

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – Металургія

Тема роботи: «АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛКИ № 10»

Виконав:
студент групи МТ-22-1 _____ Владислав МОКРИНСЬКИЙ

Керівник випускної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер _____ Вікторія ЧУБЕНКО

Т.в.о. завідувача кафедри _____ Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг
2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ на випускну атестаційну роботу бакалавра

_____ **Мокринський Владислав Романович** _____

1. Тема роботи: Аналіз та розробка технологічного процесу виготовлення балки № 10

керівник роботи: к.т.н., доцент Чубенко Вікторія Анатоліївна

затверджено наказом по КНУ від « 19 » _____ 02 _____ 2026 р. № 113с

2. Строк подання роботи студентом « 01 » _____ 06 _____ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: безперервний дрібносортовий стан 250-2; профіль двотаврової балки № 10: заготовка поперечним перерізом 80×65 мм, довжиною 11 м; низьковуглецева низьколегована конструкційна сталь марки 09Г2С; хімічний склад сталі; температура нагріву 1200°C.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз призначення та способів виготовлення балки №10: характеристика; матеріал для виготовлення; прокатування двотаврових балок; обладнання для прокатування.

2. Розробка прогресивної технології виготовлення балки №10: технологічні операції; розрахунок калібрування; розрахунок силових параметрів.

5. Перелік графічного матеріалу

Загальна характеристика балки. Поперечний переріз двотаврової балки. Поперечний переріз двотаврової балки. Технологічні операції з виготовлення балки № 10. Результати розрахунків калібрування двотаврової балки № 10. Схема калібрування балки № 10. Енергетичні показники при прокатуванні двотаврової балки № 10.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	19.01-27.01.2026
2	Аналіз літературних джерел та постановка завдання дослідження	28.01-08.02.2026
3	Аналіз призначення та способів виготовлення балки №10: характеристика, матеріал для виготовлення, призначення	09.02-25.02.2026
4	Прокатування двотаврових балок. Обладнання для прокатування балки №10	26.02-10.03.2026
5	Розробка прогресивної технології виготовлення балки №10: технологічні операції.	11.03-10.04.2026
6	Розрахунок калібрування балки №10.	11.04-30.04.2026
7	Розрахунок силових параметрів.	01.05-20.05.2026
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2026
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2026
10	Захист кваліфікаційної роботи	23.06.2026

Дата видачі завдання «__19__»_____02_____2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Владислав МОКРИНСЬКИЙ
(підпис)

Керівник випускної
кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

«Аналіз та розробка технологічного процесу виготовлення балки № 10»

Пояснювальна записка: 56 стор., 6 табл., 10 рис., 20 джерел.

Об'єкт дослідження: виробництво балки № 10.

Предмет дослідження: технологічні режими гарячого прокатування балки № 10.

Мета роботи: аналіз та розробка оновленої технології виготовлення балки № 10.

Методи дослідження: використовувалися аналітичні та практичні дослідження з отримання двотаврової балки гарячим прокатуванням; застосовувалися розрахункові методи з визначення режимів обтиснення, калібрування прокатних валків, визначення силових параметрів процесу.

Результати роботи: дослідження призначення двотаврової балки та вимоги, що пред'являють до неї, визначено матеріал для виготовлення балки № 10 та способи її виготовлення; визначено обладнання, що забезпечує отримання двотаврової балки гарячим прокатуванням; встановлено послідовність технологічних операцій, що забезпечують виготовлення потрібної продукції; визначено кількість проходів у фасонних калібрах, з'ясовано режими обтиснення, розраховано калібрування прокатних валків та визначено силові витрати на процес.

ДВОТАВРОВА БАЛКА, ГАРЯЧЕ ПРОКАТУВАННЯ, СХЕМА
КАЛІБРУВАННЯ, РЕЖИМИ ОБТИСНЕННЯ, ВИТРАТИ ЗУСИЛЬ

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.Р						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Мокринський			РЕФЕРАТ			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-1			
Н. контр.		Чубенко									
Затвердив		Бабошко									

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.ПЗ	Пояснювальна записка	56		
3						
4			Графічна частина			
5			(Презентація)			
6	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.01	Загальна характеристика балки	1		
7	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.02	Поперечний переріз двотаврової балки	1		
8	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.03	Схема розташування устаткування			
9			безперервного дрібносортового			
10			тану 250-2	1		
11	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.04	Технологічні операції з			
12			виготовлення балки №10	1		
13	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.05	Результати розрахунків калібрування			
14			двотаврової балки №10	1		
15	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.06	Схема калібрування балки №10	1		
16	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-14.07	Енергетичні показники при			
17			прокатуванні двотаврової балки №10	1		
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

КНУ.РБ.136.26.113с-14.В0				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Макринський		
Проб.		Чуденко		
Н.контр.		Чуденко		
Утв.		Бадошко		

Лит.	Лист	Листов
р д	1	1

Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида		кафедра МЧМ/В група МТ-22-1	
Копирова	Формат	A4	

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ	
БАЛКИ № 10.....	9
1.1 Загальна характеристика балки.....	9
1.2 Матеріал для виготовлення двотаврової балки № 10.....	14
1.3 Прокатування двотаврових балок.....	15
1.4 Обладнання для прокатування балки № 10.....	18
2 РОЗРОБКА ПРОГРЕСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ	
БАЛКИ № 10.....	32
2.1 Технологічні операції з виготовлення балки № 10.....	32
2.2 Розрахунок калібрування балки № 10.....	33
2.3 Розрахунок силових параметрів.....	44
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.3						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Мокринський			ЗМІСТ			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чубенко								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-1			
Н. контр.		Чубенко									
Затвердив		Бабошко									

ВСТУП

Металургійне виробництво займається впуском сталей та сплавів для потреб промисловості та цивільного призначення. Кінцева продукція металургійного виробництва – це вироби визначеної форми поперечного перерізу, до яких відноситься балка.

Балка має декілька профілерозмірів, до яких відноситься балка № 10, яка застосовується як несучій елемент у будівельних спорудженнях та інженерних конструкціях, що мають помірні навантаження. Форма балки забезпечу високу міцність на згинання та стійкість до стиснення і скручування.

Основне призначення балки: будівництво споруд, створення перекриття, улаштування опор, створення підвісних шляхів та механізмів. Таку балку використовують для створення каркасів промислових будівель, житлових об'єктів, ангарів, складів. Балка № 10 застосовується при створення міжповерхового перекриття, колон та зв'язкових елементів, для виготовлення покрівельних основ. Балку можна використовувати в якості прямої для кран-балок, створення підвісних шляхів, застосовувати для зміцнення конструкцій, які повинні витримувати динамічні навантаження. Балка №10 широко використовується в машино та вагонобудування для створення рам автомобілів, вагонів, при побудові мостів для зведення естакад.

Через це – застосування балки № 10 має велике практичне значення. Для задовільнення потреб народного господарства та промисловості потрібно приділити увагу в розробці оновленої технології її виготовлення, що забезпечує збільшення продуктивності процесу, точності профілю та зменшення собівартості виробництва.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.ВС			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Мокринський					1	2
Перевірив		Чубенко						
Рецензент								
Н. контр.		Чубенко				Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-1		
Затвердив		Бабошко						

Мета роботи полягає в аналізі та розробці оновленої технології виготовлення балки № 10.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення балки № 10, вимоги, що пред'являють до неї;
- проаналізувати способи виготовлення балки № 10 та визначити раціональний;
- проаналізувати матеріал для виготовлення балки № 10 та визначити раціональний;
- визначити обладнання для отримання балки № 10;
- визначити послідовність операцій, що дозволяють отримати вірний профіль балки № 10;
- визначити калібрування для отримання вірного профілю балки № 10 за мінімальну кількість проходів;
- побудувати схему калібрування за отриманими розрахунками;
- визначити затрати зусиль на процес.

					КНУ.ПЗ.136.26.113с-14.ВС	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1 АНАЛІЗ ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛКИ № 10

1.1 Загальна характеристика балки

Двотаврова балка відноситься до фасонного прокату, що має поперечний переріз у вигляді літери «Н». Вона використовується для збільшення жорсткості конструкції та зменшення її ваги.

Загальний вигляд двотаврової балки показано на рис. 1.1. Переваги конструкції двотаврової балки у тому, що вона до семи разів перевищує за міцністю квадратний профіль, який має аналогічний поперечний переріз та до 30 разів перевищує його за жорсткістю.

Але двотаврова балка також має і недоліки через низьку стійкість до скручування, що потрібно враховувати, коли обираємо її сферу застосування.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двотаврової балки, що отримана гарячим прокатуванням

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ ПРИЗНАЧЕЕННЯ ТА СПОСОБІВ КОГотовЛЕННЯ БАЛКИ №10	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Мокринський								
Перевірив	Чубенко						1.1	23	
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-1			
Н. контр.	Чубенко								
Затвердив	Бабошко								

Висота двотаврової балки знаходиться в межах від 100 мм до 700 мм. Вона, в залежності від висоти позначається номерами № 10 – 17. Поперечний переріз з позначеннями конструктивних розмірів показано на рис. 1.2.

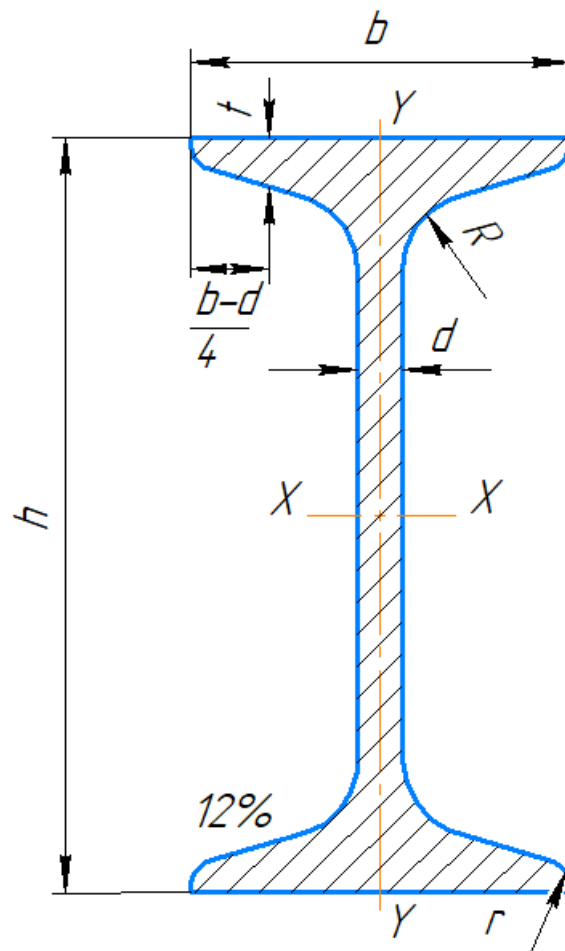


Рисунок 1.2 – Поперечний переріз двотаврової балки: h – висота балки; b – ширина полиці; t – товщина фланцю; d – товщина стінки; R – радіус закруглень полиць; r – радіус закруглення фланцю

З рисунку 1.2 видно, що двотаврова балка складається з двох полиць та стінки.

Виготовлятися двотаврові балки можуть двома способами:

- 1) гарячим прокатуванням;
- 2) зварюванням.

При гарячому прокатуванні початковий матеріал нагрівається і проходить процес деформації між валками прокатного стану, де отримує вірний балочний профіль. Такий метод забезпечує високу однорідність та міцність оброблюваного матеріалу. Вірно розрахована калібровка прокатних валків забезпечує отримання вірного профілю.

При зварюванні балка збирається з трьох окремих сталевих смуг, з яких утворюються дві полиці та стінка. Ці смуги позиціонуються та зварюються. Такий спосіб дозволяє отримати балки, що мають нестандартні розміри та різну товщину полиць.

