

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський)

(другий (магістерський) рівень)

на тему АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО БТИСКУ В
КАЛІБРАХ НА ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРОКАТУВАННЯ

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Минаєв Дмитро Вячеславович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник к.т.н., доц. Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент д.т.н., проф. Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Бєлоконь

“ 07 ” 05 2023 року

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

Минаєв Дмитро Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз точності визначення середнього обтиску в калібрах на енергосилові параметри прокатування

керівник роботи (проекту) Кругляка Дмитра Олеговича к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 09.10. 2023року № 1581-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Порівняти методи визначення середнього обтиснення в системах витяжних калібрів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-розрахункова частина, Економічні аспекти, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 15 слайдах (на 15 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Аналітично-пошукова частина</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент</i>	
<i>Дослідницько-розрахункова частина</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент</i>	
<i>Економічні аспекти</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Кругляк Д.О. доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>до 30.11.2023</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>до 30.11.2023</i>	
3	<i>Аналітично-пошукова частина</i>	<i>до 30.06.2023</i>	
4	<i>Дослідницько-розрахункова частина</i>	<i>до 19.11.2023</i>	
4	<i>Економічні аспекти</i>	<i>до 26.11.2023</i>	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>до 30.11.2023</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>до 30.11.2023</i>	

Студент _____ *Д.В. Минаєв* _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 94 с., 26 рис., 17 табл., 15 джерел.

КАЛІБРИ, ШТАБА, ДЕФОРМАЦІЯ, ОСЕРЕДОК ДЕФОРМАЦІЇ, РОЗШИРЕННЯ, ОБТИСК, КОНТАКТНА ПОВЕРХНЯ, СИСТЕМА КВАДРАТ-РОМБ, СИСТЕМА ОВАЛ-КВАДРАТ, СИСТЕМА ОВАЛ-РЕБРОВИЙ ОВАЛ, СИЛА ПРОКАТУВАННЯ

Об'єкт дослідження – вплив форми калібрів на енергосилові параметри процесу прокатки простих профілів.

Мета роботи – виявлення впливу точності визначення середнього обтиску в на силу прокатування і розширення в різних системах калібрування.

Виконано опис технологічних процесів на дрібносортих станах різного типу. Показана ефективність обтиснення у калібрах, проаналізовано системи калібрувань валків. Встановлено, що застосування процесу прокатки в гладких валках дозволяє збільшити продуктивність неперервного стана внаслідок запровадження більш інтенсивних режимів; збільшити застосування робочої поверхні валків на 20-30%; збільшити вихід придатного металу внаслідок уникнення дефектів, зв'язаних з не заповненням чи переповненням калібрів металом; зменшити брак сортового прокату через наявність волосовин, тріщин, збільшити строк служби валків.

Випускна кваліфікаційна робота магістра складається з чотирьох частин. Перша частина – опис основних положень калібрування прокатних валків. Друга частина – розрахунок середнього обтиску в різних системах калібрування, визначення сили прокатування і розширення в системі калібрів овал-ребровий овал. Третя частина – економічні аспекти досліджуваної проблеми. У четвертій частині розглянуті охорона праці та техногенна безпека навколишнього середовища.

ЗМІСТ

1	АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА	8
1.1	Стан проблеми	8
1.2	Літературний огляд	9
2	ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	36
2.1	План проведення теоретичних досліджень	36
2.2	Методи розрахунку середнього обтиснення в витяжних калібрах	36
2.3	Розрахунок середнього обтиснення у калібрах системі квадрат – ромб	40
2.4	Розрахунок середнього обтиснення у калібрах системи овал – квадрат.....	48
2.5	Розрахунок середнього обтиснення у калібрах системи овал – ребровий овал	59
2.6	Аналіз методів розрахунку середнього обтиску в простих калібрах системи квадрат-ромб, овал-квадрат, овал-ребровий овал.....	66
2.7	Розрахунок розширення в системі калібрів овал-ребровий овал.....	67
2.8	Розрахунок сили прокатки в системі калібрів овал-ребровий овал.....	73
3	ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ВПЛИВУ ФОРМИ КАЛІБРІВ НА ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРИ ПРОКАТЦІ РІЗНОЇ ФОРМИ	80
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	81
4.1	Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	81
4.2	Заходи з поліпшення умов праці	83
4.3	Виробнича санітарія.....	84
4.4	Заходи з електробезпеки.....	87
4.5	Заходи з пожежної та техногенної безпеки	88
4.6	Розрахунок повітрообміну у приміщенні	90
	ВИСНОВКИ.....	92
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	94

ВСТУП

Для вирішення поставлених перед прокатним виробництвом завдань потрібне подальше удосконалення технологічного процесу прокатки і прокатного обладнання. Основою технології сортопрокатного виробництва є деформація металу у валках з різними калібрами.

У завдання калібрування входить визначення форми і розмірів калібрів, які розточують на валках для отримання різних прокатних виробів. Від того на скільки правильно обране калібрування валків, залежать розміри і якість поверхні одержуваного готового профілю, який повинен відповідати вимогам технічних умов та ДСТУ.

Отримання необхідного сортового профілю здійснюється шляхом послідовної прокатки в декількох калібрах, у процесі якої здійснюється поступова зміна форми і розмірів перерізу до отримання готового профілю. При розробці калібровок валків сортових станів виникає цілий ряд інженерних завдань, раціональне вирішення яких можливе тільки при наявності конкретної виробничої обстановки, технічних можливостей обладнання, пластичних властивостей оброблюваних матеріалів і багатьох інших технологічних факторів.

Найважливішими завданнями калібрування прокатних валків є:

1. Отримання точного профілю з гарною якістю поверхні, заданою структурою і належними механічними властивостями при відсутності дефектів прокатного походження.

2. Забезпечення високої продуктивності прокатного стану за рахунок застосування інтенсивних режимів деформації, скорочення кількості проходів і допоміжних операцій, підвищення швидкості прокатки, механізації та автоматизації процесу прокатки.

3. Забезпечення мінімальної собівартості прокату за рахунок застосування схем і режимів деформації, що вимагають мінімальної витрати металу, валків і енергії.

Для цих завдань характерна багатоваріантність можливих рішень, а також їх тісний взаємозв'язок і вплив результатів вирішення одного завдання на інші. Виникає необхідність пошуку оптимального варіанта калібрування. Але якщо раніше пошук відбувається інтуїтивно, а також шляхом численних спроб і помилок, то в даний час калібрувальник може використовувати широкі можливості ЕОМ для пошуку оптимального варіанту, більш повно врахувати численні технічні вимоги та технологічні особливості виробництва.

Вдосконаленню калібрувань сприяє також і розширення наукових знань про процеси деформації в калібрах.

1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА

1.1 Стан проблеми

Останнім часом отримала подальший розвиток теорія розрахунку параметрів деформації металу при прокатці у витяжних калібрах простої форми, що забезпечило підвищення надійності попереднього розрахунку їх розмірів.

Необхідною умовою визначення дійсних розмірів калібрів є точність розрахунку величини уширення металу залежно від форм заготовок і калібрів. Найчастіше для цієї мети використовують формули отримані для умов прокатки в гладких валках (А.П.Чекмарев, Б.П.Бахтінов, А. В.Мінкін), в інших випадках пропонують спеціальні формули, одержані безпосередньо для калібрів з урахуванням закономірностей формозміни штаби (М.С. Мутьєв, В.К. Смирнов, І.Я. Тарновський, В.С. Берковський, С.А. Тулупов та ін.).

Другою необхідною умовою слід вважати наявність методів, що забезпечують достовірність визначення усереднених величини абсолютного обтиску, ширини контакту штаби з валками і середньої товщини штаби в калібрі. У даній роботі розглядаються декілька методів розрахунку усередненого абсолютного обтиску:

- Метод наведеної штаби (максимальної ширини штаби А.І.Врацкій);
- Метод відповідної штаби (А.Ф. Головін);
- Метод відповідної контактної поверхні (В.О. Ніколаєв)

За отриманими значеннями величин розширення і абсолютного обтискання необхідно побудувати калібр (третя умова калібрування) і визначити енергосилові параметри прокатки металу. Величина розширення і усередненого абсолютного обтискання максимально наближені до фактичних умов деформації металу при прокатці забезпечує скорочення часу проектування (освоєння) калібрувань валків прокатних станів, підвищує якість готових сортових профілів. Пропонуються

рішення задач визначення кінцевих параметрів формозміни металу в калібрах, що забезпечують отримання більш точних теоретичних результатів розрахунку розширення і сили прокатки.

1.2 Літературний огляд

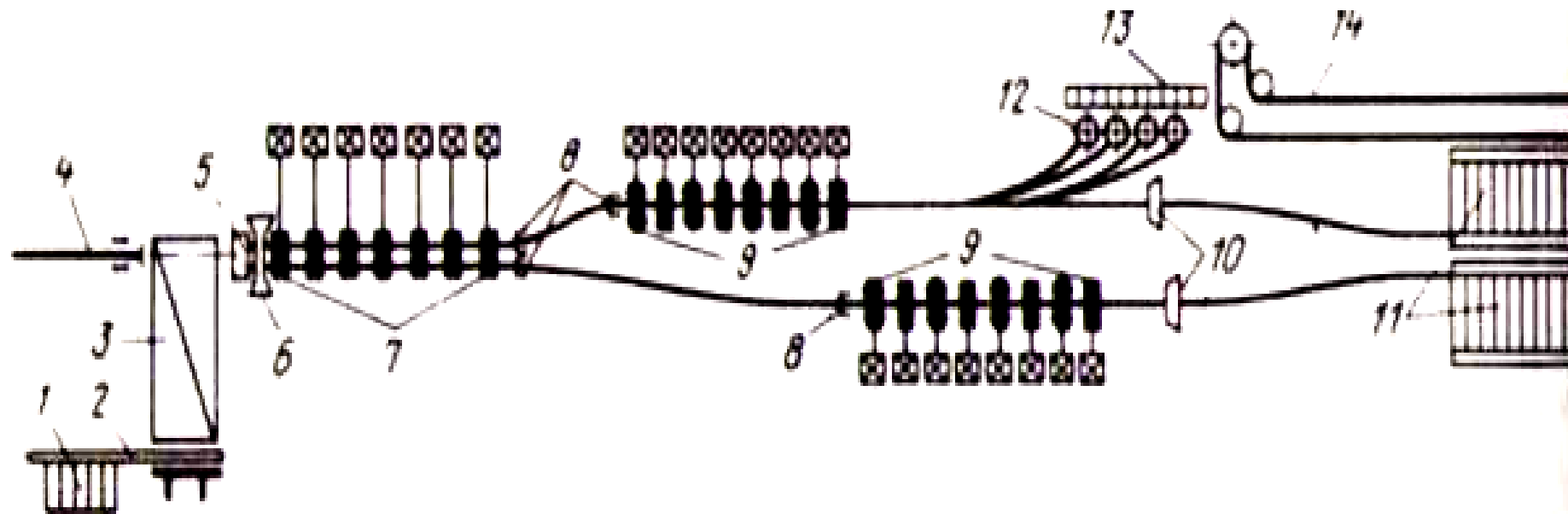
1.2.1 Неперервні дрібносортні стани. Великого поширення набули двониткові дрібносортні стани 250. Стани цього типу першого покоління (рис. 1) мають у своєму складі семіклетьову чорнову групу горизонтальних клітей 370 і дві паралельні восьміклетьові чистові групи, в яких чергуються кліті з вертикальними і горизонтальними валками діаметром 270-320 мм. Всі кліті мають індивідуальний регульований привід валків. У чорновій групі прокатка ведеться у дві нитки одночасно. У кожній чистовій групі прокатка йде в одну нитку. Заготовки перерізом 80x80 мм, довжиною 10,5-11,7 мм нагріваються в методичній печі з похилим подом, верхнім обігрівом, бічною задачею і видачею.

Розподільний пристрій направляє заготовки, що видаються з печі, по черзі по двох паралельних лініях прокатки. Перед першою кліттю є аварійні ножиці. Для кантування розкату в чорновій групі застосовують валки, що кантуються і гелікоїдальні проводки. На виході з чорнової групи на кожній нитці встановлені летючі ножиці для обрізки переднього кінця розкату і для аварійної порізки розкату при бурінні в чистовій групі; максимальна швидкість прокатки - 15 м / с. Після чистових груп на кожній лінії встановлені летючі ножиці ротаційного типу для поділу розкату на довжини, відповідні довжині холодильника (125 мм); холодильник - двосторонній, рейкового типу. Охолоджені штаби ріжуть на мірні довжини на ножицях холодного різання, набирають і пов'язують пакети.

Деякі профілі круглої сталі виробляються зі змотуванням розкату в бунт із зовнішнім діаметром 1250 мм і внутрішнім - 850 мм, масою до 550 кг. Для цього використовують чотири моталки, в які розкат з чистової кліті направляється перекладною стрілкою і змотується зі швидкістю прокатки. Змотаний бунт стикається на транспортер, потім передається на гаковий конвеєр, охолоджується,

ув'язується і за допомогою бунтоз'ємного пристрою і пакетувальної машини передається на склад готової продукції [1].

На цих станах прокатують круглу сталь 10-24 мм, квадратну сталь 16 мм, сталь кутову рівнополічну з довжиною полки 25-40 мм, полосову сталь. Продуктивність стану залежно від сортаменту становить 500-700 тис. т / рік. Двониткові дрібносортні стани 250 другого покоління були запроєктовані з урахуванням застосування способу нескінченної прокатки. Для розміщення обладнання, призначеного для стикового зварювання заготовок, чорнова група клітей віддалена від нагрівальних печей на ~ 70 мм. До теперішнього часу спосіб нескінченної прокатки знаходиться в стадії розробки і досліджень, стани 250 працюють у режимі поштучної прокатки. Чорнова група складається з семи горизонтальних клітей, за нею слідує проміжна група - чотири горизонтальні кліті. Дві паралельні чистові групи складаються кожна з шести чергуються клітей з вертикальними і горизонтальними валками. Всі кліті мають індивідуальний електропривод. Виділення проміжної групи клітей дає можливість без збільшення загального числа робочих клітей (23) отримати велику загальну витяжку. Наявність двох нагрівальних печей дозволяє завантажувати кожен нитку з окремої печі і вести прокатку різних сталей і профілів одночасно по правій і лівій ниткам за умови виконання однакової величини константи безперервної прокатки на обох нитках. Решту обладнання, за винятком конструктивного виконання, аналогічно станам 250 першого покоління. Більш потужний електропривод, міцність клітей і лінії приводу дозволили спеціалізувати ці стани на більшому сортаменті (круглі профілі діаметром до 30 мм, шестигранні до 27 мм, арматурні до № 30) і досягти річного обсягу виробництва 1-1,2 млн.т.



1 - завантажувальна решітка; 2 - підвідний рольганг; 3 - нагрівальна піч; 4 - виталкувач; 5 - розподільний пристрій;
 6 - ножиці; 7 - чорнова група клітей; 8 - летючі ножиці; 9 - чистові групи клітей; 10 - летючі ножиці; 11 - холодильник;
 12 - моталки; 13 - транспортер для бунтів; 14 - конвеєр для бунтів

Рисунок 1.1 - Схема розташування устаткування безперервного дрібносортового стану 250

1.2.2 Технологічні операції при виробництві сортової сталі

Технологічний процес виробництва сортових профілів починається з підготовки заготовок до прокатки. Якість заготовки в багатьох випадках визначає вихід придатного і продуктивність стану. Шляхом візуального контролю виявляються поверхневі дефекти: плени, тріщини, рванини, закати і ін. Відхилення розмірів перетину від номінальних не повинні перевищувати допустимі за ГОСТом. Нестабільність розмірів перетину заготовок, навіть у межах, що допускаються ГОСТ, впливає на точність одержуваних профілів. Криві і скручені, короткі або занадто довгі заготовки ускладнюють завантаження печі, можуть викликати застрявання металу в печі, тому вони не повинні допускатися в прокатку. При підготовці до прокатки легованих і високовуглецевих сталей, крім візуального контролю, виробляють освітлення поверхні заготовок і травлення. Освітлення полягає в знятті шару окалини з поверхні металу абразивним кругом з метою виявлення поверхневих дефектів. Дефекти з поверхні заготовок видаляють вогневою зачисткою, пневматичної вирубкою, зачисткою абразивними кругами або механічною зачисткою (строжкою, фрезеруванням). Вибір способу зачистки залежить від характеру розташування дефектів, їх виду, марки сталі, призначення прокату. Залежно від ступеня ураженості дефектами застосовують суцільну або місцеву зачистку [1].

При виробництві підкату для калібрування і холодної висадки високі вимоги пред'являються до товщині зневуглецьованого шару металу на поверхні профілю. Для забезпечення необхідної якості прокату проводиться повне видалення зневуглецьованого металу з поверхні заготовок шляхом суцільної абразивної зачистки. На дрібносортовому стані 250-6 є лінія дефектоскопії заготовок, обладнана магнітографічним і ультразвуковим дефектоскопами для автоматичного і безперервного контролю поверхневих і внутрішніх дефектів заготовок, а також пристроєм "Магнетест" для виявлення змішування заготовок з різних марок сталі.

У лінії дефектоскопії заготовки проходять правку на роликотправильній машині, очищення поверхні від окалини на дрібеметній установці, контроль

поверхневих і внутрішніх дефектів з маркуванням фарбами і далі надходять на обдирково-шліфувальні верстати. Зачищені заготовки передаються на склад і подальшу прокатку.

Режим нагріву заготовок в печі вибирають залежно від хімічного складу сталі. Основним чинником, що визначає максимальну температуру нагрівання заготовок, є вміст вуглецю в сталі: з підвищенням вмісту вуглецю максимальна температура нагріву знижується. При нагріванні важливо забезпечити рівномірний розподіл температури по довжині і перетину заготовки, що має великий вплив на процес деформації в калібрах, точність розмірів і якість одержуваного прокату. Поряд з окисленням заготовок при нагріванні відбувається знеуглецювання поверхневого шару металу. При нагріванні заготовок із сталей, схильних до знеуглецювання, звичайно знижують температуру і тривалість нагрівання (особливо в зоні високих температур). Істотно зменшуються втрати металу в окалину і величина знеуглецювання в печах з крокуючим подом, так як час нагріву заготовок скорочується майже вдвічі порівняно з печами з монолітним подом через всебічний нагрів заготовок. Температура початку прокатки на безперервних станах становить 1120-1180 °С.

