

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 ТЕХНОЛОГІЇ
ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО ШВЕЛЕРУ № 8»

Виконав:

студент групи МТ-21-1

Євгеній КОПАНЬ

Керівник випускної роботи

Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер

Вікторія ЧУБЕНКО

Завідувач кафедри

Сергій САВЕЛЬСВ

Кривий Ріг
2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню атестаційну роботу бакалавра

_____ Копаня Євгенія Євгенійовича _____

1. Тема роботи: Аналіз та розробка технології виготовлення сталевих швелерів № 8

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

затверджено наказом по КНУ від « 04 » _____ 03 _____ 2025 р. № 149с _____

2. Строк подання роботи студентом « 01 » _____ 06 _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Сталь марки 09Г2С з хімічним складом; властивості матеріалу: межа міцності – 430 МПа, межа плинності – 265 МПа, відносне подовження 21%, схема головної лінії прокатного стану; робоча кліть; прокатний валок; квадратна безперервно-лита заготовка розміром 60×75 мм; коефіцієнт теплового розширення – 1,012.

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

1. Аналіз технології виготовлення сталевих швелерів: загальна характеристика, матеріал для виготовлення, способи виготовлення, загальна характеристика прокатного виробництва, обладнання для прокатування.

2. Розробка технології виготовлення швелера №8: технологічні операції, способи калібрування швелерів, визначення кількості проходів при отриманні швелера №8, розрахунок калібрування, термічна обробка швелерів.

5. Перелік графічного матеріалу

Вигляд готового швелера. Поперечний переріз швелера. Матеріал для виготовлення швелера. Гаряче прокатування швелера. Технологія виготовлення швелера. Способи прокатування швелерів. Розрізні калібри. Чорновий калібр для прокатування. Розміри розрізного і чистового калібру. Коефіцієнти та параметри деформації. Розміри елементів профілю.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	20.01-29.01.2025
2	Аналіз технології виготовлення сталевих швелеру: загальна характеристика, матеріали для виготовлення швелера, способи виготовлення	01.02-10.02.2025
3	Загальна характеристика прокатного виробництва	10.02-25.05.2025
4	Обладнання для прокатування	26.02-10.03.2025
5	Розробка технології виготовлення швелера №8: технологічних операцій з прокатування швелера	11.03-10.04.2025
6	Способи калібрування швелерів. Визначення кількості проходів	11.04-30.04.2025
7	Розрахунок калібрування для швелера. Термічна обробка	01.05-20.05.2025
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2025
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2025
10	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2025

Дата видачі завдання «__20__»_____01_____2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Євгеній КОПАНЬ
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Вікторія ЧУБЕНКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«Аналіз та розробка технології виготовлення сталевих швелерів № 8»

Пояснювальна записка: 56 стор., 4 табл., 14 рис., 21 джерело.

Об'єкт дослідження: процеси виготовлення швелерів.

Предмет дослідження: особливості деформації та калібрування при гарячому прокатуванні швелера № 8.

Мета роботи: проаналізувати умови деформації та визначити основні технологічні операції та калібрування для виготовлення швелера № 8.

Методи дослідження: теоретичний аналіз умов деформації, які відбуваються при прокатуванні швелерів; розрахунок калібрувань з врахуванням особливостей, що відбуваються в осередку деформації.

Результати роботи: в роботі розглянуто способи виготовлення сталевих швелерів, визначено особливості умов деформації при прокатуванні, запропоновано обладнання для виготовлення швелеру, інструмент, визначено принцип дії обладнання, розглянуто будову калібру та розраховано калібрування прокатних валків для виготовлення сталевих швелерів № 8.

СТАЛЕВИЙ ШВЕЛЕР, ПРОКАТУВАННЯ, ОБТИСНЕННЯ,
РОЗШИРЕННЯ, РОЗРІЗНИЙ КАЛІБР, ЛЖИВИЙ ФЛАНЕЦЬ, СТІНКА,
КАЛІБРУВАННЯ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.Р			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Копань				РЕФЕРАТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						1	1
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв							

Перв. примен.		№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание				
		1										
		2	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.ПЗ	Пояснювальна записка	56						
		3			Графічна частина							
		4			(Презентація)							
Справ. №		5	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.01	Вигляд готового швелеру	1						
		6	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.02	Поперечний переріз швелеру	1						
		7	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.03	Матеріал для виготовлення							
		8		швелеру	1							
		9	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.04	Гаряче прокатування швелеру	1						
		10	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.05	Технологія виготовлення							
		11		швелера №8	1							
		12	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.06	Способи прокатування швелерів	1						
		13	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.07	Розрізні калібри	1						
		14	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.08	Чорновий калібр для							
Подп. и дата		15		прокатування	1							
		16	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.09	Розміри розрізного і							
		17		чистового калібру	1							
		18	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.10	Коефіцієнти та параметри							
Инв. № дубл.		19		деформації	1							
		20	A4	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.11	Розміри елементів профілю	1						
		21										
Взам. инв. №		22										
		23										
		24										
Подп. и дата												
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КНУ.РБ.136.25.14 9с-12.В0 Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида					
		Разраб.	Копань						Лит.	Лист	Листов	
		Пров.	Чуденко						р	д	1	1
		Н.контр.	Чуденко						кафедра МЧМ/В група МТ-21-1			
		Утв.	Савельєв									

Копировал

Формат А4

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО ШВЕЛЕРУ....	9
1.1 Загальна характеристика швелера № 8.....	9
1.2 Матеріал для виготовлення швелера.....	12
1.3 Способи виготовлення швелерів.....	14
1.4 Загальна характеристика прокатного виробництва	16
1.5 Обладнання для прокатування.....	19
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШВЕЛЕРА № 8.....	31
2.1 Технологічні операції з прокатування швелера.....	31
2.2 Способи калібрування швелерів.....	33
2.3 Визначення кількості проходів для отримання швелера № 8.....	37
2.4 Розрахунок калібрування для швелера № 8.....	38
2.5 Термічна обробка швелерів.....	51
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.3			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Копань				ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						1	1
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв							

ВСТУП

Виробництво металу та металопродукції має дуже важливе значення для розвитку народного господарства, для насичення потреб людини. Металургійна промисловість здійснює випуск металів та сплавів. Від розвитку металургії цілком залежить розвиток машинобудівної та транспортної промисловості, будівництва, сільського господарства тощо.

Кінцева продукція металургійного виробництва – це готові металовироби, які отримують завдяки прокатному виробництву.

Прокатуванням виготовляється безліч виробів з металів та сплавів, які мають визначену форму та розміри, наприклад, сталеві квадратні профілі, круглі, трикутні, шестикутні, фасонні профілі, до яких належать швелери, кутники, рейки, балки тощо завдяки здатності оброблюваних матеріалів до пластичної деформації.

При прокатуванні початковий матеріал пластично деформується без зворотно змінюючи свою форму та розміри, при цьому відбувається зменшення поперечного перерізу матеріалу. Прокатне виробництво на теперішній час досягло значного розвитку, завдяки чому отримуються металовироби, що мають достатньо високу точність розмірів, мінімальні відхиленням за формою, покращення механічних властивостей за рахунок досягнення оптимальної внутрішньої структури матеріалу. В теперішній час використовуються досить високошвидкісне обладнання, що дозволяє отримати високу продуктивність процесу.

Але прокатне виробництво є доволі трудомісткий процес, де використовується безліч складних та важких операцій, що мають великі витрати енергії, велике навантаження на людину.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.ВС						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Копань			ВСТУП			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чубенко								1	2
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.		Чубенко									
Затвердив		Савельєв									

В роботі розглянуто процес виготовлення швелера гарячим прокатуванням. Таке виробництво потребує великої уваги через те, що швелер відноситься до складних фасонних профілів. Його форма складається з декількох елементів, які отримують при нерівномірній деформації під час прокатування. Для отримання точного профілю потрібно визначити умови деформації для кожного елементу профілю, тому потрібно уважно проаналізувати формозміни, що відбуваються при обтисненні металу при виготовленні швелерів. Особлива увага при цьому приділяється точному калібруванню профілю.

Мета роботи: проаналізувати умови деформації та визначити основні технологічні операції та калібрування для виготовлення швелера № 8.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати призначення, визначити матеріал та способи виготовлення швелеру № 8;
- дослідити умови деформації при прокатуванні швелеру;
- визначити початковий матеріал для виготовлення швелеру № 8;
- визначити основні технологічні операції для виготовлення швелеру № 8;
- визначити обладнання та інструмент для виготовлення швелеру № 8;
- розрахувати калібрування для отримання точного профілю швелера № 8.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.ВС	Аркуш
						2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО ШВЕЛЕРУ

1.1 Загальна характеристика швелера № 8

Швелер – це металовиріб, що належить до стандартного профілю, має П-подібну форму. Вигляд готового швелера показано на рис. 1.1.

Швелер – це дуже жорсткий та стійкий металовиріб, він призначений витримувати деформації згинання та стискання.



Рисунок 1.1 – Вигляд готового швелера

Сталевий швелер має стінку і дві полиці, які перпендикулярно розташовані по відношенню до цієї стінки, як показано на рис. 1.2. Таке виконання швелеру дозволяє йому витримувати вертикальні навантаження, що діють на нього.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Копань				АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОГО ШВЕЛЕРУ		
Перевірив	Чубенко						
Рецензент							
Н. контр.	Чубенко						
Затвердив	Савельєв						
					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1.1	22
					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		

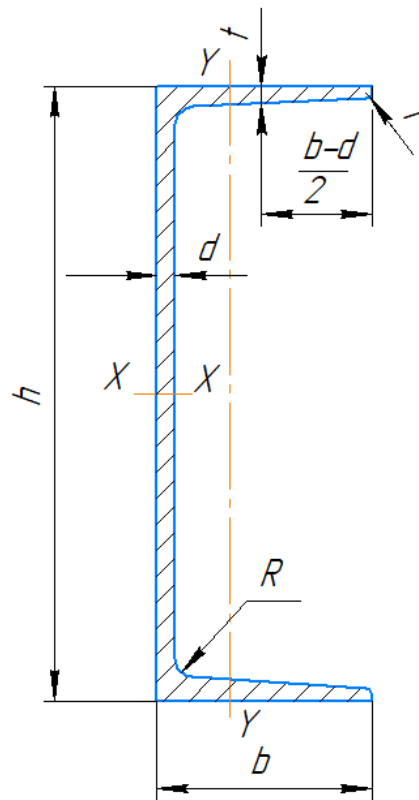


Рисунок 1.2 – Поперечний переріз швелера

Розміри швелера стандартизовані за номерами. Виготовляють швелери з номерами № 5-40. Номер швелера характеризує його висоту і відповідає розмірам від 50 до 400 мм.

Від номеру швелера залежить і його довжина. Так швелери, що мають № 5-8 отримуються довжиною від 5 м до 12 м, а швелери з № 10-18 постачаються довжиною від 5 м до 19, швелери з номерами 20-40 мають довжину від 6 до 19 м.

Використовують швелер в багатьох галузях народного господарства: в будівельній промисловості, машинобудуванні, вагонобудуванні, в автомобілебудуванні, верстатобудуванні, в багатьох сферах домашнього господарства.

Сталевий швелер використовують при виготовленні несучих металоконструкції через те, що він забезпечує надійне зміцнення опорних конструкцій, дозволяє створити надійна багатоповерхові будівлі різних споруд.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через те, що швелер має відмінні міцні властивості їх використовують для збільшення показників жорсткості різних споруд та будівель, застосовують для монтажу залізобетонних конструкцій. Профіль швелерів має здатність витримувати досить великі несучі навантаження, що діють на нього.

Швелер є незамінним матеріалом у тому випадку, коли є потреба використовувати надійне перекриття між поверхнями під час будівництва багатоповерхових будівель та споруд. Його застосовують для перекриття даху. Також швелер доречно використовувати для армування різних поверхонь для їх зміцнення. Швелер з успіхом використовують для будівництва різних прибудов, які розташовують біля основних споруд.

