

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

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до випускної магістерської роботи**

**зі спеціальності 136 – Металургія  
за освітньо-професійною програмою – Металургія чорних металів**

**Тема роботи: «РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ  
ОБТИСНЕННЯ ПРИ ПРОКАТУВАННІ СТАЛЕВОГО ФЛАНЦЕВОГО  
ПРОФІЛЮ»**

Виконав:

магістрант групи МЧМ-23-1м

\_\_\_\_\_ Роман КУЧЕР

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ Вікторія ЧУБЕНКО

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ Вікторія ЧУБЕНКО

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг  
2024 р.

## РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

### «Розробка заходів з удосконалення режимів обтиснення при прокатуванні сталевих фланцевих профілів»

**Обсяг роботи:** пояснювальна записка 98 стор., 10 табл., 15 рис, 32 джерела.

**Мета роботи:** дослідити процес прокатування сталевих фланцевих профілів для удосконалення режимів обтиснення

**Об'єкт дослідження:** прокатування балочних профілів.

**Предмет дослідження:** розробка заходів з удосконалення режимів обтиснення при прокатуванні складних профілів в умовах нерівномірної деформації.

**Методи дослідження:** теоретичний аналіз формозмін у осередку деформації при прокатуванні складних профілів, розрахунковий метод з визначення коефіцієнтів та параметрів осередку деформації при прокатуванні фасонних профілів, визначення ефективності процесу.

**Результати роботи:** в роботі проаналізовано існуючі способи виготовлення фланцевих профілів, визначено обладнання, що забезпечує отримання виробу, розраховано коефіцієнти та параметри осередку деформації і визначено оптимальні, що дозволяють отримати якісний профіль, зменшуючи кількість обробних операцій, розраховано техніко-економічні показники удосконаленої технології, виконано санітарно-екологічну оцінку прийнятих рішень.

ФЛАНЦЕВИЙ ПРОФІЛЬ, ДВОТАВРОВА БАЛКА, КОЕФІЦІЄНТ ОБТИСНЕННЯ, РЕЙКОБАЛКОВИЙ ПРОКАТНИЙ СТАН.

## ВСТУП

Металургійне виробництво займається виготовленням металів і сплавів для потреб народного господарства. Одним з головних напрямків розвитку металургійного виробництва України – є створення прогресивних технологій, які можуть дозволити зменшити витрати енергії, знизити собівартість продукції, збільшити продуктивність процесу і обладнання, що його забезпечує, підвищити якість і конкурентоздатність продукції. Потрібно відмітити, що металургія уявляє собою досить масштабне виробництво, через це вона не здатна часто здійснювати масштабне технічне переозброєння. Тому ті технологічні процеси, що наново створюються, повинні мати довготривалу перспективу, зберігати довготривале виробництво на високому рівні.

Кінцева продукція металургійного виробництва – це прокатні вироби, до яких відносять і фланцеві профілі. Такий вид прокату відносять до фасонних профілів спеціального призначення, що виготовляється прокатуванням в гарячому стані.

Прокатування металів і сплавів засновано на здатності металів до пластичної деформації. В процесі прокатування вихідні матеріали підлягають пластичній деформації, під час якої вони здатні змінювати свою форму та розміри. Таким чином, отримується профіль, що має потрібну форму та розміри, а також граничні відхилення.

На сьогоднішній день розроблено ряд технологічних процесів, що дозволяють отримати потрібний профіль. Але різноманітність форм та розмірів фланцевих профілів, основного та допоміжного обладнання, що забезпечує їх виготовлення, потребує індивідуального підходу до рішення технологічного завдання. Фланцеві профілі прокатуються у дуже складних умовах через нерівномірність деформації усіх елементів профілю.

В дипломній роботі ставиться задача їх проаналізувати і скласти більш досконалий технологічний, де буде забезпечено зменшення собівартості процесу отримання фланцевого профілю і збільшення продуктивності його виробництва.

# 1 АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТА СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ФЛАНЦЕВОГО ПРОФІЛЮ

## 1.1 Призначення та характеристика фланцевого профілю

Фланцевий профіль уявляє собою довгомірний металевий виріб, що має сумірні за величиною висоту та ширину. Такий профіль характеризує те, що він має окремий виступ, який має назву фланець. У готового профілю, що отриманий прокатуванням, таким елементом є полиці. Такі прокатні профілі відносять до фасонних профілів загального призначення. До таких профілів відносять двотаврові профілі, швелери, таврові та башмачні профілі, рейки.

Фланцеві профілі застосовують в різних будівельних конструкціях, для створення будівель, споруд, при побудові мостів, естакад, машин, верстатів тощо. Такі профілі також можна використовувати при побудові швидкокомонтованих будівель.

Такі профілі мають вигляд стрижня або бруса, що сприймає зовнішні навантаження і діє на них пружна деформація. Наприклад, на балки діє згинаюча деформація, що передається на опори балки.

Для виробництва фланцевих профілів найпоширені марки сталі це - S235JR, S355J2, S420M, Ст3сп, Ст5пс, 09Г2С, 10ХСНД і 15ХСНД. Вони забезпечують потрібні властивості даної металопродукції. Низьковуглецева сталь забезпечує високу міцність виробу та стабільну експлуатацію як при високих, так і при низьких температурах.

Двотаврову балку застосовують для збільшення жорсткості конструкції. Двотаврова балка має свої переваги у порівнянні з квадратним профілем. Вона має високу міцність та жорсткість. Виготовляють такий профіль гарячим прокатуванням з вуглецевої або низьколегованої сталі. Двотаврова балка призначена для спорудження великих промислових будівель та цехів, ангарів тощо.



Рисунок 1.1 – Фланцеві профілі: *a* – балка двотаврова; *б* – швелер сталевий; *в* – тавровий профіль; *г* – рейка сталева; *д* – шпунтовий профіль

Вона використовується у цивільному будівництві в якості основи для покрівлі та міжповерхового перекриття, для каркасів та колон тощо.

Використовується двотаврова балка у важкому машинобудуванні та вагонобудуванні як елемент каркасу, рами вагонів та автомобілів, в якості основи підкранових колій та несучих балок електромостових кранів.

Двотаврові балки використовують у мостобудуванні у якості колон, що мають вертикальні несучі навантаження і з'єднання прольотів, для спорудження підвісних шляхів.

У промисловому будівництві в якості несучих стін шахт для зміцнення їх та недопущення обвалів.

Профіль металевий, що має потовщену стінку використовують для найбільш відповідальних ділянок, що мають високе навантаження та велику

масу конструкції. З метою підвищення жорсткості використовують двотаври з ухилом внутрішніх граней. Другорядні вузли середніх та малих ваг встановлюють на балках, які мають паралельні грані. Профілі, що мають маркування «К» використовують в якості колонної опори.

Окрім балок в будівництві також широко застосовують і швелер. Також сталевий швелер можна застосовувати у виготовленні несучих металоконструкцій, в машинобудуванні, вагонобудуванні та інших сферах промисловості. Він дозволяє зміцнити опорні конструкції. Балки експлуатують при будівництві багатоповерхових будівель різних споруд. Особливості швелерів в наступному: вони мають міцні властивості, що забезпечує збільшення початкових показників жорсткості різних будівель, активно їх застосовують під час монтажу залізобетонних конструкцій. Профіль металу витримує великі несучі навантаження.

Такий профіль з успіхом використовується під час будівельних робіт у випадку, коли потрібно застосувати перекриття між поверхами під час будівництва багатоповерхових будівель. Також можна металовиріб використовувати для перекриття даху, виконується за допомогою швелера армування різних поверхонь з метою їх зміцнення. Також можна використовувати швелер під час облаштування різних прибудов, що встановлюють біля основних споруд.

Сталеві швелери широко використовують у якості опор автомобільних рам. З нього виготовляють напрямні основної рами. Для цього використовується надміцна сталь. Також сталевий швелер може служити опорою для таких конструктивних елементів як радіатори.

Сталеві швелери використовують як складові конструкції причепів. Вони служать для створення направляючих основної рами, що кріпиться для транспортного засобу, який буксирується, для створення підлоги та зовнішніх країв причепу.

Шпунти використовують для захисту котлован на будмайданчиках від зсувів води, або для зміцнення водойми. Такі шпунти мають назву – шпунт

Ларсена. Такий шпунт уявляє собою металевий профіль у вигляді жолоба, що має закруглені крайки бічних стінок у вигляді пазів. Виготовляється він гарячим прокатуванням з матеріалу, що має доволі високий вміст вуглецю. За формою профіля у поперечному перерізі шпунт має вигляд корита з краями, які оснащені замками. Такі замки дозволяють закріплювати вироби між собою при встановленні їх у вертикальних огорожувальних конструкціях таких як опорні стінки.

Такі шпунти мають широке застосування, а саме, у житловому та промисловому будівництві, при проведенні гідротехнічних та інженерно-технічних робіт. Шпунти також використовують для зміцнення стінок котлованів і траншей при наземному будівництві. Використовують вироби при встановленні шпунтової стінки, яка виконує відгороджувальну функцію, що перешкоджає виникненню обвалів ґрунту на дно котловану. Це дуже важливо при розробці ґрунту на велику глибину. За допомогою шпунтів захищають котловани від заповнення ґрунтовими водами через те, що огорожа з шпунтів є повністю герметична, здатна не пропускати воду навіть при сильному тиску зустрічного потоку. Шпунтами облаштовують причали, шлюзи, дамби, греблі та ґрунтові колектори, що використовуються для зберігання рідких промислових відходів. Шпунти використовують для зміцнення залізничних та автодорожніх тунелів; для зміцнення набережних та берегових ліній від розмивання.

Шпунти при застосуванні потрібно занурювати. Для цього використовують копрові устаткування, які обладнані навісними дизельними молотами або віброзанурювачами. Застосовується ударне забивання шпунта, яке здійснюється гідравлічними або дизельними молотами. Вібраційні механізми дозволяють занурювати шпунт в ґрунт за рахунок низько амплітудних коливань. Під такими коливаннями ґрунт під шпунтами розщільнюється і профіль опускається під своєю вагою і масою віброзанурювача. Це свідчить про те, що вага шпунта повинна бути достатньою для його опускання та витримки віброзанурювача. Також для його занурення використовують операції вдавлювання.



Рейки уявляють собою сталеві балки, як правило, двотаврового перерізу, що укладають на шпали або інші опори з метою утворення двониткового шляху по якому рухається залізничний транспорт. Рейки прикріплюють до шпал за допомогою болтових з'єднань.

Виготовляють рейки з вуглецевої сталі гарячим прокатуванням. При інтенсивному русі та підвищених швидкостях під час перевезення великовантажних потягів застосовують важкі рейки. Рейки мають довжину 12,5 та 25 м. для підземних колій використовують рейки довжиною від 6 до 8 м.

Маркують рейки за лінійною щільністю (кг/м): Р24, Р33, Р38, Р43 і т. д.

Рейка служить для безпосереднього сприймання та пружної передачі діючих від коліс сил на опори такі як шпали, бруси і направлення коліс рухомого складу під час руху. На дільницях з автоблокуванням рейки можуть використовуватися як провідники сигнального струму, а на дільницях з електричною тягою використовуються для зворотного тягового струму.

До рейок пред'являють особливі вимоги: вони повинні бути міцними, твердими, зносостійкими, надійними в експлуатації, не в'язкими та не крихкими через те, що вони сприймають ударне навантаження.

Рейка повинна здійснювати опір згину під рухомими навантаженнями. З метою уникнення негативних наслідків від ударів коліс рухомого транспорту об рейки, необхідно, щоб вони були достатньо гнучкими. Це дасть змогу запобігти ушкодженню рухомого складу. Для надійного сприймання від коліс зосередженої сили, потрібно щоб рейки не зминалися і не стиралися, а були в міру твердими.

З метою необхідного зчеплення, потрібно щоб поверхня катання була досить шорсткою, але не зменшувати опір руху коліс.

З вищевикладеного видно, що вимоги до рейок достатньо суперечливі. Це свідчить про те, що потрібно знайти той оптимальний варіант, що буде задовільнити певні вимоги для конкретних умов.

## **1.2 Аналіз технологічних процесів прокатування фланцевих профілів**

Усі фланцеві профілі – це складні профілі, що складаються з декількох частин.

Усі профілі виготовляються прокатуванням. Причому в процесі прокатування можна, як відразу отримати складний профіль, а можна отримати прості профілі, які після прокатування зварюється.

Зупиняємося на першому способі, відразу отримаємо складний профіль, не використовуючи складне зварювальне обладнання. Другий спосіб хоч і дешевший, але дозволяє отримати вироби менш міцні та менш точні. Значить такий спосіб можна використовувати для невідповідальних фланцевих профілів.

Прокатування з метою отримання складного профілю забезпечить міцний виріб, з високою точністю розмірів і невеликими відхиленнями форми.

Прокатування – це процес обробки металів тиском при якому матеріал втягується силами тертя між обертаючими прокатними валками, де відбувається його обтиснення з метою набуття потрібної форми, розмірів і якості. Такі обтиснення можливі завдяки здатності матеріалу до пластичної деформації. При прокатуванні відбувається обтиснення матеріалу і його подовження. Площа поперечного перерізу зменшується.

В результаті прокатування отримують різні профілі, що складають різні види сортаменту.

Весь сортамент прокатних виробів досить великій, але їх умовно поділяють на чотири види:

- сортовий прокат;
- листовий прокат;
- трубний прокат;
- спеціальні профілі.

Фланцеві профілі відносяться до сортового прокату.

Сортовий прокат поділяється на профілі загального призначення і спеціального призначення.

Фланцеві профілі відносять до фасонних профілів спеціального призначення.

Усі процеси прокатування класифікуються за декількома ознаками:

- за взаємним розташуванням осей деформованого тіла і інструменту;
- за взаємодією оброблюваної смуги і прокатних валків;
- за зміною зазору між прокатними валками;
- за температурою обробки.

За взаємним розташуванням осей деформованого тіла та прокатних валків прокатування класифікується на поздовжнє; поперечне; та поперечно-гвинтове.

При виготовленні фланцевих профілів використовується поздовжнє прокатування при якому прокатні валки обертаються в різні сторони, в смуга рухається поступально. При цьому вісь оброблюваного матеріалу розташовано перпендикулярно до осі оброблюваного матеріалу.

За температурою процеси прокатування класифікуються на гаряче прокатування та на холодне.

При гарячому прокатуванні оброблюваний матеріал нагрівається до температури, яка залежить від хімічного складу матеріалу і дорівнює  $T_n = 0,8T_{пл}$ , де  $T_{пл}$  – температура плавлення матеріалу.

При холодному прокатуванні процеси обробки відбуваються при кімнатній температурі.

По мірі просування металу між прокатними валками було встановлено [Дослідження осередку деформації при прокатці штаби під кутом у відкритому розрізному калібрі// Штода М.М., Нагорний С.Є./ Обработка материалов давлением, 2014 № 2(30) с.201-205], що по мірі руху металі між прокатними валками коефіцієнт обтиснення зростає, а по висоті виникає утягнення профілю.

Аналіз літературних джерел показав, що застосовують деформацію початкового матеріалу в передчистовій прокатній кліті в симетричному горизонтальному двовалковому калібрі. При прокатуванні у цьому калібрі усі фланці будуть закритими та обтиснення здійснюватися буде за висотою.

Вказаний спосіб не забезпечує отримання точних елементів профілю, що потребує додаткову обробку матеріалу на обробних машинах.

### **1.3 Обладнання, що використовується при прокатуванні**

Прокатування фланцевих профілів здійснюється на обладнанні, що має назву прокатного стану.

Прокатний стан – це комплекс машин та механізмів, що забезпечують отримання потрібних виробів пластичною деформацією.

На прокатних станах здійснюються основні операції – операції пластичного деформування і допоміжні операції під час яких пластичне деформування не відбувається. Під час виконання основних операцій і відбувається пластична деформація під час якої відбувається обтиснення металу, змінюється форма і розміри початкового матеріалу з метою отримання потрібного виробу. Під час допоміжних операцій форма та розміри матеріалу не змінюються. До таких операцій відносять операції повздовжнього та поперечного розрізання матеріалу, переміщення розкатів, їх кантування, таврування, змотування у бунти і рулони.

Виконання основних операцій забезпечує основне обладнання. Виконання допоміжних операцій забезпечує допоміжне обладнання.

До основного обладнання прокатна кліть, передавальний пристрій та електропривід.

Лінія, де здійснюється основні операції, має назву головної або робочої лінії прокатного стану. Ця лінія у своєму складі має наступні елементи: робоча кліть з прокатними валками, шпинделі з муфтами; шестеренні кліті; корінна муфта; редуктор; головна муфта; двигун.

Основне устаткування, де відбуваються усі процеси деформації – це робоча кліть, яка має у своєму складі основний інструмент – прокатні валки, які встановлюють у підшипниках. Також до складу робочої кліті входять дві станини, механізми для встановлення та фіксування прокатних валків у

вертикальній та горизонтальних площинах, валкова арматура, устаткування для змащення та охолодження прокатних валків.

Основне навантаження, що витримує робоча кліть подається на прокатні валки. Це основний деформуючий інструмент, що працює у дуже жорстких умовах. На них впливає велика різниця температур, великий тиск, суттєве абразивне тертя. Через це вони повинні бути досить високоміцними та жорсткими та термостійкими. Для виготовлення фланцевих профілів використовують універсальні балочні кліті (рис. 1.2), які у своєму складі мають горизонтальні та вертикальні прокатні валки.

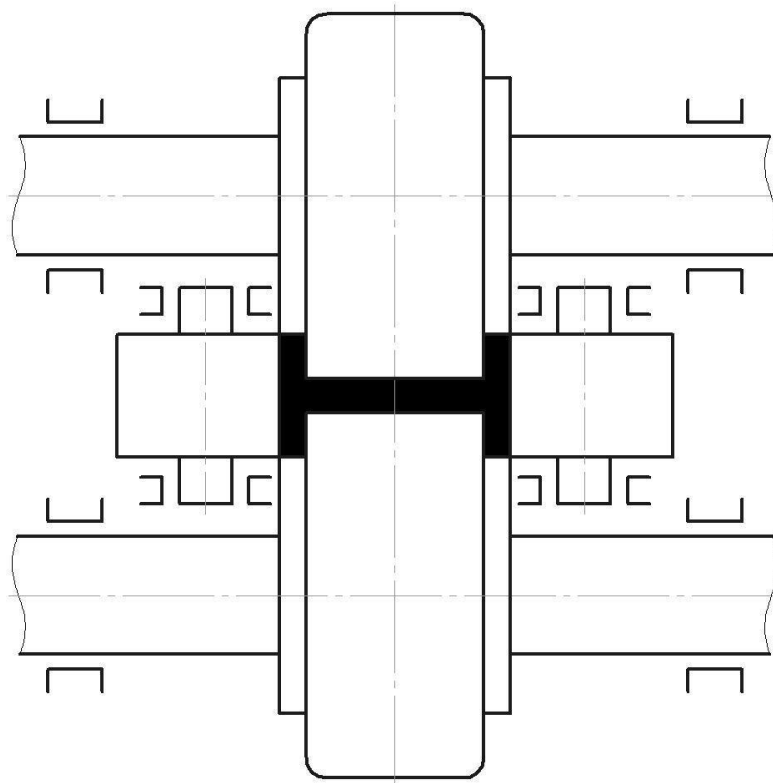


Рисунок 1.2 – Робоча кліть універсального балочного стану

Валки прокатних станів встановлюють в підшипники, які надівають на їх шийки. Через підшипники передаються зусилля прокатування на станину. Також підшипники служать для підтримки прокатних валків. В даний час використовують підшипники кочення та підшипники рідинного тертя. Підшипники розміщують у подушках, які мають вигляд спеціальних сталевих

виливків. Подушки забезпечують збереження точного положення прокатних валків і передачу зусилля прокатування від валків прокатного стану до станини.

Станини можуть бути двох типів: відкритого типу та закритого. Станини закритого типу можуть витримувати більші навантаження, але вони менш зручні в експлуатації. Потрібна обмежена довжина прокатного валку.

Для забезпечення певного положення прокатних валків у робочій кліті використовують механізми вертикальної і осьової установки валків. Такі механізми уявляють собою сукупність натискних і врівноважуючих механізмів.

Натискні механізми забезпечують переміщення прокатних валків. Врівноважуючі механізми використовують для врівноваження верхнього прокатного валка. Вони поділяються на вантажні, пружинні та гідравлічні. Вантажні застосовують для переміщення верхнього прокатного валку на суттєву висоту. Пружинні дозволяють переміщувати на не суттєву висоту.

Для виконання допоміжних операцій використовується допоміжне обладнання.

Допоміжне обладнання можна поділити на дві групи:

- транспортує;
- обробне.

Транспортує обладнання призначено для транспортування матеріалів вздовж та поперек цеху, подачі його до робочих клітей прокатного стану, для кантування розкату. До такого обладнання відносять зливковози, рольганги, холодильники, шлепери, маніпулятори та кантувачі, підйомно-похитні столи.

Рольганги призначені для транспортування матеріалу до прокатного стану, подачі металу в прокатні валки та приймання його з прокатних валків, подачі розкату до ножиць та пилок, до правильних машин. Існує два види рольгангів: робочі та транспортні. Робочі рольганги служать для передачі матеріалу до робочих клітей прокатного стану, інші є транспортними.

Холодильники служать для охолодження розкатів по виходу з прокатного стану. На сортопрокатних станах використовують рейкові і роликові холодильники. Рейкові холодильники можуть бути як односторонні, так і

двосторонні. Кількість сторін у них відповідає кількості ниток, що оброблюється при прокатуванні. Вони також використовуються для приймання обробленого матеріалу, його охолодження, передачі до відповідного рольгангу, переміщення до обробних та правильних машин. Холодильник уявляє собою сполучну ланку між прокатним станом та машиною для обробки розкату.