Прокатка всіх профілів проводиться за затвердженими схемами калібрувань і заданому швидкісному режиму прокатки. Схема калібрування повинна передбачати можливість отримання на стані різних профілів при мінімальних витратах на перевалку і перенастроювання стана шляхом використання одних і тих же чорнових валків для отримання різних профілів. На рис. 1.7 показана схема прокатки різних профілів на одному з дрібносортних станів 250, згідно з якою різні профілерозміри прокату отримують при мінімальних простоях стана в перевалки. Так, наприклад, перехід з прокатки круглого профілю діаметром 12 мм на арматурний № 12 вимагає перевалки тільки чистової кліті 15 та зміни настройки предчистовой кліті 14. Для переходу на прокатку кутових або смугових профілів необхідна перевалка всієї чистової групи і 5-ї і 7-ї клітей чорнової групи. У той же час для отримання кутових профілів різного розміру необхідно замінити

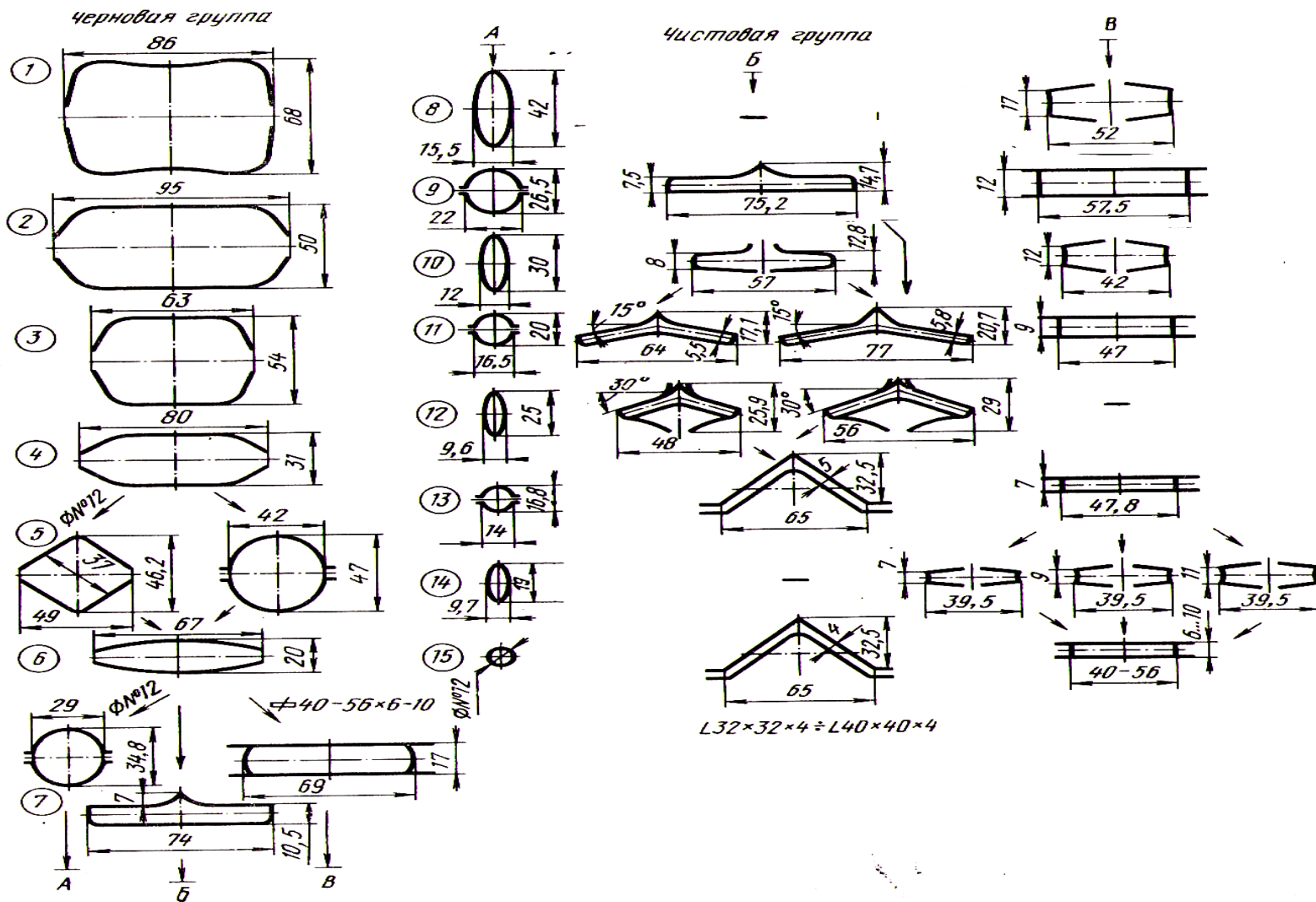


Рисунок 1.2 - Схема прокатки на непрерывном дробносортовом стане 250
 А - круглой і арматурної сталі; Б - кутовий равнобокой сталі; В - смугової сталі

калібри або перевалити тільки 11-ю і 12-ю кліті, а для прокатки різного розміру штаб - тільки 14-у кліть.

Точність профілів, одержуваних на прокатних станах, залежить від конструктивних особливостей обладнання і цілого ряду технологічних факторів. Від технічного рівня обладнання, якості виготовлення валків і привалкової арматури залежить правильність геометричної форми і точність розмірів прокату. В усуненні змін геометричних розмірів профілю по довжині штаби, яка прокатується важливе значення має підвищення жорсткості робочих клітей. Кліті звичайних конструкцій не забезпечують достатньої жорсткості для отримання прокату підвищеної та високої точності. Підвищення вимог до точності прокату призвело до створення спеціальних конструкцій жорстких і попередньо напружених клітей (ПНК). Особливістю ПНК є те, що корпус кліті попередньо навантажується зусиллям, переважаючим зусилля, що виникає в процесі прокатки. При цьому коливання зусилля в процесі прокатки практично не впливають на деформацію кліті і вертикальний розмір профілю. Розроблено конструкції об'ємно-напружених клітей (ОНК), що мають підвищену жорсткість як в радіальному так і в осьовому напрямку. Використання сучасних конструкцій жорстких робочих клітей дозволяє отримувати прокат підвищеної та високої точності при врахуванні впливу таких технологічних факторів, як температурні умови прокатки, швидкісний режим прокатки і коливання величини міжклетьових натягів штаби, використовувана система калібрування і знос калібрів, число одночасно прокатуваних ниток та ін. Прокатка на неперервних і напівнеперервних станах у порівнянні з лінійними характеризується мінімальним зниженням температури штаби під час прокатки. Температура кінця прокатки складає 1000-1050 ° С на напівнеперервних і неперервних станах і 930-950 ° С на лінійних і послідовних станах. Температурний режим прокатки значно впливає на зусилля і витрату енергії на прокатку, знос калібрів, якість поверхні і точність розмірів профілю, структуру і механічні властивості готового прокату [1].

У чорнових клітях сортових станів застосовують як сталеві, так і чавунні валки. Сталеві валки для крупно-, середньо- і дрібносортових станів виготовляють

з кованої високовуглецевої сталі, легованої хромом, нікелем, молібденом. Вони володіють високою навантажувальною здатністю, але по зносостійкості поступаються чавунним валкам через утворення сітки розпалу на поверхні калібру. Тому в чистових і проміжних клітках, а також там, де забезпечується міцність валка в чорнових клітках, на сортових станах застосовують чавунні валки з нелегованого або легованого чавуну з пластинчастим або кулястим графітом (марки СП, СШ, СПХН, СШХН). Робочий шар вибіленого чавуну володіє високою твердістю і зносостійкістю. Валки можуть бути відлиті гладкими або з профільними ривчачками. Під час роботи стану на робочі калібри безперервно подається вода для охолодження валків і попередження вигорання і розтріскування робочої поверхні струмків.

Швидкісний режим прокатки по клітках безперервного стану визначають виходячи з дотримання константи безперервної прокатки, величина якої вибирається по робочій клітці чи ділянці стану з найменшою пропускною здатністю. При прокатці великих профілів константа безперервної прокатки зазвичай обмежується чорновими клітками або продуктивністю нагрівальної печі. При прокатці профілів малого перетину величина константи і максимальна швидкість прокатки часто обмежуються потужністю приводу чистових клітей і технічно можливою швидкістю прийому штаб на холодильнику. Підтримка заданої частоти обертання валків з високою точністю забезпечують автоматичні системи регулювання швидкості прокатних двигунів. У чорнових клітках безперервного стану прокатка проводиться з невеликим натягом, яке забезпечує стійке положення розкату і не робить помітного впливу на розміри профілю. Невелика швидкість руху штаби в чорнових клітках дозволяє встановити режим прокатки з невеликим натягом, орієнтуючись по поведінці штаби, по зміні інтервалу між наступними одна за одною штабами та іншими ознаками. У чистових клітках швидкість руху штаби значно зростає і ручний спосіб регулювання режиму натягу не може забезпечити достатню швидкодію і точність підтримки заданого режиму. Сучасні безперервні стани обладнані пристроями утворення петлі розкату в міжкліткових проміжках і автоматичної підтримки її

розмірів у заданих межах. При проходженні переднього кінця розкату між клітьми петлеутворюючі ролики виведені з лінії прокатки і не перешкоджають вільному входу штаби в наступну кліть. Після захоплення штаби валками наступної кліті петлеутворюючі ролики виводяться в робоче положення і формують дугоподібну петлю розкату між клітьми, наявність якої забезпечує відсутність силової взаємодії між клітьми і утяжки штаби від дії натягу.

Температурний режим нагріву і прокатки, режим деформації штаби в валках та охолодження впливають на механічні властивості готового прокату. Високі механічні властивості забезпечуються при отриманні дрібнозернистої структури. Для підвищення рівня і стабільності механічних властивостей сортового прокату застосовують технологію контрольованої прокатки. Контрольована прокатка характеризується суміщенням пластичної деформації і термічної обробки металу. Строго регламентуються умови нагрівання металу залежно від хімічного складу, температурні та деформаційні параметри процесу і режими охолодження металу на різних стадіях обробки. Контрольована прокатка дозволяє одночасно підвищити міцність, пластичність і в'язкість сталі. Підвищення механічних властивостей вуглецевих і низьколегованих сталей засноване на уповільненні процесу рекристалізації деформованого аустеніту шляхом проведення деформації при можливо більш низьких температурах в аустенітній області з наступним охолодженням[1].

При контрольованій прокатці сортового прокату з вуглецевих і низьколегованих сталей можна виділити наступні стадії:

прокатка в чорнових проходах при температурі вище 1000 °С;

прискорене підстужиння розкату в охолоджуючих пристроях;

прокатка в чистових проходах з сумарним обтисненням до 50% і деформацією за прохід 15-20%. Закінчення прокатки при температурах 800-850 °С;

прискорене охолодження прокату до 650-750 °С водою високого тиску з наступним охолодженням на повітрі.

Основна складність застосування технології контрольованої прокатки на сортових станах пов'язана з регульованим охолодженням металу в потоці стану. При обмежених габаритах охолоджувальних пристроїв повинна бути забезпечена висока інтенсивність теплоотбору, рівномірність охолодження, надійне транспортування профілів через охолоджуючі пристрої.

Більш простим і широко поширеним є спосіб підвищення механічних властивостей прокату і зниження утворення окалини шляхом прискореного охолодження прокату в потоці стану на ділянці між чистової кліттю і холодильником. За ступенем впливу на структуру і властивості металу розрізняють наступні технологічні схеми прискореного охолодження від температури кінця прокатки: до 700-850 °С; до 600-750 °С; нижче 650 °С.

Вибір схеми прискореного охолодження сортового прокату з прокатного нагріву залежить від хімічного складу сталі і необхідного рівня механічних властивостей. Перша схема забезпечує збереження або деяке підвищення технологічних властивостей і зменшення втрат металу в окалину. Прискорене охолодження прокату до 600-750 °С призводить до істотної зміни структурного стану сталі, рівень міцності властивостей прокату підвищується на 5-20% при збереженні задовільної пластичності. Шляхом прискореного охолодження до зазначених температур можна здійснювати теплову правку складних фасонних профілів. Так, для запобігання викривлення кутових профілів застосовують прискорене охолодження профілю до 700- 950 °С по всьому перетину і виборче охолодження їх вершини до 500-700 °С. Поєднанням охолодження прокату по всьому перетину з додатковим виборчим охолодженням найбільш масивних елементів перетину профілю отримують фасонні профілі з більш високими механічними властивостями і меншою кривизною.

Прискорене охолодження до температур нижче 650 °С призводить до корінних змін у структурі, що дозволяє при достатньому запасі пластичності отримати підвищення міцнісних властивостей в 1,5-2 рази, значно збільшити рівень ударної в'язкості і хладостійкості. Широко застосовується термічне зміцнення стрижневої арматурної сталі.

У зв'язку з термічним зміцненням сортових профілів з прокатного нагріву ускладнюється робота холодильника. Зі зниженням температури металу зменшується коефіцієнт тертя штаби в приймальному жолобі холодильника і значно збільшується шлях гальмування штаб. Для гальмування штаб застосовують спеціальні пристрої або доводиться знижувати швидкість прокатки. Через підвищення міцності металу зростає зусилля різання, що іноді призводить до поломок, а при зменшенні кількості стрижнів, які одночасно розріжуться зменшується пропускна здатність ножиць. При виробництві сортового прокату в бунтах охолодження металу погіршує захоплення штаби моталкою. Тому передній кінець штаби пропускають в моталку без охолодження, а потім включаються в роботу секції прискореного охолодження прокату.

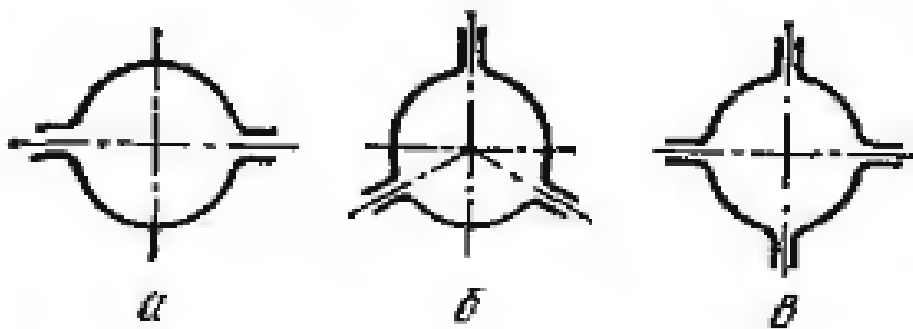
Одним з ефективних напрямків отримання профілів високої точності, економії металу при його виробництві і споживанні є використання технології гарячого калібрування підкату в технологічному потоці станів гарячої прокатки. Для отримання горячекаліброваної сталі за чистовою кліттю додатково встановлюють двох або трьохклітьовий блок тривалкових клітей. Розкат, що надходить у калібруючий блок з чистової кліті, отримує малі обтиски в системі калібрів круг-коло, що забезпечує отримання профілю високої точності. Окалину з поверхні горячекаліброваного прокату видаляють піскоструминною обробкою, іглофрезеруванням, на правильно-полірувальних машинах та ін.

Потоковість виробництва на прокатних станах створює сприятливі умови для автоматизації виробничого процесу. На станах 250 автоматизоване завантаження заготовок у піч, тепловий режим нагріву заготовок, обрізка переднього кінця розкату на ножицях після чорнової групи клітей, розкрій прокатої штаби на летючих ножицях, охолодження на холодильнику і т.д. На нових прокатних станах вводяться в експлуатацію комплексні автоматичні системи управління технологічним процесом (АСУТП), оснащені ЕОМ. Ці системи забезпечують стабільність параметрів технологічного процесу прокатки, підвищується точність розмірів прокату, якість поверхні, поліпшуються механічні властивості готової продукції. На сучасних прокатних станах завдання управління

технологічними процесами вирішуються з урахуванням планування, контролю за проходженням металу по переділах, з використанням даних про параметри технологічних процесів, для чого використовуються потужні ЕОМ. В даний час всі сортопрокатні стани, які будують або реконструюють обладнуються АСУТП на базі мікро- і міні-ЕОМ.

1.2.3 Основні положення калібрування прокатних валків

Види і класифікація калібрів. Калібри підрозділяються на двохвалкові і багатовалкові, причому деякі калібри однакової форми можуть бути утворені двома і більше валками. У практиці прокатного виробництва знайшли застосування двохвалкові, тривалкові і чотирьохвалкові калібри (рис. 1.3).



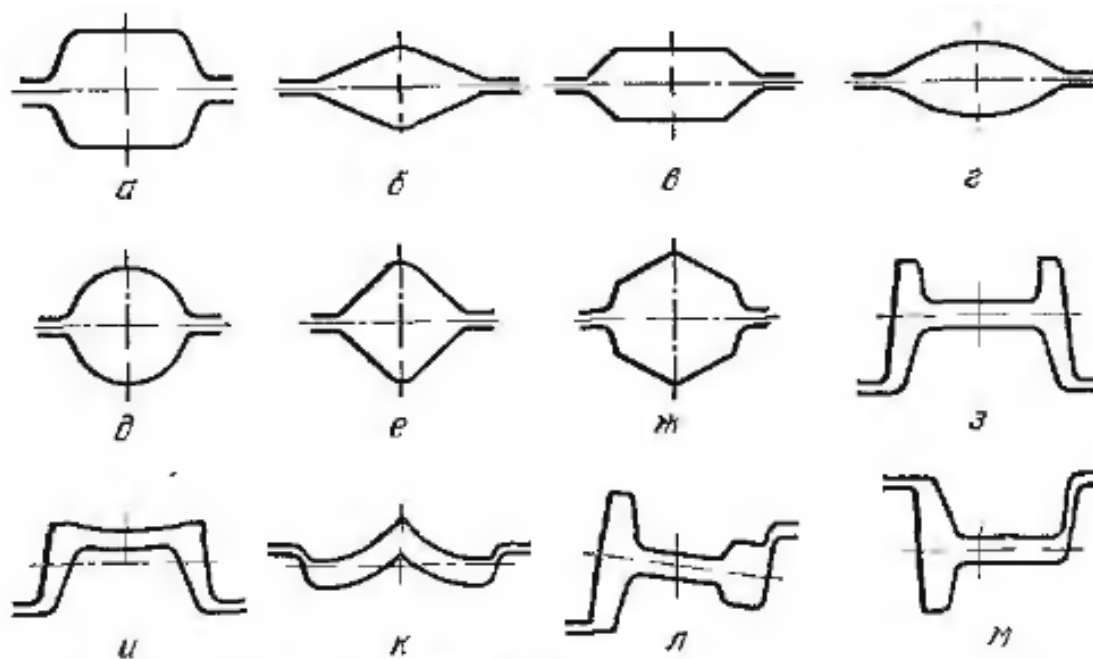
а - двохвалковий, б - трьохвалковий, в - чотирьохвалковий

Рисунок 1.3 – Круглі калібри

Калібри класифікуються за формою, розташуванням на валках і призначенням. За формою калібри поділяють на дві основні групи (рис. 2): простої форми (ящикові або прямокутні, ромбічні, шестикутні, овальні, круглі, квадратні, шестигранні) і фасонні (балкові, швелерної, уголкової, рейкові, таврові та ін.).

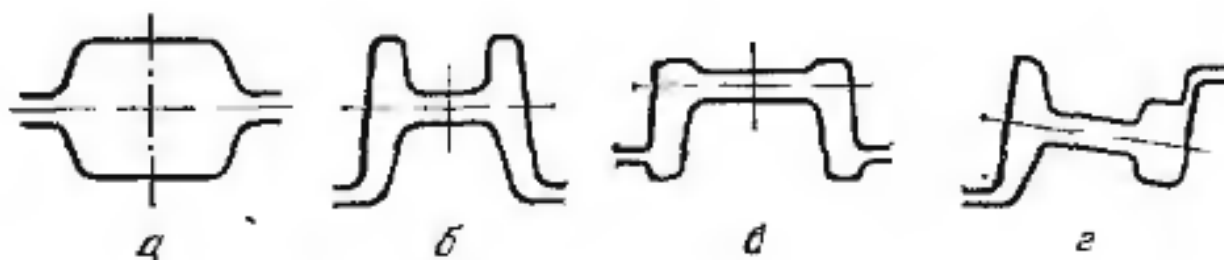
По розташуванню в валках розрізняють калібри відкриті, закриті, напівзакриті і діагональні (рис.1.4). У відкритих калібрів горизонтальний зазор між буртами валків розташовується приблизно посередині висоти калібру, у

закритих за межами калібру, у напівзакритих - ближче до основи або вершини калібру, у діагональних зазори між буртами розташовуються по діагоналі (наприклад, у лівого бурту в нижній, а у правого - у верхній частині калібру).