Сталеві швелери з успіхом використовують в якості крокв у дахах. Дерев'яні балки можуть бути посилені сталевими швелерами з метою надання додаткової міцності та жорсткості при спорудженні будівель.

В автомобілебудуванні сталевий швелер широко використовують в якості опор для автомобільних рам, використовують його для виготовлення напрямних основної рами. У цьому випадку до матеріалу швелера пред'являють високі вимоги до міцності.

Швелер з успіхом використовують як опору в радіаторі. Сталевий швелер можна використовувати для будівництва ложбин води, для створення лівньовок, водовідведення.

В вагонобудуванні сталевий швелер використовують як складові конструкції причепів. Їх використовують для створення направляючих рам, що застосовуються для транспортного засобу, який потрібно буксувати. Також їх використовують для створення зовнішніх частин причепа та підлоги.

На параметри жорсткості та стійкості при статичних та динамічних деформаціях суттєво впливає конфігурація внутрішніх граней швелера. За конструктивним виконанням швелер випускається з паралельними гранями полиць та з ухилом внутрішніх граней.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При створенні конструкцій замінювати швелер з паралельними гранями полиць на профіль, що має похилі грані без виконання відповідних розрахунків суворо забороняється через те, що така зміна може призвести до того, що зменшиться міцність конструкції та службові властивості устаткування, або може виникнути необґрунтоване подорожчання конструкції.

Швелер № 8 має наступні розміри:

- висота – 80 мм;
- ширина – 40 мм;
- товщина стінки – 4,5 мм;
- товщина полиці – 7,4 мм;
- довжина від 2 до 12 м;
- вага 1 п/м – 7,05 кг;
- радіус закруглення полиць – 3,5 мм;
- внутрішній радіус закруглення – 6,5 мм;
- площа поперечного перерізу 8,92 см².

Сталевий швелер № 8 широко використовується при посиленні несучих стін та перекритті, необхідний при створенні каркасів будівель, що мають невеликі розміри, наприклад, для спорудження гаражів, невеликих прибудов. Швелер № 8 широко використовується при облаштуванні перекриття, при створенні перемичок у хвіртках та віконних отворах, застосовується при створенні рекламних конструкцій, рам та пандусів.

Транспортування швелера № 8 здійснюють пачками, між якими укладають бруски, що виконані з дерев'яного матеріалу. Це обмежує пошкодження його поверхні.

1.2 Матеріал для виготовлення швелера

Матеріал для виготовлення швелера № 8 низьковуглецева низьколегована конструкційна сталь марки 09Г2С. Така сталь відноситься до якісних залізобетонних сталей.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сталь 09Г2С – це низьколегована конструкційна сталь, яка широко використовується в різних галузях промисловості. Така сталь має досить високу міцність, достатньо добру зварюємось, відмінну стійкість до низьких температур.

Сталь має вміст вуглецю близько 0,09-0,12 %. Цей показник є відносно низьким, але він цілком достатній для забезпечення потрібної міцності матеріалу. Підвищенню міцності сприяють наявність в цій сталі марганцю та кремнію.

Сталь 09Г2С широко застосовується для виготовлення виробів, що працюють в дуже складних умовах, включаючи низькі температури. Можуть працювати в нафтогазовій промисловості, суднобудуванні, будівництві мостів та інших металоконструкціях.

Однією з ключових переваг сталі 09Г2С є її відмінна зварюваність, що дозволяє використовувати її для виготовлення складних конструкцій без ризику утворення тріщин або інших дефектів. Також ця сталь ефективно протистоїть корозії, що робить її дуже затребуваною для роботи в агресивних середовищах. Цей матеріал також дозволяє вироби використовувати в умовах високих температур. Така сталь має універсальне призначення. Матеріал відрізняється поєднанням характеристик міцності і пластичності, відмінно витримує статичні та ударні навантаження.

Хімічний склад цієї сталі наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С

Fe	C	Ni	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	V
96-97	0,12	<0,3	0,5-0,8	1,3-1,8	<0,035	<0,03	<0,3	<0,3	<0,12

Механічні характеристики матеріалу:

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

1.3 Способи виготовлення швелерів

Сучасні технології дозволяють виготовляти швелер двома способами:

- гарячою обробкою тиском;
- холодною деформацією.

На спосіб виготовлення виробу має суттєвий вплив особливості його геометричної форми та технічні характеристики, до яких відносять наступні:

- міцність конструкції;
- стійкість до її крученню та вигинанню;
- жорсткість конструкції.

При гарячій обробці металів тиском використовується гаряче прокатування (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Схема гарячого прокатування швелера

На рис. 1.3 показано знаходження нагрітої рейки до температури близько 1000°C на рольгангах прокатного стану, де відбувається її переміщення.

Під час гарячого прокатування матеріал деформується завдяки своїй здатності до пластичної деформації, в результаті чого виріб отримує потрібну форму та розміри. Також пластична деформація забезпечує отримання потрібної

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структури металовиробу, яка характеризується покращеними службовими характеристиками та властивостями міцності.

Переваги гарячого прокатування швелера у тому, що він має достатньо високу міцність та жорсткість, у нього підвищена стійкість до осьових напружень, підвищена стійкість до деформації, має добру несучу здатність. Такі властивості дозволяють використовувати виріб при значних динамічних та статичних навантаженнях. Існує тільки стандартний ряд розмірів.

При використанні методу холодної деформації використовується згинання профілю в холодному стані на профілезгинаючих верстатах. Початковим матеріалом слугує холодно- або гарячекатана сталь. Холодний спосіб обробки металів тиском враховує наявність термічних напружень в структурі металу, які потрібно знизити. Через це технологія виготовлення гнутого профілю має свої особливості, яка характеризується наступним:

- зовнішні кути профілю повинні мати округлу форму;
- товщина повинна бути однаковою за усім поперечним перерізом профілю;
- присутні низькі характеристики міцності та високі – якості поверхні;
- мають широкий розмірний ряд.

Відповідно до стандарту гнутий швелер може мати три класи точності:

- А – високій;
- Б – підвищений;
- В – звичайній.

З метою виготовлення швелера № 8 надаємо методу гарячого прокатування на прокатному стані, що дасть змогу отримати точний профіль і використовувати його майже в усіх галузях народного господарства. Такий спосіб дозволить отримати точні розміри швелера № 8. Конструкція його буде міцна та надійна.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.7
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Загальна характеристика прокатного виробництва

Для отримання швелеру № 8 будемо використовувати процес прокатування в гарячому стані.

Прокатування – це вид обробки металів тиском під час якого початковий матеріал завдяки силам тертя втягується в зазор між прокатним валками, які його пластично деформують. Прокатування можливо тільки тих матеріалів, які здатні до пластичної деформації, під час якої він змінює свою початкову форму та розміри.

При прокатуванні вихідна заготовка втягується в зазор, що знаходиться між прокатними валками, які обертаються.

Прокатуванням можна виготовляти безліч профілів, які можна поділити на чотири групи:

- сортовий прокат (круглого, квадратного, шестикутного, трикутного поперечного перерізу, кутники, швелери, балки, рейки);
- листовий прокат (товстолистовий, тонколистовий);
- трубний прокат (безшовні труби, зварні труби, холоднодеформовані);
- спеціальні профілі (зубчасті колеса, бандажі, свердла, спіральні профілі).

Швелер № 8 відноситься до сортового прокату складної форми.

В залежності від розташування і рухів прокатних валків та заготовки процеси прокатування класифікують на поздовжнє, поперечне, поперечно-гвинтове.

При поперечному прокатуванні (рис. 1.4) осі прокатних валків розташовано паралельно між собою і паралельно до осі оброблюваного матеріалу. Прокатні валки обертаються в один бік, оброблюваний матеріал обертається між ними в зворотному напрямку. Такий вид прокатуванні використовується для оброблення виробів – тіл обертання: валів, осей, втулок, зубчастих коліс.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

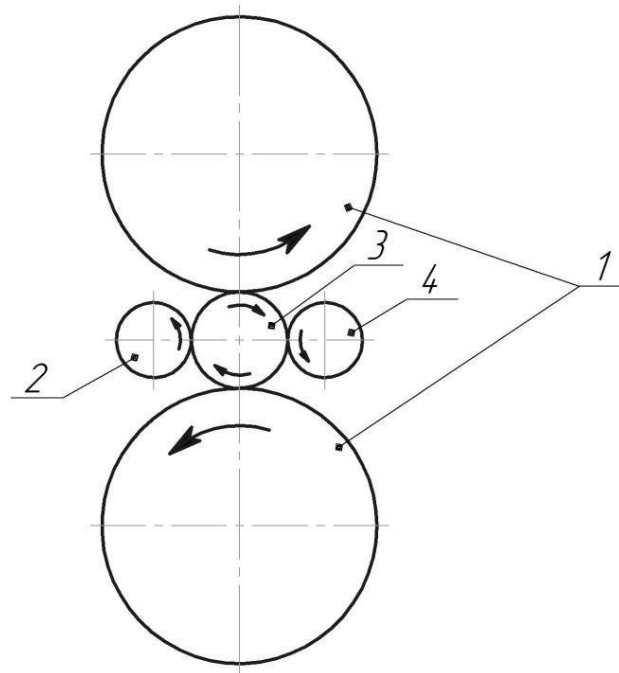


Рисунок 1.4 – Схема поперечного прокатування: 1 – прокатні валки, 2, 4 – підтримуючі ролики; 3 – оброблюваний матеріал

При поперечно-гвинтовому або косому прокатуванні (рис. 1.5) осі прокатних валків розташовано під деяким кутом між собою ($7-12^\circ$). Вісь оброблюваного матеріалу також має кут нахилу до прокатних валків, які обертаються. Заготовки про прокатування має обертальний та поступальний рух. Це забезпечує її рух по гвинтовій лінії. Таким способом виготовляють кулі, свердла, виконують прошивання суцільного матеріалу при виготовленні, наприклад, безшовних труб.

При поздовжньому прокатуванні осі прокатних валків розташовано осі оброблюваної заготовки (рис. 1.6).

Прокатні валки обертаються в протилежних напрямках, оброблюваний матеріал рухається поступово. Відбувається його обтиснення та подовження. Цей вид обробки металів тиском використовується в більшості випадків: для виготовлення сортових профілів, листового матеріалу, в трубному виробництві.

Для виготовлення швелера пропонується використовувати поздовжнє прокатування, яке забезпечити отримання точного профілю з потрібними розмірами та якості.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

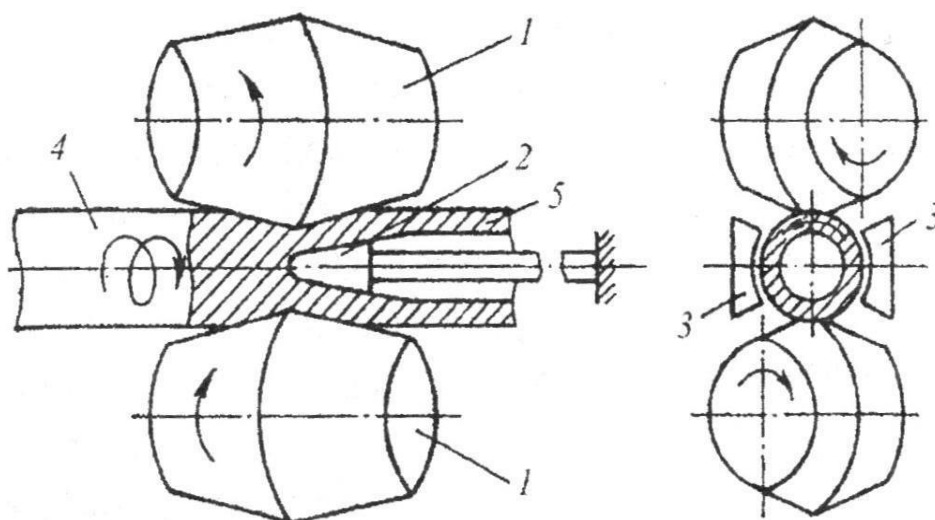


Рисунок 1.5 – Схема поперечно-гвинтового прокатування на прошивному стані: 1 – валки; 2 – оправка; 3 – лінійки; 4 – суцільна заготовка, 5 – формування отвору в гільзі

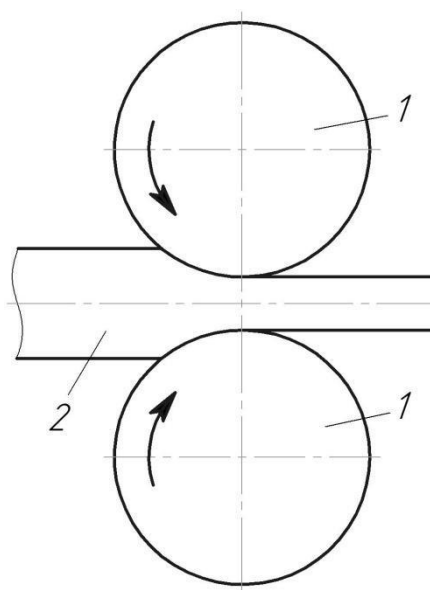


Рисунок 1.6 – Схема поздовжнього прокатування:

1 – прокатні валки; 2 – оброблюваний матеріал

Зазор між прокатними валками може залишатися постійним, а може бути змінним. При постійному зазорі процес прокатування має назву стаціонарного процесу. При змінному зазорі відбувається періодична прокатка. Виготовлення

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швелерів відбувається при постійному зазорі, тобто здійснюється стаціонарний процес прокатування.