Матеріал для виготовлення використовують більше вуглецеву сталь, рідше – низьколеговану.

Зварна балка має три складові частини: основну смугу та два ребра жорсткості, які приварюють до основної смуги перпендикулярно або під деяким кутом. Інколи балки збираються ручним способом, або при використанні спеціального кондуктору, де окремі деталі скріплюють за допомогою прихватів або хомутів та зварюють ручним, напівавтоматичним або автоматичними способами.

В нашому випадку для отримання стандартної двотаврової балки № 10 будемо використовувати метод гарячого прокатування для забезпечення потрібної міцності виробу.

Двотаврові балки за сортаментом класифікують за довжиною та шириною полиць, за кутом розташування граней, за точністю прокатування.

За довжиною та шириною полиць двотаврові балки класифікують на:

- балки з вузькими полицями «У»;
- балки з середніми полицями «С»;
- широкополичні «Ш»;
- балки з нормальними полками «Б»;
- колонні балки «К».

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.3

В залежності від куту нахилу балки класифікують на:

- звичайний двутарт – балки, що мають кут нахилу 6 – 11°.
- спеціальні, що використовують для підвісних шляхів (М) – балки з кутом нахилу до 12 %
- спеціальні, що використовують для армованих шахтних стволів (С) – балки з кутом нахилу до 16 %.

Товщина балки знаходиться у межах від 10 до 100 мм.

За довжиною балки бувають з мірною довжиною і немірною, коли балки, що знаходяться у партій мають різну довжину.

Двотаврові балки служать для витримування навантаження в залежності від їх типу:

- металева двотаврова балка з потовщеною стінкою (Ш) використовують для найбільш відповідальних ділянок, які мають високе навантаження та велику масу конструкції;
- для підвищення жорсткості конструкції використовують двотаври, що мають нахили внутрішніх граней;
- вузли середніх та малих вагів, що мають другорядне призначення ґрунтуються на балках, які мають паралельні грані, вузькі та середні полки;
- профілі, що мають маркування «К» використовують в якості колонної опори.

Маркування балки відбувається за стандартом, де у кожного конкретного найменування балки перші дві цифри позначають висоту профілю в см, що виражає відстань між її гранями, далі використовують букви, що пов'язані з шириною полиці, остання цифра вказує товщину стінки в см і дорівнює від 1 до 10. Наприклад, маркування балки, що використовується в дослідженнях: 10Б1 означає, що маємо двотавр висотою профілю 100 мм має нормальний профіль товщиною полиць 10 мм.

Двотаврові балки широко використовують у промисловому та цивільному будівництві, двотаврова балка використовується як елемент носійної функції

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каркасу будівлі, сприймає на себе вагу перекриття з'єднуючи прольоти.

За допомогою двотавру споруджують великі промислові будівлі, цехи, ангари тощо. В цивільному будівництві часто використовують сталеву балку замість дерев'яної в якості основи для покрівлі та міжповерхового перекриття.

Двотаврові балки широко використовують у важкому машинобудуванні та вагонобудуванні як елемент каркасу або рами для автомобілей та вагонів залізничного транспорту, як основу підкранових колій, як несучі балки електричних мостових кранів.

Двотаврові балки широко використовують в побудові мостів в якості колон з вертикальним несучим навантаженням та для з'єднання прольотів, для спорудження підвісних шляхів.

В промисловому будівництві двотаврові балки використовують в якості несучих стін шахт, що забезпечує їх зміцнення та уникнення обвалів.

Балка № 10 – уявляє собою металевий профіль, що має висоту 10 мм, який застосовують в легких несучих конструкціях: для перекриття невеликих прольотів у приватних будинках, створення перекриття для дахів, для підлоги в каркасних будинках, для спорудження балконів, побудови каркасів, зведення парканів, виконують функцію опори чи розпірки, застосовують для зміцнення берегів, для будівництва естакад. Балка № 10 широко використовується в металоконструкціях для з'єднання різних елементів, для виготовлення ферм.

Профіль двотаврової балки № 10: $h = 100 \text{ мм}$; $b = 55 \text{ мм}$; $d = 4,5 \text{ мм}$; $t = 7,2 \text{ мм}$; $S = 12,0 \text{ см}^2$; $m = 9,46 \text{ кг/м}$.

Основні характеристики балки № 10:

- тип балки – двотавр загального призначення, позначається літерою «Б»
- вказує, що це нормальний профіль.
- призначена балка № 10 для невеликих навантажень та прольотів.

Таким чином, балка № 10 уявляє собою універсальний будівельний елемент для споруджень з середніми та низькими навантаженнями. Така балка дозволяє здійснювати різні види від кріплення до створення каркасів.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.5

1.2 Матеріал для виготовлення двотаврової балки № 10

Матеріал для виготовлення двотаврової балки № 10 низьковуглецева низьколегована конструкційна сталь марки 09Г2С. Така сталь відноситься до якісних залізовуглецевих сталей.

Сталь марки 09Г2 відноситься до низьковуглецевої конструкційної сталі, що використовується в різних галузях промисловості через те, що вона має досить високу міцність, відмінну стійкість до низьких температур, достатньо добре піддається зварюванню.

Вміст вуглецю в такій сталі знаходиться близько 0,09-0,12 %, що є відносно низьким показником, але цілком достатнім для забезпечення необхідної міцності матеріалу. Така сталь містить марганець та кремній, що сприяє підвищенню її міцності.

Сталь марки 09Г2 використовується для отримання виробів, які здатні працювати у важких умовах, враховуючи низькі температури. Такі сталі широко використовують в суднобудуванні, нафтогазовій промисловості, будівництві мостів та створенні інших металоконструкцій.

Цінність такої сталі у її відмінній зварюваності, що дозволяє її застосовувати для отримання складних конструкцій без ризику до утворення тріщин або інших дефектів. Така сталь вважається корозійно стійкою, що дозволяє її використовувати в різних агресивних середовищах. Такий матеріал дозволяє її використовувати як в умовах низьких, так і високих температур, вона має універсальне призначення, відрізняється поєднанням міцності, пластичності, здатністю витримувати ударні навантаження.

Хімічний склад цієї сталі наведено в табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С

<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>Ni</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
96-97	0,12	<0,3	0,5-0,8	1,3-1,8	<0,035	<0,03

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.6

Механічні характеристики матеріалу:

- межа міцності – 430 МПа;
- межа плинності – 265 МПа;
- відносне подовження 21%.

1.3 Прокатування двотаврових балок

Для отримання потрібного профілю балки № 10 будемо використовувати гаряче прокатування. В якості початкового матеріалу для прокатування будемо використовувати прямокутну заготовку. Для отримання наближеного профілю двотаврової балки на перших проходах при прокатуванні використовують фасонний калібр, що має назву розрізного калібру.

Форма та розміри розрізного калібру залежать від розміру потрібної балки, від типу прокатного стану та від способу калібрування.

Розрізні валки відрізняються за способом врізання у прокатні валки. Вони бувають з роз'ємом по середині висоти калібру (відкриті калібри) (рис. 1.3, а) та з роз'ємом у краю фланця (закриті калібри) (рис. 1.3, б).

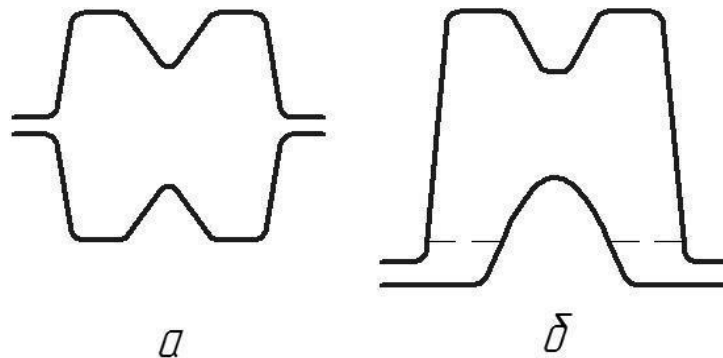


Рисунок 1.3 – Форма розрізних калібрів: а – відкритий; б – закритий

У закритих калібрів виконують велику глибину врізання рівчака у прокатні валки, що має негативні наслідки через те, що зменшується їх міцність. Тому, закриті калібри можна використовувати на валках, які мають достатньо великі розміри, щоб уникнути руйнування.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Калібри відкритого типу використовують при прокатуванні у тому випадку, коли не можна здійснити глибоку врізання у прокатні валки через умови міцності.

Обробка металу в різних калібрах відбувається при досить високих температурах, що дозволяє виконати суттєві обтиснення за прохід між прокатними валками.

Далі матеріал при прокатуванні надходить до наступних фасонних калібрів, що мають назву – балочні. За формою балочні калібри бувають:

- прямі або з вигнутою стінкою (рис. 1.4 *а, б*);
- косі (рис. 1.4, *в*);
- універсальні (рис. 1.4, *г*);
- симетричні (рис.1.4, *д*).

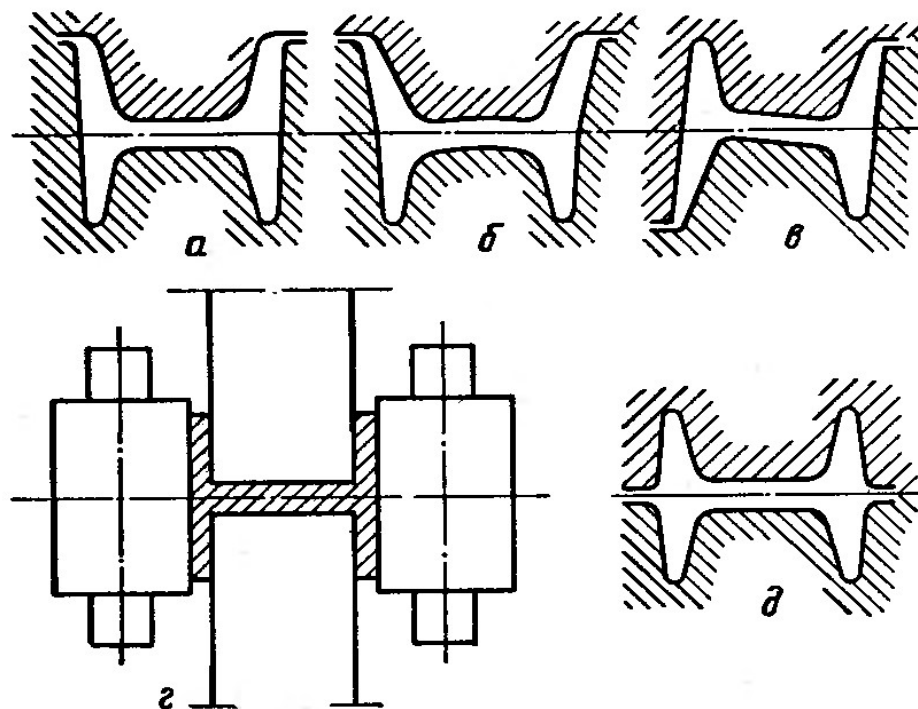


Рисунок 1.4 – Типи балочних калібрів: *а* – прямі; *б* – з вигнутою стінкою;
в – косі; *г* – універсальні; *д* – симетричні

Прямі балочні калібри дозволяють отримати вірне паралельне виконання полок профілю. Використовують при прокатуванні рейок дрібних та середніх розмірів. Також для середніх розмірів профілю використовують калібри, що мають вигнуту стінку та підвищений нахил стінок відкритих фланців для полегшення виходу з калібрів.

Для забезпечення постійної ширини калібрів та паралельності зовнішніх граней під час переточування використовують косе розташування балочних калібрів. При такому розташуванні калібрів відбувається добре обтиснення фланців за товщиною, менше зношуються прокатні валки та обсяг механічної обробки. Але при цьому виникають значні бокові зусилля, яке викликають осьове зміщення прокатних валків, що є суттєвим недоліком.