Калібри простої форми а - ящиківий, б - ромбічний, в - шестикутний, г - овальний, д - круглий, е - квадратний, ж - шестигранний; фасонні калібри: з - балковий, і - швелерний, к - кутовий, л - рейковий, м - тавровий

Рисунок 1.4 – Класифікація калібрів за формою



а - відкритий; б - закритий; в - напівзакритий; г - діагональний

Рисунок 1.5 – Класифікація калібрів по розташуванню в робочих валках

За призначенням калібри підрозділяють на обтискні, чорнові, причистові і чистові. Обтискні калібри призначені для зменшення площі поперечного перерізу вихідного злитка, блюма або заготовки з метою отримання заготовки, з якої в подальшому буде формуватися необхідний профіль. В якості обтискних зазвичай використовують ящиківі калібри. Ці калібри застосовують при прокатці на блюмінгах і заготовочних станах, а також в перших проходах на сортових станах. Чорнові калібри призначені для поступового формування фасонного профілю, що прокатується (наприклад, двотаврової балки, швелера і т. д.). На сортових станах чорнові калібри розташовуються після обтискних калібрів. При прокатці простих сортових профілів (коло, квадрат, шестигранник) до чорнових відносять калібри простої форми (див. рис. 1.2, а-е) в яких проводиться подальше зменшення площі поперечного перерізу розкату, причому ці калібри розташовуються в такій послідовності, щоб забезпечити максимальну витяжку, тобто використовуються як витяжні. Чорнові калібри застосовуються в чорнових і проміжних групах клітей стану [3].

Предчистові калібри при прокатці фасонних профілів незначно відрізняються за формою і розмірами від чистових калібрів. Якщо ж у чистових двовалкових калібрах прокатують профіль простої форми (коло, квадрат), то предчистовий калібр має іншу форму: наприклад, овальну при прокатці круглої сталі і ромбічну або овальну при прокатці квадратної сталі.

Чистові калібри призначені для остаточного отримання необхідного профілю. Однак за умовами прокатки не завжди представляється можливим отримати в чистовому калібрі готовий профіль відповідно до вимог ГОСТ або ТУ. Наприклад, при прокатці в двовалкових калібрах швелерів або двотаврових балок зовнішні грані полиць не паралельні. У цьому випадку одержання профілю з паралельними полками забезпечується надалі при правці на роликотправильних машинах [2].

Елементи калібру.

На рисунку 1.6 наведено симетричний прямокутний калібр, основними розмірами якого є висота h і ширина b по дну калібру. Так як калібр завжди має

випуски, тобто ухили бічних стінок, то ширина калібру у буртів B більше ширини по дну калібру b . Між валками (буртами) є зазор або роз'єм s , величина якого приймається з урахуванням «гри», або «пружини» (пружного переміщення) валків в момент прокатки. Таким чином, зазор s складається з двох складових - просвіту між валками при відсутності прокатки S_0 і «гри» валків під час прокатки $S_{пр}$, так що: $S = S_0 + S_{пр}$.

Зазор приймають залежно від діаметра валків рівним $S = (0,005 \div 0,008)$ Дмм, що становить зазвичай 1-10 мм.

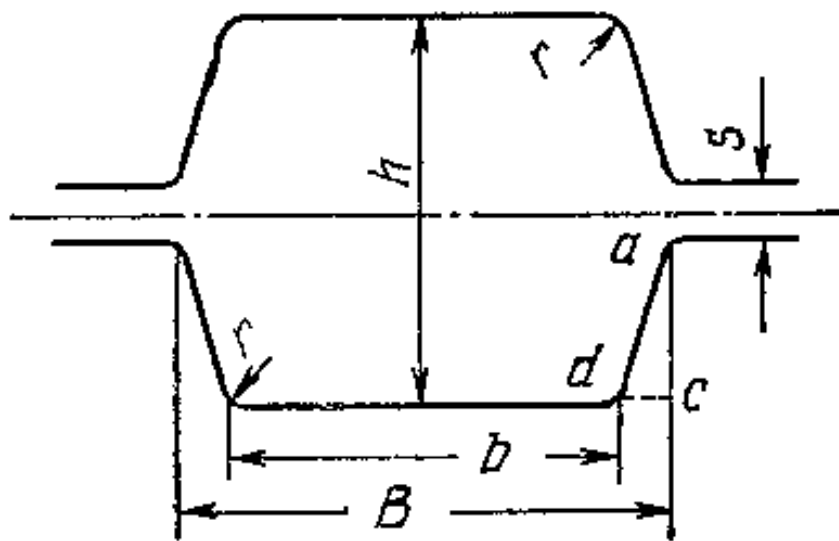
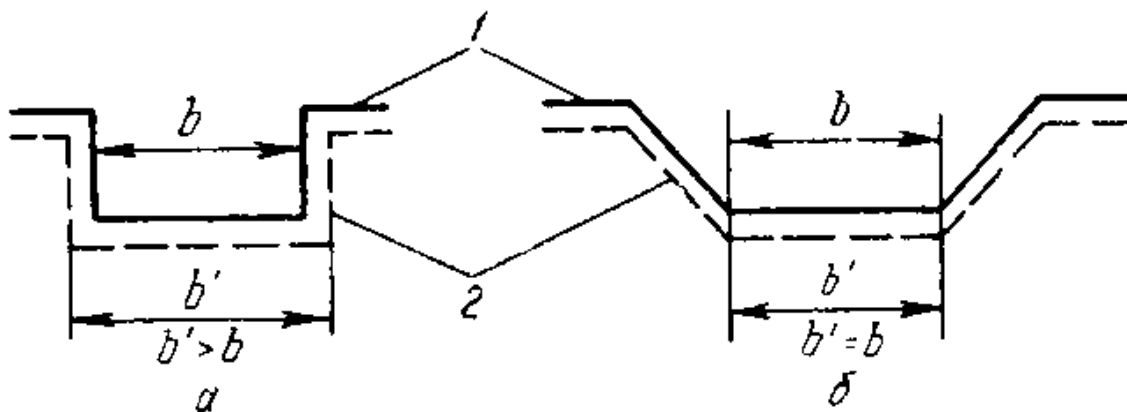


Рисунок 1.6 – Прямокутний (ящиковий) калібр і його елементи

Бічні стінки калібру мають ухил або випуск, який являє собою відношення $\frac{dc}{ac} \cdot 100\%$. Ухил роблять для полегшення завдання штаби та виходу її з валків, а також щоб зберегти початкові розміри калібру після переточування (рис. 1.7). Ухил може становити 1-10% і більше. У ящикових калібрах застосовують також подвійні ухили бічних стінок, що забезпечують защемлення штаби, яка прокатується, по дну калібру з одночасним простором на розширення у зазору. Калібр по кутах зазвичай має заокруглення. Це роблять для того, щоб виключити можливість концентрації напружень у валках, а в самій штабі, яка прокатується, щоб були відсутні гострі кути, які можуть призводити до задирів і тріщин через

розриви гострих кромки штаби, що мають більш низьку температуру і знижену пластичність.



а - без нахилу бічних стінок; б - з ухилом бічних стінок; 1 - до переточки; 2 - після переточування

Рисунок 1.7 – Схема переточування калібрів

1.2.4 Система витяжних калібрів ромб-квадрат

Систему ромб-квадрат використовують для прокатки квадратних профілів на безперервно-заготовочних станах (рис.1.8). Для цієї системи характерні порівняно невеликі коефіцієнти витяжок. При цьому внаслідок більшої ширини ромба, коефіцієнт витяжки в ньому дещо більше, ніж в квадратному калібрі. Однак у практичних розрахунках коефіцієнти витяжок в калібрах цієї системи приймають однаковими в межах

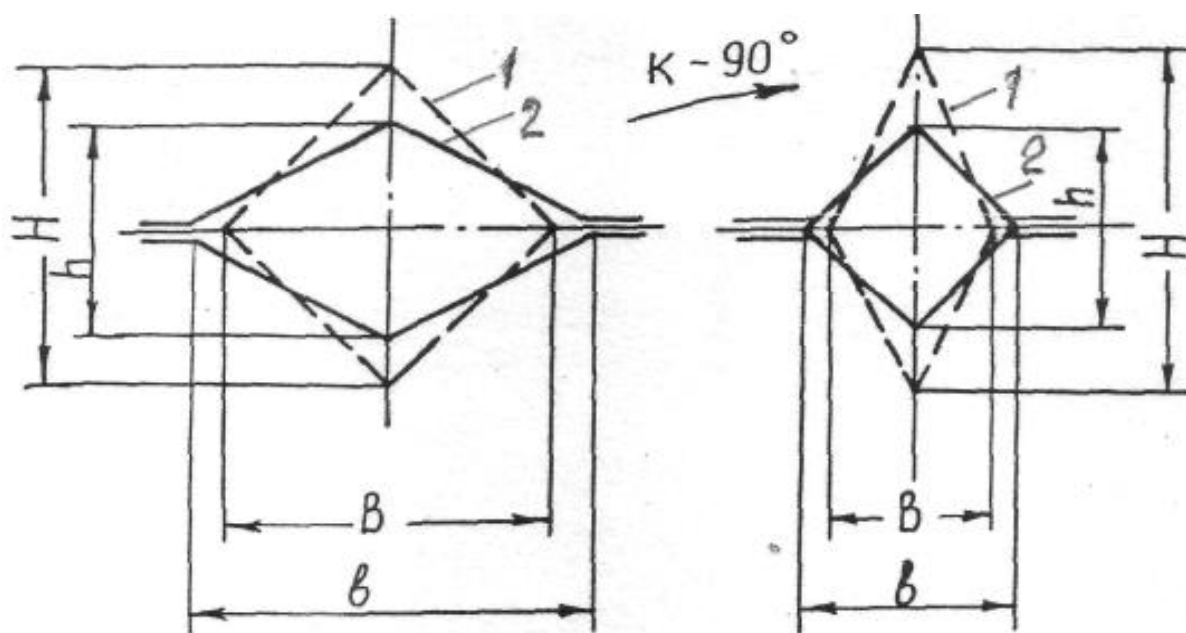
$$\mu = 1,2- 1,4.$$

Кут при вершині ромба становить 100-120° ($b / h = 1,19- 1,73$), а в чистовому квадратному калібрі $\sim 88^\circ$. Це необхідно для отримання кута квадрата при вершині рівним 90° після його охолодження.

Наявність нахилу бічних стінок калібрів забезпечує зменшення розширення металу в порівнянні з прокаткою в гладких валках при одній і тій же порівнянній висотній деформації металу [4].

Ця система має ряд експлуатаційних переваг, які в міру зменшення розмірів заготовки роблять їх переважніше системи ящиківих калібрів. Головне достоїнство полягає в тому, що ця система дозволяє отримати велику

різноманітність квадратних профілів. Квадратні заготовки і готові профілі, одержувані з діагональних квадратних калібрів, мають правильну геометричну форму, високу точність розмірів. При необхідності профіль може бути виконаний з гострими кутами. З одного і того ж калібру можна отримати квадратні заготовки декількох розмірів за рахунок зміни зазору між валками. З кожного ромбічного калібру при необхідності за два проходи з кантуванням розкату на 90° можна отримати заготовку, близьку за формою до квадратної з опуклими сторонами (рис. 1.9).



1 – заготівля; 2 – калібр

Рисунок 1.8 – Система калібрів ромб – квадрат

Профіль добре центрується, стійкий в калібрі, що дозволяє використовувати просту по конструкції проводкову арматуру. Деформація в ромбічних і квадратних калібрах близька до рівномірної, що сприяє отриманню прокату високої якості.

Але порівняно з ящиковими калібрами ромбічні і квадратні калібри більше послаблюють міцність валка через глибокі врізи гострих кутів. Тому при розмірах перетину штаби понад 140×140 мм системи з ромбічними і квадратними калібрами не застосовують.

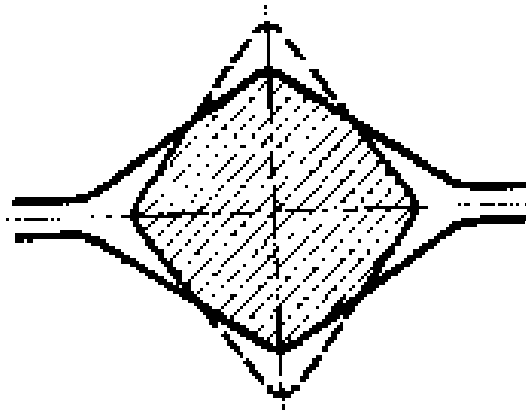


Рисунок 1.9 – Схема отримання квадратної заготовки в ромбічну калібри

У ромбічних калібрах погано обсіпається окалина з поверхні штаби, вдавлюється валками в метал і готовий прокат матиме дефекти поверхні. Для видалення окалини заготовку спочатку прокатують в ящикових калібрах, а потім переходять до використання ромбічних і квадратних калібрів [1].

Незважаючи на недоліки ця система калібрування широко застосовується на сортових станах лінійного типу. При прокатці смуг в цій системі горизонтальні ребра що піддаються деформації, більше охолоджуються і на них можуть з'являтися дефекти у вигляді волосовин і загинів. На ділянках горизонтальних ребер виникають розтягуючі напруги, які сприяють утворенню поперечних тріщин. Розтягуючі напруги на кромках виникають з огляду на те, що в результаті більшої величини витяжки по осі штаби по ширині розкату має місце нерівномірний розподіл в осередку деформації поздовжніх напруг. Там, де величина витяжки буде менше (на кромках), виникають напруги розтягнення. При недостатній пластичності металу (леговані марки сталі) ці напруги можуть призводити до руйнування металу, утворення тріщин. Тому дану систему калібрування не застосовують при прокатуванні малопластичних металів. Ребра готового квадратного профілю виходять з ребер заготовки, тому дефекти, що мають місце на заготівлі, переходять на готовий профіль. Відсутнє «переміщення» металу в процесі деформації.

У цій системі обов'язкове кантування розкату на 90° при переході від одного калібру до іншого, а співвідношення розмірів заготовки і подальшого калібру мають такий вигляд:

$$H/h > 1; \quad B/b < 1,$$

тобто висота заготовки більше висоти калібру, а ширина заготовки менше ширини калібру, що забезпечує порівняно вільну поперечну течію металу. Різниця $\Delta b_{\text{п}} = b - B$ називається простором на розширення і воно повинне бути більше фактичного розширення металу при деформації ($\Delta b_{\text{п}} \geq \Delta b_0$, де Δb_0 - розширення металу по осі калібру). Для однієї і тієї ж системи заготовка - калібр величина обтискання ($\Delta h = H - h$) повинна забезпечити задане заповнення калібру (H і h - висоти заготовки і штаби в калібрі по осі; B і b - ширина заготовки і штаби в калібрі по горизонтальній осі; Δh - абсолютне обтиснення по осі калібру). У зв'язку з цим складність калібрування валків, для цієї чи іншої систем калібрувань, полягає в наявності, принаймні, двох невідомих: абсолютного обтиску і уширення металу. Оскільки уширення є функцією абсолютного обтиску, то при невідомому попередньому обтисненні для прийнятої системи заготовка - калібр, не представляється можливим однозначно визначити величину розширення Δb_0 , відповідну умові $\Delta b_0 = \delta_{\text{к}} \cdot \Delta b_{\text{п}}$ ($\delta_{\text{к}}$ - ступінь заповнення калібру, $\delta_{\text{к}} \leq 1$).

Деформація металу в системі ромб - квадрат вкрай нерівномірна. У першу чергу при вході розкату в калібр, пластичній деформації піддаються ділянки металу в вершинах заготовки при наявності деякого розширення. У центральних (внеконтактних) шарах уширення відсутнє. У них виникають поздовжні напруження розтягу. По мірі входу розкату у валки пластична деформація охоплює максимальну площу поперечного перерізу, але горизонтальні ділянки заготовки по осі калібру отримують невелику деформацію, а поздовжні розтягуючі напруги виявляються максимальними.

В системі калібрування ромб-квадрат застосовують коефіцієнти витяжок в межах $\mu = 1,2-1,4$. Для профілів з легованих сталей $\mu = 1,2-1,25$. Коефіцієнт витяжки $\mu = 1,4$ можливий при використанні ромбічних калібрів з кутом при

вершині $\varphi = 120^\circ$. Коефіцієнт витяжки визначають за формулою

$$\mu = q_0 / q,$$

де q_0 і q - площі поперечного перерізу заготовки і штаби в калібрі.

У практичних умовах коефіцієнти витягання в ромбічних калібрах дещо більше, ніж у квадратних. Так, якщо відомий коефіцієнт витяжки в парі калібрів (ромб - квадрат), то коефіцієнт витяжки в ромбі буде дорівнювати

$$\mu_p = (1,02-1,03), \quad (1.1)$$

а в квадратному калібрі

$$\mu_{кв} = \mu_{п} / \mu_p, \quad (1.2)$$

де $\mu_{п}$, $\mu_{кв}$, μ_p - коефіцієнти витяжок відповідно в парі калібрів, квадратному і ромбічних калібрах [4].

1.2.5 Система калібрів овал-квадрат

Квадратна заготовка в овальному калібрі прокочується плазом. При цьому ребра квадрата обжимаються і формуються опуклості посередині бічних граней. Після виходу з овального калібру штаба кантується на 90° і прокатується в ребровому положенні в наступному квадратному калібрі (рис. 1.10), де утворюються нові кути квадрата в місцях, що відповідають серединам бічних граней попередньої квадратної заготовки, тобто при переході від квадрата до квадрата відбувається оновлення кутів квадратної заготовки. Подальша задача квадрата в овальний калібр супроводжується кантуванням профілю на 45° , причому це кантування зазвичай не вимагає застосування спеціальних кантуючих пристроїв, так як в овальному калібрі квадратний профіль самовстановлюється в положення плазом.