В залежності від температури прокатування, процес може відбуватися як в гарячому стані, так і в холодному. Для виготовлення швелера використовують гаряче прокатування, де початковий матеріал нагрівають перед прокатуванням до температури, що вище за 1000°C в залежності від марки оброблюваного матеріалу. Нагрівання відбувається з метою зменшення оброблюваного матеріалу опору пластичної деформації.

1.5 Обладнання для прокатування

Для прокатування використовується прокатне обладнання, що має назву прокатного стану. Прокатний стан – це сукупність машин та механізмів, що забезпечують отримання заданого виробу, потрібного профілю та розмірів завдяки здатності матеріалів до пластичної деформації.

Прокатні стани класифікують декількома ознаками:

- за призначенням;
- за кількість робочих клітей;
- за кількістю робочих валків у прокатній кліті;
- за принципом дії.

За призначенням прокатні стани класифікують в залежності від продукції, яку вони призначені виготовляти. Існують обтискні прокатні стани, сортові, листові, трубопрокатні та спеціальні. Обтискні прокатні стани використовують для виконання великих обтиснень при виготовленні блюмів, слябів.

Сортіві прокатні стани використовують для прокатування сортових профілів. Відповідне калібрування прокатних валків забезпечує виготовлення потрібного профілю та розмірів виробу. В залежності від розмірів їх поділяють на крупносортові, середньосортіві, дрібносортові та дротові прокатні стани.

Для виготовлення листів використовують листові прокатні стани. Товстий лист виготовляється в гарячому стані з попереднім нагріванням, тонкий лист виготовляється в холодному стані, тобто без нагрівання.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.11

Трубопрокатні агрегати використовують для виготовлення труб.

До спеціальних прокатних станів відносять колесопрокатні тощо.

Для виготовлення швелерів використовують сортові прокатні стани.

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

Реверсивні прокатні стани здійснюють як прямий, так і зворотній рух. Швидкість таких прокатних станів не висока і продуктивність не велика. До таких прокатних станів відносять блюмінги, слябінги, деякі листові.

Безперервні прокатні стани самі сучасні. Вони мають достатньо високу швидкість обробки та продуктивність. До таких станів відносять сортові, деякі листові.

Напівбезперервні прокатні стани мають у своєму складі безперервну прокатні групу та реверсивну. До таких прокатних станів відносять листові прокатні стани, крупносортові.

За кількістю робочих клітей прокатні стани поділяються на одноклітьові, двоклітьові та багатоклітьові. Одноклітьові та двоклітьові прокатні стани, як правило, здійснюють реверсивний рух, багатоклітьові прокатні стани – безперервний рух.

За кількістю робочих валків – двовалкові, тривалкові, чотиривалкові, шестивалкові, дванадцятивалкові.

Двовалкові прокатні стани – це сортові, деякі листові, деякі трубопрокатні (рис. 1.7, а).

Тривалкові прокатні стани (рис. 1.7, б) – це листові, деякі трубопрокатні.

Чотиривалкові (рис. 1.7, в), шестивалкові, дванадцяти валкові та двадцятивалкові прокатні стани – це листові прокатні стани. Вони мають у своєму складі два робочих валка, а останні – опорні. Чим більша кількість прокатних валків – тим більша жорсткість робочої кліті.

До складу прокатного стану входить різне обладнання, яке можна поділити на два види: основне обладнання та допоміжне.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.12

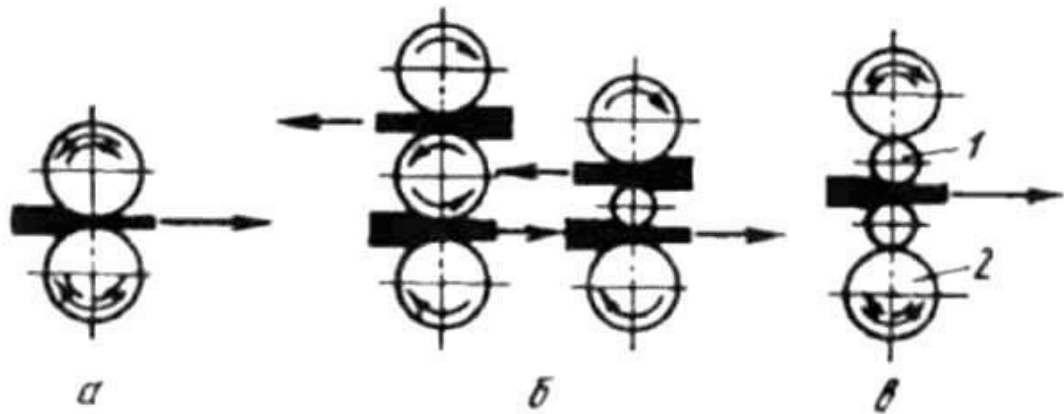


Рисунок 1.7 – Схема розташування прокатних валків: *а* – двовалкові прокатні стани; *б* – тривалкові; *в* – чотиривалкові

До основного обладнання прокатного стану відносять ті машини та механізми, що виконують пластичну деформації початкових матеріалів, які постачаються до прокатного стану. Завдяки здатності матеріалу до пластичної деформації відбувається його безповоротна зміна форми та розмірів. Основне обладнання прокатного стану розташовують по лінії, що має назву головної лінії прокатного стану (рис. 1.8).

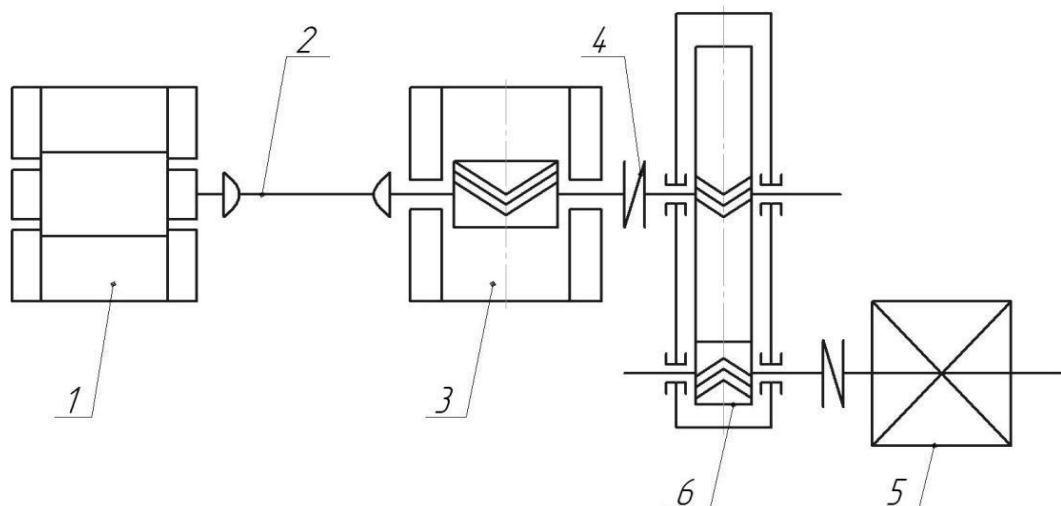


Рисунок 1.8 – Схема головної лінії прокатного стану: *1* – станина; *2* – шпindel з муфтами; *3* – шестеренна кліть; *4* – універсальні шпинделі; *5* – головний електродвигун; *6* – редуктор

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До допоміжного обладнання відносять ті машини та механізми, що призначені обслуговувати основне обладнання прокатного стану, але самої пластичної деформації в них не відбувається. Вони виконують допоміжні операції, що необхідні для отримання виробу потрібної форми, розмірів та якості.

До основного обладнання відносять наступні машини та механізми: робочі кліті, шестеренна кліть, корінна муфта, шпіндельна муфта, головна муфта, моторна муфта, корінна муфта, шпинделі, електричний двигун та редуктор.

Основний механізм прокатного стану, де здійснюються процеси деформації матеріалу при обробці – це робоча кліть прокатного стану (рис. 1.9). Вона складається з двох станин та прокатних валків (рис. 1.10).

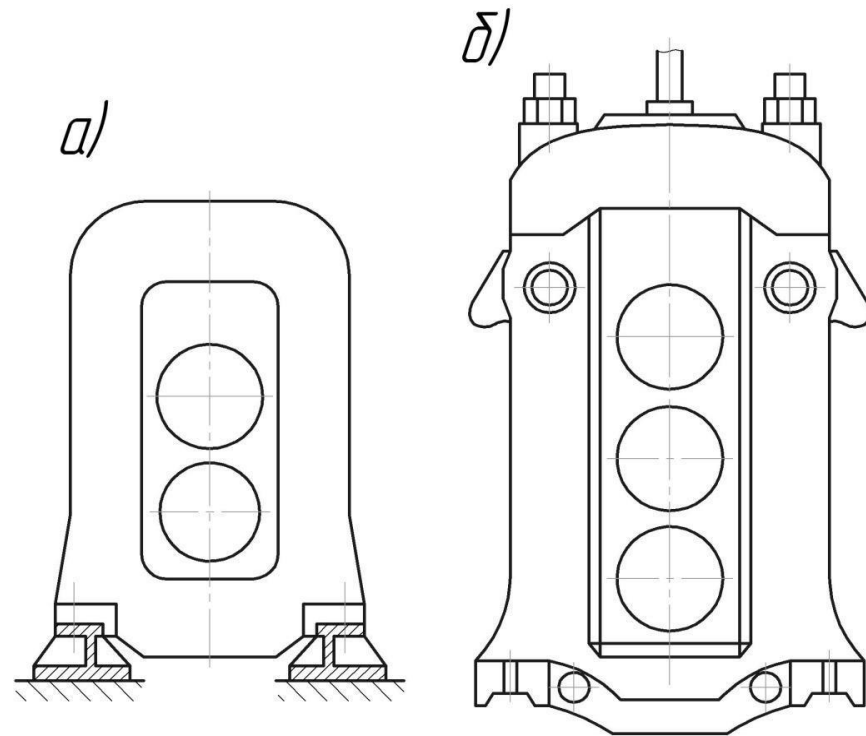


Рисунок 1.9 – Робоча кліть прокатного стану:

a – закритого типу; *б* – відкритого типу

Станини можуть бути закритого (рис. 1.9, *a*) та відкритого типу (рис. 1.9, *б*). Станини закритого типу виконують у вигляді рами. Вони витримують більш високі зусилля при обробці, великі навантаження, але менш зручні в

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обслуговуванні через те, що ускладнення перевалка прокатних валків у таких станинах, обмежені розміри прокатних валків за шириною.

Станини відкритого типу витримують менші зусилля, але зручніші в обслуговуванні, не обмежені розмірами прокатних валків.

Робочі валки мають бочку діаметром D та довжину L , дві опорні шийки та хвостовик. Розміри прокатних валків та їх кількість визначають тип кліті прокатного стану.