В спеціальних чистових універсальних прокатних клітях застосовують універсальні балочні калібри для отримання продукції на крупносортових та рейкобалкових прокатних станах, а також при отриманні балок, що мають широкі полиці на універсальних прокатних станах.

При прокатуванні досить великих балок за розмірами на валках блюмінгу або на обтискних реверсивних рейкобалкових прокатних станах використовують симетричні балочні калібри

Для отримання балки № 10 перевагу надаємо прямому балочному калібру. Такі калібри складаються зі стінки, відкритих та закритих фланців (рис. 1.5). Стінка калібру утворюється за допомогою гребнів верхнього та нижнього прокатних валків. Відкриті фланці утворюються за допомогою бічних стінок одного та стінками гребня іншого прокатного валка. Закриті фланці утворюють за виконують врізанням в один валок. Під час прокатування оброблюваний матеріал отримає витяжку за товщиною та шириною. Під час прокатування здійснюється чергування положення відкритих та закритих фланців, яке забезпечує можливість деформувати верхню та нижню частини профілю без кантування металу.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
						1.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

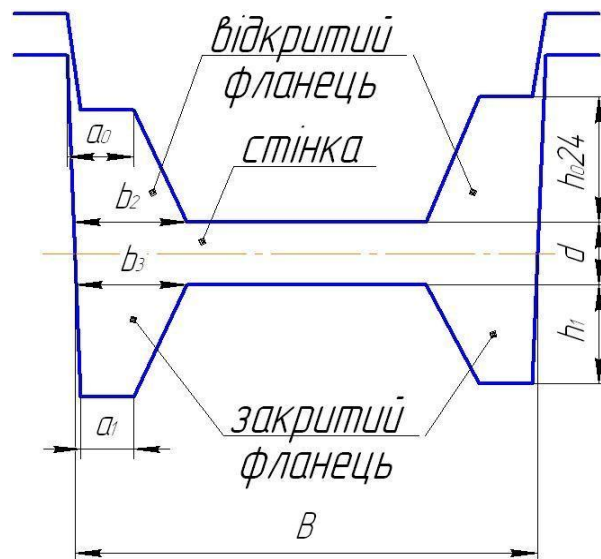


Рисунок 1.5 – Будова прямого балочного калібру

Кількість проходів при прокатуванні у фасонних балочних калібрах та, відповідно, кількість фасонних калібрів залежить від конкретних умов прокатування, а саме, від потужності електричного двигуна, від міцності та стійкості прокатних валків, від температури прокатування, від діаметру та довжини бочки прокатних валків, від марки оброблюваного матеріалу, від умов захоплення металу прокатними валками, від якості прокату тощо. Кількість проходів, в загальному випадку, визначається за графіком, який представлено на рис. 1.6, де враховується і розрізний калібр.

1.4 Обладнання для прокатування балки № 10

Для прокатування використовують обладнання, яке має назву прокатного стану.

Прокатний стан уявляє собою визначений комплекс устаткувань, що забезпечують отримання виробів заданої форми та розмірів завдяки здатності матеріалів до пластичної деформації.

Прокатні стани складається з великої кількості окремих машин та механізмів, які класифікують на основне та допоміжне обладнання.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

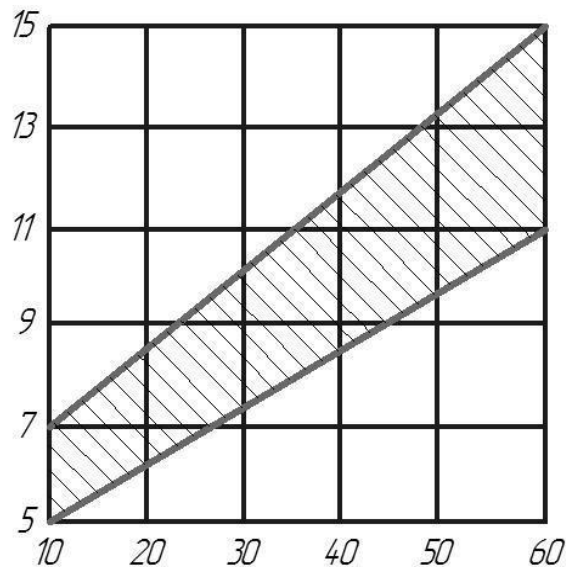


Рисунок 1.6 – Графік для визначення необхідної кількості проходів у фасонних калібрах при прокатуванні двотаврових балок та швелерів

До складу основного обладнання відносять такі устаткування, які безпосередньо здійснюють пластичну деформацію, тобто змінюють форму та розміри початкових матеріалів. До основного обладнання відносять робочу кліть, передаточні механізми, електричний двигун.

Робоча кліть прокатного стану – це складне устаткування, яке містить прокатні валки, що встановлюють в підшипники, станину, де закріплюють прокатні валки.

Прокатні валки вважають основним деформуючим інструментом, що витримує усі основні навантаження, які виникають при прокатуванні. Тому потрібно пред'являть особливу увагу до міцності прокатних валків з метою уникнення аварійних ситуацій при прокатуванні.

Окрім основного обладнання прокатний стан обслуговує і допоміжне устаткування, яке у свою чергу, класифікують на транспортуюче та обробне.

Транспортуюче обладнання призначено для переміщення початкових матеріалів, напівфабрикатів та готових виробів впродовж та впоперек прокатного цеху, транспортування виробів від кліті до кліті прокатного стану.

До такого обладнання відносять рольганги, шлепери, візки, електричні мостові крани.

Прокатні стани класифікують за наступними ознаками: за кількість робочих клітей, за принципом дії, за призначенням.

За принципом дії прокатні стани класифікують на реверсивні, безперервні та напівбезперервні.

Реверсивні прокатні стани, це те устаткування, що здійснює прокатування як в одну сторону, так і в іншу. При цьому в обидві сторони виконується обтиснення. Такі прокатні стани мають у своєму складі одну, або дві робочі кліті. Це, як правило прокатні стани, що виконують великі обтиснення: блюмінги, слябінги, що випускають крупногабаритну продукції. В реверсивному режимі також можуть працювати і листові прокатні стани, але таке обладнання не забезпечує високу точність.

Безперервні прокатні стани – це багатоклітьове обладнання. При прокатуванні оброблюваний матеріал може знаходитися одночасно в декількох прокатних клітях. Рух металу здійснюється тільки вперед. Умова безперервності – постійність секундних об’ємів металу, тобто за одну секунду повинен проходити один і той же об’єм продукції. Вони є самими сучасними і високопродуктивними. До таких прокатних станів відносять листові, сортові, деякі трубопрокатні, дротові.

Напівбезперервні прокатні стани – це те прокатне обладнання, що має у своєму складі як реверсивну, так і безперервну групу прокатних клітей. Так влаштовані листопркатні стани, які мають чорнову групу клітей реверсивну, а чистову – безперервну.

Для отримання двотаврової балки № 10 віддаємо перевагу безперервному прокатному стану через те, що він дозволяє вести прокатування на достатньо високих швидкостях, що дозволяє отримувати вироби з високою продуктивністю.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

За призначенням прокатні стани класифікують в залежності від виду продукції, яку на них отримують: сортопрокатні, листопрокатні, трубопрокатні, спеціальні.

Для отримання двотаврової балки № 10 будемо використовувати сортовий прокатний стан.

Сортові прокатні стани класифікують в залежності від профілю і розміру готової продукції на наступні класи: крупносортові, середньосортові, дрібносортові, дротові, рейкобалкові.

Для прокатування балки № 10 будемо використовувати дрібносортовий прокатний стан ДС 250 через те, що є сучасним обладнанням та перспективним, він забезпечує високу продуктивність процесу прокатування, дозволяє виготовляти точні вироби.

За кількістю робочих клітей усі прокатні стани поділяють на одноклітові та багатоклітові. Одноклітові прокатні стани – це, як правило, реверсивне обладнання, де відбувається двосторонній рух і можливі великі обтиснення. Багатоклітові прокатні стани мажуть у своєму складі мати до 28 робочих клітей. До таких прокатних станів відносять напівбезперервні та безперервні прокатні стани.

Для прокатування балки № 10 надаємо перевагу багатоклітовому безперервному прокатному стану.

Проаналізувавши усі можливі прокатні стани надаємо перевагу для виготовлення балки № 10 дрібносортовому безперервному багатоклітовому прокатному стану ДС 250-2, який знаходиться на підприємстві АрселорМіттал Кривий Ріг.

Схема такого прокатного стану наведена на рисунку 1.7.

Цей прокатний стан призначено для отримання сортового прокату шляхом нагрівання початкової заготовки та її пластичної деформації в робочих клітях обладнання. Початковий матеріал – це заготовки з вуглецевих та легованих сталей, що мають поперечний переріз 80×80 мм і довжину 11 м.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.13

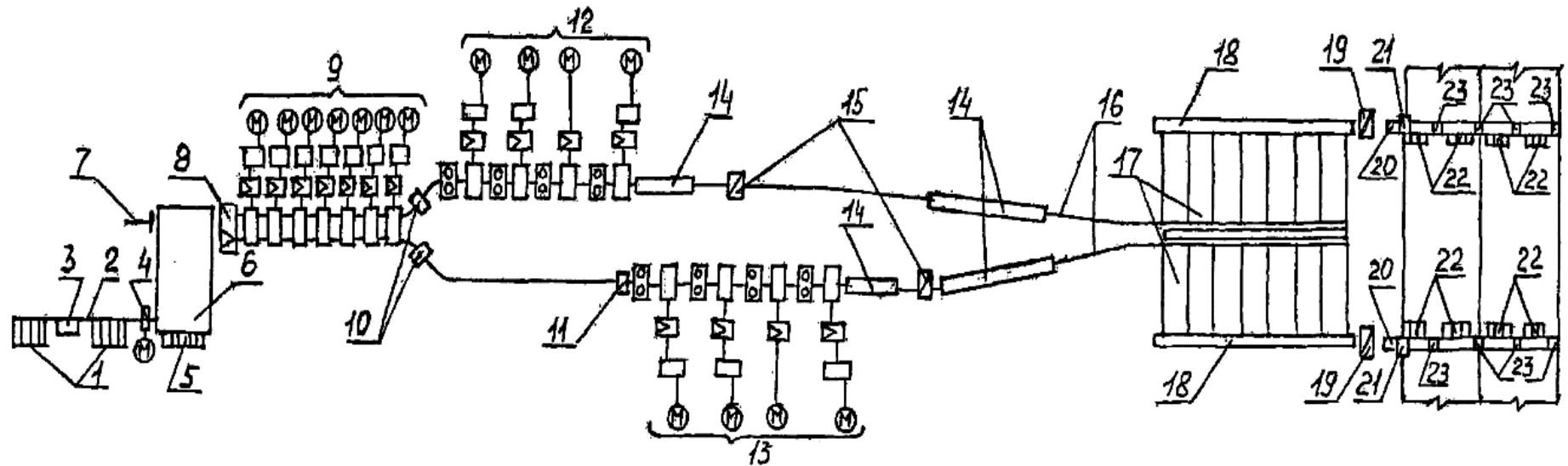


Рисунок 1.7 – Схема розташування устаткування безперервного дрібносортового стану 250-2:

1 – завантажувальні ґрати; 2 – підвідний рольганг; 3 – кишені для забракованих заготовок; 4 – втаскувач матеріалу у піч; 5 – штовхач при нагріванні у печі; 6 – нагрівальна методична піч; 7 – виштовхувач; 8 – розподільник заготовок; 9 – чорнова група клітей; 10 – аварійні ножиці; 11 – ніж для обриву; 12 і 13 – ліва та права чистові групи клітей; 14 – лінія прискореного охолодження прокату; 15 – двобарабанні ножиці; 16 – рольганг; 17 – холодильник для охолодження балок; 18 – відвідний рольганг; 19 – ножиці для розрізання; 20 – рольганг для прибирання обрізі; 21 – пересувний упор; 22 – ваги з кишенями; 23 – упори

Для подачі заготовок від приймальних грат до втаскувачів використовують підвідний рольганг, який має у своєму складі три холостих та 42 привідних ролика, що мають зовнішній діаметр 250 мм і довжину 400 мм. ці ролики мають індивідуальний привід від електричного двигуна змінного струму.

