

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 калібрування сталі діаметром 38 мм на стані 325»

Виконав: студент 3 курсу, групи 6.1360-с

Кушніренко Олег Георгійович
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
136 Металургія
(шифр і назва)

спеціалізація
Металургія
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
Металургія
(шифр і назва)

Керівник Бондаренко Ю.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Кругляк Д.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 обробка металів тиском
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Белоконь

“ 29 ” 12 2023 року

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

Кушніренко Олег Георгійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекта) Розрахунок калібрування сталі діаметром 38 мм на стані 325

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “29” 12 2022 року № 1893-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 19.05.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Розрахунок калібрування сталі діаметром 38 мм зі заготовки 80×80×2000 мм з сталі X17H2 на дрібносортовому стані 325

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 13 слайдах (на 13 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Загальна частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В., доцент</i>	
<i>Технологічна частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В., доцент</i>	
<i>Механічна частина</i>	<i>Бондаренко Ю.В., доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Бондаренко Ю.В., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Бєлоконь 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>12.06-18.06.2023</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>12.06-18.06.2023</i>	
3	<i>Загальна частина</i>	<i>15.05-21.05.2023</i>	
4	<i>Технологічна частина</i>	<i>22.05-28.05.2023</i>	
4	<i>Механічна частина</i>	<i>29.05-04.06.2023</i>	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>05.06-11.06.2023</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>12.06-18.06.2023</i>	

Студент _____ О.Г. Кушніренко
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра містить 123 сторінок, 17 таблиць, 11 рисунків, 33 джерел.

ДРІБНОСОРТНИЙ СТАН, КАЛІБРОВКА, МЕТАЛ, РОЗРАХУНОК, КАЛІБР, ВАЛКИ, ТЕМПЕРАТУРА, ПРОХОД, ДЕФОРМАЦІЯ, ОБТИСК.

У загальній частині кваліфікаційної роботи розглянуто дрібносортний стан 325, лінійного типу та допоміжне обладнання.

У технологічній частині зроблено розгляд алгоритму розрахунку раціонального режиму деформації штаб. Виконано три розрахунки. Перший – калібровка сталі круглого перерізу діаметром 38 мм з заготовки розміром 80x80x2000. Другий – розрахунок змінювань температури металу в процесі прокатки згідно проходу. Та третій – розрахунок енергосилових параметрів.

У механічному розділі зроблено розрахунок міцності валків, який показав що валки працюють із запасом міцності.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто шкідливі і небезпечні виробничі фактори. Розроблено заходи з поліпшення умов праці, електробезпеки, пожежної і техногенної безпеки.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Загальна частина	8
1.1 Технічна характеристика стану 325 та його сортамент	8
1.2 Технологічний процес виробництва сортового прокату	14
1.3 Прокатка круглої сталі на стані 325	23
1.4 Висновки до розділу 1	30
2 Технологічна частина	31
2.1 Розрахунок калібрування круглої сталі діаметром 38 мм при прокатці на дрібно-сортному стані 325	31
2.2 Розрахунок змінювання температури металу при гарячому прокатуванні	41
2.3 Розрахунок енергосилових параметрів при прокатуванні штаби	63
2.4 Висновки по другому розділу 2	74
3 Механічна частина	75
3.1 Розрахунок міцності валків	75
3.2 Висновки до розділу 3	79
4. Охорона праці та техногенна безпека	80
4.1 Загальне положення	80
4.2 Вимоги безпеки перед початком праці	86
4.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи	88
4.4 Вимоги безпеки з окінчання роботи	94
4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	95
4.6 Висновки четвертої частини	96
Висновки	97
Перелік посилань	99
Додаток А	104
Додаток Б	111

ВСТУП

Прокатні стани є невід'ємною частиною виробничого процесу в промислових секторах, таких як металургія та машинобудування. Вони використовуються для формування і обробки різноманітних металевих матеріалів, зокрема круглого профілю. Важливим етапом цього процесу є калібровка, яка спрямована на досягнення необхідних геометричних параметрів та якості кінцевого продукту.

Мета дослідження полягає в розробці методики калібровки круглого профілю діаметром 38 мм на прокатному стані 325 зі сталі X17H2, з метою поліпшення якості та точності обробки. Це дозволить забезпечити виробництво високоякісних металевих виробів, які відповідають вимогам ринку та задовольняють потреби клієнтів.

Для досягнення поставленої мети, в рамках дослідження будуть проведені детальний огляд літературних джерел та аналіз попередніх досліджень, пов'язаних з калібровою круглого профілю на прокатних станах. Далі, буде здійснений аналіз методик та технологій, використовуваних в сучасній промисловості для калібровки круглого профілю на прокатних станах. Будуть враховані різні підходи та параметри, що впливають на якість та точність обробки, такі як швидкість прохідного валу, навантаження, розміри втулок тощо.

Окрему увагу буде приділено вивченню особливостей прокатного стану 325, який є об'єктом дослідження. Будуть вивчені його конструкція, режими роботи та можливості для калібровки круглого профілю. Це дозволить налагодити оптимальний процес калібровки з урахуванням технічних можливостей даного прокатного стану.

Загальний результат цього дослідження буде сприяти покращенню процесу калібровки круглого профілю на прокатному стані 325 та забезпеченню високої якості кінцевого продукту.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Технічна характеристика стану 325 та його сортамент

На стані виробляють прокатку прутків з вуглецевих, легованих, високолегованих сталей і сплавів такого сортаменту:

- а) круглих профілів діаметром від 21 мм до 42 мм;
- б) квадратних профілів зі стороною квадрата 22 мм, 25 мм, 28 мм, 30 мм, 32 мм, 35 мм;
- в) підкат шестигранних профілів з діаметром вписаного кола 23 мм, 25 мм, 28 мм, 31 мм, 33 мм, 37 мм;
- г) смугових профілів:
 - прямокутного перетину товщиною від 5 мм до 42 мм, шириною від 20 мм до 75 мм;
 - трапецієподібного перерізу 6,0 мм х 45 мм; 6,5 мм х 45 мм; 7,0 мм до 65 мм. Довжина прутків - від 2 м до 6 м.

Короткий опис дрібносортного стану 325, лінійного типу

Основне обладнання:

- нагрівальні методичні печі -2 шт;
- прокатні кліті - 6 шт;
- ножиці гарячого різання металу;
- установка прискореного охолодження (УПО);
- холодильник рейковий;
- ножиці холодного різання металу.

Основне і допоміжне обладнання стану розташоване в п'яти прольотах цеху:

- склад заготовки;
- пічний проліт;
- становий проліт;

- склад готової продукції;
- машинний зал.

Склад заготовок стану 325 є частиною загального складу заготовок сортових станів і примикає до завантажувальних шлепперів нагрівальних печей.

Для нагрівання заготовок встановлено дві методичні нагрівальні печі, одна з яких постійно діюча, інша - резерв.

Стан 325 складається з двох робочих ліній: обтискної та чистової.

Обтискна лінія (кліть 500) складається з приводу, шестеренної кліті та тривікової робочої кліті відкритого типу, чистова лінія - з приводу, шестеренної кліті та п'яти робочих клітей з прорізами для чотирьох валків, які працюють як двовалкові. Відстань між осями робочих ліній стану 28 м.

Для охолодження прокату перед різанням на стані є рейковий холодильник з приймальним і відвідним рольгангами. Довжина холодильника - 58 м, ширина - 4,07 м.

За холодильником встановлені ножиці з рухомим упором для порізки розкатів на замовлені довжини, відвідний рольганг і пристрій для скидання готової продукції в збірну кишеню.

Склад готової продукції обладнаний звареними секціями (бугелями), термостатами, під час прокатки великих партій тріщиночутливих сталей використовують колодязі уповільненого охолодження стану 550.

Основне та допоміжне обладнання

Нагрівальні печі:

кількість - 2 шт.;

тип - методична нагрівальна піч, двозонна, однорядна, рекуперативна, з нижнім і верхнім нагріванням, з торцевим завданням і бічною видачею заготовок;

- температура нагріву металу - від 1050° С до 1310° С;
- ширина активного пода - 2470 мм;

- довжина активного пода - 15200 мм;
- довжина печі по кладці - 16360 мм;
- перетин і розмір заготовок, що нагріваються - квадрат від 85 мм до 108 мм;
- довжина заготовок, що нагріваються - від 1500 мм до 2470 мм;
- садка в печі, кількість заготовок - від 145 шт. до 180 шт;
- відстань між глісажними трубами - 1050 мм;
- паливо печі - природно-доменна суміш газів/калорійністю - 2500 ккал/нм³;
- кількість пальників - 4шт.;
- температура підігріву повітря - 350° С;
- максимальна продуктивність - 14т/год.

Обтискна лінія складеться з робочої кліті 500 - тривікова, станини кліті - чавунні, відкритого типу. Підшипники робочих валків - текстолітові, водоохолоджувані. Урівноваження верхнього валка - пружинне.

У вертикальній площині середній валок нерухомий, верхній і нижній валки можуть переміщатися за допомогою натискних пристроїв. Натискні пристрої - гвинтові з ручним приводом. Регулювання положення валків в осьовому напрямку здійснюють за допомогою болтів. Кантувальні листи встановлені з переднього боку обтискної кліті, призначені для кантування розкатів під час падіння з верхнього горизонту перед завданням у валки нижнього горизонту і переміщення їх від калібру до калібру.

Привід робочих валків здійснюють від електродвигуна номінальною потужністю (N), що дорівнює 2400 кВт, число обертів (n) - від 120 об/хв до 240 об/хв.

Шестеренна кліть - тривалкова з шевронним зачепленням, міжосьова відстань валків - 500 мм, матеріал валків - сталь 45. Станина - роз'ємна зі сталевого лиття, підшипники валків з бабітовою заливкою. Змащення підшипників і зубчастого зачеплення - рідке, циркуляційне, під тиском.

Із заднього боку обтискної кліті розташований підйомно-гойдувальний стіл із лінійками маніпулятора:

- довжина столу – 5570 мм;
- ширина робочої частини – 1450 мм;
- кількість роликів на столі – 6 шт.;
- крок роликів, починаючи від кліті – 800, 800, 800, 800, 1000, 1400 мм.

Механізм гойдання дає змогу регулювати висоту підйому столу для забезпечення нормальної прокатки, під час завалювання валків після переточування.

Ножиці гарячого різання металу мають:

- зусилля різу – 100т;
- максимальний переріз розрізу розкату, що розрізається – 80 мм х 80 мм;
- температура металу, що розрізається (не нижче) – 700 °С;
- привід від двигуна потужністю N – 22кВт.

Ножиці гарячого різання, встановлені за подовжувальним рольгангом, використовують для обрізання розшаруваних кінців розкату або порізки недокату на частини.

Робочий рольганг за обтискною кліттю має:

- кількість роликів – 5 шт. (чотири приводних, один холостий);
- крок роликів – 1200 мм;
- загальна довжина – 3600 мм;
- діаметр роликів – 350 мм;
- довжина бочки роликів – 1450 мм;
- привід ролика від двигуна потужністю N – 2 кВт;
- окружна швидкість – 2,8 м/с.

Рольганг підлоговий із кантувальною буксою має:

- довжина жолоба – 13600 мм;

- ширина жолоба	– 150 мм;
- кількість роликів	– 9шт.;
- крок роликів (середніх)	– 1440 мм;
- крок роликів (крайніх)	– 1700 мм;
- діаметр роликів	– 195 мм;
- довжина бочки роликів	– 170 мм;
- привід ролика від двигуна потужністю N	– 2,2 кВт;
- відстань від осі прокатки чистової лінії до осі роликів кантуючої букси	– 5900 мм;
- привід кантуючої букси від двигуна потужністю N	– 2 кВт.

Чистової лінії стану 325 складається з приводу, шестеренної кліті та п'яти робочих клітей, оснащена електродвигуном постійного струму потужністю 2400 кВт, число обертів (n) - від 260 об/хв до 500 об/хв.

Шестеренна кліть - чотирьохвалкова, з шевронним зачепленням, міжосьова відстань валків - 312 мм, матеріал валків - сталь 50.

Усі робочі кліті мають прийоми для чотирьох валків, але працюють як двовалкові; станини закритого типу зі сталі 35Л.

Натискний пристрій - гвинтовий, з ручним приводом; врівноваження верхніх робочих валків - пружинне. З'єднання робочих валків між клітьми і з шестеренною кліттю здійснюється зубчастими шпинделями. Робочі валки обертаються в підшипниках кочення.

Характеристики робочих валків і приводів стану представлені в таблиці 1.1

Для передачі розкатів із кліті в кліть лінія з обох боків обладнана знімними обвідними апаратами; у п'яту кліть, а також частково в третю і четверту розкати задаються вручну. Розкатні поля на обох сторонах чистової лінії обладнані шлепперами для переміщення розкатів, викладені чавунними плитами. Перед четверною і п'ятою клітьми є задавальні рольганги, перед п'ятою кліттю - стіл, що підіймається і гойдається.

Установка прискореного охолодження металу (УПО):

- кількість секції	– 5 шт.;
--------------------	----------

- довжина секції – 1480 мм;
- висота секції – 460 мм;
- загальна довжина – 7700 мм;
- максимальна витрата води – 250 м³/год.

Таблиця 1.1 - Характеристики робочих валків і приводів стану

Кліть	Діаметр бочки валків в max (min), мм	Довжина бочки валків, мм	Діаметр шийки валків, мм	Головний двигун				
				Тип	Швидкість прокатки, м/с	Потужність, кВт	Число обертів за хвилину	Струмове навантаження під час прокатки, А
500	540 (485)	1500	300	МП 2400/120	2,6 - 3,1	2400	120 - 240	I _{ном} = 3400 I _{упора} = 4400
I	330 (307)	1050	180/168	МП 2400/260	до 5	2400	260 - 500	
II-V	340 (307)	900						

Рейковий холодильний склад складається з рольганга, що підводить, скидає, системи нерухомих рейок і рейок, що хитаються, штабелювального пристрою, пристрою, що перекладає, і рольганга, що відводить:

- довжина холодильника – 58000 мм;
- ширина – 4070 мм;
- крок "зубів" – 120 мм;
- крок рухомих рейок – 6200 мм;
- крок нерухомих рейок – 500 мм;
- привід рейок від двигуна потужністю N – 37 кВт;
- відстань між осями рольгангів – 5020 мм;
- довжина розкату (не більше) – 56 м.

Ножиці холодного різання металу:

- тип – з верхнім резон;
- зусилля різання – 500 т;

- довжина ножа – 750 мм;
- привід від двигуна потужністю N – 110 кВт;
- кількість одночасно розрізаних розкатів – від 3 шт. до 12 шт.;
- довжина порізки – від 2 м до 8,5 м.

Ножиці холодного різання металу обладнані:

- пересувним упором;
- збиральним рольгангом із дев'яти роликів;
- зіштовхувачем, що являє собою чотирирядний шлеперний пристрій зі зникаючими упорами;
- приймальною кишенею.

Технічні характеристики обладнання забезпечуються його технічними можливостями і налаштовуються під час налагодження обладнання.

1.2 Технологічний процес виробництва сортового прокату

На складі за допомогою електромостового крана з магнітом або ланцюгами (для немагнітних сталей) заготовки укладають клеймами в бік печі на завантажувальний стіл, обладнаний ланцюговими шлеперами для подачі заготовок на пічний рольганг.

Пічний рольганг транспортує заготовки під упор штовхача, який проштовхує їх у методичну піч.

Нагріті заготовки через бічне вікно видачі виштовхувачем видають на стіл, звідки скидачем - на відповідний рольганг до обтискної кліті стану.

Прокатку заготовок на кінцевий профіль здійснюють згідно з відповідною схемою прокатки. На обтискній кліті заготовки прокочують за сім-дев'ять проходів на проміжні розкати, які за допомогою рольганга з жолобом задають у валки першої кліті чистової лінії, під час руху розкати кантуються на 90° автоматичною буксою.

На чистовій лінії розкати круглого перерізу діаметром від 21 мм до 26 мм, квадратного 22 мм, шестигранного 23 мм і деяких смугових профілів

послідовно передають з першої кліті до четвертої по обвідних апаратах, у п'яту кліть розкат задається вручну. Під час прокатки інших профілів розкати передають із першої кліті в четверту за допомогою підлогових шлепперів (минаючи другу і третю) і з четвертої в п'яту кліть також за допомогою підлогових шлепперів.

Розкати для прокату великих розмірів передають з першої кліті в четверту (минаючи другу і третю) за допомогою підлогових шлепперів.

Після прокатки і різання розкати тріщиностійких марок сталі за допомогою мостового крана прибирають у термостати або в колодязі сповільненого охолодження, решту металу - в бугелі.

Для прокатки на стані застосовують катані та ковані заготовки:

а) катані - конструкційні, леговані, нержавіючі, інструментальні сталі - квадрати перетином від 98 мм до 108 мм, довжиною від 1,5 м до 2,47 м;

б) катані - із сталі, що розширюється, - квадрат перетином 85 мм, довжиною від 1,7 м до 2,47 м;

в) ковані - нержавіючі, інструментальні, в т.ч. швидкорізальні сталі - квадрати перерізом від 90 мм до 103 мм, завдовжки від 1,8 м до 2,45 м, жароміцні сталі та сплави - квадрат перерізом 95 мм, завдовжки від 1,5 м до 2,45 м.

Катані заготовки призначають на прокатку після ад'юстажної обробки і приймання ВТК. Ковані заготовки, але розмірами і якістю поверхні повинні відповідати вимогам ВЗТУ 143-12 на поставку кованої заготовки прокатному цеху і повинні бути прийняті ВТК.

Заготівля повинна відповідати вимогам таблиці 3.1 додатка 3. Посадку заготовок у методичні печі проводять за наявності здавальної накладної і позитивних результатів атестації дільницею атестації ОГК відповідно до графіка-наряду, складеного ПРБ цеху.

Для температурного "бар'єру" і налаштування стану застосовують заготовки вуглецевих і легованих конструкційних сталей, підшипникових сталей, інструментальних вуглецевих сталей, отримані з паспортної болванки

(ПБ) або з ПБ (Н) згідно з СТП 8.3-01. Заготовки ПБ марок 03ЖР, 03ЖР-М, 03ЖР-Н для налаштування стану не використовують.

Плавки сталі ШХ15(СГ) усіх способів виплавки із вмістом вуглецю понад 1,0 % не призначають за замовленнями, що вимагають контролю карбідної сітки.

Заготовки, призначені для прокатки підкату з нормованою глибиною знеуглецьованого шару, контролюють на глибину знеуглецьованого шару. Контроль проводять у цеху випробувань на відібраних пробах. Знеуглецьований шар катаних заготовок не повинен перевищувати 0,5 мм на бік. Глибина знеуглецьованого шару кованих заготовок повинна відповідати вимогам ВЗТУ 143-12.

Посадку заготовок здійснюють без збереження літерного таврування.

З метою запобігання змішування марок сталі перед посадкою заготовок у піч:

- перевіряють наявність клейма, заготовки з нечітким клеймом з посадки знімають;
- заготовки піддають контролю на марку сталі методом іскрової проби;
- на першу заготовку плавки кріплять дві скоби з катанки.

Забороняється проводити посадку заготовок сталей груп III, IV, V, VI "в" без температурного "бар'єру" за заготовками сталей груп VI "г", VII "а", VII "б" (таблиця А.1 додатка А).

Посадку заготовок сталі ШХ15СМ-Ш (ДІЗ6-Ш) проводять тільки за металом груп III, IV, VI "б", VII "в" (таблиця А.1 додатка А).

Нагрівання заготовок здійснюють за режимами, зазначеними в таблиці А.1 додатка А до цієї інструкції. За наявності в печі металу, що вимагає нагріву за різними режимами, температурний режим печі ведеться за режимом для сталі з нижчою температурою нагріву.

Підвищення температури в печі проводять після видачі останньої заготовки, що має нижчий температурний режим нагріву. Для рівномірного прогрівання заготовок підігрів проводять протягом від 15 хв до 20 хв.

Відхилення від зазначених у таблиці А.1 додатка А температур не повинні перевищувати ± 10 °С протягом 10 хв. Параметри роботи печі, співвідношення витрат газу і повітря для кожної зони печі повинні відповідати графіку і таблиці співвідношення "газ-повітря" даної печі.

Під час нагрівання заготовок, крім призначених на сорт сталі ШХ15(СГ) за замовленнями з відпалом (с/о) і на підкат підшипникової сталі, температуру печі, зазначену в таблиці А.1 додатка А, дозволяється коригувати залежно від темпу прокатки відповідно до таблиці 2.

Під час прокатки прутків діаметром 21 мм і 22 мм ресорно-пружинних сталей марок 55С2(А) і 60С2(А) на замовлення без відпалу проводять коригування температури нагріву заготовок на темп прокатки згідно з таблицею 1.2, але не більше ніж + 60 °С.

Під час прокатки прутків діаметром 21 мм і 22 мм ресорно-пружинних сталей марок 55С2(А) і 60С2(А) на замовлення без відпалу проводять коригування температури нагріву заготовок на темп прокатки згідно з таблицею 1.2, але не більше ніж + 60 °С.

Під час прокатки смугових профілів усіх марок сталі (крім 50ХГА і сталей групи VI "д") температуру нижньої зони знижують на 20° С проти передбаченої в таблиці А.1 додатка А.

Підвищувати температуру на темп прокатки забороняється:

а) під час прокатки конструкційних вуглецевих і конструкційних легованих сталей із вмістом вуглецю понад 0,3 % за замовленнями з контролем на знеуглецювання;

б) сталі марок 30-45, 30-40Х, 38ХА, що поставляються за ГОСТ 10702, ДСТУ 3684 і ТУ 14-1-2457 з контролем мікроструктури;

в) сталі ХВГ, що поставляється на замовлення під холодну обробку;

г) сталі ШХ15СМ-Ш (ДИЗ6-Ш);

д) сталі марок 10Х11Н23ТЗМР-ВД (ЭП33-ВД), 55Х20Н4Г9 (ЭП303), 15Х12Н2МВФАБ-Ш (ЭП517-Ш), 15Х16Н2АМ-Ш (ЭП479-Ш), сплаву ОбХ1-123МДТ (ЭИ943).

Таблиця 1.2 - Величина коригування температури залежно від темпу прокатки

Група сталей	Темп прокатки, заготовок/год		
	51-70	71-90	91 і більше
	Величина коригування температури, °С		
II, IV	+ 20	+ 40	+ 60
III, V	+ 20	+ 60	+ 100 ^{*)}
VI (крім VI "в")	+ 20	+ 20	-
VII "а"	+ 20	+ 30	+ 40
VII "б"	+ 20	+ 40	+ 60

^{*)} - для сталі 50ХГА - плюс 110 °С

Для сталей груп III, IV, V, VI, що контролюються на знеуглецювання, нагрівання і прокатку заготовок слід вести таким чином, щоб у зоні високих температур метал перебував не більше 1 год. Умовно прийнято, що в зоні високих температур розміщується 50 заготовок квадратного перерізу 105 мм, рахуючи від вікна видачі.

За замовленнями, які потребують контролю карбідної сітки, призначати плавки сталі ШХ15(СГ), що пройшли гомогенізацію в колодязях стану 1050/950.

Мінімальна тривалість нагріву заготовок сталі ШХ15(СГ) на замовлення з контролем карбідної сітки повинна відповідати 1 год 10 хв, максимальна - 3 год. Для плавок підшипникових сталей, що мають у заготівлі підвищений бал карбідної ліквіації, мінімальна тривалість нагріву має бути не менше ніж 2 год 30 хв.

У разі вимушеної зупинки стану температуру печі знижують, як зазначено в таблиці 1.3.

Відключення пальників нижньої зони проводять дистанційним закриттям газових регулювальних дроселів зі щита контрольно-

вимірювальних приладів. Увімкнення пальників після простою проводять за 20 хв до пуску стану

Таблиця 1.3 - Величина коригування температури в разі вимушеної зупинки стану

Групи сталей	Тривалість зупинки стану, хв	Величина коригування температури, °С		Час витримки після підвищення температури верхньої зони (після простою стану до його пуску), хв
		верхня зона	нижня зона	
III, IV, V, VI	до 30		нерегульовані	10
	від 31 до 31	50	пальники	15-20
	до 60 понад 60	100 150	відключити	15-20
I, II, VII	понад 30	50-100	50	10-15

Під час нагрівання металу III, IV, V, VI груп, у разі планованих зупинок стану (на перезміну, перевалки, перебудови), залежно від передбачуваної тривалості зупинки температуру в печі знижують відповідно до таблиці 1.3 за 10-15 хв до зупинки.

Метал, контрольований у сорті на знеуглецювання, що перебував у зоні високих температур більше, ніж передбачено цією інструкцією, за наявності попутних замовлень для шліфування на менший розмір пакують і контролюють на знеуглецювання як окрему партію на подвоєній кількості зразків.

У разі перебування металу в зоні високих температур понад 60 хв і за відсутності замовлень на менші профілі з печі видаляють 30 заготовок, які дозволяється ставити тільки після суцільного зачищення. Марки сталі, які охолоджуються уповільнено в термостатах (див. додаток А), у разі викиду заготовок з печі не пізніше 8 годин передаються на відпал.

Охолодження, термічне та ад'юстажне оброблення викинутих заготовок - відповідно до ТИ 143-П-4, ТИ 143-П-5, ТИ 143-П-7.

Знаходження заготовок сталей груп III, IV, V і VI в печі під час ремонту стану не допускається.

У журналі посадки контролер ВТК записує час посадки заготовок, температуру у верхній і нижній зонах печі під час подачі першої заготовки і через кожні 50 заготовок партії.

З метою зменшення подовження під час прокатки заготовок зі сталей марок 08X13 (ЭИ496), 08X17Т (ЭИ645), 08X17Н5М3, 08X22Н6Т (ЭП53), 12X17, 12X21Н5Т (ЭИ811), 14X17Н2(Б), 15X28 (ЭИ349), 15X25Т (ЭИ439), 20X17Н2, Х23Ю5(Т), Х27Ю5Т (ЭИ626) дозволяється під час нагрівання заготовок знижувати температуру в печі:

- у верхній зоні - до 1100 °С;
- у нижній зоні - до 1050 °С

Загальний час перебування заготовок у печі - не менше 1 год 30 хв і не більше, зазначеного в таблиці А.1 додатка А цієї інструкції.

З метою виключення підвищеного окаліно-утворення під час нагрівання заготовок з конструкційних марок сталі 20, 35, 45, 40Х під прокатку шестигранних профілів дозволяється знижувати температуру в печі:

- температура у верхній зоні до 1100°С;
- температура в нижній зоні до 1050°С;

Загальна тривалість нагріву заготовок у печі - не менше 1 год 30 хв і не більше, ніж зазначено в таблиці А.1 додатка А цієї інструкції.

Охолодження металу після прокатки здійснюються відповідно до таблиці А.1 додатка А. Охолодження металу проводять після прокатки на повітрі або уповільнено в термостатах.

Для уповільненого охолодження прокату використовують справні термостати з кришками, що щільно прилягають.

Прокат швидкорізальних сталей завантажують у підігріті термостати і зверху вкривають іншим прокатом. Підігрів термостата забезпечується

завантаженням гарячих прутків ПБ, прокатаних з щонайменше двох заготовок ПБ, посаджених у піч перед заготовками швидкорізальних сталей.

Завантаження термостата - не менше 75 % його об'єму, для довантаження термостата до мінімального об'єму дозволяється використовувати прокат, що не вимагає сповільненого охолодження (крім прокату з поліпшенням, загартуванням або з нормалізацією в потоці стану) або прокат із ПБ. У тих випадках, коли укладання підйомів здійснюють з інтервалом, що перевищує 20 хв, після укладання кожного підйому термостат закривають кришкою.