Робоча кліть має прокатні валки, які є головним інструментом прокатного стану (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд прокатного валка

З рисунку видно, що прокатний валок складається з бочки, що має калібровані вирізи, двох цапф, які служать для встановлення їх у підшипники. Ці цапфи мають назву шийок прокатного валка, та з привідного кінцю, що служить для передачі крутячого моменту.

На прокатні валки діють усі навантаження, що відбуваються під час обробки на прокатному стані, тому до його міцності та стійкості пред'являється особлива увага. Вони працюють у дуже важких умовах, що викликані пластичною деформацією при обтисненні оброблюваного матеріалу, на них впливає зміна температури обробки, швидкості прокатування, коефіцієнту тертя. Такі впливи викликають необхідність у перевірки прокатних валків на міцність, де потрібно перевіряти кожен частину прокатного валку окремо.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип прокатного стані визначається діаметром прокатного валка, його довжиною та кількістю.

Особливу уваги приділяють матеріалу виготовлення прокатних валків. В залежності від його призначення використовують чавун або сталь, у випадку коли потрібна висока твердість прокатного валку, для його виготовлення використовують карбідовольфраміві сплави.

Чавунні прокатні валки мають високу твердість та зносостійкість. Але міцність їх невисока, вони мають здатність до розтріскування.

Сталеві валки мають меншу твердість, а більшу пластичність. Їх виготовляють литими та кованими з конструкційних вуглецевих та легованих сталей. Для цього використовують марки сталей 50, 55, 55ХН, 60ХН тощо.

На шийки прокатних валків надівають підшипники і встановлюють їх на станину, де вони служать для передачі зусилля прокатування від валків на станину. За допомогою підшипників прокатні валки утримуються в робочому положенні з метою виконання обтиснення на задану величину.

Для розташування підшипників використовуються спеціальні подушки, які виконані у вигляді спеціальних виливків потрібної форми. Через подушки виконується передача зусилля прокатування, що надходить від прокатних валків до робочих клітей прокатного стану.

Подушки не повинні переміщуватися в напрямку горизонтальних осей прокатних валків. Для запобігання такого переміщення використовують спеціальні регулюючі планки та затиски, які розташовано у пазах подушок. З метою компенсації температурного розширення під час роботи прокатних валків, подушки закріплюють тільки з одного боку станини, інший бік станини залишається вільним.

Механізми встановлення прокатних валків дозволяють урегулювати їх положення. Ці механізми також відіграють роль натискних та врівноважуючих устаткувань.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Горизонтальне переміщення прокатних валків здійснюється натискним механізмом, який в свою чергу відіграє роль і врівноважуючого механізму та використовується з метою забезпечення потрібного зазору між прокатними валками. Такі механізми забезпечують окреме регулювання кожної подушки станини.

Для тихохідних прокатних станів, які мають не велику швидкість переміщення, використовують тихохідні натискні механізми, що мають привід від електричного двигуна через черв'ячні передачі.

Останнім часом все ширше використовують гідравлічні або комбіновані натискні пристрої. Вони мають перевагу, яка складається у тому, що ці пристрої мають не велику інертність та високу точність встановлення прокатних валків. Ці пристрої можуть витримувати дуже суттєві зусилля прокатування, особливо це важливо при великих обтисненнях у чорнових прокатних клітках.

Врівноважуючи пристрої забезпечують встановлення вірного положення прокатних валків. Застосовують пружинні, вантажні, гідравлічні врівноважуючи пристрої. Пружинні пристрої використовують тоді, коли маса прокатних валків, що повинна врівноважуватися, не велика, наприклад, при врівноваженні у дротових або сортових прокатних станах. Вантажні пристрої для врівноваження положення прокатних валків використовують у тому випадку, коли потрібно врівноважувати крупногабаритні валки, де повинні виконуватися великі переміщення.

Випуск швелера не можливо без допоміжного обладнання прокатного стану. Таке обладнання допомагає виконувати основні операції, що пов'язані з пластичною деформацією, але самої пластичної деформації на цьому обладнанні не виконується.

Усі допоміжне обладнання прокатного цеху можна поділити на дві основні групи:

- 1) транспортуюча група допоміжного обладнання;
- 2) обробна група.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою переміщення матеріалу як вздовж, так і в поперек прокатного цеху та підприємства в цілому використовують транспортуюче допоміжне обладнання. Таке обладнання використовується для обслуговування прокатного стану, здійснює подачу металів та сплавів до робочих клітей прокатного стану, виконує його кантування.

До транспортуючого обладнання відносять електричні мостові крани, зливковози та рольганги, холодильники, шлепери, підйомно-похитні столи, маніпулятори та кантувачі тощо.

Обробне допоміжне обладнання пов'язано з виконанням операції, що забезпечують підвищення якості як зовнішньої, так і внутрішньої поверхні матеріалу, що оброблюється. Для нагрівання вихідного матеріалу перед гарячою прокаткою використовують різне нагрівальне обладнання. Для його охолодження після обробки використовують холодильники. Застосовують обробне обладнання для розрізання розкатів на мірні довжини, для аварійного розрізання під час прокатування. Для цього використовують ножиці та пили.

Для переміщення великогабаритних зливків використовують зливковози.

Для переміщення початкового матеріалу або розкатів до робочих валків прокатного стану, приймання обробленого матеріалу з прокатних валків, переміщення розкатів до ножиць та пилок для розрізання, до правильних машин для правлення використовують рольганги. Рольганги мають суттєву масу, яка складає 30 % від маси усього прокатного обладнання та мають значну довжину з метою транспортування до усіх механізмів прокатного стану.

Усі рольганги можна поділити на два тип:

- транспортуючі, які служать саме для переміщення матеріалу;
- робочі, які служать для направлення початкового матеріалу у робочі кліті прокатного стану та його приймання з робочих клітей. З цією метою робочі рольганги розташовують безпосередньо у робочій кліті прокатного стану.

Холодильники використовують для охолодження матеріалу після прокатування. Холодильники слугують сполученою ланкою між прокатним станом та машинами і механізмами для обробки матеріалів. Також холодильник

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовують для виконання наступних допоміжних операцій: приймання виробів після прокатування, їх охолодження, передача матеріалів на відповідний рольганг, транспортування прокатаних виробів до обробних машин та верстатів.

В прокатних цехах використовують два типу холодильника: роликові та рейкові. Більш розповсюдженими є роликові холодильники, на яких матеріал охолоджується на рухомих зубчастих рейках, що здійснюють коливально-поступальний рух. Вони мають перевагу через те, мають можливість регулювання положення розкатів під час їх охолодження.

Шлепери застосовують з метою переміщення оброблюваних матеріалів поперек прокатного цеху. Вони здійснюють переміщення матеріалів від одного рольгангу до іншого, здійснюють переміщення матеріалів до прибирального карману або у сусідній проліт цеху.

Шлепери можуть бути двох видів: ланцюгові та канатні. Ланцюгові шлепери застосовують для переміщення матеріалів під час гарячого прокатування. Такий шлепер має досить високу теплостійкість в порівнянні з канатним шлепером, що з успіхом використовується при транспортуванні гарячого металу та сплаву. Також такі шлепери здатні витримувати велике навантаження, що виникає при транспортуванні металопродукції. Але ланцюгові шлепери мають суттєвий недолік через те, що вони здатні рухатися тільки в один бік. Канатні шлепери здатні рухатися в обидва боки на відміну від ланцюгових, що робить їх більш зручними та маневреними.

Для забезпечення пересування оброблюваного матеріалу по рольгангам в паралельному напрямку з метою подальшого його спрямування у прокатні валки використовують маніпулятори. Таке устаткування особливо важливо застосовувати на обтискних прокатних станах, товстолистових, заготівельних, при прокатуванні крупногабаритних виробів.

Для здійснення рівномірного всебічного обтиснення потрібно здійснювати повертання оброблюваного матеріалу навколо своєї осі на визначений кут. З цією метою використовують кантувачі, які здатні повертати матеріал на кут 90°, 45°, 60°, 30° в залежності від призначення.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.19

При прокатуванні матеріалів на листопрокатних станах, на сортових тривалкових, на тонколистових двовалкових прокатних станах застосовують підйомно-похитні стали, які встановлюють з обох боків робочої кліті прокатного стану.

Після прокатуванні, отримані розкати розрізають. Для того, щоб розрізати матеріал на мірні довжини використовують ножиці з паралельними ножами. Такі ножиці призначено як для гарячого, так і для холодного розрізання. Для них присутній як верхній, так і нижній різ. Ножиці з верхнім різом мають більш просту конструкцію. При розрізанні з метою перешкоджання руху смуги використовують різні притискаючи устаткування, які опускають на оброблюваний матеріал та закріплюють нерухомо.

Також широко використовують в прокатних цехах для розрізання оброблюваного матеріалу ножиці, які мають похилі ножи. Такі ножиці мають назву гільйотинних. Вони мають два виконання: закритого та відкритого типу.

Для розрізання сортового прокату більшим попитом користуються ножиці відкритого типу. Такі ножиці мають короткі ножі та одну станину, в якій розташовано бічний зазор через який надходить матеріал, що розрізається. При розрізанні сортового матеріалу дуже важливо те, щоб форма ножів співпадала з формою профілю поперечного перерізу матеріалу, який розрізається.

У разі необхідності розрізання матеріалу, який рухається на великій швидкості застосовують летючі ножиці. Ці ножиці за конструкцією поділяються на наступні види: планетарні, барабанні, маятникові, важільно-кривошипні тощо.

Планетарні летючі ножиці застосовують у випадку розрізання заготовок та сортових профілів. Такі ножиці мають швидкість різі 3,1 м/с або 7,0 м/с. вони також здатні працювати з пропуском різі.

Барабанні летючі ножиці використовують для розрізання в гарячому стані широких смуг, що мають ширину більше 30 мм на більш вузькі смуги. Вони використовуються як для розрізання в гарячому стані дрібних сортових профілів, так і для розрізання в холодному стані тонких смуг, що мають товщину меншу за

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 мм. У цих ножиць суворо визначені рухи як за кожним ножом, так і за групою ножів. Під час розрізання з використанням таких ножиць смуга повинна виконувати безперервний рух. Матеріал для розрізання на таких ножицях подається за допомогою подавальних роликів при постійній швидкості. Під час розрізання відбувається зіткнення верхнього та нижнього барабанів ножиць. Барабанні ножиці досить надійні в експлуатації та мають просте конструктивне виконання. Вони виконують розрізання зі швидкістю, яка дорівнює 15 м/с.

Дискові ножиці використовують для розрізання широких смуг на більш вузькі.

З метою розрізання профільних прокатних виробів на мірні довжини використовують дискові пили. Вони забезпечують досить високу якість розрізання.

Усі дискові пили поділяють на дві групи: для гарячого розрізання і для холодного розрізання. Відрізняються вони профілем дисків: для гарячого розрізання використовують зубчасті диски, для холодного – гладкі диски. У тих пилок, де присутні гладкі диски, розрізання здійснюється за рахунок розплавлення матеріалу під дією сил тертя, що створюється через велику швидкість обертання.

Після прокатування відбувається правка отриманих виробів з метою покращення якості поверхні. Суть правки полягає у вигині розтягненням або у прокатуванні з дуже невеликими обтисненнями. Для виконання процесу правки використовують правильні машини.

Правку можна виконувати як в холодному, так і в гарячому стані. Для правки широко застосовують наступне обладнання: роликотправильні машини, горизонтальні та вертикальні правильні преси.

Для своєчасного усунення дефектів використовують різні агрегати обробки прокату. Для отримання точних розмірів за довжиною та утворення отворів в швелерах використовують різні механообробні верстати, які забезпечують фрезкування торців, процеси шліфування поверхні, свердління отворів.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1.21

Для покращення внутрішньої структури отриманого прокатного профілю виконують термічну обробку. в агрегатах для термічної обробки виконують наступні операції: нормалізація, загартування тощо. В агрегатах для термічної обробки здійснюється нагрівання металу та сплаву до потрібної температури, його витримка з наступним охолодженням. Такі дії забезпечують отримання потрібної структури металовиробів.