До складу такого прокатного стану надходять 15 горизонтальних прокатних клітей та вісім вертикальних, холодильник для охолодження готових виробів, пакувальні пристосування.

Стан має робочі кліті, які поділяють на наступні групи:

Чорнова група робочих клітей – складається з семи горизонтальних клітей.

2 чистові групи робочих клітей, кожна з яких має 8 робочих клітей з яких чотири робочі кліті мають вертикальне розташування та чотири – почергову горизонтальне розташування.

Процес прокатування на цьому прокатному стану відбувається у дві нитки на чорнових клітях прокатного стану та в одну нитку на кожній з чистових груп робочих клітей прокатного стану.

Такий прокатний стан спеціалізується на прокатуванні дрібносортових профілів наступного сортаменту:

- смугова сталь розмірами $40 \div 70 \times 4 \div 10$ мм;
- сталь квадратного поперечного перерізу, що має розміри $8 \div 27$ мм;
- сталь круглого поперечного перерізу, що має розміри $8 \div 30$ мм;
- арматурна сталь номерів №№ $8 \div 28$;
- кутова сталь номерів №№ $2,5 \div 4$.

Технічна характеристика дрібносортового прокатного стану ДС 250 наведена в табл. 1.2, 1.3.

Для приймання заготовок, які надходять від ад'юстажу та поштучної їх подачі у визначеному темпі на підвідний рольганг нагрівної печі, використовують завантажувальні грати. Кількість таких грат дорівнює 2 на одну піч, тип рейковий. Максимальна маса заготовок, які можуть укладатися на грати дорівнює 30,5 т. Навантаження грат складає 50 заготовок.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.15

Таблиця 1.2 – Чорнова група прокатних валків дрібносортних станів

№ з/п	Найменування характеристики	Од. вим.	Кліті						
			1	2	3	4	5	6	7
1.	Діаметр прокатних валків:								
	максимальний	мм	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0	400,0
	мінімальний	мм	340,0	340,0	340,0	340,0	340,0	340,0	340,0
2.	Довжина бочки валка	мм	680,0	680,0	680,0	680,0	680,0	680,0	680,0
3.	Число обертів валків: макс./мін.	об/хв	33,3/11,1	41,9/14,9	58,1/20,6	81,8/29,1	120/42,7	150/53,3	200/71,1
4.	Потужність двигуна	кВт	75,0	430,0	560,0	680,0	680,0	870,0	870,0
5.	Число обертів двигуна: макс./мін.	об/хв	900/300	800/320	900/320	900/320	900/320	900/320	900/320
6.	Передаточне відношення редуктора		27,0	21,5	15,5	11,0	7,5	6,0	4,5
7.	Зміщення від середньої лінії прокатування	мм	±300,0	±300,0	±300,0	±300,0	±300,0	±300,0	±300,0
8.	Швидкість зміщення валків	мм/с	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
9.	Осьове регулювання валків	мм	±10,0	±10,0	±10,0	±10,0	±10,0	±10,0	±10,0

Таблиця 1.3 – Чистова група прокатних валків дрібносортих станів

№ з/п	Найменування характеристики	Од. вим.	Робочі кліті							
			8В	9Г	10В	11Г	12В	13Г	14В	15Г
1.	Число обертів прокатних валків: максимальний мінімальний	об/хв	300,0 100,0	409,0 146,0	450,0 146,0	514,3 182,9	652,2 217,4	900,0 300,0	937,5 312,5	1170,0 390,0
2.	Окруж. швидкість прокатних валків: макс./мін.	м/с	5,31/1,56	7,24/2,24	7,96/2,34	9,1/2,85	11,54/3,39	13,14/3,99	16,59/4,88	17,05/5,53
3.	Потужність двигуна	кВт	200,0	435,0	200,0	580,0	200,0	580,0	200,0	580,0
4.	Число оборотів двигуна: макс./мін.	об/хв	500/500	900/320	1500/500	900/320	1500/500	900/320	1500/500	900/320
5.	Передавальне відношення редуктора		5,0	2,20	3,33	1,75	2,30	1,0	1,60	0,77
6.	Зміщення кліті від середньої лінії	мм		±250	–	±250	–	±200		±200
7.	Швидкість зміщення	мм/с	30,0	10,0	30,0	10,0	30,0	10,0	30,0	10,0
8.	Осьове регулювання прокатних валків	мм	±15,0	±10,0	±15,0	±10,0	±15,0	±10,0	±15,0	±10,0

КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ

Для подачі заготовок від підводячого рольгангу у нагрівальну піч використовують втаскувачі, які мають роликовий тип, в кількості 1 штука. Вони здатні розвивати зусилля втаскування до 620 кг при масі заготовки до 600 кг. Працюють зі швидкістю 3,0 м/с.

Для нагрівання заготовок перед прокатуванням використовують методичну нагрівну піч. Характер роботи печі – безперервний. Має дві зони – томильну і зварювальну. Нагрівна піч працює на паливі: суміші природного коксового та доменного газів. Теплотворна здатність палива 1400 ккал/м³. Теплова потужність 56 Гкал/год. Тип повітряного рекуператору – металевий трубчастий. Максимальна витрата повітря для спалювання дорівнює 64000 Нм³/год; максимальна витрата газу складає 16000 Нм³/год; максимальний об'єм продуктів згорання 90000 Нм³/год; витрата охолоджувальної води складає 235 м³/год.

Для проштовхування заготовок, що були посаджені у піч використовують штовхач, тип його – кривошипно-шатунний. Має у своєму складі важелі, які встановлено на вісім штовхаючих штанг, два шатуни, один двоступінчастий редуктор. Штовхач розвиває зусилля, яке дорівнює 68 т. швидкість штовхання дорівнює 0,20 м/с, хід штанги штовхача складає 500 мм.

Для видачі нагрітих заготовок використовують виштовхувач, який складається з двох стоек, роликів, одноступінчастого редуктора, коробчастої балки та штанги, електричного двигуна, двох механізмів переміщення. Тип штанговий. Розвиває зусилля виштовхування 900 кг. Ролик має діаметр 220 мм т притискує під тиском 6,0 т.

Для розподілення заготовок у першу прокатну кліть на ліву та праву сторони використовують спеціальний розподільник, який складається з рами, візка, балок, двох гідравлічних циліндрів та гідравлічної станції. Рух циліндрів складає 310 мм; зусилля штока складає 6000 кг; візок пересувається зі швидкістю 0,25 м/с; хід візка 280 мм.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.18

Горизонтальні робочі кліті складаються зі станини відкритого типу, механізму урівноваження, робочих валків з підшипниковими опорами, механізму осьового переміщення, верхнього натискного пристрою, привалкової арматури, затискного пристрою, системи густого мастила та охолодження прокатних валків. Характеристика горизонтальних прокатних клітей наводиться в таблицях 1.2. та 1.3.

Прокатний стан має 8 вертикальних робочих клітей, які складаються з наступних основних механізмів: станини, вузла шарнірних шпindelів, змінних рам, механізму для регулювання зазору між прокатними валками, шестеренні кліті, механізму переміщення рам, понижуючого редуктора, мастила системи охолодження робочих валків. Характеристика вертикальних робочих клітей наводиться в таблиці 1.3.

Для обрізання кінців розкату та його аварійного різання на короткі частини використовують аварійні ножиці, які мають тип – летючі, система ножиць: «Старт-стоп» правого і лівого виконання в кількості 2 штуки. Ножиці встановлюють за чорновими клітями. Аварійні ножиці складаються з самих ножиць, одноступінчастого редуктора, електричного двигуна, тахогенератору, який спрямовує розкат та устаткування для прибирання обрізі. Максимальне зусилля різання складає 19 т, здатні розрізати розкати, що мають максимальний поперечний переріз 3000 мм^2 , максимальна довжина розкатів при аварійному розрізанні складає 1750 мм. допускається міцність матеріалу, що розрізається $7,2 \text{ кг/мм}^2$.

Для відсікання розкату перед чистовими прокатними клітями при бурінні використовують розривні ножиці. Їх встановлюють тільки на правій нитці перед чистовою групою клітей. Максимальний поперечний переріз, що розрізається, дорівнює $50 \times 50 \text{ мм}$. максимальна ширина різу дорівнює 120 мм.

Для транспортування розкату використовують рольганги.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
						1.19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлюють рольганги перед двобарабанными ножицями. Вони можуть бути як правого та лівого виконання. Правого виконання мають у своєму складі 7 роликів, правого виконання мають 6 роликів.

Для розрізання готового прокату під час його руху на розміри, які відповідають довжині холодильника, використовують двобарабанны ножиці. кількість таких ножиць дорівнює 2 штуки. Мають у своєму складі привід, маховик та власне ножиці. розрізається матеріал при температурі 400°C. швидкість переміщення розкату під час його розрізання від 4,5 до 20 м/, максимальну зусилля розрізання складає 1500 кг.

Для охолодження матеріалу використовують рейковий двосторонній холодильник правого та лівого виконання. Холодильник складається з підвідного рольганга, приймального клапану, рихтувального пристрою, передавального пристрою, рухомої гребінчастої системи, приводу, відвідного рольгангу.

Приймальний рольганг має 148 роликів на одну сторону діаметр яких дорівнює 250 мм, з них 75 роликів приводних останні холості. Швидкість переміщення на рольгангу перевищує швидкість прокатування на 10%.

Рихтувальне пристосування має жолобкову форму. Гребінчаста система – не рухома, має у своєму складі 125 пар рейок, крок зубців дорівнює 100 мм, крок рухомих рейок складає 0,5 м, мають максимальне переміщення за один прохід 100 мм.

Передавальний пристрій уявляє собою систему рейок.

Відвідний рольганг має у своєму складі 88 роликів у яких діаметр дорівнює 250 мм.

Для вирівнювання передніх кінців охолодженого прокату при переміщенні на холодильнику використовують пристрій електромагнітної фіксованої зупинки виробів та підрівнюючи рольганги, який складається з тормозних електромагнітів. Вони мають 6 електромагнітів на одну сторону.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.20

Підрівнюючи рольганги використовують як правого, так і лівого виконання, у яких тривалість підрівнювання дорівнює 3,0 с, мають 30 привідних роликів, номінальна потужність дорівнює 0,85 кВт, швидкість обертання складає 660 об/хв.

За відвідним рольгангом холодильника встановлено ножиці холодного розрізання, які призначено для розрізання готового прокату на мірні довжини. Кількість таких ножиць дорівнює 2 штукам. Виконання – праве. Вони мають верхній ніж похилий, а нижній – горизонтальний. При розрізанні складних профілів використовують обидва ножі спеціальної форми.

Принцип дії прокатного стану наступна:

Заготовки, які ретельно підготовлені до прокатування, укладають за допомогою пратцен-кранів на завантажувальні решітки. За допомогою перекиляючого пристосування, в подальшому, їх передають на підвідний рольганг. Розділяють укладені заготовки на придатні до прокатування та браковані.

Заготовки, які придатні до прокатування, транспортують до нагрівальної методичної печі та задають у піч за допомогою спеціального втаскуючого пристосування. Браковані заготовки спрямовують на відвідний рольганг де спеціальним виштовхувачем скидають у кармани.