При температурі в цеху нижче 0°C завантаження термостатів прокатом тріщиночутливих сталей (типу 20-46X13, 39X17M, 65-95X18) без підігріву термостатів забороняється.

Дозволяється проводити сповільнене охолодження прокату в колодязях стану 550, розташованих у першому прольоті дільниці ад'юстажу дрібного сорту.

Забороняється робити завантаження металу для уповільненого охолодження в непідігріті, сирі та зруйновані колодязі. Кришки повинні бути справними і щільно закривати колодязі. Підігрів колодязів здійснюють шляхом часткового (1/4 об'єму) заповнення колодязів металом зі стану 550 або 325, що має температуру не нижче 550°C (темно-коричневий колір). Під час транспортування прокату зі стану 325 у колодязі сповільненого охолодження мають дотримуватися всіх заходів, що забезпечують швидке передавання металу з метою збереження температури.

Транспортування металу до термостатів або до колодязів стану 550 здійснюють без затримок. Час завантаження металу в охолоджувальний пристрій фіксує в робочій карті стану різьбяр або майстер стану.

Після заповнення металом термостати і колодязі щільно закривають кришками.

Щоб уникнути утворення дефектів типу "раковини" швидкорізальні сталі марок Р6М5, Р6М5К5 та ін. завантажують у термостати за температури

не вище 750 °С (темно-вишневий колір). Дозволяється після попереднього узгодження з майстром (змінним) термічного цеху прокат цих марок сталей відвантажувати в термічний цех у термостатах, на вагонах або в пакетах (підйомах) металловозами, якщо посадку в печі термічного цеху буде здійснено не пізніше, ніж через 8 год після прокатки.

Тривалість охолодження металу в термостатах від 24 год. до 36 год, для прокату тріщиностійких нержавіючих хромистих сталей марок 20-46Х13, 65-95Х18 тривалість сповільненого охолодження в теплу пору року (з 1 квітня по 31 жовтня) - від 24 год. до 30 год, у холодну пору року (з 1 листопада по 31 березня) - від 18 год. до 24 год. Тривалість охолодження металу в колодязях стану 550 - згідно з ТИ 143-П-10, охолодження прокату сталей марок 20-46Х13, 65-95Х18 проводять від 34 год до 40 год.

Після сповільненого охолодження сортовий прокат мають відвантажити в термічний цех, а підкат - у термічний або калібрувальний цех для відпалу (відпустки) не пізніше ніж через 8 год після закінчення сповільненого охолодження.

Час вивантаження металу з охолоджувальних пристроїв зазначає в робочій карті сортувальник ад'юстажу сортових станів. Температура металу під час вивантаження - не вище 120 °С.

Дозволяється відвантаження металу в термічний цех у термостатах.

Щоб уникнути викривлення прутків, підйоми прокату сталі 03Х14Н7В (3И75) охолоджують на рівній підлозі до температури повітря в цеху.

Щільну обв'язку підйомів, маса яких не повинна перевищувати 2,0 т, проводять у трьох місцях, водночас першу з них -- на відстані не більше 0,5 м від торця підйому. Після охолодження прокат передається на дільницю ад'юстажу сортових станів для подальшої обробки.

Метал за замовленнями з термічною обробкою після сповільненого охолодження відвантажують працівники дільниці ад'юстажу сортових станів на відпуск або відпал у термічний або калібрувальний цех не пізніше, ніж за 8 год після вивантаження з термостатів або колодязів.

Невеликі партії прокату тріщиночутливих марок сталі (типу 20-46X13, 65-95X18) після попереднього узгодження з начальником зміни термічного цеху допускається передавати на відпал у термічний цех у термостатах, минаючи уповільнене охолодження, за такою технологією:

- прокат відразу після порізки завантажують у порожній термостат пакетами, після завантаження кожного пакета термостат накривають кришкою, загальне завантаження термостата - не менше ніж 75 % його об'єму;

- не пізніше 1 год після завантаження термостат (термостати) з металом відвантажують металовозом у термічний цех, доставку термостата в термічний цех здійснюють не пізніше 1 год 30 хв після закінчення завантаження термостата.

Приймання та відрізання проводиться працівниками дільниці ад'юстажу сортових станів.

Метрологічне забезпечення - відповідно до таблиці Б.1 додатка Б.

1.3 Прокатка круглої сталі на стані 325

Налаштування клітей проводять згідно із затвердженими схемами прокати, наведеними в таблицях додатків В, Г, Д, Е, Ж:

- таблиця В.1 - для круглих профілів, у т.ч. марок сталі, що розширюються, жароміцної сталі ЕП33-ВД, сталі ЕІ943, сплавів марок ЕІ435 і Х20Н80Т3;

- таблиця Г.1 - для квадратних профілів;
- таблиця Д.1 і Д.2 - для шестигранних профілів;
- таблиці Е.1 і Е.2 - для смугових профілів;
- таблиця Ж.1 - для трапецієподібного профілю.

Пуск стану після планово-попереджувального ремонту, перевалки та інших зупинок здійснюють за командою майстра стану.

Прокатку прутків діаметром понад 40 мм за замовленнями без обточування здійснюють за таблицею 1.2 ГОСТ 2590 з подальшим обточуванням (шліфуванням) на діаметр з допустимими відхиленнями за таблицею 1.1 ГОСТ 2590.

Прокатку сорту здійснюють на стані, налаштованому відповідно до затвердженої схеми прокатки. Для налаштування стану використовують заготовки, забраковані на ад'юстажі або ПБ. Заготовки ПБ марок 03ЖР, 03ЖР-М, 03ЖР-Н для налаштування стану не використовують.

Кількість заготовок, необхідну для налаштування, визначає майстер стану і вказує в робочій карті стану плавки, наступної за настроювальними ПБ.

Налаштування стану на придатному металі не проводять.

Прокатку проводять у калібрах з чистою н гладкою поверхнею. Якість поверхні калібрів визначають шляхом огляду протравлених проб прокату і проб на осадку. У разі, якщо дефекти, що з'явилися на розкатах, не усуваються коригуванням налаштування стану, прокатка припиняється, проводиться заміна калібрів або перевалка. Прокатка на вироблених калібрах забороняється.

Під час прокатки підкату майстер стану повинен забезпечити темп прокатки не менше 65 заготовок/год. При цьому зупинка стану на підігрів металу не допускається.

У разі вимушеної зупинки стану і знаходження металу в зоні високих температур понад 1 год, за відсутності замовлень для шліфування на менший розмір, з печі викидається 40 заготовок. Викинуті заготовки дозволяється ставити тільки після відпалу (за необхідності) і суцільної зачистки на верстатах М7400.

Підстужуванням розкатів перед завданням у п'яту кліть до температури не вище X50 ос ведеться прокатка сталі марок:

а) В(1)Г, ХВСГ за рядовими замовленнями під холодну обробку та експортними замовленнями;

б) У9--У 13(А), 13х;

в) 45Г 17Ю3, що поставляється за групою "А" ТУ 14-1-779 у квадратних, круглих і прямокутних профілях;

г) ШХ15(СГ) всіх способів виплавки за ГОСТ 801 - підкат для калібрувального цеху і сортовий прокат на замовлення з відпалом;

д) 50 за ГОСТ В 10230;

е) ШХ15СМ -Ш (ДИЗ6-Ш) у всіх профілерозмірах.

При виході з чистової кліті розкати вищезазначених марок сталі (крім ХВСГ, ХВ(1)Г і ШХ15С-Ш (ДИЗ6-ш)) охолоджують в установці прискореного охолодження (УПО).

Температура поверхні прокату, що пройшов прискорене прискорення післядеформаційне охолодження в УПО стану 325, вимірюється реєстратором у жолобі скидача на холодильнику і повинна відповідати температурі, наведеній у таблиці 1.4, крім прокату (підкату) сталі 50 за ГОСТ В 10230, ТП. 214-06, який охолоджують до температури поверхні від 660 0С до 610 0С.

Таблиця 1.4 - Температура поверхні прокату, що пройшов прискорене охолодження

Діаметр профілю, мм	22-23	24-26	27-28	29-30	31-33	34-36	37-42
Інтервал температур, °С	680-730	660-710	650-700	640-690	630-680	620-670	610-660

У разі виходу з ладу реєстратора, що вимірює і реєструє температуру поверхні розкату після виходу його з УПО в жолобі скидача, дозволяється вимірювати температуру поверхні прокату, що пройшов самовідпуск на холодильнику пірометром "Промінь". Температура поверхні розкату на холодильнику після вирівнювання її за перерізом профілю має бути не вище

770 °С і не нижче 720 °С. Результати вимірювання змінний майстер або вальцювальник сьомого розряду заносять у робочу карту стану.

У разі перевищення температури розкату під час вимірювання на холодильнику необхідно:

- а) збільшити витрату води і подачу повітря в УУО;
- б) проводити підстужування розкатів до нижчих температур перед п'ятою кліттю. Мінімальна допустима температура металу під час прокатки в п'ятій кліті - 750 °С;
- в) зменшити швидкість прокатки в чистовій лінії.

Для забезпечення необхідних механічних властивостей після волочіння (калібрування) підкат марок сталі 15Х-45Х, 20-50 за ДСТУ 10702, ДСТУ 3684 під час виходу з чистової кліті охолоджують у УУО до температури поверхні не вище за 770 °С, а підкат сталі 50 за ДСТУ В 10230 - не вище за 660 °С.

Під час прокатки сталі марки ШХ15СМ-(Ш) (ДІ36-Ш) у всіх профілерозмірах перед подачею в п'яту кліть проводити підстужування розкатів до температури 850 °С. В установці прискореного охолодження метал не охолоджувати.

Загартування сортового прокату аустенітних нержавіючих марок сталі (група VII "а" таблиці А.1 додатка А) проводять з такими особливостями:

- температура поверхні розкату перед п'ятою кліттю має бути не нижче 1030 °С і контролюватися на реєстраторі;
- післядеформаційне прискорене охолодження прокату проводять в УПО з максимальною витратою води до 250 м³ /год. Температура поверхні розкату після прискореного охолодження фіксується на реєстраторі.

Технологічним контроль якості поверхні та форми поперечного перерізу прутків у процесі прокатки здійснюють шляхом огляду проб на гаряче осідання і протравлених проб прокату, попередньо охолоджених перед травленням до температури нижче "точки кипіння води", довжина проб - не менше 400 мм. Травлення проводять у травильній ванні.

Склад травильної ванни за масою:

- соляна кислота HCl - 45 %;
- азотна кислота HNO_3 - 10 %;
- вода - 45%.

Травлення проводять у такий спосіб: проби в спеціально виготовленому скобі з дроту діаметром від 6 мм до 8 мм опускають у травильну ванну. Травлення проб проводять від 7 хв до 10 хв. Після травлення промивають у воді і знову занурюють у кислоту від 5 хв до 10 хв.

Після повторного травлення проби промивають у холодній воді та нейтралізують у 30 % содовому розчині.

Проби для випробувань на гарячу осадку відбирають довжиною, що дорівнює від 2 до 2,5 діаметрам прутка.

Нагрівання проб перед гарячим осадженням проводять за температури від 950 °С до 1050 °С. Тривалість нагрівання проб перед осадженням становить із розрахунку 1 хв на 1 мм перерізу. Осадку проводять на гідравлічному пресі або молоті до 1/3 висоти зразка (66 %) відповідно до ГОСТ 8817. Після осадження проби охолоджують на повітрі.

По дві проби для огляду поверхні і по три проби на осадку відбирають від кожної партії-плавки.

Під час прокатки великих партій-плавок (50 і більше заготовок) проби відбирають через кожні 50 розкатів. На вимогу або вказівку майстра стану кількість проб може бути збільшено.

У разі незадовільної якості проб прокатку припиняють і вживають заходів щодо усунення причин утворення дефектів. Усі проби поточного контролю мають бути пред'явлені майстру стану і зберігатися до кінця зміни.

Результати контролю фіксують у робочій карті стану, яку підписують майстер стану і вальцювальник сьомого розряду, як відповідальний за точність геометричних розмірів профілю і якість поверхні прокату.

Порізання розкатів на прутки мірної, кратної або немірної довжини здійснюють на ножицях холодного різання із застосуванням профільних

ножів для круглих і шестигранних профілів, на плоских ножах - для смугових і квадратних профілів.

Задану довжину прутків вказують у робочій карті. Нарізку розкатів на мірні довжини на замовлення через ЦАОМ, калібрувальний цех виробляють на прутки завдовжки відповідно до замовлення плюс 60 мм (на видалення зім'ятих торців), що вказують у робочій карті стану.

Порізку розкатів, які одночасно розрізають на ножицях, проводять відповідно до таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Порізка розкатів під час прокатки

Діаметр кола, мм	22	23-24	25	26	27-28	29-32	33-34	35-35	39-42
Кількість струмків на ножі, шт.	12			10			7		6
Кількість розкатів (без прискореного охолодження), шт.	11-12	10-12	9-11	8-10	8-9	6--8	5-7	5-6	4-6
Кількість розкатів (після прискореного охолодження), шт. не більше	11	10	9	8	7	6	5	4	3

Під час різання підкату підшипникових сталей передні та задні кінці розкатів не відрізають, при цьому довжина кінцевих прутків збільшується на довжину обрізу. Кінцеві прутки в процесі різання відсортовують в окремі пачки, на контрольних штангах і бирках яких додатково наноситься клеймо "А".

Партія з клеймом "А" на всіх технологічних операціях до волочіння в калібрувальному цеху зберігається окремо. Розкати низ сталі 03X14H7B (ЗІ75) перед різанням підстуджують на холодильнику до потемніння

поверхні. різання розкатів проводять тільки на профільних ножах, що відповідають профілю прокату.

Якість різу повинна відповідати вимогам НД на конкретний вид продукції. Таврування підкату і сортового прокату проводять відповідно до розділу 4 ТИ 143-П-13.

Прутковий підкат і сорт після порізки пов'язують у пакети дротом не менше ніж у двох місцях. На кожен пакет навішують дві бирки, на яких вказують номер плавки, марку сталі, профіль, масу пакета і залишають у пакеті прутки з контрольним клеймом.

Маса пакетів усіх марок сталі не повинна перевищувати 5,0 т.

Відбір проб для контролю якості металу проводять відповідно до інструкцій з відбору проб.

Метал груп III, IV, V і VI таблиці А.1 додатка А, контрольований у сорті на знеуглецювання, що перебував у зоні високих температур довше, ніж передбачено пунктом 4.9, пакетують окремо та контролюють на знеуглецювання як окрему плавку, на подвоєній кількості зразків.

Проби маркують номером плавки і маркою сталі (сплаву). Охолодження проб - на повітрі (крім тріщиностійких сталей) і відвантаження в цех випробувань - згідно з ТИ 143-П-14-16.

Згідно з ГОСТ 7564 для контролю металу на осадку в холодному стані відбирають проби від будь-якого кінця прутка.

Умови випробувань, стан поверхні зразків і порядок оцінки результатів повинні відповідати вимогам ГОСТ 8817.

Сталь Х17Н2 застосовується: для виробництва порошку, використовуваного в виробництві проникних виробів і пористої прокатої і спеченої стрічки, фільтрів для очищення мастил, палива, лугів, повітря та інших газів і технічних рідин, а також для виготовлення полум'ягасителів, пористих охолоджувачів.

Порошок зі сталі Х17Н2 виготовляють методом спільного відновлення суміші оксидів металів і металевих порошоків гідридом кальцію.

Стандарт тверді сплави, металокерамічні вироби та порошки металеві
ГОСТ 13084-88

Хімічний склад ГОСТ 13084-88 С 0,08-0,7; S \leq 0,02; P \leq 0,03; Mn \leq 0,035; Cr 15-19; Si \leq 0,1; Ni 1,5-2,5; Fe залишок; Tn \leq 0,08; Ca \leq 0,08; O 0,35.

1.4 Висновки до розділу 1

Було розглянуто дрібносортний стан 325, лінійного типу. Який складеться з однієї обтискної кліті 500 та п'яти чистових клітей 325. на якому виконують прокатку прутків з вуглецевих, легованих, високолегованих сталей і сплавів.

Основне і допоміжне обладнання стану розташоване в прольотах цеху до них входять, дві методичні нагрівальні печі - одна з яких постійно діюча, інша – резерв; рейковий холодильник; ножиці гарячого різання які встановлені за подовжувальним рольгангом, використовують для обрізання розшаруваних кінців розкату або порізки недокату на частини.

Травлення проводять у травильній ванні. Склад травильної ванни за масою: - соляна кислота HCl - 45 %; - азотна кислота HNO₃ - 10 %; - вода - 45%. Травлення проб проводять від 7 хв до 10 хв. Після травлення промивають у воді і знову занурюють у кислоту

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок калібрування круглої сталі діаметром 38 мм при прокатці на дрібно-сортному стані 325

Стан складається з однієї обтискної кліті 500 мм ($n = 100$ об/хв) й чистової лінії клітей (5) з валками діаметром 325 мм ($n = 300$ об/хв).

Кліть 1 – $N = 2400$ кВт; $n = 120 - 240$ об/хв;

Кліть 2-6 – $N = 2400$ кВт; $n = 260 - 500$ об/хв.

Розрахунок:

Знаходимо розміри холодного круглого профілю з урахуванням допусків.

Для якісних сталей можливо використовувати середнім відхиленням з урахуванням від'ємних и додаткових допусків:

$$d_x = d + \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = 38 + \frac{0,2 - 0,6}{2} = 37,8 \text{ мм.}$$

де Δ - від'ємне відхилення за діаметром D , відношення за ГОСТ 2590-57 для підвищення точності круга 38 мм складе $0,2 \div (-0,6)$

Знаходимо розмір чистового круга

$$d_r = (1,012 \div 1,015) \cdot d_x = 1,013 \cdot 37,8 = 38,2 \text{ мм.}$$

Площа чистового круга

$$F_6 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 38,2^2}{4} = 1146 \text{ мм}^2.$$

Використовуючи залежність на рис.1 знаходимо розширення $\Delta b_6 = 3$ мм

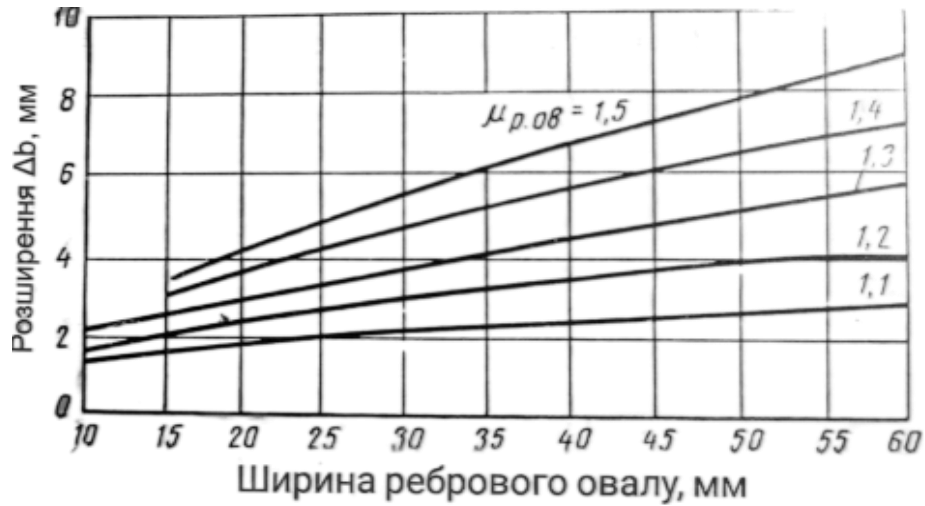


Рисунок 2.1 Розширення овалної смуги в ребровому овалі під час прокатки у валках

Знаходимо висоту перед чистового овалу

$$h_5 = d_6 - \Delta b_6 = 38,2 - 3 = 35,2 \text{ мм.}$$

Знаходимо площу овалу

$$F_5 = F_6 \cdot \mu_6 = 1146 \cdot 1,12 = 1284 \text{ мм}^2.$$

Знаходимо ширину овалу

$$b_5 = \frac{3F_5}{2h_5 - S} = \frac{3 \cdot 1284}{2 \cdot 35,2 - 2} = 56,3 \text{ мм;}$$

$$S = (0,005 \div 0,012) \cdot D = 2.$$

Відповідно до рис 2.2 Коефіцієнт витяжки $\mu_5 = 1,22$

Знаходимо площу перед чистового квадрату

$$F_4 = F_5 \cdot \mu_5 = 1284 \cdot 1,22 = 1566 \text{ мм}^2.$$

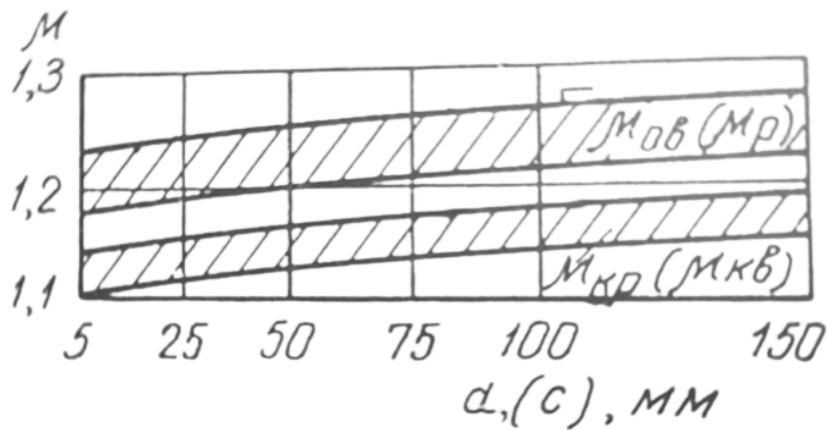


Рисунок 2.2 – Залежність коефіцієнтів витяжки в чистовому колі та передчистовому овалі, а також у чистовому квадраті та передчистовому ромбі від діаметра кола d або сторони квадрата c

Сторона перед чистового квадрату з урахуванням заокруглень

$$C_4 = \sqrt{1,03 \cdot F_4} = \sqrt{1,03 \cdot 1566} = 40,2 \text{ мм.}$$

Перевіримо розширення в перед чистовому овалі

$$\begin{aligned} \Delta b_5 &= \sqrt{(C_4 - h_{\text{ов.сп}}) \cdot R_{\text{к.сп}} \cdot \frac{C_4 - h_{\text{ов.сп}}}{C_4}} = \\ &= \sqrt{(40,2 - 20,3) \cdot 152,3 \cdot \frac{40,2 - 20,3}{40,2}} = 10,9 \text{ мм;} \end{aligned}$$

$$h_{\text{ов.сп}} = \frac{F_6}{b_5} = \frac{1146}{56,3} = 20,3 \text{ мм;}$$

$$R_{\text{к.сп}} = 0,5 \cdot (325 - h_{\text{ов.сп}}) = 0,5 \cdot (325 - 20,3) = 152,3 \text{ мм.}$$

Ширина квадратного калібра

$$b_4 = 1,41 \cdot C_4 - S = 1,41 \cdot 40,2 - 2 = 54,8 \text{ мм.}$$

Висота квадрата при $r = 0,1 \cdot C_4 = 0,1 \cdot 40,2 = 4,02 \approx 4$ мм дорівнює

$$h_4 = 1,41 \cdot C_4 - 0,82 \cdot r = 1,41 \cdot 40,2 - 0,82 \cdot 4 = 53,4 \text{ мм.}$$

Середня швидкість прокатки в чистовій лінії для середнього катаючого діаметру валків приблизно 300 мм при $n \approx 300$ об/хв

$$v = \frac{\pi D_{\text{к.ср}} n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,3 \cdot 300}{60} = 4,7 \text{ м/с.}$$

По графіку рис. 2.3 допустимий кут захоплення для сталевих валків при $v = 4,7$ м/с приблизно буде 22°

Приймаємо $\mu_4 = 1,36$

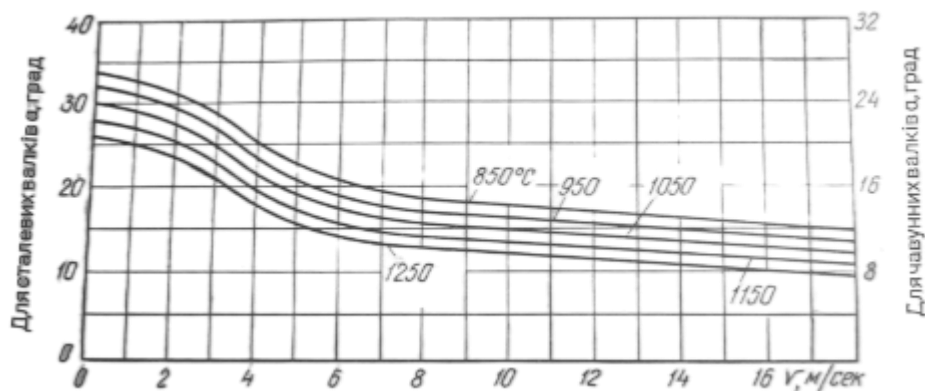


Рисунок 2.3 – Залежність кута захоплення від температури і швидкості прокатки

Визначаємо витяжку в третьому проході

$$\mu_3 = 1 + 1,5(\mu_4 - 1) = 1 + 1,5(1,36 - 1) = 1,54.$$

Знаходимо площу наступного великого квадрату

$$F_2 = \mu_3 \cdot \mu_4 \cdot F_4 = 1,54 \cdot 1,36 \cdot 1566 = 3279 \text{ мм.}$$

Сторона квадратного калібра

$$C_2 = \sqrt{1,03 \cdot F_2} = \sqrt{1,03 \cdot 3279} = 58,1 \text{ мм}^2.$$

При квадраті $C_2 = 58,1$ та $\alpha = 22^\circ$, коефіцієнт складе $\mu_2 = 1,33$
Визначаємо витяжку в першому проході

$$\mu_1 = 1 + 1,5(\mu_2 - 1) = 1 + 1,5(1,33 - 1) = 1,5.$$

Тоді площа наступного великого квадрату дорівнює

$$F_0 = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot F_2 = 1,5 \cdot 1,33 \cdot 3279 = 6541 \text{ мм}^2.$$

Знаходимо розмір заготовки

$$C_0 = \sqrt{1,03 \cdot F_0} = \sqrt{1,03 \cdot 6541} = 81,7 \text{ мм.}$$

Приймаємо $C_0 = 80$ мм

Тоді одержуємо

Калібр VI – чистовий круг ($d=38,2$ мм)

Калібр V – перед-чистовий овал ($h_5=35,2/b_5=56,3$)

Калібр IV – перед-чистовий квадрат ($C_4=40,2$)

Калібр III – чорновий овал

Калібр II – чорновий квадрат ($C_2=58,1$)

Калібр I – чорновий овал

Заготовка – квадрат 80×80 мм

приймаємо коефіцієнт в круглому калібрі $\mu=1,37$, а в овальному $\mu=1,56$

Знаходимо висоту овалу

$$h_3 = 1,41 \cdot C_4 - S - \Delta b_3 = 1,41 \cdot 40,2 - 2 - 12 = 42,7 \text{ мм.}$$