Для переміщення крупносортових профілів поперек цеху використовують шлепери. За допомогою цього устаткування відбувається переміщення до прибирального карману або у сусідній проліт цеху. Існують канатні та ланцюгові шлепери. Ланцюгові шлепери мають більшу теплостійкість за канатні, але можуть рухатися тільки в один бік. Вони нереверсивні і менш маневрені.

З метою пересування металу по роликам рольгангу паралельно для подальшого спрямування матеріалу у валки використовують маніпулятори.

Для повертання розкату впродовж осі на  $90^{\circ}$  перед задаванням до наступного калібру для забезпечення рівномірного обтиснення служать кантувачі.

На сортових тривалкових, листових та тонколистових двовалкових прокатних станах використовують підйомно-похитні столи для спрямування металу у прокатні кліті.

Обробне обладнання використовується для обробки розкатів з метою покращення його якості. До цього обладнання відносяться правильні та витяжні ролики, обробні верстати.

Для розрізання матеріалу використовують ножиці і пили.

Для порізки готового прокату на мірні довжини та обрізання його кінців використовують ножиці з паралельними ножами, які виконують гаряче та холодне розрізання. За конструктивним виконанням вони можуть бути з верхнім та нижнім різом. Ножиці з верхнім різом мають більш просту конструкцію.

Ножиці з похилими ножами, які ще мають назву гільйотинних, служать для розрізання сортового прокату в холодному стані. Для сортового прокату

форма ножів повністю відповідає профілю поперечного перерізу обробляемого матеріалу.

Для розрізання матеріалу під час його руху з великою швидкістю використовують летючі ножиці. Такі ножиці бувають різних конструкцій: барабанні, важільно-кривошипні, маятникові та планетарні.

Барабанні летючі ножиці використовують для розрізання широких смуг. Використовують як для холодного, так і гарячого розрізання. При цьому смуги рухаються безперервно. Ножиці мають просту конструкцію і не складні в експлуатації. Вони ріжуть метал, який рухається зі швидкістю не більше 15 м/с.

Важільно-кривошипні летючі ножиці використовують для розрізання товстих смуг.

Планетарні летючі ножиці використовують для розрізання заготовок та сортових профілів під час їх руху. При цьому швидкість руху розкатів складає 7,0 м/с. ножиці можуть працювати в режимі без пропуску різку і з пропуском різку. При роботі з пропуском різку в обертання приводиться кривошип від редуктора пропуску різку з кутовою швидкістю барабанів.

Дискові ножиці служать для обрізання кінців смуги і різання широких смуг у поздовжньому напрямку на тонкі смуги.

Дискові пили використовують для розрізання профільного прокату з метою підвищення якості різку. Такі ножиці поділяють на дві групи: для гарячого розрізання та для холодного. Пили для гарячого розрізання мають зубчасті диски, для холодного – гладкі диски. У таких пил з гладкими дисками процес розрізання відбувається внаслідок розплавлення металу під час тертя швидко обертаючого диску.

Для прокатування фланцевих профілів широко використовують рейкобалкові стани (рис. 1.3).





Рисунок 1.3 – Актюбинський рейкобалковий прокатний стан  
(м. Актюбе Казахстан)

На рисунку показано прокатний стан, що знаходиться на підприємстві ТЗОВ «Актюбинський рейкобалочний завод». Це підприємство призначено для виробництва диференційовано термо-зміцнених рейок високої якості і середнього фасонного прокату. Знаходиться підприємство у Казахстані. Прокатний стан має назву «Siemens-VAI» (Primetals Technologies Italy S.r.l.). Він забезпечує випуск продукції високої якості, з високою конкурентною здатністю. Його продукція відповідає вимогам міжнародних стандартів. У виробництві застосована унікальна технологія загартування металу, що забезпечує підвищену зносостійкість.

Проектна потужність підприємства ТЗОВ «АРБЗ» досягає 430 тисяч тонн, в тому числі 200 тисяч тонн рейок і 230 тисяч тонн фасонного прокату. Така продукція здатна забезпечити внутрішню потребу держави і здійснювати експортні поставки. Таке підприємство є третім в світі, що йде після Австрії і Китаю з випуску рейок нового покоління з підвищеною міцністю. Такі рейки мають довжину до 120 метрів.

На меткомбінаті «Азовсталь» також використовували таку технологію, де деформація починається на двовалковій реверсивній прокатній кліті 1000.

В цій кліті розкат отримував форму, що має наближеність до майбутнього виробу, який в подальшому надходив до триклітьового прокатного стану «800», який має у своєму складі дві кліті «тріо» і одну чистову «дуо». Остаточно сформована продукція розрізалася на мірні довжини, охолоджувалася, правилася і спрямовувалася на остаточну обробку, що враховувала правлення, калібрування, обдирання, шліфування. Після чого відбувався контроль та приймання готового прокату.

#### **1.4 Задачі дослідження**

В процесі виконання роботи з метою досягнення її мети потрібно вирішити наступні задачі:

- дослідити способи виготовлення фланцевих профілів з метою визначення їх особливостей;
- проаналізувати обладнання, що використовується для виготовлення фланцевих профілів;
- дослідити особливості режимів обтиснення фланцевих профілів з метою визначення раціонального;
- запропонувати заходи з удосконалення режимів обтиснення.

## 2 РОЗРОБКА РІШЕНЬ З УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ОБТІСНЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ФЛАНЦЕВИХ ПРОФІЛІВ

### 2.1 Особливості прокатування фланцевих профілів

#### 2.1.1. Особливості форми та складові елементи фланцевих профілів

В попередньому розділі було виявлено, що фланцеві профілі відносять до сортових фасонних профілів через те, що вони мають доволі складну форму поперечного перерізу (рис.2.1-2.3). Фланцевий профілі у своєму складі має складний профіль, який умовно можна поділити на декілька простих профілів.

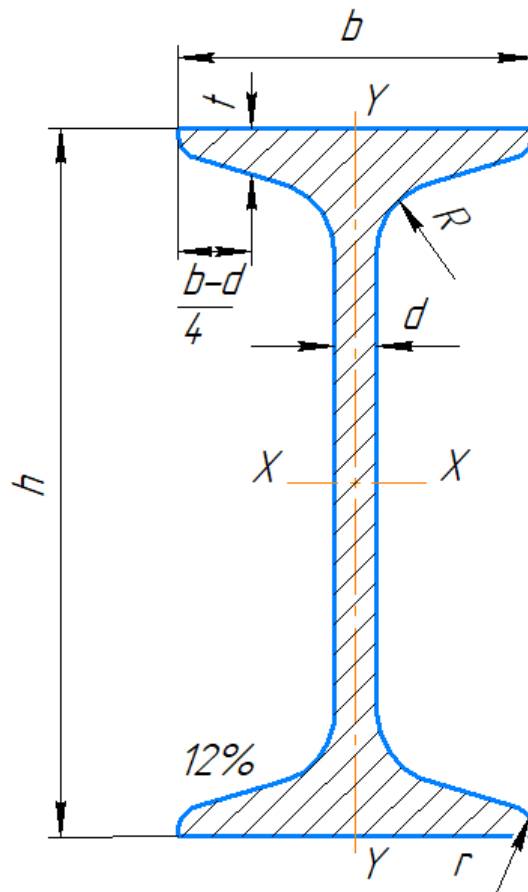


Рисунок 2.1 – Профіль двотаврової балки

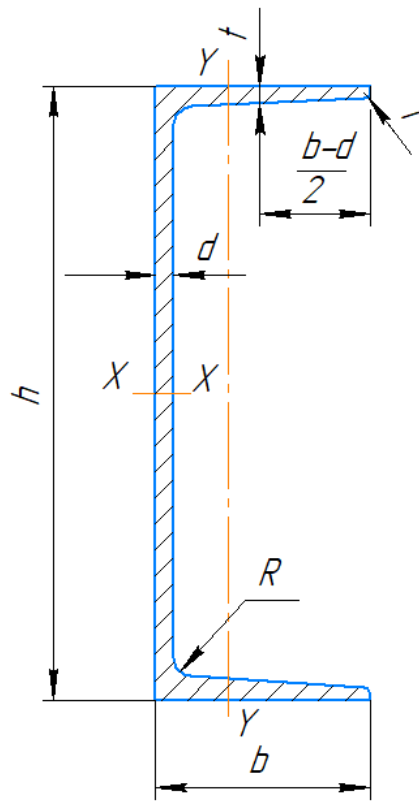


Рисунок 2.2 – Профіль двотаврової балки

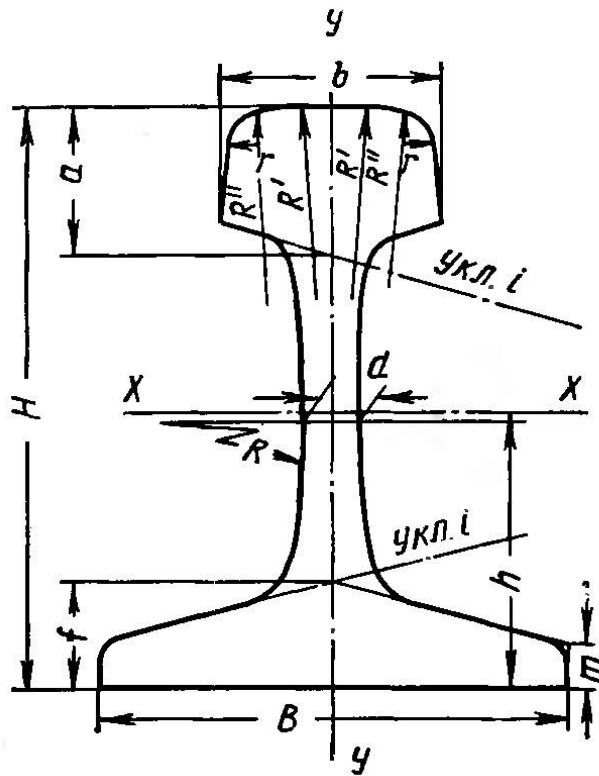


Рисунок 2.3 – Профіль рейки

На рисунках видно, що профіль двотаврової балки складається з трьох частин: двох фланців та стінки; профілі швелера також можна поділити на три частини: дві полиці і стінка; профіль рейки має три різні частини: головка, ніжка і підшва. Усі частини кожного виробу під час прокатування отримують різну деформацію, що потрібно враховувати при складанні технологічного процесу.

В якості початкового матеріалу для прокатування фланцевих проділів можна використовувати блюми, що отримані на блюмінгах або безперервнолиті заготовки, що отримані у машині безперервної розливки. Маса таких матеріалів повинна дорівнювати від 2,0 до 4,0 т, а довжина – від 4,5 до 6,0 м.

Перша операція при виготовленні фланцевих профілів – нагрівання їх у методичних печах. Температура нагрівання залежить від м арки оброблюваного матеріалу і дорівнює 1180 – 1200<sup>0</sup>С. Температура кінцю прокатування повинна не перевищувати 1000<sup>0</sup>С. Більш висока температура кінця прокатки може призвести до утворення крупнозернистої структури матеріалу, що призводить до зниження пластичних властивостей та зменшення ударної в'язкості. Процес нагрівання повинен бути рівномірним через те, що в іншому випадку можливо не отримати вірних розмірів та профілю, створенню не потрібних дефектів в матеріалі. Нагрітий матеріал подається по підходящому рольгангу до обтискної кліті рейкобалкового прокатного стану, де заготовка прокатується у п'ять проходів. Отримується грубо профільований розкат, що має довжину від 9 до 12 м. Після цього розкат надходить до першої робочої тривалкової кліті чорнової лінії, де прокатується у 3-4 проходу. Отримується більш профільована смуга. Після виходу з першої чорнової прокатної кліті розкат за допомогою рольгангу та шлеперу подається до другої кліті тієї ж прокатної лінії. В другій робочій кліті розкат також виконує 3-4 проходу і отримує необхідний профіль. Після цього за допомогою рольгангу та шлеперу подається до робочої двовалкової кліті, де виконується один прохід під час якого формується кінцевий профіль.

Після цього профіль розрізається на мірні довжини, що мають 25 м дисковими пилами гарячого розрізання і надходить до холодильника, де і відбувається охолодження.

Для розрізання розкату використовують дискові салазкові пили. Такі пили мають достатньо високу швидкість різки і, відповідно, високу продуктивність процесу.

При розрізанні залишається деяка величина припуску на усадку матеріалу та на механічну обробку. Після розрізання продукція рухається до штемпельної машини, яка автоматично наносить номер плавки та надходить до згинальної машини.

Технологія прокатування фланцевих профілів має свої особливості: використовується прямокутна заготовка, з якої фланцеві частини розкату формуються у розрізних калібрах, далі відбуваються суттєві бічні обтиснення у фланцевий калібр. При прокатуванні на початку обробки металевий сплав має високу температури і суттєву пластичність. При цьому зменшується опір деформації. На початку обробки такий профіль прокатують у дуже нерівномірних умовах деформації. В подальшому деформацію вирівнюють за рахунок витяжки фланцевих та інших елементів розкату.

Потрібно відмітити, що умови прокатування фланцевих профілів є одними з найбільш складних через те, що при обробці спостерігається дуже висока нерівномірність деформації, особливо вона помітна при обтисненні за шириною полиці. Максимальна нерівномірність деформації спостерігається у розрізних калібрах, де розкат квадратного поперечного перерізу набуває форму, що наближається до кінцевого профілю. Особливу увагу потрібно звернути на те, що в розрізному калібрі прокатування здійснюється при умові задачі розкату під деяким кутом до прокатних валків. Такі умови викликають асиметричні процеси в осередку деформації як з боку нижнього, так і верхнього прокатного валку.

## 2.1.2 Особливості прокатування рейок

Рейки прокатують в умовах дуже нерівномірної деформації, при несиметричній взаємодії прокатних валків. Головка рейки має більшу масу металу як подошва (рис. 2.3). Це зумовлює різниці в температури при кінці прокатування, головки рейки під час обробки зберігає довготривало тепло і остигає в останню чергу. Це призводить до того, що виникає вгинання розкату в бік головки. Тому, потрібні операції правки для її вирівнювання. При виконанні правки в холодному стані виникають остаточні напруження, які мають негативний вплив на якість виробу. З метою уникнення цього недоліку виконують додаткове вигинання подошви рейки. Величина прогинання цілком залежить від розподілу металу. Чим менша різниця в нерівномірності розподілу металу, тим потрібна менша величина прогину.

На рейкобалкових прокатних станах таке прогинання виконують за допомогою роlikової машини.

Для охолодження рейок використовують шлепперні холодильники.

На рейкобалкових станах розрізання відбувається в гарячому стані до надходження до холодильнику. Холодильники рейкобалкових станів для повертання виробів оснащене кантувачами.

Рейки піддають уповільненому охолодженню або ізотермічній витримці. Рейки охолоджують на холодильниках до появи їх магнітних властивостей. Але температура не повинна бути нижчою за  $450 - 500^{\circ}\text{C}$ . Після цього магнітними кранами завантажують у колодязі. В колодязі рейки встановлюють по 10 рядів, тривалість завантаження рейок у колодязь повинна не перевищувати 20 хвилин. Після чого колодязь закривають та повільно охолоджують вироби до температури, яка дорівнює  $100-150^{\circ}\text{C}$  протягом 6-8 годин. Після цього відбувається витримка у колодязі при відчиненій кришці протягом 30 хвилин. Такий режим має свої переваги та недоліки.

До недоліків охолодження у колодязях можна віднести те, що відбувається нерівномірність охолодження виробів за висотою і довжиною колодязя та довга тривалість процесу.

Ефективним способом покращення структури фланцевих профілів є ізотермічна витримка при температурі максимальної рухомості водню. При цьому обов'язковою умовою для забезпечення максимальної ефективності процесу є повне перетворення  $\gamma$  заліза в  $\alpha$  залізо. Перед ізотермічною витримкою бажано переохолоджувати матеріал до температури, що дорівнює 250-300<sup>0</sup>С, витримати деякий недовгий час, після чого нагріти матеріал до температури 600-650<sup>0</sup>С. при цьому повністю завершується перехід  $\gamma$  у  $\alpha$  залізо і утворюються залишкові напруження, які посилюють рух дислокацій, притягуючи до себе водень. Після цього ізотермічна витримка завершується. Після обрізання розкатів на мірні довжини їх спрямовують до холодильника, після чого вони охолоджуються до температури 600<sup>0</sup>С. після чого рейки транспортують до печі. За допомогою шлеперів їх передають на ланцюговий конвеєр печі. Температура у печі дорівнює 600<sup>0</sup>С, де вироби перебувають протягом двох годин. Після витримку рейки відправляють на огляд та відділку.

Покращити властивості рейок можна за рахунок повторного нагрівання охолодженого виробу з наступним охолодженням на повітрі. Така операція має назву нормалізації. Нормалізація сприяє суттєвому зменшенню залишкових напружень. Після нормалізації характеристики міцності зменшуються, а пластичності збільшуються. Нормалізація дозволяє уникнути розтріскування рейок. Для такої обробки використовують печі з роликівим подом, що має гладкі ролики. Рейки в печі рухаються в пакетах по 8 – 10 штук. Видача рейок з печі – бічна за допомогою шлеперного устаткування. На ділянки видачі виробу з печі використовують підвісне зведення печі. Піч має 67 роликів та 27 знаходяться у камері видачі. Ролики мають шаг, що дорівнює 1100 мм, їх діаметр дорівнює 360 мм. Виготовляють їх з матеріалу 36Х18Н25С2. Швидкість руху роликів складає 0,65 і 0,12 м/с. Найбільша швидкість руху рейок повинна дорівнювати швидкості їх руху по підводному рольгангу. Таку швидкість



приймають при завантаженні нової партії рейок у піч. До вікна а видачі рейки рухаються зі швидкістю 0,12 м/с. тривалість нагрівання рейок складає до 30 хвилин, продуктивність печі дорівнює 60 т/год. Нагрівають рейки до температури 860 – 880 °С, після чого видають на повітря для охолодження та спрямовують у сорбितिзаційну машину з метою закалювання поверхні котіння рейок за усією довжиною.

При виборі початкового матеріалу для виготовлення рейок, потрібно враховувати форму та розміри готового профілю. Початковий матеріал для прокатування рейок виконується з прямокутної заготовки, у якої один бік в 1,5-1,7 разів більше іншого. Для отримання рівного профілю використовують прокатні валки з прямокутними ящиковими калібрами. Заготовку задають в перший фасонний калібр, де встановлюють її на ребро. Прокатування відбувається у декількох фасонних калібрах, з яких 3 або 4 калібру мають трапецеїдальну форму, інші рейкові калібри.

Перший трапецеїдальний калібр має розрізаючий гребінь і призначений для утворення глибокого врзання в рейковій заготовці, після цього, утворюються фланці, які в наступних калібрах розгортаються і обтискуються, чим забезпечується ретельна деформація підшви (рис. 2.4).

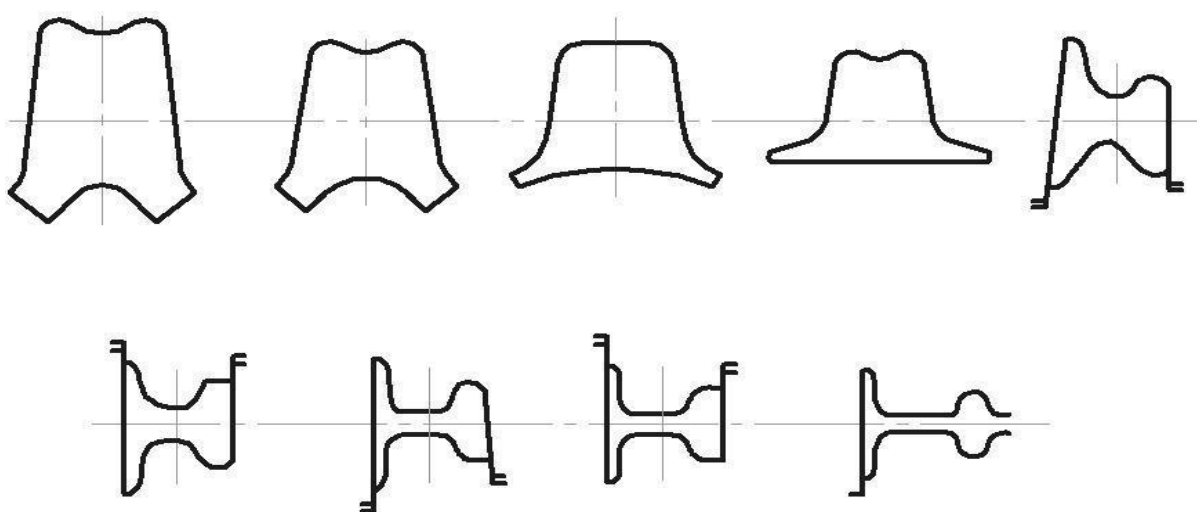


Рисунок 2.4 – Схема калібрування залізничних рейок

Для прокатування використовується рейкобалковий стан, сортамент якого складається з залізничних рейок, що мають масу від 38 до 75 кг/п.м., трамвайних та підкранових рейок, двотаврових балок і швелерів, розміри яких позначаються номерами від № 24. Також до сортаменту рейкобалкового стану можна віднести рівнобокі та нерівнобокі кутники, зетоподібний профіль, круглі і квадратні профілі великих розмірів тощо.

Наприклад, для виробництва доволі складного профілю – залізничні рейки на стані 800 процес прокатування наступний:

Обираємо прокатний стан лінійного типу, кліті розташовані в дві лінії. У першій лінії прокатного стану розташовано обтискну дуо-реверсивна кліть 900, що уявляє собою малий блюмінг, на другій прокатній лінії розташовано три кліті 800: чорнову і передчистову тривалкові кліті та чистову двовалкову з окремим приводом. Для отримання рейки використовуються заготовки, що мають поперечний переріз 300×340 мм, які нагрівають в методичних печах до температури 1180-1200°C. У обтискній кліті прокатування здійснюють в ящикових і трьох або чотирьох калібрах, що мають таврову форму, далі прокатують в пластових калібрах.

На виході з чистової прокатної кліті отримуємо рейки, що мають довжину близько 75 м. Температура кінця прокатування дорівнює 900°C.