Готовий прокат, такий, як смуга, стрічка, штрипс, змотують у рулони. А готовий прокат, такий, як катанка, дрібносортні профілі змотують у бунти. Для цього використовують моталки. Широко застосовують барабанні моталки. Вони бувають двох видів: з обертовим бунтом, і нерухомим бунтом. Моталки першого типу застосовують для змотування катанки на швидкості до 10 м/с.

Таким чином, було проаналізовано призначення швелера, визначено особливості його будови запропоновано матеріал для його виготовлення.

В результаті аналізу способів виготовлення швелера надано перевагу прокатуванню в гарячому стані з використанням прокатного обладнання безперервної дії, що дозволить виготовити якісний профіль з максимальною продуктивністю процесу. Визначено будову прокатного стану, його склад, основне та допоміжне обладнання прокатного стану, його принцип дії.

Для виготовлення швелерів перевага надається рейкобалковим прокатним станам. Але вони переважно використовуються для виготовлення швелерів для більш крупних розмірів, тому зупинимся на безперервному дрібносортовому прокатному стані.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.01.АТВСШ	Аркуш
						1.22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШВЕЛЕРА № 8

2.1 Технологічні операції з прокатування швелера

Технологія виготовлення швелера прокатуванням складається з наступних операцій:

1. Підготування вихідного матеріалу для прокатування, його огляд, зачищення, видалення поверхневих дефектів при наявності, розрізання на мірні довжини. В якості вихідного матеріалу будемо використовувати безперервно-литі заготовки, що мають поперечний розмір 75×60 мм. Така заготовка буде отримана на радіальній машині безперервної розливки сталі, що має відповідний отвір на виході з кристалізатору, який дозволить отримати потрібний розмір.

2. Нагрівання безперервно-литих заготовок до температури, яка дорівнює 1180-1200°C. у випадку, якщо температура нагрівання буде вищою, то може відбутися утворення крупнозернистої структури металу, що веде до зниження пластичних властивостей. Відбувається процес нагрівання в методичних печах з торцевими посадом та видачею заготовель.

3. Завантаження нагрітих заготовок на підводячий рольганг і транспортування на ньому до чорнових клітей прокатного стану.

4. Прокатування в чорнових клітях прокатного стані, які є обтискними, що забезпечують великі обтиснення.

5. Прокатування в проміжних клітях, які поступово формують профіль швелера.

6. Прокатування в чистових клітях прокатного стану, що формують кінцевий профіль точної форми та розмірів з мінімальними відхиленнями.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ						
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШВЕЛЕРА №8			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Копань										
Перевірив	Чубенко									2.1	21
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1			
Н. контр.	Чубенко										
Затвердив	Савельєв										

7. Розрізання готової продукції на мірні довжини, які дорівнюють 12 м. Для цього застосовують пили гарячого розрізання. При розрізання швелерів потрібно враховувати припуск на усадку металу за довжиною під час його охолодження і припуск на виконання механічної обробки – фрезування торців швелеру.

8. Правильні операції виконуються на роликових правильних машинах.

9. Охолодження швелеру на виконується на шлеперних холодильниках. Перевага надається уповільненому охолодженню та ізотермічній витримці швелеру. Суть уповільненого охолодження у тому, що відбувається охолодження на холодильнику до появи магнітних властивостей матеріалу швелера, але температура не повинна бути нижчою за 450-500°C. Після охолодження на холодильнику швелер магнітними кранами завантажують у колодязі, де відбувається повільне охолодження до температури 100-150°C тривалістю 6-8 годин. Далі відбувається витримка в колодязі при відчиненій кришці тривалістю 30 хвилин. Після цього швелери відвантажують.

10. Виконання термічної обробки швелерів забезпечує покращення їх властивостей. Виконується термічна обробка – нормалізація, яка складається у повторному нагріванні охолоджених швелерів з наступним охолодженням на спокійному повітрі. Нормалізація забезпечує зменшення характеристик міцності і збільшення показників пластичності. З метою досягнення найкращих показників міцності та пластичності виконують термічну обробку за наступною схемою: ізотермічна витримка, наступне нагрівання, закалювання та відпущення.

11. Виконується правка швелерів у холодному стані на роликових правильних машинах.

12. Відбувається фрезування та свердління готових швелерів на фрезувальних та свердлильних механообробних верстатах.

13. Приймання швелерів здійснюється на інспекторних стелажах, де відбувається остаточний контроль виробу.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.2

2.2 Способи калібрування швелерів

Відомо декілька способів калібрування прокатних валків для отримання швелерів. До них відносять:

- калібрування балочним методом (рис. 2.1, *а*);
- калібрування зі збільшеним ухилом фланців та вигнутою станкою, як показано на рис. 2.1, *б*;
- використання методу згинання фланців (рис. 2.1, *в*);
- розгорнуте калібрування (рис. 2.1, *г*).

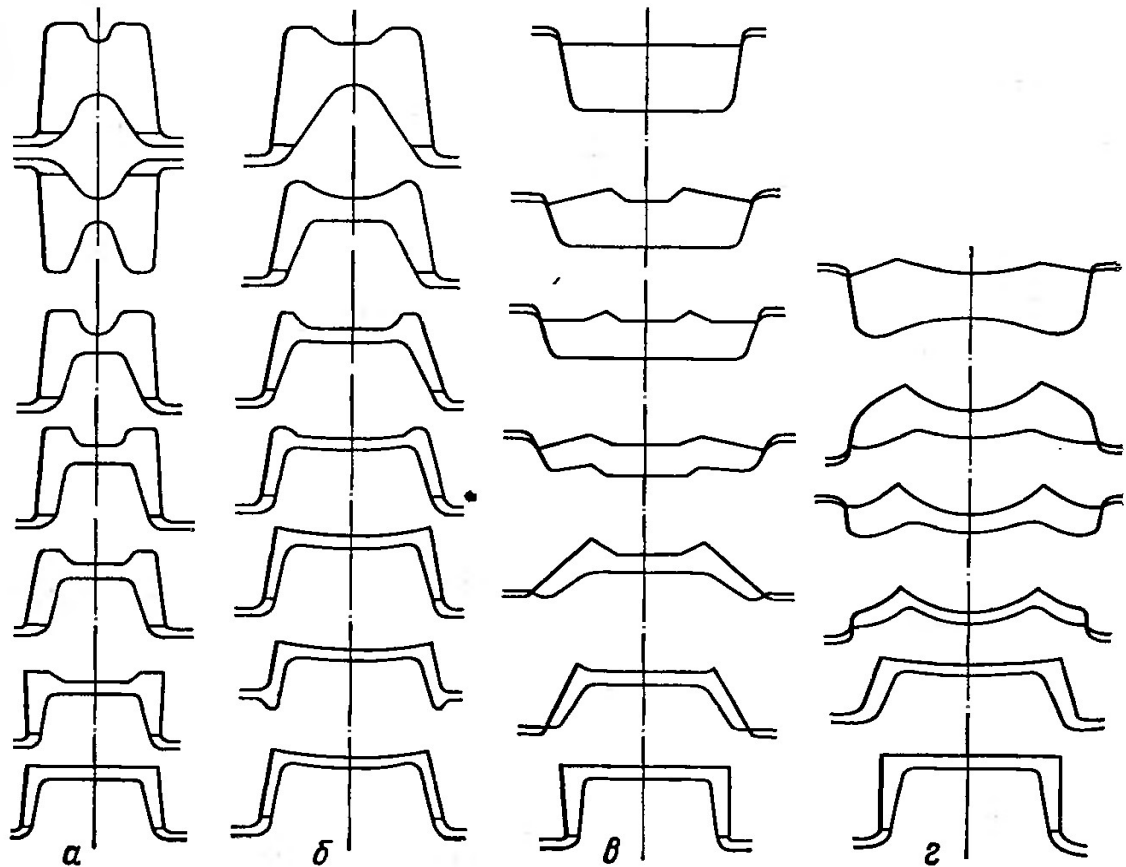


Рисунок 2.1 – Способи прокатування швелерів

Кожен з цих методів має свої особливості. При калібруванні балочним методом створюються різні та декілька перших чорнових калібрів, які можна використовувати для прокатування швелерів та для отримання двотаврових балок, що мають однакові номери. Застосування такого

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

калібрування дозволяє скоротити парк прокатних валків та час на перевалку при переході з прокатування одного профілю на інший. За цим методом передбачають в чорнових калібрах наявність відкритих та закритих фланців. За цим методом створюють дійсні фланці, де створюються фланці швелеру та лживі фланці, які призначено для зберігання температури кутів швелеру. Лживі фланці зменшуються з наближенням до чистового калібру. В чистовому калібрі вони взагалі відсутні. Балочний метод разом з перевагами має і недолік, який полягає у тому, що присутній малий ухил зовнішніх фланців. Таке явище ускладнює процес переточування калібрів. Малий випуск калібру веде до збільшення зношення прокатних валків. Присутність лживих фланців в чорнових калібрах викликає збільшення витрати металу, збільшення зусиль на пластичну деформацію, що веде до збільшення витрат енергії.

При застосуванні методу калібрування зі збільшеним ухилом фланців та вигнутою станкою лживі фланці роблять значно менших розмірів. При використанні такого методу, відбувається більш інтенсивна деформація матеріалу, що дозволяє скоротити кількість проходів. Збільшується випуск каліру, що забезпечує зменшення його зношення.

При використанні калібрування методом згинання фланців, відбувається прокатування спочатку в калібрах смугового типу, а потім в фасонних калібрах, де здійснюється поступове згинання фланців. Така схема калібрування має наступні переваги: забезпечується рівномірне обтиснення всіх елементів профілю, потрібно виконувати меншу глибину врізання у прокатні валки, що дозволяє збільшити міцність та зносостійкість прокатних валків. Але така схема має і недоліки: операція згинання смуги в швелер є операція дуже трудомістка, що потребує великих зусиль. Ускладнено направити смугу в чистовий калібр.

При розгорнутому калібруванні відсутнє бокове обтиснення по фланцям, що дозволяє зробити процес деформації металів та сплавів в калібрах більш інтенсивним, зменшити кількість фасонних калібрів, утворити більш рівномірний режим деформації в усіх елементах профілю, зменшити ступінь

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зношення калібрів. При переточуванні калібрів можна легко їх відновити, уникнути зайвих складок у основи фланця.

При прокатуванні швелерів у чорнових калібрах, в більшості випадків присутні дійсні та лживі фланці.

Початковий матеріал для прокатування швелерів – це заготовка, що має квадратний поперечний переріз, розміри якого залежать від номеру балки. Для прокатування швелеру № 8 будемо використовувати квадратну безперервно-литу заготовку, що має поперечний розмір 60×75 мм.

Калібрування швелеру № 8 будемо здійснювати за балочним методом, що забезпечить отримання якісного виробу з потрібними розмірами, формою та фізико-механічними властивостями.

При прокатуванні швелера перший калібр є розрізний. В такому калібрі відбувається попереднє наближення квадратного профілю до форми швелера. Розрізний калібр в залежності від призначення, розмірів, способу розташування на прокатних валках може мати два вигляди: відкритий, який виконується з роз'ємом по середині калібру (рис. 2.2, а) та закритий, у якого роз'єм виконано у краю фланця (рис. 2.2, б).