В методичній печі відбувається нагрівання посаджених за заготовок до температури прокатування, яка залежить від марки оброблюваного матеріалу і складає від 1050°C до 1300°C.

В печі оброблюваний матеріал переміщується за допомогою штовхачів. Після рівномірного нагрівання, заготовки видають з печі за допомогою спеціального пристрою – виштовхувача.

Заготовки, що видані з печі розподіляють на дві нитки, використовуючи для цього розподільний стіл. На чорновій групі клітей прокатного стану ДС 250 прокатування виконують у дві нитки. На чистових групах робочих клітей прокатування виконують у одну нитку. Кількість проходів між робочими

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.21

клітями залежить від розмірів та форми профілю, що обробляється. Максимальна кількість проходів допускається 15.

Між чорнової та чистовою групами робочих клітей прокатного стану передбачено обрізання переднього кінцю отриманого розкату на летючих ножицях на довжину яка може дорівнювати від 50 мм до 150 мм, або на габаритні довжини при виникненні аварійної ситуації.

Попереду правої чистової групи робочих клітей встановлюють обривні ножиці для автоматичного відрізання заднього кінцю розкату, якій може застрягнути в чистових робочих клітях прокатного стану, що забезпечує зменшення кількості плутанки між робочими клітями.

За чистовою групою прокатних клітей встановлено двобарабанні летючі ножиці для розрізання отриманого розкату на довжини, які відповідають вимогам подачі розкатів на холодильник.

Отримані вироби спрямовують до холодильника, де і відбувається їх охолодження. Після охолодження вироби спрямовують до ножиць холодного розрізання, де і відбувається їх збирання в пакети і розрізання на мірні та не мірні довжини за допомогою ножиць холодного різання.

Від ножиць холодного розрізання, готові прокатні вироби транспортують за допомогою рольгангів до приймальних карман-вагів. Отримані вироби зв'язують у пачки ручним або механізованим способом, зважують їх та транспортують крюковими мостовими кранами на склади готової продукції.

На складі готової продукції відбувається правка виробів на правильних машинах, розрізання, сортування, ремонт при необхідності.

Пачки готових виробів укладають у штабелі або завантажують у залізничні вагони за допомогою електричних мостових кранів.

Обріз, що утворилася від аварійних ножиць холодного розрізання, збирають в короба, що встановлені в ямах. По наповненню короба, його виймають електричними мостовими кранами та завантажують у залізничні вагони.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.22

Окалина, яка утворилася під робочою кліттю, потрібно змити водою у відстійник окалини, який розташований в скрапному прольоті, звідки вилучають її електричними мостовими кранами у залізничні вагони. Відвантажують їх з відстійників з періодичністю не менше одного вагону протягом двох днів.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.01.АПСВБ	Аркуш
						1.23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ПРОГРЕСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛКИ № 10

2.1 Технологічні операції з виготовлення балки № 10

1) Підготування початкового матеріалу. В якості початкового матеріалу для отримання балки № 10 пропонується використовувати заготовку поперечним перерізом 80×65 мм, довжиною 11 м зі сталі марки 09Г2. Її огляд, зачищення, видалення поверхневих дефектів.

2) Транспортування вихідного матеріалу до двозонної нагрівної методичної печі і завантаження у піч за допомогою штовхача.

3) Нагрівання початкового матеріалу в методичній печі до температури 1200°C.

4) Транспортування нагрітої заготовки до розподільного столу, де розділяють нагріті на дві нитки.

5) Прокатування заготовок в чорновій групі клітей стану ДС 250-2 у дві нитки.

6) Прокатування в чистових групах прокатних клітей у одну нитку в кожній групі прокатного стану.

7) Розрізання отриманий двотаврових балок № 10 на двобарабанних летючих ножицях на довжини, які відповідають вимогам подачі на холодильник.

8) Охолодження отриманих двотаврових балок на холодильнику.

9) Транспортування двотаврових балок № 10 до ножиць холодного розрізання.

10) Збирання двотаврових балок у пакети і розрізання ножицями холодного різання.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ПРОГРЕСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛКИ № 10	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив		Мокринський							
Перевірив		Чубенко					2.1	20	
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-1			
Н. контр.		Чубенко							
Затвердив		Бабошко							

11) Транспортування двотаврових балок до складу готової продукції.

12) Правка двотаврових балок на роlikоправильних машинах, розрізання, сортування, маркування. що відбувається на складі готової продукції.

13) Термічна обробка двотаврової балки: нормалізація, яка складається з операцій нагрівання двотаврової балки, її витримки та охолодження, в результаті чого отримують дрібнозернисту однорідну структуру матеріалу, що забезпечує підвищення міцності, твердості та стійкості матеріалу.

13) Завантаження двотаврових балок у залізничні вагони та відправка замовнику, або складання у штабелі на складі готової продукції.

Застосовуючи такі операцію буде отримано якісний профіль двотаврової балки № 10.

2.2 Розрахунок калібрування балки № 10

Розрахунок калібрування проводимо для прокатування двотаврової балки № 10 (рис. 2.1) на безперервному дрібносортовому стані ДС 250-2.

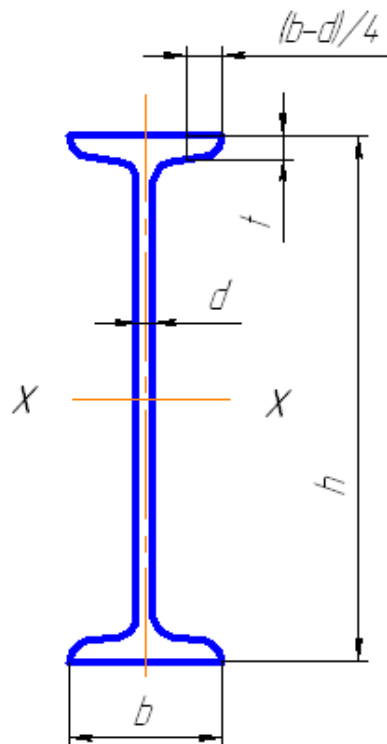


Рисунок 2.1 – Профіль двотаврової балки № 10

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри холодного профілю балки № 10 приймаємо за стандартом (ГОСТ 19425). Приймаємо нахил внутрішньої полиці балки меншим за 12%.

За стандартом профіль двотаврової балки № 10 має наступні значення:
 $h = 100 \text{ мм}; b = 55 \text{ мм}; d = 4,5 \text{ мм}; t = 7,2 \text{ мм}; S = 12,0 \text{ см}^2; m = 9,46 \text{ кг/м}$

За графіком 1.6 визначаємо, що для отримання вірного профілю двотаврової балки № 10 потрібно виконати шість проходів у фасонних калібрах.

Розрахунок калібрування починаємо з останнього (чистового) проходу.

При розрахунку калібрування враховуємо можливе зношення прокатних валків, температурне розширення профілю та доцільність прокатування з мінусовим допуском.

За початковими даними визначаємо розміри чистового останнього калібру:
 – загальна висота калібру, що уявляє собою ширину полиці визначається за формулою:

$$H_6 = (b - \Delta/2) \cdot 1,012, \quad (2.1)$$

де Δ – мінусовий допуск на розмір;

1,012 – коефіцієнт теплового розширення.

Після підстановки, отримаємо наступне:

$$H_6 = (55 - 1,0) \cdot 1,012 = 54,6 \text{ мм};$$

– ширина стінки, що уявляє собою висоту балки визначається за формулою:

$$B_6 = (h - \Delta/2) \cdot 1,012. \quad (2.2)$$

Після підстановки необхідних величин:

$$B_6 = (100 - 1,0) \cdot 1,012 = 100,9 \text{ мм},$$

– ширина стінки визначається за формулою:

$$t_6 = (t - \Delta/2) \cdot 1,012, \quad (2.3)$$

Отримаємо:

$$t_6 = (7,2 - 0,15) \cdot 1,012 = 7 \text{ мм}.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина стінки дорівнює:

$$d_6 = 4,5 \cdot 1,012 = 4,55 \text{ мм.}$$

Висота фланця визначається за формулою:

$$h_6 = \frac{H_6 - d_6}{2}. \quad (2.4)$$

Після підстановки для шостого калібру, отримаємо:

$$h_6 = \frac{54,6 - 4,55}{2} = 25 \text{ мм.}$$

Товщина фланця у основи визначається за формулою:

$$b_6 = t_6 + 0,5h_6tg\phi_6. \quad (2.5)$$

Після підстановки для шостого калібру отримаємо:

$$b_6 = 7 + 0,5 \cdot 25 \cdot 0,12 = 8,5 \text{ мм.}$$

Товщина фланця у вершини визначається за формулою:

$$a_6 = 2t_8 - b_8. \quad (2.6)$$

Після підстановки для шостого калібру:

$$a_6 = 2 \cdot 7 - 8,5 = 5,5 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу готового профілю фланця дорівнює:

$$q_{фл6} = t_6 h_6 = 7 \cdot 25 = 175 \text{ мм}^2.$$

Площа поперечного перерізу чистового калібру визначається за формулою:

$$q_6 = 4q_{фл6} + B_6 d_6. \quad (2.7)$$

Після підстановки отримаємо:

$$q_6 = 4 \cdot 175 + 100 \cdot 4,55 = 1067 \text{ мм}^2.$$

Показник форми фланця дорівнює:

$$\frac{a_6}{b_6} = \frac{5,5}{8,5} = 0,65.$$

Розширення, що здійснилося в при прокатуванні в фасонних калібрах визначаємо за графіком.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрізного калібру розширення складає $\Delta b_p = 5$ мм; для останніх фасонних калібрів розширення складає:

$$\sum \Delta B_{2-6} = 30 \text{ мм.}$$

Загальне розширення враховуючи розрізний калібр дорівнює:

$$\sum \Delta B_{1-6} = 30 + 5 = 35 \text{ мм.}$$

Ширина заготовки, що задається в розрізний калібр визначається за формулою:

$$B_{0p} = B_6 - \sum \Delta B_{1-6}.$$

Після підстановки отримаємо, що в розрізний калібр задається розкат шириною:

$$B_{0p} = 100 - 35 = 65 \text{ мм.}$$

Ширина розрізного калібру визначається за формулою:

$$B_1 = B_0 + \Delta B_p. \quad (2.8)$$

Після підстановки отримаємо:

$$B_1 = 65 + 5 = 70 \text{ мм.}$$

Значення ширини розкату, що задається у розрізний калібр округляємо, то розширення в фасонних калібрах, окрім розрізного буде дорівнювати:

$$\sum \Delta B_{2-6} = B_6 - B_1 = 100 - 70 = 30 \text{ мм.}$$

При прокатуванні відбувається чергування відкритих та закритих фланців та здійснюється утяжка металу в закритих фланцях. Величина утяжки дорівнює 6 мм. В цей же час відбувається і розширення металу у відкритих ланцях, величину якого приймаємо 1 мм.