Перед холодильником отримані рейки розрізають за допомогою дискових пил, і отримують довжину 12,5 або 25 м з врахуванням термічної усадки та залишають припуск на механічну обробку торців рейок.

Під час охолодження рейки може виникнути її термічне прогинання у бік головки. Тому її попередньо згинають у бік підшви і, в подальшому, у такому вигляді поставляють до холодильника, де вони охолоджуються до температури 600°C. Після цього їх уповільнено охолоджують використовуючи протифлокенну обробку в ямах, до температури 150-200°C протягом 7-8 год.

Після повільного охолодження відбувається правка рейок у роликотправильних машинах, де додатково правлять кінці рейок на штампельних

пресах. Далі відбувається фрезування торців рейок з метою досягнення їх стандартного розміру і свердління отворів на свердлильних верстатах. Після цього перевіряють рейки на наявність чи відсутність дефектів у ультразвукових камерах.

Після цього виконують термічну обробку рейок – нормалізацію у прохідних печах або загартування головки рейки, де відбувається нагрівання її токами високої частоти до температури  $1000^{\circ}\text{C}$  і охолодження водоповітряною сумішшю. Після цього виконують остаточну правку рейок на роликотправильній машині в положення стоячи та правлять під пресом в положенні на боці.

Далі відбувається приймання рейок відділом технічного контролю та інспекторами. При цьому контролюють хімічний склад матеріалу рейки та його структуру, відбувається контроль міцності рейки, її пластичності, ударної в'язкості, злам зразків.

Прокатування балок, швелерів та інших фланцевих профілів здійснюють за такою самою схемою, але можливі деякі спрощення, до яких відносять більш широкий температурний інтервал нагрівання вихідних матеріалів, що знаходиться у межах  $1200-1280^{\circ}\text{C}$ , може бути відсутній попередній вигін розкату перед направленням на холодильник та уповільнене охолодження та менший обсяг обробки та контроль якості профілю.

Термічна обробка фланцевих профілів:

Фланцеві профілі повинні мати достатню високу твердість та міцність. І при цьому вони повинні мати достатню пластичність, не бути схильними до утворення тріщин, локенів. Дослідження довели, що сорбітна структура є кращою структурою для працездатності рейок. з метою досягнення такої структури і перелічених властивостей потрібно виконати відповідну термічну обробку матеріалу фланцевого профілю. Найкраще поєднання властивостей міцності та пластичності досягається при наступній схемі термічної обробки: ізотермічна витримка, повторне нагрівання, закалювання, відпущення.

Також свій вплив має процес нагрівання перед прокатуванням, що також здійснює закалювання матеріалу, що дозволяє підвищити механічні властивості.

Поверхнєве закалювання головок рейок здійснюється з повторного нагрівання матеріалу. В цей час на останній частині рейки відбувається нормалізація. З першого нагрівання структура підшви та шийки рейки не отримують ніякого покращення, не відбувається у ній ні яких змін. При повторному нагріванні структура підшви та шийки рейки стає дрібнозернистою, метал набуває пластичності, ударної в'язкості та витривалості.

У випадку коли остання операція термічної обробки рейки – це ізотермічна витримка, то сталеві матеріали набувають потрібної пластичності. Перед закалювання рейку оббризкують водою.

З метою закалювання – рейки нагрівають у спеціальній печі перед закалюванням до температури 850-870 °С, після чого її завантажували у закалювальну машину.

Існує два режиму закалювання:

1) після закалювання відбувається самовідпуск рейок; у цьому випадку тривалість закалювання досягає 10 с не враховуючи часу на відкриття та закриття заслонки у печі;

2) після процесу закалювання здійснюється наступна термічна обробка - відпущення рейок; у цьому випадку тривалість закалювання складає близько 15 с також не враховуючи час на відкриття та закриття заслонки у печі.

Перед закалюванням рейки охолоджують з метою зменшення температури кінців підшви. На виході з прокатного стану такі кінці підшви повинні мати більш низьку температуру за останню частину рейок. Перед тим, як виконати посадку рейок у піч, температурву в печі піднімають і прогрівають піч до температури 650-680 °С. Далі піч повільно охолоджують під час відпущення матеріалу, і на при кінці процесу температура повинна 530-560 °С. Відпущення триває до 3-х годин. Потрібно відмітите те, що після закалювання рейки залишаються прямими, а після відпущення вони набувають деякого вигинання.

Після термічної обробки, рейки повинні мати твердість HB 300-320. Різко збільшується при цьому відносне звуження, що властиво для сорбітної структури сталі. Матеріал набуває високої ударної в'язкості за усім профілем рейки. При 40 °С висока в'язкість зберігається, що дає змоги запобігти руйнуванню.

Для рейок з низьковуглецевої сталі такий режим термічної обробки забезпечує більш високий рівень механічних властивостей матеріалу та їх рівномірність за усім поперечним перерізом профілю.

Також використовували методи поверхневого закалювання рейок. Такі методи простіше здійснити за методи об'ємного закалювання. Вони не потребують додаткових складних операцій нагрівання.

В обробному відділенні відбувається правка рейок. Для цього звичайно використовують п'яти – семи роликкових правильних машини. Швидкість руху рейок при правці знаходиться в межах 0,8-1,6 м/с.

Після виправлення рейки по рольгангу спрямовують до потокових ліній обробки. Канатними шлеперами рейки направляють до стелажів, що розташовано попереду фрезових металорізальних верстатів і укладають їх на відстані 30 мм один від іншого. Зі стелажів рейки продають до фрезових та свердлувальних верстатів з метою фрезування їх торців та свердлування отворів для кріплення.

З метою збільшення міцності та зносостійкості фланцевих виробів їх торці закалюють з метою отримання сорбітної структури. Довжина кінця рейки, де відбулося закалювання знаходиться у межах від 100 до 150 мм, а глибина закалювального шару дорівнює близько 4 мм. Повинен бути поступових перехід від термічно обробленого до необробленого шару рейки, бути відсутній перегрів матеріалу.

Після відділки рейки передають на рольганг і транспортують їх до інспекторських стелажів, де і відбувається остаточний контроль та приймання рейок. Після чого їх транспортують на склад готової продукції або відвантажують замовнику.

Балки, швелери та інші профілі від рейкобалкового прокатного стану розрізають на мірні довжини за допомогою салазкових пилок, охолоджують на холодильнику та спрямовують до обробного відділення. Для правки балок, швелерів також використовують роликові правильні машини. Для правки фланцевих профілів, які у площині більшої жорсткості і для виправлення кінців, що не достатньо були виправлені на роликовій правильній машині, використовують горизонтальні правильні преси. Після повного охолодження для обрізання на мірні довжини і вирізання отриманого браку використовують ножиці холодного обрізання.

Ділі відбувається укладка фланцевих, балочних та інших фланцевих профілів за допомогою штабелюючої машини. Після цього здійснюється огляд з усіх боків. При цьому виконується кантування за допомогою кантувача.

### **2.1.3 Прокатування і калібрування швелера**

Швелери виготовляють висотою 50-400 мм, яким відповідають номери № 5-40. Швелери № 5-8 мають мірну довжину 5-12 м, № 10-18 довжину – 5-19 м, № 20-40 довжину 6-19 м.

Спочатку заготовку при виготовленні швелера прокатують у ящикових прямокутних чи квадратних калібрах, далі у фасонних. Першим фасонним калібром є розрізний (рис. 2.5, *а*, *б*). Такий отриманому квадратному розкату надає форму, яка наближається до форми готового профілю.

Такий калібр, в залежності від призначення та розмірів може мати різну форму за способом врізання у прокатні валки:

- з роз'ємом по середині або відкритий (рис. 2.5, *а*);
- з роз'ємом біля краю фланці або закритий (рис. 2.5, *б*).

Відкриті калібри використовують у тому випадку, коли умови міцності прокатного валка не дозволяють виконати глибоке врізання у прокатні валки, через те, що може відбутися їх послаблення і вони можуть зруйнуватися.

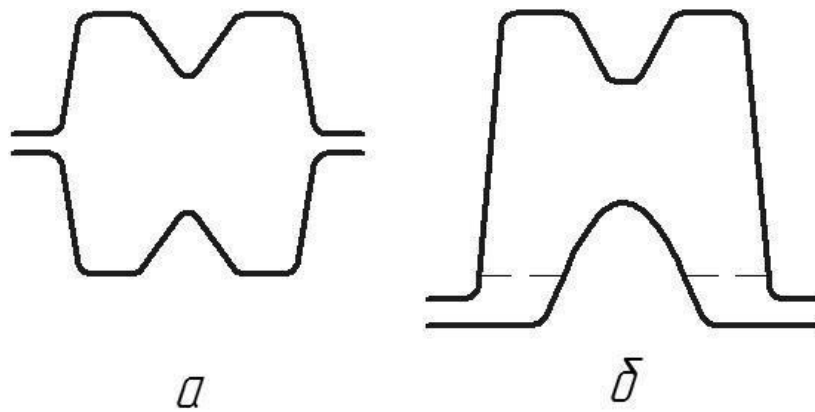


Рисунок 2.5 – Форма розрізних калібрів: *a* – з роз’ємом по середині (відкритий); *b* – з роз’ємом у краю фланця (закритий)

Для закритих калібрів характерне глибоке врізання у прокатні валки. Це можливо виконати у тому випадку, коли робоча кліть має прокатні валки великого діаметру і виконано їх з достатньо міцного матеріалу.

Існує декілька методів калібрувань прокатних валків для отримання швелерів: калібрування валків балочним методом (рис. 2.6, *a*), калібрування зі збільшеним ухилом фланців та вигнутою стінкою (рис. 2.6, *b*), метод згинання фланців (рис. 2.6, *в*), розгорнуте калібрування (рис. 2.6, *г*).

У випадку калібрування прокатних валків за балочним методом розрізний та декілька перших чорнових калібрів використовують для прокатування двотаврових балок та швелерів, що мають однакові профілерозміри та характеризуються однаковими номерами. Такі заходи дозволяють скоротити парк прокатних валків і зменшити час, що витрачається на їх перевалку при переході з одного профілю на інший. Для виготовлення рейок балочним методом повинні бути в наявності відкриті та закриті фланці у чорнових калібрів, але в цьому випадку відрізняють дійсні фланці, що забезпечують формування фланців швелера, і лживі фланці, які потрібні для зберігання температури кутів швелера з метою кращого їх виконання. Лживі фланці зменшуються за висотою при проході до чистового калібру, в чистовому калібрі вони відсутні. Балочний метод має недоліки: малий кут нахилу зовнішніх

граней фланців, що ускладнює переточування прокатних валків, зайва висота лживих фланців, яка утворюється в перших за рухом прокатування калібрах призводить до збільшення втрат енергії, що витрачається на деформацію металу, малий випуск калібру сприяє більшому зношенню фланців калібрів.

При калібруванні зі збільшеним кутом нахилу фланців та вигнутою стінкою, лживі фланці виконують розмірами, які значно менші за попередні. За таким методом відбувається більш інтенсивне деформування матеріалу. Це дозволяє скоротити кількість проходів. При збільшенні випуску калібру зменшується знос калібрів.

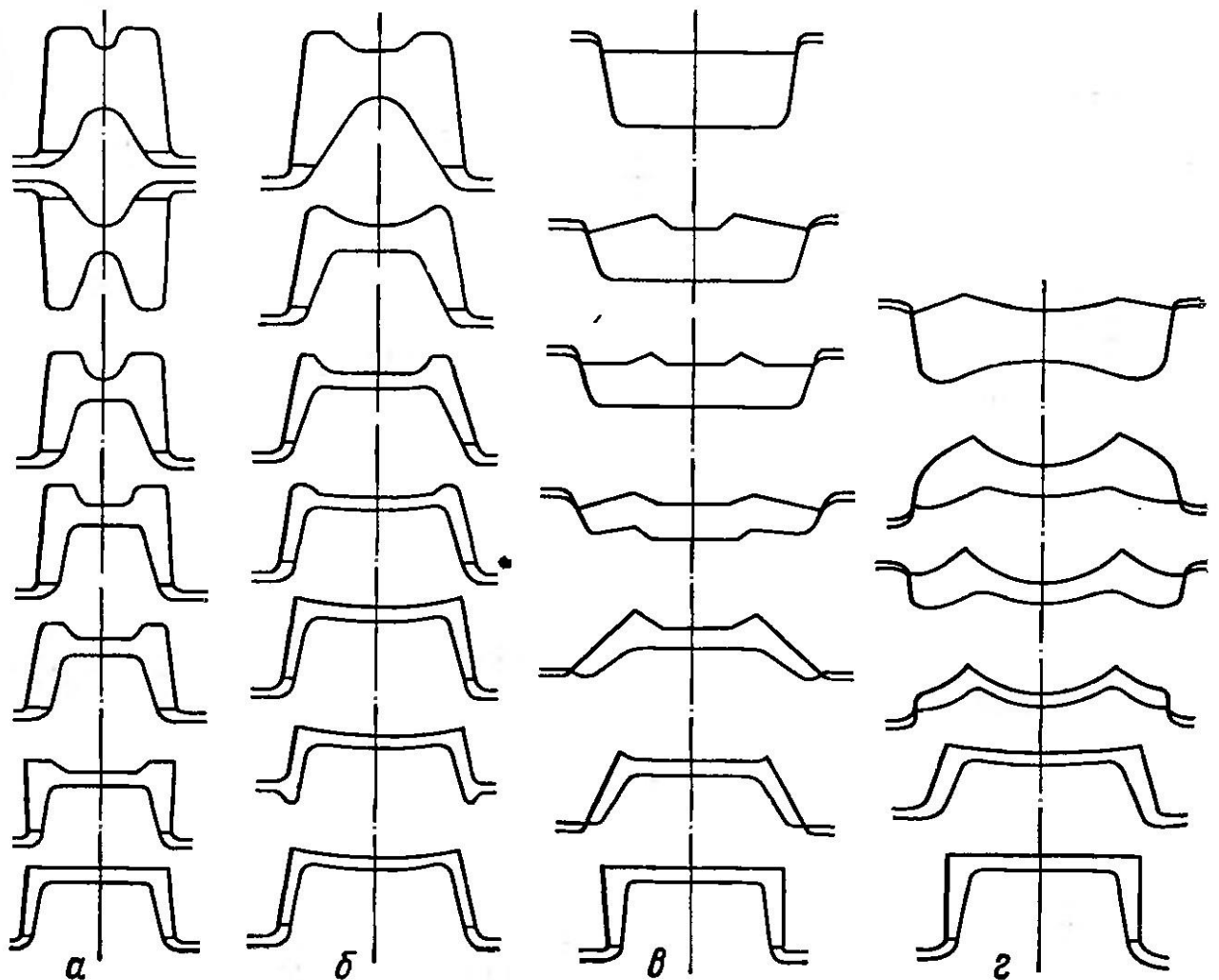


Рисунок 2.6 – Способи прокатування швелерів



При калібруванні прокатних валків за методом згинання, відбувається суміщення процесу прокатування на початку у калібрах смугового типу, далі відбувається прокатування з поступовим згинанням фланців. Такі калібри мають переваги у тому, що існує більш рівномірне обтиснення в усіх елементах профілю і виконується менша глибина врізання у прокатні валки, що дозволяє збільшити їх стійкість, зносотривкість та міцність. Але існують і недоліки: згинання смуги до форми швелера – це доволі складна операція, потребує додаткові витрати на задачу смуги у чистовий калібр.

Розгорнуте калібрування швелера відбувається при відсутності бокового обтиснення по фланцям профілю. Це дозволяє виконувати деформацію матеріалу в калібрах більш інтенсивною, що забезпечує зменшення кількості фасонних калібрів, спрощує процес переточування калібрів, уникнути з'явлення закатів у основи фланця, вести прокатування з рівномірним режимом обтиснення у різних елементів профілю, зменшити ступінь зношення калібрів.

При прокатуванні швелера у передчистових калібрах утворюються дійсні та лживі фланці. На передчистовому калібрі ми помічаємо утворення дійсних фланців, лживих фланців та стінки (рис. 2.7). Завдяки дійсним фланцям формуються полиці швелера. За формую вони, як правило, відкриті. Утворюються полиці двома прокатними валками. В контрольному калібрі вони можуть бути закритими.

Лживі фланці призначені для утворення додаткового об'єму металу у фланцях. За рухом прокатування вони поступово зменшуються. Призначення їх зберігати тепло та кути профілю від переохолодження.

Але через утворення лживих фланців виникає збільшення нерівномірності деформації, тому розміри лживих фланців повинні бути мінімальними.

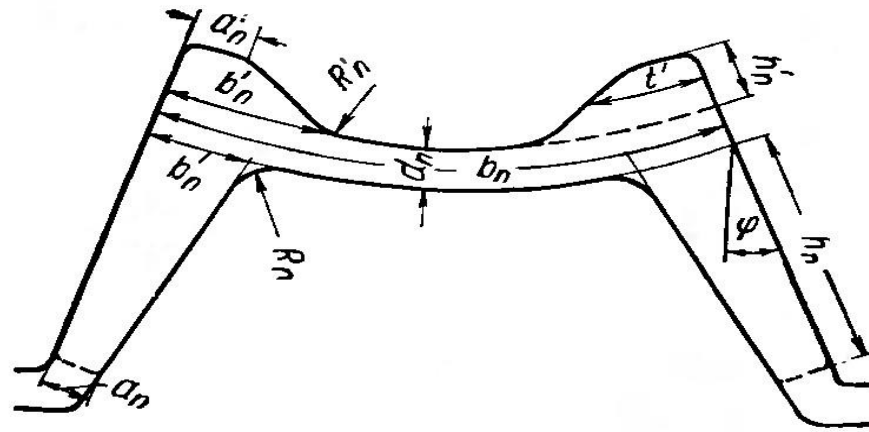


Рисунок 2.7– Утворення лживих фланців

### 2.2.4 Прокатування і калібрування балок

При прокатуванні балок частіше використовують прямі балочні калібри, що складаються з відкритих та закритих фланців (рис. 2.8).

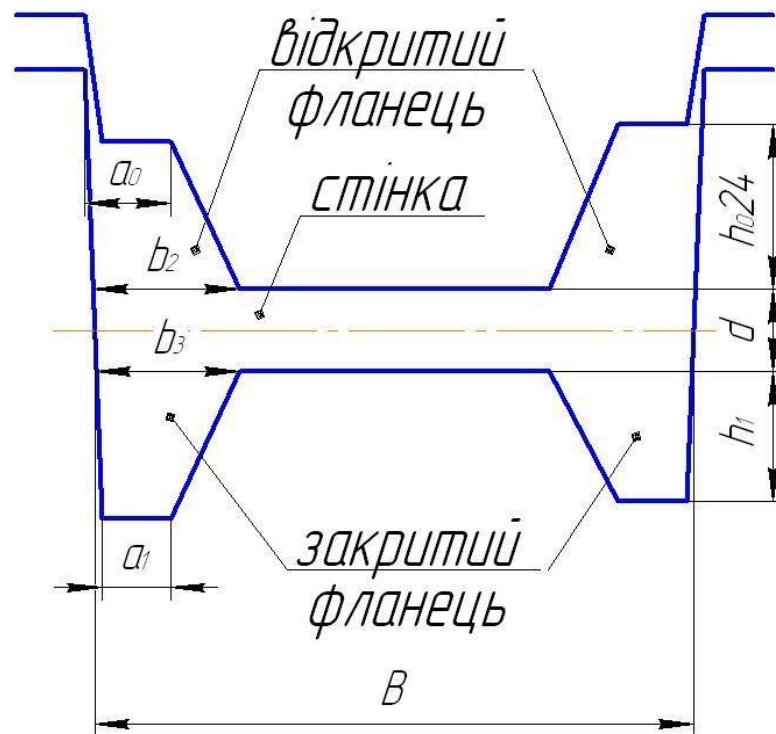


Рисунок 2.8 – Будова балочного калібру

Стінка калібру утворюється від сумісної дії гребнів верхнього і нижнього прокатних валків. Фланці, що мають відкриту форму, утворюються бічними стінками буртів одного та гребнями другого прокатного валку. Фланці, які мають закриту форму, врізають у один прокатний валок, при прокатуванні метал фланцю отримує утягнення за висотою та товщиною його. При прокатуванні положення відкритих і закритих фланців чергується. Це забезпечує уникнення кантування і дозволяє краще проробити внутрішню поверхню, що обтискується прокатними валками.

Існує декілька способів розташування таких калібрів, які залежать від форми та розмірів балочного профілю, а також від способу їх прокатування (рис. 2.9).