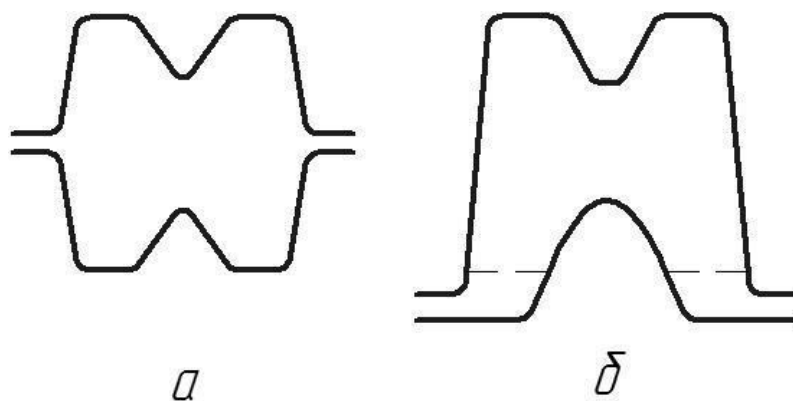


Рисунок 2.4 – Вигляди розрізних калібрів: а – відкритий (з роз'ємом по середині); б – закритий (з роз'ємом у кінця фланця)

При використанні закритих калібрів потрібно виконати глибоке врізання у прокатні валки, що може призвести до зменшення їх міцності, але отримується

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

більша точність розкату. Такий калібр бажано використовувати у тому випадку, коли застосовують прокатні валки великого діаметру.

Чорновий калібр складається з наступних елементів профілю (рис. 2.3):

- дійсні фланці;
- лживі фланці;
- стінка.

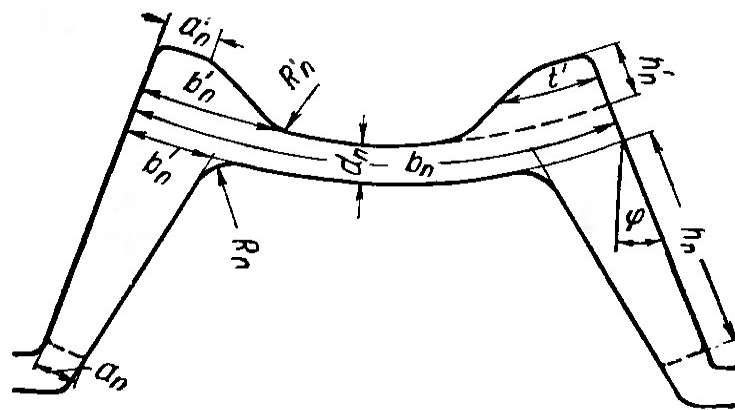


Рисунок 2.3 – Чорновий калібр для прокатування швелерів: a_n – довжина меншої основи дійсного фланцю; b_n – довжина більшої основи дійсного фланцю; a'_n – довжина меншої основи лживого фланцю; b'_n – довжина більшої основи лживого фланцю; b_n – довжина стінки; d_n – товщина стінки; h_n – висота дійсного фланцю; h'_n – висота лживого фланцю; φ – кут нахилу фланця

У стінки калібру відбувається пряме обтиснення профілю. В дійсних фланцях утворюються полки швелеру. Ці полки, як правило, є відкритими, вони утворюються двома прокатними валками, закритими вони можуть бути тільки в контрольних калібрах. Дійсні фланці, як правило, це відкриті калібри, що утворюються двома валками, в контрольних калібрах вони також закриті. Характер деформації в таких калібрах точно таких самих, як і у відкритих балочних калібрах.

Лживі фланці служать для утворення додаткового об'єму металу в фланцях. Такі фланці поступово зменшуються за рухом прокатування. Їх створюють для

зберігання тепла під час прокатування та для забезпечення точних кутів профілю та зберігання їх від переохолодження. Але такі лживі фланці мають і недоліки. Їх присутність забезпечує нерівномірність деформації. Через це потрібно приймати мінімальні розміри таких фланців. При пластичній деформації лживі фланці перетікають в стінку та в дійсні фланці, що забезпечує вірне виконання профілю та усіх його кутів.

У розрізному калібрі площа лживих фланців складає самий великий відсоток і досягає 70 % від площі дійсних фланців. У наступних калібрах їх частка зменшується і у чистовому калібрі вона доходить до нуля. У передчистових калібрах лживі фланці зменшують узяжку зовнішніх кутів профілю. Це може покращити умови праці.

2.3 Визначення кількості проходів для отримання швелера № 8

Для того, щоб отримати вірний профіль, потрібно початкові безперервно-литу заготовки розміром 60×75 мм прокатати в фасонних калібрах.

Для отримання швелера № 8 потрібно визначити кількість фасонних калібрів. Для цього скористаємося графіком (рис. 2.4).

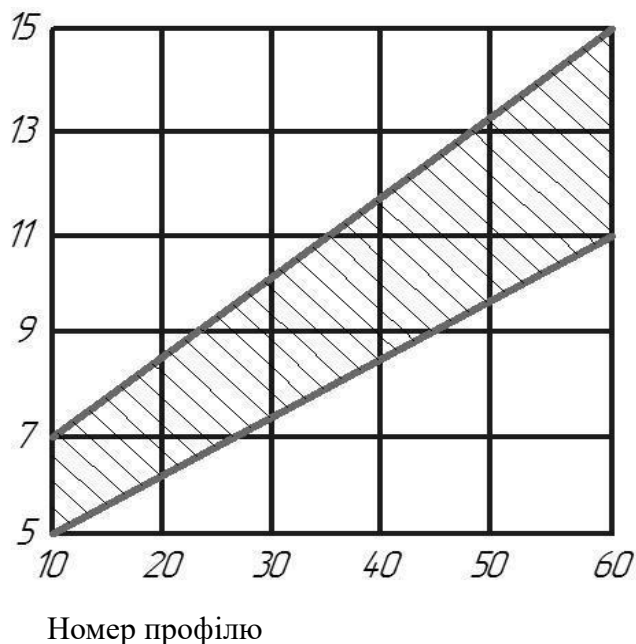


Рисунок 2.4 – Графік для визначення кількості фасонних калібрів при прокатуванні швелерів

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.7

З рисунка видно, що для отримання швелеру № 8 достатньо використати 6 фасонних калібрів, що забезпечать нам задану форму, точні розміри та мінімальні відхилення. Перший калібр буде розрізний, який заготовці квадратного поперечного перерізу надасть перше наближення до форми швелера. Далі будуть розташовані фасонні калібри, що мають в собі дійсні та лживі фланці. Передостаннім буде розташовано контрольний калібр, і останнім чистовий. Далі потрібно визначити розміри цих калібрів.

2.4 Розрахунок калібрування для швелера № 8

Треба мати на увазі, що під час прокатування швелер розташовується в калібрах. Для цього його потрібно повернути на кут 90° . При цьому його товщина та висота міняються місцями. Ширина полук уявляє собою висоту калібру, висота швелера уявляє собою ширину калібру.

Визначимо розміри швелеру № 8 в гарячому стані з врахуванням мінусового допуску за висотою, який дорівнює $-0,2$. Висота швелера буде відігравати роль ширини калібру B_i .

Ширина чистового останнього калібру в 6 проході буде визначатися за формулою:

$$B_6 = (h_r - \Delta) \cdot 1,012, \quad (2.1)$$

де h_r – висота готового профілю, яка дорівнює $h_r = 80$ мм;

Δ – мінусовий допуск по модулю за висотою, який дорівнює $\Delta = 1,0$;

1,012 – коефіцієнт теплового розширення.

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$B_6 = (80 - 1,0) \cdot 1,012 = 79,95 \text{ мм.}$$

Висота калібру, що визначається шириною фланця, розраховується за формулою:

$$H_6 = (b_r - \Delta_b) \cdot 1,012, \quad (2.2)$$

де b_r – висота готового профілю, яка дорівнює $b_r = 40$ мм;

Δ_b – мінусовий допуск по модулю за шириною, який дорівнює $\Delta = 1,0$.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$H_6 = (40 - 1,0) \cdot 1,012 = 39,5 \text{ мм.}$$

Товщина стінки розраховується з врахуванням теплового розширення:

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

Середня товщина фланців в гарячому стані дорівнює:

$$t_6 = 7,4 \cdot 1,012 = 7,5 \text{ мм.}$$

Знаходимо висоту дійсного фланцю за формулою:

$$h_6 = H_6 - d_6. \quad (2.3)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$h_6 = 39,5 - 4,55 = 34,95 \text{ мм.}$$

Розміри у основи дійсних фланців визначають за формулами:

$$b_6 = t_6 + 0,5 h_6 \operatorname{tg} \varphi_6, \quad (2.4)$$

$$a_6 = t_6 - 0,5 h_6 \operatorname{tg} \varphi_6, \quad (2.5)$$

де φ – кут нахилу внутрішньої поверхні фланцю, $\varphi_6 = 0,08$.

Підставив відповідні значення, отримаємо:

$$b_6 = 7,5 + 0,5 \cdot 34,95 \cdot 0,08 = 8,9 \text{ мм;}$$

$$a_6 = 7,5 - 0,5 \cdot 34,95 \cdot 0,08 = 6,1 \text{ мм.}$$

Відношення розмірів у основи фланців дорівнює:

$$\frac{a_6}{b_6} = \frac{6,1}{8,9} = 0,68.$$

Площа поперечного перерізу дійсного фланцю в шостому калібрі визначається за формулою:

$$q_{\text{фл}6} = t_6 \cdot h_6. \quad (2.6)$$

Дорівнює площа фланцю в останньому чистовому калібрі після підрахунку: $q_{\text{фл}6} = 7,5 \cdot 34,95 = 262 \text{ мм}^2$.

Площа поперечного перерізу чистового калібру визначається за формулою:

$$q_6 = 2 q_{\text{фл}6} + B_6 d_6. \quad (2.7)$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$q_6 = 2 \cdot 262 + 79,95 \cdot 4,55 = 888 \text{ мм}^2.$$

П'ятий калібр приймаємо контрольним. Для таких калібрів приріст в відкритих фланцях призначаємо $\Delta h_{\text{пр}} = 1 \text{ мм}$. Закриті фланці використовувати не будемо, тому утяжки не відбудеться.

Приріст висоти дійсних фланців приймаємо $\delta = 2 \text{ мм}$ в усіх калібрах окрім чистового та контрольного. В чистовому калібрі видавлювання фланцю майже відсутнє.

Визначимо висоту дійсного фланцю в розрізному калібрі за формулою:

$$h_p = h_6 - \Sigma \Delta h_{\text{пр}} - \Sigma \delta + \Sigma \varepsilon. \quad (2.8)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$h_p = 34,95 - 1 + 2 - 2 = 33,95 = 34 \text{ мм}.$$

Висоту фланцю за кожним проходом можна отримати з виразу:

$$h_{i-1} = h_i - \Delta h_{\text{пр}i} - \delta_i + \varepsilon_i. \quad (2.9)$$

При прокатуванні швелера відбувається розширення. Загальне розширення за усіма шістьма клітьми визначається за формулою:

$$\Sigma \Delta B_{1-6} = B_0 - B_6. \quad (2.10)$$

Визначаємо загальне розширення за графіками, де воно дорівнює:

$$\Sigma \Delta B_{1-6} = 20 \text{ мм}.$$

Розміри поперечного перерізу початкової безперервно-литої заготовки визначаємо за формулою:

$$B_0 = B_6 - \Sigma \Delta B_{1-6}. \quad (2.11)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$B_0 = 79,95 - 15 = 60 \text{ мм}.$$

За довідковою таблицею визначаємо, що розширення у розрізному калібрі дорівнює: $\Delta B_1 = 5,0 \text{ мм}$.

Ширина розрізного калібру буде дорівнювати:

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_1 = B_0 + \Delta B_1. \quad (2.12)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$B_1 = 60 + 5 = 65 \text{ мм.}$$

Визначаємо розміри у основи дійсних фланців розрізного калібру:

- у більшої основи – $b_1 = 0,5B_1 = 0,5 \cdot 65 = 32,5 \text{ мм};$
- у меншої основи – $a_1 = b_1 \frac{a_6}{b_6} = 32,5 \cdot 0,68 = 22,1 \text{ мм.}$

Розрізний калібр має площу поперечного перерізу дійсного фланцю, що визначається за формулою:

$$q_{\text{фл1}} = \frac{a_1 + b_1}{2} h_1. \quad (2.13)$$

Після підстановки, отримаємо:

$$q_{\text{фл1}} = \frac{22,1 + 32,5}{2} 34 = 928,2 \text{ мм}^2.$$

Висота фланцю буде дорівнювати:

$$h_{\text{фл1}} = \frac{928,2}{34} = 27,2 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу лживого фланцю розрізного калібру можна визначити за формулою:

$$q_{\text{фл1}}^{\text{л}} = 0,05 \left(1 + \frac{n-2}{m} \right) q_{\text{фл}}, \quad (2.14)$$

де n – це кількість проходів, $n = 6$;

m – коефіцієнт, $m = 0,5$.