Виконуємо розрахунок фланців, що отримані у фасонних калібрах. Результати розрахунку показано в таблиці 2.1, де враховано, що в чистовому калібру верхній фланець знаходиться у відкритому калібрі, нижній у закритому.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.5

Таблиця 2.1 – Розрахункова висота фланців при прокатуванні балки № 10

Полиці	Висота фланців, мм					
	1	3	3	4	5	6
Верхні	Закр. 30	Відкр. 29	Закр. 28	Відкр. 27	Закр. 26	Відкр. 25
Нижні	Відкр. 30	Закр. 29	Відкр. 28	Закр. 27	Відкр. 26	Закр. 25

Товщину у основи відкритого фланця першого фасонного – розрізного калібру приймаємо:

$$b_1 \approx (0,35 - 0,45)B_1 = 0,4 \cdot 70 = 28 \text{ мм.}$$

Товщина у вершини відкритого фланцю першого фасонного – розрізного калібру приймаємо:

$$a_1 \approx 0,5b_1 = 0,5 \cdot 28 = 14 \text{ мм.}$$

Координати конструктивної точки для побудови калібру для балки № 10 дорівнює:

$$e = \frac{70 \cdot 0,12 - 28 \cdot 0,56}{0,56 - 0,12} = 3,18.$$

$$H_k = \frac{70 + 3,18}{0,56} = 130 \text{ мм.}$$

Розміри закритого фланцю вважаємо, що від дорівнює розмірам відкритого фланцю:

– площа поперечного перерізу фланців розрізного калібру дорівнює:

$$q_1 = q_1^1 = 0,5(28 + 14) \cdot 30 = 630 \text{ мм}^2;$$

– товщина стінки розрізного калібру дорівнює: $d_1 = 25 \text{ мм};$

– загальна висота розрізного калібру дорівнює:

$$H_1 = h_1 + h' + d_1 = 30 + 30 + 25 = 85 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу розрізного калібру з врахуванням додаткової площини дорівнює:

$$Q = 4 \cdot 630 + 25 \cdot 70 + q_{\text{дод}} = 2520 + 1750 + 2000 = 6270 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо висоту розкату, що задається у розрізний калібр визначається за формулою:

$$H_{op} = 0,5H_1 + 0,5 \frac{B_0 H_1^2}{Q}. \quad (2.9)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$H_{op} = 0,5 \cdot 85 + 0,5 \frac{70 \cdot 85^2}{6270} = 82 \text{ мм.}$$

Приймаємо висоту заготовки, що подіється у розрізний калібр рівною 80 мм.

Коефіцієнт витяжки в розрізному калібрі дорівнює: $\mu_1 = 1,02$.

Розрахунок розмірів проміжних балочних калібрів

Загальний коефіцієнт витяжки у фланцях визначається за формулою:

$$\sum_2^6 \mu = \frac{q_{\phi 1}}{q_{\phi 6}}. \quad (2.10)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$\sum_2^6 \mu = \frac{630}{175} = 3,6.$$

Розподіляємо коефіцієнти витяжки за окремими проходами:

$$\sum_2^6 \mu = 1,4 \cdot 1,3 \cdot 1,3 \cdot 1,3 \cdot 1,17 = 3,6.$$

Площі поперечних перерізів фланців за проходами в фасонних фланцевих калібрах визначаємо з врахуванням коефіцієнтів витяжки:

$$\text{— для проходу в другому калібрі: } q_{\phi 2} = \frac{q_{\phi 1}}{\mu_{\phi 2}} = \frac{630}{1,4} = 450 \text{ мм}^2;$$

$$\text{— для проходу в третьому калібрі: } q_{\phi 3} = \frac{450}{1,3} = 346 \text{ мм}^2;$$

$$\text{— для проходу в четвертому калібрі: } q_{\phi 4} = \frac{346}{1,3} = 266 \text{ мм}^2;$$

$$\text{— для проходу в п'ятому калібрі: } q_{\phi 5} = \frac{266}{1,3} = 204 \text{ мм}^2;$$

$$\text{— для проходу в шостому калібрі: } q_{\phi 6} = \frac{204}{1,17} = 175 \text{ мм}^2.$$

Загальний коефіцієнт зменшення товщини стінки в фасонних калібрах, враховуючи розрізний:

$$\sum_2^6 \mu = \frac{d_1}{d_6} = 5,5.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.7

З розрахунку видно, що загальний коефіцієнт зменшення товщини станки має менше значення за загальний коефіцієнт витяжки фланців через те, що при пластичній деформації частина матеріалу йде на розширення стінки.

Розподіляємо коефіцієнти витяжки стінок за окремими проходами:

$$\mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4 \cdot \mu_5 \cdot \mu_6 = 1,45 \cdot 1,45 \cdot 1,40 \cdot 1,40 \cdot 1,33 = 6,5.$$

Отримаємо товщину стінки в окремих балочних калібрах за рухом прокатування:

$$d_2 = \frac{d_1}{\mu_2} = \frac{25}{1,45} = 17,2 \text{ мм};$$

$$d_3 = \frac{d_2}{\mu_3} = \frac{17,2}{1,45} = 11,8 \text{ мм};$$

$$d_4 = \frac{d_3}{\mu_4} = \frac{11,8}{1,45} = 8,4 \text{ мм};$$

$$d_5 = 6,0 \text{ мм};$$

$$d_6 = 4,55 \text{ мм}.$$

При прокатуванні в фасонних балочних калібрах здійснюється розширення розкату, яке приймаємо пропорційним деформації стінки. Користуючись відносним приростом довжини стінки розподіляємо загальне розширення за окремими фасонними калібрами.

Сумарний відносний приріст довжини стінки за фасонними балочними калібрами дорівнює:

$$\sum_2^6 (\mu_{\text{фл}} - 1) = 0,4 + 0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,17 = 1,47.$$

Визначаємо коефіцієнт пропорційності деформації стінки за формулою:

$$m = \frac{\sum_2^6 \Delta B}{\sum_2^6 (\mu - 1)}. \quad (2.11)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$m = \frac{30}{1,47} = 20,4.$$

Розширення за проходами:

– в розрізному калібрі дорівнює: $\Delta B_1 = 5 \text{ мм};$

– в другому фасонному калібрі дорівнює:

$$\Delta B_2 = m(\mu_2 - 1) = 20,4 \cdot 0,4 = 8,16 \text{ мм};$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- в третьому фасонному калібрі дорівнює: $\Delta B_3 = 20,4 \cdot 0,3 = 6,12$ мм;
- в четвертому фасонному калібрі дорівнює: $\Delta B_4 = 20,4 \cdot 0,3 = 6,12$ мм;
- в п'ятому фасонному калібрі дорівнює: $\Delta B_5 = 20,4 \cdot 0,3 = 6,12$ мм;
- в шостому фасонному калібрі: $\Delta B_6 = 20,4 \cdot 0,17 = 3,4$ мм.

Використовуючи отримане розширення, визначаємо ширину калібрів за кожним проходом:

- для другого проходу: $B_2 = B_1 + \Delta B = 70 + 8 = 78$ мм;
- для третього проходу: $B_3 = 78 + 6 = 84$ мм;
- для четвертого проходу $B_4 = 84 + 6 = 90$ мм;
- для п'ятого проходу $B_5 = 90 + 6 = 96$ мм;
- для шостого проходу $B_6 = 96 + 3,4 = 99,4$ мм.

Визначаємо площу поперечного перерізу кожного фасонного калібру, враховуючи коефіцієнти витяжки за проходами.

- загальний коефіцієнт витяжки дорівнює:

$$\sum_2^6 \mu = \frac{6270}{1067} = 5,87 \quad \sum_2^6 \mu = 1,45 \cdot 1,45 \cdot 1,4 \cdot 1,4 \cdot 1,41 = 5,87;$$

- площа поперечного перерізу другого фасонного калібру дорівнює:

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\mu_2} = \frac{6270}{1,45} = 4325 \text{ мм}^2;$$

- площа поперечного перерізу третього фасонного калібру дорівнює:

$$Q_3 = \frac{Q_2}{\mu_3} = \frac{4325}{1,45} = 2982 \text{ мм}^2;$$

- площа поперечного перерізу четвертого фасонного калібру дорівнює:

$$Q_4 = 2130 \text{ мм}^2;$$

- площа поперечного перерізу п'ятого фасонного калібру дорівнює:

$$Q_5 = 1521 \text{ мм}^2;$$

- площа поперечного перерізу шостого фасонного калібру дорівнює:

$$Q_6 = 1067 \text{ мм}^2.$$

Будуємо монтажну схеми розрізного та ящикового калібру, які знаходяться на прокатних валках першої робочої кліті.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

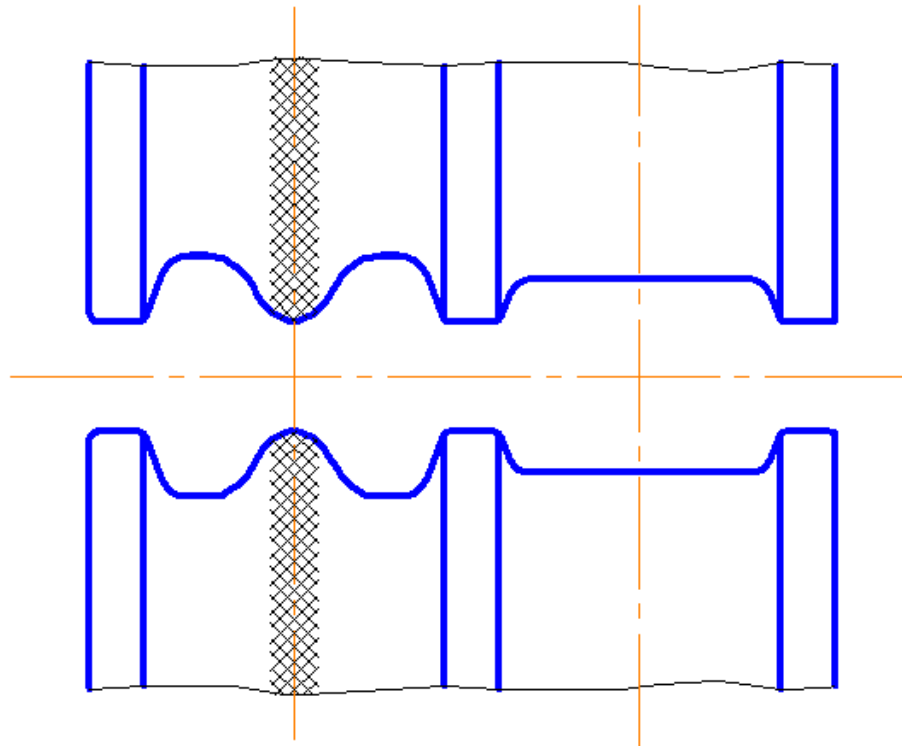


Рисунок 2.2 – Монтажна схема розрізного і ящичного калібрів на прокатних валках першої робочої кліті прокатного стану

З рисунка видно, що для покращення процесу захоплення смуги прокатними валками гребінь розрізного калібру виконується з насічками.

Результати розрахунку калібрування двотаврової балки № 10 заносимо в таблицю 2.2. В закритих калібрах радіуси закруглень приймаються на підставі практичних даних. Радіуси закруглень у кінцях відкритих фланців відсутні, за висотою рух металу ву відкритому фланці не обмежують.

Побудова калібрів

Для забезпечення вільного виходу розкатів з балочних калібрів при прокатування потрібно створити нахил (випуск) внутрішніх та зовнішніх бічних стінок. Прокатування в закритому балочному калібрі можливе тільки за наявності нахилу внутрішніх і зовнішніх бічних стінок.

Такий нахил залежить від калібру і дорівнює:

- для 1 – 5 калібрів: $5 \div 8$ % і складає $3 \div 4^\circ$;
- для шостого калібру нахил дорівнює 1%.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків калібрування двотаврової балки № 10

№ калібру	Коефіцієнт витяжки, μ	Площа поперечного перерізу калібру Q , мм	Ширина калібру, B , мм	Товщина стінки d , мм	Площа перерізу полиці q_n мм ²	Розміри фланців					
						відкритих			закритих		
						висота h , мм	основа a , мм	вершина b , мм	висота h , мм	основа b , мм	вершина a , мм
1	1,02	6270	70	25	630	30	28	14	30	28	14
2	1,45	4325	78	17,0	450	29	20	10	29	20	10
3	1,45	2982	84	11,8	346	28	14	7	28	14	7
4	1,40	2130	90	8,4	266	27	11	6,5	27	11	6,5
5	1,40	1521	69	6,0	204	26	9,5	6	26	9,5	6
6	1,41	1067	100	4,5	175	25	8,5	5,5	25	8,5	5,5

Вим.