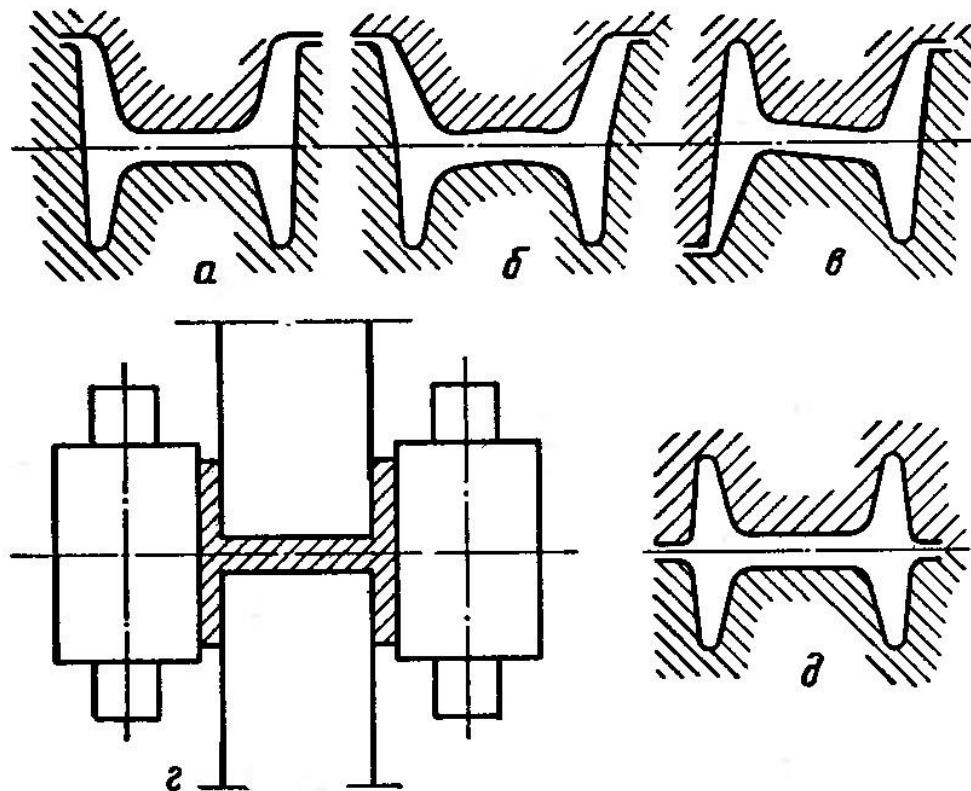


Рисунок 2.9 – Типи калібрів: *a* – з вигнутою стінкою; *б* – прямий розширений; *в* – косий калібр; *г* – універсальний; *д* – симетричний - відкритий

У випадку прокатування виробів дрібних та середніх розмірів широко використовуються ті калібри, які мають вигнуту стінку та підвищений нахил зовнішніх стінок фланців. Такі калібри мають відкриту форму.

В умовах косоного розташування фланцевих калібрів забезпечується постійність ширини калібру та паралельність зовнішніх бокових граней полиць при переточуванні. Також у цьому випадку забезпечується легкі невеликі обтиснення фланців за їх товщиною, що дозволяє скоротити кількість проходів. Відбувається зменшене зношення прокатних валків. Але вони мають недолік: при обробці виникають великі бокові зусилля, що може викликати осьове зміщення прокатних валків.

Універсальним калібрам віддають перевагу при обробці на спеціальних рейкобалкових крупносортових прокатних станах та при прокатуванні на універсальних станах. Пряме обтиснення у таких калібрах відбувається прокатними валками, що розташовано горизонтально, обтиснення з обох боків здійснюється вертикальними прокатними валками. Калібри, що належать до чорнових універсальних балочних станів мають нажили стінок як внутрішніх, так і зовнішніх. Це дозволяє підвищити ступінь використання горизонтальних прокатних валків та покращити термін їх праці. Чистові калібри універсальних балочних станів нахилів не мають, що забезпечує отримання балок з паралельними як внутрішніми, так і зовнішніми гранями полиць.

Симетричні калібри застосовують при обробці виробів на обтискних прокатних станах таких як блюмінги при прокатуванні крупногабаритних масивних виробів, а також можна використовувати при обробці в обтискних реверсивних клітках дуо, що належать до рейкобалкових прокатних станів.

При прокатуванні деформуються усі елементи фланцевого профілю: стінка, полиці, які мають два фланця – відкриті та закриті.

Розглянемо характер деформації сталевого виробу в двотавровому калібрі під час сталого процесу прокатування. Положення розкату при прокатуванні у калібрі визначається виходячи з умов рівноваги сил, що діють в контакті валків зі смугою. При цьому потрібно враховувати згинання профілю, що можливо при

пластичній деформації під час обробки матеріалу і також може відбуватися перерозподіл металу з одного елементу профілю в інший.

При прокатуванні у двотавровому калібрі, що має пряму стінку розташування профілю, положення самого профілю визначається стінкою, а під час обробки профілю з вигнутою стінкою – характером її перегину.

На рисунку 2.10 показано ряд вертикальних перерізів профілю та калібру за довжиною осередку деформації при прокатуванні. У сучасних прокатних станів в системі калібрів виконується нахили бокових стінок відкритих фланців більшими по величині за нахили закритих фланців.

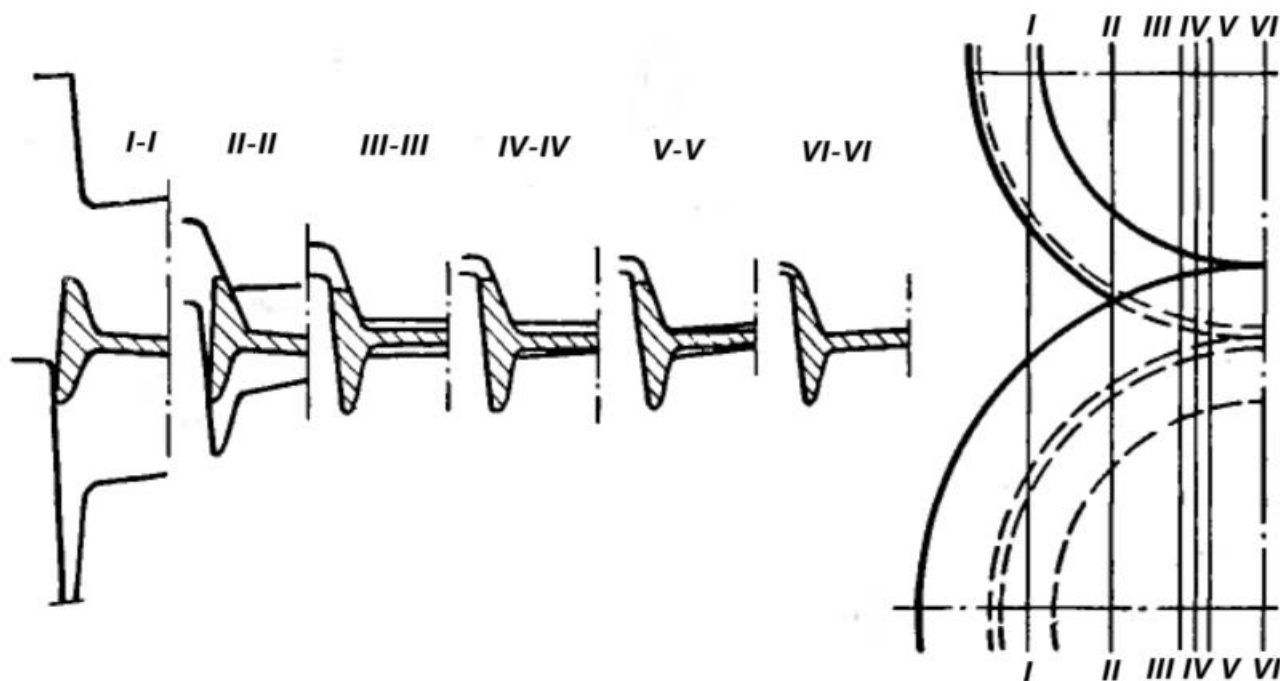


Рисунок 2.10 – Положення матеріалу в балочних калібрах при на різних етапах обробки

При дослідження виділимо декілька перерізів.

Переріз *I-I* показує, що фланець доторкається зовнішньої бічної поверхні калібру.

Переріз *II-II* показує, що протилежний фланець доторкається до внутрішньої сторони гребня, що утворює відритий фланець калібру. При цьому

при обробці виникає відгинання обох фланців разом з їх повертанням. Така дія не викликає значного вирівнювання процесу вирівнювання стінки через те, що відбувається місцеве збільшення її ширини, яке стримується сусідніми ділянками сталевого розкату.

В перерізі *III-III* відбувається обтиснення сталевого розкату в закритому фланці. В цей час зовнішня поверхня фланцю, що задається в калібр, притискається його бічними стінками.

В перерізі *IV-IV* верхній та нижній фланці піддаються обтисненню переважно у основи калібру при обробці. Порівняно невелике їх обтиснення не викликає загальне збільшення довжини розкату. Через таке явище метал, що обтискається, з фланців перерозподіляється в стінку калібру, яка на цей час вже затиснута зовнішніми гранями калібру. Через дію таких сил, стінка може потовщуватися та вигинатися.

В перерізі *V-V* здійснюється обтиснення усіх елементів обробляемого профілю. В закритому фланці під час обтиснення відбувається защемлення та утяжка фланцю, яка супроводжується обтисненням за висотою. Бічне обтиснення розкату у відкритому фланці відбувається менше за обтиснення стінки. У відкритому фланці величина висотної деформації металовиробу залежить від відношення величин витяжок у цьому фланці та стінки.

Остаточне формування готового профілю здійснюється у перерізі *VI-VI*. Таке явище свідчить про те, що деформація при прокатуванні фланцевих профілів однакової значення приймає лише при обробці у чистових калібрах, а у інших передчистових вона різна і може мати суттєві відмінності. Через це такий процес умовно розбивають на декілька етапів:

1-й етап – фланці мають витяжку, яка дорівнює більше одиниці, а стінка має витяжку, яка менше одиниці, що виражається нерівністю:  $\mu_{\text{фл}} \geq 1 \geq \mu_{\text{ст}}$ . На цьому етапі стінка гальмує витяжку фланців, що обтискаються, при цьому частина металу, що піддається обтисненню з фланців перетікає у стінку. Площа поперечного перерізу стінок у цьому випадку декілька збільшується.

Під час другого етапу – витяжка фланців більша за витяжку стінки і ці обидві витяжки більші за одиницю. На цьому етапі через те, що почалась контактна деформація стінки перерозподіл металу зупиняється і утворюється можливість витяжки металу за усім профілем, що обтискається. Через таку дію деформації починається інтенсивне зростання коефіцієнта витяжки фланців.

На третьому етапі витяжка стінки перевищує витяжку фланців і перевищує одиницю. Це свідчить про те, що починається інтенсивна деформація стінки і незначна деформація фланців. У цій частині калібру відкривається можливість зворотного перетікання металу зі стінки до фланцю. Четвертий етап характеризується тим, що витяжка стінки приблизно дорівнює витяжці фланців і обидві витяжки приймають значення більші за одиницю.

Це свідчить про те, що оброблюваний матеріал наближається до виходу з прокатних валків і витяжки у цей час вирівнюються між собою, перетікання металу не відбувається. Але може відбуватися не повне вирівнювання витяжок через що можуть виникати остаточні внутрішні напруження. Таким чином, видно, що на початку процесу прокатування відбувається перетікання металу з фланців у стінку при різних коефіцієнтах витяжки в цих елементах, а при кінці процесу прокатування, навпаки, зі стінки у фланці, то б то метал тече у зворотному напрямку і коефіцієнти витяжки вирівнюються у фланцях та стінки, що призводить до виникнення внутрішніх напружень в матеріалі, що обробляється. До вказує на те, що виникають особливі вимоги до матеріалу з точки зору пластичності. Також потрібно витримувати визначену температуру прокатування.

Для виготовлення фланцевих профілів використовують рейкобалочні прокатні стани. На таких прокатних станах прокатують залізничні рейки важкого типу, що мають масу 1 м до 75 кг, профілі балочного типу, що мають висоту до 600 мм з шириною полиць до 250 мм, швелери, що мають висоту до 400 мм, кутову сталь розмірами від 180x180 до 230x230, шпунтову сталь, а також можливо отримувати круглу сталь, що має розміри від 120 до 350 мм.

## 2.2 Дослідження коефіцієнтів витяжки у осередку деформації

Було виконано дослідження коефіцієнтів витяжки при деформації фланцевих профілів за допомогою профілографа [6].

Виконавши ретельний аналіз процесу деформації видно, що прирощення ширини стінки відбувається за рахунок обтиснення внутрішніх граней фланців, що необхідно враховувати при визначенні коефіцієнтів витяжки як для фланців, так і для стінки.

На рисунку 2.11 показано накладення двох послідовно розташованих калібрів.

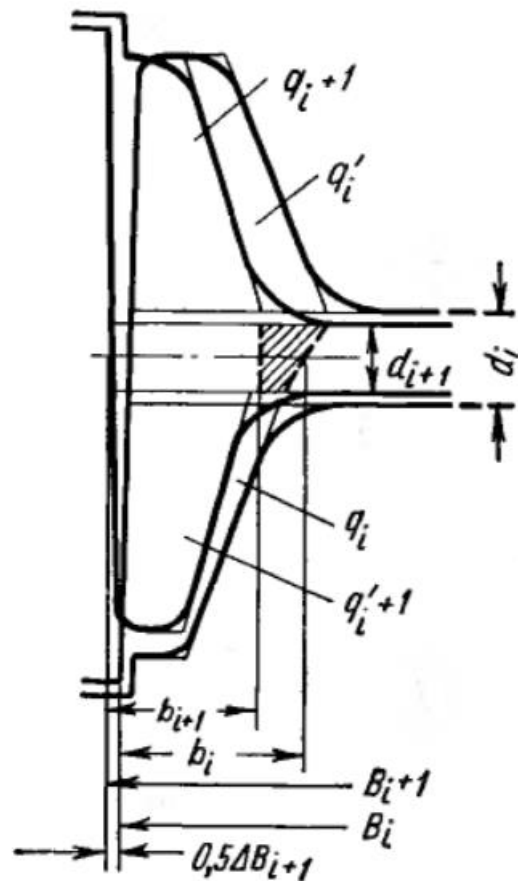


Рисунок 2.11 – Схема розташування двох послідовних калібрів



Витяжка во фланцях буде дорівнювати:

$$\mu_{\text{фл}} = \frac{q_i + q'_i + d_i b_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + d_{i+1}(b_i + 0,5\Delta B_{i+1})}$$

де  $q_i$  – площа відкритого фланцю  $i$ -того калібру;

$q'_i$  – площа закритого фланцю  $i$  – того калібру;

$q_{i+1}$  – площа відкритого фланцю наступного калібру;

$q'_{i+1}$  – площа закритого фланцю наступного калібру;

$\Delta B_{i+1}$  – розширення, яке відбувається у наступному калібрі.

Вирази  $d_i b_i$  і  $d_{i+1}(b_i + 0,5\Delta B_{i+1})$  уявляють собою площами ділянок, що слугують подовження стінок і площі полосоподібного елемента. Площа стінки, що показано заштрихованою на рисунку двох калібрів.

Для визначення коефіцієнту витяжки стінки, що має ширину  $(B_i - 2b_i)$ , потрібно визначити відношення товщини смуги, що заходить до тої товщини смуги, яка виходить з прокатних валків. Враховуючи ті обставини, що на початок обтиснення калібр заповнено за шириною і метал всередині стінки не може отримати суттєвого розширення, то коефіцієнт витяжки може бути визначено, як відношення початкової та кінцевої товщини стінок за формулою:

$$\mu_{\text{ст } i+1} = \frac{d_{\text{ст}}}{d_{\text{ст}+1}}$$

Метал зі стінку в фланець і навпаки, перетікає в мінімальній кількості у тому випадку, коли буде невелика рівномірність деформації, а саме у тому випадку, коли витяжка буде однакова у всіх елементах калібрів. Але, з метою кращого заповнення калібру, на практиці в останніх проходах потрібно призначати для стінки коефіцієнти витяжки меншими, як для фланців. У перших проходах, коли стінка має невелику площу поперечного перерізу, навпаки, коефіцієнти витяжки для стінки призначають більшими за коефіцієнти витяжки для фланців. Тоді, коефіцієнт витяжки в попередньому калібрі можна визначати з виразу:

$$\mu_{\text{фл}} = \frac{q_i + q'_i + d_i b_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + d_{i+1}(b_i + 0,5\Delta B_{i+1})} = k \frac{d_i}{d_{i+1}},$$

Де  $k$  – відношення коефіцієнтів витяжки фланців та стінки.

Після перетворення даного виразу, отримаємо:

$$d_i = \frac{(q_i + q'_i)d_{i+1}}{k(q_{i+1} + q'_{i+1} + 0,5d_{i+1}\Delta B_{i+1}) - (1 - k)(d_{i+1}b_i)}.$$

Таким чином, отримано вираз для визначення товщини стінки попереднього калібру за рухом прокатування. У цьому виразі потрібно враховувати те, що в перших калібрах з рухом прокатування коефіцієнт  $k$  буде меншим одиниці, у останніх – більшим, а у середніх – приблизно дорівнювати одиниці. Тоді, загальний коефіцієнт витяжки в наступному калібрі буде дорівнювати:

$$\mu_{i+1} = \frac{q_i + q'_i + d_i b_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + d_{i+1}(b_i + 0,5\Delta B_{i+1})} = \frac{d_i}{d_{i+1}}.$$

Зробивши відповідні перетворення, отримаємо:

$$\mu_{i+1} = \frac{q_i + q'_i}{q_{i+1} + q'_{i+1} + 0,5d_{i+1}\Delta B_{i+1}} = \frac{d_i}{d_{i+1}}.$$

З останньої формули видно, що коефіцієнт витяжки в калібрі дорівнює відношенню товщини стінки після проходу до коефіцієнту витяжки в попередньому проходу через те, що розширення у калібрі відбувається за рахунок формації фланців на першому етапі заповнення осередку деформації.

Відношення площ фланців приймає значення менше одиниці, що описується формулою:

$$\mu_{\text{фл}} = \frac{q_i + q'_i}{q_{i+1} + q'_{i+1}} > \mu_i.$$

Це рівняння свідчить про те, що умовний коефіцієнт витяжки для фланців буде більшим за коефіцієнт витяжки для стінки за усім калібром.

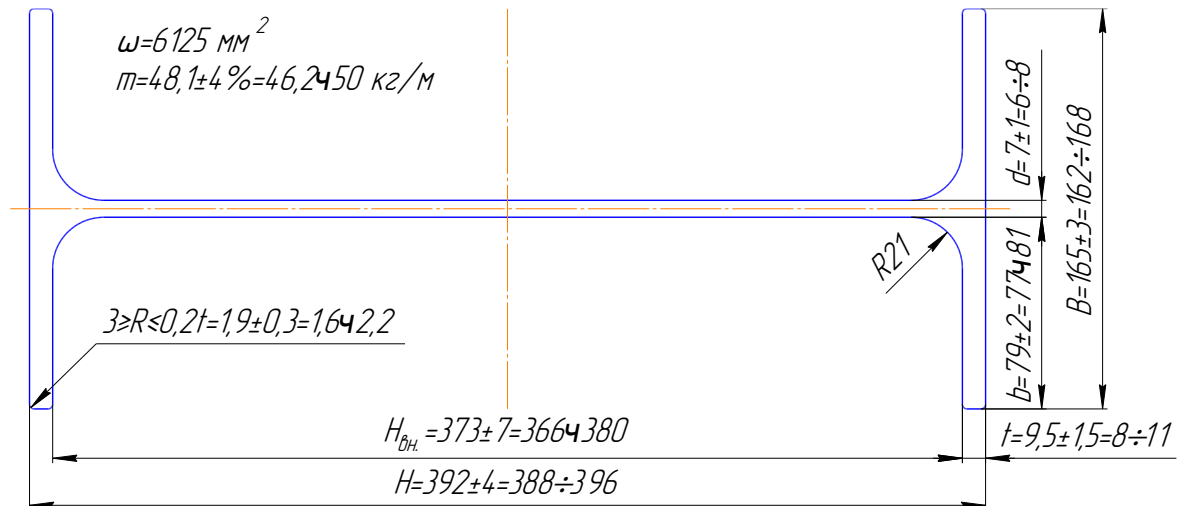
Товщина стінки для першого фланцевого (розрізного) калібру залежить від площ 1 калібру та площі поперечного перерізу  $n$  – го чистового калібру і визначається з виразу:

$$d_1 = \frac{d_n(q_1 + q'_1)}{(q_n + q'_n) + 0,5d_1 \sum_2^n \Delta B}$$

Звичайно, площа першого калібру відкритого та закритого фланцю дорівнюють між, тобто: для першого калібру -  $q_1 = q'_1$ , для  $n$  – го калібру  $q_n + q'_n$ .

Але в подальшому розміри розрізного калібру можливо потрібно буде коректувати, збільшуючи товщину стінки, з метою отримання надійного куту захоплення металу при прокатуванні.

### 2.3 Розрахунок калібрувань при прокатці балки № 40



#### 1. Визначаємо схему прокатки:

Прокатування ведеться у безперервній 3-клітьовій чорновій групі клітей:

- кліті №1 та №3 – універсальні з одним типорозміром калібрів, де виконуються проходи №1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15 по ходу прокатки;
- кліть №2 – горизонтальна з одним калібром для проходів №2, 5, 8, 11, 14 по ходу прокатки; діаметр прокатних валків – 690 мм;
- кліть №4 – універсальна чистова окрема, де відбувається прохід №16 по ходу прокатки.

Діаметри валків клітей №1, 3, 4: горизонтальних – 1200 мм, вертикальних – 900 мм.