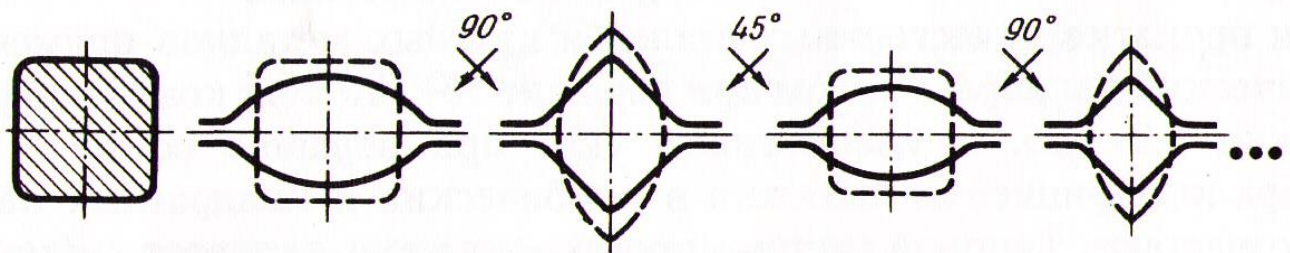
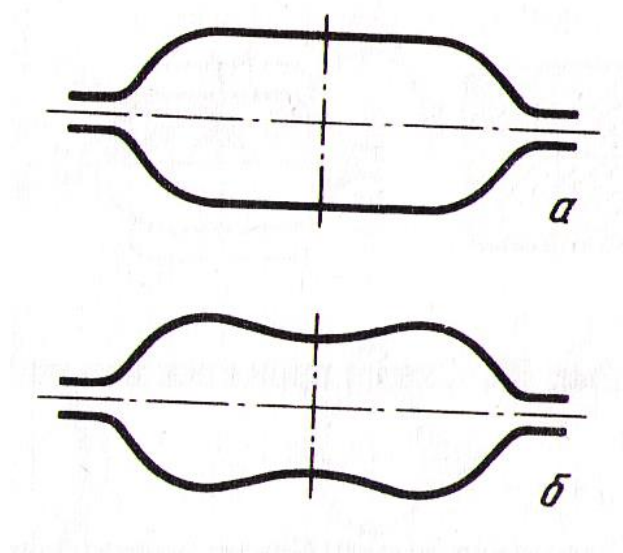


Рисунок 1.10 – Схема прокатки в системі калібрів овал-квадрат

Постійне оновлення ребер забезпечує більш рівномірний розподіл температури по перетину штаби, на ребрах не відбувається концентрація розтягуючих напруг і не утворюються поперечні тріщини, структура прокатоного металу виходить більш однорідною, що є перевагою витяжної системи овал - квадрат. Але основною її перевагою є можливість застосування великих витяжок за один прохід, особливо в овальному калібрі, де максимальні коефіцієнти витяжки досягають 2-2,2. Великі витягання пояснюються особливостями схеми обтиску квадратної штаби в овальному калібрі. Коефіцієнти витяжки овалу в квадраті порівняно невеликі (1,3-1,4). Таким чином, розподіл витяжок в кожній парі калібрів овал - квадрат завжди нерівномірний - в овальному калібрі витяжка більше, ніж в квадратному. Це призводить до нерівномірності розподілу навантажень по клітям, що є істотним недоліком системи калібрів овал - квадрат. З метою зменшення цього недоліку для збільшення витяжки в квадратному калібрі застосовують плоскі овали або овали з увігнутим дном (рис. 1.10). Така форма овалу при прокатці в квадратному калібрі сприяє зменшенню площі необтискаємих зон, дає більший простір на розширення, що дозволяє збільшити обтиск в квадратному калібрі і отримати велику витяжку [1].



а- плоский овал; б - овал з увігнутим дном

Рисунок 1.11 – Форма овальних калібрів

При прокатці в системі калібрів овал - квадрат через велику нерівномірність деформації квадратної заготовки по ширині овального калібру можливе утворення дефектів у вигляді зморшок, складок або тріщин на поверхні штаби. У овальному калібрі 1 (рис. 1.12) у місцях інтенсивного обтиску кутів квадратної заготовки відбувається підвищений знос струмків, на профілі з'являється рябизна. У наступному калібрі 2 рябизна переходить на межі квадратної штаби, а потім при інтенсивному зменшенні висоти бічних граней в калібрі 3 утворюючи дефекти, які називаються зморшками. У квадратному калібрі 4 при притупленій вершині овалу зморшки ще більше стискаються і можуть утворити волосні тріщини. В системі овал - квадрат профілі, одержувані з овальних і з квадратних калібрів, можуть мати відхилення геометричної форми від форми калібру як через незаповнення або переповнення калібрів, так і через неправильну настройку проводкової арматури [1].

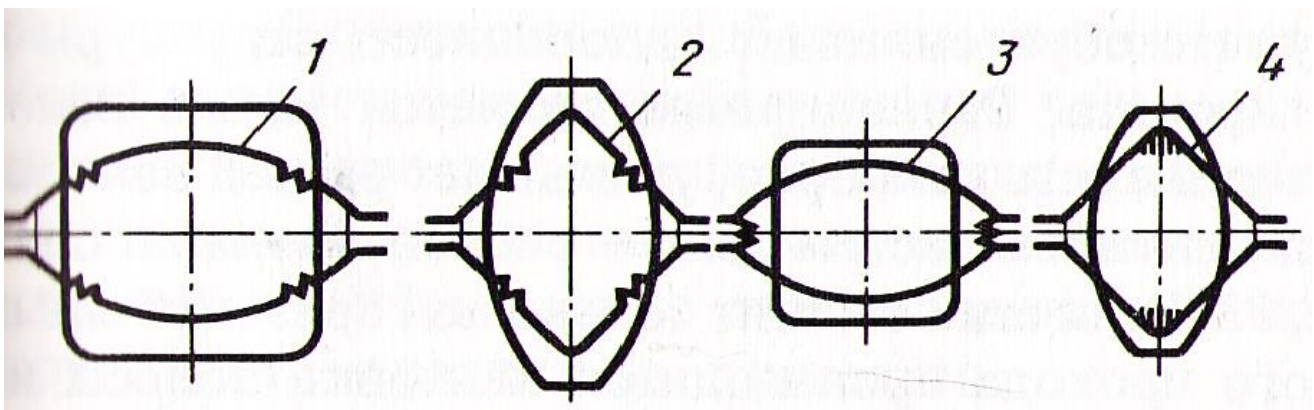


Рисунок 1.12 – Утворення складок при прокатці в системі калібрів овал-квадрат

Погано виконаний овальний профіль викликає труднощі при кантуванні. У квадратному калібрі можливо звалювання овальної заготовки. Погано виконаний квадратний профіль при подальшій прокатці в овальному калібрі скручується (рис. 1.13).

Калібри системи овал - квадрат застосовують головним чином на дрібносортних і дровових станах при необхідності великої загальної витяжки від заготовки до готового профілю.

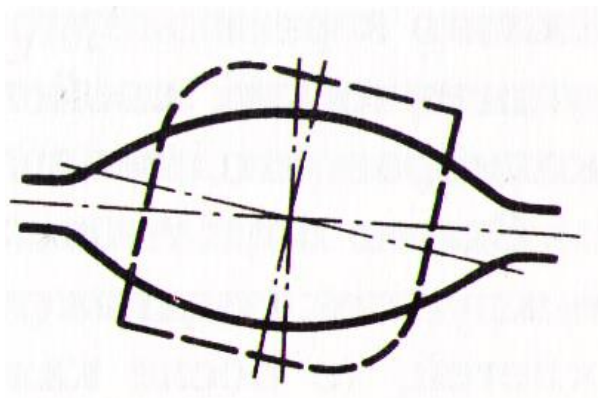
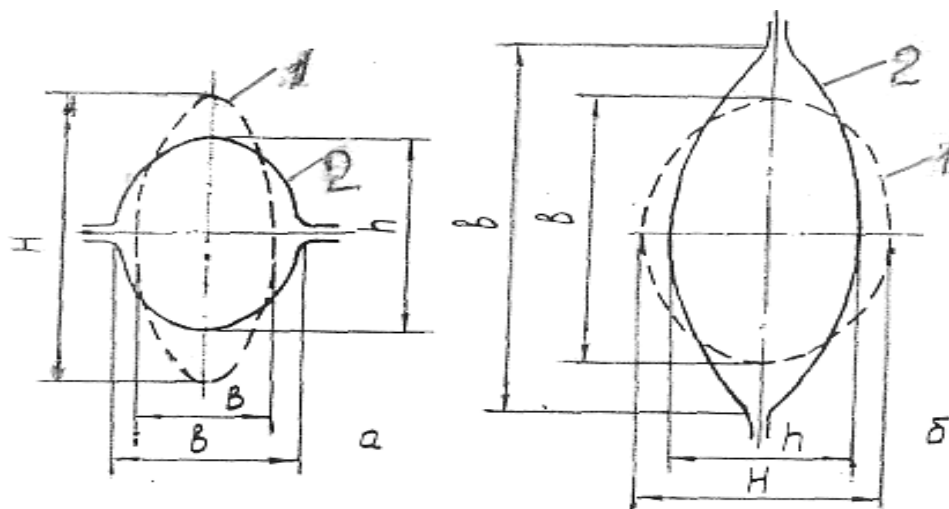


Рисунок 1.13 – Скручування погано виконаного профілю в овальному калібрі

1.2.6 Система калібрів овал-ребровий овал

Цю систему калібрів (рис. 1.14) застосовують на безперервних дрібносортних дровових станах. У цій системі на раскаті практично відсутні гострі ребра, розподіл температури по перетину і деформацій близький до рівномірного, що обумовлює однорідність структури і механічних властивостей прокату. Рівномірним є також знос калібрів, що підвищує стійкість калібрів, зменшує знос валків [5]



заготовка; 2 - калібр

Рисунок 1.14 – Система калібрів: а - овал - ребровий овал; б - ребровий овал-овал

Представлена система калібрування валків забезпечує меншу нерівномірність деформації по ширині калібру, порівняно невелике розходження у величинах коефіцієнтів витяжок в овальному калібрі і ребровому овалі, а отже, і високу якість штаби. Зазвичай цю систему застосовують в чистових групах безперервних сортових станів. На безперервних станах реброві овали врізають в горизонтальні валки, а однорадіусні - у вертикальні. Ця система володіє наступними перевагами:

- Надійне захоплення розкату валками на великих швидкостях;
- Самоцентрування ребрового овалу в овалі, що дозволяє застосовувати просту конструкцію валкової арматури;
- Рівномірність деформації по ширині штаби, що сприятливо позначається на якості поверхні готового профілю;
- Хороше видалення окалини з поверхні розкату [1].

Іноді замість ребрових овалів використовують круглі калібри. Як і в системі овал - квадрат, коефіцієнт витяжки в овальному калібрі дещо більше, ніж в ребровому овалі. Залежно від коефіцієнта витяжки в ребровому овалі і відношення розмірів овалу b / h коефіцієнт витяжки в парі калібрів може бути визначений за виразом

$$\mu_n = 0,94(\mu_{po} - 0,38)(1 + 0,58 b/h),$$

де μ_{po} - коефіцієнт витяжки в ребровому овалі.

Як і в системі овал-квадрат розподіл витяжок в парі калібрів неоднаковий, в плоскому овальному калібрі можлива витяжка більше, ніж у ребровому калібрі. Навіть якщо прийняти в обох калібрах однакові витяжки ($\mu_{cp} = 1,2 - 1,4$), навантаження при прокатці в плоскому овальному калібрі буде більше, ніж в ребровому овалі, через більшу площу контактної поверхні. Тому часто буває, що в безперервному стані вертикальні кліті перевантажені, а горизонтальні значно недовантажені.

Великою перевагою овальних калібрів є їх широка універсальність, тобто можливість отримання профілів декількох розмірів без заміни калібрів тільки за рахунок регулювання висоти калібру шляхом зміни зазору при установці валків.

Така універсальність дозволяє скоротити простої стану, пов'язані з переходами і перевалками, скоротити парк валків.

Недоліками розглянутої системи калібрів є порівняно невеликі витяжки і погана стійкість штаби в ребровому овалі.

1.2.7 Параметри деформації в простих калібрах

На відміну від прокатки в гладких валках, для прокатки металу в простих калібрах характерна нерівномірна деформація по висоті штаби, що супроводжується зміною всіх геометричних параметрів по ширині калібру. Абсолютний обтиск по осі калібру складає

$$\Delta h = H - h. \quad (1.3)$$

Цей обтиск по осі калібру може бути максимальним (система ромб-квадрат) або мінімальним (прокатка квадратної штаби в овальному калібрі). Максимальний лінійний обтиск в калібрі використовують для розрахунку допустимого кута захоплення штаби в калібрі. Діаметр калібру по осі дорівнює

$$D_0 = D_6 - (h - S). \quad (1.4)$$

де D_6 - діаметр валка по буртам;

h - висота штаби по осі калібру.

У зв'язку з перемінним діаметром по ширині калібру визначають середній катаючий діаметр в калібрі

$$D = D_6 - (h_{cp} - S). \quad (1.5)$$

де h_{cp} - середня товщина штаби після прокатки.

Середній катаючий діаметр валків в калібрі відповідає швидкості виходу штаби з валків, без урахування величини випередження, тобто транспортуючій швидкості валків [4].

Кут захоплення по осі калібру і середній по ширині:

$$\alpha = \sqrt{\Delta h / R_0}; \quad \alpha_{cp} = \sqrt{\Delta h_{cp} / R}, \quad (1.6)$$

де R_0 і R - мінімальний і середній катаючий радіуси валків в калібрі;

Δh_{cp} - середній обтиск по ширині калібру.

Довжини дуг контакту по осі і середня по ширині калібру:

$$l_{do} = \sqrt{R \cdot \Delta h}; \quad l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h_{cp}}. \quad (1.7)$$

Середній обтиск по ширині калібру в спрощеному варіанті за методом максимальної ширини (за наведеною штабою) визначається з формули

$$\Delta h_{cp} = H_{cp} - h_{cp}, \quad (1.8)$$

де H_{cp} - середня товщина заготовки до прокатки.

Середні товщини штаби до і після прокатки наближено розраховують за формулами:

$$H_{cp} = q_0/B; \quad h_{cp} = q/b, \quad (1.9)$$

де q_0 і q - площі поперечного перерізу заготовки і штаби в калібр.

Для визначення q_0 і q в різних системах калібрів отримані відповідні формули. Так, для визначення q_0 і q при прокатці в системі ромб-квадрат (рис.1.8) використовують такі формули без урахування заокруглень кутів:

$$\text{для заготовки} \quad q_0 = H \cdot B/2; \quad H_{cp} = \frac{HB}{2B} = 0,5H; \quad (1.10)$$

$$\text{для калібру} \quad q = h \cdot b/2; \quad h_{cp} = \frac{hb}{2b} = 0,5h. \quad (1.11)$$

Коефіцієнти витяжок по осі калібру і середній рівні:

$$\mu = H/h; \quad \mu_{cp} = q_0/q. \quad (1.12)$$

Площа штаби до або після прокатки з урахуванням заокруглень приймають рівною

$$q_i = 0,98 \cdot q_i;$$

У загальному випадку середнє обтиснення дорівнює

$$\Delta h_{cp} = H_{cp} - h_{cp} = n_0 H - nh = n \cdot h \left(\frac{n_0}{n} \frac{H}{h} - 1 \right), \quad (1.13)$$

де n_0 і n - коефіцієнти форми поперечних перерізів відповідно заготовки і штаби в калібрі.

Коефіцієнти n_0 і n отримують з відносин площ перетинів фасонних заготовок і калібру до площі описаних прямокутників [5]. Для квадратного і ромбічного калібрів n_0 і n визначаються з формул (1.9) - (1.11) маємо ($n_0 = 0,5$; $n = 0,5$):

$$H_{cp} = n_0 \cdot H = 0,5H; \quad h_{cp} = n \cdot h = 0,5h.$$

Використовуючи вираз $\Delta h_k = ld^2 / R$, для конкретних поздовжніх перетинів осередку деформації (рис.1.15) визначають величини Δh_i і R_i , за якими можна визначити фактичний контур, що входить до калібр заготовки (контур 3). За рахунок розширення металу в калібрі контур 3 відрізняється від вихідного контуру 1 заготовки. Контур 3 фактичного обтиску металу в калібрі для систем ромб-квадрат, овал-коло визначали по експериментальним даним Г. Цоухара і автора.

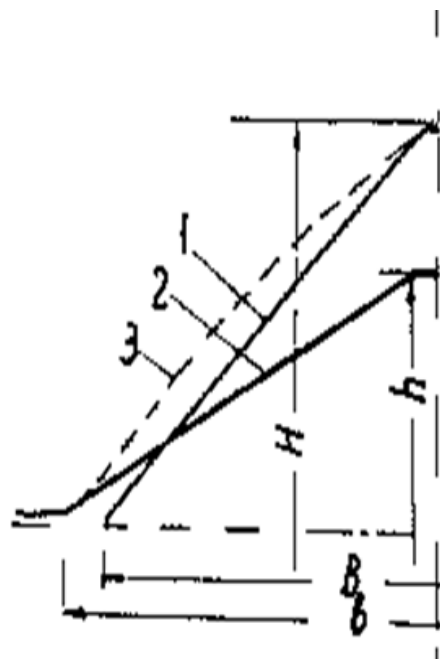


Рисунок 1.15 – Система калібрів ромб-квадрат

Однак метал, що розширюється, послідовно обтискається похилими стінками калібру у вертикальній площині. Завдяки цьому фактичний середній обтиск в цій системі калібрів зростає в порівнянні з обтиском за наведеною штабою [(див. Вираз 1.8).].

2 ДОСЛІДНИЦЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 План проведення теоретичних досліджень

Проведення досліджень при прокатуванні за трьома системами витяжних калібрів, а саме: 1) ромб-квадрат; 2) овал-квадрат; 3) овал-ребровий овал.

1. Визначення середнього обтиснення за методом наведеної полоси
2. Визначення середнього обтиснення за методом відповідної полоси (метод А.Ф. Головіна)
3. Визначення середнього обтиснення за методом відповідної контактної поверхні (метод В.О. Ніколаєва)
4. Аналіз методів середнього обтиснення в витяжних системах калібрування
5. Розрахунок середнього розширення в витяжних системах калібрування овал-ребровий овал
6. Розрахунок сили прокатування в витяжних системах калібрування овал-ребровий овал

2.2 Методи розрахунку середнього обтиснення в витяжних калібрах

В даній роботі порівнюється три методи визначення середнього обтиснення в системах витяжних калібрів, а саме:

- метод приведеної штаби
- метод відповідної штаби (А.Ф. Головін)
- метод відповідної контактної поверхні (В.О. Ніколаєв)

Метод приведеної штаби передбачає заміну калібру прямокутником з рівною шириною (рис.2.1, а), а відповідної штаби - заміну калібру прямокутником з рівним ставленням h / b (рис. 2.1, б, в).

Середні товщини смуги до і після прокатки наближено розраховують за виразами:

$$H_{cp} = q_0/B; \quad h_{cp} = q/b, \quad (2.1)$$

де q_0 і q - площі поперечного перерізу заготовки і штаби в калібрі [5].