Арк

№ докум.

Підпис

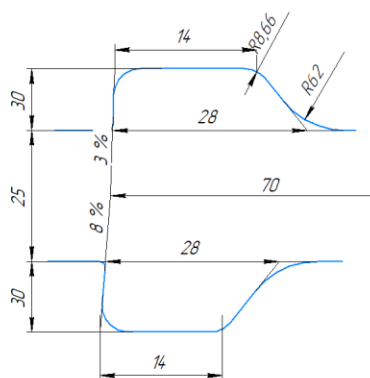
Дата

КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ

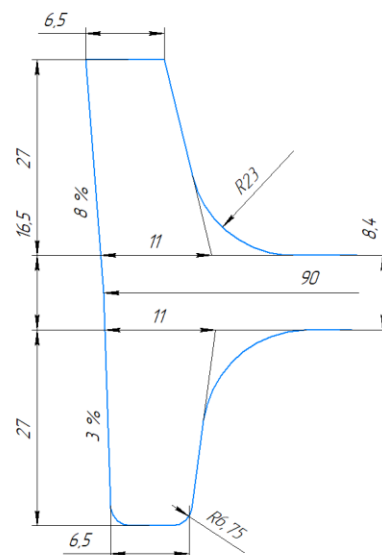
2.11

Архив

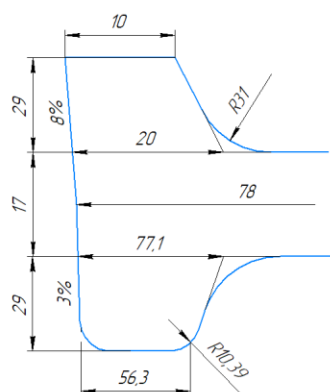
①
M 1:1



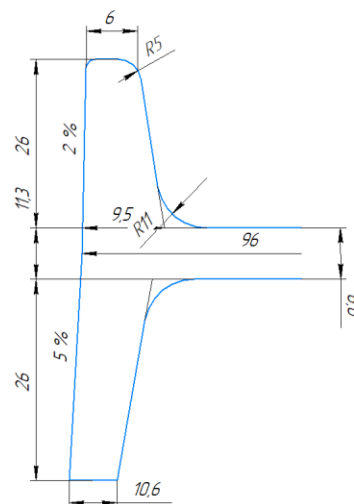
④
M 2:1



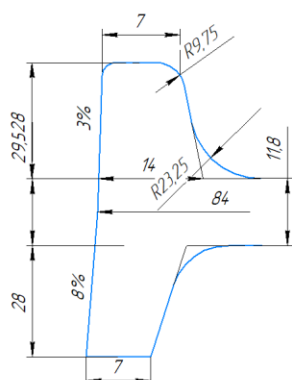
②
M 1:1



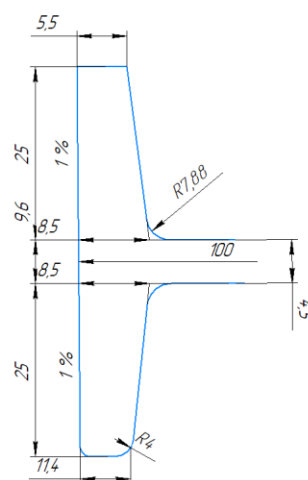
⑤
M 2:1



③
M 1:1



⑥
M 2:1



Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.3 Розрахунок силових параметрів

Розрізний калібр

1 кліть

$T = 1150^{\circ}\text{C}$ – температура прокатування в розрізному калібрі;

$v = 1,3 \text{ м/с}$ – швидкість прокатування;

$H = 80 \text{ мм}$; $B = 65 \text{ мм}$ – розміри смуги до проходу;

$h = 85 \text{ мм}$; $b = 70 \text{ мм}$ – після проходу в розрізному калібрі;

$D = 400 \text{ мм}$ – діаметр валків для першого проходу;

$h_p = 11 \text{ мм}$ – глибина врізання в прокатні валки;

$i = 11$ – передаточне відношення редуктора;

$n_{dv} = 707$ – оберти двигуна.

Катаючий радіус прокатних валків дорівнює:

$$R = \frac{D-h}{2} = 184,9 \text{ мм};$$

$$R_c = 0,5 \cdot (D - h_{1c}) = 187,653 \text{ мм}.$$

Площа контакту оброблюваного матеріалу з прокатним валком:

$$F_k = 0,54 \cdot (B + b) \cdot \sqrt{R_d \cdot \Delta h} = 4226,583 \text{ мм}^2.$$

Середня ширина смуги:

$$b_c = 0,5 \cdot (B + b) = 61,5 \text{ мм}.$$

Абсолютне обтиснення дорівнює:

$$\Delta h_c = \frac{1}{R_c} \cdot \left(\frac{F_k}{b_c} \right) = 25,169 \text{ мм};$$

$$h_{0c} = h_{1c} + \Delta h_c = 49,863 \text{ мм}.$$

Ступінь деформації дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_c}{h_{0c}} \cdot 100 = 50,477\%.$$

Швидкість деформації дорівнює:

$$u = v \cdot \frac{\Delta h \cdot H}{\sqrt{R_d \cdot \Delta h}} = 10,312 \text{ 1/с}.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.13

Термомеханічні коефіцієнти дорівнюють:

$$k_t = 0,57 + 0,0045 \cdot (1200 - T) \cdot \sqrt{\frac{1200 - T}{T}} = 0,646.$$

$$k_u = 0,8 + 0,065 \cdot \sqrt{u} = 1,009.$$

$$k_\varepsilon = 0,82 + 0,082 \cdot \sqrt{\varepsilon} = 1,403.$$

Середнє значення границі текучості матеріалу в розрізному калібрі дорівнює:

$$\sigma_t = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_u \cdot k_\varepsilon = 82,268 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт тертя з врахуванням швидкісного коефіцієнту:

$$k_v = 0,4 + 0,6 \cdot (1 - 0,05 \cdot v) = 0,925;$$

$$f = 0,8 \cdot (0,62 - 0,00025 \cdot T) \cdot k_v = 0,25.$$

Умовний коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f_i = f \cdot 1,2 = 0,3.$$

Коефіцієнт підпору в розрізному калібрі дорівнює:

$$n_p = \left(1 - \frac{l}{h_c}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{\frac{1}{h_c}}} = 1,452;$$

$$f_c = f \left[1,28 + 0,003 \cdot (\varepsilon - 70) \cdot \sqrt{\varepsilon} - 0,005 \cdot \left(\frac{l}{h_c} - 1\right) \right] = 0,359.$$

Середній контактний вертикальний тиск по дну розрізного калібру:

$$P_v = \sigma_t \cdot n_p = 119,428 \text{ МПа}.$$

Сила прокатування в розрізному калібрі дорівнює:

$$P = P_v \cdot F_k \cdot 0,001 = 504,771 \text{ кН}.$$

Коефіцієнт плеча моменту в розрізному калібрі дорівнює: $\Psi = 0,53$.

Момент, необхідний для деформації при прокатуванні в розрізному калібрі:

$$M_{\text{пр}} = 2 \cdot P \cdot \Psi \cdot 1 \cdot 0,001 = 34,048 \text{ кН} \cdot \text{м} - \text{момент прокатки}.$$

Фасонний калібр 2-ї прокатної кліті

$T = 1120^\circ\text{C}$ – температура смуги при прокатуванні в другій кліті;

$v = 1,7 \text{ м/с}$ – швидкість прокатки в другій кліті;

$H = 85 \text{ мм}; B = 70 \text{ мм}$ – розміри смуги до проходу;

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$h = 75$ мм; $b = 78$ мм – після проходу;

$D = 400$ мм – діаметр валків;

$h_p = 20$ мм – глибина врізу в прокатні валки другого калібру;

$n_{dv} = 647$ – оберти двигуна.

Абсолютне обтиснення при прокатуванні в другій кліті дорівнює:

$$\Delta h = H - h = 10 \text{ мм.}$$

Середня висота дорівнює:

$$h_{1c} = \frac{F}{b} = 35,411 \text{ мм;}$$

Катаючий радіус прокатних валків у другій кліті дорівнює:

$$R = \frac{D-h}{2} = 176,25 \text{ мм;}$$

$$R_c = 0,5 \cdot (D - h_{1c}) = 182,295 \text{ мм.}$$

Площа контакту в осередку деформації в другій прокатній кліті:

$$F_k = 0,54 \cdot (B + b) \cdot \sqrt{R_d \cdot \Delta h} = 1783,44 \text{ мм}^2.$$

Середня ширина смуги в другій прокатній кліті:

Величина обтиснення по середній лінії:

$$b_c = 0,5 \cdot (B + b) = 34,1 \text{ мм;}$$

$$\Delta h_c = \frac{1}{R_c} \cdot \left(\frac{F_k}{b_c} \right) = 15,005 \text{ мм;}$$

$$h_{0c} = h_{1c} + \Delta h_c = 50,415 \text{ мм.}$$

Ступінь деформації в другій прокатній кліті:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_c}{h_{0c}} \cdot 100 = 29,763\%.$$

Швидкість деформації в другій прокатній кліті:

$$u = v \cdot \frac{\Delta h_c \cdot 1000}{h_{0c} \cdot \sqrt{R_d \cdot \Delta h_c}} = 9,674 \text{ 1/с.}$$

Термомеханічні коефіцієнти дорівнюють:

$$k_t = 0,663; k_u = 1,002; k_\varepsilon = 1,267.$$

Середнє значення границі текучості в другій прокатній кліті дорівнює:

$$\sigma_t = \sigma_0 \cdot k_t \cdot k_u \cdot k_\varepsilon = 83,21 \text{ МПа.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт тертя в другій прокатній кліті дорівнює:

$$f = 0,8 \cdot (0,62 - 0,00025 \cdot T) \cdot k_v = 0,245.$$

Умовний коефіцієнт тертя в другій прокатній кліті:

$$f_i = f \cdot 1,2 = 0,307.$$

Довжина осередку деформації дорівнює:

$$l_d = \sqrt{R_d \cdot \Delta h} = 52,3 \text{ мм.}$$

Середня висота смуги в другій прокатній кліті дорівнює:

$$h_c = 42,913 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт підпору в другій прокатній фасонній кліті:

$$n_p = 1,328;$$

Середній вертикальний контактний тиск по дну калібру в другій прокатній кліті:

$$P_v = 100,668 \text{ МПа.}$$

Сила прокатування в другій прокатній кліті дорівнює:

$$P = 179,535 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту, що виникає в другій прокатній кліті: $\Psi = 0,5$.