Приймаємо $\Delta b_3 = 12$

Знаходимо ширину овалу

$$b_3 = \frac{3 \cdot F_3}{2 \cdot h_3 + S} = \frac{3 \cdot 2411}{2 \cdot 42,7 + 2} = 82,7 \text{ мм};$$

$$F_3 = \mu_4 \cdot F_4 = 1,54 \cdot 1566 = 2411.$$

Визначаємо розширення в овальному калібрі

$$\Delta b_3 = 0,4 \sqrt{\Delta h_{\text{cp}} \cdot R_{\text{к.ср}}} \cdot \frac{\Delta h_{\text{cp}}}{C_2} = 0,4 \sqrt{28,9 \cdot 147,9} \cdot \frac{28,9}{58,1} = 13 \text{ мм};$$

$$R_{\text{к.ср}} = 0,5 \left(325 - \frac{F_3}{b_3} \right) = 0,5 \left(325 - \frac{2411}{82,7} \right) = 147,9 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\text{cp}} = C_2 - \frac{F_3}{b_3} = 58,1 - \frac{2411}{82,7} = 28,9 \text{ мм}.$$

Висота овалу

$$h_1 = 1,41 \cdot C_2 - S - \Delta b_2 = 1,41 \cdot 58,1 - 2 - 14 = 65,9 \text{ мм}.$$

Δb_2 приймаємо 14 мм

Ширина овалу

$$b_1 = \frac{3 \cdot F_1}{2 \cdot C_2 + S} = \frac{3 \cdot 4361}{2 \cdot 58,1 + 2} = 110,6 \text{ мм};$$

$$F_1 = \mu_2 \cdot F_2 = 1,33 \cdot 3279 = 4361 \text{ мм}^2.$$

Перевіряємо розширення квадратної заготовки в овальному калібрі

$$\begin{aligned} \Delta b_1 &= 0,4 \sqrt{(C_0 - h_{\text{cp}}) \cdot R_{\text{к.ср}}} \cdot \frac{C_0 - h_{\text{cp}}}{C_0} = \\ &= 0,4 \sqrt{(80 - 39,4) \cdot 140,8} \cdot \frac{80 - 39,4}{80} = 16 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$h_{cp} = \frac{F_1}{b_1} = \frac{4361}{110,6} = 39,4 \text{ мм};$$

$$R_{к.ср} = 0,5(325 - h_{cp}) = 0,5(325 - 39,4) = 142,8 \text{ мм}.$$

Знаходимо останні дані для першого проходу

Максимальний обтиск

$$\Delta h_1 = C_0 - h_1 + 2R_1 - 2\sqrt{R_1^2 - 0,25 \cdot C'^2} =$$

$$= 80 - 65,9 + 2 \cdot 68 - 2\sqrt{60^2 - 0,25 \cdot 68^2} = 51,2 \text{ мм};$$

$$C' = C - 0,15 \cdot C = 80 - 0,15 \cdot 80 = 68 \text{ мм};$$

$$R_1 = \frac{60^2 + (65,9 - 2)^2}{2(65,9 - 2)} = 60 \text{ мм}.$$

Катаючий діаметр

$$D_{к.1} = 325 - h_1 + 2R_1 - 2\sqrt{R_1^2 - 0,25 \cdot C'^2} =$$

$$= 325 - 65,9 + 2 \cdot 68 - 2\sqrt{60^2 - 0,25 \cdot 68^2} = 296 \text{ мм}.$$

Угол захвату

$$\alpha_1 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_1}{D_{к.1}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{51,2}{296}\right) = 34^\circ 12'.$$

Знаходимо останні дані в 2 проході

Висота квадрату

$$h_2 = 1,41 \cdot C_2 - 0,82 \cdot r_2 = 1,41 \cdot 58,1 - 0,82 \cdot 8,7 = 74,7 \text{ мм}.$$

Радіус закруглення калібра

$$r_2 = 0,15C_2 = 0,15 \cdot 58,1 = 8,7 \text{ мм}.$$

Максимальний обтиск

$$\Delta h_2 = b_1 - h_2 = 110,6 - 74,7 = 35,9 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр

$$D_{к.2} = 325 - h_2 = 325 - 74,7 = 250,3 \text{ мм.}$$

Угол захвату

$$\alpha_2 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_2}{D_{к.2}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{35,9}{250,3}\right) = 31^\circ.$$

Знаходимо останні дані в 3 проході

Максимальний обтиск

$$\begin{aligned} \Delta h_3 &= C_2 - h_3 + 2R_3 - 2\sqrt{R_3^2 - 0,25 \cdot C'^2} = \\ &= 58,1 - 41,7 + 2 \cdot 53 - 2\sqrt{53^2 - 0,25 \cdot 49,38^2} = 30,8 \text{ мм;} \\ R_3 &= \frac{b_3^2 + h_3'^2}{4 \cdot h_3'} = \frac{82,7^2 + 39,7^2}{4 \cdot 39,7} = 53 \text{ мм;} \\ h_3' &= h_3 - S = 41,7 - 2 = 39,7 \text{ мм;} \\ C' &= C_2 - 0,15 \cdot C_2 = 58,1 - 0,15 \cdot 58,1 = 49,38 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Катаючий діаметр

$$\begin{aligned} D_{к.3} &= 325 - h_3 + 2R_3 - 2\sqrt{R_3^2 - 0,25 \cdot C'^2} = \\ &= 325 - 41,7 + 2 \cdot 53 - 2\sqrt{53^2 - 0,25 \cdot 49,38^2} = 295,5 \text{ мм;} \\ \alpha_1 &= \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_3}{D_{к.3}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{30,8}{295,5}\right) = 26^\circ 23'. \end{aligned}$$

Знаходимо останні дані в 4 проході

Висота квадрату

$$h_4 = 1,41 \cdot C_4 - 0,82 \cdot r_4 = 1,41 \cdot 40,2 - 0,82 \cdot 6 = 51,7 \text{ мм.}$$

Радіус закруглення калібра

$$r_4 = 0,15C_4 = 0,15 \cdot 40,2 = 6 \text{ мм.}$$

Максимальний обтиск

$$\Delta h_4 = b_3 - h_4 = 82,7 - 51,7 = 31 \text{ мм.}$$

Катаючий діаметр

$$D_{к.4} = 325 - h_4 = 325 - 51,7 = 273,3 \text{ мм.}$$

Угол захвату

$$\alpha_4 = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_4}{D_{к.4}} \right) = \arccos \left(1 - \frac{31}{273,3} \right) = 27^\circ 33'.$$

Знаходимо останні дані в 5 проході

Максимальний обтиск

$$\begin{aligned} \Delta h_5 &= C_4 - h_5 + 2R_5 - 2\sqrt{R_5^2 - 0,25 \cdot C'^2} = \\ &= 40,2 - 35,2 + 2 \cdot 32,1 - 2\sqrt{32,1^2 - 0,25 \cdot 34,17^2} = 14,84 \text{ мм;} \\ R_5 &= \frac{b_5^2 + h_5'^2}{4 \cdot h_5'} = \frac{56,3^2 + 33,2^2}{4 \cdot 33,2} = 32,1 \text{ мм;} \end{aligned}$$

$$h'_5 = h_5 - S = 35,2 - 2 = 33,2 \text{ мм};$$

$$C' = C_4 - 0,15 \cdot C_4 = 40,2 - 0,15 \cdot 40,2 = 34,17 \text{ мм}.$$

Катаючий діаметр

$$D_{к.5} = 325 - h_5 + 2R_5 - 2\sqrt{R_5^2 - 0,25 \cdot C'} = 325 - 35,2 + 2 \cdot$$

$$\cdot 32,1 - 2\sqrt{32,1^2 - 0,25 \cdot 34,17^2} = 299,6 \text{ мм}$$

Угол захвату

$$\alpha_5 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_5}{D_{к.5}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{14,84}{299,6}\right) = 18^\circ 6'$$

Знаходимо останні дані в 6 проході

$$\Delta h_6 = b_5 - d_6 = 56,3 - 38,2 = 18,1 \text{ мм}$$

Катаючий діаметр

$$D_{к.6} = 325 - d_6 = 325 - 38,2 = 286,8 \text{ мм}$$

Угол захвату

$$\alpha_6 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_5}{D_{к.6}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{18,1}{286,8}\right) = 20^\circ 27'$$

Результати розрахунків калібровки круглої сталі діаметром 38 мм заносимо до табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків калібровки

№	№ калібр	Форма калібра	Розміри полоси			Δh_{MAX} , мм	Δb , мм	F, мм	μ	D_k , мм	α
			h, мм	b, мм	C, мм						
		Квадратна заготовка	–	–	80	–	–	6541	–	–	–
1	I	Овал	65,9	110,6	–	51,2	16	4361	1,5	296	34°12'
2	II	Квадрат	74,7	73,3	58,1	35,9	14	3279	1,33	250,3	31°
3	III	Овал	41,7	82,7	–	30,8	13	2411	1,36	295,5	26°23'
4	IV	Квадрат	54,8	53,4	40,2	31	11,7	1566	1,54	273,3	27°33'
5	V	Овал	35,2	56,3	–	14,84	10,9	1284	1,22	299,6	18°6'
6	VI	Круг	38,2	38,2	–	18,1	3	1146	1,12	286,8	20°27'

2.2 Розрахунок змінювання температури металу при гарячому прокатуванні

Розрахунок будемо вести для центральної по довжині точки розкату, заготовка довжиною 2000 мм із сталі X17H2 нагрівається в методичній печі до температури 1280°C. Після видачі з печі вона транспортується по рольгангу до робочої кліті, внаслідок чого відбувається зниження температури металу із-за втрат теплоти випромінюванням в навколишнє середовище.

Для нашого випадку час охолодження заготовки при транспортуванні її від печі до кліті визначатиметься часом її транспортування

$$\tau_{\text{охл1}} = \frac{L}{v_{\text{тр}}} + \frac{l_0/2}{v_0}$$

де $\tau_{\text{охл1}}$ - час охолодження металу при транспортуванні його від печі до кліті, с;

L - відстань від печі до кліті, 15 м;

$v_{\text{тр}}$ - швидкість транспортування заготовки від печі до кліті, 1.7 м/с.

Швидкість входу заготовки в кліть визначаємо, використовуючи формулу

$$\begin{aligned}v_0 &= v_1/\lambda_1 = 0,9/0,878 = 1,02 \text{ м/с}; \\ \lambda_1 &= l_0/l_1 = 2000/1756 = 0,878; \\ l_1 &= \frac{h_0 \cdot b_0 \cdot l_0}{h_1 \cdot b_1} = \frac{80 \cdot 80 \cdot 2000}{65,9 \cdot 110,6} = 1756 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Отже, час охолодження заготовки при її транспортуванні від печі до кліті складе

$$\tau_{\text{охл1}} = \frac{15}{1,7} + \frac{2000/2}{1,02} = 9,8 \text{ с.}$$

Тепер можливо визначити температуру металу перед першим проходом після втрат теплоти випромінюванням. Температуру металу визначатимемо не в Кельвінах, а відразу в градусах за Цельсієм, і позначимо її $T_{\text{вх}}$, тобто температура металу при вході в прокатну кліть

$$\begin{aligned}T_{\text{вх1}} &= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot \tau_{\text{охл1}}}{h_0}\right) + \left(\frac{1000}{T_0 + 273}\right)^3}} - 273 = \\ &= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot 9,8}{80}\right) + \left(\frac{1000}{1280 + 273}\right)^3}} - 273 = 1268^\circ\text{C.}\end{aligned}$$

Таким чином, в кліть заготівка входить з температурою 1268°C . Далі визначаємо втрати тепла за рахунок контакту з ватками. При цьому приймаємо температуру валків $T_{\text{в}} = 250^\circ\text{C}$.

Середня швидкість прокатки в першому проході

$$v_{\text{сер1}} = (v_0 + v_1)/2 = (1,02 + 0,9)/2 = 0,96 \text{ м/с.}$$

Радіус валків кліті

$$R_B = D_B/2 = 325/2 = 162,5 \text{ мм.}$$

Довжина осередку деформування в I проході

$$l_{д1} = \sqrt{R_B \cdot \Delta h_1} = \sqrt{162,5 \cdot 51,2} = 91,2 \text{ мм.}$$

Таким чином, падіння температуру при контакті з валками в I проході

$$\begin{aligned} \Delta T_{кв1} &= \frac{4,87}{(h_0 + h_1)} \cdot (T_{вх1} - T_B) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_0 \cdot l_{д1}}{1000 \cdot (h_0 + h_1) \cdot \vartheta_{сер1}}} = \\ &= \frac{4,87}{(80 + 65,9)} \cdot (1268 - 250) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 80 \cdot 47,9}{1000 \cdot (80 + 65,9) \cdot 2,14}} = 8^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

Для визначення деформаційного розігрівання приймаємо коефіцієнт теплоємності для сталі $c = 500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$, щільність металу $\rho = 7750 \text{ кг}/\text{м}^3$

Оскільки для виведення диференціального рівняння контактного тиску використовується умова пластичності при двовимірній деформації, то в цьому випадку нехтуємо розрахованим раніше розширенням і для розрахунку середнього контактного тиску приймаємо коефіцієнт Лоде рівним $\beta = 1,15$.

Для нашого випадку в першому проході

$$h_{сер1} = (h_0 + h_1)/2 = (80 + 65,9)/2 = 72,95 \text{ мм.}$$

Для першого проходу (оскільки $l_{д1}/h_{сер1} = 47,9/72,95 = 0,656 < 1$), то коефіцієнт n''_{σ} визначається по формулі:

$$n''_{\sigma} = (l_{д1}/h_{сер1})^{-0,4} = (47,9/72,95)^{-0,4} = 1,184.$$

Оскільки в розрахунку натягнення відсутнє, то коефіцієнт $n'' = 1$

Середня ширина штаби в першому проході

$$b_{\text{сер1}} = (b_0 + b_1)/2 = (80 + 110,6)/2 = 95,3 \text{ мм.}$$

Відношення $b_{\text{сер1}}/l_{\text{д1}} = 95,3/91,2 = 1,045 < 5$, тому розраховуємо коефіцієнт n_{bl} по формулі

Спочатку визначаємо кут захвату

$$\alpha_1 = \arccos \left(1 - \frac{\Delta h_1}{D_B} \right) = \arccos \left(1 - \frac{14,1}{325} \right) \cdot 57,3 = 32,6^\circ;$$

$$\Delta h_1 = h_0 - h_1 = 80 - 65,9 = 14,1 \text{ мм.}$$

Далі визначаємо коефіцієнт тертя. Оскільки прокатка відбувається на сталевих валках, то коефіцієнт $k_1 = 1$.

Для I проходу коефіцієнт k_2 дорівнює

$$k_2 = 1,67 \cdot \vartheta_1^{-0,25} - 0,4 = 1,67 \cdot 0,9^{-0,25} - 0,4 = 1,315.$$

Для сталі марки X17H2 приймаємо $k_3 = 0,866$. Таким чином, коефіцієнт тертя в першому проході дорівнює

$$\begin{aligned} f_1 &= k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot T_{\text{вх1}}) = \\ &= 1 \cdot 1,315 \cdot 0,866 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 1268) = 0,47. \end{aligned}$$

Тоді

$$l'_{\text{д1}} = l_{\text{д1}} \cdot \left[1 - \frac{\text{tg} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right)}{f_1} \right] = 91,2 \cdot \left[1 - \frac{\text{tg} \left(\frac{32,6/57,3}{2} \right)}{0,47} \right] = 30,91 \text{ мм.}$$

По формулі (1) знаходимо

$$n_{b1} = \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot b_{\text{сер1}} - l'_{\text{д1}}}{6 \cdot b_{\text{сер1}}} \right) \cdot f_1 \cdot \frac{l'_{\text{д1}}}{h_{\text{сер1}}}}{1 + \frac{f_1}{2} \cdot \frac{l'_{\text{д1}}}{h_{\text{сер1}}}} =$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot 95,3 - 31,8}{6 \cdot 95,3} \right) \cdot 0,47 \cdot \frac{31,8}{72,95}}{1 + \frac{0,47}{2} \cdot \frac{31,8}{72,95}} = 0,99.$$

Таким чином, коефіцієнт напруженого стану в першому проході

$$n_{\sigma1} = n'_{\sigma1} \cdot n''_{\sigma1} \cdot n'''_{\sigma1} \cdot n_{b1} = 1,11 \cdot 1,184 \cdot 1 \cdot 0,99 = 1,299.$$

Швидкість деформації в першому проході

$$\xi_1 = \vartheta_1 \cdot \varepsilon_{h1} / l_{\text{д1}} = 2 \cdot (17,63/100) / 91,2 = 3,31 \text{ c}^{-1};$$

$$\varepsilon_{h1} = \frac{\Delta h_1}{h_0} \cdot 100 = \frac{14,1}{80} \cdot 100 = 17,63\%.$$

Для сталі X17H2 коефіцієнти дорівнюють

$$k = 0,866; \sigma_0 = 126; \alpha = 0,13; b = 0,063; c = -4,72.$$

Тому опір металу деформації в першому проході складе

$$\sigma_{s1} = k \cdot \sigma_0 \cdot \xi_1^\alpha \cdot (10 \cdot \varepsilon_{h1})^b \cdot (T_{\text{вх1}}/1000)^c =$$

$$= 0,866 \cdot 126 \cdot 3,31^{0,13} \cdot (10 \cdot (17,63/100))^{0,063} \cdot \left(\frac{1268}{1000} \right)^{-4,72} =$$

$$= 43,16 \text{ МПа}$$

Тепер знаходимо середнє нормальне контактне напруження

$$p_{\text{сер1}} = \beta \cdot n_{\sigma 1} \cdot \sigma_{s1} = 1,15 \cdot 1,299 \cdot 43,16 = 64,49 \text{ МПа.}$$

Отже, деформаційним розігрівши в першому проході буде

$$\Delta T_{\text{деф1}} = 0,85 \cdot \frac{p_{\text{сер1}}}{c \cdot \rho} \cdot \ln \frac{h_0}{h_1} = 0,85 \cdot \frac{64,49 \cdot 10^6}{500 \cdot 7750} \cdot \ln \frac{80}{65,9} = 3^\circ\text{C.}$$

Знаючи втрати температури при контактї з валками і деформаційний розігрів, можна знайти температуру металу при виході його з кліті після першого проходу:

$$T_{\text{вих1}} = T_{\text{вх1}} - \Delta T_{\text{кв1}} + \Delta T_{\text{деф1}} = 1268 - 8 + 3 = 1263^\circ\text{C.}$$

Після виходу з кліті після першого проходу розкат починає охолоджуватися за рахунок випромінювання, тому так само, як і для першого проходу визначаємо температуру металу перед входом в кліть в другому проході:

$$T_{\text{вх2}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot \tau_{\text{охл2}}}{h_1}\right) + \left(\frac{1000}{T_{\text{вих1}} + 273}\right)^3}} - 273$$

де $\tau_{\text{охл2}}$ – час охолодження металу перед другим проходом, с;

Час охолодження розкату

$$\tau_{\text{охл2}} = \tau_{\text{вих1}} + \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{вх2}}$$

де $\tau_{\text{вих1}}$ - час виходу штаби з кліті в першому проході, с;

$\tau_{\text{п}}$ – час паузи, с;

$\tau_{\text{вх2}}$ - час входу штаби в кліть при другому проході, с.

$$\tau_{\text{охл2}} = \frac{l_1/2}{v_1} + \tau_{\text{п}} + \frac{l_2/2}{v_2} = \frac{1756/2}{0,9} + 4 + \frac{2338/2}{1,3} = 5,87 \text{ с;}$$

$$l_1 = \frac{h_0 \cdot b_0 \cdot l_0}{h_1 \cdot b_1} = \frac{80 \cdot 80 \cdot 2000}{65,9 \cdot 110,6} = 1756 \text{ мм.}$$

Час паузи $\tau_{\text{п}} = 4 \text{ с.}$

Температура металу перед другим проходом

$$T_{\text{вх2}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot 5,87}{65,9}\right) + \left(\frac{1000}{1260 + 273}\right)^3}} - 273 = 1254 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Далі аналогічно визначаємо втрату температури при контакті з валками, деформаційний розігрів і, відповідно, температуру металу при виході з кліті після другого проходу.

Довжина осередку деформування в II проході

$$l_{\text{д2}} = \sqrt{R_{\text{в}} \cdot \Delta h_2} = \sqrt{162,5 \cdot 35,9} = 76,4 \text{ мм;} \\ \Delta h_2 = b_1 - h_2 = 110,6 - 74,7 = 35,9 \text{ мм.}$$

Падіння температури при контакті з валками в II проході

$$\Delta T_{\text{кв2}} = \frac{4,87}{(h_1 + h_2)} \cdot (T_{\text{вх2}} - T_{\text{в}}) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_1 \cdot l_{\text{д2}}}{1000 \cdot (h_1 + h_2) \cdot \vartheta_{\text{сер2}}}} = \\ = \frac{4,87}{(65,9 + 74,7)} \cdot (1254 - 250) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 65,9 \cdot 76,4}{1000 \cdot (65,9 + 74,7) \cdot 1,14}} = 9^\circ\text{C.}$$

Для нашого випадку в II проході

$$h_{\text{сер2}} = (h_1 + h_2)/2 = (65,9 + 74,7)/2 = 70,30 \text{ мм.}$$

Для II проходу (оскільки $l_{д2}/h_{сеп2} = 76,4/70,3 = 1,086 > 1$, то $n''_{\sigma} = 1$)

Оскільки в розрахунку натягнення відсутнє, то коефіцієнт $n'''_{\sigma} = 1$

Середня ширина штаби в II проході

$$b_{сеп2} = (b_1 + b_2)/2 = (110,6 + 73,3)/2 = 91,95 \text{ мм}$$

Відношення $b_{сеп2}/l_{д2} = 91,95/76,4 = 1,204 < 5$, тому розраховуємо коефіцієнт n_{b2} по формулі (1)

Визначаємо кут захвату

$$\alpha_2 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_2}{D_B}\right) = \arccos\left(1 - \frac{35,9}{325}\right) \cdot 57,3 = 27,19^\circ;$$

Коефіцієнт тертя в II проході дорівнює

$$\begin{aligned} f_2 &= k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot T_{вх2}) = \\ &= 1 \cdot 1,164 \cdot 0,866 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 1251) = 0,43. \\ k_2 &= 1,67 \cdot \vartheta_2^{-0,25} - 0,4 = 1,67 \cdot 1,3^{-0,25} - 0,4 = 1,164. \end{aligned}$$

Тоді

$$l'_{д2} = l_{д2} \cdot \left[1 - \frac{tg\left(\frac{\alpha_2}{2}\right)}{f_2}\right] = 76,4 \cdot \left[1 - \frac{tg\left(\frac{27,19/57,3}{2}\right)}{0,43}\right] = 30,05 \text{ мм.}$$

По формулі (1) знаходимо

$$\begin{aligned} n_{b2} &= \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot b_{сеп2} - l'_{д2}}{6 \cdot b_{сеп2}}\right) \cdot f_2 \cdot \frac{l'_{д2}}{h_{сеп2}}}{1 + \frac{f_2}{2} \cdot \frac{l'_{д2}}{h_{сеп2}}} = \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot 92 - 30,21}{6 \cdot 92}\right) \cdot 0,43 \cdot \frac{30,05}{70,3}}{1 + \frac{0,43}{2} \cdot \frac{30,05}{70,3}} = \\ &= 0,991. \end{aligned}$$

Коефіцієнт напруженого стану в II проході

$$n_{\sigma 2} = n'_{\sigma 2} \cdot n''_{\sigma 2} \cdot n'''_{\sigma 2} \cdot n_{b2} = 1,18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,991 = 1,170.$$

Швидкість деформації в II проході

$$\xi_2 = \vartheta_2 \cdot \varepsilon_{h2} / l_{д2} = 2 \cdot (54,48/100) / 91,2 = 6,42 \text{ с}^{-1};$$

$$\varepsilon_{h2} = \frac{\Delta h_2}{h_1} \cdot 100 = \frac{35,9}{74,7} \cdot 100 = 54,48\%.$$

Опір металу деформації в II проході складе

$$\begin{aligned} \sigma_{s2} &= k \cdot \sigma_0 \cdot \xi_2^\alpha \cdot (10 \cdot \varepsilon_{h2})^b \cdot (T_{\text{вх}2} / 1000)^c = \\ &= 0,866 \cdot 126 \cdot 6,42^{0,13} \cdot (10 \cdot (54,48/100))^{0,063} \cdot \left(\frac{1254}{1000}\right)^{-4,72} = \\ &= 53,15 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Тепер знаходимо середнє нормальне контактне напруження

$$p_{\text{сеп}2} = \beta \cdot n_{\sigma 2} \cdot \sigma_{s2} = 1,15 \cdot 1,17 \cdot 53,15 = 71,53 \text{ МПа}.$$

Деформаційним розігрівши в II першому проході буде

$$\Delta T_{\text{деф}2} = 0,85 \cdot \frac{p_{\text{сеп}2}}{c \cdot \rho} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2} = 0,85 \cdot \frac{71,53 \cdot 10^6}{500 \cdot 7750} \cdot \ln \frac{65,9}{74,7} = -2^\circ\text{C}.$$

Знаючи втрати температури при контакті з валками і деформаційний розігрів, можна знайти температуру металу при виході його з кліті після першого проходу:

$$T_{\text{вих}2} = T_{\text{вх}2} - \Delta T_{\text{кв}2} + \Delta T_{\text{деф}2} = 1254 - 9 - 2 = 1243^\circ\text{C}.$$

Температура металу перед III проходом

$$T_{\text{вх3}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot \tau_{\text{охл3}}}{h_3}\right) + \left(\frac{1000}{T_{\text{вих2}} + 273}\right)^3}} - 273 =$$

$$= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot 5,93}{41,7}\right) + \left(\frac{1000}{1254 + 273}\right)^3}} - 273 = 1236 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Час охолодження розкату

$$\tau_{\text{охл3}} = \frac{l_2/2}{\vartheta_2} + \tau_{\text{п}} + \frac{l_3/2}{\vartheta_3} = \frac{2338/2}{1,3} + 4 + \frac{3712/2}{1,8} = 5,93;$$

$$l_2 = \frac{h_1 \cdot b_1 \cdot l_1}{h_2 \cdot b_2} = \frac{65,9 \cdot 110,6 \cdot 1756}{74,7 \cdot 73,3} = 2338 \text{ мм};$$

$$l_3 = \frac{h_2 \cdot b_2 \cdot l_2}{h_3 \cdot b_3} = \frac{74,7 \cdot 73,3 \cdot 2338}{41,7 \cdot 82,7} = 3712 \text{ мм}.$$

Довжина осередку деформування в III проході

$$l_{\text{д3}} = \sqrt{R_{\text{в}} \cdot \Delta h_3} = \sqrt{162,5 \cdot 33} = 70,7 \text{ мм};$$

$$\Delta h_3 = h_2 - h_3 = 74,7 - 41,7 = 33 \text{ мм}.$$

Падіння температури при контакті з валками в III проході

$$\Delta T_{\text{кв3}} = \frac{4,87}{(h_2 + h_3)} \cdot (T_{\text{вх3}} - T_{\text{в}}) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_2 \cdot l_{\text{д3}}}{1000 \cdot (h_2 + h_3) \cdot \vartheta_{\text{сер3}}}} =$$

$$= \frac{4,87}{(74,7 + 41,7)} \cdot (1251 - 250) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 74,7 \cdot 76,4}{1000 \cdot (74,7 + 41,7) \cdot 1,47}} = 10^\circ\text{C}.$$

Для нашого випадку в III проході

$$h_{\text{сер3}} = (h_2 + h_3)/2 = (74,7 + 41,7)/2 = 58,2 \text{ мм.}$$

Для III проходу (оскільки $l_{\text{д3}}/h_{\text{сер3}}=70,7/58,3=1,216 > 1$, то $n''_{\sigma} = 1$)