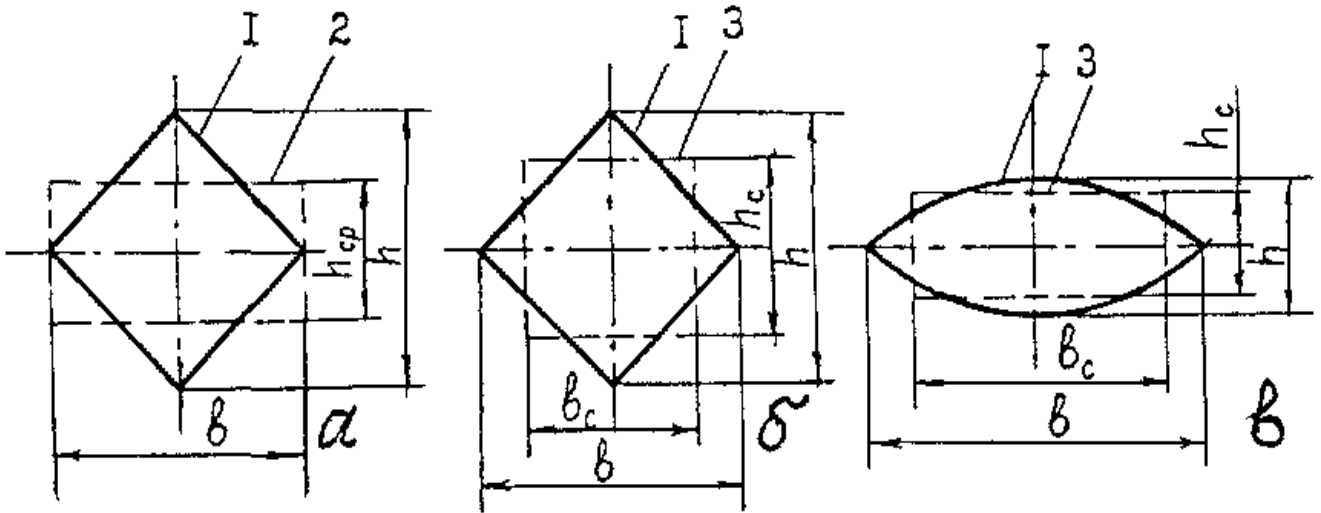


Рисунок 2.1 – Форми профілів (1) приведеної (2) і відповідної (3) штаб

Метод відповідної штаби А.Ф. Головіна передбачає заміну форм заготівлі та калібру прямокутниками з рівновеликими площами поперечних перерізів і рівними відносинами осей (рис. 2.1, б, в):

$$q_0 = q_{0c}; \quad q = q_c; \quad H/B = H_c/B_c; \quad h/b = h_c/b_c,$$

де q_{0c} і q_c - площі прямокутних (відповідних) заготовки і калібру;

H_c і h_c - висота прямокутних (відповідних) заготовки і калібру;

B_c і b_c - ширина прямокутних (відповідних) заготовки і калібру.

Висоту, ширину і обтиснення відповідної штаби (заготовки) розраховують за виразами:

$$\begin{aligned} H_c &= \sqrt{q_0 / (B / H)}; & h_c &= \sqrt{q / (b / h)}; \\ B_c &= H_c \cdot B / H; & b_c &= h_c \cdot b / h; \\ \Delta h_c &= H_c - h_c. \end{aligned} \quad (2.2)$$

В.С. Смірнов показав, що площа контакту смуги з валками в калібрі, визначена з використанням виразів (1.16), з точністю до 1,8% збігається з досвідченою. С.А. Кожухів, Г.С. Гун, В.Д. Ониськів [6] для розрахунку середнього обтиску використовують метод зміщеного об'єму і отримують кінцеві вирази для різних систем калібрів, але в роботі не вказується як саме визначили величину обтиску.

Основним недоліком виразів (2.1) і (2.2) є відсутність врахування впливу додаткового обтиску похилими стінками калібру металу, що йде на розширення.

Площа контакту штаби з валками залежить від обтиснення, діаметра валків, ширини смуги, форм заготовки і калібру і в загальному випадку має вигляд

$$F = k \cdot b \sqrt{R_0 \cdot \Delta h} \quad (2.3)$$

де R_0 - радіус валків по осі калібру;

k - коефіцієнт форми площі контактної поверхні

$$k = F / F_n, \quad (2.4)$$

де F_n - площа прямокутника зі сторонами b і l_{do} .

Площа F_n визначається експериментально або графо-аналітичним методом за наявності даних про фактичний контур заготовки, яка обтискається в калібрі. Замінюючи фактичні параметри b і l_{do} через розміри відповідного прямокутника отримаємо

$$B_{cp} = b \sqrt{k}; \quad l_d = l_{do} \sqrt{k}; \quad l_{do} = \sqrt{R \cdot \Delta h},$$

де B_{cp} і l_d - середні величини ширини і довжини контактної поверхні (сторони відповідного прямокутника).

При знайденому значенні l_d розраховують середнє абсолютне обтиснення в калібрі:

$$\Delta h_k = l_d^2 / R, \quad (2.5)$$

де R - середній катаючий радіус валків в калібрі.

При прокатці в гладких валках ширина контакту мало змінюється по довжині дуги контакту і тому її площа визначають за виразом

$$F = B_{cp} \sqrt{R \cdot \Delta h_k}, \quad (2.6)$$

де B_{cp} - середня ширина штаби в осередку деформації [$B_{cp} = 0,5(b + B)$] [5].

При прокатці в системі ромб-квадрат (рис.2.2) максимальне обтиснення зосереджено по осі калібру, що обумовлює максимальні коефіцієнт витягання і довжину дуги контакту в цьому поздовжньому перетині штаби [7]. Ширина ділянки контакту смуги і валків в момент захоплення незначна, а в міру просування штаби вздовж осередку деформації ширина контакту збільшується, досягаючи максимального значення в площині виходу з валків. У цьому випадку ширина контакту дорівнює ширині штаби b . У результаті деформації металу в цій системі калібрування горизонтальна проекція площі може бути розрахована з формули

$$F = 0,67b \sqrt{R_0 \cdot \Delta h}, \quad (2.7)$$

де $0,67$ - співвідношення площ овалу і прямокутника з однаковими розмірами осей ($k = 0,67$) [5].

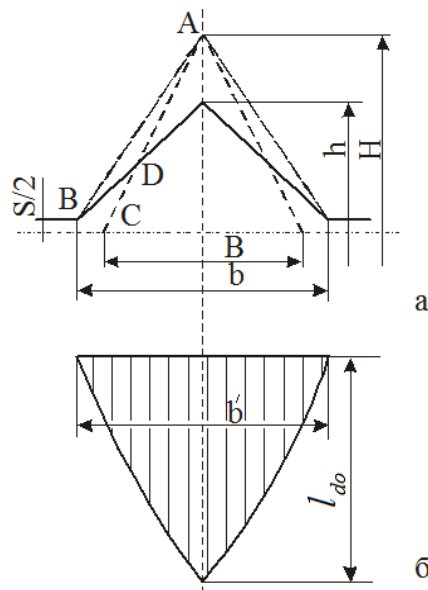


Рисунок 2.2 – Деформація ромбічної смуги в квадратному калібрі (а) і форма контактної поверхні (б)

2.3 Розрахунок середнього обтиснення у калібрах системі квадрат – ромб

Для розрахунку середнього обтиску в системі калібрів квадрат - ромб були обрані наступні розміри заготовок і калібрів:

Таблиця 2.1 – Розміри заготовок та калібрів

Розміри заготовки, мм		Розміри калібра, мм	
H	B	h	b
110	85	90	90
115	80	90	90
120	75	90	90
130	70	90	90
100	100	85	110
100	100	80	110
100	100	70	115
100	100	60	120

2.3.1 Розрахунок середнього обтиску за методом наведеної штаби

Для розрахунку обираємо системи витяжних калібрів ромб-квадрат з розмірами $H=100$ мм, $B=100$ мм, $h=85$ мм, $b=110$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6 = 200$ мм. Розраховуємо рівновеликі площі поперечних перерізів:

$$q_0 = H \cdot \frac{B}{2} = 100 \cdot 100 / 2 = 5000 \text{ мм}^2$$

$$q = h \cdot b / 2 = 85 \cdot 110 / 2 = 4675 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо висоту, ширину і обтиснення наведеної смуги (заготовки) за виразами (2.1):

$$H_{cp} = \frac{5000}{100} = 50 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \frac{4675}{110} = 42,5 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{cp} = 50 - 42,5 = 7,5 \text{ мм};$$

$$\frac{\Delta h_{cp}}{\Delta h} = \frac{7,5}{15} = 0,5.$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів ромб-квадрат з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.1.

2.3.2 Розрахунок середнього обтиску за методом відповідної штаби(А.Ф. Головін)

Для розрахунку обираємо системи витяжних калібрів ромб-квадрат з розмірами $H=100$ мм, $V=100$ мм, $h=85$ мм, $b=110$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6 = 200$ мм. Висоту, ширину і обтиснення відповідної штаби (заготовки) розраховують за виразами 2.2

$$H_c = \sqrt{100 \cdot 100 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{100}{100}\right)} = 70,71 \quad B_c = 70,71 \cdot \frac{100}{100} = 70,7$$

$$h_c = \sqrt{\left(85 \cdot 110 \cdot \frac{1}{2}\right) \cdot \left(\frac{85}{110}\right)} = 60,1 \quad \Delta h_c = 70,7 - 60,1 = 10,6$$

$$\frac{\Delta h_c}{\Delta h} = \frac{10,6}{15} = 0,707$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів ромб-квадрат з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.1.

2.3.3 Розрахунок за методом відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва

Для розрахунку вибираємо систему витяжних калібрів ромб-квадрат з розмірами $H = 100$ мм, $V = 100$ мм, $h = 85$ мм, $b = 110$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6 = 200$ мм. Графо-аналітичним методом визначаємо коефіцієнт форми площі контактної поверхні. Для побудови контактної поверхні необхідно:

1. Побудувати схему системи калібрів з зазначеними розмірами. Провести на схемі лінію розширення АВ.

2. На лінії розширення обрати довільно 6 точок (точки повинні рівномірно розподілятися по всій довжині лінії розширення)

3. З обраних точок опускаємо перпендикуляри до центру системи калібрування і визначаємо абсолютне обтиснення, радіус, довжину дуги контакту цих точок для подальшої побудови площі контактної поверхні штаби з валками. Розрахунок ведемо за наступними формулами:

$$\Delta h_i = H_i - h_i;$$

$$R_i = R_6 - \frac{h_i}{2};$$

$$l_{d_i} = \sqrt{R_i \cdot \Delta h_i}.$$

Отримуємо наступні значення:

$$\begin{aligned} \Delta h_0 = H_0 - h_0 = 100 - 85 = 15 \text{ мм}; & R_0 = R_6 - \frac{h_0}{2} = 200 - 42,5 = 157,5 \text{ мм}; \\ \Delta h_1 = H_1 - h_1 = 72 - 60 = 12 \text{ мм}; & R_1 = R_6 - \frac{h_1}{2} = 200 - 30 = 170 \text{ мм}; \\ \Delta h_2 = H_1 - h_1 = 62 - 52 = 10 \text{ мм}; & R_2 = R_6 - \frac{h_2}{2} = 200 - 26 = 174 \text{ мм}; \\ \Delta h_3 = H_3 - h_3 = 44 - 36 = 8 \text{ мм}; & R_3 = R_6 - \frac{h_3}{2} = 200 - 18 = 182 \text{ мм}; \\ \Delta h_4 = H_4 - h_4 = 36 - 30 = 6 \text{ мм}; & R_4 = R_6 - \frac{h_4}{2} = 200 - 15 = 185 \text{ мм}; \\ \Delta h_5 = H_5 - h_5 = 52 - 44 = 8 \text{ мм}; & R_5 = R_6 - \frac{h_5}{2} = 200 - 22 = 178 \text{ мм}; \\ \Delta h_6 = H_6 - h_6 = 26 - 22 = 4 \text{ мм}; & R_6 = R_6 - \frac{h_6}{2} = 200 - 11 = 189 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$l_{d0} = \sqrt{R_0 \cdot \Delta h_0} = \sqrt{157,5 \cdot 15} = 48,6 \text{ мм};$$

$$l_{d1} = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{170 \cdot 12} = 45,2 \text{ мм};$$

$$l_{d2} = \sqrt{R_2 \cdot \Delta h_2} = \sqrt{174 \cdot 10} = 41,7 \text{ мм};$$

$$l_{d3} = \sqrt{R_3 \cdot \Delta h_3} = \sqrt{182 \cdot 8} = 38,2 \text{ мм};$$

$$l_{d4} = \sqrt{R_4 \cdot \Delta h_4} = \sqrt{185 \cdot 6} = 33,3 \text{ мм};$$

$$l_{d5} = \sqrt{R_5 \cdot \Delta h_5} = \sqrt{178 \cdot 8} = 37,7 \text{ мм};$$

$$l_{d6} = \sqrt{R_6 \cdot \Delta h_6} = \sqrt{189 \cdot 4} = 27,5 \text{ мм.}$$

Після отримання геометричних параметрів даної системи калібрування, будуємо площу контактної поверхні. Для цього потрібно провести лінію яка буде проходити паралельно горизонтальній осі. Від цієї лінії опускаємо перпендикуляри, які будуть відповідати отриманим значенням довжини дуги контакту. Після отримання форми контактної поверхні, визначаємо її площу. Для цього проведемо лінії CD і МК (рис.2.3)

За отриманою графоаналітичним методом схемою визначаємо площу трикутника CDE

$$F_{\text{тр}} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot l_{d0} = \frac{1}{2} \cdot 110 \cdot 48,6 = 2673 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу овалу

$$F_{\text{ов}} = 2 \cdot 0,67 \cdot МК \cdot CD = 2 \cdot 0,67 \cdot 11 \cdot 74 = 1091 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу контакту

$$F_{\text{к}} = F_{\text{тр}} + F_{\text{ов}} = 2673 + 1091 = 3764 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу прямокутника зі сторонами b і l_{d0}

$$F_{\text{пр}} = b \cdot l_{d0} = 110 \cdot 48,6 = 5346 \text{ мм}^2$$

Визначаємо коефіцієнт форми площі контактної поверхні

$$n_1 = \frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{3764}{5346} = 0,704$$

За формулою $l_d = \sqrt{n_1} \sqrt{R_0 \cdot \Delta h_0}$ [6] визначаємо довжину дуги контакту

$$l_d = \sqrt{0,704} \cdot \sqrt{157,5 \cdot 15} = 40,8 \text{ мм}$$

Визначаємо середню ширину смуги за формулою [7]

$$B = \sqrt{n_1} \cdot b = \sqrt{0,704} \cdot 110 = 92,3$$

Розраховуємо катаючий радіус за формулою

$$R_k = \frac{R_6 + R_0}{2} = \frac{200 + 157,5}{2} = 178,5 \text{ мм}$$

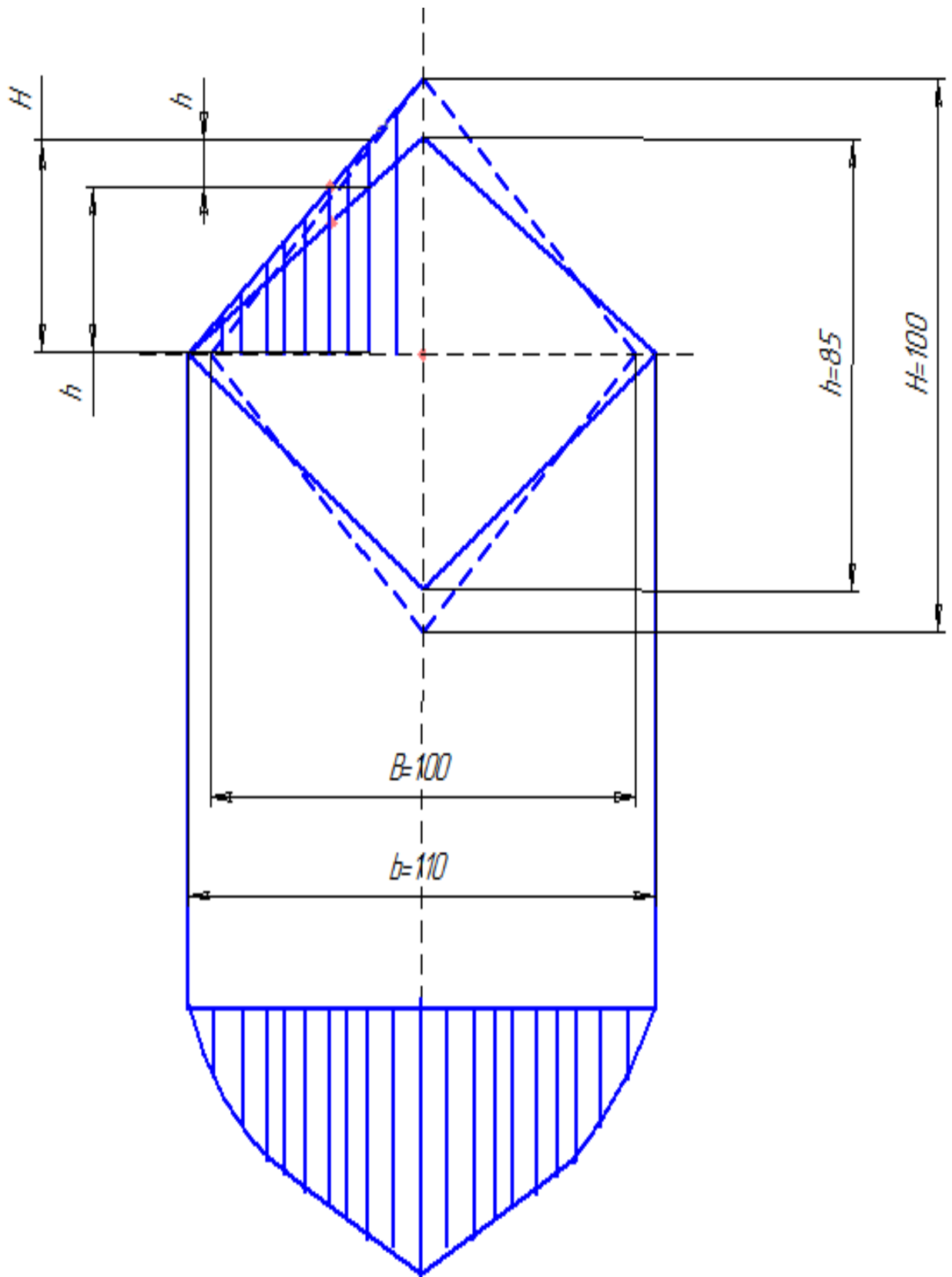
Розраховуємо середнє абсолютне обтиснення в калїбрі за формулою (2.5)

$$\Delta h_{cp} = \frac{l_d^2}{R_k} = \frac{40,8^2}{178,5} = 9,3 \text{ мм}$$

Розраховуємо середнє обтиснення

$$\frac{\Delta h_{cp}}{\Delta h} = \frac{9,3}{15} = 0,62.$$

Були проведені розрахунки для аналогічних калїбрів ромб-квадрат з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.2



1- контур заготовки, 2 – контур калібру, 3- контактна поверхня

Рисунок 2.3 – Схема системи калібрів ромб-квадрат

Таблиця 2.2 – Розрахункові параметри системи калібрів ромб-квадрат за методами наведеної і відповідної штаби

Метод наведеної штаби											
Система заготовка -калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	q ₀ , мм ²	q _{1,2} , мм ²	H _{ср} , мм	h _{ср} , мм	Δh _{ср} , мм	Δh, мм	Δh _c /Δh
Ромб-Квадрат	130	70	90	90	4550	4050	65	45	20	40	0,5
Ромб-Квадрат	110	85	90	90	4675	4050	55	45	10	20	0,5
Квадрат-Ромб	100	100	85	110	5000	4675	50	42,5	7,5	15	0,5
Квадрат-Ромб	100	100	60	120	5000	3600	50	30	20	40	0,5
Метод відповідної штаби (А.Ф. Головін)											
Ромб-Квадрат	130	70	90	90	4550	4050	91,2	63,6	28,3	40	0,707
Ромб-Квадрат	110	85	90	90	4675	4050	77,8	63,6	14,2	20	0,707
Квадрат-Ромб	100	100	85	110	5000	4675	70,7	60,1	10,6	15	0,707
Квадрат-Ромб	100	100	60	120	5000	3600	70,7	42,4	28,3	40	0,707

Таблиця 2.3 – Розрахункові параметри системи калібрування ромб-квадрат за методом відповідної контактної поверхні (В.О. Ніколаєв)

Система заготовка- калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	F _k , мм ²	F _{пр} , мм ²	l _{d0} , мм	l _{dcp} , мм	R _k , мм	R ₀ , мм	n ₁	B _{cp} , мм	Δh, мм	Δh _{cp} , мм	Δh _{cp} /Δh
Квадрат- Ромб	100	100	85	110	3763	5346	48,6	40,8	178,75	200	0,704	92,3	15	9,3	0,62
Квадрат- Ромб	100	100	80	110	4381	6222	56,6	47,5	180	200	0,704	92,3	20	12,5	0,63
Квадрат- Ромб	100	100	70	115	5653	8090	70,3 5	58,8	182,5	200	0,698	96,1	30	18,9	0,63
Квадрат- Ромб	100	100	60	120	6978	9895	82,5	69,2	185	200	0,705	100,75	40	25,9	0,65
Ромб- Квадрат	110	85	90	90	3759	4732	55,7	48,2	177,5	200	0,75	77,9	20	13,1	0,65
Ромб- Квадрат	115	80	90	90	4142	5602	62,3	53,5	177,5	200	0,74	77,4	25	16,1	0,65
Ромб- Квадрат	120	75	90	90	4262	6138	68,2	56,8	177,5	200	0,69	75	30	18,2	0,61
Ромб- Квадрат	130	70	90	90	5232	7086	78,7	67,6	177,5	200	0,74	77,3	40	25,8	0,64

За отриманими даними побудуємо графік зміни середнього обтискання у чистовій групі клітей за різними методами розрахунку середнього обтискання.