Момент, необхідний для деформації в другій прокатній кліті дорівнює:

$$M_{пр} = 9,39 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

3 -й фасонний калібр

$T = 1110^\circ\text{C}$ – температура смуги при прокатуванні в третій кліті;

$v = 2,4 \text{ м/с}$ – швидкість при прокатуванні в третій прокатній кліті;

$H = 75 \text{ мм}; B = 78 \text{ мм}$ – розміри смуги до проходу в третій прокатній кліті;

$h = 67,8 \text{ мм}; b = 84 \text{ мм}$ – після проходу в третій прокатній кліті;

$D = 400 \text{ мм}$ – діаметр прокатних валків у третій кліті;

$h_p = 7,5 \text{ мм}$ – глибина врізу в прокатний валок;

Обтиснення абсолютне в третій прокатній кліті:

$$\Delta h = 16,5 \text{ мм;}$$

$$h_{1c} = \frac{F}{b} = 16,775 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.16

Катаючий радіус в третій прокатній кліті дорівнює:

$$R = 189,25 \text{ мм};$$

$$R_c = 0,5 \cdot (D - h_{1c}) = 191,612 \text{ мм}.$$

Площа контакту смуги з прокатними валками в третій прокатній кліті дорівнює:

$$F_k = 2115,355 \text{ мм}^2.$$

Середня висота смуги в третій прокатній кліті дорівнює:

$$b_c = 52 \text{ мм}; \Delta h_c = 8,636 \text{ мм}; h_{0c} = 25,412 \text{ мм}.$$

Відносне обтіснення при прокатуванні в третій прокатній кліті:

$$\varepsilon = 33,986\%.$$

Швидкість деформації при прокатуванні в третій прокатній кліті дорівнює:

$$u = 14,597 \text{ 1/с}.$$

Термомеханічні коефіцієнти при прокатуванні в третій прокатній кліті:

$$k_t = 0,681; k_u = 1,048; k_\varepsilon = 1,298.$$

Середнє значення границі текучості з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів дорівнює:

$$\sigma_t = 83,392 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f = 0,237.$$

Умовний коефіцієнт тертя при прокатуванні в третій прокатній кліті дорівнює:

$$f_i = f \cdot 1,2 = 0,284.$$

Довжина осередку деформації при прокатуванні в третій кліті дорівнює:

$$l_d = 55,88 \text{ мм}.$$

Середня висота розкату в третій кліті дорівнює:

$$h_c = 21,093 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт підпору при прокатуванні в третій прокатній кліті дорівнює:

$$n_p = \left(1 - \frac{l}{h_c}\right) + \frac{0,55}{\sqrt{\frac{1}{h_c}}} = 1,63;$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.17

$$f_c = f \left[1,28 + 0,003 \cdot (\varepsilon - 70) \cdot \sqrt{\varepsilon} - 0,005 \cdot \left(\frac{l}{h_c} - 1 \right) \right] = 0,321.$$

Середній контактний вертикальний тиск по дну калібру в третій кліті дорівнює:

$$P_v = 135,955 \text{ МПа.}$$

Сила прокатування в третій кліті дорівнює:

$$P = 287,592 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту в третій кліті дорівнює: $\Psi = 0,5$.

Момент, необхідний для деформації в третій кліті дорівнює:

$$M_{\text{пр}} = 15,041 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

4 -й фасонний калібр

$T = 1100^\circ\text{C}$ – температура смуги при прокатуванні в четвертій кліті;

$v = 3,36 \text{ м/с}$ – швидкість при прокатуванні в четвертій прокатній кліті;

$D = 380 \text{ мм}$ – діаметр прокатних валків у четвертій кліті;

Обтиснення абсолютне в четвертій прокатній кліті:

$$\Delta h_c = 8,23 \text{ мм;}$$

Відносне обтиснення при прокатуванні в четвертій прокатній кліті:

$$\varepsilon = 27,254\%.$$

Середнє значення границі текучості з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів дорівнює:

$$\sigma_t = 84,01 \text{ МПа.}$$

Сила прокатування в четвертій кліті дорівнює:

$$P = 163,525 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт плеча моменту в четвертій кліті дорівнює: $\Psi = 0,5$.

Момент, необхідний для деформації в четвертій кліті дорівнює:

$$M_{\text{пр}} = 8,28 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

5 -й фасонний калібр

$T = 1080^\circ\text{C}$ – температура смуги при прокатуванні в п'ятій кліті;

$v = 4,74 \text{ м/с}$ – швидкість при прокатуванні в п'ятій прокатній кліті;

$D = 380 \text{ мм}$ – діаметр прокатних валків у п'ятій кліті;

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

Обтиснення абсолютне в п'ятій прокатній кліті:

$$\Delta h_c = 8,15 \text{ мм};$$

Відносне обтиснення при прокатуванні в п'ятій прокатній кліті:

$$\varepsilon = 29,218\%.$$

Середнє значення границі текучості з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів дорівнює:

$$\sigma_t = 84,09 \text{ МПа}.$$

Сила прокатування в п'ятій кліті дорівнює:

$$P = 165,821 \text{ кН}.$$

Коефіцієнт плеча моменту в п'ятій кліті дорівнює: $\Psi = 0,5$.

Момент, необхідний для деформації в п'ятій кліті дорівнює:

$$M_{\text{пр}} = 8,95 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

6 -й фасонний калібр

$T = 1050^\circ\text{C}$ – температура смуги при прокатуванні в шостій кліті;

$v = 6,68 \text{ м/с}$ – швидкість при прокатуванні в шостій прокатній кліті;

$D = 270 \text{ мм}$ – діаметр прокатних валків у шостій кліті;

Обтиснення абсолютне в шостій прокатній кліті:

$$\Delta h_c = 6,05 \text{ мм};$$

Відносне обтиснення при прокатуванні в шостій прокатній кліті:

$$\varepsilon = 27,02\%.$$

Середнє значення границі текучості з врахуванням термомеханічних коефіцієнтів дорівнює:

$$\sigma_t = 85,25 \text{ МПа}.$$

Сила прокатування в шостій кліті дорівнює:

$$P = 160,325 \text{ кН}.$$

Коефіцієнт плеча моменту в шостій кліті дорівнює: $\Psi = 0,5$.

Момент, необхідний для деформації в шостій кліті дорівнює:

$$M_{\text{пр}} = 7,98 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Дані розрахунку заносимо в таблицю 2.3.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.02.РПТВБ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.19

Таблиця 2.3 – Енергетичні показники при прокатуванні двотаврової балки
№ 10

№ кліті	$T, ^\circ \text{C}$	$v, \text{м/с}$	$D, \text{мм}$	$\Delta h_c, \text{мм}$	$\varepsilon, \%$	$\sigma_m, \text{МПа}$	$P, \text{кН}$	$M, \text{кН}\cdot\text{м}$
1	1150	1,667	400,0	25,169	50,477	82,268	504,77	34,048
2	1120	1,70	400,0	10,0	29,763	83,210	179,537	9,31
3	1110	2,4	400,0	16,52	33,986	83,390	287,592	15,041
4	1100	3,36	380,0	8,235	27,254	84,01	163,525	8,25
5	1080	4,74	380,0	8,150	29,218	84,95	165,821	8,95
6	1050	6,68	270,0	6,05	27,02	85,25	160,325	7,98

З розрахунку енергосилових параметрів прокатки видно, що найбільш навантаженою є перша розрізна кліть стана через те, що в цій кліті виконують суттєві обтиснення та деформації.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі досягнуто мету та виконані завдання, що було поставлено на початку роботи.

Проаналізовано призначення балки № 10 і виявлено, що вона має відповідальне призначення при створення надійних несучих конструкцій, стійких до високих навантажень.

Визначено матеріал для виготовлення двотаврової балки № 10, де надано перевагу низьколегованій сталі 09Г2С через те, що ця сталь має досить високу міцність, відмінну стійкість до низьких температур, достатньо добре піддається зварюванню.

Проаналізовано способи виготовлення двотаврової балки, де надано перевагу гарячому прокатуванню. Виявлено, що двотаврова балка є дуже складним профілем, який складається з трьох елементів: стінки і двох полиць. Ці елементи мають дуже нерівномірну деформацію під час обробки.

Проаналізовано обладнання, що використовується для гарячого прокатування, де надано перевагу безперервному дрібносортовому багатоклітьовому прокатному стану ДС 250. Встановлено його будову, основне та допоміжне устаткування, принцип дії.

Визначено послідовність операції, що дозволяють отримати вірний профіль балки № 10.

Визначено кількість проходів. Виявлено, що з метою отримання вірного профілю потрібно виконати шість проходів. Перший прохід відбувається у розрізному калібрі, останні у спеціальних фасонних калібрах. Передостаннім калібром є контрольний калібр, останнім чистовий.

Виявлено розмір початкового матеріалу для отримання балки № 10 за мінімальну кількість проходів.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.В			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Мокринський						1	2
Перевірив	Чубенко							
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Бабошко							

Розраховано калібрування прокатних валків, що забезпечують отримання вірного профілю за шість фасонних проходів та побудовано схему калібрування за отриманими розрахунками.

Визначено витрати зусилля та моменти, що витрачаються на гаряче прокатування двотаврової балки № 10, де з'ясовано, що саме велике навантаження має перша прокатна кліть, яка має розрізний калібр. Це відбувається через те, що в розрізному калібрі виконують суттєві обтиснення та деформації.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.В	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Прес-релізи URL: <https://ukraine.arcelormittal.com/index.php?id=10&pr=340> (дата звернення: 01.03.2021).
2. ДСТУ 3436-96 Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент (ГОСТ 8240-97).
3. Розрахунки параметрів процесів обробки металів тиском: навчальний посібник / В.М. Данченко, П.Л. Клименко, Л.Ф. Машкін, В.О. Гринкевич, О.М. Головка, П.В. Дрожа. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2002. 40 с.
4. Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Технологія прокатного виробництва: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2017. 170 с.
5. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній і комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавничий Дім, 2010. 404 с.
6. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. 370 с.
7. Інструкція щодо улаштування й конструкції мостового полотна на залізничних мостах [Текст] / розроб.: В.В. Говоруха, В.П. Піскунов, О.В. Саєнко. Введ. 2002-06-20. Київ: Головне управління колійного господарства Укрзалізниці, 2002. 155 с.
8. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В.В. Попович, В.В. Попович. Львів: Світ, 2006. 624 с. [ISBN 966-603-452-2](#).

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.Л				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Мокринський								
Перевірив	Чубенко						1	3	
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-1			
Н. контр.	Чубенко								
Затвердив	Бабошко								

9. Взаємодія технологічних параметрів в осередку деформації при сталому процесі прокатування/ М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, А. Шепель, В. Чубенко / *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 2013. № 43. С. 36-41.

10. Час перебування металу в осередку деформації та утворення нової поверхні/ М.М. Бережний, В.А. Чубенко, А.А. Хіноцька, А. Глінкін / *Вісник Криворізького технічного університету*. Випуск 30. 2012. С. 171-174.

11. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів: підручник. Львів: Афіша, 2002. 304 с.

12. Матеріалознавство: підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян, Е.І. Плешаков; за ред. проф. С.С. Дяченко. Харків: ХНАДУ, 2007. 440 с.

13. ВД «Академперіодика» НАН України. Приклади оформлення використаних джерел відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).

URL: <https://histj.oa.edu.ua/assets/files/Posylannia.pdf>.

14. Національний стандарт України. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. ДСТУ 8302:2015 презентація. URL: <http://vippp.org.ua/index.php?pagename=presentation>.

15. <http://akademperiodyka.org.ua/docs/Posylannia>.

16. СТОУ-02-14. Загальні вимоги та правила оформлення текстових та графічних студентських магістерських робіт. Кривий Ріг: КНУ, 2014. 18 с.

17. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія процесів ОМТ»: Основи калібровки валків: для студентів напряму 6.050401 – Металургія (Обробка металів тиском) всіх форм навчання / уклад. М.М. Штода. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 88 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

18. Конспект лекцій з дисципліни «Металознавство»: для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 136 Металургія всіх форм навчання / укладач: Калініна Т.В. Кам'янське: ДДТУ, 2019. 80 с.

19. Іванченко Ф.К., Гребеник В.М., Ширяєв В.І. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів: навч. посібник для студ. вузів. Київ: Вища школа, 1995. 455 с.

20. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 136 «Металургія» усіх форм навчання / уклад. С.Г. Савельєв, Л.Н. Саїтгарєєв, В.А. Чубенко, Т.П. Ярош, І.Е. Скідін, А.А. Хіноцька. Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2024. 32 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-14.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3