Оскільки в розрахунку натягнення відсутнє, то коефіцієнт $n'''_{\sigma} = 1$

Середня ширина штаби в III проході

$$b_{\text{сер3}} = (b_2 + b_3)/2 = (73,3 + 82,7)/2 = 78 \text{ мм.}$$

Відношення $b_{\text{сер3}}/l_{\text{д3}} = 78/70,7 = 1,204 < 5$, тому розраховуємо коефіцієнт n_{b3} по формулі (1)

Визначаємо кут захвату

$$\alpha_3 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_3}{D_B}\right) = \arccos\left(1 - \frac{33}{325}\right) \cdot 57,3 = 26,05^\circ.$$

Коефіцієнт тертя в III проході дорівнює

$$f_3 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot T_{\text{вх3}}) =$$

$$= 1 \cdot 1,042 \cdot 0,866 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 1236) = 0,39;$$

$$k_2 = 1,67 \cdot \vartheta_3^{-0,25} - 0,4 = 1,67 \cdot 1,8^{-0,25} - 0,4 = 1,042;$$

$$l'_{\text{д3}} = l_{\text{д3}} \cdot \left[1 - \frac{\text{tg}\left(\frac{\alpha_3}{2}\right)}{f_3}\right] = 76,4 \cdot \left[1 - \frac{\text{tg}\left(\frac{26,05/57,3}{2}\right)}{0,39}\right] = 26,76 \text{ мм;}$$

$$n_{b3} = \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot b_{\text{сер3}} - l'_{\text{д3}}}{6 \cdot b_{\text{сер3}}}\right) \cdot f_3 \cdot \frac{l'_{\text{д3}}}{h_{\text{сер3}}}}{1 + \frac{f_3}{2} \cdot \frac{l'_{\text{д3}}}{h_{\text{сер3}}}} = \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot 78 - 26,76}{6 \cdot 78}\right) \cdot 0,39 \cdot \frac{26,76}{58,2}}{1 + \frac{0,39}{2} \cdot \frac{26,76}{58,2}} =$$

$$= 0,990.$$

Коефіцієнт напруженого стану в III проході

$$n_{\sigma 3} = n'_{\sigma 3} \cdot n''_{\sigma 3} \cdot n'''_{\sigma 3} \cdot n_{b3} = 1,21 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99 = 1,198.$$

Швидкість деформації в III проході

$$\xi_3 = \vartheta_3 \cdot \varepsilon_{h3} / l_{д3} = 2 \cdot (41,2/100) / 27,61 = 5,43 \text{ с}^{-1};$$

$$\varepsilon_{h3} = \frac{\Delta h_3}{h_2} \cdot 100 = \frac{33}{41,7} \cdot 100 = 44,18\%.$$

Опір металу деформації в III проході складе

$$\begin{aligned} \sigma_{s3} &= k \cdot \sigma_0 \cdot \xi_3^\alpha \cdot (10 \cdot \varepsilon_{h3})^b \cdot (T_{вх3}/1000)^c = \\ &= 0,866 \cdot 126 \cdot 5,25^{0,13} \cdot (10 \cdot (44,18/100))^{0,063} \cdot \left(\frac{1236}{1000}\right)^{-4,72} = \\ &= 54,97 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Тепер знаходимо середнє нормальне контактне напруження

$$p_{сер3} = \beta \cdot n_{\sigma 3} \cdot \sigma_{s3} = 1,15 \cdot 1,198 \cdot 54,97 = 75,43 \text{ МПа.}$$

Деформаційним розігрівши в III першому проході буде

$$\Delta T_{деф3} = 0,85 \cdot \frac{p_{сер2}}{c \cdot \rho} \cdot \ln \frac{h_2}{h_3} = 0,85 \cdot \frac{75,75 \cdot 10^6}{500 \cdot 7750} \cdot \ln \frac{74,7}{41,7} = 9^\circ\text{C}.$$

Знаючи втрати температури при контакті з валками і деформаційний розігрів, можна знайти температуру металу при виході його з кліті після першого проходу:

$$T_{вих3} = T_{вх3} - \Delta T_{кв3} + \Delta T_{деф3} = 1236 - 10 + 9 = 1234^\circ\text{C}.$$

Температура металу перед IV проходом

$$T_{\text{вх4}} = \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot \tau_{\text{охл4}}}{h_4}\right) + \left(\frac{1000}{T_{\text{вих3}} + 273}\right)^3}} - 273 =$$

$$= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot 5,98}{54,8}\right) + \left(\frac{1000}{1234 + 273}\right)^3}} - 273 = 1221 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Час охолодження розкату

$$\tau_{\text{охл4}} = \frac{l_3/2}{\vartheta_3} + \tau_{\text{п}} + \frac{l_4/2}{\vartheta_4} = \frac{3712/2}{1,8} + 4 + \frac{4374/2}{2,3} = 5,98;$$

$$l_3 = \frac{h_2 \cdot b_2 \cdot l_2}{h_3 \cdot b_3} = \frac{74,7 \cdot 73,3 \cdot 2338}{41,7 \cdot 82,7} = 3712 \text{ мм};$$

$$l_4 = \frac{h_3 \cdot b_3 \cdot l_3}{h_4 \cdot b_4} = \frac{41,7 \cdot 82,7 \cdot 3712}{54,8 \cdot 53,4} = 4374 \text{ мм}.$$

Довжина осередку деформування в IV проході

$$l_{\text{д4}} = \sqrt{R_{\text{в}} \cdot \Delta h_4} = \sqrt{162,5 \cdot 31} = 67,3 \text{ мм};$$

$$\Delta h_4 = b_3 - h_4 = 82,7 - 54,8 = 27,9 \text{ мм}.$$

Падіння температури при контакті з валками в IV проході

$$\Delta T_{\text{кв4}} = \frac{4,87}{(h_3 + h_4)} \cdot (T_{\text{вх4}} - T_{\text{в}}) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_3 \cdot l_{\text{д4}}}{1000 \cdot (h_3 + h_4) \cdot \vartheta_{\text{сер4}}}} =$$

$$= \frac{4,87}{(41,7 + 54,8)} \cdot (1221 - 250) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 41,7 \cdot 54,8}{1000 \cdot (41,79 + 54,8) \cdot 2,3}} = 8^\circ\text{C}.$$

Для нашого випадку в IV проході

$$h_{\text{сер}4} = (h_3 + h_4)/2 = (41,7 + 54,8)/2 = 48,25 \text{ мм.}$$

Для в IV проході (оскільки $l_{\text{д}4}/h_{\text{сер}4}=71/48,25=1,471 > 1$, то $n''_{\sigma} = 1$

Оскільки в розрахунку натягнення відсутнє, то коефіцієнт $n'''_{\sigma} = 1$

Середня ширина штаби в IV проході

$$b_{\text{сер}4} = (b_3 + b_4)/2 = (82,7 + 53,4)/2 = 68,1 \text{ мм.}$$

Відношення $b_{\text{сер}4}/l_{\text{д}4} = 68,1/71 = 0,959 < 5$, тому розраховуємо коефіцієнт n_{b4} по формулі (1)

Визначаємо кут захвату

$$\alpha_4 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_4}{D_B}\right) = \arccos\left(1 - \frac{33}{325}\right) \cdot 57,3 = 23,92^\circ.$$

Коефіцієнт тертя в IV проході дорівнює

$$\begin{aligned} f_4 &= k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot T_{\text{вх}4}) = \\ &= 1 \cdot 1,315 \cdot 0,866 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 1221) = 0,36. \\ k_2 &= 1,67 \cdot \vartheta_4^{-0,25} - 0,4 = 1,67 \cdot 2,3^{-0,25} - 0,4 = 0,956. \end{aligned}$$

Тоді

$$l'_{\text{д}4} = l_{\text{д}4} \cdot \left[1 - \frac{\text{tg}\left(\frac{\alpha_4}{2}\right)}{f_4}\right] = 67,3 \cdot \left[1 - \frac{\text{tg}\left(\frac{23,92/57,3}{2}\right)}{0,36}\right] = 25,42 \text{ мм.}$$

По формулі (1) знаходимо

$$n_{b4} = \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot b_{\text{сер}4} - l'_{\text{д}4}}{6 \cdot b_{\text{сер}4}} \right) \cdot f_4 \cdot \frac{l'_{\text{д}4}}{h_{\text{сер}4}}}{1 + \frac{f_4}{2} \cdot \frac{l'_{\text{д}4}}{h_{\text{сер}4}}} =$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot 68,1 - 25,42}{6 \cdot 68,1} \right) \cdot 0,36 \cdot \frac{25,42}{48,25}}{1 + \frac{0,36}{2} \cdot \frac{25,42}{48,25}} = 0,989.$$

Коефіцієнт напруженого стану в IV проході

$$n_{\sigma4} = n'_{\sigma4} \cdot n''_{\sigma4} \cdot n'''_{\sigma4} \cdot n_{b4} = 1,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,989 = 1,219.$$

Швидкість деформації в IV проході

$$\xi_4 = \vartheta_4 \cdot \varepsilon_{h4} / l_{\text{д}4} = 2,3 \cdot (66,91/100) / 24,3 = 8,94 \text{ с}^{-1};$$

$$\varepsilon_{h4} = \frac{\Delta h_4}{h_3} \cdot 100 = \frac{33}{54,8} \cdot 100 = 66,91 \text{ \%}.$$

Опір металу деформації в IV проході складе

$$\sigma_{s4} = k \cdot \sigma_0 \cdot \xi_4^\alpha \cdot (10 \cdot \varepsilon_{h4})^b \cdot (T_{\text{вх}4} / 1000)^c =$$

$$= 0,866 \cdot 126 \cdot 8,94^{0,13} \cdot (10 \cdot (66,91/100))^{0,063} \cdot \left(\frac{1221}{1000} \right)^{-4,72} =$$

$$= 63,63 \text{ МПа}$$

Тепер знаходимо середнє нормальне контактне напруження

$$p_{\text{сер}4} = \beta \cdot n_{\sigma4} \cdot \sigma_{s4} = 1,15 \cdot 1,219 \cdot 63,63 = 89,22 \text{ МПа}.$$

Деформаційним розігрівши в IV першому проході буде

$$\Delta T_{\text{деф4}} = 0,85 \cdot \frac{p_{\text{сер4}}}{c \cdot \rho} \cdot \ln \frac{h_3}{h_4} = 0,85 \cdot \frac{89,22 \cdot 10^6}{500 \cdot 7750} \cdot \ln \frac{41,7}{54,8} = -5^\circ\text{C}.$$

Знаючи втрати температури при контакті з валками і деформаційний розігрів, можна знайти температуру металу при виході його з кліті після першого проходу:

$$T_{\text{вих4}} = T_{\text{вх4}} - \Delta T_{\text{кв4}} + \Delta T_{\text{деф4}} = 1221 - 8 - 5 = 1208^\circ\text{C}.$$

Температура металу перед V проходом

$$\begin{aligned} T_{\text{вх5}} &= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot \tau_{\text{охл5}}}{h_5}\right) + \left(\frac{1000}{T_{\text{вих4}} + 273}\right)^3}} - 273 = \\ &= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot 6,1}{35,2}\right) + \left(\frac{1000}{1206 + 273}\right)^3}} - 273 = 1199^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Час охолодження розкату

$$\begin{aligned} \tau_{\text{охл5}} &= \frac{l_4/2}{\vartheta_4} + \tau_{\text{п}} + \frac{l_5/2}{\vartheta_4} = \frac{3712/2}{1,8} + 4 + \frac{4374/2}{2,3} = 6,1; \\ l_4 &= \frac{h_3 \cdot b_3 \cdot l_3}{h_4 \cdot b_4} = \frac{41,7 \cdot 82,7 \cdot 3712}{54,8 \cdot 53,4} = 4374 \text{ мм}; \\ l_5 &= \frac{h_4 \cdot b_4 \cdot l_4}{h_5 \cdot b_5} = \frac{54,8 \cdot 53,4 \cdot 4374}{35,2 \cdot 56,3} = 6459 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Довжина осередку деформування в V проході

$$l_{д5} = \sqrt{R_B \cdot \Delta h_5} = \sqrt{162,5 \cdot 19,6} = 56,4 \text{ мм};$$

$$\Delta h_5 = h_4 - h_5 = 54,2 - 35,2 = 19,6 \text{ мм}.$$

Падіння температури при контакті з валками в V проході

$$\begin{aligned} \Delta T_{кв5} &= \frac{4,87}{(h_4 + h_5)} \cdot (T_{вх5} - T_B) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_4 \cdot l_{д5}}{1000 \cdot (h_4 + h_5) \cdot \vartheta_{сер5}}} = \\ &= \frac{4,87}{(54,8 + 35,2)} \cdot (1199 - 250) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 54,8 \cdot 56,4}{1000 \cdot (54,8 + 35,2) \cdot 2,8}} = 9^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Для нашого випадку в V проході

$$h_{сер5} = (h_4 + h_5)/2 = (54,8 + 35,2)/2 = 45 \text{ мм}.$$

Для в V проході (оскільки $l_{д5}/h_{сер5}=49,1/45=1,091 > 1$, то $n'' = 1$)

Оскільки в розрахунку натягнення відсутнє, то коефіцієнт $n''' = 1$

Середня ширина штаби в V проході

$$b_{сер5} = (b_4 + b_5)/2 = (53,4 + 56,3)/2 = 54,9 \text{ мм}.$$

Відношення $b_{сер5}/l_{д5} = 54,9/49,1 = 1,117 < 5$, тому розраховуємо коефіцієнт n_{b5} по формулі (1)

Визначаємо кут захвату

$$\alpha_5 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_5}{D_B}\right) = \arccos\left(1 - \frac{19,6}{325}\right) \cdot 57,3 = 20^\circ.$$

Коефіцієнт тертя в V проході дорівнює

$$\begin{aligned} f_5 &= k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot T_{\text{BX5}}) = \\ &= 1 \cdot 0,891 \cdot 0,866 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 1199) = 0,35; \\ k_2 &= 1,67 \cdot \vartheta_5^{-0,25} - 0,4 = 1,67 \cdot 2,8^{-0,25} - 0,4 = 0,891. \end{aligned}$$

Тоді

$$l'_{\text{д5}} = l_{\text{д5}} \cdot \left[1 - \frac{\text{tg} \left(\frac{\alpha_5}{2} \right)}{f_5} \right] = 56,4 \cdot \left[1 - \frac{\text{tg} \left(\frac{20/57,3}{2} \right)}{0,35} \right] = 25,85 \text{ мм.}$$

По формулі (1) знаходимо

$$\begin{aligned} n_{b5} &= \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot b_{\text{сер5}} - l'_{\text{д5}}}{6 \cdot b_{\text{сер5}}} \right) \cdot f_5 \cdot \frac{l'_{\text{д5}}}{h_{\text{сер5}}}}{1 + \frac{f_4}{2} \cdot \frac{l'_{\text{д4}}}{h_{\text{сер4}}}} = \\ &= \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot 56,3 - 25,85}{6 \cdot 56,3} \right) \cdot 0,35 \cdot \frac{25,85}{45}}{1 + \frac{0,35}{2} \cdot \frac{25,85}{45}} = 0,986. \end{aligned}$$

Коефіцієнт напруженого стану в V проході

$$n_{\sigma5} = n'_{\sigma5} \cdot n''_{\sigma5} \cdot n'''_{\sigma5} \cdot n_{b5} = 1,21 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,986 = 1,192.$$

Швидкість деформації в V проході

$$\begin{aligned} \xi_5 &= \vartheta_5 \cdot \varepsilon_{h5} / l_{\text{д5}} = 2,8 \cdot (35,77/100) / 49,1 = 5,7 \text{ с}^{-1}; \\ \varepsilon_{h5} &= \frac{\Delta h_5}{h_4} \cdot 100 = \frac{19,6}{54,8} \cdot 100 = 35,77 \%. \end{aligned}$$

Опір металу деформації в V проході складе

$$\begin{aligned}\sigma_{s5} &= k \cdot \sigma_0 \cdot \xi_5^\alpha \cdot (10 \cdot \varepsilon_{h5})^b \cdot (T_{\text{вх}5}/1000)^c = \\ &= 0,866 \cdot 126 \cdot 5,7^{0,13} \cdot (10 \cdot (35,77/100))^{0,063} \cdot \left(\frac{1199}{1000}\right)^{-4,72} = 63 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Тепер знаходимо середнє нормальне контактне напруження

$$p_{\text{сеп}5} = \beta \cdot n_{\sigma5} \cdot \sigma_{s5} = 1,15 \cdot 1,192 \cdot 63 = 86,34 \text{ МПа.}$$

Деформаційним розігрівши в V першому проході буде

$$\Delta T_{\text{деф}5} = 0,85 \cdot \frac{p_{\text{сеп}5}}{c \cdot \rho} \cdot \ln \frac{h_4}{h_5} = 0,85 \cdot \frac{86,34 \cdot 10^6}{500 \cdot 7750} \cdot \ln \frac{41,7}{54,8} = 8^\circ\text{C.}$$

Знаючи втрати температури при контакті з валками і деформаційний розігрів, можна знайти температуру металу при виході його з кліті після першого проходу:

$$T_{\text{вих}5} = T_{\text{вх}5} - \Delta T_{\text{кв}5} + \Delta T_{\text{деф}5} = 1196 - 9 + 8 = 1198^\circ\text{C.}$$

Температура металу перед VI проходом

$$\begin{aligned}T_{\text{вх}6} &= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot \tau_{\text{охл}6}}{h_6}\right) + \left(\frac{1000}{T_{\text{вих}5} + 273}\right)^3}} - 273 = \\ &= \frac{1000}{\sqrt[3]{\left(\frac{0,0534 \cdot 6,62}{38,2}\right) + \left(\frac{1000}{1198 + 273}\right)^3}} - 273 = 1183^\circ\text{C.}\end{aligned}$$

Час охолодження розкату

$$\tau_{\text{охл6}} = \frac{l_5/2}{\vartheta_5} + \tau_{\text{п}} + \frac{l_6/2}{\vartheta_6} = \frac{6459/2}{2,8} + 4 + \frac{8772/2}{3} = 6,62;$$

$$l_5 = \frac{h_4 \cdot b_4 \cdot l_4}{h_5 \cdot b_5} = \frac{54,8 \cdot 53,4 \cdot 4374}{35,2 \cdot 56,3} = 6459 \text{ мм};$$

$$l_6 = \frac{h_5 \cdot b_5 \cdot l_5}{h_6 \cdot b_6} = \frac{35,2 \cdot 56,3 \cdot 6459}{38,2 \cdot 38,2} = 8772 \text{ мм}.$$

Довжина осередку деформування в VI проході

$$l_{\text{д6}} = \sqrt{R_{\text{в}} \cdot \Delta h_6} = \sqrt{162,5 \cdot 19,6} = 54,2 \text{ мм};$$

$$\Delta h_6 = 56,3 - 38,2 = 19,6 \text{ мм}.$$

Падіння температури при контакті з валками в VI проході

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{кв6}} &= \frac{4,87}{(h_5 + h_6)} \cdot (T_{\text{вх6}} - T_{\text{в}}) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_5 \cdot l_{\text{д6}}}{1000 \cdot (h_5 + h_6) \cdot \vartheta_{\text{сер6}}}} = \\ &= \frac{4,87}{(35,2 + 38,2)} \cdot (1183 - 250) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 35,2 \cdot 54,2}{1000 \cdot (35,2 + 38,2) \cdot 3}} = 9^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Для нашого випадку в VI проході

$$h_{\text{сер6}} = (h_5 + h_6)/2 = (35,2 + 38,2)/2 = 36,7 \text{ мм}.$$

Для в VI проході (оскільки $l_{\text{д6}}/h_{\text{сер6}}=54,2/36,7=1,478 > 1$, то $n''_{\sigma} = 1$

Оскільки в розрахунку натягнення відсутнє, то коефіцієнт $n'''_{\sigma} = 1$

Середня ширина штаби в VI проході

$$b_{\text{сер6}} = (b_5 + b_6)/2 = (56,3 + 38,2)/2 = 47,3 \text{ мм}.$$

Відношення $b_{\text{сер6}}/l_{\text{д6}} = 47,3/54,2 = 0,871 < 5$, тому розраховуємо коефіцієнт n_{b6} по формулі (1)

Визначаємо кут захвату

$$\alpha_6 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_6}{D_B}\right) = \arccos\left(1 - \frac{18,1}{325}\right) \cdot 57,3 = 19,21^\circ.$$

Коефіцієнт тертя в VI проході дорівнює

$$\begin{aligned} f_6 &= k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot T_{\text{вх6}}) = \\ &= 1 \cdot 1,315 \cdot 0,866 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot 1181) = 0,35; \\ k_2 &= 1,67 \cdot \vartheta_6^{-0,25} - 0,4 = 1,67 \cdot 3^{-0,25} - 0,4 = 0,869. \end{aligned}$$

Тоді

$$l'_{\text{д6}} = l_{\text{д6}} \cdot \left[1 - \frac{\text{tg}\left(\frac{\alpha_6}{2}\right)}{f_6}\right] = 54,2 \cdot \left[1 - \frac{\text{tg}\left(\frac{19,21/57,3}{2}\right)}{0,35}\right] = 25,87 \text{ мм.}$$

По формулі (1) знаходимо

$$\begin{aligned} n_{b6} &= \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot b_{\text{сер6}} - l'_{\text{д6}}}{6 \cdot b_{\text{сер6}}}\right) \cdot f_6 \cdot \frac{l'_{\text{д6}}}{h_{\text{сер6}}}}{1 + \frac{f_6}{2} \cdot \frac{l'_{\text{д6}}}{h_{\text{сер6}}}} = \frac{1 + \left(\frac{3 \cdot 47,3 - 25,87}{6 \cdot 47,3}\right) \cdot 0,35 \cdot \frac{25,87}{36,7}}{1 + \frac{0,35}{2} \cdot \frac{25,87}{36,7}} = \\ &= 0,980. \end{aligned}$$

Коефіцієнт напруженого стану в VI проході

$$n_{\sigma6} = n'_{\sigma6} \cdot n''_{\sigma6} \cdot n'''_{\sigma6} \cdot n_{b6} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,98 = 1,222.$$

Швидкість деформації в VI проході

$$\xi_6 = \vartheta_6 \cdot \varepsilon_{h6} / l_{д6} = 3 \cdot (51,4/100) / 54,2 = 8,53 \text{ с}^{-1};$$

$$\varepsilon_{h6} = \frac{\Delta h_6}{h_5} \cdot 100 = \frac{18,1}{35,2} \cdot 100 = 51,4\%.$$

Опір металу деформації в VI проході складе

$$\begin{aligned} \sigma_{s6} &= k \cdot \sigma_0 \cdot \xi_6^\alpha \cdot (10 \cdot \varepsilon_{h6})^b \cdot (T_{вх6}/1000)^c = \\ &= 0,866 \cdot 126 \cdot 8,53^{0,13} \cdot (10 \cdot (51,42/100))^{0,063} \cdot \left(\frac{1183}{1000}\right)^{-4,72} = \\ &= 72,4 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Тепер знаходимо середнє нормальне контактне напруження

$$p_{сер6} = \beta \cdot n_{\sigma6} \cdot \sigma_{s6} = 1,15 \cdot 1,222 \cdot 72,4 = 101,73 \text{ МПа.}$$

Деформаційним розігрівши в VI першому проході буде

$$\Delta T_{деф6} = 0,85 \cdot \frac{p_{сер6}}{c \cdot \rho} \cdot \ln \frac{h_5}{h_6} = 0,85 \cdot \frac{101,73 \cdot 10^6}{500 \cdot 7750} \cdot \ln \frac{35,2}{38,2} = -2^\circ\text{C.}$$

Знаючи втрати температури при контакті з валками і деформаційний розігрів, можна знайти температуру металу при виході його з кліті після першого проходу:

$$T_{вих6} = T_{вх6} - \Delta T_{кв6} + \Delta T_{деф6} = 1183 - 9 - 2 = 1172^\circ\text{C.}$$

Результати розрахунку температури металу по проходам при реверсивному прокатуванні занесемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку температури металу по проходам

Номер проходу	Температура металу перед входом в кліть, $T_{вх}$, °С	Падіння температури при контакті с валками, $\Delta T_{кв}$, °С	Деформаційний розігрів, $\Delta T_{деф}$, °С	Температура металу на виході з кліті, $T_{вих}$, °С
1	1268	8	3,00	1263
2	1254	9	-2,00	1243
3	1236	10	9,00	1234
4	1221	8	-5,00	1208
5	1199	9	8,00	1198
6	1183	9	-2,00	1172

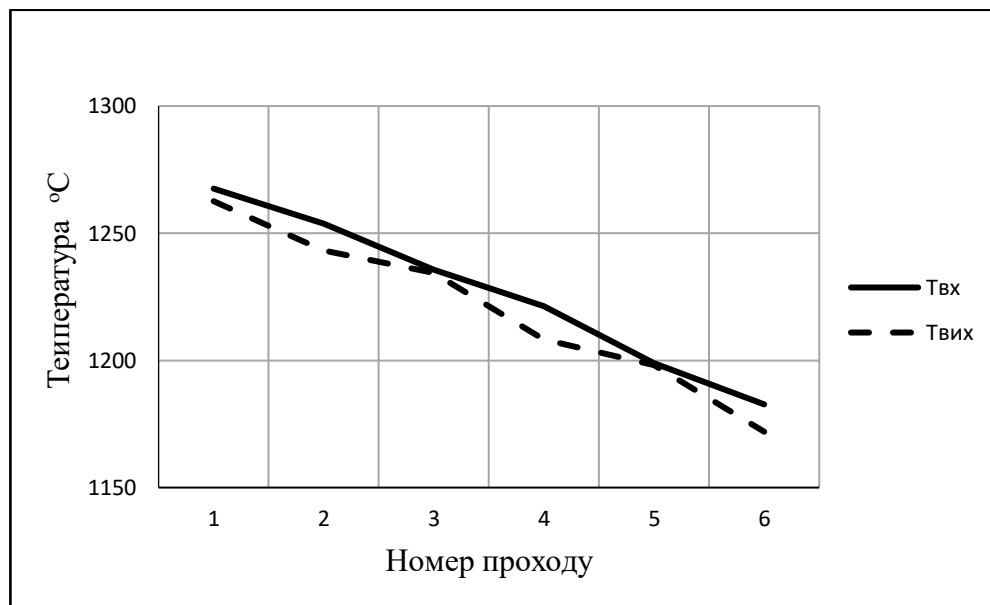


Рисунок 2.4 - Залежність температури металу перед входом в кліть ($T_{вх}$) і на виході з кліті ($T_{вих}$) від номера проходу

2.3 Розрахунок енергосилових параметрів при прокатуванні штаби

Проведемо розрахунок енергосилових параметрів прокатки для першого проходу.