Після підстановки отримаємо:

$$q_{\text{фл1}}^{\text{л}} = 0,05 \left(1 + \frac{6-2}{0,5} \right) 928,2 = 417,7 \text{ мм.}$$

Розміри у основи лживих фланців для розрізного калібру приймаємо такі ж самі, як і у дійсних фланців:

- у меншої основи – $a_1^{\text{л}} = a_1 = 22,1 \text{ мм};$
- у більшої основи – $b_1^{\text{л}} = b_1 = 32,5 \text{ мм.}$

Середня товщина полиці лживого фланцю буде дорівнювати:

$$t_1^{\text{л}} = \frac{a_1^{\text{л}} + b_1^{\text{л}}}{2} = \frac{22,1 + 32,5}{2} = 27,3 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота лживого фланцю буде дорівнювати:

$$h_{\text{фл}1}^{\text{л}} = \frac{q_{\text{фл}}^{\text{л}}}{t_1^{\text{л}}} = \frac{417,7}{27,3} = 15,3 \text{ мм.}$$

Товщина стінки розрізного калібру визначається за формулою:

$$d_1 = \frac{(q_{\text{фл}} + q_{\text{фл}}^{\text{л}})d_6}{q_{\text{фл}6} + q_{\text{фл}6}^{\text{л}} + 0,5\Delta B_{2-6}}. \quad (2.15)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$d_1 = \frac{(928,2+417,7)4,55}{262+0+0,5 \cdot 15} = 22,7 \text{ мм.}$$

Товщину лживого фланцю приймаємо з врахуванням закруглень розрізаючих гребнів:

$$d_1^{\text{л}} = 50 \text{ мм.}$$

Площа розрізного калібру визначимо за формулою:

$$q_1 = 2(q_{\text{фл}1} + q_{\text{фл}1}^{\text{л}}) + d_1 B_1 + 2 \left(\frac{d_1^{\text{л}} - d_1}{2} \right)^2 \frac{tg \varphi_1 + tg \varphi_1^{\text{л}}}{2}, \quad (2.16)$$

де останній член уявляє собою площу закруглень розрізних гребнів,

$$tg \varphi_1 = 0,65; tg \varphi_1^{\text{л}} = 0,8.$$

Підставив відповідні значення, отримаємо площу розрізного калібру:

$$q_1 = 2(928 + 417,7) + 22,7 \cdot 65 + 2 \left(\frac{22}{2} \right)^2 0,65 \cdot 0,8 = 4290 \text{ мм}^2.$$

Висота розрізного калібру залежить від висоти лживого та дійсного фланцю і визначається за формулою:

$$H_1 = h_{\text{фл}1} + h_{\text{фл}1}^{\text{л}} + d_1. \quad (2.17)$$

Після підстановки отримаємо:

$$H_1 = 27 + 15 + 22,7 = 64,7 \text{ мм.}$$

Розрізний калібр приймаємо закритим для забезпечення підвищеної точності швелеру. З урахуванням цього визначаємо висоту вихідного матеріалу.

Для визначення висоти скористаємося формулою:

$$H_0 = 0,5H_p + 0,5 \frac{B_0 H_p^2}{Q_p}. \quad (2.18)$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.12

$$H_0 = \frac{B_0}{q_1} \left(H_1 - \frac{0,25k\Delta q}{a_1} \right)^2, \quad (2.19)$$

де k – коефіцієнт, який дорівнює $k=0,5$;

Δq прирощення площі, що знаходиться за формулою:

$$\Delta q = \frac{2a_1(B_0H_1 - q_1)}{B_0}. \quad (2.20)$$

Приймаємо висоту початкового матеріалу:

$$H_0 = 75 \text{ мм.}$$

Тоді площа поперечного перерізу початкового матеріалу буде рівною:

$$q_0 = 75 \cdot 60 = 4500 \text{ мм}^2.$$

Значить нам потрібно отримати безперервно-литу заготовку розмірами 60×75 мм.

Визначаємо коефіцієнт витяжки у першому розрізному калібрі:

$$\lambda_1 = \frac{q_0}{q_1} = \frac{4500}{4290} = 1,05.$$

Кут захоплення матеріалу в початковий момент прокатування дорівнює $\alpha=30^\circ$.

Таким чином, ми отримали розрізний калібр з відповідними розмірами. Його розміри наведено в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Розміри елементів профілю розрізного і чистового калібру

Назва калібру	Ширина калібру, мм	Товщина стінки, мм	Дійсний фланець				Лживий фланець			
			площа поперечного	висота, мм	довжина більшої основи, мм	довжина меншої основи, мм	площа поперечного	висота, мм	довжина більшої основи, мм	довжина меншої основи, мм
Розрізний калібр	65,0	22,7	928,2	27,7	32,5	22,1	417,0	27,3	32,5	22,1
Чистовий калібр	79,95	4,55	262,0	34,95	8,9	6,1	-	-	-	-

З таблиці видно, що відбувається розширення профілю, але зменшується товщина стінки і площа чистового фланцю. В чистовому калібрі лживий фланець відсутній.

Розрахунок проміжних калібрів

Визначимо коефіцієнт, який потрібно виконати в проміжних проходах з другого по шостий:

$$\Sigma \lambda_{2-6} = \frac{q_1}{q_6} = \frac{4290}{888} = 4,831.$$

Розподіляємо його між відповідними проходами:

$$\Sigma \lambda_{2-6} = \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 \lambda_6 = 4,831;$$

$$\Sigma \lambda_{2-6} = 1,38 \cdot 1,37 \cdot 1,37 \cdot 1,37 \cdot 1,36.$$

Площа поперечного перерізу проміжних калібрів можна розрахувати за формулою:

$$q_i = q_{i+1} / \lambda_i, \quad (2.20)$$

де λ_i – коефіцієнт витяжки в i -том калібрі.

Після підстановки отримаємо:

$$q_2 = q_1 / \lambda_2 = \frac{4290}{1,38} = 3108,7 \text{ мм}^2;$$

$$q_3 = q_2 / \lambda_3 = \frac{3108,7}{1,37} = 2269,1 \text{ мм}^2;$$

$$q_4 = q_3 / \lambda_4 = \frac{2269,1}{1,37} = 1656,2 \text{ мм}^2;$$

$$q_5 = q_4 / \lambda_5 = \frac{1656,2}{1,37} = 1209 \text{ мм}^2;$$

$$q_6 = q_5 / \lambda_6 = \frac{1209}{1,36} = 888,9 \text{ мм}^2.$$

Для розрахунку проміжних калібрів знайдемо загальний коефіцієнт витяжки фланців знаходимо за формулою:

$$\Sigma_2^6 \lambda_{\text{фл}} = \frac{q_{\text{фл}1} + h_{\text{фл}1}^{\text{л}}}{q_{\text{фл}6}}. \quad (2.21)$$

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$\Sigma_2^6 \lambda_{\text{фл}} = \frac{928,2 + 417,7}{262} = 5,137.$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розподіляємо цей коефіцієнт витяжки за походами.

$$\sum_2^6 \lambda_{\text{фл}} = \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5 \lambda_6. \quad (2.22)$$

Тоді отримаємо:

$$\sum_2^6 \lambda_{\text{фл}} = 1,39 \cdot 1,39 \cdot 1,39 \cdot 1,39 \cdot 1,376 = 5,137.$$

Загальний коефіцієнт витяжки при обтисненні стінки отримаємо:

$$\sum_2^6 \lambda_{\text{ст}} = \frac{d_1}{d_6} = \frac{22,7}{4,55} = 4,99.$$

Розподіляємо цей коефіцієнт витяжки за проходами:

$$\sum_2^6 \lambda_{\text{ст}} = \lambda_{\text{ст}2} \lambda_{\text{ст}3} \lambda_{\text{ст}4} \lambda_{\text{ст}5} \lambda_{\text{ст}6}. \quad (2.23)$$

Отримаємо наступні значення:

$$\sum_2^6 \lambda_{\text{ст}} = 1,38 \cdot 1,38 \cdot 1,38 \cdot 1,38 \cdot 1,376 = 4,99.$$

Розміри стінки за проходами визначимо за формулою:

$$d_i = \frac{d_{i+1}}{\lambda_i}, \quad (2.24)$$

де d_i – товщина стінки після даного проходу;

d_{i+1} – товщина стінки в попередньому проході;

λ_i – витяжка в даному проході.

Після підстановки отримаємо:

$$d_{\text{ст}2} = \frac{d_{\text{ст}1}}{\lambda_2} = \frac{22,7}{1,38} = 16,45 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ст}3} = \frac{d_{\text{ст}2}}{\lambda_3} = \frac{16,45}{1,38} = 11,92 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ст}4} = \frac{d_{\text{ст}3}}{\lambda_4} = \frac{11,92}{1,38} = 8,63 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ст}5} = \frac{d_{\text{ст}4}}{\lambda_5} = \frac{8,63}{1,38} = 6,25 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{ст}6} = \frac{d_{\text{ст}5}}{\lambda_6} = \frac{6,25}{1,378} = 4,5 \text{ мм.}$$

Розширення визначається з використанням дрібних частин коефіцієнтів витяжки, що розраховують за формулою:

$$m = \frac{\sum \Delta B_{2-6}}{\sum (\lambda_{\text{ст}} - 1)}. \quad (2.25)$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розширення за проходами можна визначити за формулою:

$$\Delta B_i = m(\lambda_{\text{ст}i} - 1). \quad (2.26)$$

За другим проходом отримаємо розширення $\Delta B_2 = 4,0$ мм.

За третім проходом $\Delta B_3 = 3,5$ мм.

За четвертим проходом $\Delta B_4 = 3,0$ мм.

За п'ятим проходом $\Delta B_5 = 2,5$ мм.

За останнім проходом $\Delta B_6 = 1,95$ мм.

Визначимо ширину калібру за окремими проходами за формулою:

$$B_{i+1} = B_i + \Delta B_{i+1}. \quad (2.27)$$

Для першого проходу було визначено раніше $B_1 = 65$ мм.

Для другого проходу ширина дорівнює: $B_2 = 65,0 + 4,0 = 69,0$ мм.

Для третього проходу ширина дорівнює: $B_3 = 70,0 + 3,5 = 72,5$ мм.

Для четвертого проходу ширина дорівнює: $B_4 = 74,5 + 3,0 = 75,5$ мм.

Для п'ятого проходу ширина дорівнює: $B_5 = 78,0 + 2,5 = 80,5$ мм.

Для шостого проходу ширина дорівнює: $B_6 = 82,5 + 1,95 = 84,45$ мм.

Висота калібру в першому проході дорівнює:

$$\Delta H_1 = 27,3 + 27,7 + 22,7 = 77,7 \text{ мм.}$$

Тобто в розрізному калібрі відбулося збільшення висоти фланцю.

Загальне обтиснення знаходиться за формулою:

$$\Sigma \Delta H = H_1 - H_6, \quad (2.28)$$

де H_0 – висота калібру до обтиснення;

H_6 – висота готового профілю в гарячому стані.

Після підстановки відповідних значень, отримаємо:

$$\Sigma \Delta H = 77,7 - 39,5 = 38,2 \text{ мм.}$$

За окремими проходами, отримаємо:

$$\Delta H_2 = 8 \text{ мм; } \Delta H_3 = 8 \text{ мм; } \Delta H_4 = 8 \text{ мм; } \Delta H_5 = 7 \text{ мм; } \Delta H_6 = 7,2 \text{ мм.}$$

Висота калібру за окремими проходами буде дорівнювати:

$$- \text{ для другого проходу } H_2 = 77,7 - 8 = 69,7 \text{ мм;}$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для третього проходу $H_3 = 69,7 - 8 = 61,7$ мм;
- для четвертого проходу $H_4 = 61,7 - 8 = 53,7$ мм;
- для п'ятого проходу $H_5 = 53,7 - 7 = 46,7$ мм;
- для шостого проходу $H_6 = 46,7 - 7,2 = 39,5$ мм.

