенна безпека» було проведено аналіз умов праці на робочому місці в приміщенні кафедри ОМТ. Виявлені шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища і розроблені заходи, націлені на утворення безпечних умов праці, що відповідають вимогам усіх норм і стандартів з охорони праці. Розкриті питання електро-, пожежної та техногенної безпеки в приміщенні, де розташована комп'ютерна мережа. Проведено розрахунок повітрообміну.

4. ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ

Техніко-економічні показники виробництва легованої сталі.

Витрата металу. Втрати металу на угар при нагріванні заготовок, у процесі прокатки, охолодженні і термічній обробці складають 1-1,5%. Брак продукції становить 0,5-0,7%, в основному це недокати, гнуття на холодильнику. Приблизно половину всіх втрат становлять втрати металу в обрізь при розкрої прокатаних штаб і при обрізанні переднього кінця розкату в процесі прокатування. На неперервних дрібносортих станах 250 видатковий коефіцієнт металу становить 0,027 - 1,032.

Витрата теплової енергії на дрібно сортих станах 250 складає 2100 - 2500 МДж/т.

Витрата електроенергії – 40-70 кВт·ч/т. [1]

В даній роботі розрахована сила прокатування при різних значеннях абсолютного обтискання (для розрахунків були обрані значення, які отримані по методу наведеної штаби і методу відповідної контактної поверхні). Значення сили прокатування, отримані методом наведеної штаби менші ніж значення, отримані методом відповідної контактної поверхні. Якщо при розрахунку потужності електродвигуна використовувати значення, отримані методом наведеної штаби, це може на практиці призвести до поломки стана, тому що фактична сила прокатування буде більше, ніж та, яку використовували при розрахунку.

Висновки

Проблемою прокатного виробництва є підвищення точності штаби, зниження витрати метала та зниження затрати електроенергії. В значній мірі цього можна досягнути шляхом контролю силових параметрів процесу прокатки по клітям стану.

Тому після аналізу впливу різних факторів на напруження течії металу та середнє нормальне контактне напруження та використання літератури було складено алгоритм розрахунку який приведений в спеціальній частині дипломної роботи.

Результати розрахунку параметрів гарячої прокатки штаб внесені до таблиць, а на базі отриманих результатів розрахунку було побудовано графіки. Отримані графіки, а саме показник сили по клітям стана. На графічному зображенні результатів ми можемо побачити що показники сили при розрахунку за допомогою моменту та енергосилових параметрів мають розбіжності з експериментальними даними.

Виконавши розрахунок параметрів гарячої прокатки штаб та аналіз отриманих даних, вияснили що метод розрахунку актуальний на сьогоднішній день.

Також, шляхом контролю силових параметрів процесу прокатки по клітям стану і на основі експериментальних значень сили прокатки є можливість розробляти раціональні режими деформації по клітям стана, що забезпечить зниження рівня неплоскостності прокатуваних штаб.

Перелік джерел посилання

1. Серета Б.П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 250 с.
2. Серета Б.П. Прокатне виробництво : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 312 с.
3. Василёв Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали : учебник для вузов. Киев : Вища школа, Головное издательство, 1976. 192 с.
4. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. Технология прокатного производства : учебное пособие для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. 311 с.
5. Сафьян М.М., Мазур В.Л., Сафьян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство : учебник для вузов. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. 351 с.
6. Жук А. Я., Малышев Г. П., Желябина Н. К., Клевцов О. М. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование : монография. /– Запорожье ЗГИА, 2008. 224 с.
7. Чащин В. В., В. А. Капитанов, Попов Е. С. Использование температурной математической модели при разработке технологии регулируемого охлаждения горячекатаной полосы в рулоне. *Производство проката*. 2008. № 8. С. 17-23.
8. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.
9. Серета Б.П. Термічна обробка металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 270 с.
10. Серета Б.П. Теорія будови рідкого, кристалічного та аморфного стану речовини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 238 с.

11. *Середа Б.П.* Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 302 с.
12. Дубовский Б. А., Никифоров Б. А., Радионова Л. В. Исследование влияния технологических параметров горячей прокатки на структуру низкоуглеродистых и низколигированных марок стали. Производство проката. 2006. №10. С. 15-20.
13. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : Вид. ЗДІА, 2004. 31 с.
14. Бойчик И. М. Экономика предприятия : учебное издание. Киев : Атика, 2002. 480 с.
15. Покропивного С. Ф. Экономика предприятий : учебник. За об. ред. С.Ф. Покропивного. изд.2-е, переред. и доп. Киев : КНЕУ, 2001. 528 с.
16. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В. Основы охраны труда. учебник. изд. 2-е, дополненное. Львов : Афиша, 2000. 350 с.
17. Ткачук К. Н., Иванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г. Справочник по охране труда на промышленном предприятии. Киев : Техника, 1991. 285 с.
18. Панасейко С. П. Гигиена труда и производственная санитария : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 232 с.
19. Панасейко С. П. Методические указания для курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Охрана труда» (раздел «Вентиляция и кондиционирование»). Запорожье : ЗГИА, 2002. 45 с.
20. Пеклов А. А., Степанова Т. А. Кондиционирование воздуха. Киев : Высшая шк., 1978. 328 с.
21. Рижков В. Г. Електробезпека. Методичні вказівки до дипломного та курсового проектування, контрольних робіт і практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності „Металургія чорних металів” спеціалізації „Охорона праці та екологія металургійного виробництва” денної та заочної форм навчання / Укл.: В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2004. 60 с.