Контактна площа в першому проході

$$F_{к1} = 0,5 \cdot (b_0 + b_1) \cdot l_{д1} = 0,5 \cdot (80 + 110,6) \cdot 47,87 = 4562 \text{ мм}^2.$$

Сила прокатки в першому проході

$$P_1 = p_{\text{сер}1} \cdot F_{\text{к}1} = 64,49 \cdot 4562 \cdot 10^{-6} = 0,294 \text{ МН.}$$

Для першого проходу коефіцієнт

$$\psi_1 = 0,5 - 0,1 \cdot \varepsilon_{h1} = 0,5 - 0,1 \cdot (17,6/100) = 0,482.$$

Тоді момент прокатки в першому проході складе

$$M_{\text{пр}1} = 2 \cdot P_1 \cdot \psi_1 \cdot l_{\text{д}1} = 2 \cdot 0,294 \cdot 0,482 \cdot 47,87 \cdot 10^{-3} = 0,014 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Кут тертя дорівнює

$$\mu_1 = \arctan f_1 = \arctan 0,47 = 25,36^\circ.$$

Нейтральний кут складе

$$\gamma_1 = \frac{\alpha_1}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_1}{2 \cdot \mu_1}\right) = \frac{16,94}{2} \cdot \left(1 - \frac{16,94}{2 \cdot 25,36}\right) = 5,64^\circ.$$

Тоді випередження буде дорівнювати

$$S_{h1} = \frac{\gamma_1^2}{2} \cdot \left(\frac{D_B}{h_1} - 1\right) = \frac{5,64^2/57,3^2}{2} \cdot \left(\frac{325}{65,9} - 1\right) = 1,91\%.$$

Окружна швидкість обертанні валків

$$v_{\text{в}1} = \frac{v_1}{1 + S_{h1}} = \frac{0,9}{1 + 1,91/100} = 0,883 \text{ м/с.}$$

Потужність прокатки в першому проході

$$N_{\text{пр1}} = \frac{M_{\text{пр1}} \cdot \vartheta_{\text{в1}}}{R_{\text{в}}} = \frac{0,05 \cdot 0,883}{162,5} = 0,07 \text{ МВт.}$$

Роботу прокатки розраховуємо по формулі

$$A_{\text{пр1}} = \frac{M_{\text{пр1}} \cdot l_{\text{д1}}}{(1 + S_{h1}) \cdot R_{\text{в}}} = \frac{0,014 \cdot 47,87}{(1 + 1,91/100) \cdot 162,5 \cdot 10^{-3}} = 0,144 \text{ МДж.}$$

Контактна площа в II проході

$$F_{\text{к2}} = 0,5 \cdot (b_1 + b_2) \cdot l_{\text{д2}} = 0,5 \cdot (110,6 + 73,3) \cdot 76,38 = 4401 \text{ мм}^2.$$

Сила прокатки в II проході

$$P_2 = p_{\text{сер2}} \cdot F_{\text{к2}} = 71,6 \cdot 4401 \cdot 10^{-6} = 0,315 \text{ МН.}$$

Для II проходу коефіцієнт

$$\psi_2 = 0,5 - 0,1 \cdot \varepsilon_{h2} = 0,5 - 0,1 \cdot (54,48/100) = 0,446.$$

Тоді момент прокатки в II проході складе

$$M_{\text{пр2}} = 2 \cdot P_2 \cdot \psi_2 \cdot l_{\text{д2}} = 2 \cdot 0,315 \cdot 0,446 \cdot 76,38 \cdot 10^{-3} = 0,021 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Кут тертя дорівнює

$$\mu_2 = \arctan f_2 = \arctan 0,43 = 23,1^\circ.$$

Нейтральний кут складе

$$\gamma_2 = \frac{\alpha_2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{2 \cdot \mu_2}\right) = \frac{27,19}{2} \cdot \left(1 - \frac{27,19}{2 \cdot 23,1}\right) = 5,6^\circ.$$

Тоді випередження буде дорівнювати

$$S_{h2} = \frac{\gamma_2^2}{2} \cdot \left(\frac{D_B}{h_2} - 1\right) = \frac{5,6^2/57,3^2}{2} \cdot \left(\frac{325}{74,7} - 1\right) = 1,6\%.$$

Окружна швидкість обертанні валків

$$v_{B2} = \frac{v_2}{1 + S_{h2}} = \frac{1,3}{1 + 1,6/100} = 1,280 \text{ м/с.}$$

Потужність прокатки в II проході

$$N_{пр2} = \frac{M_{пр2} \cdot v_{B2}}{R_B} = \frac{0,021 \cdot 1,280}{162,5} = 0,17 \text{ МВт.}$$

Роботу прокатки розраховуємо по формулі

$$A_{пр2} = \frac{M_{пр2} \cdot l_{д2}}{(1 + S_{h2}) \cdot R_B} = \frac{0,021 \cdot 76,38}{(1 + 1,6/100) \cdot 162,5 \cdot 10^{-3}} = 0,303 \text{ МДж.}$$

Контактна площа в III проході

$$F_{к3} = 0,5 \cdot (b_2 + b_3) \cdot l_{д3} = 0,5 \cdot (73,3 + 82,7) \cdot 73,23 = 5958 \text{ мм}^2$$

Сила прокатки в III проході

$$P_3 = p_{сер3} \cdot F_{к3} = 75,75 \cdot 5958 \cdot 10^{-6} = 0,451 \text{ МН.}$$

Для III проходу коефіцієнт

$$\psi_3 = 0,5 - 0,1 \cdot \varepsilon_{h3} = 0,5 - 0,1 \cdot (44,18/100) = 0,456.$$

Тоді момент прокатки в III проході складе

$$M_{\text{пр3}} = 2 \cdot P_3 \cdot \psi_3 \cdot l_{\text{д3}} = 2 \cdot 0,451 \cdot 0,456 \cdot 73,23 \cdot 10^{-3} = 0,03 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Кут тертя дорівнює

$$\mu_3 = \arctan f_3 = \arctan 0,39 = 21,3^\circ.$$

Нейтральний кут складе

$$\gamma_3 = \frac{\alpha_3}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_3}{2 \cdot \mu_3}\right) = \frac{26,05}{2} \cdot \left(1 - \frac{26,05}{2 \cdot 21,3}\right) = 5,06^\circ.$$

Тоді випередження буде дорівнювати

$$S_{h3} = \frac{\gamma_3^2}{2} \cdot \left(\frac{D_B}{h_3} - 1\right) = \frac{5,06^2/57,3^2}{2} \cdot \left(\frac{325}{41,7} - 1\right) = 2,65\%.$$

Окружна швидкість обертанні валків

$$v_{\text{в3}} = \frac{v_3}{1 + S_{h3}} = \frac{1,8}{1 + 2,65/100} = 1,754 \text{ м/с}.$$

Потужність прокатки в III проході

$$N_{\text{пр3}} = \frac{M_{\text{пр3}} \cdot v_{\text{в3}}}{R_B} = \frac{0,03 \cdot 1,754}{162,5} = 0,33 \text{ МВт}.$$

Роботу прокатки розраховуємо по формулі

$$A_{\text{пр3}} = \frac{M_{\text{пр3}} \cdot l_{\text{д3}}}{(1 + S_{h3}) \cdot R_{\text{в}}} = \frac{0,03 \cdot 73,23}{(1 + 2,65/100) \cdot 162,5 \cdot 10^{-3}} = 0,67 \text{ МДж.}$$

Контактна площа в IV проході

$$F_{\text{к4}} = 0,5 \cdot (b_3 + b_4) \cdot l_{\text{д4}} = 0,5 \cdot (82,7 + 53,4) \cdot 67,33 = 4983 \text{ мм}^2.$$

Сила прокатки в IV проході

$$P_4 = p_{\text{сер4}} \cdot F_{\text{к4}} = 89,29 \cdot 5958 \cdot 10^{-6} = 0,445 \text{ МН.}$$

Для IV проходу коефіцієнт

$$\psi_4 = 0,5 - 0,1 \cdot \varepsilon_{h4} = 0,5 - 0,1 \cdot (66,91/100) = 0,433.$$

Тоді момент прокатки в IV проході складе

$$M_{\text{пр4}} = 2 \cdot P_4 \cdot \psi_4 \cdot l_{\text{д4}} = 2 \cdot 0,445 \cdot 0,433 \cdot 67,33 \cdot 10^{-3} = 0,026 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Кут тертя дорівнює

$$\mu_4 = \arctan f_4 = \arctan 0,36 = 19,99^\circ.$$

Нейтральний кут складе

$$\gamma_4 = \frac{\alpha_4}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_4}{2 \cdot \mu_4}\right) = \frac{23,92}{2} \cdot \left(1 - \frac{23,92}{2 \cdot 19,99}\right) = 4,8^\circ.$$

Тоді випередження буде дорівнювати

$$S_{h4} = \frac{\gamma_4^2}{2} \cdot \left(\frac{D_B}{h_4} - 1 \right) = \frac{4,8/57,3^2}{2} \cdot \left(\frac{325}{54,8} - 1 \right) = 1,73\%.$$

Окружна швидкість обертанні валків

$$v_{B4} = \frac{v_4}{1 + S_{h4}} = \frac{2,3}{1 + 1,73/100} = 2,261 \text{ м/с.}$$

Потужність прокатки в IV проході

$$N_{\text{пр}4} = \frac{M_{\text{пр}4} \cdot v_{B4}}{R_B} = \frac{0,026 \cdot 2,261}{162,5} = 0,36 \text{ МВт.}$$

Роботу прокатки розраховуємо по формулі

$$A_{\text{пр}4} = \frac{M_{\text{пр}4} \cdot l_{d4}}{(1 + S_{h4}) \cdot R_B} = \frac{0,026 \cdot 67,33}{(1 + 1,73/100) \cdot 162,5 \cdot 10^{-3}} = 0,686 \text{ МДж.}$$

Контактна площа в V проході

$$F_{k5} = 0,5 \cdot (b_4 + b_5) \cdot l_{d5} = 0,5 \cdot (53,4 + 56,3) \cdot 56,44 = 3693 \text{ мм}^2.$$

Сила прокатки в V проході

$$P_5 = p_{\text{сер}5} \cdot F_{k5} = 86,34 \cdot 3693 \cdot 10^{-6} = 0,319 \text{ МН.}$$

Для V проходу коефіцієнт

$$\psi_5 = 0,5 - 0,1 \cdot \varepsilon_{h5} = 0,5 - 0,1 \cdot (35,77/100) = 0,464.$$

Тоді момент прокатки в V проході складе

$$M_{\text{пр5}} = 2 \cdot P_5 \cdot \psi_5 \cdot l_{\text{д5}} = 2 \cdot 0,319 \cdot 0,464 \cdot 56,44 \cdot 10^{-3} = 0,017 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Кут тертя дорівнює

$$\mu_5 = \arctan f_5 = \arctan 0,35 = 19,17^\circ.$$

Нейтральний кут складе

$$\gamma_5 = \frac{\alpha_5}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_5}{2 \cdot \mu_5}\right) = \frac{20}{2} \cdot \left(1 - \frac{20}{2 \cdot 19,17}\right) = 4,78^\circ.$$

Тоді випередження буде дорівнювати

$$S_{h5} = \frac{\gamma_5^2}{2} \cdot \left(\frac{D_B}{h_5} - 1\right) = \frac{4,78/57,3^2}{2} \cdot \left(\frac{325}{35,2} - 1\right) = 2,87\%.$$

Окружна швидкість обертанні валків

$$v_{B5} = \frac{v_5}{1 + S_{h5}} = \frac{2,8}{1 + 2,87/100} = 2,722 \text{ м/с}.$$

Потужність прокатки в V проході

$$N_{\text{пр5}} = \frac{M_{\text{пр5}} \cdot v_{B5}}{R_B} = \frac{0,017 \cdot 2,722}{162,5} = 0,28 \text{ МВт}.$$

Роботу прокатки розраховуємо по формулі

$$A_{\text{пр5}} = \frac{M_{\text{пр5}} \cdot l_{\text{д5}}}{(1 + S_{h5}) \cdot R_B} = \frac{0,017 \cdot 56,44}{(1 + 2,87/100) \cdot 162,5 \cdot 10^{-3}} = 0,646 \text{ МДж}.$$

Контактна площа в VI проході

$$F_{к6} = 0,5 \cdot (b_5 + b_6) \cdot l_{д6} = 0,5 \cdot (56,3 + 38,2) \cdot 54,23 = 2667 \text{ мм}^2.$$

Сила прокатки в VI проході

$$P_6 = p_{сер6} \cdot F_{к6} = 101,73 \cdot 2667 \cdot 10^{-6} = 0,271 \text{ МН}.$$

Для VI проходу коефіцієнт

$$\psi_6 = 0,5 - 0,1 \cdot \varepsilon_{h6} = 0,5 - 0,1 \cdot (51,42/100) = 0,449.$$

Тоді момент прокатки в VI проході складе

$$M_{пр6} = 2 \cdot P_6 \cdot \psi_6 \cdot l_{д5} = 2 \cdot 0,271 \cdot 0,449 \cdot 54,23 \cdot 10^{-3} = 0,013 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Кут тертя дорівнює

$$\mu_6 = \arctan f_5 = \arctan 0,35 = 19,04^\circ.$$

Нейтральний кут складе

$$\gamma_6 = \frac{\alpha_6}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_6}{2 \cdot \mu_6}\right) = \frac{19,21}{2} \cdot \left(1 - \frac{19,21}{2 \cdot 19,04}\right) = 4,76^\circ.$$

Тоді випередження буде дорівнювати

$$S_{h6} = \frac{\gamma_6^2}{2} \cdot \left(\frac{D_B}{h_6} - 1\right) = \frac{4,76^2/57,3^2}{2} \cdot \left(\frac{325}{38,2} - 1\right) = 2,59\%.$$

Окружна швидкість обертанні валків

$$v_{в6} = \frac{v_6}{1 + S_{h6}} = \frac{3}{1 + 2,59/100} = 2,924 \text{ м/с.}$$

Потужність прокатки в VI проході

$$N_{пр6} = \frac{M_{пр6} \cdot v_{в6}}{R_B} = \frac{0,017 \cdot 2,722}{162,5} = 0,24 \text{ МВт.}$$

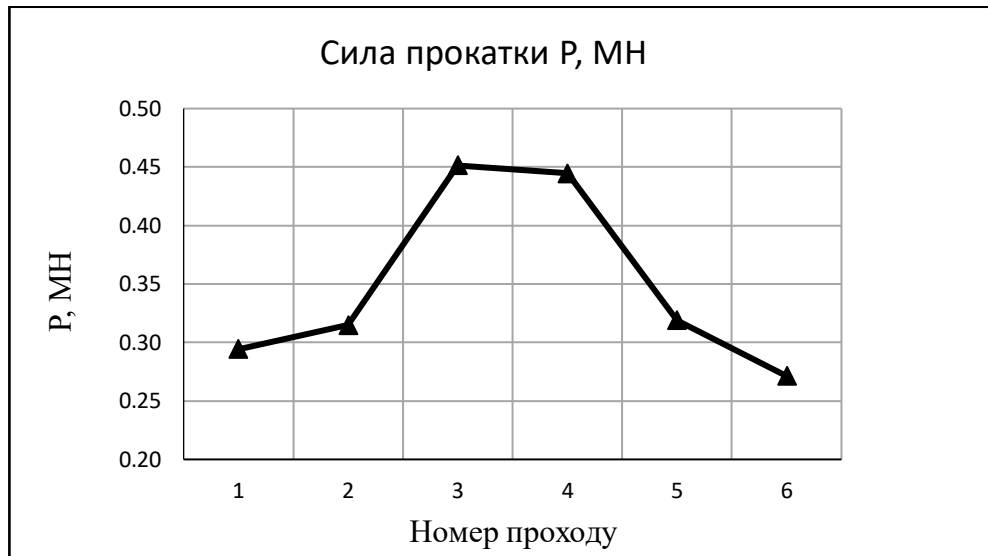
Роботу прокатки розраховуємо по формулі

$$A_{пр6} = \frac{M_{пр6} \cdot l_{д6}}{(1 + S_{h6}) \cdot R_B} = \frac{0,013 \cdot 54,23}{(1 + 2,59/100) \cdot 162,5 \cdot 10^{-3}} = 0,694 \text{ МДж.}$$

Результати розрахунку енергосилових параметрів при прокатуванні штаби заносимо до табл.2.3

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку енергосилових параметрів при прокатуванні

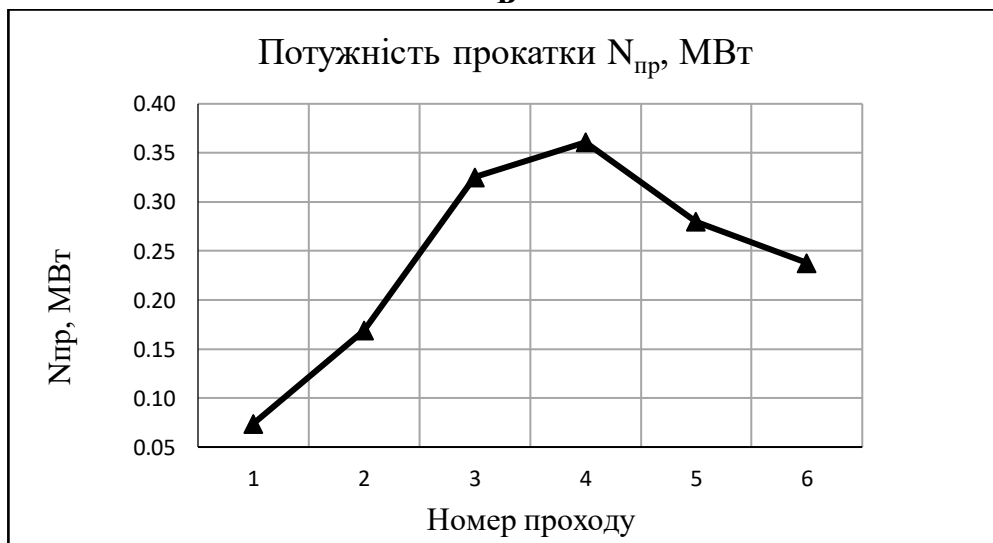
Номер прохода	Сила прокатки Р, МН	Момент прокатки M _{пр} , МН•м	Потужність прокатки N _{пр} , МВт	Робота прокатки A _{пр} , МДж
1	0,294	0,014	0,07	0,144
2	0,315	0,021	0,17	0,303
3	0,451	0,030	0,33	0,670
4	0,445	0,026	0,36	0,686
5	0,319	0,017	0,28	0,646
6	0,271	0,013	0,24	0,694



А



Б



В

Рисунки 2.4 – Залежності сили прокатки P (а), моменту прокатки $M_{\text{пр}}$ (б), потужності прокатки $N_{\text{пр}}$ (в) від номера проходу.



Рисунки 2.5 – Залежності роботи прокатки $A_{пр}$ від номера проходу

2.4 Висновки по другому розділу 2

Були проведені розрахунки калібровки, зміни температури металу та енергосилові параметри. З цих розрахунків видно, що для досягнення встановлених геометричних параметрів профілю необхідно налаштувати певні параметри процесу. Встановленні оптимальної швидкості прохідного валу та навантаження на матеріал для досягнення бажаної форми та розмірів профілю. Розрахунок змінювання температури металу під час гарячого прокатування показав, що цей процес супроводжується поступовим зменшенням температури металу в процесі прокатки. Це дає змогу визначити режими температури для забезпечення необхідної пластичності та зменшення напружень у металі під час прокатування. За результатами розрахунку енергосилових параметрів видно як проходить прокатка в різних проходах, що дозволяє оцінити споживання енергії та визначити оптимальні режими роботи.

Отже, розрахунки технологічних параметрів для калібрування круглого профілю на прокатному стані 325 підтверджують необхідність налагодження оптимальних режимів процесу з метою досягнення встановлених геометричних параметрів, контролю температури металу та ефективного використання енергії.

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок міцності валків

Максимальний момент вигину

$$M_1 = 0,445 \cdot 0,3459 \left(1 - \frac{0,3459}{1,05}\right) = 0,1 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = 0,319 \cdot 0,22055 \left(1 - \frac{0,22055}{1,05}\right) = 0,055 \text{ Мн} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 0,271 \cdot 0,145 \left(1 - \frac{0,145}{0,9}\right) = 0,032 \text{ Мн} \cdot \text{м}.$$

Напруга вигину

$$\sigma_{\text{виг}} = \frac{M_{\text{виг}}}{0,1 \cdot D_{\text{к}}^3}$$

$$\sigma_{\text{виг1}} = \frac{0,1}{0,1 \cdot 270,2^3} = 5,069 \cdot 10^{-8} \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{виг2}} = \frac{0,1}{0,1 \cdot 289,8^3} = 2,259 \cdot 10^{-8} \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{виг3}} = \frac{0,1}{0,1 \cdot 286,2^3} = 1,356 \cdot 10^{-8} \text{ Н/мм}^2.$$

Діаметр катаюший у IV проході

$$D_{\text{к4}} = D - h_4 = 325 - 54,8 = 270,2 \text{ мм};$$

Діаметр катаюший у V проході

$$D_{\text{к5}} = D - h_5 = 325 - 35,2 = 289,8 \text{ мм};$$

Діаметр катаюший у VI проході

$$D_{к6} = D - h_6 = 325 - 38,2 = 286,8 \text{ мм};$$

Максимальна напруга вигину буде в 4 калібрі $\sigma_4 = 5,069 \cdot 10^{-8} \text{ н/мм}^2$

Напруга кручення в калібрі

$$\tau = \frac{M_{\text{пр}} \cdot \text{ш}}{0,2 \cdot d^3} = \frac{0,026 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 270,2^3} = 6,59 \text{ н/мм}^2$$

Результуючі напруження в перерізі

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{\sigma_4^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(5,069 \cdot 10^{-8})^2 + 3 \cdot 6,59^2} = 11,4 \text{ н/мм}^2$$

Запас міцності становить

$$n = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{рез}}} = \frac{660}{11,4} = 57,8$$

Валки виготовлені з вуглецевої сталі 50, що має $\sigma_{\text{в}} = 660 \text{ н/мм}^2$

Лопать на приводному кінці уявляємо у вигляді прямокутника bh і двох сегментів F_c

$$F = b \cdot h + \frac{R^2}{2} (2\alpha - \sin 2\alpha) = 12,25 \cdot 10,5 + \frac{8,1^2}{2} \cdot \left(2 \cdot \arcsin \left(\frac{122,5}{162} \right) - \sin \left(2 \cdot \arcsin \frac{122,5}{162} \right) \right) = 128,625 + 32,805 \cdot (2 \cdot 0,857445 - 0,989637) = 128,625 + 23,79 = 152,4 \text{ см}^2$$

$$y_c = \frac{b^3}{12 \cdot F_c} = \frac{12,25^3}{12 \cdot 23,79} = 6,4 \text{ см.}$$

Замінюємо переріз прямокутником із висотою $H=2y_c=2 \cdot 6,4=12,8 \text{ см.}$

Момент інерції перерізу на кручення при $\eta = 0,18$ і $\frac{H}{b} \approx 1$

$$W_{кр} = \eta b^3 = \eta H^3 = 378 \text{ см}^3 = 3,78 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$$

Напруга кручення в перерізі 1-1

$$\tau_{max} = \frac{M_{пр} \cdot k}{W_{кр}} = \frac{0,026 \cdot 10^6 \cdot 1,2}{3,78 \cdot 10^5} \approx 0,08 \text{ н/мм}^2$$

Запас міцності відносної межі міцності при крученні ($\varepsilon_r = 0,8$ масштабний фактор, що враховує абсолютні розміри деталі при крученні)

$$n_\tau = \frac{\tau_b}{\tau_{max}} \cdot \varepsilon_r = \frac{470}{0,08} \cdot 0,8 = 4700$$

Визначаємо напругу в перерізі шийки приводного валка. Напруга вигину, приймаючи, що зусилля P прикладено під час прокатки в калібрі I, і опорна реакція дорівнює $R_B = 0,445 \cdot \frac{0,026 - 0,013}{0,026} = 0,2225 \text{ кН}$

$$\sigma = \frac{0,2225 \cdot 10^3 \cdot 1,40}{0,1 \cdot 237} = 13,1$$

де, $k_\sigma = 1,4$ – коефіцієнт концентрації від галтели

Коефіцієнт запасу міцності при вигину

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{ви} \cdot \varepsilon_\sigma}{\sigma} = \frac{550 \cdot 0,6}{13,1} = 25,19$$

ε_σ – масштабний фактор - 0,6

Напруга кручення

$$\tau = \frac{M_{\text{пр}} \cdot k_{\tau}}{0,2 \cdot d^3} = \frac{0,026 \cdot 10^6 \cdot 1,4}{0,2 \cdot 236^3} = 0,0138 \text{ Н/мм}^2$$

Коефіцієнт запасу міцності під час кручення

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{\text{в}}}{\tau} \varepsilon_{\tau} = \frac{550 \cdot 0,6}{0,0138} = 23913$$

Коефіцієнт запасу міцності у разі спільної дії вигину та кручення

$$n = \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}} = \frac{25,19 \cdot 23913}{\sqrt{25,19^2 + 23913^2}} = 25$$

Визначаємо прогин валка при прокатці в середньому калібрі и $P = 0,026$

МН

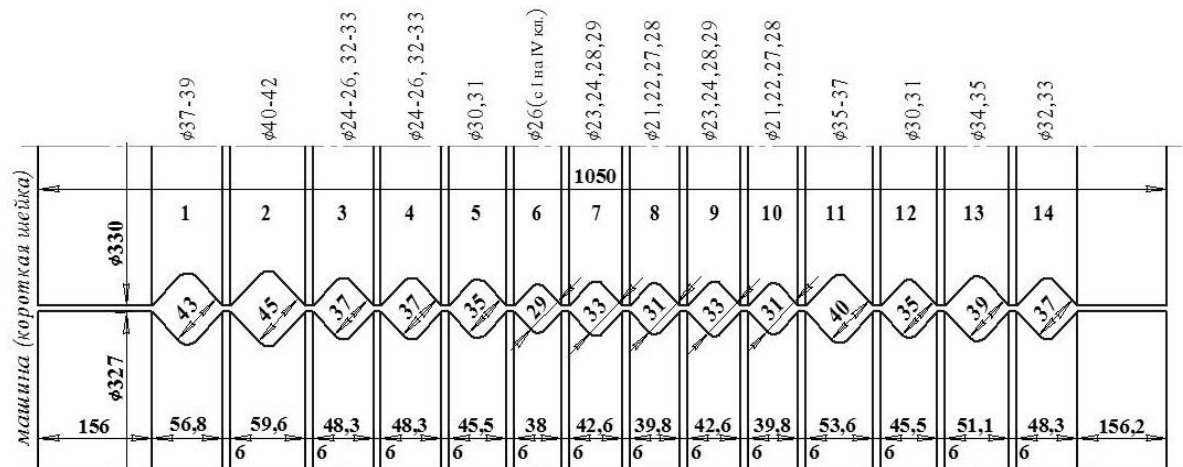


Рисунок 3.1 – Калібрування валків першої кліті

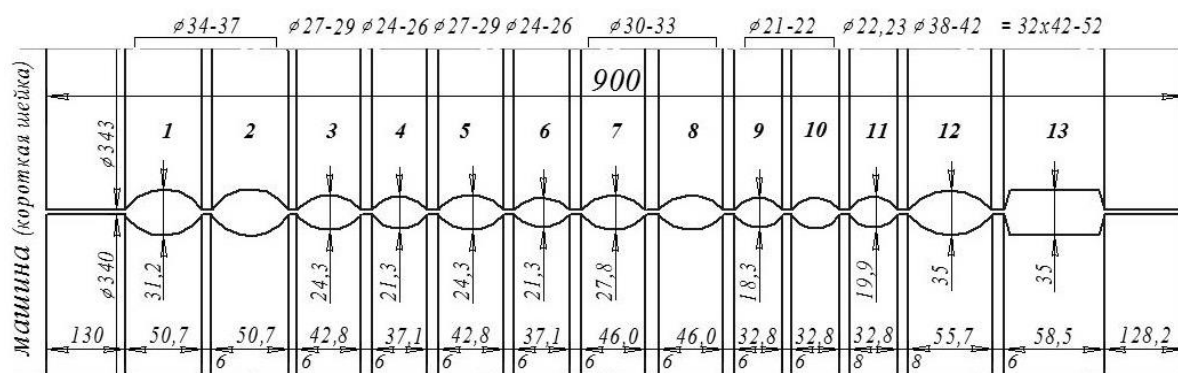


Рисунок 3.2 – Калібрування валків четвертої кліті

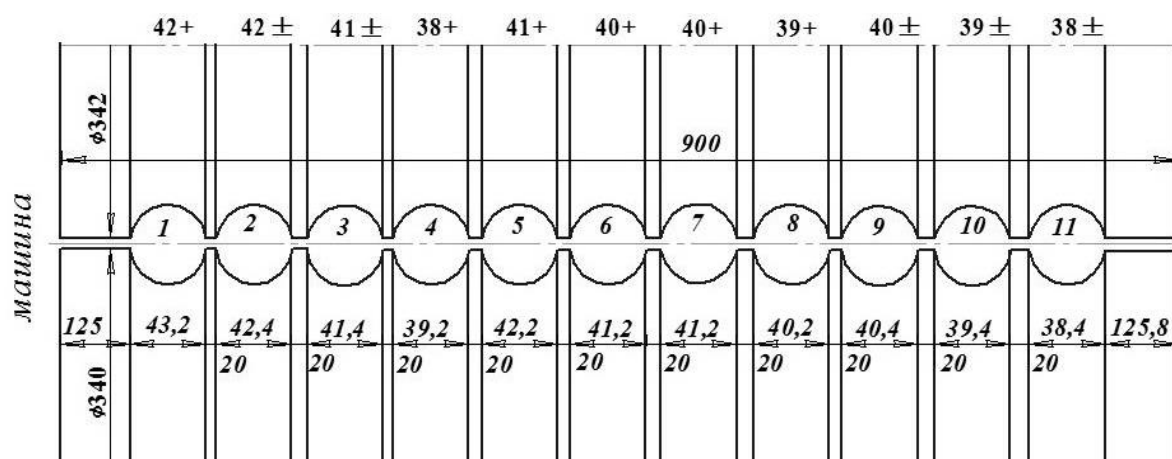


Рисунок 3.3 – Калібрування валків п'ятої кліті

3.2 Висновки до розділу 3

По розрахункам механічній частині виявлено, що в четвертому проході буде максимальна напруга вигину яка дорівнює $5,069 \cdot 10^{-8} \text{ н/мм}^2$. На основі цього результату надалі розраховується коефіцієнти за якими видно які механічні навантаження впливають на валок. З цих розрахунків дізналися, що валки мають великий запас міцності при крученні і при прогині. Це дає можливість стверджувати, що валки витримають прокатку штаби.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Загальне положення

Вимоги поширюються на вальцівника секції станів гарячої прокатки "325-280" (далі - вальцівник).