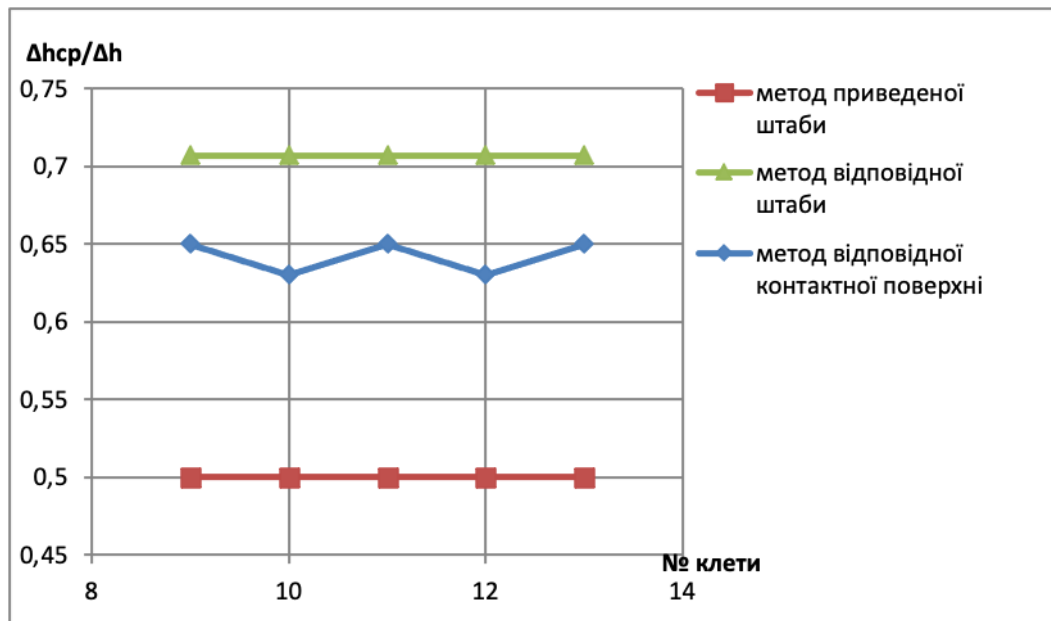


Рисунок 2.4 – Розподіл середнього обтискання у чистовій групі клітей по різним методам розрахунку

2.4 Розрахунок середнього обтиснення у калібрах системи овал – квадрат

Для розрахунку середнього обтиску в системі калібрів овал - квадрат були обрані наступні розміри заготовок і калібрів:

Таблиця 2.3 – Розміри заготовок та калібрів

Розміри заготовки, мм		Розміри калібра, мм	
H	B	h	b
60	60	45	70
50	50	38	60
40	40	28	50
70	35	53	53
60	25	38	38
50	18	28	28

2.4.1 Розрахунок середнього обтиснення за методом наведеної штаби

Для розрахунку обираємо системи витяжних калібрів квадрат-овал з розмірами $H=60$ мм, $B=60$ мм, $h=45$ мм, $b=70$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6 = 150$ мм. Розраховуємо рівновеликі площі поперечних перерізів:

$$q_0 = H \cdot B = 60 \cdot 60 = 3600 \text{ мм}^2$$

$$q = 0,67 \cdot h \cdot b = 0,67 \cdot 45 \cdot 70 = 2110,5 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо висоту, ширину і обтиснення наведеної смуги (заготовки) за виразами (2.1):

$$H_{\text{ср}} = \frac{3600}{60} = 60 \text{ мм};$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{2110,5}{70} = 30,15 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\text{ср}} = 60 - 30,15 = 29,85 \text{ мм};$$

$$\frac{\Delta h_{\text{ср}}}{\Delta h} = \frac{29,85}{15} = 1,99.$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів квадрат-овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.3.

Розраховуємо середнє обтиснення для систем калібрування овал-квадрат з розмірами $H=70$ мм, $B=35$ мм, $h=53$ мм, $b=53$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6 = 150$ мм. Розраховуємо рівновеликі площі поперечних перерізів:

$$q_0 = 0,67 \cdot h \cdot b = 0,67 \cdot 70 \cdot 35 = 1641,5 \text{ мм}^2$$

$$q = \frac{H \cdot B}{2} = \frac{53 \cdot 53}{2} = 1404,5 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо висоту, ширину і обтиснення наведеної смуги (заготовки) за виразами (2.1):

$$H_{\text{ср}} = \frac{1641,5}{35} = 46,9 \text{ мм};$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{1404,5}{53} = 26,5 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{\text{ср}} = 46,9 - 26,5 = 20,4 \text{ мм};$$

$$\frac{\Delta h_{cp}}{\Delta h} = \frac{20,4}{17} = 1,2.$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів овал - квадрат з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.3.

2.4.2 Розрахунок середнього обтиску за методом відповідної штаби(А.Ф. Головін)

Для розрахунку обираємо системи витяжних калібрів квадрат-овал з розмірами $H=60$ мм, $B=60$ мм, $h=45$ мм, $b=70$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6=150$ мм. Висоту, ширину і обтиснення відповідної штаби (заготовки) розраховують за виразами 2.2

$$H_c = \sqrt{60 \cdot 60 / \left(\frac{60}{60}\right)} = 60$$

$$h_c = \sqrt{(0,67 \cdot 45 \cdot 70) \cdot \left(\frac{70}{45}\right)} = 36,9$$

$$\Delta h_c = 60 - 36,9 = 23,1$$

$$\frac{\Delta h_c}{\Delta h} = \frac{23,1}{15} = 1,54$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів квадрат-овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.3.

Розрахуємо середнє обтиснення для систем калібрування овал-квадрат з розмірами $H=70$ мм, $B=35$ мм, $h=53$ мм, $b=53$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6=150$ мм. Висоту, ширину і обтиснення відповідної штаби (заготовки) розраховують за виразами 2.2

$$H_c = \sqrt{0,67 \cdot 70 \cdot 35 / \left(\frac{35}{70}\right)} = 57,3$$

$$h_c = \sqrt{\left(\frac{53 \cdot 53}{2}\right) \cdot \left(\frac{53}{53}\right)} = 37,47$$

$$\Delta h_c = 57,3 - 37,47 = 19,83$$

$$\frac{\Delta h_c}{\Delta h} = \frac{19,83}{17} = 1,16$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів овал-квадрат з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.3.

2.4.3 Розрахунок за методом відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва

Для розрахунку вибираємо систему витяжних калібрів квадрат-овал з розмірами $H=60$ мм, $B=60$ мм, $h=45$ мм, $b=70$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6 = 150$ мм. Графо-аналітичним методом визначаємо коефіцієнт форми площі контактної поверхні. Для побудови контактної поверхні необхідно:

1. Побудувати схему системи калібрів з зазначеними розмірами Провести на схемі параболічну лінію розширення.
2. На лінії розширення обрати довільно 8 точок (точки повинні рівномірно розподілятися по всій довжині лінії розширення)
3. З обраних точок опускаємо перпендикуляри до центру системи калібрування і визначаємо абсолютне обтиснення, радіус, довжину дуги контакту цих точок для подальшої побудови площі контактної поверхні штаби з валками. Розрахунок ведемо за наступними формулами:

$$\Delta h_i = H_i - h_i;$$

$$R_i = R_6 - \frac{h_i}{2};$$

$$ld_i = \sqrt{R_i \cdot \Delta h_i}.$$

Отримуємо наступні значення:

$$\begin{aligned}
 \Delta h_0 = H_0 - h_0 = 60 - 45 = 15 \text{ мм}; & \quad R_0 = R_6 - \frac{h_i}{2} = 150 - 22,5 = 127,5 \text{ мм}; \\
 \Delta h_1 = H_1 - h_1 = 60 - 44 = 16 \text{ мм}; & \quad R_1 = R_6 - h_1/2 = 150 - 22 = 128 \text{ мм}; \\
 \Delta h_2 = H_1 - h_1 = 60 - 42 = 18 \text{ мм}; & \quad R_2 = R_6 - h_2/2 = 150 - 21 = 129 \text{ мм}; \\
 \Delta h_3 = H_3 - h_3 = 60 - 40 = 8 \text{ мм}; & \quad R_3 = R_6 - h_3/2 = 150 - 20 = 130 \text{ мм}; \\
 \Delta h_4 = H_4 - h_4 = 60 - 36 = 24 \text{ мм}; & \quad R_4 = R_6 - h_4/2 = 150 - 18 = 132 \text{ мм}; \\
 \Delta h_5 = H_5 - h_5 = 60 - 32 = 28 \text{ мм}; & \quad R_5 = R_6 - h_5/2 = 150 - 16 = 134 \text{ мм}; \\
 \Delta h_6 = H_6 - h_6 = 56 - 24 = 32 \text{ мм}; & \quad R_6 = R_6 - h_6/2 = 150 - 12 = 138 \text{ мм}; \\
 \Delta h_7 = H_7 - h_7 = 46 - 18 = 28 \text{ мм}; & \quad R_7 = R_6 - h_7/2 = 150 - 9 = 141 \text{ мм}; \\
 \Delta h_8 = H_8 - h_8 = 38 - 14 = 24 \text{ мм} & \quad R_8 = R_6 - h_8/2 = 150 - 7 = 143 \text{ мм}; \\
 \Delta h_9 = H_9 - h_9 = 28 - 10 = 4 \text{ мм} & \quad R_9 = R_6 - h_9/2 = 150 - 5 = 145 \text{ мм};
 \end{aligned}$$

$$l_{d0} = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{127,5 \cdot 15} = 43,73 \text{ мм};$$

$$l_{d1} = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{128 \cdot 16} = 45,25 \text{ мм};$$

$$l_{d2} = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{129 \cdot 18} = 41,7 \text{ мм};$$

$$l_{d3} = \sqrt{R_3 \cdot \Delta h_3} = \sqrt{130 \cdot 20} = 51 \text{ мм};$$

$$l_{d4} = \sqrt{R_4 \cdot \Delta h_4} = \sqrt{131 \cdot 24} = 56 \text{ мм};$$

$$l_{d5} = \sqrt{R_5 \cdot \Delta h_5} = \sqrt{134 \cdot 28} = 61,25 \text{ мм};$$

$$l_{d6} = \sqrt{R_6 \cdot \Delta h_6} = \sqrt{138 \cdot 32} = 66,45 \text{ мм}.$$

$$l_{d7} = \sqrt{R_7 \cdot \Delta h_7} = \sqrt{141 \cdot 28} = 62,8 \text{ мм};$$

$$l_{d8} = \sqrt{R_8 \cdot \Delta h_8} = \sqrt{143 \cdot 24} = 58,6 \text{ мм};$$

$$l_{d9} = \sqrt{R_9 \cdot \Delta h_9} = \sqrt{145 \cdot 18} = 51 \text{ мм};$$

Після отримання геометричних параметрів даної системи калібрування, будемо площу контактної поверхні. Для цього потрібно провести лінію яка буде проходити паралельно горизонтальній осі. Від цієї лінії опускаємо перпендикуляри, які будуть відповідати отриманим значенням довжини дуги контакту. Після отримання форми контактної поверхні, визначаємо її площу. (рис.2.4)

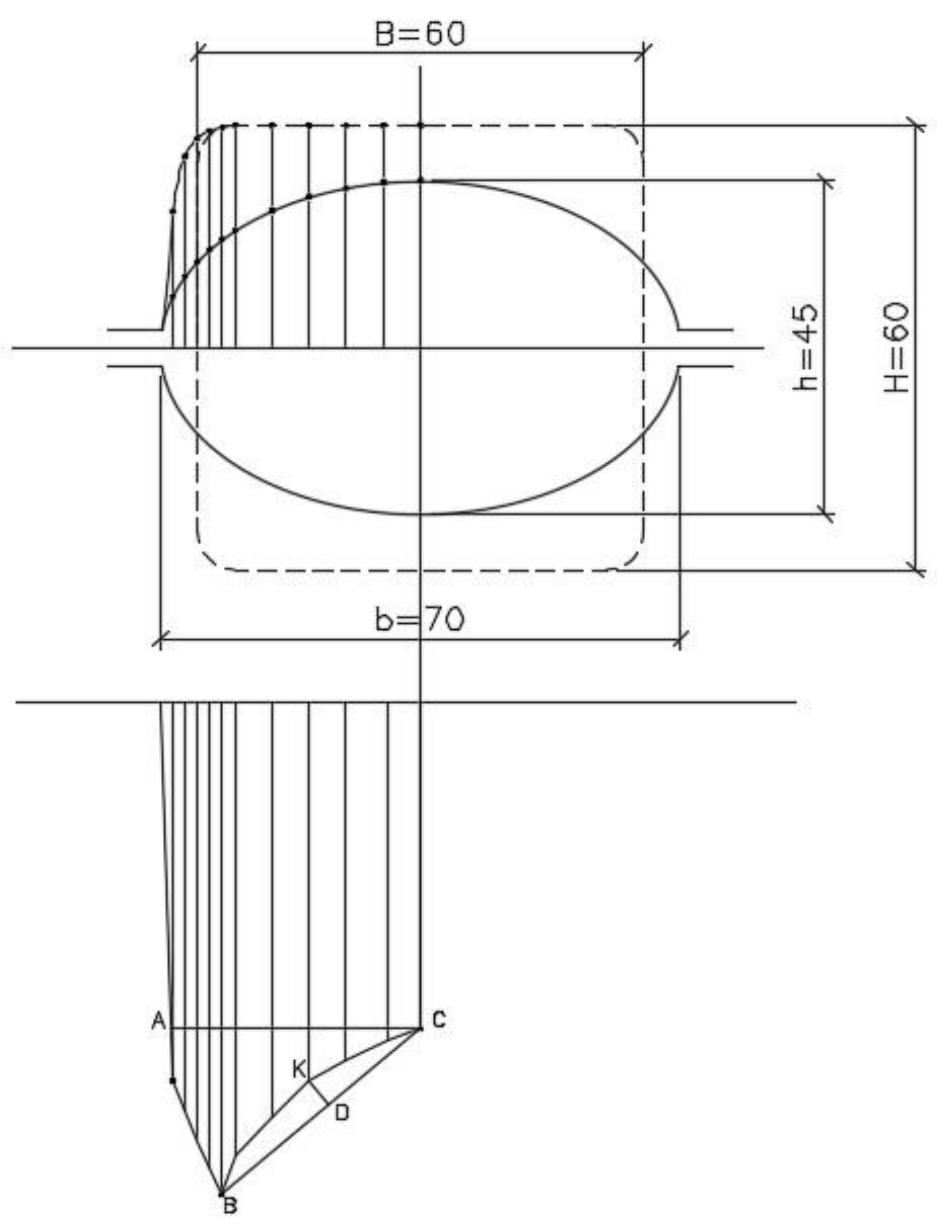


Рисунок 2.4 – Схема визначення площі контактної поверхні валків зі штабою в системі калібрування квадрат-овал

За отриманою графоаналітичним методом схемою визначаємо площу фігури ABC:

$$F_{ABC} = \frac{1}{2} \cdot AB \cdot BC - 0,67 \cdot BC \cdot KD = \frac{1}{2} \cdot 22 \cdot 35 - 0,67 \cdot 37 \cdot 4 = 285,84 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу прямокутника зі сторонами b і l_{d0}

$$F_{\text{пр}} = b \cdot l_{d0} = 70 \cdot 43,73 = 3061 \text{ мм}^2$$

Визначаємо коефіцієнт форми площі контактної поверхні

$$n_1 = \frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{3632,68}{3061} = 1,19$$

За формулою $l_d = \sqrt{n_1} \sqrt{R_0 \cdot \Delta h_0}$ [6] визначаємо довжину дуги контакту

$$l_d = \sqrt{1,19} \cdot \sqrt{127,5 \cdot 15} = 47,7 \text{ мм}$$

Визначаємо середню ширину смуги за формулою [7]

$$B = \sqrt{n_1} \cdot b = \sqrt{1,19} \cdot 70 = 76,36$$

Розраховуємо катаний радіус за формулою

$$R_k = \frac{R_{\delta} + R_0}{2} = \frac{150 + 127,5}{2} = 138,5 \text{ мм}$$

Розраховуємо середнє абсолютне обтиснення в калібрі за формулою (2.5)

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{l_d^2}{R_k} = \frac{47,7^2}{138,5} = 16,4 \text{ мм}$$

Розраховуємо середнє обтиснення

$$\frac{\Delta h_{\text{ср}}}{\Delta h} = \frac{16,4}{15} = 1,09.$$

Були проведені розрахунки для аналогічних калібрів квадрат-овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.4

Аналогічно визначимо середнє обтиснення в системі калібрів овал-квадрат. Дані розрахунків зведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.6 – Розрахункові параметри системи калібрів квадрат-овал за методами наведеної і відповідної штаби

Метод наведеної штаби											
Система заготовка-калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	q ₀ , мм ²	q ₁ , мм ²	H _{ср} , мм	h _{ср} , мм	Δh _{ср} , мм	Δh, мм	Δh _c /Δh
Квадрат-Овал	60	60	45	70	3600	2110,5	60	30,15	29,85	15	1,99
Квадрат-Овал	50	50	38	60	2500	1527,6	50	25,46	24,54	12	2,04
Квадрат-Овал	40	40	28	50	1600	938	40	18,76	21,24	12	1,77
Овал-Квадрат	70	35	53	53	1641,5	1404,5	46,9	26,5	20,4	17	1,2
Овал-Квадрат	60	25	38	38	1005	722	40,2	19	21,2	22	0,96
Овал-Квадрат	50	18	28	28	603	392	33,5	14	19,5	22	0,88
Метод відповідної штаби (А.Ф. Головін)											
Квадрат-Овал	60	60	45	70	3600	2110,5	60	36,9	23,1	15	1,54
Квадрат-Овал	50	50	38	60	2500	1527,6	50	31,2	18,8	12	1,56
Квадрат-Овал	40	40	28	50	1600	938	40	22,95	17,05	12	1,42
Овал-Квадрат	70	35	53	53	1641,5	1404,5	57,3	37,47	19,83	17	1,16
Овал-Квадрат	60	25	38	38	1005	722	49,15	26,87	22,28	22	1,01
Овал-Квадрат	50	18	28	28	603	392	40,92	19,8	21,12	22	0,96

Таблиця 2.7 – Розрахункові параметри системи калібрування овал-квадрат за методом відповідної контактної поверхні (В.О. Ніколаєв)

Система заготовка-калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	$F_k, \text{мм}^2$	$F_{\text{пр}}, \text{мм}^2$	$ld_0, \text{мм}$	$ld_{\text{cp}}, \text{мм}$	$R_k, \text{мм}$	$R_0, \text{мм}$	n_1	$B_{\text{cp}}, \text{мм}$	$\Delta h, \text{мм}$	$\Delta h_{\text{cp}}, \text{мм}$	$\Delta h_{\text{cp}}/\Delta h$
Квадрат-Овал	60	60	45	70	3633	3061	43,73	47,7	138,75	150	1,19	76,36	15	16,4	1,09
Квадрат-Овал	50	50	38	60	2652	2379	39,64	41,76	140,5	150	1,11	63,2	12	12,41	1,03
Квадрат-Овал	40	40	28	50	2265	2020	40,4	42,75	143	150	1,12	52,9	12	12,7	1,06
Овал-Квадрат	70	35	53	53	1731	2438	45,82	38,76	136,75	150	0,71	44,65	17	10,98	0,646
Овал-Квадрат	60	25	38	38	1489	2040	53,68	45,86	140,5	150	0,73	32,46	22	14,96	0,68
Овал-Квадрат	50	18	28	28	1103	1531,6	54,7	46,41	143	150	0,72	23,75	22	15,06	0,68

За отриманими даними побудуємо графік зміни середнього обтискання у чистовій групі клітей за різними методами розрахунку середнього обтискання.