Таким чином, за проходами відбувається, майже, рівномірне обтиснення.

Дана з розрахунку габаритних розмірів калібру занесемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані розрахунку розмірів проміжних калібрів для прокатування швелеру № 8

№ проходу	Ширина калібру, В, мм	Висота калібру, Н, мм	Площа поперечного перерізу, q , мм ²	Загальний коефіцієнт витяжки	Обтиснення, ΔH , мм	Розширення, ΔH , мм
Заготовка	60,0	75,0	4500,0	-	-	-
1	65,0	77,7	4290,0	1,05	2,0	5,0
2	69,0	69,7	3108,7	1,38	8,0	4,0
3	72,5	61,7	2269,1	1,37	8,0	3,5
4	75,5	53,7	1656,2	1,37	8,0	3,0
5	77,5	46,7	1209,0	1,37	7,0	2,5
6	79,95	39,5	888,9	1,38	7,2	1,95
Σ				5,07		19,45

З таблиці видно, що в розрізному калібрі збільшується його висота. Це відбувається за рахунок витіснення металу в лживі фланці. Ширина поступово збільшується за рахунок того, що під час прокатування відбувається розширення. Площа поперечного перерізу при проході від калібру до калібру зменшується через те, що відбувається витяжка металу. Витяжка за проходами здійснюється, майже рівномірна.

Середнє значення товщини дійсних фланців можна визначити за формулою:

$$t_i = \frac{q_i}{h_i}, \quad (2.28)$$

де q_i – площа дійсного фланцю в i -тому проході;

h_i – висота дійсного фланцюю.

Координати точки, що визначає розмір и калібрів можна визначити за формулою:

$$H_k = \frac{e+b_1}{tg\varphi_1}, \quad (2.29)$$

де φ_1 – кут нахилу фланця, який знаходять за формулою:

$$tg\varphi_i = \frac{b_i-a_i}{h_i}. \quad (2.30)$$

Довжини основ більших дійсних фланців будуть дорівнювати:

$$b=H_k tg\varphi - e. \quad (2.31)$$

Довжини менших основ дійсних фланців будуть дорівнювати:

$$a=2t - b. \quad (2.32)$$

Радіус закруглення R , що знаходиться у місці сполучення дійсного фланцю і стінки збільшується від чистового калібру до розрізного і знаходиться за формулою:

$$R_i = \rho \cdot b_i, \quad (2.33)$$

де ρ – коефіцієнт, що дорівнює $\rho = 0,78$ і показує відношення радіуса до основи.

В останньому шостому проході $R_6 = 0,78 \cdot 6,5 = 5,07$ мм.

Радіус закруглення лживих фланців R'_i для перших двох чистових проходів приймаємо рівним радіусу закруглення у місті сполучення дійсного фланцю і стінки: $R'_i = R_i$.

Тоді в шостому калібрі чистовому радіус закруглення дорівнює:

$$R'_6 = R_6 = 5,07 \text{ мм.}$$

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.18

В п'ятому передчистовому він дорівнює: $R'_5 = R_5 = 5,07$ мм.

У передчистовому п'ятому калібрі лживий фланець має форму трикутника, у останніх калібрах: четвертому, третьому, другому він має форму трапеції.

Для тих калібрів, у яких лживий фланець має форму трапеції для визначення його висоти достатньо знайти середню товщину фланцю. Приймаємо те, що вона дорівнює більшій основі дійсного фланцю.

Для побудови калібрів потрібно окремо визначити розміри лживих та дійсних фланців у проміжних калібрів.

Для розрахунку дійсних фланців буде використовуватися формула:

$$q_{i\text{фл}} = \frac{q_{(i+1)\text{фл}}}{\lambda_{i\text{фл}}}, \quad (2.34)$$

де $q_{i\text{фл}}$ – площа поперечного перерізу дійсного фланцю в даному проході;

$q_{(i+1)\text{фл}}$ – площа поперечного перерізу фланця в попередньому проході;

$\lambda_{i\text{фл}}$ – коефіцієнт витяжки дійсного фланцю в даному проході.

Площі поперечного перерізу дійсних фланців дорівнюють:

- для другого проходу $q_{2\text{фл}} = \frac{q_{1\text{фл}}}{\lambda_{2\text{фл}}} = \frac{928,2}{2,29} = 729 \text{ мм}^2$;
- для третього проходу $q_{3\text{фл}} = \frac{q_{2\text{фл}}}{\lambda_{3\text{фл}}} = \frac{729}{2,29} = 557,6 \text{ мм}^2$;
- для четвертого проходу $q_{4\text{фл}} = \frac{q_{3\text{фл}}}{\lambda_{4\text{фл}}} = \frac{557,6}{2,29} = 432 \text{ мм}^2$;
- для п'ятого проходу $q_{5\text{фл}} = \frac{q_{4\text{фл}}}{\lambda_{5\text{фл}}} = \frac{432}{2,29} = 335 \text{ мм}^2$;
- для другого проходу $q_{6\text{фл}} = \frac{q_{5\text{фл}}}{\lambda_{6\text{фл}}} = \frac{262}{2,22} = 262 \text{ мм}^2$.

Визначимо розміри лживих фланців в проміжних калібрах за формулою:

$$q_{\text{флі}}^{\text{л}} = \frac{q_{\text{флі}+1}^{\text{л}}}{\lambda_{\text{флі}}^{\text{л}}}, \quad (2.35)$$

де $q_{\text{флі}}^{\text{л}}$ – площа поперечного перерізу лживого фланцю в і-том проході;

$q_{\text{флі}+1}^{\text{л}}$ – площа поперечного перерізу лживого фланцю в попередньому проході;

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.19

$\lambda_{\text{флі}}^{\text{л}}$ – коефіцієнт витяжки лживого фланцю в і-том проході.

Для другого проходу площа поперечного перерізу лживого фланцю:

$$q_{\text{фл}2}^{\text{л}} = 375 \text{ мм}^2.$$

Для третього проходу площа поперечного перерізу лживого фланцю дорівнює: $q_{\text{фл}3}^{\text{л}} = 302 \text{ мм}^2$.

Для четвертого проходу площа поперечного перерізу лживого фланцю дорівнює: $q_{\text{фл}4}^{\text{л}} = 250 \text{ мм}^2$.

Для п'ятого проходу площа поперечного перерізу лживого фланцю дорівнює: $q_{\text{фл}5}^{\text{л}} = 125 \text{ мм}^2$.

Шостий калібр – чистовий, де лживий фланець відсутній.

Дані розрахунку заносим в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розміри елементів профілю

№ проходу	Швелер		Дійсний фланець		Лживий фланець		Стінка	
	площа поперечного перерізу, мм ²	коефіцієнт витяжки	площа поперечного перерізу, мм ²	коефіцієнт витяжки	площа поперечного перерізу, мм ²	коефіцієнт витяжки	площа поперечного перерізу, мм ²	коефіцієнт витяжки
Заготовка	4500,0	-	-	-	-	-	-	-
1	4290,0	1,1	928,2	-	417,0	1,28	22,7	1,05
2	3108,7	1,38	719,0	1,29	325,0	1,41	16,45	1,38
3	2269,1	1,37	557,6	1,29	230,0	1,53	11,92	1,38
4	1656,2	1,37	432,0	1,29	150,0	1,2	8,63	1,38
5	1209	1,37	335,0	1,29	125	-	6,25	1,38
6	888,9	1,36	262,0	1,22	-	-	4,55	1,376
Σ	-	5,06		3,54		3,33	-	4,99

З таблиці видно, що кожен елемент профілю має різні коефіцієнти витяжки, як загальні, так і за кожним елементом, що свідчить про нерівномірність

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.20

деформації при прокатуванні профілю. Була виконана спроба розподілити їх рівномірно, як між профілями, так і між окремими проходами.

2.5 Термічна обробка швелерів

Для покращення внутрішньої структури швелерів з метою удосконалення фізико-механічних властивостей виконується їх термічна обробка – нормалізаційний відпал. При цьому відбувається перекристалізація структури з метою усунення грубозернистої структури та покращення оброблюваності різанням. При нормалізації відбувається подрібнення структури сталі, яка було отримана прокатуванням, підвищення опору крихкому руйнуванню, усунення наклепу після прокатування та внутрішніх залишкових напружень.

Для виконання нормалізації матеріал повинен бути нагрітий для сталі 09Г2С, з якої виготовлено швелер, до температури близько 900°C, що відповідає температурі кінця прокатування. Така температура дозволить уникнути зростання аустенітних зерен і формування грубої сітки. Час нагрівання складає близько 1,5 хв на кожен міліметр виробу.

Далі здійснюється витримка швелеру при заданій температурі. В цей час швелер знаходиться в нагрівальній камері. При цьому відбувається повне і рівномірне прогрівання садки, завершення фазових перетворень. Час витримки складає близько 15 хвилин.

Охолодження здійснюється на спокійному повітрі.

Таким чином утворюються швелери, що мають достатньо високу міцність та твердість в порівнянні з відпаленим станом.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.02.РТВШ	Аркуш
						2.21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було проаналізовано призначення швелера № 8, визначено матеріал для його виготовлення, досліджено його хімічний склад. В якості матеріалу віддано перевагу низьколегованої сталі, яка має високу працездатність, добре фізико-механічні характеристики та властивості, витримує достатні навантаження.

Розглянуто способи виготовлення швелерів і запропоновано виготовляти сталевий швелер № 8 гарячим прокатуванням. Виявлено, що швелер є дуже складним профілем, який складається з трьох елементів: стінки і двох полиць. Ці елементи мають дуже нерівномірну деформацію під час обробки.

Досліджено обладнання, що дозволяє здійснити гаряче прокатування, встановлено його будову, основне та допоміжне устаткування, принцип дії. Перевага надано безперервному багатоклітьовому прокатному стану.

В якості інструменту для отримання вірного профілю використовуються калібровані прокатні валки.

Визначено послідовність технологічних операцій, що дозволять виготовити якісний швелер № 8.

Проаналізовано способи калібрування швелерів, де було надано переваги балочному методу калібрування, що дозволить отримати якісний точний профіль швелера № 8. Виявлено, що перший калібр є розрізним.

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.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.В			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Копань				ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Чубенко						1	2
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв							

Розраховано калібрування профілю за проходами за усіма окремими елементами. Досліджено зміни, що відбувається в осередку деформації. Визначено параметри та коефіцієнти деформації.

Визначено спосіб і порядок проведення термічної обробки, яку потрібно здійснити для покращення фізико-механічних властивостей матеріалу. Визначено режими термічної обробки.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.В	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 136 «Металургія» усіх форм навчання / С.Г. Савельєв, Л.Н. Саїтгарєєв, В.А. Чубенко, Т.П. Ярош, І.Е. Скідін, А.А. Хіноцька. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2022. – 32 с.

2. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Прес-релізи URL: <https://ukraine.arcelormittal.com/index.php?id=10&pr=340> (дата звернення: 01.03.2021).

3. ДСТУ 3436-96 Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент (ГОСТ 8240-97).

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

7. 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.

8. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник / В.М. Данченко, В.О. Грінкевич, О.М. Головка – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.Л			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Копань							
Перевірив	Чубенко						1	3
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-21-1		
Н. контр.	Чубенко							
Затвердив	Савельєв							

9. 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.

10. Попович В.В. 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.

11. 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 р. – № 43. – С. 36-41.

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

13. 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. Дрожжа. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2002. – 40 с.

14. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.

15. 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.

16. 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>.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

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

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

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

20. Кекух А.В. Производство проката на сортовой линии 250 прокатного цеха №3 ТИ228-ПЗ-01-2006: Технологическая инструкция/А. В. Кекух. – Кривой Рог: ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», 2006 г. – 52 с.

21. Метод расчета толщины полосы в нейтральных сечениях при асимметричной прокатке / Е. В. Байков // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 2 (23) – С. 185-189.

					КНУ.РБ.136.25.149с-12.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3