Вказівки розроблені відповідно до вимог НПАОП 27.0 -1.01-08 «Правила охорони праці в металургійній промисловості» НПА-ОП 0.00 - 4.12 - 05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» НПАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці з інструментами та пристроями».

Вальцівник проводить технологічний процес прокатки гарячого металу різних марок сталі, профілів та перерізів на прокатних станах 325-280, здійснює перевалку, налаштування робочих клітей стану 325, 280, встановлення, заміну, налаштування привалкової арматури. Вальцівник безпосередньо підпорядкований старшому майстру стану 325-280 (у змінах з 15:30 та 23:30 підпорядковується змінному майстру (змінному)).

Постійним робочим місцем вальцівника є ділянка робочих клітей, розкочних полів прокатних станів 325-280.

Під роботою розуміється робота підвищеної небезпеки. На сайті повинні бути розміщені «Схема стропування вантажів» і «Таблиця ваг вантажів, що перевозяться».

Обладнання млина 325

Нагріті заготовки виштовхувачем, через бічне скло видачі методичної печі (№1 або №2) видаються на стіл, звідки опускаються на відповідний валковий транспортер і транспортуються на стан. За

допомогою транспортного рольгангу і роликового конвеєра ПКС (підйомно - розгойдувального столу) заготовки подаються в обтискну кліть «500».

На обтискній кліті стану заготовки прокочуються на проміжні розкати за 7-9 перепусток, потім розкат в русі кантується на 90° і підлоговим рольгангом задається в 1-у кліть чистової лінії.

Розкати для прокату круглого, квадратного і прямокутного перерізів менших розмірів (коло 21-26мм), квадрат (19-20мм) передаються з кліті в кліть чистової лінії автоматичними обводами апаратами. Розкати для прокату великих розмірів з I-ї кліті (минаючи II-ю і III-ю кліті) передаються в IV кліть за допомогою підлогових шлеперів.

Прокатка металу та налаштування клітей стану проводиться за схемами технологічної інструкції стану.

У разі появи розшарування на кінцях розкату при прокатці на обтискній кліті, останні обрізають на ножицях гарячого різання, які є на передній стороні обтискної лінії стану.

Розкати, що виходять з V кліті, транспортним рольгангом передаються до холодильника, при цьому розкат більше 60м (коло 21-23мм) із заготівлі вагою 206кг розрізаються летючими ножицями на дві частини. Скидачем рольганга передаються на правильні плити холодильника, потім за допомогою рухомих зубчастих рейок переміщуються по холодильнику на рольганг, що відводить, а потім подаються до ножиць для порізки на замовлені довжини.

Відвідний роликовий рольганг від печі:

- тип – 2-х секційні, з груповим приводом секцій;
- кількість роликів в розрізі, шт – 10 і 5;
- крок ролика, мм – 850;
- загальна довжина рольганга, мм – 12560;
- діаметр ролика, мм – 300;

- довжина бочки ролика, мм – 700;
- роликовий привід кожної секції від двигуна Р, кВт – 16;
- окружна швидкість роликів, м/с – 2;

Провідний роликовий транспортер до обтискної клітки:

- кількість роликів, шт – 24 (18 – привід, 6 – неодружені);
- крок ролика, мм – 830
- загальна довжина, мм – 18400;
- діаметр ролика, мм – 265;
- довжина бочки, мм – 700;
- роликовий привід від двигуна потужністю Р, кВт – 6,5;
- окружна швидкість рольгангу, м/сек – 2,2.

Подовжуючий рольганг перед обтискною кліткою паралельно свинцево-роликовому конвеєру і має такі характеристики:

- кількість роликів, шт – 8;
- крок роликів змінний, мм – 800;
- загальна довжина, мм – 11200;
- діаметр ролика, мм – 255;
- довжина бочки, мм – 700;
- роликовий привід від двигуна потужністю Р, кВт – 2,2.

Робочий рольганг перед обтискною кліткою:

- кількість роликів, шт – 8;
- крок ролика, мм – 800;
- загальна довжина, мм – 5600;
- діаметр ролика, мм – 368;
- роликовий привід від двигуна потужністю р, кВт – 2,8;
- окружна швидкість, м/с – 3.

Робочий рольганг за обтискною кліткою:

- кількість роликів, шт – 5 (1 – холостий, 4 - приводних);
- крок ролика, м – 1200;

- загальна довжина, мм – 3600;
- діаметр ролика, мм – 350;
- довжина бочки ролика, мм – 1450;
- роликовий привід від двигуна потужністю P , кВт – 2;
- окружна швидкість, м/с – 2,8.

Підлоговий рольганг з втулкою, що кантує:

- довжина жолоба, мм – 13600;
- ширина жолоба, мм – 150;
- кількість роликів, шт – 9;
- крок ролика (середніх), мм – 1400;
- крок роликів (крайніх), мм – 1700;
- діаметр ролика, мм – 195;
- довжина бочки ролика, мм – 170;
- роликовий привід від двигуна потужністю P , кВт – 2,2;
- відстань від осі прокату фінішної лінії, до осі роликів кантуючою букси, мм – 5900;
- привід кантуючою втулки від двигуна потужністю P , кВт – 2.

Подовжуючий рольганг перед 5-ю кліттю:

- кількість роликів, шт – 32 і 13 (19 приводних)
- довжина бочки ролика, мм – 1000 і 700;
- крок ролика, мм – 1000;
- діаметр ролика, мм – 170;
- роликовий привід від двигуна потужністю P , кВт – 0, 65.

Ролганг перед 4-ю кліттю:

- кількість роликів, шт – 18(10-холостий, 8 - приводних);
- загальна довжина роликового конвеєра, мм – 18825;
- крок ролика, мм – 1000;
- роликовий привід від двигуна потужністю P , кВт – 0, 65.

Провідний роликовий конвеєр до холодильника:

- кількість роликів конвеєрів, шт – 64;
- довжина бочки ролика, мм – 300;
- діаметр ролика, мм – 200;
- роликівий крок, мм – 1000;
- роликівий привід від двигуна потужністю P, кВт – 0,9.

Відвідний роликівий транспортер від холодильника:

- кількість роликів які підводять до рольганга, шт – 64;
- довжина бочки ролика, мм – 800;
- діаметр ролика, мм – 200;
- крок ролика, мм – 1000;
- роликівий привід від двигуна потужністю P, кВт – 1,1.

Ножиці для гарячого різання використовуються для обрізки кінців чорнового прокату, а також для розрізання прокату на частини при нещасних випадках, коли його неможливо задати чистову кліть.

- допустимий тиск різання, t – 100;
- максимальний перетин прокату, мм – 80x80;
- температура металу, що різеться (не нижче), °C – 700;
- привід від двигуна потужністю P, кВт – 22.

Ножиці являють собою блок, що складається власне з ножиць і приводу. Привід ножиць здійснюється від двох електродвигунів і через зубчасті муфти, циліндричні редуктори, повільні вали яких з'єднані з валами-шестернями ножиць, зубчастими муфтами.

Зубчасті клітки використовуються для передачі крутного моменту від мотора на шпинделі робочої клітини. На стан використовуються зубчасті клітки з установкою зубчастих валків на підшипники ковзання, заповнені бабітом.

Зубчасті клітки складаються з рам, в отворах яких монтуються роз'ємні корпуси (касети) з підшипників ковзання і зубчасті валки з шевронними зубцями, встановленими на підшипниках ковзання. Кришки і рами стягуються між собою шпильками.

Рама прикручується болтами до плит фундаменту. Мастило підшипників і зачеплення зубчастих осередків здійснюється рідким маслом з централізованої системи.

Шестеренна кліть "500"

- тип – 3-х валкова, з шевроним зачепленням;
- міжцентровий інтервал, мм – 500;
- матеріал валків – сталь 45Х;
- станина – роз'ємна;
- підшипники валків – з бабітовою заливкою
- кількість оборотів, об/хв – 490;
- потужність, кВт – 1100;
- максимальний крутний момент, тм – 30.

Шестеренна кліть лінії "325"

- тип – 4-х валковій , з шевроном зачепленням;
- міжцентровий інтервал, мм – 312;
- рулонний матеріал – сталь 50;
- станина – роз'ємна;
- підшипники валків – з бабітовою заливкою .

Робоча клітка:

- тип – 4-х валкова, «двійник-дуо», працює як змінні«дуо»;
- станина – закритого типу, лиття ст.35Л;
- підшипники робочих валків – роликові, дворядні;
- балансування верхнього валка – пружини;
- натискний пристрій – гвинтовий, з ручним приводом;
- зв'язок між клітинами – універсальні шпинделі.

Шпиндельні пристрої використовуються для передачі крутного моменту від клітки шестерні на робочі валки, що працюють на змінному центральному інтервалі.

У шпинделі з бронзовими вкладишами в циліндричному розточуванні шпиндельної головки є бронзові вставки; в лопаті є проріз, у який поміщений сухар. Однією віссю шарніра є вісь розточування, а інший - вісь сухаря.

Мастило здійснюється з централізованої системи густого змащення через отвори в шпинделях і далі через отвори (канали) в лопатях валка і бронзових вкладишів.

Підйомно-розгойдувальний стіл з лінійками маніпуляторів

- довжина столу, мм	– 5570;
- ширина робочої частини, мм	– 1450;
- кількість роликів, шт	– 6;
- діаметр роликів, шт	– 335;
- довжина бочки ролика, мм	– 1450;
- роликовий крок, починаючи з кліті, мм	– 800, 800, 800, 1000, 1400;
- роликовий привід від двигуна об'ємом Р, кВт	– 2;
- максимальний кут нахилу столу, °	– 6,75;
- привід лінійок маніпулятора від потужності двигуна N, кВт	– 37.

4.2 Вимоги безпеки перед початком праці

Одягнути встановлений за нормами спецодяг, спец. взуття, каску та прибути на зустрічно-змінні збори, провести особистий розпис у «Журналі реєстрації приходу та догляду працівників» про прихід на роботу у відповідній графі. Спецодяг має бути застебнутий на всі гудзики, черевики зав'язані на шнурки. Перед початком зміни майстер зміни видає засоби індивідуального захисту відповідно до встановлених норм. При отриманні від керівника ЗІЗ, вальцівник розписується у «Журналі обліку видачі ЗІЗ». Журнал зберігається у керівника, який відповідає за видачу ЗІЗ.

Перевірити стан робочого місця, шляхом особистого огляду, визначити технічний стан вузлів, механізмів, стан і робота здатність сигналізації,

блокувань, наявність і справність захисних кожухів на механізмах, що обертаються, наявність і справність захисних огорож обертових і рухомих частин обладнання, справність перехідних містків, ручного інструменту та пристроїв, обладнання.

Перевірити наявність та справність вантажозахоплювальних пристроїв: ланцюгів, стропів, траверс, гаків на крані, дротяних кілець шляхом візуального огляду. При виявленні несправності або підвищеного зносу, вантажозахоплювальний пристрій вилучити з місця виконання робіт, доповісти майстру.

Перевірити освітленість робочого місця.

Прийняти зміну у вальцівника попередньої зміни, дізнатися про всі несправності, що трапились у процесі роботи.

Особисто перевірити і переконатися, що все устаткування, що обслуговується, справно, забезпечує безпечне виконання робіт.

Оглянути стан настилу плити прокатних полів, переконатися, що вона в справному стані і що в полях прокатки немає сторонніх предметів.

Перевірити і відрегулювати байпасні пристрої, стикувальну арматуру відповідно до робочих калібрів задньої і лицьової сторони клітки, міцно зафіксувати її.

Перевірити справність трубопроводів водопостачання на охолодження валків і робочих калібрів.

Перевірити справність мастильних трубопроводів.

Перевірити правильність монтажу і надійність кріплення захисних стовпів, гребінців і щитів, що огорожують шпинделі і рулони.

Всі виявлені порушення повинні бути усунені до початку робіт.

Отримати завдання від безпосереднього керівника на зміну.

Отримати ключ-бирку від майстра млина з розписом в "Регістрі видачі ключів-міток механізмів".

Якщо на робочому місці є захаращеність, розливи масла і т.д., не приступайте до роботи до їх усунення.

У разі виявлення несправностей обладнання повідомте про це майстра і не приступайте до роботи, поки вони не будуть усунені.

Вести запис до «Реєстру прийому-видачі зміни» про прийняття зміни.

Перед запуском млина майстер подає тривалий сигнал про виїзд працівників з небезпечних зон.

Переконавшись у відсутності персоналу в небезпечних зонах, майстер подає другий безперервний сигнал для запуску млина.

Для збереження та обліку ключ-бірок на кожній ділянці має бути спеціальна шафа, що замикається на ключ, та «Журнал обліку роботи із застосуванням биркової системи».

У журналі обліку повинні бути зареєстровані всі ключі.

Кожен випадок видачі бірок на постійне або тимчасове користування зазначається в журналі: дата та час, кому видано бирку. Кожне повернення бирки реєструється: дата та час, від кого прийнято бирку.

4.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

Роботу виконувати в захисній касці, справному спецодязі та взутті. Необхідно використовувати рукавиці, респіратори, захисні окуляри. Працювати дозволяється лише справним інструментом, призначеним для виконання цієї роботи. Кліщі повинні бути заправлені за розміром, з внутрішньої сторони ручок кліщів має бути упор – для запобігання здавлюванню пальців руки працівника. Поверхні металевих ручок кліщів повинні бути гладкими (без зазубрин, вм'ятин та задирок) очищеними від окалини. Ключі підібрані за розміром гайки. Молотки і кувалди повинні бути справними і щільно насаджені на дерев'яні ручки, а також розклинені. Рукоятки молотків повинні мати по всій довжині в перерізі овальну форму, бути гладкими, не мати тріщин і до вільного кінця рукоятки повинні потовщуватись (крім кувалд) для запобігання вислизанню рукоятки з рук працівника при помахках та ударах інструментом.

У кувалд рукоятка до вільного кінця має зменшуватися, кувалда повинна насаджуватися на рукоятку у бік потовщеного кінця.

У разі перебудови на інший профіль необхідно ретельно перевірити кріплення обвідних апаратів та привалкової арматури. Слідкувати за правильністю встановлення привалкової арматури та станом калібрів у процесі роботи.

Спостерігати за рухом металу розкотним полем. Не дозволяється стояти спиною до розкату металу з кліті, що виходить.

Якщо прокат металу, з якихось причин, не пішов по обвідному апарату, його дозволяється задати вручну, переконавшись перед завданням його в калібри, що він покладений на розкочуванні без вузлів, вигинів, кінці прокат не роздавлені і не замочені. Перед заданням прокат в калібри вручну, вальцівник повинен вивести людей з протилежного боку кліті.

Перед заданням у кліть вигнутого прокат вальцівник повинен знаходитися із зовнішнього боку прокат. Після захоплення розкочування валками, необхідно негайно піти на безпечну відстань.

У разі необхідності пропуску розкочування у валках без обтиснення, необхідно попередити вальцівників протилежної сторони кліті та відійти на безпечну відстань.

Під час напрямку заготівлі до струмка обтискної кліті кліщі в руках необхідно тримати збоку тулуба.

При підйомі кліщами вручну проби або недокату кліщі тримати потрібно збоку тулуба, а не перед обличчям.

Не дозволяється допускати сторонніх осіб на робоче місце під час роботи табору.

У разі потреби аварійної зупинки чистової лінії вальцувальник зобов'язаний скористатися спеціальною кнопкою встановленою на ПУ лінії.

Під час прокату на моталки необхідно стежити за звуковими сигналами, які подаються з ПУ оператором. Почувши один тривалий сигнал, необхідно припинити роботу.

Не дозволяється під час роботи моталок перебувати на перехідному містку перед моталками та в зоні огороження моталок.

При змотуванні бракованого прокату вальцівнику необхідно:

- задати кінець бракованого прокату (недокату) в барабан бракомоталки;
- видалити працівників з прокатного поля і від бракомоталки;
- ввключити механізм моталки для змотування недокату.

Вальцівнику не дозволяється:

Знімати огорожі та захисні пристрої під час роботи табору, а також працювати без захисних щитків та огорож.

Проводити під час роботи стану налаштування стану, встановлення труб, проводок на чистових клітках з боку заходу металу в калібр, заміну болтів на клинах та арматурі, заміну пропускних та роликкових коробок, встановлення водяних зрошувачів для охолодження валків.

Підмінювати робітників інших професій з особистої домовленості.

Доручати свою роботу іншим особам, йти з робочого місця без дозволу майстра.

Стояти проти прокату, що виходить зі стану.

Задавати в кліті холодний або заплутаний прокат, а також із замоченим кінцем.

Переходити через петлі гуркотів, покладених на розкочувальному полі.

Курити під час роботи.

Стояти всередині обвідного апарату при проходженні прокату.

Під час прокату діставати привалкову арматуру, що впала під стан.

Переходити через кліті та шпинделя, заходити в огорожену зону.

Користуватися факелом під час огляду обладнання поворотного пристрою, щоб уникнути увімкнення фотоелемента.

Під час прокату проводити огляди, ремонт механізмів, розташованих під столом, що підйомно-хитається.

Підбір металу по клітях, а також налаштування привалкової арматури (роликові коробки, вивідні труби, вступні лінійки, пропуски) дозволяється проводити тільки за умови встановленої огорожі всіх деталей, що обертаються, і прокатних валків.

Перевірка прилягання проводки до калібру здійснюється за допомогою щупа тільки з боку виходу прокат з валків. Під час перевірки подача прокат в кліть не допускається.

Заміну проводок на обтискних клітях дозволяється проводити за допомогою кліщів, а підкладати під проводку прокладки тільки при допомозі спец. ключа. На чистових клітях заміна проводок на ходу не дозволяється.

В окремих випадках допускається проводити зачистку калібрів абразивним інструментом із застосуванням кліщів під час обертання валків, виконуючи такі заходи безпеки:

При зачистці калібрів прокат не дозволяється.

Зачистку калібрів проводити тільки перебуваючи з боку виходу прокат.

Операцію проводити тільки за завданням майстра та в його присутності.

Вогневу порізку недокатів та одержаного під час прокату браку має право проводити лише навчена особа, яка має посвідчення газорізача.

В окремих випадках допускається рубка прокату за допомогою спец. сокири. Якщо після першого удару сокирою прокат не рубається, необхідно другий удар наносити по металу, відступивши від місця рубки на 200-300 мм. Ця операція виконується із застосуванням захисного щитка.

При окуванні валків, при прокаті важко-формованих марок сталей, видалення металу з калібрів допускається тільки за допомогою

газополум'яної апаратури. Не дозволяється наносити удари по металу кувалдою, щоб уникнути травмування осколками металу, що відлітають.

При необхідності поправити привалкову арматуру, під час роботи табору, вальцівник зобов'язаний подати команду оператору ПУ №2 (стан «325») та ПУ №1 (стан «280») на припинення прокату. Переконавшись, що оператор прийняв сигнал, і у валках немає металу, вальцівник виконує необхідну роботу з налаштування кліті.

Роботи з вирівнювання лінії шпинделів під час роботи табору не дозволяються.

ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПЕРЕВАЛКУ КЛІТЕЙ

Команду на зупинку стану оператору ПУ №2 (стан «325») та ПУ №1 (стан «280») дає майстер за допомогою тривалого сигналу.

Розподіл робочих до виконання робіт з перевалці клітей виробляє майстер.

У разі потреби до робіт з перевалки можуть залучатися робітники інших професій. При цьому їм поводитья обов'язковий цільовий інструктаж з ОП із записом до «Журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці».

Перед початком робіт на перевалочному стенді (стану "280") вальцівник зобов'язаний перевірити справність всіх вузлів стенду. Про всі несправності необхідно доповісти майстру і до їх усунення не виконувати.

Транспортування клітей за допомогою електромостового крана повинен проводити спеціально призначений майстром вальцівник, що має посвідчення стропальника.

Не дозволяється під час перевалки валків, клітей включати механізми столів, що підіймають коливаються, рольгангів, а також знімати плитовий настил в районі виконання робіт. При транспортуванні вантажу за допомогою двох стропів необхідно використовувати стропи однієї довжини та вантажопідйомності.

При транспортуванні клітей, валків користуватися справними знімними вантажозахоплювальними пристроями. Не дозволяється перевезення деталей на дроті.

Не дозволяється комплектувати вузли кришки кліті "500" і "350" у підвішеному положенні, їх необхідно встановити електромостовим краном на спеціальні підставки.

Під час перевалки зняті деталі необхідно акуратно укласти на плитовий настил, щоб уникнути їх зміщення. Не дозволяється захарашувати робоче місце вальцівника.

При встановленні обвідних апаратів, привалкової арматури особливу увагу звертати на правильну установку їх по робочим калібрам та задовільне їхнє кріплення.

Після закінчення перевалки встановити огорожу, зробити прибирання робочого місця, очистити плитний настил від розливів олії та мастила.

ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ОСОДЖЕННІ ЗРАЗКІВ ПРОКАТУ:

До роботи з осідання зразків прокату допускаються особи, які вивчили посібник з експлуатації пристрою ПН1839РЕ, призначеного для виготовлення осаду.

Перед початком роботи на пристрої необхідно провести візуальний огляд стану механо- та електроустаткування щодо виявлення несправності.

Увімкніть автоматичний вимикач на шафі керування, при цьому повинна засвітитися сигнальна лампа "Мережа".

Увімкнути ключ-бірку, засвітиться сигнальна лампа "ВКЛ".

Увімкнути електродвигун гідростанції натисканням кнопки "Пуск".

Поставити за допомогою кліщів на нижній бойок нагрітий зразок прокату та натиснути педаль. Не відпускаючи її осадити зразок на 2/3 його висоти. Після цього відпустити педаль.

Забрати зразок з бойка кліщами.

Не дозволяється поправляти зразки рук для осад під час роботи.

Не дозволяється осаджувати холодні зразки.

Для подачі сигналу про пуск стану, майстер стану повинен перевірити справність і готовність до роботи стану, наявність захисних огорож і запобіжних пристроїв, з'ясувати, чи не знаходився хтось із працівників у небезпечній близькості до механізмів, що обертаються або рухаються. Майстер табору може дати сигнал на запуск табору. Попередній сигнал на запуск стану має бути чутним на всіх робочих місцях стану. Через 3-5 хвилин, переконавшись, що всі роботи на стані закінчені, а працівники знаходяться в безпечному місці, майстер стану подає сигнал, після якого за наявності всіх ключ - бирок на механізмах і сигналу у відповідь від чергового персоналу машинних залів та маслопідвалу, оператор запускає стан у роботу.

Зупинка табору на ремонт, перевалку, зміну проводиться за командою майстра табору, одним тривалим гудком. Цей сигнал відноситься безпосередньо до лінії стану. Решта устаткування оператором, установкою команда-контролерів в нульове положення, з наступним аналізом електричних схем.

4.4 Вимоги безпеки з окінчання роботи

Прибрати своє робоче місце, інструмент, вантажозахоплювальні пристрої.

Після закінчення зміни, повідомити свого змінника, про всі неполадки, несправності та вжиті заходи щодо їх усунення.

Доповісти майстру про закінчення зміни.

Здійснити відповідний запис у «Журналі прийому та здачі зміни».

Здати ключ-бирку майстру табору з розписом у «Журналі обліку видачі ключ-бірок механізмів».

Зробити особистий розпис у «Журналі реєстрації приходу та догляду за працівниками» звільнення з роботи у відповідній графі.

Прийняти душ. Залишити територію підприємства за встановленими маршрутами руху.

4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Основні аварійні ситуації, які можуть виникнути під час виконання робіт, дія вальцівника при їх виникненні:

- у разі виникнення короткого замикання в мережі живлення електрообладнання – припинити роботу, відключити пошкоджену електромережу, доповісти майстру.

- при загорянні електроустановки – припинити роботу, відключити електроустановку, доповісти майстру. Телефон виклику пожежної частини 101.

- при пошкодженні трубопроводів припинити роботу, за можливості перекрити пошкоджені трубопроводи, залишити небезпечну зону. Поставити до відома майстра.

При нещасному випадку до потерпілого викликати медперсонал здравпункта за тел.36-96, а до його прибуття надати потерпілому першу долікарську допомогу.

Кожен працівник, який першим виявив загрозу аварійної ситуації, повинен негайно припинити роботу та подати сигнал «СТОП». Команду «СТОП», подану будь-яким працівником, повинні негайно виконати всі працівники, які її почули.

За всіма аварійними ситуаціями на ділянці є ПЛАС, яким проходить навчальні тренування і повинен персонал ділянки діяти відповідно до вимог ПЛАС.

4.6 Висновки четвертої частини

Основна мета охорони праці в прокатному виробництві - забезпечити безпеку та здоров'я працівників. Для досягнення цієї мети можна вживати наступні заходи:

Проведення оцінки ризику: Важливо ідентифікувати потенційні ризики, пов'язані з процесом прокату, і визначити, як їх уникнути або зменшити. Це може включати оцінку фізичних навантажень, робочого середовища, наявності небезпечних речовин та інших факторів.