## 2. Розміри чистового профілю, мм

- ширина штаби, яка визначає висоту стінки, знаходиться за формулою:

$$B = \left( \frac{1,011}{1,013} \right) \cdot \left[ B_x - \left( \frac{0,6}{0,8} \right) \Delta B \right],$$

і має значення

$$B = 1,012 \cdot (392 - 0,7 \cdot 4) = 394 ,$$

де  $B_x$  – номінальна ширина профілю, що дорівнює висоті стінки у холодному стані,

$\Delta B$  – мінусовий допуск на ширину профілю (висоту стінки) за ГОСТ 26020-83;

Висота штаби, що визначає ширину полки, дорівнює:

$$H_\phi = \left( \frac{1,011}{1,013} \right) \cdot \left[ H_{\phi x} - \left( \frac{0,6}{0,8} \right) \cdot \Delta H_{\phi x} \right];$$

$$H_\phi = 1,012 \cdot (165 - 0,7 \cdot 3) = 165 ,$$

де  $H_{\phi x}$  – номінальна висота профілю, що дорівнює ширині полки в холодному стані,

$\Delta H_{\phi x}$  – мінусовий допуск на висоту профілю, що визначає ширину полки за ГОСТ 26020-83;

- товщина стінки дорівнює:

$$d = \left( \frac{1,011}{1,013} \right) \cdot \left[ d_x - \left( \frac{0,6}{0,8} \right) \Delta d_x \right]$$

$$d = 1,012(7 - 0,7 \cdot 1) = 6,5, \text{ де}$$

$d_x$  – номінальна товщина стінки в холодному стані,

$\Delta d_x$  – мінусовий допуск на товщину стінки за ГОСТ 26020-83;

- товщина полки, що визначає ширину фланця дорівнює:

$$t = \left( \frac{1,011}{1,013} \right) \cdot \left[ t_x - \frac{0,6}{0,8} \Delta t_x \right];$$

$$t = 1,012(9,5 - 0,7 \cdot 1,5) = 8,5,$$

де  $t_x$  – товщина полки, що дорівнює товщині фланцю в холодному стані,

$\Delta t_x$  – мінусовий допуск на товщину полки (фланця) за ГОСТ 26020-83;  
ширина стінки по внутрішнім граням фланців дорівнює:

$$B_{ui} = B - 2t ;$$

$$B_{ui} = 394 - 2 \cdot 8,5 = 377 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт обтиснення товщини стінки в універсальних клітках по ходу прокатки:

$$\frac{1}{\eta_d} = b_0 + b_1 N + b_2 N_{\kappa\bar{b}} + b_3 N_{\kappa\bar{b}}^2 + b_4 N N_{\kappa\bar{b}} ;$$

$$\frac{1}{\eta_d} = 1,052 - 0,000533N + 0,0611N_{\kappa\bar{b}} + 0,00382N_{\kappa\bar{b}}^2 - 0,00104NN_{\kappa\bar{b}} = 1,052 - 0,000533 \cdot 40 + 0,0611N_{\kappa\bar{b}} + 0,00382N_{\kappa\bar{b}}^2 - 0,00104 \cdot 40N_{\kappa\bar{b}} = 1,03068 + 0,0195N_{\kappa\bar{b}} + 0,00382N_{\kappa\bar{b}}^2$$

$N_{\kappa\bar{b}}$  – порядковий номер калібру універсальної кліті проти напрямку прокатки.

Розраховуємо коефіцієнт обтиснення за кожним проходом. Для цього приймемо коефіцієнти у перших проходах.

$$(1/\eta_d)_0 \text{ приймаємо рівним } 2,2;$$

$$(1/\eta_d)_1 \text{ приймаємо рівним } 1,429;$$

$$(1/\eta_d)_3 = 1,03068 + 0,0195 \cdot 10 + 0,00382 \cdot 10^2 = 1,556;$$

$$(1/\eta_d)_4 = 1,03068 + 0,0195 \cdot 9 + 0,00382 \cdot 9^2 = 1,5;$$

$$(1/\eta_d)_6 = 1,03068 + 0,0195 \cdot 8 + 0,00382 \cdot 8^2 = 1,429;$$

$$(1/\eta_d)_7 = 1,03068 + 0,0195 \cdot 7 + 0,00382 \cdot 7^2 = 1,355;$$

$$(1/\eta_d)_9 = 1,03068 + 0,0195 \cdot 6 + 0,00382 \cdot 6^2 = 1,292;$$

$$(1/\eta_d)_{10} = 1,03068 + 0,0195 \cdot 5 + 0,00382 \cdot 5^2 = 1,2;$$

$$(1/\eta_d)_{12} = 1,03068 + 0,0195 \cdot 4 + 0,00382 \cdot 4^2 = 1,176;$$

$$(1/\eta_d)_{13} = 1,03068 + 0,0195 \cdot 3 + 0,00382 \cdot 3^2 = 1,133;$$

$$(1/\eta_d)_{15} = 1,03068 + 0,0195 \cdot 2 + 0,00382 \cdot 2^2 = 1,095;$$

$$(1/\eta_d)_{16} = 1,03068 + 0,0195 \cdot 1 + 0,00382 \cdot 1^2 = 1,054.$$

Визначаємо коефіцієнт обтиснення товщини фланців в універсальних клітях по ходу прокатки за формулою:

$$\frac{1}{\eta_i} = \left( \frac{1}{0,4} \right) \left( \frac{1}{\eta_d} \right),$$

$$(1/\eta_i)_1 \text{ приймаємо, що дорівнює } 1,095;$$

$$(1/\eta_i)_3 = 1,038 (1/\eta_d)_3 = 1,038 \cdot 1,556 = 1,615;$$

$$(1/\eta_i)_4 = 1,008 (1/\eta_d)_4 = 1,008 \cdot 1,5 = 1,512;$$

$$(1/\eta_i)_6 = 1,003 (1/\eta_d)_6 = 1,003 \cdot 1,429 = 1,433;$$

$$(1/\eta_i)_7 = 1,007 (1/\eta_d)_7 = 1,007 \cdot 1,355 = 1,364;$$

$$(1/\eta_i)_9 = 1,0015 (1/\eta_d)_9 = 1,0015 \cdot 1,292 = 1,294;$$

$$(1/\eta_i)_{10} = 1,012 (1/\eta_d)_{10} = 1,012 \cdot 1,2 = 1,214;$$

$$(1/\eta_i)_{12} = 1,035 (1/\eta_d)_{12} = 1,035 \cdot 1,176 = 1,217;$$

$$(1/\eta_i)_{13} = 1,015 (1/\eta_d)_{13} = 1,015 \cdot 1,133 = 1,15;$$

$$(1/\eta_i)_{15} = 1,015 (1/\eta_d)_{15} = 1,015 \cdot 1,095 = 1,111;$$

$$(1/\eta_i)_{16} = 1,005 (1/\eta_d)_{16} = 1,005 \cdot 1,054 = 1,059.$$

Визначаємо товщина стінки у попередній по ходу прокатки універсальної кліті за формулою:

$$d' = \left( \frac{1}{\eta_d} \right) d,$$

І отримаємо значення:

$$d_{16} = 6,5 \text{ мм};$$

$$d_{15} = (1/\eta_d)_{16} d_{16} = 1,054 \cdot 6,5 = 6,85 \text{ мм};$$

$$d_{13} = d_{14} = (1/\eta_d)_{15} d_{15} = 1,111 \cdot 6,85 = 7,5 \text{ мм};$$

$$d_{12} = (1/\eta_d)_{13} d_{13} = 1,133 \cdot 7,5 = 8,5 \text{ мм};$$

$$d_{10} = d_{11} = (1/\eta_d)_{12} d_{12} = 1,176 \cdot 8,5 = 10 \text{ мм};$$

$$d_9 = (1/\eta_d)_{10} d_{10} = 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ мм};$$

$$d_7 = d_8 = (1/\eta_d)_9 d_9 = 1,292 \cdot 12 = 15,5 \text{ мм};$$

$$d_6 = (1/\eta_d)_7 d_7 = 1,355 \cdot 15,5 = 21 \text{ мм};$$

$$d_4 = d_5 = (1/\eta_d)_6 d_6 = 1,429 \cdot 21 = 30 \text{ мм};$$

$$d_3 = (1/\eta_d)_4 d_4 = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ мм};$$

$$d_1=d_2=(1/\eta_d)_3d_3=1,556\cdot45=70 \text{ мм};$$

$$d_0=(1/\eta_d)_1d_1=1,429\cdot70=100 \text{ мм};$$

отримаємо початкову товщину стінки в розрізному калібрі:

$$\left(\frac{1}{\eta d}\right)_0 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 100 = 220 \text{ мм.}$$

Визначимо товщина фланця у попередній по ходу прокатки універсальної кліті за формулою:

$$t' = \left(\frac{1}{\eta_t}\right)t,$$

І отримаємо значення:

$$t_{16}=8,5 \text{ мм};$$

$$t_{15}=(1/\eta_t)_{16}t_{16}=1,059\cdot8,5=9 \text{ мм};$$

$$t_{13}=t_{14}=(1/\eta_t)_{15}t_{15}=1,111\cdot9=10 \text{ мм};$$

$$t_{12}=(1/\eta_t)_{13}t_{13}=1,15\cdot10=11,5 \text{ мм};$$

$$t_{10}=t_{11}=(1/\eta_t)_{12}t_{12}=1,217\cdot11,5=14 \text{ мм};$$

$$t_9=(1/\eta_t)_{10}t_{10}=1,214\cdot14=17 \text{ мм};$$

$$t_7=t_8=(1/\eta_t)_9t_9=1,294\cdot17=22 \text{ мм};$$

$$t_6=(1/\eta_t)_7t_7=1,364\cdot22=30 \text{ мм};$$

$$t_4=t_5=(1/\eta_t)_6t_6=1,433\cdot30=43 \text{ мм};$$

$$t_3=(1/\eta_t)_4t_4=1,512\cdot43=65 \text{ мм};$$

$$t_1=t_2=(1/\eta_t)_3t_3=1,615\cdot65=105 \text{ мм};$$

$$t_0=(1/\eta_t)_1t_1=1,095\cdot105=115 \text{ мм.}$$

Визначаємо абсолютне обчислення товщини стінки в універсальних клітях по ходу прокатки за формулою:

$$\Delta d = d' - d,$$

$$\Delta d_0=220-d_0=220-100=120 \text{ мм}; \Delta d_1=d_0-d_1=100-70=30 \text{ мм};$$

$$\Delta d_3=d_1-d_3=70-45=25 \text{ мм}; \Delta d_4=d_3-d_4=45-30=15 \text{ мм};$$

$$\Delta d_6=d_4-d_6=30-21=9 \text{ мм}; \Delta d_7=d_6-d_7=21-15,5=5,5 \text{ мм};$$

$$\Delta d_9=d_7-d_9=15,5-12=3,5 \text{ мм}; \Delta d_{10}=d_9-d_{10}=12-10=2 \text{ мм};$$

$$\Delta d_{12}=d_{10}-d_{12}=10-8,5=1,5 \text{ мм}; \Delta d_{13}=d_{12}-d_{13}=8,5-7,5=1 \text{ мм};$$

$$\Delta d_{15}=d_{13}-d_{15}=7,5-6,85=0,65 \text{ мм}; \Delta d_{16}=d_{15}-d_{16}=6,85-6,5=0,35 \text{ мм}.$$

Визначимо абсолютне обтиснення товщини фланців в універсальних клітях по ходу прокатки за формулою:

$$\Delta t = t' - t ,$$

і отримаємо значення за проходами:

$$\Delta t_1=t_0-t_1=115-105=10 \text{ мм}; \Delta t_3=t_1-t_3=105-65=40 \text{ мм};$$

$$\Delta t_4=t_3-t_4=65-43=22 \text{ мм}; \Delta t_6=t_4-t_6=43-30=13 \text{ мм};$$

$$\Delta t_7=t_6-t_7=30-22=8 \text{ мм}; \Delta t_9=t_7-t_9=22-17=5 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{10}=t_9-t_{10}=17-14=3 \text{ мм}; \Delta t_{12}=t_{10}-t_{12}=14-11,5=2,5 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{13}=t_{12}-t_{13}=11,5-10=1,5 \text{ мм}; \Delta t_{15}=t_{13}-t_{15}=10-9=1 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{16}=t_{15}-t_{16}=9-8,5=0,5 \text{ мм}.$$

Визначимо відносне обтиснення шийки (стінки) в універсальних клітях по ходу прокатки за формулою:

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{\Delta d}{d'} ,$$

Після підстановки, отримаємо значення обтиснення шийки за кожним проходом:

$$\varepsilon_{ш0}=\Delta d_0/d_0=120/220=0,545; \varepsilon_{ш1}=\Delta d_1/d_0=30/100=0,3;$$

$$\varepsilon_{ш3}=\Delta d_3/d_1=25/70=0,357; \varepsilon_{ш4}=\Delta d_4/d_3=15/45=0,333;$$

$$\varepsilon_{ш6}=\Delta d_6/d_4=9/30=0,3; \varepsilon_{ш7}=\Delta d_7/d_6=5,5/21=0,262;$$

$$\varepsilon_{ш9}=\Delta d_9/d_7=3,5/15,5=0,226; \varepsilon_{ш10}=\Delta d_{10}/d_9=2/12=0,167;$$

$$\varepsilon_{ш12}=\Delta d_{12}/d_{10}=1,5/10=0,15; \varepsilon_{ш13}=\Delta d_{13}/d_{12}=1/8,5=0,118;$$

$$\varepsilon_{ш15}=\Delta d_{15}/d_{13}=0,65/7,5=0,087; \varepsilon_{ш16}=\Delta d_{16}/d_{15}=0,35/6,85=0,051.$$

Визначимо відносне обтиснення фланців в універсальних клітях по ходу прокатки за формулою:

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{\Delta t}{t'} ,$$

$$\varepsilon_{\phi 1}=\Delta t_1/t_0=10/115=0,087; \varepsilon_{\phi 3}=\Delta t_3/t_1=40/105=0,381;$$



$$\varepsilon_{\phi 4} = \Delta t_4 / t_3 = 22 / 65 = 0,338; \quad \varepsilon_{\phi 6} = \Delta t_6 / t_4 = 13 / 43 = 0,302;$$

$$\varepsilon_{\phi 7} = \Delta t_7 / t_6 = 8 / 30 = 0,267; \quad \varepsilon_{\phi 9} = \Delta t_9 / t_7 = 5 / 22 = 0,227;$$

$$\varepsilon_{\phi 10} = \Delta t_{10} / t_9 = 3 / 17 = 0,176; \quad \varepsilon_{\phi 12} = \Delta t_{12} / t_{10} = 2,5 / 14 = 0,179;$$

$$\varepsilon_{\phi 13} = \Delta t_{13} / t_{12} = 1,5 / 11,5 = 0,13; \quad \varepsilon_{\phi 15} = \Delta t_{15} / t_{13} = 1 / 10 = 0,1;$$

$$\varepsilon_{\phi 16} = \Delta t_{16} / t_{15} = 0,5 / 9 = 0,056.$$

Визначимо природне розширення полок (фланців) в універсальних клітках по ходу прокатки за формулою:

$$\Delta B_{\delta} = 2,54 \Delta t \frac{(\varepsilon_{\delta} - \varepsilon_{\phi})}{\varepsilon_{\delta}},$$

Отримаємо значення розширення за кожним проходом:

$$\Delta B_{\phi 1} = 2,54 \Delta t_1 (\varepsilon_{\phi 1} - \varepsilon_{\text{ш}1}) / \varepsilon_{\phi 1} = 2,54 \cdot 10 (0,087 - 0,3) / 0,087 = - 62 \text{ мм.}$$

Відповідно розрахунку на цьому проході відбулося утягнення фланцю;

$$\Delta B_{\phi 3} = 2,54 \Delta t_3 (\varepsilon_{\phi 3} - \varepsilon_{\text{ш}3}) / \varepsilon_{\phi 3} = 2,54 \cdot 40 (0,381 - 0,357) / 0,381 = 6,4 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 4} = 2,54 \Delta t_4 (\varepsilon_{\phi 4} - \varepsilon_{\text{ш}4}) / \varepsilon_{\phi 4} = 2,54 \cdot 22 (0,338 - 0,333) / 0,338 = 0,8 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 6} = 2,54 \Delta t_6 (\varepsilon_{\phi 6} - \varepsilon_{\text{ш}6}) / \varepsilon_{\phi 6} = 2,54 \cdot 13 (0,302 - 0,3) / 0,302 = 0,2 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 7} = 2,54 \Delta t_7 (\varepsilon_{\phi 7} - \varepsilon_{\text{ш}7}) / \varepsilon_{\phi 7} = 2,54 \cdot 8 (0,267 - 0,262) / 0,267 = 0,4 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 9} = 2,54 \Delta t_9 (\varepsilon_{\phi 9} - \varepsilon_{\text{ш}9}) / \varepsilon_{\phi 9} = 2,54 \cdot 5 (0,227 - 0,226) / 0,227 = 0,05 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 10} = 2,54 \Delta t_{10} (\varepsilon_{\phi 10} - \varepsilon_{\text{ш}10}) / \varepsilon_{\phi 10} = 2,54 \cdot 3 (0,176 - 0,167) / 0,176 = 0,4 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 12} = 2,54 \Delta t_{12} (\varepsilon_{\phi 12} - \varepsilon_{\text{ш}12}) / \varepsilon_{\phi 12} = 2,54 \cdot 2,5 (0,179 - 0,15) / 0,179 = 1 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 13} = 2,54 \Delta t_{13} (\varepsilon_{\phi 13} - \varepsilon_{\text{ш}13}) / \varepsilon_{\phi 13} = 2,54 \cdot 1,5 (0,13 - 0,118) / 0,13 = 0,35 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 15} = 2,54 \Delta t_{15} (\varepsilon_{\phi 15} - \varepsilon_{\text{ш}15}) / \varepsilon_{\phi 15} = 2,54 \cdot 1 (0,1 - 0,087) / 0,1 = 0,35 \text{ мм;}$$

$$\Delta B_{\phi 16} = 2,54 \Delta t_{16} (\varepsilon_{\phi 16} - \varepsilon_{\text{ш}16}) / \varepsilon_{\phi 16} = 2,54 \cdot 0,5 (0,056 - 0,051) / 0,056 = 0,05 \text{ мм.}$$

Абсолютне обтиснення висоти фланців у допоміжній горизонтальній клітці №2 уявляє собою сумарне розширення фланців в універсальній клітці перед кліттю №2 по ходу прокатки і буде дорівнювати:

$$\Sigma \Delta B_{\phi 14} = \Delta B_{\phi 13} + \Delta B_{\phi 12} = 0,35 + 1 = 1,35 \text{ мм;}$$

$$\Sigma \Delta B_{\phi 11} = \Delta B_{\phi 10} + \Delta B_{\phi 9} = 0,4 + 0,05 = 0,45 \text{ мм;}$$

$$\Sigma \Delta B_{\phi 8} = \Delta B_{\phi 7} + \Delta B_{\phi 6} = 0,4 + 0,5 = 0,9 \text{ мм;}$$

$$\Sigma \Delta B_{\phi 5} = \Delta B_{\phi 4} + \Delta B_{\phi 3} = 0,8 + 6,4 = 7,2 \text{ мм;}$$

$\Delta B_{\phi 2}$  приймаємо рівним 25,2 мм.

Висота фланців проти руху прокатки, мм:

$$H_{\phi}' = H_{\phi} - \Delta B_{\phi} \text{ (в універсальних клітках);}$$

$$H_{\phi} = H_{\phi}' - \sum \Delta B_{\phi} \text{ (в горизонтальній кліті);}$$

Отримаємо висоту фланцю за кожним проходом:

$$H_{\phi 16} = 165 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 15} = H_{\phi 16} - \Delta B_{\phi 16} = 165 - 0,1 = 164,95 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 14} = H_{\phi 15} - \Delta B_{\phi 15} = 164,9 - 0,3 = 164,6 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 13} = H_{\phi 14} + \sum \Delta B_{\phi 14} = 164,6 + 1,35 = 165,95 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 12} = H_{\phi 13} - \Delta B_{\phi 13} = 165,9 - 0,3 = 165,6 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 11} = H_{\phi 12} - \Delta B_{\phi 12} = 165,6 - 1 = 164,6 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 10} = H_{\phi 11} + \sum \Delta B_{\phi 11} = 164,6 + 0,45 = 165,05 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 9} = H_{\phi 10} - \Delta B_{\phi 10} = 165,05 - 0,4 = 164,65 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 8} = H_{\phi 9} - \Delta B_{\phi 9} = 164,65 - 0,05 = 164,6 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 7} = H_{\phi 8} + \sum \Delta B_{\phi 8} = 164,5 + 0,6 = 165,1 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 6} = H_{\phi 7} - \Delta B_{\phi 7} = 165,2 - 0,4 = 164,8 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 5} = H_{\phi 6} - \Delta B_{\phi 6} = 164,8 - 0,2 = 164,6 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 4} = H_{\phi 5} + \sum \Delta B_{\phi 5} = 164,7 + 7,2 = 171,9 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 3} = H_{\phi 4} - \Delta B_{\phi 4} = 171,8 - 0,8 = 171 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 2} = H_{\phi 3} - \Delta B_{\phi 3} = 171 - 6,4 = 164,6 \text{ мм;}$$

$$H_{\phi 1} = H_{\phi 2} + \Delta B_{\phi 2} = 164,6 + 25,2 = 189,8 \text{ мм.}$$

Розширення стінки профілю, яке відбулося в універсальних прокатних клітках приймаємо  $\Delta B_{ш} = 0$ , тоді ширина стінки по внутрішнім граням фланців буде дорівнювати:

$$\frac{B_{ш0}}{B_{ш16}} = 377 \text{ мм.}$$

Нахили фланців в універсальних клітках будуть дорівнювати:

а) в чорнових клітках:  $8 \div 16\%$ ;

б) в проміжних клітках:  $6 \div 8\%$ .

З метою полегшення процесу деформації в усіх клітках уклін фланців нахил приймаємо рівним 8%.

Виходячи з отриманих розрахунками розмірів розкатів, визначаємо і приймаємо конструктивне розміри калібрів, а також визначаємо площі поперечних розрізів розкатів, мм<sup>2</sup>:

$$\begin{aligned} F_0 &= 84900; & F_1 &= 66360; & F_2 &= 61030; & F_3 &= 39425; & F_4 &= 26360; & F_5 &= 25740; \\ F_6 &= 18100; & F_7 &= 13415; & F_8 &= 13390; & F_9 &= 10430; & F_{10} &= 8870; & F_{11} &= 8690; \\ F_{12} &= 7165; & F_{13} &= 6455; & F_{14} &= 6430; & F_{15} &= 5705; & F_{16} &= 5600. \end{aligned}$$

Такі площі поперечних перерізів отримають в кожній прокатній клітці.

Ширину початкового матеріалу для отримання балки № 40 приймаємо рівній ширині дну розрізного калібру та округляємо до 220 мм.