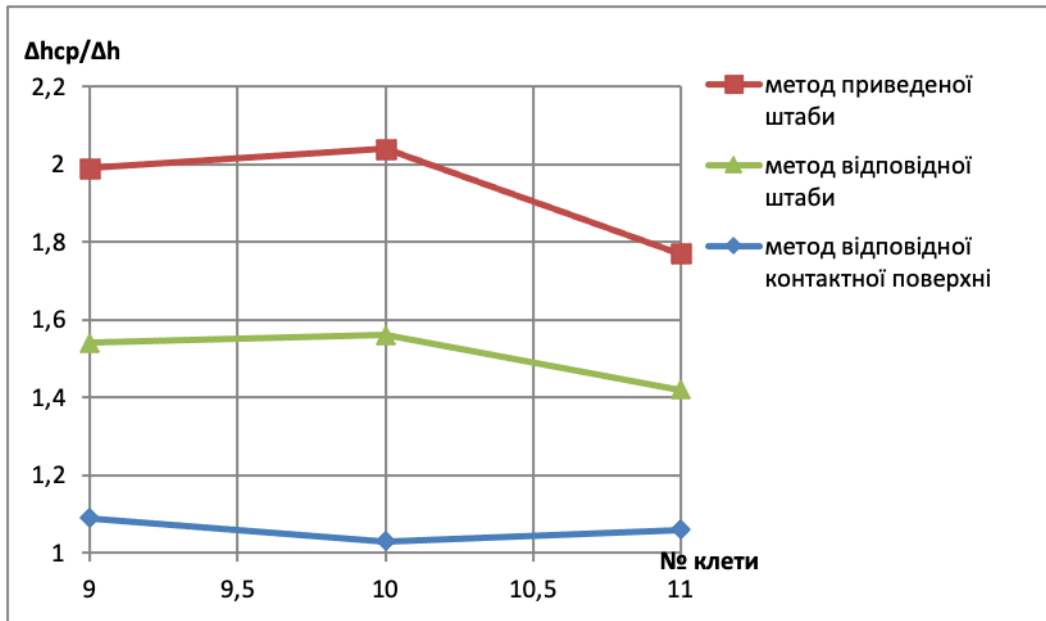


Рисунок 2.6 – Розподіл середнього обтискання у чистовій групі клітей по різним методам розрахунку в системі калібрування квадрат-овал

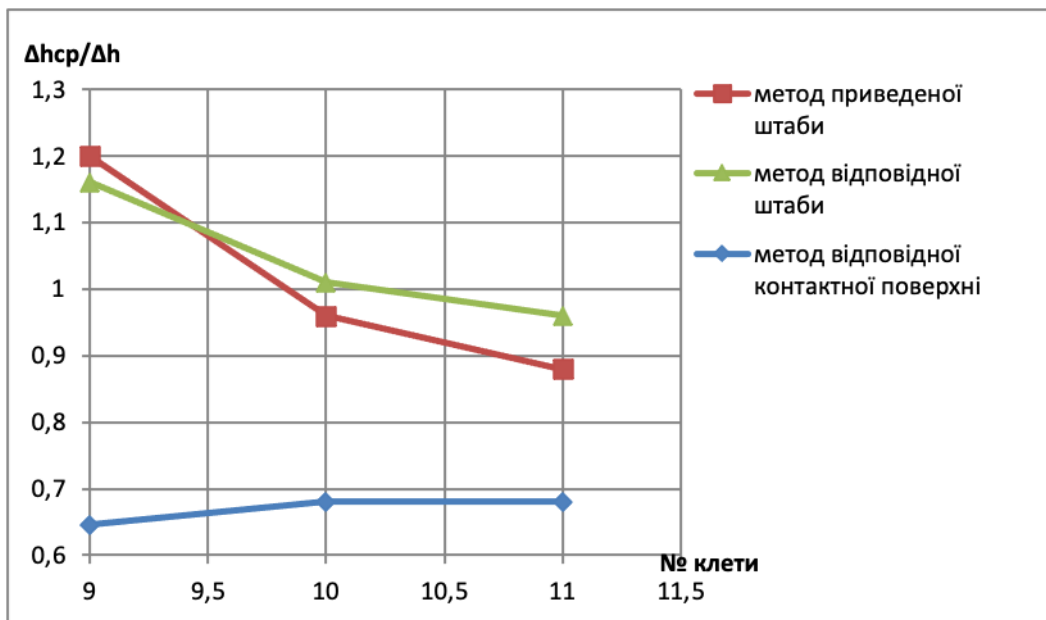


Рисунок 2.7 – Розподіл середнього обтискання у чистовій групі клітей по різним методам розрахунку в системі калібрування овал-квадрат

2.5 Розрахунок середнього обтиснення у калібрах системи овал – ребровий овал

Для розрахунку середнього обтиску в системі калібрів овал – ребровий овал були обрані наступні розміри заготовок і калібрів:

Таблиця 2.8 – Розміри заготовок та калібрів

№ кліті	Розміри заготовки, мм		Розміри калібра, мм	
	H	B	h	b
9	66,3	19,3	34,8	26,7
10	26,7	34,8	14	51,2
11	51,2	14	26,6	20
12	20	26,6	13,6	33,2
13	33,2	13,6	21,9	16,5

2.5.1 Розрахунок середнього обтиснення за методом наведеної штаби

Для розрахунку обираємо системи витяжних калібрів овал – ребровий овал з розмірами $H=66,3$ мм, $B=19,3$ мм, $h=34,8$ мм, $b=26,7$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6 = 150$ мм. Розраховуємо рівновеликі площі поперечних перерізів:

$$q_0 = 0,67 \cdot H \cdot B = 0,67 \cdot 66,3 \cdot 19,3 = 857,32 \text{ мм}^2$$

$$q = 0,75 \cdot h \cdot b = 0,75 \cdot 34,8 \cdot 26,7 = 696,87 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо висоту, ширину і обтиснення наведеної смуги (заготовки) за виразами (2.1):

$$H_{cp} = \frac{857,32}{19,3} = 44,42 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = \frac{696,87}{26,7} = 26,1 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{cp} = 44,42 - 26,1 = 18,32 \text{ мм};$$

$$\frac{\Delta h_{cp}}{\Delta h} = \frac{18,32}{31,5} = 0,58.$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів овал – ребровий овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.9.

2.5.2 Розрахунок середнього обтиску за методом відповідної штаби(А.Ф. Головін)

Для розрахунку обираємо системи витяжних калібрів овал – ребровий овал з розмірами $H=66,3$ мм, $V=19,3$ мм, $h=34,8$ мм, $b=26,7$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6=150$ мм. Висоту, ширину і обтиснення відповідної штаби (заготовки) розраховують за виразами 2.2

$$H_c = \sqrt{(0,67 \cdot 66,3 \cdot 19,3) / \left(\frac{19,3}{66,3}\right)} = 54,37$$

$$h_c = \sqrt{(0,75 \cdot 34,8 \cdot 26,7) \cdot \left(\frac{26,7}{34,8}\right)} = 30,14$$

$$\Delta h_c = 54,37 - 30,14 = 24,23$$

$$\frac{\Delta h_c}{\Delta h} = \frac{24,23}{31,5} = 0,769$$

Були проведені розрахунки для аналогічних систем калібрів овал – ребровий овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.10.

2.5.3 Розрахунок за методом відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва

Для розрахунку обираємо системи витяжних калібрів овал – ребровий овал з розмірами $H=66,3$ мм, $V=19,3$ мм, $h=34,8$ мм, $b=26,7$ мм. Відомо, що радіус по буртам $R_6=150$ мм. Графо-аналітичним методом визначаємо коефіцієнт форми площі контактної поверхні (аналогічно системам ромб-квадрат і овал-квадрат).

Отримуємо наступні значення:

$$\begin{aligned} \Delta h_0 &= H_0 - h_0 = 51,2 - 26,6 = 24,6 \text{ мм}; & R_0 &= R_6 - \frac{h_i}{2} = 150 - 13,3 = 136,7 \text{ мм}; \\ \Delta h_1 &= H_1 - h_1 = 46 - 24 = 22 \text{ мм}; & R_1 &= R_6 - h_1/2 = 150 - 12 = 138 \text{ мм}; \\ \Delta h_2 &= H_1 - h_1 = 40 - 22 = 18 \text{ мм}; & R_2 &= R_6 - h_2/2 = 150 - 11 = 139 \text{ мм}; \\ \Delta h_3 &= H_3 - h_3 = 34 - 20 = 14 \text{ мм}; & R_3 &= R_6 - h_3/2 = 150 - 10 = 140 \text{ мм}; \\ \Delta h_4 &= H_4 - h_4 = 24 - 16 = 8 \text{ мм}; & R_4 &= R_6 - h_4/2 = 150 - 8 = 142 \text{ мм}; \\ \Delta h_5 &= H_5 - h_5 = 14 - 10 = 4 \text{ мм}; & R_5 &= R_6 - h_5/2 = 150 - 5 = 145 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$l_{d0} = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{136,7 \cdot 24,6} = 58 \text{ мм};$$

$$l_{d1} = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{138 \cdot 22} = 55 \text{ мм};$$

$$l_{d2} = \sqrt{R_1 \cdot \Delta h_1} = \sqrt{139 \cdot 18} = 50 \text{ мм};$$

$$l_{d3} = \sqrt{R_3 \cdot \Delta h_3} = \sqrt{140 \cdot 12} = 41 \text{ мм};$$

$$l_{d4} = \sqrt{R_4 \cdot \Delta h_4} = \sqrt{142 \cdot 8} = 33,7 \text{ мм};$$

$$l_{d5} = \sqrt{R_5 \cdot \Delta h_5} = \sqrt{145 \cdot 4} = 24,1 \text{ мм};$$

Після отримання геометричних параметрів даної системи калібрування, будуємо площу контактної поверхні. Для цього потрібно провести лінію яка буде проходити паралельно горизонтальній осі. Від цієї лінії опускаємо перпендикуляри, які будуть відповідати отриманим значенням довжини дуги контакту. Після отримання форми контактної поверхні, визначаємо її площу. (рис.2.8)

За отриманою графоаналітичним методом схемою визначаємо площу трикутника

$$F_{\text{тр}} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot l_{d0} = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 58 = 580 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу овалу

$$F_{\text{ов}} = 2 \cdot 0,67 \cdot AB \cdot CD = 2 \cdot 0,67 \cdot 59 \cdot 4 = 316,24 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу контакту

$$F_k = F_{\text{тр}} + F_{\text{ов}} = 580 + 316,24 = 896,24 \text{ мм}^2$$

Визначаємо площу прямокутника зі сторонами b і l_{d0}

$$F_{\text{пр}} = b \cdot l_{d0} = 20 \cdot 58 = 1160 \text{ мм}^2$$

Визначаємо коефіцієнт форми площі контактної поверхні

$$n_1 = \frac{F_k}{F_{\text{пр}}} = \frac{896,24}{1160} = 0,76$$

За формулою $l_d = \sqrt{n_1} \sqrt{R_0 \cdot \Delta h_0}$ [6] визначаємо довжину дуги контакту

$$l_d = \sqrt{0,76} \cdot \sqrt{136,7 \cdot 24,6} = 50,46 \text{ мм}$$

Визначаємо середню ширину смуги за формулою [7]

$$B = \sqrt{n_1} \cdot b = \sqrt{0,76} \cdot 20 = 17,4$$

Розраховуємо катачий радіус за формулою

$$R_k = \frac{R_6 + R_0}{2} = \frac{150 + 136,7}{2} = 143,35 \text{ мм}$$

Розраховуємо середнє абсолютне обтиснення в калібрі за формулою (2.5)

$$\Delta h_{\text{ср}} = \frac{l_d^2}{R_k} = \frac{50,46^2}{143,35} = 17,76 \text{ мм}$$

Розраховуємо середнє обтиснення

$$\frac{\Delta h_{\text{ср}}}{\Delta h} = \frac{17,76}{24,6} = 0,72.$$

Були проведені розрахунки для аналогічних калібрів овал-ребровий овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.6

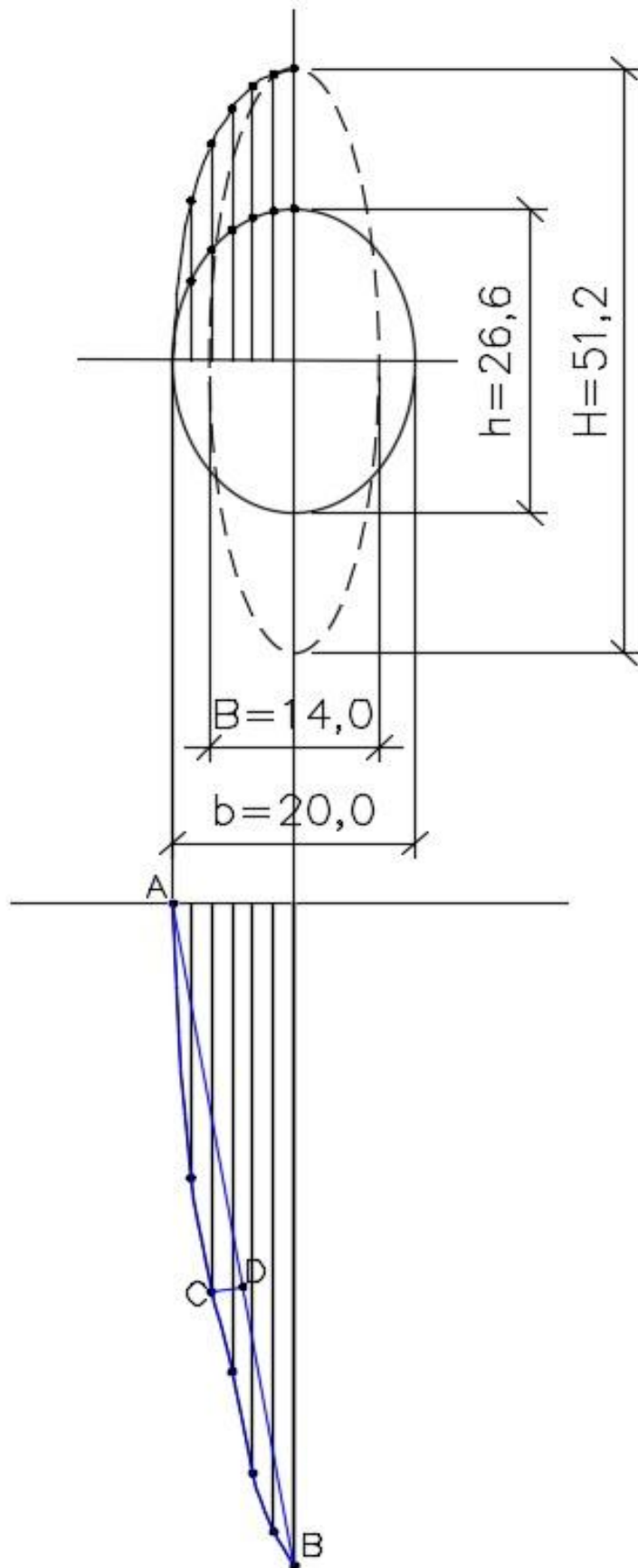


Рисунок 2.8 - Схема визначення площі контактної поверхні валків зі штабою в системі калібрування овал-ребровий овал

Таблиця 2.9 – Розрахункові параметри системи калібрів овал-ребровий овал за методами наведеної і відповідної штаби

Метод наведеної штаби											
Система заготовка- калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	q ₀ , мм ²	q ₁ , мм ²	H _{ср} , мм	h _{ср} , мм	Δh _{ср} , мм	Δh, мм	Δh _c /Δ h
РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	857,32	696,87	44,42	26,1	18,325	31,5	0,58
Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	537,6	480,25	15,49	9,38	6,11	12,7	0,48
РО-Овал	51,2	14	26,6	20	480,25	399	34,3	19,95	14,35	24,6	0,58
Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	399	302,5	15	9,11	5,89	6,4	0,92
РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	302,5	271	22,24	16,42	5,82	11,3	0,51
Метод відповідної штаби (А.Ф. Головін)											
РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	857,32	696,87	54,37	30,14	24,23	31,5	0,769
Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	537,6	480,25	20,33	11,47	8,86	12,7	0,697
РО-Овал	51,2	14	26,6	20	480,25	399	42,17	23,06	19,11	24,6	0,776
Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	399	302,5	17,32	11,13	6,19	6,4	0,967
РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	302,5	271	27,5	19	8,5	11,3	0,752

Таблиця 2.10 – Розрахункові параметри системи калібрування овал-ребровий овал за методом відповідної контактної поверхні (В.О. Ніколаєв)

Система заготовка- калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	F _к , мм ²	F _{пр} , мм ²	ld ₀ , мм	ld _{сп} , мм	R _к , мм	R ₀ , мм	n ₁	B _{сп} , мм	Δh, мм	Δh _{сп} , мм	Δh _{сп} /Δh
РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	1291	1725	64,63	55,89	141,3	150	0,748	23,06	31,5	22,1	0,7
Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	1626	2181	42,6	36,76	146,5	150	0,745	44,18	12,7	9,22	0,72
РО-Овал	51,2	14	26,6	20	896	1160	58	50,46	143,35	150	0,76	17,4	24,6	17,76	0,72
Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	783	1004	30,27	26,73	146,6	150	0,78	29,2	6,4	4,87	0,76
РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	487	653	39,6	34,2	144,5	150	0,746	14,24	11,3	8,09	0,715

За отриманими даними побудуємо графік зміни середнього обтискання у чистовій групі клітей за різними методами розрахунку середнього обтискання.