Застосування заходів безпеки: Працівники повинні мати доступ до необхідного захисного спорядження, такого як каска, захисні окуляри, взуття та спеціальний одяг. Додаткові заходи можуть включати встановлення огорожень, додаткових захисних пристроїв на обладнанні та навчання працівників правилам безпеки.

Навчання та підготовка персоналу: Всі працівники повинні бути наділені необхідними знаннями та навичками, щоб працювати в прокатному виробництві

ВИСОНКИ

1. У кваліфікаційній роботі розглянуто дрібносортний стан 325, лінійного типу, який складеться з однієї обтискної кліті 500 та п'яти чистових клітей 325. На стані виконують прокатку прутків з вуглецевих, легованих, високолегованих сталей і сплавів. Основне і допоміжне обладнання стану розташоване в прольотах цеху до них входять, дві методичні нагрівальні печі - одна з яких постійно діюча, інша – резерв; рейковий холодильник; ножиці гарячого різання які встановлені за подовжувальним рольгангом, використовують для обрізання розшаруваних кінців розкату або порізки недокату на частини.

2. Були проведені розрахунки калібровки, зміни температури металу та енергосилові параметри при прокатці штаби діаметром 38 мм зі сталі 17X2H з заготовки розміром 80x80x2000 мм. З цих розрахунків видно, що для досягнення встановлених геометричних параметрів профілю необхідно налаштувати певні параметри процесу. Встановленні оптимальної швидкості прохідного валу та навантаження на матеріал для досягнення бажаної форми та розмірів профілю. Розрахунок змінювання температури металу під час гарячого прокатування показав, що цей процес супроводжується поступовим зменшенням температури металу в процесі прокатки з 1268 °С до 1183 °С . Це дає змогу визначити режими температури для забезпечення необхідної пластичності та зменшення напружень у металі під час прокатування. За результатами розрахунку енергосилових параметрів видно як проходить прокатка в різних проходах, що дозволяє оцінити споживання енергії та визначити оптимальні режими роботи. Отже, розрахунки технологічних параметрів для калібрування круглого профілю на прокатному стані 325 підтверджують необхідність налагодження оптимальних режимів процесу з метою досягнення встановлених геометричних параметрів, контролю температури металу та ефективного використання енергії.

3. По розрахункам механічній частині виявлено, що в четвертому проході буде максимальна напруга вигину яка дорівнює $5,069 \cdot 10^{-8}$ Н/мм². На основі цього результату надалі розраховується коефіцієнти за якими видно які механічні навантаження впливають на валок. З цих розрахунків дізналися, що валки мають великий запас міцності при крученні і при прогині. Це дає можливість стверджувати, що валки витримують прокатку штаби.

4. Основна мета охорони праці в прокатному виробництві - забезпечити безпеку та здоров'я працівників. Для досягнення цієї мети можна вживати наступні заходи:

- Проведення оцінки ризику, важливо ідентифікувати потенційні ризики, пов'язані з процесом прокату, і визначити, як їх уникнути або зменшити. Це може включати оцінку фізичних навантажень, робочого середовища, наявності небезпечних речовин та інших факторів;
- Застосування заходів безпеки, працівники повинні мати доступ до необхідного захисного спорядження, такого як каска, захисні окуляри, взуття та спеціальний одяг. Додаткові заходи можуть включати встановлення огорожень, додаткових захисних пристроїв на обладнанні та навчання працівників правилам безпеки;
- Навчання та підготовка персоналу, всі працівники повинні бути наділені необхідними знаннями та навичками, щоб працювати в прокатному виробництві.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Данченко В. М., Гринкевич В. О., Головка О. М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2008. 370 с.
2. Кухар В.В., Аніщенко О. С., Присяжний А. Г. Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навчальний посібник. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с.
3. Серeda Б.П. Прокатне виробництво. Навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 312 с.
4. Серeda Б.П. Прокатне виробництво. Навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 344 с.
5. Баздирев В. С., Іванов В. І., Нестеренко Т. М., Серeda Б. П. Про зниження знеуглецювання каліброваної сталі в термічних печах. *Металознавство та обробка металів*. 2002. №4. С.31-34.
6. Тарасенко В. М., Калюжний В. Л. Використання метода граничних елементів в математичному моделюванні процесів обробки металів тиском. *Технологические системы*. 2005. № 5- 6 (31-32). С.77-79.
7. Гожій С. П. Засади і проблеми використання ресурсозберігаючих технологій обробки металів тиском. *Технологические системы*. 2006. № 2 (34). С. 64-68.
8. Горбатенко В. В. Вдосконалення структури сплавів для валків дрібносортових прокатних станів з метою підвищення їх експлуатаційної стійкості : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06. Донецьк, 2006. 20 с.
9. Мохаммад З. Удосконалення і реалізація методів розробки калібровок валків і технології виробництва трубних заготовок великих діаметрів на

обтискно-заготовочному стані : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05. Донецьк, 2006. 21 с.

10. Нахайчук О. В., Огородніков В. А., Музичук В. І., Деревенько І. А. Діагностування матеріалів для технічних експертиз та процесів обробки металів тиском. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2007. № 6 (75). С. 102-110.

11. Дехтярьов В. С. Розвиток методів калібровки інструменту при холодній валковій прокатці прецизійних труб зі змінним по довжині робочого конусу типом калібру : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 17.06.08. Дніпропетровськ, 2008. 19 с.

12. Жегур О. А. Розробка наукових основ раціональної конструкції чавунних кокілів підвищеної стійкості з литими калібрами для прокатних валків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 : захищ. 03.03.09. Дніпропетровськ, 2009. 18 с.

13. Єфіменко О. Ю. Розвиток методів розрахунку формозміни металу та енергосилових параметрів прокатки в калібрах з урахуванням перехрещення валків в горизонтальній площині : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 16.06.09. Дніпропетровськ, 2009. 20 с.

14. Мостіпан Є. Є. Удосконалення калібровок валків для виробництва фланцевих профілів, які забезпечують підвищення якості поверхні прокату : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 17.06.11. Дніпродзержинськ, 2011. 20 с.

15. Стріченко С. М. Удосконалення технологій та обладнання процесів обробки металів тиском, які використовуються при безперервному литті сортових заготовок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 18.05.12. Луганськ, 2012. 20 с.

16. Ключко О. Ю. Підвищення експлуатаційних властивостей валків з високохромистого чавуну легуванням та термічною обробкою : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 : захищ. 14.06.12. Харків, 2012. 21 с.

17. Волчук В. М. Розробка наукових основ формування та оцінки механічних властивостей сортопрокатних чавунних валків для підвищення їх зносостійкості : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.01 : захищ. 21.05.15. Дніпропетровськ, 2015. 38 с.

18. Хімін В. М., Федьков Г. О. Конструкції агрегатів цехів обробки металів тиском. Обладнання цехів обробки металів тиском : метод. посіб. для студентівЗДІА спец. 7.090404, 8.090404 "Металургія" / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 78 с. : іл., табл.

19. Проценко В. М. Калібровка, обтискне та сортове виробництво : метод. вказівки до практ. занять, курс. проекту (роботи) і самост. роботи для студентів ЗДІА, що навчаються за спец. 136 "Металургія" (спеціалізація "ОМТ"), на першому (бакалавр.) рівні вищ. освіти ден. та заоч. форм навчання / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 57 с. : іл., табл.

20. Явтушенко О. В., Проценко В. М., Корнілов О. О. Розрахунки валків прокатних станів на міцність і деформацію у програмному комплексі "AutoCAD Mechanical". *Металургія*. 2018. № Вип. 2. С. 85-90.

21. Серeda Б. П. Обробка металів тиском : навч. посіб. для внз. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 343 с. : іл., табл.

22. Серeda Б. П., Кругляк І. В., Жеребцов О. А., Белоконь Ю. О. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 250 с. : іл., табл.

23. Сивак І. О. Розвиток прикладної теорії деформуємості металів та її застосування для аналізу та удосконалення процесів обробки тиском : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.05: захищ. 25.04.01. Краматорськ, 2001. 36 с.

24. Штода М. М. Розвиток методів розрахунку калібровок для прокатки кутових профілів різної конфігурації: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 : захищ. 20.01.06. Дніпропетровськ, 2005. 20 с.

25. Серeda Б. П., Прищип М. Г., Кругляк І. В., Кругляк Д. О. Технологія процесів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. для студ. ЗДІА спец. 6.05040104 "Обробка металів тиском" / МОНМС України, ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 161 с.

26. Серeda Б. П., Критська Т. В., Жеребцов О. А. Дослідження та вдосконалення процесів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 6.05040104 "Обробка металів тиском" / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 122 с.

27. Романовський І. Г. Теоретичне та експериментальне дослідження формозмінювання у таврових калібрах і розробка методів розрахунку калібровок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.07 : захищ. 29.06.93. Дніпропетровськ, 1993. 17 с.

28. Теорія обробки металів тиском: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском» / Серeda Б. П., Белоконь Ю. О., Оніщенко А. М.; Запоріз. держ. інж. акад. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 132 с.

29. Белоконь Ю. О., Бондаренко Ю. В., Проценко В. М., Явтушенко А. В., Кругляк Д. О., Проценко В. М., Явтушенко А. В., Кругляк Д. О. Вдосконалення технології сортової прокатки дуплексної неіржавкої сталі з метою поліпшення якості металу. *Металургия*. 2021. Вип. 2. С. 75-79.

30. Прокатка і калібрування: Довідкове видання у 6 т. / Б.М. Ілюкович, Н.Є. Нехаєв, В.П. Капелюшний /. Під ред. Б.М. Ілюковича. Д.: РІА "Дніпро-ВАЛ", 2003, т. 3. 429 с.

31. Андриенко Н. Н. Барьеры безопасности для предотвращения, контроля или смягчения нежелательных событий : [управление безопасностью подъемной техники и устройств] / Н. Н. Андриенко // Подъемные сооружения. Специальная техника. – 2017. – № 8 (179). – С. 11-15.

31. Iannacchione A. The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the US Minerals Industry. National Institute for Occupational Safety and Health. Spokane Research Laboratory. Spokane : WA, 2008. 132 p.

32. В.І. Кошель, Г.П. Сав'юк, Б.С. Дзундза Основи охорони праці. навчально-методичний посібник для студентів вищих навчальних закладів педагогічного напрямку – Івано-Франківськ: НАІР, 2020. – 182 с.

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

Додаток А

Таблиця А.1 - Режим нагрівання заготовок і охолодження прокату

№ групи	№ під групи	Марка сталі	Температура верхньої зони печі, °С	Температура нижньої зони печі, °С	Мінімальна тривалість нагріву заготовки, ч-хв	Максимальна тривалість нагріву заготовки, ч-хв	Температура кінця прокати, °С	Спосіб охолодження матеріалу
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I ²⁾	-	Ст. 0-7, 05-60 ³⁾ , 09А, 09-20Г2(А), 09Г2С, 10Г2С1, 15-50Г, 15Г1, АЦ40Х, 15-50Х(А) ³⁾ , 15ХРА, 15ХФ	до 1310	до 1280	1-10	не обмежена	не нижче 750	у штабелях на повітрі
II	-	0ХВ, 0ХМ (С-35ХМ), 0ХН1В, 0ХН3В, 0ХН3ВФА, 0ХН1М, 0ХН2М, 0ХН2Ф, 0ХН3М, 0ХН3МА, 0ХН3МФА, 10ХГН1, 10ХСНД, 12МХ, 12ХМСФ (ДИ66), 12ХН, 12ХН2, 12ХН3А, 12Х1МФ, 12Х2НВФА (ЭИ12), 12Х2НВФМА (ЭИ712М), 12Х2Н4А, 12Х8ВФ, 13Н2ХА, 13Н5А, 13Х3НВМ2Ф (ДИ45), 14ХГН, 14ХГСН2МА, 14ХГСН2МА (ДИ3А, ЭП176), 14ХН3МА, 14Х2Н3МА, 15, 15А, 15Г, 15ХГ, 15ХМ, 15ХГН, 15ХГНМ, 15Х1М1Ф, 15Н2М, 15ХГН2ТА, 15Х2Н2(У), 15Н3МА, 15Х2ГН2ТА, 15Х2ГН2ТРА, 15Х5, 15Х5ВФ, 15Х5М, 16ХГТА (ЭИ274), 16ХСН, 16ЮН2, 16ХН3МА, 16Х3НВФМБ (ДИ39), 17ХГ-У, 17Г1С, 17ХН3МА, 17Н3МА, 18Г, 18ХГ, 18Г2С, 18ХГСН2ВМА (ДИ2), 18ХГСН2МА (ДИ4), 18ХГТ(А), 18ХН2М, 18ХН3МА, 18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА, 18Х3МВ (ЭИ578), 19ХГН, 19ХГНМА, 20, 20-У, 20ХН, 20ХГСН, 20ХГНМ(У), 20ХГСНМ, 20ХГНМТА, 20ХГНР, 20ХГНТР, 20ХГР, 20ХГСА, 20ХМ, 20ХМФ, 20Х1М1Ф1БР (ЭП44), 20Х1М1Ф1ТР (ЭП182), 20ХНР, 20ХТНР, 20Н2М, 20ХН2М, 20ХН3А, 20ХН4ФА, 20Х2Н4А	1240	1200	1-20	не обмежена	не нижче 750	у штабелях на повітрі

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
II	-	20X3MBO, 21XГН2, 21X2MФ, 21XГНМА, 22XГНМА, 23X2НМФА, 23X2НВФА (ЭИ659), 25XГМ, 25XГСА, 25XГТ, 25XМ(У), 25XГНМА, 25XГН1МА, 25Г2С, 25X5М, 25XСНВФА (ВП25, ЭП325), 25X1МФ (ЭИ10), 25X2ГНТА, 25X2М1Ф (ЭИ723), 25X2Н4ВА, 25X2Н4МА, 26XГА, 26X2НВМБР(ВД)(КВК26(ВД), 27XГР, 27X1МФ1Б, 30(40), 28X3СНМВФА (ЭШ326), 30Г2, 30XГС(А), 30XГСНМА, 30XГСН2(М)А, 30XГТ(А), 30XМ(А), 30ХРА, 30ХН2ВА, 30ХН2ВФА, 30ХН2МА, 30ХН2МФА, 30ХН3А, 30X2НВА, 30XСНВФА (ВШ30), 30X1МФ1Т, 30X2НВФА, 30X3МФ, 300X2НМА, 30X2НМФА, 30X2ГСН2ВМ, 30X2Н2М, 30X2Н2МФА, 30X2Н2ВФМА, 30X3ВА, 33ХС, 33XГ1Р, 32X2НВМБР(КВК32), 33X3СНСМВФА (ЭШ327), 34ХМ, 34X2НМ, 34X2Н2М(У), 35(А), 35Г, 35Г2, 35Г2М, 35X1Ф, 35ГС, 35ХМ, 35XГСА, 35ХМФА, 35ХН2МФА, 35ХН3МА, 35X3НМ, 37Г2СФ, 36X2Н2МФА, 37ХН3А, 37X2НВМБР (ВД(КВК37(ВД)), 38ХГ, 38ХМ, 38ХС, 38XГМ, 38ХНМ, 38ХН3ВА, 38ХН3МА, 38ХН3МФА, 38X2Ю, 38X2МЮА, 38X2Н2МА, 38X3СНМВФА (ЭП328), 38X5МСЦА (ЭП258), 39XГТ, 40(У), 40Г, 40Г2, 40ХН, 40ХМ, 40ХС, 40XГТР, 40XГМ, 40ХФА, 40XГНМ, 40ХМФА, 40ХН2ВА, 40ХН2М(А), 40XГН2М, 40ХН2СВА (ЭИ643), 40ХН2СМА (ЭИ643М), 40ХФД(А), 40X2Н2ВА, 40X2Н2МА, 42ХМ(У), 55(У), 42X2НВМБР(КВК42), 43X3СНМВФА (СПЗ), 45(А), 45Г, 45ХН, 45ХН, 45ХН2МФА, 50, 50Г2, 50ХН, 50ХМ, 53ХМЮ, 55Г, АЦ35ХМ, АЦ38XГМ, АЦ40XГМ, А40Г.	1240	1200	1-20	не обмежена	не нижче 750	у штабелях на повітрі, а 33XГ1Р в термостаті
III	-	4XB2C, 4XC, 4X5MФC, 4X5MФ1C (ЭШ572), 5XB2CФ, 5XГМ, 5XГНМ, 5ХНМ, 5ХНВС, 5X2MНФ (ДИ32), 5ХН2МФ, 6XB2CФ, 5ХНВ, 6XB2C, 6XC, 6X4M2ФC (ДИ55), 7XГ2ВМФ (ЭП472), 7XФ, 7X3, 8XФ, 8X3, 50XГА, 50XГФ(А), 50XФ(А), 55СМ5ФА, 55С2(А), 55С2МФ, 60Г, 60С2(А), 60С2Г.	1180	1140	1-15 для стали 50XГА – 1-05	2-30	не нижче 750	у штабелях на повітр ⁴⁾ , а 4X5MФC, 4X5MФ1C, 6X4M2ФC, 5X2MНФ.

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
III	-	60С2ХА, 60С2ХФА, 60ХФА, 68-85, 65Г, 65С2ВА, 70Г, 70С2ХА (ЭИ142), 70С3А, С-45(Х), С-50, С-70, У7(А), У8(А), У8Г(А), 70Г17НЗ (ЭИ94), 85Г13 (ЭИ700)	1180	1140	1-15 для стали 50ХГА – 1-05	2-30	не нижче 750	5ХН2МФ, 6ХВ2С, 6ХВ2СФ в термостаті
IV	-	6ХВГ, 8ХГТ, 85ГФ, 90ХВГ, 9ХГ2Ф, 95ХГВФ, 95Х5ГМ, 9Х5ВФ, У9(А), У10(А), У11(А), У12(А), У12Б, У13(А), Х6ВФ, ХВГ ⁶⁾ , ХВСГ, ХВ1Г, ХГС, ШХ15СМ-Ш(ДИ36-Ш)	1180	1160	1-20	3-00	не нижче 850 (див. п. 5.5)	у штабелях на повітрі, а з вмістом вольфраму, 95Х5ГМ і ХГС - у термостатах
V	a	9Х1, 9ХС, 9ХФ, Х, 11ХФ, 12Х1 (ЭП430), ЕХ3, ШХ6, ШХ20СГ	1200	1160	1-10	3-00	не нижче 850 (див. п. 5.5)	у штабелях на повітрі
	б	ШХ15(В), ШХ15(1.3505), ШХ15СГ	1160	1140	1-10	3-00	не нижче 850 (див. п. 5.5)	у штабелях на повітрі
VI	a	3Х3М3Ф, 4Х2В5МФ(ЭИ959), 4Х3М2ВФГС(ДИ41), 4Х3ВМФС(ДИ71), 4Х4ВМдШ(ДИ22), 4Х5В2ФС(ЭИ958), 5Х3В3МФС(ДИ23), 6Х6В3МФС(ЭШ569), 6Х7В7ФМ(ЭИ161), 8Х4М4В2Ф1 (ДИ43), 80Х20НС(ЭИ992), 90Х18МФ, 95Х18 (ЭЮ229), Х12М(1), Х12Ф1, Х12МФ, 120Г13 (ЭИ256), 03Н18К9М5Т(ЭП637)	1200	1170	1-50	3-30	не нижче 850	у термостатах(для сталі 6Х7В7ФМ (см. примітка ⁷⁾)

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
VI	б	11Х4Ф3С2В2М (ДИ37), ХВ4, Х4В3М2ФС3К2 (ДИ67), Х12, Х12ВМ, Х12ВМФ, Х12В, 13Х	1180	1140	1-50	3-30	не нижче 850	у термостата х
	в	5Х8М2Ф2С-МП, Р2М5, Р2АМ5, 11Р3АМ3Ф2 (ЭП894), Р6М5Ф3-МП, Р6М5Ф4-МП, Р6М5К5-МП, Р9К5-МП, Р9М4К8-МП, Р12МФ5-МП, Р12МФ4К5-МП, Р12МФ5ІФ-МП, Р12М3К10Ф3-МП, Р12М3К5Ф2-МП, 12Х12В2МФ2-МП, 15К16К5Н2ВМФАБ-ІІ(ЭП866-ІІ), 150Х8М2Ф4С-МП, Х12Ф1-МП, Х12МФ-МП, Х17М2Ф3К2-МП,	1160	1140	1-50	3-30	не нижче 850	у термостата х (див. примітка ⁷⁾)
VI	г	3Х2В8Ф, 3Х3В8Ф, 6Р18Ф, 8Х4В9Ф2(М) (ЭИ347/М), Р9, Р12 (ЭП201), Р18, Р18Ф	1240	1170	2-00	4-00	не нижче 850	у термостата х
	д	10Р6М5, 10Р6М5ІГ, Р6АМ5, Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5, Р6Ф2К8М5 (ЭП658), Р9К5, Р9К10 (ЭШ920), Р9М4К8 (ЭП688), Р12Ф2К5М3 (ЭП863), Р12Ф2К8М3 (ЭП657), Р12Ф3 (ЭШ597), Р18Ф2К8М	1200	1100	1-50	3-30	не нижче 850	у термостата х
	е	Х8М2ФС-МП	1140	1100	2-00	3-30	не нижче 850	у термостата х
VII	а	0Х20Н4АГ10 (НН-3), 03Х17Н13М2, 03Х18Н11, 04Х18Н10 (ЭИ842, ЭП550), 04Х19Н9, 05Х17Н13М2, 06Х16Н15М3Б, 06-08Х17Н13М2Т, 06-08Х17Н3М2Т, 08Х16Н11М3, 06Х18Н11 (ЭИ684), 07Х18Н10, 08Х18Н5Г12АБ (НН-3Б), 08Х18Н10, 08Х18Н10Т (ЭИ914), 08Х18Н12Т, 08Х18Н12Б (ЭИ402), 08Х20Н5АГ12МФ (ДН8), 10Х17Н13М2Т (ЭИ448), 10Х17Н13М3Т (ЭИ432), 10Х18Н9, 10Х18Н10Т (ЭШ502), 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 17Х18Н9	1270	1230	1-40	не обмежен а	не нижче 850 (див. п. 5.6)	у штабелях на повітрі

Продовження таблиці А.1

VII	6	03X11H8M2Ф (ДИ52), 03X12H10MTP (ЭП810, ВНС-25),св. 04X17H10M2, св. 04X19H9C2, 06X14H6Д2МБТ (ЭП817), 06X21H12(Б,Б-1), 06X21H12Т2, 07X12HМБФ-Ш (ЭП609-Ш), 07X16H4Б, 07X16H6 (ЭП288), св.07X19H10Б, 07X21Г7АИ5 (ЭШ222), 08X15H4Г3 (ДИ20), 08X15H5Д2Т (ЭП410У, ВНС-2), 08X17H5M3, 08X17H6Т (ЭИ580), св.08X17H15M3Е (ЭП580), св.08X19H11Ф2С2 (ЭП589), 08X20H14С2 (ЭИ732), 8X22H6Т(ЭП53) ,09X14H19В2БР (ЭН695Р), 09X16H4Б(ЭИ56), 09X16H15M3Б (ЭИ847), 09X17H7Ю, 5X3H12Г5, 10X23H18, 11X11H2В2МФ (ЭИ962), 12X11В2МФ (ЭИ756), 12X17Г9АН4 (ЭП878), 12X18H10Е(ЭП47), 12X13Г18Д (ДИ6I),13X14H3И2ФР-Ш(ЭИ736-Ш),13X11H2В2МФ (ЭШ961), 13X15H4AM3 (ЭП310),	1250 (див. п. 4.12)	1210 (див. п. 4.12)	1-40	4-00	не нижче 850	у штабелях на повітрі (див. примітка 2)
		14X17H2 (ЭИ268) 15X11МФ, 15X12ВНМФ (ЭИ802),15X12HМВФАБ (ЭН517), 15X16H9AM-Ш (ЭП479-Ш),15X18H12С4ТЮ (ЭИ654), 18X11MНФБ(Ш), 18X12ВМБФР (ЭИ993), 18X15H3M (ДИ1), 20X12ВНМФ (ЭП42), 20X13, 20X17H2, 20X20H14С2 (ЭИ211), 20X23H18 (ЭИ417), 20X25H20С2 (ЭИ283), 25X18H8В2 (ЭИ946), 30X13, 30X13H7С2 (ЭИ72), 36X18H25С2, 31X19H9МВБТ(ЭН572), 37X12H8Г8МФБ (ЭИ481), 40X9С2, 40X10С2М (ЭИ107), 40X13, 40X15H7Г7Ф2МС (ЭН388), 45X9С3, 45X14H14В2М (ЭИ69), 45X14H14СВ2М (ЭН240), 45Г17Ю3, 55X20Г9АН4 (ЭП303/БМ), Ю3	1250 (див. п. 4.12)	1210 (див. п. 4.12)	1-40	4-00	не нижче 850	у штабелях на повітрі,а 20-40X13, 40X9С2, 40X10С2М , 45X9С3 - у термостатах (див. примітка 2)
	В	06X17 ⁹⁾ , 08X13 (ЭИ496), 08X17Т (ЭИ645), Х23Ю5(Т), Х27Ю5Т (ЭИ626), 12X13, 12X17, 12X21H5Т (ЭИ811), 12X25H16Г7АР-Ш (ЭИ835-Ш), 15X18СЮ (ЭИ484),15X25Т (ЭИ439), 0X27Ю5Т, 15X28 (ЭИ349), 29НК, ХВП	1170 (див. п. 4.12)	1120 (див. п. 4.12)	1-15	3-00	не нижче 800	у штабелях на повітрі

Продовження таблиці А.1

VII	г	ХН78Т (ЭИ435), Х20Н80ТЗ	1220	1180	2-00		не нижче 850	у штабелях на повітрі
	д	03Х14Н7В (ЗИ-75), 03Х17Н5ДЗБ	1200	1180	1-40	4-00	не нижче 850	на рівній підлозі, маса підйомів не більше 2,0 т
	е	10Х11Н23Т3МР-ВД (ЭП33-ВД), 10Х11Н20Т3Р(ВД) ⁸⁾ (ЭИ696(ВД))	1080	1080	2-30, для сталі ЭИ696 (ВД) 3- 00	5-00, для ЭИ696 (ВД) 3- 45	960- 1020	у штабелях на повітрі
	ж	06ХН28МДТ (ЭИ943)	1200	1200	2-00	6-00	не нижче 950	у штабелях на повітрі

¹⁾ Максимальна температура печі не повинна перевищувати 1310 °С.

²⁾ Нагрівання заготовок сталей І групи, призначених на експорт, за режимом групи ІІ.

³⁾ Сталі 30-45, 30Х-40Х, 38ХА, що поставляються за ГОСТ 10702, ДСТУ 3684 і ТУ 14-1-2457 (з контролем мікроструктури), нагрівати за режимом групи ІІ.

⁴⁾ У період з 1 квітня до 31 жовтня охолодження сортового прокату діаметром 21 мм і 22 мм ресорно-пружинних сталей марок 55С2(А) і 60С2(А) на замовлення без відпалу проводять за чинною технологією. В інший час після прокатки проводять накопичення прокатки в термостаті на ножицях холодного різання металу з подальшим охолодженням щонайменше 24 год у підігрітих колодязях стану 550 зі щільно закритими кришками. Підігрів колодязів стану 550 здійснюють металом зі стану 550, за його відсутності - гарячою ПБ зі стану 325 у кількості від 10 шт. до 20 шт.

⁵⁾ Нагрівання заготовок сталі 60С2Г здійснюють за таким режимом:

- температура у верхній зоні - 1220 °С, у нижній - 1100 °С.