Визначаємо абсолютне обтиснення висоти фланця у розрізному калібрі за формулою:

$$\Delta B_{\phi 0} = 220 - H_{\phi 0};$$

$$\Delta B_{\phi 0} = 220 - 210 = 10 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт витяжки розраховуємо за формулою:

$$\lambda = \frac{\omega'}{\omega};$$

і отримуємо наступні значення за кожним проходом:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \omega_0 / \omega_1 = 84900 / 66360 = 1,279; & \lambda_2 &= \omega_1 / \omega_2 = 66360 / 61030 = 1,087; \\ \lambda_3 &= \omega_2 / \omega_3 = 61030 / 39425 = 1,548; & \lambda_4 &= \omega_3 / \omega_4 = 39425 / 26360 = 1,496; \\ \lambda_5 &= \omega_4 / \omega_5 = 26360 / 25740 = 1,024; & \lambda_6 &= \omega_5 / \omega_6 = 25740 / 18100 = 1,422; \\ \lambda_7 &= \omega_6 / \omega_7 = 18100 / 13415 = 1,349; & \lambda_8 &= \omega_7 / \omega_8 = 13415 / 13390 = 1,002; \\ \lambda_9 &= \omega_8 / \omega_9 = 13390 / 10430 = 1,284; & \lambda_{10} &= \omega_9 / \omega_{10} = 10430 / 8870 = 1,176; \\ \lambda_{11} &= \omega_{10} / \omega_{11} = 8870 / 8690 = 1,021; & \lambda_{12} &= \omega_{11} / \omega_{12} = 8690 / 7165 = 1,209; \\ \lambda_{13} &= \omega_{12} / \omega_{13} = 7165 / 6455 = 1,11; & \lambda_{14} &= \omega_{13} / \omega_{14} = 6455 / 6430 = 1,004; \\ \lambda_{15} &= \omega_{14} / \omega_{15} = 6430 / 5705 = 1,127; & \lambda_{16} &= \omega_{15} / \omega_{16} = 5705 / 5600 = 1,019. \end{aligned}$$

Результати розрахунку заносимо у табл. 2.1

Таким чином, було визначено раціональні режими обробки для фланцевого профілю: балки № 40, що має точні розміри і не потребує подальшої обробки. Початковий матеріал: прямокутник, що отриманий на машині безперервного лиття заготовок: 139,8×607 мм, довжиною 6 м.

#### 1.4 Розрахунок енергосилових параметрів та величини напруження

Для першого проходу:

Визначаємо геометричні параметри:

Початкова висота прямокутної смуги:

$$h_0 = \frac{S_0}{b_0};$$

$$h_0 = \frac{84900}{607} = 139,8 \text{ мм},$$

Висота смуги після першого проходу з врахуванням витяжки дорівнює:

$$h_1 = \frac{h_0}{\lambda_1}; h_1 = \frac{139,8}{1,279} = 109,3 \text{ мм}.$$

При цьому відбулося розширення

$$\Delta b = b_{01} - b_{02}; \Delta b = 607 - 597 = 10 \text{ мм}.$$

Початкова товщина смуги:

$$b_1 = b_{01} + \Delta b; b_1 = 607 + 10 = 617 \text{ мм}.$$

Обтиснення дорівнює:

$$\Delta h = h_0 - h_1; \Delta h = 139,8 - 109,3 = 30,5 \text{ мм}.$$

Середня висота смуги дорівнює:

$$h_{cp} = \frac{(h_0 - h_1)}{2}; h_{cp} = \frac{(139,8 - 109,3)}{2} = 124,6 \text{ мм}.$$

Довжина осередку деформації:

$$L = \sqrt{\frac{D}{2} \cdot \Delta h}; L = \sqrt{\frac{1200}{2} \cdot 30,5} = 135,3 \text{ мм},$$

$$m = \frac{L}{h_{cp}}; m = \frac{135,6}{124,6} = 1,086.$$

Середня ширина смуги дорівнює

$$b_{cp} = \frac{(b_0 + b_1)}{2}; b_{cp} = \frac{(607 + 617)}{2} = 612 \text{ мм.}$$

Відношення середньої ширини до висоти дорівнює:

$$n = \frac{b_{cp}}{h_{cp}}; n_{cp} = \frac{612}{124,6} = 4,9.$$

Коефіцієнт поправки, який використовуємо у розрахунках усіх універсальних клітей дорівнює 1,3236.

Коефіцієнт поправки, який використовуємо у розрахунках усіх горизонтальних клітей дорівнює 1,50843.

Визначаємо коефіцієнт  $n\sigma$ :

$$n\sigma = a \left( m + \frac{b}{m} \right);$$

$$n\sigma = 0,75 \left( 1,086 + \frac{0,5}{1,086} \right) = 1,159.$$

Відносне обтиснення дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}, \varepsilon = \frac{30,5}{139,3} = 0,22.$$

Швидкість деформації дорівнює:

$$U_{cp} = \frac{(V_1 \Delta h)}{(L h_0)}, U_{cp} = \frac{(5030 \cdot 30,5)}{(135,3 \cdot 139,3)} = 8,11 \text{ 1/сек.}$$

Опір деформації дорівнює:

$$\sigma = k_t k_\varepsilon k_u \sigma_{од}, \sigma = 0,65 \cdot 1,23 \cdot 0,96 \cdot 86 = 66 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо середній питомий тиск:

$$P_{cp} = \sigma \cdot n\sigma \cdot nb;$$

$$P_{cp} = 66 \cdot 1,159 \cdot 1 = 76,55 \text{ МН/м}^2.$$

Визначимо тиск металу на валки:

$$P = P_{cp} F,$$

$$P = 76,55 \cdot 0,062 = 4,79 \text{ МН.}$$

Знайдемо момент прокатки на один валок:

$$M = PL\psi ,$$

$$M = 4,79 \cdot 135,3 \cdot 0,5 = 324 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

Наступні дані та розрахунки представлені у таблиці 2.3 енергосилових параметрів.

## **2.5 Висновки до розділу**

Було визначено способи отримання фланцевих профілів та виявлено їх особливості.

Проаналізовано обладнання, що використовується для виготовлення фланцевих профілів, де визначено прокатний стан, його складові елементи, будову та особливості.

Визначено особливості прокатування рейкобалкової продукції, що дозволило оцінити нерівномірність процесу деформації при обробці.

Розраховано коефіцієнти і параметри осередку деформації при прокатуванні балок. Проаналізовано їх зміни. Це дозволило визначити раціональні коефіцієнти та технологічні параметри прокатування фланцевих профілів. Такі заходи дозволяють збільшити точність профілю за розмірами, уникнути відхилення форми, отримати меншу шорсткість поверхні, знизити хвилястість, уникнути нерівномірність профілю. Виконано розрахунок калібрувань, що забезпечує точні розміри продукції з мінімальними відхиленнями форми. Визначено енергосилові параметри.

Це дає змогу зменшити кількість обробних операцій. Це дозволяє зменшити трудомісткість обробки на 10 %, кількість працівників на обробній ділянці, зменшити тривалість процесу на 10 %.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку технологічних параметрів та коефіцієнтів деформації при прокатуванні балки № 40

№ проходу	№ кліті	$S$ , мм <sup>2</sup>	$\lambda$	$L_{\text{розкату}},$ м	$1/\eta_d$	$1/\eta_t$	$d'$ , мм	$t'$ , мм	$\Delta d$ , мм	$\Delta t$ , мм	$\varepsilon_\phi$ , мм	$\varepsilon_\delta$ , мм	$\Delta B_\phi$ , мм	$H_\phi'$ , мм
1	1У	66360	1,279	7,7	1,429	1,095	70	105	30	10	0,3	0,087	0	189,8
2	2Г	61030	1,087	8,3										164,6
3	3У	39425	1,548	12,9	1,556	1,615	45	65	25	40	0,357	0,381	6,4	171
4	3У	26360	1,496	19,3	1,5	1,512	30	43	15	22	0,333	0,338	0,8	171,8
5	2Г	25740	1,024	19,8										164,6
6	1У	18100	1,422	28,1	1,429	1,433	21	30	9	13	0,3	0,302	0,2	164,8
7	1У	13415	1,349	38,0	1,355	1,364	15,5	22	5,5	8	0,262	0,267	0,4	165,2
8	2Г	13390	1,002	38,0										164,6
9	3У	10430	1,284	48,8	1,292	1,294	12	17	3,5	5	0,226	0,227	0,5	164,65
10	3У	8870	1,176	57,4	1,2	1,214	10	14	2	3	0,167	0,176	0,4	165,05
11	2Г	8690	1,021	58,6										164,6
12	1У	7165	1,213	71,1	1,176	1,217	8,5	11,5	1,5	2,5	0,15	0,179	1	165,6
13	1У	6455	1,110	78,9	1,133	1,15	7,5	10	1	1,5	0,118	0,13	0,35	165,95
14	2Г	6430	1,004	79,2										164,6
15	3У	5705	1,127	89,3	1,095	1,111	6,85	9	0,65	1	0,087	0,1	0,35	164,95
16	4У	5600	1,019	90,1	1,054	1,059	6,5	8,5	0,35	0,5	0,051	0,056	0,05	165

Таблиця 2.2 – Режими обтиснення при прокатці балки №40

№ проходу	№ кліті	h <sub>0</sub> , мм	b <sub>0</sub> , мм	Δb, мм	b <sub>1</sub> , мм	D, мм	Δh, мм	h <sub>ср</sub> , мм	L, мм	m	b <sub>ср</sub> , мм	n	nσ	nb
1	1У	139,8	607	10	617	1200	30,5	124,6	135,3	1,08	612	4,9	1,2	1
2	2Г	111,1	597	4	601	690	8,897	106,7	55,4	0,52	599	5,6	1,1	1,15
3	3У	101,5	601	84	685	1200	35,9	83,5	146,8	1,76	643	7,7	1,5	1,15
4	3У	76,2	517	43	560	1200	25,2	63,6	123,1	1,94	538,5	8,5	1,6	1,15
5	2Г	55,6	474	1	475	690	1,3	54,9	21,2	0,38	474,5	8,6	1,3	1,15
6	1У	54,4	473	25	498	1200	16,1	46,3	98,4	2,12	485,5	10,5	1,8	1,15
7	1У	40,4	448	14	462	1200	10,4	35,1	79,2	2,25	455	12,9	1,8	1,15
8	2Г	30,9	434	1	435	690	0,1	30,879	4,6	0,15	434,5	14,1	2,6	1,15
9	3У	30,9	433	10	443	1200	6,84	27,5	64,1	2,33	438	15,9	1,9	1,15
10	3У	24,6	423	5	428	1200	3,6	22,8	47	2,06	425,5	18,6	1,7	1,15
11	2Г	21,2	418	1	419	690	0,4	21	12,2	0,58	418,5	19,9	1,1	1,15
12	1У	20,8	417	4	421	1200	3,6	19,01	46,8	2,46	419	22,04	2	1,15
13	1У	17,3	413	3	416	1200	1,7	16,4	32,1	1,95	414,5	25,1	1,6	1,15
14	2Г	15,7	41	0	410	690	0,1	15,7	4,6	0,29	410	26,1	1,5	1,15
15	3У	15,6	41	2	412	1200	1,7	14,7	32,5	2,2	411	27,8	1,8	1,15
16	4У	13,9	408	14	394	1200	0,2	13,8	12,5	0,9	401	28,94	1,1	1,15



Таблиця 2.3 – Енергосилові параметри при прокатці балки №40

№ проходу	№ кліті	F, мм <sup>2</sup>	$\varepsilon$	T, С°	v <sub>1</sub> , м/с	U <sub>ср</sub> , 1/с	k <sub>t</sub>	k <sub><math>\varepsilon</math></sub>	k <sub>u</sub>	$\sigma$ о.д., МПа	$\sigma$ МПа	P <sub>ср</sub> МПа	P МН	$\psi$	M КН·м
1	1У	82,8	0,2	1150	5,03	8,1	0,65	1,23	0,96	86	66	76,5	4,788	0,5	324
2	2Г	33	0,1	1145	6,43	9,3	0,65	0,96	1	86	53,7	68,6	1,509	0,5	41,8
3	3У	94,4	0,3	1140	7	16,9	0,66	1,37	1,26	86	97,9	172,5	12,311	0,5	903,9
4	3У	66,3	0,3	1130	4,57	12,3	0,67	1,35	1,18	86	91,8	173,7	8,705	0,5	536,1
5	2Г	10	0,02	1123	6,83	7,5	0,69	0,83	0,95	86	46,8	67,9	0,453	0,5	4,8
6	1У	47,8	0,3	1116	7	21,1	0,72	1,32	1,29	86	105,4	214,6	7,747	0,45	343,2
7	1У	36	0,2	1100	5,17	16,9	0,75	1,28	1,26	86	104,02	221,9	6,041	0,45	215,3
8	2Г	2	0,001	1091	6,98	3,02	0,78	0,8	0,87	86	46,7	140,8	0,187	0,5	0,4
9	3У	28	0,2	1082	7	24,2	0,8	1,22	1,32	86	110,8	243,1	5,153	0,45	148,5
10	3У	20	0,1	1060	5,83	18,5	0,84	1,11	1,26	86	101,03	200,9	3,038	0,45	64,3
11	2Г	5	0,02	1048	6,85	11,5	0,88	0,83	1,08	86	67,8	84,2	0,286	0,5	1,7
12	1У	19,6	0,2	1036	7	26,2	0,93	1,16	1,33	86	123,4	283,9	4,211	0,45	88,8
13	1У	13,3	0,1	1010	6,28	19,4	0,97	1	1,28	86	106,8	203,02	2,042	0,5	32,7
14	2Г	1,9	0,003	995	6,97	5,9	1,03	0,8	0,95	86	67,3	115,2	0,146	0,5	0,3
15	3У	13,4	0,1	980	7	24,2	1,08	1,03	1,32	86	126,3	264,4	2,673	0,45	39,2
16	4У	5	0,01	950	7	10,4	1,15	0,83	1,02	86	83,7	105,2	0,399	0,5	2,5

## **3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Заходи з удосконалення прокатування фланцевих профілів**

Проаналізувавши способи виготовлення фланцевих профілів, прийшли до висновку, що їх раціонального прокатувати на відповідному прокатному обладнанні в гарячому стані, що має у своєму складі як основні так і додаткові агрегати, що забезпечують основні та допоміжні операції. Такі профілі відносяться до спеціальних профілів, що мають складну форму, яка має декілька елементів. Технологія виготовлення таких профілів уявляє собою складний процес, що забезпечує деформації усіх складових елементів, які деформуються при прокатуванні в нерівномірних умовах, що викликають ускладнення в обробці з метою отримання точного профілю. Змінивши умови деформації стінки, при цьому скоригувавши коефіцієнт обтиснення у цій зоні на прикладі прокатування двотаврової балки, отримали точний профіль за розмірами з мінімальними відхиленнями і дефектами.

Це дає можливість виключити деякі обробні операції, такі, як стругання, калібрування, шліфування, вигладжування. Такі заходи дають можливість зменшити час обробки на 10 % на виготовлення продукції і відповідно, підвищити продуктивність процесу. Але для цього потрібно внести додаткові витрати на переточування прокатних валків.

### **3.2 Виробнича програма на рік**

Виробнича програма визначає річний обсяг виробництва потрібної продукції. Цей обсяг визначається враховуючи річний фонд робочого часу та питому продуктивність прокатного стану, що забезпечує виготовлення фланцевої продукції [23].

Виробничу потужність прокатного стану на один рік для виготовлення рейкобалкової продукції визначається за формулою:

$$Q = P_T T_\Phi, \quad (3.1)$$

де  $Q$  – річна виробнича потужність рейкобалкового прокатного стану, т;

$T_\Phi$  – фактичний час роботи рейкобалкового прокатного стану протягом одного року, год;

$P_T$  – технічна норма продуктивності рейкобалкового прокатного стану, що визначається за одну годину, т.

Потрібно визначити фактичний час роботи рейкобалкового стану з випуску фланцевих профілів. Для цього визначаємо час його роботи за календарем з врахуванням тривалості капітальних і профілактичних ремонтів та інших видів простоїв.

Фактичний час річної роботи рейкобалкового прокатного стану розраховується за формулою:

$$T_\Phi = [T_K - (T_{св} + T_{вих} + T_{к.р})] r t_{зм} (100 - T_{пр}/100) \quad (3.2)$$

де  $T_K$  – календарний час роботи, що належить до рейкобалкового прокатного стану, діб;

$T_{св}$  – число святкових днів, що випадають на один календарний рік;

$T_{вих}$  – кількість вихідних днів на один рік;

$T_{к.р}$  – кількість днів, що виділяються за графіком на капітальний ремонт у поточному році, днів;

$r$  – кількість змін роботи в одну добу;

$t_{зм}$  – тривалість однієї робочої зміни, год.;

$T_{пр}$  – тривалість простоїв для текучих ремонтів, у випадок аварійних ситуацій тощо, залежить номінального часу роботи рейкобалкового прокатного стану.

Після розрахунку, підставив усі необхідні тривалості часу в формулу (3.2), отримаємо:

$$T_\Phi = 7420 \text{ год.}$$

Для того, щоб визначити технічну норму продуктивності рейкобалкового прокатного стану при виготовленні фланцевих профілів, виконаємо розрахунок за формулою:

$$P_T = 3600M/t, \quad (3.3)$$

де  $M$  – маса виробу, яка залежить від об'єму початкового матеріалу для виготовлення профілю та його хімічного складу, і дорівнює:

$$M = H \cdot B \cdot p = 0,140 \cdot 0,607 \cdot 6 \cdot 7800 = 3,977 \text{ т. Приймаємо } 4,0 \text{ т.}$$

$t$  – такт обробки металу, що витрачається на виготовлення фланцевої продукції, враховуючі усі основні та допоміжні операції, що дорівнює для виготовлення одиниці продукції  $t = 660$  с.

Після впровадження удосконаленої технології такт обробки зменшився на 10 %, що складає 66 с. Тоді такт обробки дорівнює  $660 - 66 = 594$  с.

Технічна норма продуктивності для виготовлення одиниці балочної продукції дорівнює:

За базовою технологією:

$$P_{T_{до}} = 3600 \cdot 4,0 / 660 = 21,8 \text{ т/год.}$$

За новою технологією:

$$P_{T_{після}} = 3600 \cdot 4 / 594 = 24,24 \text{ т/год.}$$

З розрахунків видно, що технічна норма продуктивності для виготовлення балки № 40 збільшилася. Значить і річний обсяг виробництва балки № 40, а буде рівним за формулою 3.1:

$$Q_{до} = 21,8 \cdot 7420 = 161756,0 \text{ т/рік}$$

$$Q_{після} = 24,24 \cdot 7420 = 179860,8 \text{ т/рік.}$$

Такі дані свідчать про те, що збільшується обсяг виробництва продукції, яке досягає:

Збільшення обсягу виробництва  $\Delta Q$  складе:

$$\Delta Q = Q_{після} - Q_{до} = 179860,8 - 161756,0 = 18104,8 \text{ т.}$$

Таке збільшення складає 11,2 %.

### 3.3 Визначення витрат на амортизацію основних засобів

У таблиці 3.1 наведено основне та допоміжне обладнання, що використовується для прокатування сортового профілю діаметром 40 мм, його

вартість та амортизаційні відрахування.

Величина амортизаційних відрахувань  $AB$  при виготовленні балки визначається за формулою:

$$AB = B_{поч} \cdot H_a. \quad (3.5)$$

$H_a$  - норма амортизації;  $H_a = 0,05$

Величина залишкової вартості продукції  $B_{зал}$  визначається за формулою:

$$B_{зал} = B_{поч} - AB. \quad (3.6)$$

Таблиця 3.1 – Амортизаційні витрати при виробництві фланцевих профілів

Вартість основних засобів	Ціна на початок року, млн. грн	Затрати на амортизацію, млн. грн.	Величина залишкової вартості, млн. грн.
Вартість будівель і споруд для виробництва сортового прокату			
Будова приміщень для виробництва фланцевих профілів	69,30	3,50	64,80
Склади вихідних матеріалів, напівфабрикатів та готової продукції	62,5	3,3	59,2
АПП	52,8	2,64	50,16
Основне обладнання сортопрокатного стану			
Робочі кліті	62,5	3,3	59,2
Пульт керування станом	8,50	0,43	8,07
Кантувач розкатів	20,2	1,01	19,19
Маніпулятор	19,0	0,95	18,05
Водоохолоджувальні	10,5	0,5	10,0

пристрої			
Допоміжне обладнання			
Рольганги	8,15	0,4	7,75
Рейковий холодильник	20,2	1,01	19,19
Ножиці	15,5	0,78	14,72
Мостовий кран	30,5	1,5	28,5
$\Sigma_{\text{б}}$	379,65	18,98	360,67
Устаткування для заміни і переточування валків	0,01	0,0005	0,0085
$\Sigma_{\text{нт}}$	379,66	18,9805	360,6785

Амортизаційна вартість на одну тону виготовленої фланцевої продукції:

– до використання нових режимів:

$$AB_{\text{до}} = \sum AB / Q_{\text{пл}} = 18980000 / 161756,0 = 117,03 \text{ грн.}$$

– після впровадження нового вібраційного обладнання:

$$AB_{\text{після}} = 18980000 / 179860,8 = 106,36 \text{ грн.}$$

Зміни амортизаційної вартості на одну тону фланцевих профілів:

$$\Delta AB = AB_{\text{після}} - AB_{\text{до}} = 106,36 - 117,03 = - 10,7 \text{ грн.}$$

З розрахунку видно, що амортизаційна вартість на 1 тону продукції зменшується через збільшення обсягу виробництва, не зважаючи на те, що затрати на використання нової технології збільшуються.

### 3.4 Визначення вартості матеріальних ресурсів

Складові статті матеріальних ресурси та їх кошторисна вартість, що використовуються при виготовленні для виготовлення фланцевих профілів показано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вартість матеріальних ресурсів при виробництві фланцевих профілів

Назва матеріалу	Норма використання, натуральних од.	Ціна, грн.	Розмір витрат за базовою техн., грн.	Розмір витрат за новою техн., грн.
	за базовою техн. /за новою техн.			
Основні матеріали: сталь 12ХНЗА	1,00	9000	9000	9000
Допоміжні матеріали: Енерговитрати, кВт·год.	25,0/22,5	5,1	127,5	114,75
Вода на один м <sup>3</sup>	9/8,1	31,4	282,5	256,8
∑ витрат на 1 т балочної продукції, грн./т			9410	9371,55
Річний обсяг балочної продукції, т.			161756	179860,8
∑ на 1 рік, тис. грн.			1522123,96	1685574,48

### 3.5 Розрахунок фонду заробітної плати

Визначення фонду заробітної плати основних та допоміжних робітників, що задіяні у отриманні продукції – балки № 40, відповідає штатному розкладу.