Закінчення таблиці А.1

Темп прокатки має бути не менше 65 заготовок на годину. За нижчого темпу температури верхньої зони знижуються на 20 °С, а нижньої зони - на 100 °С. У разі вимушеної зупинки стану більше, ніж на 20 хв температура в печі знижується на 100-150 °С, при цьому пальники нижньої зони відключаються повністю.

⁶⁾ Нагрівання сталі ХВГ за замовленнями на холодну обробку здійснюється при температурі у верхній зоні - 1180 °С, у нижній - 1140 °С.

⁷⁾ Прокат сталі 6Х7В7ФМ (ЕІ161) діаметром 24 мм і вище передавати в термостатах в термостатах цех для відпалу не пізніше 16 год з моменту закінчення завантаження термостата.

⁸⁾ Сталь ЭИ696 (ВД) виробляється тільки за ГОСТ 5949.

⁹⁾ Прокат сталі 06Х17 виробляють із заготовки квадратного перетину 85 мм.

Примітка 1: Охолодження сорту Х17М2Ф3Л2-МП проводять у підігрітих термостатах стану 325 або колодязях уповільненого охолодження стану 550. Укладати прокат у холодні колодязі та верхні ряди забороняється.

Примітка 2. Прокат сталі марок 13Х15Н4АМ-Ш (ЭП310-Ш), 15Х12Н12МВФАБ-Ш, 15Х16Н2АМ-Ш (ЭП479-Ш), 07Х16Н4Б (Ш) і 20Х12ВНМФ (ЭП428) охолоджувати на повітрі, потім не раніше, ніж через 36 год і не пізніше 72 год від кінця прокатки піддавати відпуску в термічному цеху.

Примітка 3. Число обертів двигуна в чистовій лінії на холостому ході під час прокатки сталі ЕП33-ВД має відповідати:

діаметром 21-25 мм - не більше 210 об/хв;

діаметром 26-42 - не більше 190 об/хв.

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Метрологічне забезпечення технологічного процесу

Найменування технологічного процесу	Вимірюваний параметр			Місце реєстрації параметра	Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ)		Примітка
	Найменування параметрів	Допустима похибка вимірювань, що допускається	Періодичність вимірювань, хто вимірює		Найменування СІТ	Діапазон вимірювань, похибка, періодичність метрологічного контролю	
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Вимірювання геометричних розмірів заготовок	Сторона квадрата 85-105 мм	± 2 мм	Періодично, контролер ВТК	Не реєструється	Штангенциркуль	0-125 мм, ± 0,1 мм: 1 раз на рік	
2 Нагрівання заготовки	Температура нагріву печі: - верхня зона 1100-1310 °С; - нижня зона 1080-1280°С.	± 10 °С ± 10 °С	Безперервно, нагрівальник, контролер ВТК	Електронний архів	Перетворювач термоелектричний Реєстратор	0-1600 °С; ±0,1% 1 раз на 2 роки	
	Температура по зонах печі, 1000-1310 °С	± 14 °С	За графіком - працівник ТТЛ цеху КВПтаА. Позапланово - майстер зміни прокатного цеху	Журнал	Пірометр	800-1400 °С ± 14 °С 1 раз на рік	
3 Контроль тиску в печі	Тиск у печі, 0-5 кгс/м ²	± 3 %	Безперервно, нагрівальник	Електронний архів	Датчик тиску Контролер мікропроцесорний	0-5 кгс/м ² ; кл. 0,5 1 раз на рік -5-0-5 кгс/м ² ; кл. 0,2: 1 раз на рік	

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8
4 Контроль витрати газу	Витрата газу: - верхня зона, 0-2500 м ³ /год	± 3%	Безперервно, нагрівальник	Електронний архів	Датчик Вторинний прилад	0-100 кгс/см ² ; кл. 0,5; 1 раз на рік 0-3200 м ³ /год; кл. 0,2; 1 раз на рік	
	- нижня зона, 0-4000 м ³ /год, 0-500 м ³ /год	± 3%			Датчик Вторинний прилад	0-100 кгс/см ² ; кл. 0,5; 1 раз на рік 0-5000 м ³ /год; кл. 0,2; 1 раз на рік	
5 Контроль витрати повітря	Витрата повітря: - верхня зона, 0-6300 м ³ /год	±3%	Безперервно, нагрівальник	Електронний архів	Датчик Вторинний прилад	0-100 кгс/см ² ; кл. 0,5; 1 раз на рік 0-6300 м ³ /год; кл. 0,2; 1 раз на рік	
	- нижня зона, 0-12500 м ³ /год	±3%			Датчик Вторинний прилад	0-100 кгс/см ² ; кл. 0,5; 1 раз на рік 0-12500 м ³ /год; кл. 0,2; 1 раз на рік	
6 Контроль температури прутків перед V кліттю і на холодильнику	Температура металу: - перед V кліттю, 750-1030	+ 10 °C	Періодично, майстер стану, вальцювальник сьомого розряду	Електронний архів	Пірометр Реєстратор	700-1700 °C; ± 8,5 °C 1 раз на рік 600-1100 °C; ± 0,1 %. 1 раз на 2 роки	
	- на холодильнику 610-770 °C	+ 10 °C		Електронний архів			Пірометр Реєстратор
7 Регулювання витрати води на УУО	Витрата води, до 250 м ³ /год	± 5 м ³ /ч	Періодично, майстер стану, вальцювальник сьомого розряду	Не реєструється	Компас витратомірний	15-750 м ³ /год; кл. 1,0 1 раз на 2 роки	

Закінчення таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8
8 Контроль геометричних розмірів прокату	Діаметр кола, 21-42 мм; Сторона квадрата, 22-35мм; Розмір шестикутника, 23-37 мм; Перетин смуги 5-75 мм; довжина 2000-6000 мм	Згідно з "ГОСТ" і "ТУ"	Під час налаштування і через кожні 50 розкатів, вальцювальник сьомого розряду, майстер стану	Робочих карта	Штангенциркуль Рулетка металева	0-125 мм, ± 0,1 мм; 1 раз на рік 0-10000 мм, ± 2,2 мм; 1 раз на рік	
9 Травлення проб	Час травлення, 5-10 хв	± 1 хв	Періодично, вальцювальник сьомого розряду	Не реєструється	Годинники	0-12 ч; ± 1 хв	
10 Нагрівання проб під осадку	Температура нагріву печі, 950-1050 °С	± 14 °С	Періодично, вальцювальник	Діаграма	Перетворювач термоелектричний Потенціометр	0-1100 °С; кл. 0,5 1 раз на рік	
	Час нагрівання проб, 20-42 хв	± 1 хв		Не реєструється	Годинники	0-12 ч; ± 1 хв	
11 Контроль температури металу після термостата	до 120 °С	± 5 °С	Періодично, контролер ВТК	Не реєструється	Пірометр	20-400 °С; ± 1 % 1 раз на рік	
12 Зважування прокату	Маса підйому 250-5000 кг	± 5 кг	Постійно, різьбяр, майстри стану	Робоча карта	Ваги платформні	250-5000 кг, ± 5 кг 1 раз на рік	

Додаток В

Таблиця В.1 – Схема прокатки круглих профілів діаметром від 21 мм до 42 мм

Перетин заготовки, кв., мм	Обтискна кліть 500								Чиста кліть 325					
	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Трап.	Кв.	Ромб	Овал	I кліть, кв.	II кліть, овал	III кліть, кв.	IV кліть, овал	V клітка, коло	Сорт, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
105 ¹⁾	90,5	68,5	90,5	65,5	49,5	52,5	59,5x68,5	-	47,5	-	-	38,8x54,0	42,2	42
	90	68	90	65	49	52	58,9x68,0	-	46,8	-	-	37,5x53,3	41,2	41
	88,5	66,5	88,5	63,5	47,5	51	57,4x67,0	-	46,0	-	-	36,4x53,0	40,2	40
	87	65	87	62	46	50	55,9x66,0	-	44,5	-	-	35,6x51,2	39,2	39
	85,5	63,5	85,5	60,5	44,5	49	54,5x66,0	-	43,5	-	-	34,5x50,4	38,2	38
	90	68,5	90	65	49	52	49,6x71,5	-	42,0	-	-	33,6x48,5	37,2	37
	88,5	66,5	88,5	63,5	47,5	51	48,0x71,0	-	41,0	-	-	32,8x47,5	36,2	36
	87	65	87	62	46	50	46,6x70,5	-	40,0	-	-	31,8x46,5	35,2	35
	85,5	63,5	85,5	60,5	44,5	49	45,1x70,0	-	39,0	-	-	30,8x45,7	34,2	34
	90	68	90	65	49	52	-	38,0x62,0	38,0	-	-	29,7x44,9	33,2	33
	89	67	89	64	48	51,5	-	37,0x62,0	37,0	-	-	28,6x44,3	32,2	32
	88,5	66,5	88,5	63,5	47,5	51	-	30,7x70,5	35,5	-	-	28,0x42,0	31,2	31

Закінчення таблиця В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
105 ¹⁾	87	65	87	62	46	50	-	29,2x70,0	34,5	-	-	26,9x41,3	30,2	30
	86	64	86	61	45	49,5	-	28,2x70,0	33,5	-	-	25,8x40,7	29,2	29
	88,5	66,5	88,5	63,5	47,5	54	-	25,9x72,0	32,0	-	-	24,9x39,2	28,2	28
	87	65	87	62	46	50	-	24,4x71,0	31,0	-	-	23,8x38,4	27,2	27
	85	63	85	60	44	48,5	-	22,4x70,0	29,5	-	-	23,0x35,0	26,2	26
	85,5	63,5	85,5	60,5	44,5	49	45,1x70,0	-	39,0	30,0x48,0	29,5	23,0x35,0	26,2	26
	90	68	90	65	49	52	-	38,0x62,0	38,0	28,5x47,5	28,5	22,0x34,5	25,2	25
	88,5	66,5	88,5	63,5	47,5	51	-	36,5x62,0	37,0	27,0x47,0	27,5	21,0x34,0	24,2	24
	90	68	90	65	49	52	-	27,4x72,0	33,5	24,0x41,5	25,8	20,6x31,8	23,2	23
	88,5	66,5	88,5	63,5	47,5	51	-	25,9x71,5	32,5	22,5x41,0	24,8	19,5x31,0	22,2	22
	82	67	80	59	46	50	-	25,0x72,0	31,5	21,0x40,5	24	18,5x30,5	21,2	21

Примітка 1. Для прокатки сталей марок 08X13 (ЭИ496), 08X17Т (ЭИ645), 08X22Н6Т (ЭИ53), 12X17, 12X21Н5Т (ЭИ811), 14X17Н2(Б), 15X28 (ЭИ349), 15X25Т (ЭИ439), 20X17Н2, Х23Ю5(Т), Х27Ю5Т (ЭИ626) не використовують заготовки кв. 85 мм.

Примітка 2. Прокатка крука 26мм з I на IV кліть можлива тільки за наявності невироблених калібрів на валках кліті 500.

Додаток Г

Таблиця Г.1

Перетин заготовки, кв, мм	Обтискна кліть 500								Чиста кліть 325					
	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Трап. 45	Кв. 50	Ромб	Овал	I кліть, кв. гострий	II кліть, овал	III кліть, кв.	IV кліть, ромб	V кліть, кв.	Сорт, мм
105	90	68	90	65	49	52	58,9x68,0	-	46,0	-	-	43,6 x 61,0	35,4	35
	90	68	90	65	49	52	49,6x71,5	-	42,0	-	-	40,8 x 57,1	32,4	32
	87	65	87	62	46	50	46,6x70,5	-	38,0	-	-	38,0 x 53,1	30,4	30
	87	65	87	62	46	50	-	35,0x60,0	35,0	-	-	38,0 x 50,0	28,4	28
	86	64	86	61	45	49,5	-	28,2x70,0	32,0	-	-	31,6 x 45,3	25,3	25
	90	68	90	65	49	52	-	38,0x62,0	38,0 (звичайний)	29,0x46,0	27,0	27,2 x 39	22,3	22 ¹⁾
¹⁾ Прокатка прутків квадратного перетину 22 мм на калібрах I - III кліті - за схемою для кругів.														

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Схема прокатки шестигранників від 22 мм до 37 мм

Перетин заготовки, кв, мм	Обтискна кліть 500								Чиста кліть 325					
	Ящ. 87 х 120	Ящ. 65 х 122	Ящ. 87 х 77,5	Ящ. 62 х 82	Трап. 46 х 103	Кв. 50	Ромб 55,9х73,6 46,6х80*	Овал 35х65,6 29,2х72,3* 24,4х75,6”	I кліть, кв.	II кліть, овал	III кліть, кв.	IV кліть, шести.	V кліть, кв.	Сорт, мм
105	91	69	91	66	50	53	59,9х67,0	-	48,0	-	-	30,5х60,4	37,2	37
	90	68	90	65	49*	52	58,9х68,0	-	47,0	-	-	30,0х58,4	36,2	36
	85,5	63,5	85,2	60,5	44,5	49	54,4х66,0	-	43,0	-	-	27,5х53,5	33,2	33
	90	68	90	65	49*	52	49,6х71,5	-	42,0	-	-	26,6х52,0	32,2	32
	87	65	87	62	46	50	46,6х70,5	-	40,0	-	-	26,0х50,0	31,2	31
	85,5	63,5	85,5	60,5	44,5	49	45,1х70,0	-	39,0	-	-	25,0х48,7	30,2	30
	87	65	87	62	46	50	-	35,0х62,0	36,5	-	-	23,5х45,5	28,2	28
	88	66	88	63	47	50,5	-	29,5х70*	35,0	-	-	22,5х43,9	27,2	27
	88,5	66,5	88,5	63,5	47,5	51	-	25,9х72,0	32,5	-	-	21,0х40,5	25,2	25
	88	66	88	63	47	50,5	-	25х71,5	31,5	-	-	20,0х39,1	24,2	24
	85	63	85	30	44	48,5	-	22,4х70”	29,0	-	-	19,0х39,0	23,2	23*
	90	68	90	65	49	52	-	38,0х62,0	38,0	28,0 х 48,0	28	19,2х37,5	23,2	23
87	65	87	62	46	50	-	35,0х62,0	36,5	26,5 х 46,5	27	18,6х35,8	22,2	22	

*- прокатка шестигр. 23 мм з I - IV кліть можлива тільки за наявності невироблених калібрів на валках кл.500

Додаток Е

Таблиця Е.1 - Схема прокатки смугових профілів товщиною від 28 мм до 36 мм і шириною від 42 мм до 52 мм

Обтискна кліть 500									Чиста кліть 325				
Перетин заготовки, кв., мм	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Трап.	Кв.	Ромб	Овал	I кліть, кв.	II кліть, овал	III кліть, кв.	IV кліть, овал	V клітка, коло
105	85,5	63,5	85,5	60,5	44,5	49	54,4x66,0	-	44,0	-	-	35x48	28x50
	87	65	87	62	46	50	46,6x70,5	-	40,0	-	-	37x41	32x42
	90	68	90	65	49	52	58,9x67,0	-	46,8	-	-	39,5x50	32x52
	90	68	90	65	49	52	58,9x67,0	-	46,8	-	-	41x48	36x50

Таблиця Е.2 – Схема прокатки прямокутних смуг завтовшки від 5 мм до 16 мм і завширшки від 25 мм до 75 мм із заготовок квадратного перетину 105 мм*

Обтискна кліть 500 для полос													Чиста кліть 325									
Ящ . 87	Ящ . 69	Ящ . 87	Ящ . 62	Т р ап 45	Кв. 50	Ром б 44,6	Трап . 28,6	Кв. 40	Кв. 40,8 5	Трап . 24,2	Овал 21x 63,5		Кв. 35, 9	Полос а Н=16		Полос а Н=21		I Кліть, гладк а бочка (кв.)*	II Кліть, гладка бочка (овал) *	III Кліть, гладк а бочка (кв)*	IV гладк а бочка (кв)*	V Кліть , гладк а бочка
											Н	В		Н	В	Н	В					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1 2	1 3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
88	70	88	63	46	50, 7	45,6	-	40, 7	-	-	2 2	5 8	-	-	-	-	-	27,5*	12,7 x 39,2	6,7 x 47,1	43 x 7,3	5,1 x 45,5
87	69	87	62	45	50	-	-	-	-	24,4	-	-	-	-	-	-	-	30*	13,8 x 42,2	6,7 x 52,2	48 x 7,2	5,1 x 50,5**)
87	69	87	62	45	50	-	28,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35,5*	16 x 49,3	6,7 x 63,8	58 x 7,3	5,1 x 60,5*2)

Продовження таблиці Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
80	70	88	63	46	50,7	45,6	-	40,7	-	-	22	58	-	-	-	-	-	27,5*	15,1 x 43,8	7,8 x 43,8	37,9 x 8,7	6,1 x 40,5
86	68	86	61	44	49,3	-	-	-	-	23,4	-	-	-	-	-	-	-	29,5*	15,8 x 38,1	7,8 x 47,7	43,1 x 8,5	6,1 x 45,5**)
88	70	88	63	46	50,7	-	-	-	-	25,4	-	-	-	-	-	-	-	31,5*	17,6 x 39,4	7,8 x 52,2	48,4 x 8,3	6,1 x 50,5**)
85	67	85	60	43	48,6	-	26,6	-	39,4	-	-	-	-	14	52	-	-	7,8 x 57,7	-	-	52,7 x 8,9	6,1 x 55,5
86	68	86	61	44	49,3	43,6	-	-	40,1	-	-	-	-	15	53	-	-	7,8 x 60,3	-	-	53,1 x 9,1	6,5 x 55,5
88	70	88	63	46	50,7	-	29,6	-	41,6	-	-	-	-	17	54	-	-	7,8 x 64,4	-	-	57,5 x 9	6,1 x 60,5
89	71	89	64	47	51,4	46,6	-	41,4	-	-	-	-	-	18	57	-	-	7,8 x 68,8	-	-	62,7 x 8,8	6,1 x 65,5
84	66	84	59	42	47,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	70	7,8 x 76,6	-	-	68,1 x 8,6	6,1 x 70,5
87	69	87	62	45	50	44,6	-	40	-	-	21	57	-	-	-	-	-	27*	-	-	12 x 38	8,1 x 40,5
87	69	87	62	45	50	-	-	-	-	24,4	-	-	-	-	-	-	-	30*	17,1 x 37,3	9,6 x 44,5	38,8 x 10,5	8,1 x 40,5**)
87	69	87	62	45	50	-	28,6	-	-	-	-	-	35,9	16	46	-	-	9,8 x 50,4	-	-	42,9 x 11,4	8,1 x 45,5
85	67	85	60	43	48,6	42,6	-	-	39,4	-	-	-	-	14	52	-	-	9,8 x 54,3	-	-	48,1 x 11,,2	8,1 x 50,5
88	70	88	63	46	50,7	45,6	-	40,7	-	-	-	-	-	-	-	22	53	9,8 x 65	-	-	58,2 x 11,1	8,1 x 60,5
85	67	85	60	43	48,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	71	9,8 x 80,1	-	-	67,9 x 11,5	8,1 x 70,5

Продовження таблиці Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
87	69	87	62	45	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	72	9,8 x 84,1	-	-	73,2 x 11,3	8,1 x 75,5
87	69	87	45	50	-	28,6	-	-	-	-	-	-	35,9	16	46	-	-	9,8 x 50,4	-	-	44,3 x 11,2	9,1 x 45,5
88	70	88	63	46	50,7	45,6	-	-	41,6	-	-	-	-	-	-	22	54	9,8 x 66	-	-	59,6 x 11	9,1 x 60,5
87	69	87	62	45	50	44,6	-	40	-	-	21	57	-	-	-	-	-	27,5*	19 x 41*	21,5*	15 x 25*	10,1 x 27,2
85	67	85	60	43	48,6	-	26,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32*	18 x 47,5	12 x 42,5	34,8 x 14,5	10,3 x 37,5**)
84	66	84	59	42	47,9	-	25,6	-	-	-	-	-	33,7	-	-	18	42	12 x 45,3	-	-	38,1 x 13,9	10,1 x 40,5
87	69	87	62	45	50	-	28,6	-	-	-	-	-	35,9	-	-	21	43	12 x 49	-	-	43,4 x 13,5	10,1 x 45,5
85	67	85	60	43	48,6	42,6	-	-	39,4	-	-	-	-	-	-	19	50	12 x 54,1	-	-	48,5 x 13,4	10,1 x 50,5
88	70	88	63	46	50,7	45,6	-	-	41,6	-	-	-	-	-	-	22	51	12 x 58,3	-	-	53,6 x 13,2	10,1 x 55,5
90	72	90	65	48	52,1	47,6	-	42,1	-	-	-	-	-	-	-	24	54	12 x 63,2	-	-	58,7 x 12,2	10,1 x 60,5
87	69	87	62	45	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	72	12 x 79	-	-	68,4 x 13,7	10,1 x 70,5
88	70	88	63	46	50,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	72	12 x 80,3	-	-	73,7 x 13,2	10,1 x 75,5
89	71	89	64	47	51,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	73	12 x 82,2	-	-	74,9 x 13,3	11,1 x 75,5
87	69	87	62	45	50	44,6	-	40	-	-	21	57	-	-	-	-	-	27*	18,6 x 40*	21*	16 x 24*	12,1 x 25,2

Закінчення таблиці Е.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
87	69	87	62	45	50	44,6	-	40	-	-	21	57	-	-	-	-	-	57*	-	-	17 x 33*	12,1 x 36,2
85	67	85	60	43	48,6	-	26,6	-	-	-	-	-	34,4	-	-	19	42	14,8 x 43,3	-	-	38 x 16,6	12,1 x 40,5
88	70	88	63	46	50,7	-	29,6	-	-	-	-	-	36,6	-	-	22	44	14,8 x 47,3	-	-	43,2 x 16,2	12,1 x 45,5
87	69	87	62	45	50	44,6	-	-	40,9	-	-	-	-	-	-	21	51	14,8 x 53,5	-	-	48,2 x 16,4	12,1 x 50,5
84	66	84	59	42	47,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	70	14,8 x 71,2	-	-	57,7 x 17,2	12,1 x 60,5
89	71	89	64	47	51,4	46,6	-	41,4	-	-	23	58	-	-	-	-	-	27,8*	-	-	17 x 35*	14,2 x 36,2
86	68	86	61	44	49,3	43,6	-	-	40,1	-	-	-	-	-	-	20	50	16,6 x 50,5	-	-	43,4 x 18,7	14,2 x 45,5
88	7088	63	46	50,7	45,6	-	-	41,6	-	-	-	-	-	-	-	22	51	16,6 x 52,3	-	-	48,8 x 18,1	14,2 x 50,5
89	71	89	64	47	51,4	46,6	-	41,4	-	-	23	58	-	-	-	-	-	29*	19 x 42*	22*	19 x 23*	16,2 x 25,2
88	70	88	63	46	50,7	-	-	-	-	25,4	-	-	-	-	-	-	-	31*	23,3 x 34,2	18,6 x 36,5	31,1 x 19,9	16,2 x 32,5**)
87	69	87	62	45	50	44,6	-	-	40,9	-	-	-	-	-	-	21	51	18,6 x 50,7	-	-	43,6 x 20,8	16,2 x 45,5
<p>*) Освоєні смуги: 6 мм x 50 мм; 8 мм x 45 мм; 8 мм x 50 мм; 10 мм x 45 мм; 10 мм x 50 мм; 12 мм x 45 мм; 12 мм x 50 мм.</p> <p>**) Можливе використання кліті 500 для кіл.</p>																						

Додаток Ж

Таблиця Ж.1 - Схема прокатки трапецієподібних смуг.

Обтискна кліть 500										Чиста кліть 325				
Перетин заготовки, кв., мм	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Ящ.	Трап. 45	Кв. 50	Ромб 44,6	Кв. 40	Овал 21 x 63,5	I Кліть кв.	II Кліть, гладка бочка	III Кліть, гладка бочка	IV Кліть ребро	V Кліть, спеціальний калібр
98	86	68	86	61	44	49,3	43,6	39,3	20 x 57	25,5	13 x 41	7 x 46	41,5 x 7,3	П6 x 45,2
	86	68	86	61	44	49,3	43,6	39,3	20 x 57	25,8	13,5 x 40	7,6 x 46	41,5 x 7,9	П6,5 x 45,2
	86	68	86	61	44	49,3	43,6	-	-	37,5	18,4 x 57	8,2 x 67	62 x 8,5	П7 x 65,2 ¹⁾
¹⁾ Можливо використовувати кліті 500 для кіл.														

Додаток З

Таблиця 3.1 - Вимоги до якості заготовок

Марки або групи сталі	Термообробка	Мехобробка поверхні
Катанна заготовка		
Усі сталі, крім зазначених нижче	Без т/о	<u>Суцільна зачистка</u>
10X2M1ФБ (1X2M1ФБ 48ТН-2), 14X1Ф, 15X1M1Ф, 5X5(X5), 15X5ВФ (X5ВФ), 20X1M1Ф1ТР (ЭП182), 25X1MФ (ЭИ-10), 25X2M1Ф (ЭИ723), 25X5М, 27ХГ1НМФРА, 30X2МФ, 30X2Н2ВФМА, 30ХГСН2МА, 35ХН2МФА, 36Х2Н2МФА, 38ХН3МФА, 3Х3М3Ф, 45Х2Н4МА, 45ХН2МФА, 4Х3М2ВФ1С (ДИ 41), 4Х4ВМФС (ДИ 22), 4Х5В2ФС (ЭИ958), 4Х5МФС, 4Х5Ф1С, 4ХВ2С.55СМ6ФА, 55Х5М3ВФТ (ДИ-58), 5Х2МНФ (ДИ 32), 5Х3В3МФС (ДИ23), 5Х3М2Ф, 5ХВ2С, 60С2ГМФ, 60ХФА, 6Х4М2ФС, 6Х6В3СМФ (ЭП.569), 6ХВ2С, 90ХВГ, 95ХГВФ, 9Г2Ф, 9Х5ВФ, 9ХВГ, У10(А) – У13(А), У12б, ХВ1Г, ХВГ, ХВГ, ХВГС, ХГВФ	Відпал	- Заготівля зі злитків гарячого всаду - під холодне висаджування - під стільникові прутки квадратного, шестигранного і смугового перетину - на замовлення без мехобробки сортової продукції
Нержавіючі хромисті, в тому числі з нікелем до 6%		<u>Вибіркове зачищення:</u> - за замовленнями з мехобробкою поверхні
МП	Відпал	Без обробки
Кована заготовка		
05X13H4M, 06X 4H6D2MBT, 15X16K5H2MBFA, 16X20K6H2MBF, 32B2M3, 3X2B8F, 42X11M3F, 45X14H14B2M, 4X5MФ1С, 4X5MФС, 65X18, 6X4M2ФС, 85X17, 8X4B9Ф2, 90X18MФ, 95X18, 110X17, X12Ф1, швидкоріз	Відпал	<u>Суцільне зачищення</u> - заготівля зі злитків гарячого всаду - під холодне висаджування - під стільникові прутки квадратного, шестигранного і смугового перетину
03H18K8M5T, 03X22H5AM3, 06ХН28МДТ, 10X11H20T2P, 10X11H20T3P, 10X11H23T3MP, 10X23H18, 10X25H20, 12X17Г9АН4, 12X25H16Г7АР, 15X18H12C4ТЮ, 20X23H18, 20X25H20C2, 55X20Г9АН4	Без т/о	- на замовлення без мехобробки сортової продукції <u>Вибіркове зачищення:</u> - на замовлення з мехобробкою поверхні
X12, X12B, X12MФ, ЖПС	Відпал	Суцільна зачистка