Заробітна плата слюсарів-ремонтників нараховується за погодинно-преміальною системою. Премія виплачується при умові якісного виконання плану з виготовлення виробів та залежить від основної тарифної сітки, що діє на даному підприємстві і дорівнює 35-40%.

Для забезпечення отримання фланцевих проділів, потрібно, щоб обслуговували основне та допоміжне обладнання прокатного стану, як за базовою технологією, так і за новою - 30 робітників.

Календарний час роботи штатних працівників, що обслуговують прокатний стан для випуску фланцевих профілів у 2024 році складає 365 днів. Працюють робітники у одну зміну, що триває 8 годин з двома вихідними на один тиждень. У 2024 році було 115 вихідних. Робітники, які обслуговують прокатний стан з випуску фланцевих профілів мають відпустку, яка триває 27 днів. Таким чином, кількість робочих днів, що відпрацьовано кожним робітником при виготовленні фланцевих профілів дорівнює 180 днів.

Робітники за свою роботу з випуску продукції на прокатному стані отримують основну заробітну плату. При якісному виконанні плану з виготовлення фланцевих профілів на прокатному стані вони отримують преміальні, які складають 30 % від основної зар. плати. Окрім цього працівники з обслуговування прокатного стану отримують доплати за роботу в нічний час. Така виплата складає 20 %, отримують додаткову заробітну плату, яка дорівнює 20 %. Робітники виплачують виплати у розмірі 22 % на соціальне страхування, що також враховується при визначення фонду оплати праці. Робітники, що задіяні у випуску фланцевої продукції та визначення фонду їх оплати праці при отриманні фланцевих профілів наведено в таблиці 3.3., де відбувалося порівняння за базовою і новою технологією.

Таблиця 3.3 – Штат робітників і фонд заробітної плати при виготовленні фланцевих профілів

Професії робітників, що задіяні в отриманні фланцевих профілів	Штат, осіб		Тарифна ставка, грн.		Кількість відпрацьованих змін	ФОП до, тис. грн.	ФОП після, тис. грн.
	До	Після	погодинна	за зміну			
Оператор пульта	6	6	124,0	992,0	180	1071,360	1071,360



керування прокатного стану							
Електрослюсар	6	4	110,0	880,0	180	950,400	633,6
Прибиральник гарячого металу в потоці сортопрокатного стану	6	6	115,0	920	180	993,6	993,6
Вальцівник рейкобалкового стану	6	8	115,0	920	180	993,6	1324,8
Ремонтник з налагодження та обслуговування рейкобалкового стану	6	6	110,0	880	180	950,4	950,4
Всього	30	30	574	4592		4959,36	4973,76
Премії (30% від основної)						1487,7	1492,1
Доплати за роботу в нічний час (20 % від окладу)						991,9	994,7
Всього основна заробітна плата						7438,96	7460,5
Додатковий ФЗП (20%)						1487,8	1492,1
Всього загальний річний ФЗП						8926,8	8952,2
Відрахування на соцстрах (22 % від усього)						1963,9	1969,5
Σ						10890,7	10921,7

З таблиці видно деяке збільшення фонду заробітної плати за новою технологією через те, що потрібна більш висока кваліфікація працівників.

При виготовленні однієї тони фланцевих профілів фонд заробітної плати до використання пропозицій з удосконалення технології дорівнює:

$$\Phi ЗП_{1т до} = (\Phi ОП + V_{соц}) / Q_{пл} = 10890700 / 161756 = 67,32 \text{ грн./т.}$$

Після впровадження удосконаленої технології:

$$\Phi ЗП_{1т після} = 10921700 / 179860,8 = 60,72 \text{ грн./т.}$$

Середня заробітна плата за місяць одного працівника при виготовленні фланцевого профілю:

$$ЗП_{роб} = ОЗП_{всього} / n \cdot 12,$$

n – кількість працівників.

До впровадження нової технології:

$$ЗП_{роб до} = 10890700 / 30 \cdot 12 = 30252 \text{ грн.}$$

Після впровадження нової технології:

$$ЗП_{роб після} = 10921700 / 30 \cdot 12 = 30338 \text{ грн.}$$

Для виготовлення фланцевої продукції у виробництві задіяно керівний та обслуговуючий персонал. Фонд заробітної плати, що нараховується такому персоналу показано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Фонд заробітної плати адміністративно-обслуговуючого персоналу при отриманні фланцевих профілів

Посада	Кількість, осіб	Оклад, грн.	ФЗП, грн.
Начальник цеху з випуску сортового прокату	1	40000	480000
Заступник начальника сортопрокатного цеху	1	35000	420000
Майстер рейкобалкового прокатного стану	4	30000	1440000
Технолог прокатного стану	4	30000	1440000
Прибиральник ділянки	2	10000	240000
Всього	12		4020000

Премії (30%)			1206000
Всього основна зар. плата			5226000
Додаткова зар.плата			1045200
Всього		-	6271200
Відрахування на соцстрах (22%)			1379664
Σ			7650864

Фонд заробітної плати на утримання адміністративного персоналу на одну тону продукції дорівнює:

$$\Phi ЗП_{1до} = (\text{ФОП} + V_{\text{соц}}) / Q_{\text{плдо}} = 7650864 / 161756 = 47,3 \text{ грн./т.}$$

$$\Phi ЗП_{1після} = (\text{ФОП} + V_{\text{соц}}) / Q_{\text{плпісля}} = 7650864 / 179860,8 = 42,53 \text{ грн./т.}$$

### 3.6 Калькуляція собівартості фланцевих профілів

Собівартість сталевих фланцевих профілів розраховується з врахуванням наступних витрат [25]:

1. Заробітна плата робітників, що обслуговують основне і допоміжне обладнання та адміністративно-обслуговуючого персоналу з врахуванням усіх доплат та соціальних виплат.

2. Оплата витрат на електричну енергію при виробництві фланцевих профілів.

3. Витрати на вихідні матеріали та напівфабрикати.

4. Врахування витрат на проведення обслуговування та ремонту обладнання прокатного стану, які приймають близько 10% від цього обладнання.

5. Амортизаційні витрати на основне та допоміжне обладнання прокатного стану.

6. Накладні витрати при виробництві фланцевих профілів.

Накладні витрати приймають 10 % від вартості виробничої бази цеху з виготовлення профілів.

Результати визначення собівартості продукції показано в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Калькуляція собівартості фланцевих профілів.

№ з/п	Статі витрат	Величина витрат, грн.	Витрати на 1 т, грн.
1	Заробітна плата робітників та обслуговуючого персоналу:		
	- за базовою технологією	14610700	90,33
	- за новою технологією	14941700	83,07
2	Сировина та матеріали		
	- за базовою технологією	1522123960	9410
	- за новою технологією	1685574480	9370
3	Обслуговування та ремонт обладнання (10% від його вартості)		
	- за базовою технологією	36067000	223,0
	- за новою технологією	36067850	200,5
4	Амортизаційні відрахування:		
	- за базовою технологією	1898000	11,7
	- після впровадження	1898050	10,5
5	Накладні витрати		
	- базовою технологією	36067000	223,0
	- за новою технологією	36067850	200,5
6	Всього:		
	- за базовою технологією	1610766660	9958,0
	- за новою технологією	1774549930	9866,2

Розрахунок показав, що собівартість виготовлення фланцевих профілів

після прийняття нових технічних рішень зменшилася.

На підставі отриманих розрахунків, визначаємо ціну готового фланцевої продукції:

$$C = 1,2 \cdot C, \text{ грн./т,}$$

де  $C$  – собівартість однієї тони отриманої продукції, грн./т;

$$C_{\text{до}} = 9958 \text{ грн./т;}$$

$$C_{\text{після}} = 9866 \text{ грн./т.}$$

Ціна 1 тони сортового прокату дорівнює:

$$C_{\text{до}} = 1,2 \cdot 9958 = 11949,6 \text{ грн./т.}$$

$$C_{\text{після}} = 1,2 \cdot 9866 = 11839,2 \text{ грн./т.}$$

Сумарна величина доходу від реалізації фланцевого профілю визначається за формулою:

$$D = \sum(C_i \cdot Q_i), \text{ грн.}$$

Дохід за базовою технологією буде рівним:

$$D_{\text{до}} = 11949,6 \cdot 161756 = 2129407980 \text{ грн.}$$

Дохід за новою технологією:

$$D_{\text{після}} = 11839,2 \cdot 179860,8 = 2129410350 \text{ грн.}$$

Визначаємо дохідну ставку балочного цеху, яка визначається за формулою:

$$d_{\text{ср}} = D_{\text{заг}} / Q_{\text{заг}}$$

де  $Q_{\text{заг}}$  – загальний обсяг виконаної діяльності в прокатному цеху у вартісних або умовно натуральних величинах.

Середня доходна при випуску фланцевої продукції за базовою технологією дорівнює:

$$d_{\text{ср до}} = 2129407980 / 161756 = 13164 \text{ грн./ ум.нат.од.}$$

середня доходна ставка після удосконалення:

$$d_{\text{ср після}} = 2129410350 / 179860,8 = 11839 \text{ грн./ум.нат.од.}$$

Балансовий прибуток цеху з виробництва фланцевих профілів дорівнює:

$$P_{\text{бал}} = D_{\text{заг}} - ОПБ - С,$$

де  $ОПБ$  – розмір обов'язкових відрахувань і платежів у бюджет, грн.;

$C$  – загальна сума витрат цеху з виготовлення фланцевих профілів, яка дорівнює собівартості продукції.

За базовою технологією:

$$P_{\text{бал до}} = 2129407980 - 101400380 - 1610766660 = 417240940 \text{ грн.}$$

За новою технологією:

$$P_{\text{бал після}} = 2129410350 - 101400490 - 1774549930 = 253459930 \text{ грн.}$$

Сума податку на додану вартість розраховуємо за формулою:

$$ПДВ = D_{\text{заг}} \cdot H_{\text{ам}} / (100 + H_{\text{ам}}).$$

За базовою технологією сума податку дорівнює:

$$ПДВ_{\text{до}} = 2129407980 \cdot 5 / (100 + 5) = 101400380 \text{ грн.}$$

За новою технологією сума податку дорівнює:

$$ПДВ_{\text{після}} = 2129410350 \cdot 5 / (100 + 5) = 101400490 \text{ грн.}$$

Визначимо прибуток, який залишається у цеху з виготовлення фланцевих профілів:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{бал}} - ПП, \text{ грн,}$$

де  $ПП$  – величина податку на прибуток, грн.

За базовою технологією прибуток дорівнює:

$$P_{\text{до}} = 417240940 - 104310235 = 312930705 \text{ грн.}$$

Після застосування нових рішень:

$$P_{\text{після}} = 253459930 - 6336498,2 = 247123432 \text{ грн.,}$$

Податок на прибуток визначають за формулою:

$$ПП = 0,01 \cdot H_{\text{пр}} \cdot P_{\text{бал}}.$$

$$ПП_{\text{до}} = 0,01 \cdot 25 \cdot 417240940 = 104310235 \text{ грн.}$$

$$ПП_{\text{після}} = 0,01 \cdot 25 \cdot 253459930 = 63364982,5 \text{ грн.,}$$

де  $H_{\text{пр}}$  – податок на прибуток, дорівнює 25 %.

Для визначення техніко-економічних показників виробництва фланцевих профілів визначимо продуктивність праці одного робітника:

$$ПП_{\text{п}} = D_{\text{заг}} / Ч, \text{ грн./особу,}$$

де  $Ч$  – кількість осіб, що задіяна на виробництві фланцевої продукції.

До впровадження нових рішень:

$ПП_{\text{до}} = 2129407980/42 = 50700190$  грн./особу.

Після:

$ПП_{\text{після}} = 2129410350 /42 = 50700246,4$  грн./особу.

Таблиця 3.6 – Техніко-економічні показники при виготовленні фланцевих профілів

Показники	Од. виміру	До впровадження	Після впровадження	Відхилення	
				абсолютне	відн., %
Випуск фланцевих профілів	т	1611756	179860,8	18104,8	11,2
Середньодобовий випуск сортового прокату	т/добу	441,6	492,8	51,2	11,5
Годинна продуктивність	т/год.	21,8	24,4	2,6	11,9
Ефективний час роботи устаткування	год.	7420	7420	0	0
Виробничі фонди цеху	тис. грн.	1901803,96	2065234,48	163431	8,6
Чисельність персоналу	осіб	42	42	0	0
Продуктивність праці	т/особу	3837,5	4282,4	444,9	11,5
	грн./особу	50700190	50700246	56	0,001
Середньомісячна зарплата одного - робітника	грн.	30252	30338	68	0,2
		50046	50046	0	0
Собівартість фланцевого профілю	грн. 1 т	9958,0	9866,2	91,8	0,95

Визначимо ефективність використання виробничих засобів при виробництві фланцевих профілів:

- рентабельність виробничих засобів розраховується за формулою:

$$R = [П_{\text{баз}} / (\Phi_{\text{ос}} + \Phi_{\text{об}})] \cdot 100, \%$$

де  $\Phi_{\text{ос}}$  – вартість основних засобів, грн.;

$\Phi_{\text{об}}$  – оборотні кошти, грн.

До реалізації нової технології, рентабельність дорівнювала:  $R_{\text{до}} = 6,5 \%$ .

Після реалізації нової технології, рентабельність зросла до:

$$R_{\text{після}} = 7,6 \%,$$

Коефіцієнт оборотності при виробництві сортового прокату визначали за формулою:

$$n_{\text{об}} = D_{\text{заг}} / \Phi_{\text{об}}.$$

За базовою технологією дорівнює:  $n_{\text{об. до}} = 1,6$ .

За новою технологією :  $n_{\text{об. після}} = 2,5$ .

Тривалість одного обороту визначається за формулою:

$$t_{\text{об}} = 360 / n_{\text{об}}, \text{ днів.}$$

До впровадження нових технічних рішень складав:

$$t_{\text{об до}} = 360 / 1,6 = 225 \text{ днів.}$$

$$\text{Після } t_{\text{об після}} = 360 / 2,5 = 144 \text{ днів.}$$

### 3.7 Висновки до розділу

Розрахунок техніко-економічних показників виробництва фланцевих профілів показав, що при впровадженні удосконалених режимів обтиснення випуск продукції за рахунок скорочення часу на виробництво виріс на 11,2 %, годинна продуктивність зросла на 11,9%, що забезпечує зменшення собівартості виробництва. Рентабельність виробництва зросла з 6,5 % до 7,6%, що свідчить про те, що прийняті рішення є ефективними.



## **4 САНІТАРНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Металургійне виробництво є дуже небезпечним і шкідливим виробництвом. Процес виготовлення фланцевого профілю також уявляє небезпеку і має шкідливий вплив на оточуюче середовище. Через це існує потреба забезпечити різні заходи безпеки з охорони праці та оточуючого середовища. При роботі з обладнанням потрібно дотримуватися санітарно-екологічної і пожежної безпеки.

Для виготовлення фланцевих профілів використовують переважно рейкобалкові прокатні стани, мають у своєму складі велику кількість складних вузлів і механізмів, що працюють в умовах підвищеної температури.

Безпека праці при роботі на прокатних станах повинна відповідати усім нормам та вимогам усіх відповідних актів та нормативів з охорони праці та оточуючого середовища на металургійному виробництві.

Потрібно мати засоби індивідуального і колективного захисту.

Стан таких засобів, виробничі умови та принцип роботи прокатних станів та нагрівного обладнання, способи отримання вихідних матеріалів повинні сприяти захисту робітників від негативних і шкідливих чинників, що приводять до погіршення санітарно-екологічного середовища та здоров'я працюючих.

Потрібно забезпечити сприятливі умови роботи на підприємстві в цілому і окремо у цеху з випуску фланцевої продукції. Для цього потрібно мати злагоджену організацію роботи металургійного підприємства в цілому та кожного окремого цеху. Такі дії ґрунтуються на плануванні цеху, побудови будівель усього підприємства та окремого цеху, створення належної вентиляції у приміщеннях будівлі, відповідного освітлення тощо. Такі заходи дозволять забезпечити уникнення професійних захворювань, нещасних випадків на підприємстві та у цеху.

Підприємство у своєму складі має безліч гарячих цехів, що випускають потрібну продукцію. До таких цехів відносяться: доменні, сталеплавильні,

прокатні. Вони повинні бути пов'язані між собою і узгоджено працювати з дотриманням вимог пожежної безпеки і санітарно-екологічних умов [44-49].

Потрібно планування металургійного підприємства зробити так, щоб воно забезпечувало раціональне розміщення усіх цехів, дозволяло здійснити оптимальний транспортний зв'язок між гарячими цехами з використанням усіх прогресивних типів транспортних засобів, застосуванням вантажопотоків, які забезпечують уникнення простою та збою в роботі транспортних засобів з можливість максимального використання усією виробничою ділянкою в цеху та на підприємстві.

Прогресивним для металургійного підприємства вважається залізничний, конвеєрний транспорт.

Фланцеві профілі виготовляють у прокатних цехах, у яких використовується велика кількість вантажів, які рухаються електричними мостовими кранами, рольгангами, транспортерами, штовхачами, маніпуляторами тощо.

При нагріванні безперервно-литих заготовок можуть відбуватися викиди гарячого шлаку при його взаємодії з водою та матеріалами, що є дуже небезпечним і шкідливим.

Потрібно створити таку побудову плану прокатного цеху, що буде мати можливість розширення та реконструкції як цеху, так і усього металургійного підприємства в цілому.

Ділянка рейкобалкового цеху, що забезпечує випуск потрібної продукції, повинна відповідати Положенням основ земельного законодавства України та задовольняти вимогам відповідно до природнього освітлення та провітрювання усіх цехів. Прокатні стани потрібно розташовувати до півдня від житлового масиву у відповідності до троянд вітрів.

Відбувається водозабір та водоспуск у тих місцях, що було погоджено з органами санітарного нагляду.

Входи та виходи на територію прокатного цеху розташовують з тих боків, де відбуваються основні підходи до них працівників цеху, зо задіяні у виготовленні фланцевих профілів.

Для продуктивної роботи в прокатному цеху потрібно, щоб об'єм виробничого приміщення на одного працюючого складав не менш за 15 м<sup>3</sup>, при цьому висота виробничого приміщення на одного робітника цеху повинна бути більшою за 3.2 м, рухатися робітники по території цеху повинні по пішохідним проходам та тунелям. Рухатися усі працівники до робочих місць повинні з урахуванням усіх вимог з техніки безпеки та технічної санітарії на даному виробництві.

Будівлю адміністративно-побутового корпусу потрібно розташовувати на відстані, яка не перевищує 100 м до основних виробничих цехів, що випускають фланцеву продукцію.

У побутових приміщеннях потрібно розміщувати гардеробні, душові кабінки, туалети, їдальні, медичні пункти. Такі приміщення повинні бути розташовано відповідно до усіх вимог санітарних норм, де наголошується, що вини повинні бути розташовані не більше 300 м від робочого місця.

Для усіх робітників, що задіяні у прокатних цехах, відповідно нормативів СН-245-11, потрібно передбачати душові кабінки, які містять усі необхідні елементи. Там повинні знаходитися полицями з вішалками та гаками, гумові ковдри. Кількість таких речей залежить від кількості робітників. Відповідно санітарних норм одну душову кабінку потрібно використовувати на 3 працівника, які працюють в найбільш чисельній зміні. Відстані між душовими кабінками повинні дорівнювати 2 м одна від іншої. В прибиральнях потрібно передбачати умивальники, в кількості 1 вмивальник на 15 працюючих. Для жінок на підприємстві повинні бути розташовані особисті кімнати гігієни. Для зберігання робочого одягу на підприємстві передбачено спеціальні шафи в гардеробній. Такі шафи також використовують і для зберігання взуття та чистого одягу в кількості, що залежить від кількості працюючих відповідно

штатного розкладу. Розміри таких шаф складають 50x150 см, відстань між шафами складає 2 м.

Станові прольоти потрібно розташовувати так чином, щоб навколо нього було передбачено санітарно-захисну зону. Ця зона повинна служити захисним бар'єром для безпеки та захисту населених пунктів від шуму та пилу, від негативного впливу високої температури та вібрацій. Така зона, відповідно санітарним нормам, повинна за шириною дорівнювати 1000 м.

На відстані 100 мм від робочого місця потрібно розташувати вбиральні повинні бути розташовані на відстані 100 м, питна вода та автомати з газовою водою повинні бути встановлені на відстані 75 м від робочих місць.

Прокатне обладнання для виготовлення фланцевих профілів – складає сукупність машин та механізмів, що оснащені електричними та механічними пристроями. При роботі з таким обладнанням потрібно дотримуватися усіх правил та норм виробничої санітарії. Умови праці на такому обладнанні дуже складні та шкідливі, обслуговування цього обладнання має багато небезпечних чинників таких, як запиленість, загазованість, теплове випромінювання, вібрація та шум.

Виконання технологічних операції при виготовленні фланцевого профілю на прокатному обладнанні можуть викликати появу негативних виробничих чинників, що мають шкідливий вплив на організм людини і може призвести до травмування робітника та професійних захворювань. При роботі рейкобалкового прокатного стану, що використовують для виготовлення фланцевих профілів виникають наступні небезпечні явища, як безперервний рух та обертання прокатних валків з великою швидкістю, переміщення розкатів по рольгангу, висока температура обробки.

З метою знешкодження таких шкідливих чинників потрібно застосовувати особисті захисні засоби, до яких можна віднести це потрібна освітленість на робочих місцях. Така освітленість повинна відповідати санітарним нормам в залежності від знаходження і призначення робочого місця.

Другий небезпечний чинник – це граничний рівень шуму, що створюється при роботі прокатного обладнання. Такий рівень шуму повинен не перебільшувати 75 Дб.

Процеси виготовлення фланцевих профілів відбуваються в гарячому стані, де температура нагрівання металу перед прокатуванням складає 1100 – 1250<sup>0</sup>С. Процеси нагрівання відбуваються у нагрівній печі. При роботі нагрівної печі спалюється природній газ, який призводить до такого шкідливого явища, як утворення вибухонебезпечної суміші. При недотриманні техніки безпеки та технологічних умов роботи нагрівної печі може відбутися її возгорання.

Високотемпературний режим прокатування має негативний вплив на увесь організм робітника. Такий температурний режим сприяє порушенню терморегуляції організму робітника, погіршує його координацію рухів і рефлекторні діяльність.

Найбільш небезпечний чинник при нагріванні металу в нагрівній печі є теплове випромінювання. Температура нагрівання матеріалів залежить від їх марки і може досягати 1100-1200<sup>0</sup>С, що є дуже небезпечним про що свідчать наступні дані, що наведені у табл.41.

Таблиця 4.1 – Допустимі величини теплового випромінювання

№ з/п	Робоче місце	Величина теплового випромінювання, °С	
		Фактична	Нормативна
1	У нагрівальних методичних печей	25	22-25
2	У робочих клітках прокатного стану	30	16-28
3	На керувальних постах	30	22-24
4	На місцях обробки готового прокату	30	16-27

Таке перевищення допустимих показників негативно впливає на здоров'я людини, такі показники дуже небезпечно відображаються на роботі серцево-судинної системи працівника, призводить до виникнення простудного захворювання, або до перегрівання організму робітника. У разі доторкання працівника до гарячого металу, що обробляється, може викликати опіки.

Пил, що утворюється при роботі прокатного обладнання, особливо при знатті окалини під час прокатування, при утворенні обрізі під час гарячого або холодного обрізання металу, також здійснює негативний вплив на організм працівника. Такий пил може осідати на легенях робітника, чим наносить велику шкоду на організм людини. Вплив пилу на організм людини залежить від його розміру. Якщо пил має розмір менший за 60 мкм, то він здатний проникати в легені робітника і повністю там затримується, що може викликати бронхітні захворювання. Також дрібні частинки пилу обмежують видимість працівника, шкідливо впливають на його зір, погіршують орієнтацію людини в межах робочої зони, між елементами та устаткуваннями прокатного обладнання. Також пил має шкідливий вплив і на сам прокатний агрегат через те, що він може викликати зношення та руйнування частин агрегатів прокатного обладнання. Пил здатний викликати вибухонебезпечність і може бути джерелом статичних зарядів електрики.

Особливо небезпечним є ураження електричним струмом при роботі прокатного обладнання через те, що його устаткування під'єднано до джерел електропостачання.

Ураження електричним струмом може бути викликано наступними чинниками:

- під час доторкання робітника до оголеного дроту;
- під час доторкання працівника до частин агрегатів, механізмів, до корпусів машин і устаткувань, де було випадково ушкоджено ізоляцію.

При розробці технологічних рішень з виготовлення фланцевих профілів на прокатному стані, потрібно передбачити нешкідливі умови праці робітників,

які працюють з електричними устаткуваннями та механізмами і знаходяться під напругою, що складає більше 1000V. Для безпечної роботи потрібно створити заземлюючі устаткування та здійснити заземлення усіх корпусів устаткування, що мають електричне живлення.

Потрібно вести боротьбу з різними забрудненнями. Для цього пропонується передбачити вентиляцію та аерацію, яка може бути природної або штучною. Влітку потрібно передбачити можливість надійного надходження свіжого повітря до прольоту прокатного стану через аерозійні прорізи, які потрібно розміщати у стінах будівлі.

На постах керування прокатним станом та в кабінах керування електромостовими кранами потрібно передбачити кондиціонери або вентилятори.

Для зменшення загазованості в прокатному цеху цього встановлюють циклони на ділянки першої групи механізмів для очищення.

З метою уникнення викиду полум'я та газу з методичної печі передбачають суцільне прилягання затвірок оглядових вікон до рам нагрівного обладнання. При цьому потрібно ретельно спостерігати за тиском у нагрівній печі і слідкувати щоб він не перевищував 2,8 мм водяного стовпчика.

На робочих місцях, де спостерігається підвищений вміст пилу у повітрі потрібно використовувати засоби індивідуального захисту від пилу. З цією метою використовують респіратори «Пелюсток». Такі ж респіратори рекомендується використовувати при здійсненні працівниками робіт, де присутня суттєва запиленість повітря.

Для забезпечення безпечної роботи працівників на прокатному стані при виробництві фланцевої продукції, потрібно передбачити спеціальний одяг і взуття, рукавиці та каски для кожного працюючого.

Відповідно до санітарних норм, такий одяг видається один раз на один рік. Також цей одяг повинен захистити від перегрівання працівника зсередини. З цією метою такий одяг повинен мати захисні властивості, що відповідають вимогам стандартів та технічних умов.

В зимній період року необхідно забезпечити уникнення переохолодження працюючого на прокатному стану при виготовленні фланцевих профілів.

Такі заходи можна забезпечити, створивши мікрокліматичні умови у виробничих приміщеннях з виготовлення фланцевої продукції, які відповідають санітарним нормам.

Процеси прокатування здійснюються на великих швидкостях, швидкість прокатування у останній прокатній кліті може досягати 20 м/с. У зв'язку з цим на прокатних станах потрібно передбачити захисні огорожі або захисні стінки з метою унеможливлення ураження робітників металом на випадок аварійного викиду металу з прокатних клітей.

При роботі прокатного обладнання потрібно забезпечити уникнення травматизму робітників деталями прокатного обладнання, що здійснюють рух з великою швидкістю або обертаються навколо осі. З цією метою потрібно встановити перехідні містки та огородити устаткування захисними металевими кожухами.

Встановлення звукової сигналізації дозволить своєчасно оповіщати робітників про негаради в роботі прокатного обладнання, про виходу з ладу прокатних механізмів.

Потрібно виконати теплоізоляцію стін та зводів у цехах та ділянках. Це дозволить зменшити теплове випромінювання нагріванні початкового матеріалу та спрямування його до клітей прокатного обладнання.

Потрібно створити санітарно-захисну зону навколо переміщення гарячих матеріалів у цеху. Санітарно-захисна зона повинна бути розташована навколо МБЛЗ та прокатного стану. Така зона буде слугувати надійним бар'єром, що захищає персонал від попадання на них пилу, від впливу на них шуму та вібрацій, зменшує дію високої температури при прокатуванні фланцевих профілів. Санітарно-захисна зона служить для забезпечення безперебійної роботи цехів. Вона повинна мати розміри, що відповідають санітарним нормам.

Потрібно захистити усі шляхи, канали та проїзди. З цією метою між прокатним цехом та цехом, де встановлено машину безперервного лиття



заготовок від негативного впливу випромінювання та утворення різних викидів, використовують спеціальні металеві плити та листи, що здатні затримувати випромінювання, що дасть змогу надійно захищати працівників.

Під час виготовлення фланцевих профілів на прокатних станах потрібно контролювати рівень забруднення усіх робочих місць, проїздів та проходів. У робочий зимовий час потрібно поза виробничою будівлею потрібно посипати піском та виробничими шлаками з метою уникнення травмування робітників. Для проходів, що знаходиться під ухилом більше 20°, потрібно передбачити похилі сходи, які будуть оснащені огороженнями. Відповідно до санітарних норм, такі проходи повинні мати ширину, яка більша за 0,6 м і висоту – не меншу за 1,8 м.

При отриманні фланцевих профілів, потрібно передбачити на рейкобалковому прокатному стані достатню природню освітленість, яка здійснюється через віконні рами.

Потрібно передбачати прольоти, розміри яких складають: довжина 150 м; ширина 30 м. Відповідно до цього, при середній запиленості та задимленні, відповідно санітарним нормам, мінімальна освітленість повинна бути рівною 75 лк.

Таке освітлення у прокатному цеху забезпечують відповідні світильники прямого світла. Такі світильники що мають напругу 220 V і потужність ламп 500 Вт.

Визначено потрібну кількість таких ламп, які здатні забезпечити потрібну потужність. Виявилося, що для цього потрібно кількість ламп дорівнює 110 штук.

Прокатний цех, де виготовляють фланцеві профілі гарячим прокатуванням, відноситься до будівель, що мають велику пожежонебезпечність. У зв'язку з цим потрібно велику увагу приділяти пожежній безпеці, як на прокатних ділянках, так і на ділянках розташування МБЛЗ, необхідно здійснювати потрібну періодичну профілактику

пожеженебезпеці у цеху та своєчасно попереджати можливість створення та розповсюдження пожежі при виготовленні фланцевих профілів.

За ступенем пожежної небезпеки, обладнання, що забезпечує виготовлення фланцевих профілів, до якого відносять рейкобалковий стан, відносять до категорії «Г» через, те що це обладнання для гарячого прокатування і обробка металу на ньому здійснюється при температурі, яка, як правило, перевищує 1000°C. Це обладнання має ступень вогнестійкості, яка дорівнює ІІ.

При виконанні робіт на цьому прокатному стані, потрібно обережно поводитися з вогнем, потрібно уважно спостерігати за роботою усіх теплових устаткувань, що розташовано в потоці головної лінії прокатного стану, потрібно приділяти належну увагу безперебійній роботі електричних мереж та електричних приладів, ретельно слідкувати за роботою електричного двигуна, також слідкувати за роботою газових устаткувань через те, що можливі вибухи вибухонебезпечних газів, які можуть призвести до пожежі при роботі устаткування, до виникнення небезпечних розрядів атмосферної електрики.

У випадку виникнення пожежі, її потрібно швидко погасити. З цією метою потрібно мати протипожежний інвентар. Для цього використовують гідранти, що встановлено у виробничому цеху в кількості 19 штук. Такі гідранти містять на відстані 50 м один від одного. З метою надійного знешкодження джерела пожежі під час пожежогасіння, потрібно мати тиск води на магістралі не менший за 5 – 6 атм. Протипожежний інвентар повинен бути зручно розташований для зручного забезпечення швидкого пожежогасіння. В якості протипожежного інвентаря використовують: сокири, лопати, ящики з піском, що мають місткість 0,5 м<sup>3</sup>. Такий інвентар потрібно розташовувати на кожному пожежному щитку у кількості 2 шт.

Для тушіння пожежі потрібно передбачити ящики з піском. Їх потрібно розташовувати поблизу робочих клітей прокатного стану. У зоні холодильника прокатного стану потрібно розташувати систему форсунок з водою.

На ділянці прокатних станів для безперебійної роботи обладнання використовують мастилоприводи, які мають також велику пожежонебезпечність. З метою уникнення пожежі мастилоприводи потрібно обладнати автоматизованими системами пожежогасіння.

У разі виникнення пожежі робітникам та керуючому персоналу потрібно суворо дотримуватися відповідних протипожежних інструкції, відповідно яких необхідно негайно оповістити пожежну охорону, з вказівкою адреси, де відбулася пожежа, кількістю поверхів, що має споруда, вказати місце возгорання, кількість працівників, обставини, які викликали пожежу, поточний стан.

Пожежу потрібно швидко погасити. Це можна забезпечити створивши швидкий і вільний доступ підрозділам з пожежної охорони, які прибули для гасіння пожежі. Усіх робітників потрібно швидко евакуювати з місця пожежі відповідно плану евакуації, який знаходиться на підприємстві та у цеху.

Особливо небезпечним середовищем для виникнення пожежі є відділення нагрівних методичних печей, де здійснюється нагрівання металевих сплавів перед прокатуванням до високих температур.

Окрім цього велика поджежонебезпечність присутня на складах мастил та в машинних залах. Для уникнення пожежі на складі мастил необхідно слідкувати за тим, щоб не відбувалося випаровування мастила. На складі мастил та запасних частин потрібно передбачити надійну систему пожежогасіння. Така система складається з 12 кранів, які приєднані до пожежних рукавів. По цим пожежним рукавам при пожежі подається вода під тиском 6-8 Атм.

При виникненні пожежі від палаючого мастила, потрібно передбачити 5-ть вогнегасників, що мають марку ОУ-5.

Потрібно виконувати захист будівель за допомогою стрижневих громовідводів, які мають вигляд конусу з радіусом утворюючої круга, який залежить від висоти і дорівнює  $r = 1,5h$  м, висота будівлі повинна дорівнювати

$h=150$  м. Кількість таких громовідводів залежить від кількості прольотів у будівлі і дорівнює  $25xp$ , де  $p$  кількість прольотів.

Необхідно в цеху забезпечити потрібний вентиляційний обмін з метою знешкодження надлишкового тепловиділення. Для цього повинна працювати потрібна вентиляція.

При роботі на прокатному обладнанні потрібно мати на увазі, що при роботі прокатного обладнання в робочій зоні прокатного стану, температура підвищується приблизно на  $5^{\circ}\text{C}$ .

Було виявлено, що створюється надлишкове тепловиділення, що дорівнює 1 млн. ккал/година. Таке надлишкове тепловиділення потрібно видалити. Для видалення цього надлишкового тепловиділення потрібно передбачити надійний вентиляційний повітрообмін, який дорівнює 320000 кг/годину.

Потрібно регулювати шкідливі викиди, що можуть здійснюватися на головній лінії прокатного стану. При виготовлення фланцевого профілю для цього на прокатному стані використовують гідро обезпилення робочих клітей прокатного стану, яке регламентується стандартом РД 52.04.52-85.

Потрібно забезпечити надійну роботу системи гідро обезпилення. Для цього потрібно використовувати велику кількість води та іншої рідини. Але такі заходи можуть призвести до того, що може утворитися велика кількість води та іншої рідини. Це може створити великі стоки води, що має негативні наслідки.

Також стоки води при виготовленні фланцевих профілів на прокатному обладнанні виникають через те, що необхідне інтенсивне охолодження усіх працюючих устаткувань, машин та механізмів, що входять у склад цього прокатного агрегату таких, як робочі валки прокатного стану, підшипники через їх перегрівання та запиленість.

Потрібно очищати промислові води від забруднень. Для цього при роботі прокатного стану використовують метод оберненого водопостачання, де вода має можливість відстоюватися у відстійниках.

Воду очищають у декілька рівнів: на першому рівні використовують відстійник для окалини. Таке очищення має назву первинного очищення. Віно дозволяє затримувати грубо дисперсні частки.

На другому рівні очищення застосовують горизонтальні відстійники, що є вторинними очисниками окалини. Вони очищують окалину за допомогою грейферних кранів.

На третьому рівні очищення рідина, що утворилася, надходить до охолоджувальних градирень і там відбувається інтенсивного охолодження і очищення її.

Після цього, очищена рідина надходить до прокатного обладнання з метою створення оборотного циклу.

Відходи прокатного виробництва при роботі прокатного стану при виготовленні фланцевих профілів використовують у багатьох галузях промисловості: з них виробляють цеглу для будівної галузі, оксиди заліза використовують в порошковій металургії, виготовляють добрива для потреб народного господарства, також можна з окалини виготовляють пігменти для лакофарбної промисловості тощо.

Вивчивши уважно санітарно-екологічні умови, отримано висновка, що при впровадженні нових технічних рішень з виготовлення рейкобалкової продукції, вони покращаться через те, що зменшиться кількість обробних операцій на металорізальних верстатах, що дасть можливість зменшити кількість пилу.

## ВИСНОВКИ

Для розробки заходів з удосконалення режимів обтиснення при прокатуванні сталевого фланцевого профілю:

- було досліджено способи виготовлення профілів і визначено їх особливості; виявлено, що такі профілі виготовляють прокатуванням в дуже складних умовах, де існує велика нерівномірність деформації різних частин профілю, на що потребується ретельна додаткова обробка;

- проаналізовано обладнання, що використовується для виготовлення фланцевих профілів і визначено, що використання рейкобалкових прокатних станів з універсальними прокатними клітями дозволить отримати вірний профіль;

- ретельне дослідження умов деформації дозволило скоригувати коефіцієнт обтиснення стінки в третій фасонній кліті, коли матеріал має досить високу температуру; змінивши умови деформації стінки у цій зоні на прикладі прокатування двотаврової балки, отримано точний профіль за розмірами з мінімальними відхиленнями і дефектами; такі заходи дають можливість виключити деякі обробні операції, такі, як стругання, калібрування, шліфування, вигладжування; це дає можливість зменшити час обробки на 10 % на виготовлення продукції і відповідно, підвищити продуктивність процесу.;

- визначено техніко-економічні показники пропонуємих рішень, які показали, що при впровадженні удосконалених режимів обтиснення випуск продукції за рахунок скорочення часу на виробництво виріс на 11,2 %, годинна продуктивність зросла на 11,9%, що забезпечує зменшення собівартості виробництва. Рентабельність виробництва зросла з 6,5 % до 7,6%, що свідчить про те, що прийняті рішення є ефективними.

При впровадженні удосконалених режимів обтиснення випуск продукції за рахунок скорочення часу на виробництво виріс на 11,2 %, годинна продуктивність зросла на 11,9%, що забезпечує зменшення собівартості

виробництва. Рентабельність виробництва зросла з 6,5 % до 7,6%, що свідчить про те, що прийняті рішення є ефективними.

Вивчивши уважно санітарно-екологічні умови, отримано висновки: при впровадженні нових технічних рішень з виготовлення рейкобалкової продукції, вони покращаться через те, що зменшиться кількість обробних операцій на металорізальних верстатах, що дасть можливість зменшити кількість пилу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения) / В. Л. Мазур, А. В. Ноговицын. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
2. 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.
3. Исследование параметров процесса прокатки в клетки с одним приводным валком / В. А. Николаев, А. А. Васильев // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2 (21) – С. 265–269.
4. Исследование контактных напряжений при асимметричной прокатке в чистовых клетях толстолистовых станов / А. Н. Кулик, А. В. Данько, К. Ю. Юрков // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2 (21) – С. 241–245.
5. Влияние кинематической асимметрии на силу прокатки в чистовых рабочих клетях толстолистовых станов / А. Н. Кулик, А. В. Данько, К. Ю. Юрков, А. А. Файчак // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : тематич. сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2008. – С. 269–273.
6. Производство облегченных профилей проката / А. П. Чекмарев, И. В. Гунин, Р. А. Машковец [и др.] – М. : Металлургия, 1965. – 424 с.
7. Патент на корисну модель UA 77045U. Спосіб прокатки фланцевих профілів/ Крикунов Б.П., Шум В.Б., Смирнов Є.М., Цуканов В.І, Кривицький Д.В., Следнева В.А., Борискин В.В. /Публ.25.01.2013, Бюл.№ 2.
8. Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А.[Текст] Калибровка прокатных валков. - М., Металлургия, 1971. - 512 с.
9. Тарновский И.Я. Формоизменение при пластической обработке металлов..[Текст] - М., Металлургиздат, 1954. - 534 с.



10. Тулупов С.А. Эффективность деформации сортовых профилей.[Текст] /Тулупов С.А., Гун Г.С., Онискив В.Д. и др. - М., Metallurgy, 1990. – 280 с.
11. Целиков А.И. Теория прокатки. Справочник .[Текст] /А.И.Целиков, А.Д.Томленов, В.И.Зюзин и др. - М., Metallurgy, 1982. - 335 с. 8. Николаев В.А. Теория прокатки полос: Учебное пособие.[Текст] . Запорожье, ЗГИА, 2014, - 257 с
12. Николаев В.А. Калибровка валков для прокатки простых профилей. Учебное пособие.[Текст] .- Запорожье, ЗГИА, 2004- 153с.
13. Николаев В.А Деформация металла при прокатке в калибрах.[Текст] .- Запорожье, ЗГИА, 2006.-196с.
14. Николаев В.А. Теория прокатки.[Текст] .- Запорожье, ЗГИА, 2007.- 228с.
- 15.Николаев В. А. Обжимное и сортовое производство. Учебное пособие..[Текст] -Запорожье, ЗГИА, 2008,-178с.
- 16.Николаев В.А. Процессы обработки металлов давлением.[Текст] - Запорожье:Акцент Инвест-трейд,2014.-192с.
17. Грудев А.П., Машкин М.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства. — М.: «Арт-Бизнес-Центр», Metallurgy, 1994. — 438с.
18. Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А.Калибровка прокатных валков. / Учебное пособие для вузов. — М.: Metallurgy, 1970. — 371с.
19. Диомидов Б.Б., Литовченко Н.В. Калибровка прокатных валков. / Учебное пособие для вузов.— М.: Metallurgy, 1970. — 311с.
20. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. / Учебное пособие для вузов. — М.: Metallurgy, 1987. — 368с.
21. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. М.: Metallurgy, 1980. — 320 с.
22. Технологія прокатного виробництва: Навч. посібник /В.А.Чубенко, А.А.Хіноцька. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2017. – 170 с.
23. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній та комплексів металургійних цехів: Монографія. Кривий Ріг: Видавничий

дім, 2010. – 404 с.

24. Василев Я.Д. Теорія поздовжньої прокатки / Я.Д. Василев, О.А. Мінаєв. – Підручник. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.

25. 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).

26. Національний стандарт України. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. ДСТУ 8302:2015

27. Иллюкович Б.М. Прокатка и калибровка фасонных профилей для машиностроения. Справочник – Днепропетровск: Арт-Пресс. 2000. – 438 с.

28. Бень Т.Г., Довбня С.Б. Совершенствование системы планирования на металлургическом предприятии // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2001. – №1. – С. 108-112.

29. Довбня С.Б. Методика анализа финансового состояния металлургического предприятия // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2001. – №6. – С. 102-106.

30. Шеремет В.О. та ін. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві. Навчальний посібник ч. 1. Дн-к., Січ, 2002. – 376 с.

31. Основи охорони праці: Підручник./ К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Митюк. За редакцією К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2003 – 403 с.

32. Охрана труда в черной металлургии / Бринза В.Н., Зиньковский М.М.: Металургия, 1982. – 336 с.