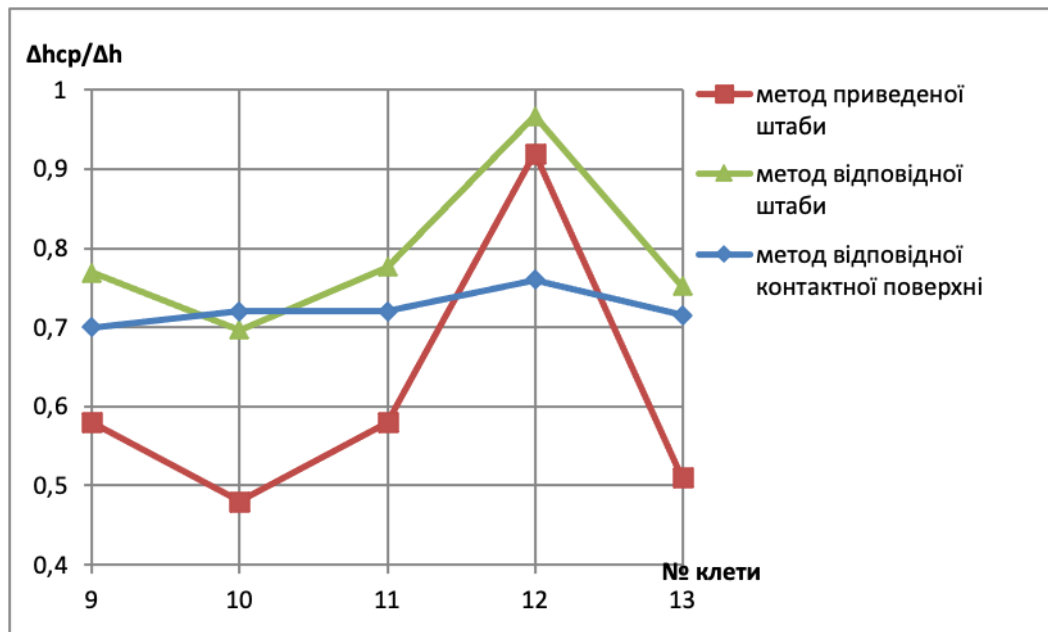


Рисунок 2.9 – Розподіл середнього обтискання у чистовій групі клітей по різним методам розрахунку в системі калібрування овал – ребровий овал

2.6 Аналіз методів розрахунку середнього обтиску в простих калібрах системи квадрат-ромб, овал-квадрат, овал-ребровий овал

Були проведені розрахунки середнього обтиску в простих калібрах систем квадрат - ромб, квадрат - овал, овал – ребровий овал трьома способами. Аналізуючи спосіб наведеної штаби можна сказати, що це найпростіший спосіб визначення середнього обтиснення. Спосіб передбачає заміну калібру прямокутником з рівною шириною. Основною дією цього методу є визначення площ поперечних перерізів прямокутників, потім визначення висоти смуги.

Метод відповідної штаби А.Ф. Головіна передбачає заміну форм заготівлі та калібру прямокутниками з рівновеликими площами поперечних перерізів і рівними відносинами осей. Метод трохи складніше попереднього, але також простий у використанні. Недоліком цих двох методів є те, що не враховується розширення смуги в калібрі.

На відміну від попередніх методів, метод відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва враховує розширення штаби. Метод розрахунку передбачає визначення середнього обтиснення графо-аналітичним методом. Були визначені коефіцієнти форми площі контактної поверхні, які значно впливають на середнє обтиснення. Порівнюючи цей метод з методом відповідної і наведеної смуги можна сказати, що метод В.О. Ніколаєва є більш точним.

Розрахунок сили прокатки і розширення будемо вести за даними, які були отримані по методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва, так як вони є найбільш точними.

2.7 Розрахунок розширення в системі калібрів овал-ребровий овал

Для розрахунку обираємо кліть №9 системи витяжних калібрів овал – ребровий овал з розмірами $H=66,3$ мм, $B=19,3$ мм, $h=34,8$ мм, $b=26,7$ мм. Інші необхідні вихідні дані беремо з таблиці 2.6. Розрахунок ведемо з параметрами середнього обтискання, які були отримані по методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва [8]. Розрахунки для клітей робимо №10-13 аналогічно.

1. Розраховуємо абсолютне обтиснення

$$\Delta h = H - h = 66,3 - 34,8 = 31,5 \text{ мм};$$

2. Середні товщини штаби на виході з калібру і в калібрі відповідно рівні:

$$h'_{\text{cp}} = n \cdot h = 0,67 \cdot 34,8 = 23,3 \text{ мм};$$

$$h_{\text{cp}} = h'_{\text{cp}} + 0,5 \cdot \Delta h_{\text{cp}} = 23,3 + 0,5 \cdot 22,1 = 34,35 \text{ мм}.$$

3. Коефіцієнт C_f беремо з таблиці 2.11

Таблиця 2.11 – Значення коефіцієнта C_f в залежності від відношення

$\frac{B_{\text{cp}}}{l_d}$	0,5-0,7	0,75	0,8	0,95	1,15
C_f	0,75	0,8	0,87	1,52	1,95

$$\frac{B_{\text{ср}}}{l_d} = 0,5 - 1,15 [8]$$

4. Коефіцієнт тертя при гарячому прокатуванні розраховують по формулі, яку отримали з промислових і лабораторних дослідів [5, 8]

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_V \cdot k_M \cdot k_{CM} \cdot k_\epsilon;$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя в залежності від температури прокатування;

$k_B, k_T, k_V, k_M, k_{CM}$ - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив відповідно стану поверхні валків, твердості поверхні валків, окружної швидкості валків, матеріалу штаби, яка прокатується і типу мастила; k_ϵ - коефіцієнт, що враховує вплив відносного обтиснення в калібрах.

Коефіцієнт $k_B = 1$, тому що в чистовій групі клітей неперервного стану 250 використовують чавунні валки з нелегованого або легovanого чавуну.

Коефіцієнт $k_\epsilon = 1$, так як відносне обтиснення $\epsilon > 0,3$.

Коефіцієнт $k_M = 1$, так як матеріал штаби, яка прокатується Ст.3.

Коефіцієнт $k_{CM} = 1$, тому що прокатування ведуть з водою.

Прийmemo, що міцність поверхні валків 65HSD, тоді коефіцієнт $k_T = 1$.

Розрахуємо значення коефіцієнту k_V за формулою

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

$$k_V = 0,76 + 0,82 \cdot (1 - 0,1 \cdot 4,38)^2 = 1,019$$

Розрахуємо базовий коефіцієнт тертя f_0 за формулою

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

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \cdot [(1050/400) - 2]^2 = 0,23$$

Розрахуємо коефіцієнт тертя

$$f = 0,23 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,019 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,235.$$

5. Розрахунок впливу поперечного тертя проводимо за наступною формулою

$$f_b = f \cdot C_f = 0,235 \cdot 0,6 = 0,14.$$

6. Визначаємо значення кута φ за виразом:

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,675 - 0,51 \cdot [1 - 1,93 \cdot (1 - 0,25 \cdot b/h)^{2,3}]$$

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,675 - 0,51 \cdot \left[1 - 1,93 \cdot \left(1 - 0,25 \cdot \frac{26,7}{34,8} \right)^{2,3} \right] = 0,77$$

7. Розрахуємо розширення для каліброваних валків за формулою [8]

$$\Delta b = \frac{\Delta h_{\text{cp}} \cdot B_{\text{cp}}/h_{\text{cp}}}{1 + \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\varphi}{f_b} \right) \cdot C_f \cdot (B_{\text{cp}}/l_d)}$$

$$\Delta b = \frac{22,1 \cdot 23/34,3}{1 + \left(1 + \frac{0,77}{0,14} \right) \cdot 0,6 \cdot (23/64,63)} = 6,05 \text{ мм.}$$

Були проведені розрахунки для аналогічних калібрів овал-ребровий овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.12

Також були проведені розрахунки визначення розширення зі значеннями абсолютного обтиснення, яке було розраховане методом наведеної штаби. результати розрахунків у таблиці 2.13

За отриманими результатами побудуємо графік залежності зміни розширення при різних даних абсолютного обтиснення.

Таблиця 2.12 – Результати розрахунків розширення в системі калібрів овал-ребровий овал (абсолютне обтиснення розраховане за методом відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва)

Система заготовка -калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	l_d , мм	B_{cp} , мм	Δh , мм	Δh_{cp} , мм	h'_{cp} , мм	h_{cp} , мм	C_f	k_V	f_0	f	f_b	$tg\varphi$	Δb , мм
РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	64,63	23,06	31,5	22,1	23,3	34,3	0,6	1,019	0,23	0,235	0,18	0,77	6,05
Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	42,6	44,18	12,7	9,22	9,4	13,9	0,6	0,89	0,24	0,213	0,18	0,17	11,58
РО-Овал	51,2	14	26,6	20	58	17,4	24,6	17,76	17,8	26,7	0,75	0,81	0,25	0,2	0,23	0,77	4,71
Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	30,27	29,2	6,4	4,87	9,1	11,5	0,75	0,76	0,25	0,193	0,23	0,28	3,83
РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	39,6	14,24	11,3	8,09	14,6	18,7	0,75	0,76	0,26	0,197	0,23	0,77	2,22

Таблиця 2.13 – Результати розрахунків розширення в системі калібрів овал-ребровий овал (абсолютне обтиснення розраховане за методом наведеної штаби)

Система заготовка-калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	l_d , мм	B_{cp} , мм	Δh , мм	Δh_{cp} , мм	h'_{cp} , мм	h_{cp} , мм	C_f	k_V	f_0	f	f_b	$tg\varphi$	Δb , мм
РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	64,63	23,06	31,5	18,32	23,3	34,3	0,6	1,019	0,23	0,235	0,18	0,77	5,3
Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	42,6	44,18	12,7	6,11	9,4	13,9	0,6	0,89	0,24	0,213	0,18	0,17	8,6
РО-Овал	51,2	14	26,6	20	58	17,4	24,6	14,35	17,8	26,7	0,75	0,81	0,25	0,2	0,23	0,77	4,06
Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	30,27	29,2	6,4	5,89	9,1	11,5	0,75	0,76	0,25	0,193	0,23	0,28	4,44
РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	39,6	14,24	11,3	5,82	14,6	18,7	0,75	0,76	0,26	0,197	0,23	0,77	1,69

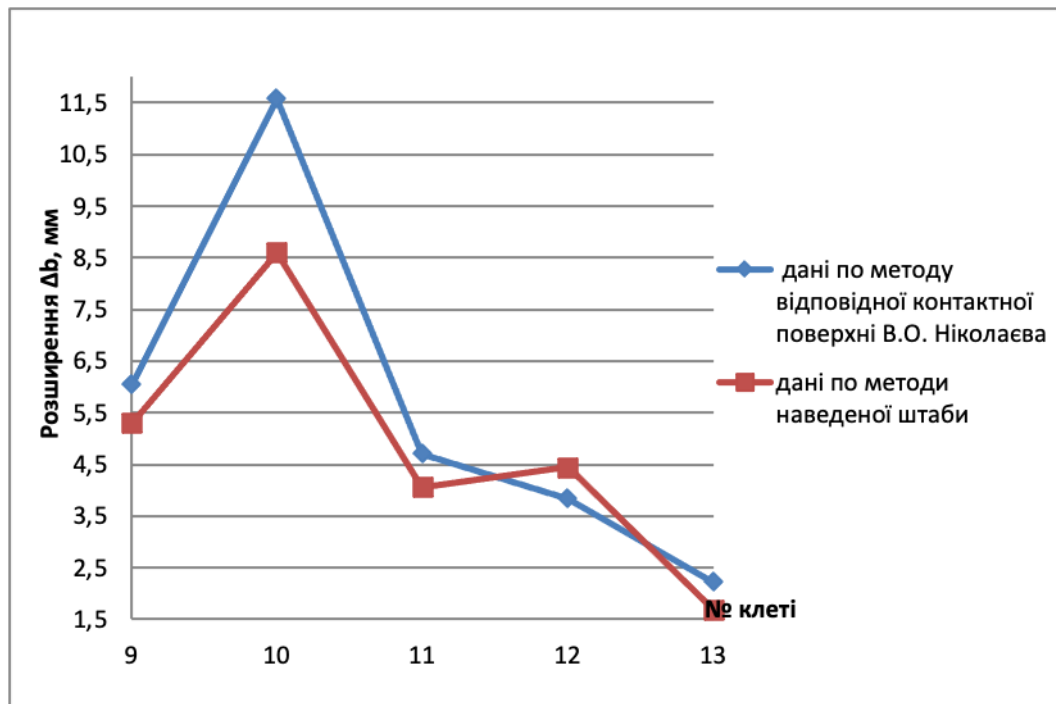


Рисунок 2.10 – Залежність зміни розширення в системі калібрів овал-ребровий овал при різних значеннях абсолютного обтиску

Висновок. Значення розширення в системі калібрів овал-ребровий овал, які розраховувались за допомогою даних середнього обтиснення по методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва значно більше даних, які розраховувались за допомогою середнього обтиснення по методу наведеної штаби. Звертаючи увагу на те, що метод наведеної штаби не враховує розширення штаби на відміну від методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва, то значення розширення з даними метода відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва є більш точними на відміну від інших значень.

2.8 Розрахунок сили прокатки в системі калібрів овал-ребровий овал

Для розрахунку обираємо кліть №9 системи витяжних калібрів овал – ребровий овал з розмірами $H=66,3$ мм, $V=19,3$ мм, $h=34,8$ мм, $b=26,7$ мм, матеріал штаби Ст.3. Значення середнього обтиснення, довжини дуги контакту та ін. беремо з таблиці 2.6. Розрахунок ведемо з параметрами середнього обтискання, які були отримані по методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва [8]. Розрахунки для клітей №10-13 робимо за аналогічно.

Розрахуємо середнє нормальне напруження за формулою [10]

$$p_{\text{ср}} = \sigma_{\phi} \cdot [1 + 0,48 \cdot f_{\text{п}} \cdot n_{\phi} \cdot (1 - a) \cdot l_d / h_{\text{ср}}]$$

де σ_{ϕ} – опір металу деформації ($\sigma_{\phi} = \sigma_{\text{т}} \cdot \lambda$); $\sigma_{\text{т}}$ – напруження течії металу; λ – коефіцієнт Лоде ($\lambda = 1 - 1,15$);

$f_{\text{п}}$ – показник тертя ($f_{\text{п}} = 1,6 \cdot f - 0,018$);

Розрахунок коефіцієнта тертя f представлений у розділі 2.7. Дані розрахунку наведені у таблиці 2.8.

Необхідні геометричні параметри визначаємо за формулою

$$a = \Delta b \cdot h_{\text{ср}} / \Delta h \cdot V_{\text{ср}}$$

$$a = (6,45 \cdot 50,55) / (31,5 \cdot 23) = 0,447$$

Розрахуємо напруження течії металу за формулою

$$\sigma_{\text{т}} = \sigma_{\text{тб}} \cdot k_t \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_u$$

де $\sigma_{\text{тб}}$ – базоване напруження течії металу;

$k_t, k_{\varepsilon}, k_u$ – коефіцієнти, які враховують вплив температури, відносного обтиску і швидкості деформації [11].

Базоване напруження течії металу для вуглецевих сталей визначається за формулою [9]

$$\sigma_{\tau\delta} = 80 + 25 \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{5 - N_1}{4,5} \right]^{1,8} \right\}$$

Розрахуємо напруження течії металу для вуглецевої сталі Ст3 (гр..I) (0,2%С, 0,15% Si, 0,4% Mn; 0,2% Ni, 0,03 % S, 0,02% P, 0,2% Cr; 0,2% Cu; 0,05% As ; 0,004% N) при $\varepsilon=0,47$; $t=1200^\circ\text{C}$:

$$N_1 = 0,2 + 0,15 + 0,4 + 0,2 + 0,03 + 0,02 + 0,2 + 0,2 + 0,05 + 0,004 = 1,454\%$$

$$\sigma_{\tau\delta} = 80 + 25 \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{5 - 1,454}{4,5} \right]^{1,8} \right\} = 88,71 \text{ Н/мм}^2;$$

Розрахуємо коефіцієнт k_t за формулою

$$k_t = 1,66 - 1,1 \cdot (t/400 - 2)^{0,7}$$

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

$$k_t = 1,66 - 1,1 \cdot (1050/400 - 2)^{0,7} = 0,868.$$

Розрахуємо коефіцієнт k_ε за формулою

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

де ε – відносне обтиснення, $\varepsilon = \Delta h / H$,

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \cdot [1 - 6,3 \cdot (0,5 - 0,475)^2] = 1,428$$

Розрахуємо коефіцієнт k_u за формулою

$$k_u = 1,03 + 0,1 \cdot ((\ln u) - 2,3)^{1,5},$$

де u – швидкість деформації, $u = v \cdot \varepsilon / l_d, \text{с}^{-1}$.

$$k_u = 1,03 + 0,1 \cdot ((3,62) - 2,3)^{1,5} = 1,18$$

Коефіцієнти, які враховують вплив температури, відносного обтиску і швидкості деформації в системі овал-ребровий овал з іншими розмірами розраховані аналогічно. Результати розрахунку занесені в таблицю 2.14

Таблиця 2.14 – Розрахункові значення коефіцієнтів k_t, k_ε, k_u , відносного обтискання і швидкості деформації

Кліть №	Система заготовка-калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	v, м/с	t, °C	ε	u с ⁻¹	k_ε	k_u	k_t
9	РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	4,38	1050	0,475	32,2	1,43	1,18	0,868
10	Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	6,02	1020	0,475	67,2	1,43	1,32	0,93
11	РО-Овал	51,2	14	26,6	20	7,52	990	0,48	62,3	1,43	1,3	1,006
12	Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	9,6	960	0,32	101,5	1,34	1,41	1,08
13	РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	10,8	930	0,34	92,8	1,36	1,39	1,15

Розрахуємо напруження течії металу

$$\sigma_T = 88,71 \cdot 0,868 \cdot 1,43 \cdot 1,18 = 129,97 \text{ Н/мм}^2.$$

Розрахуємо середнє нормальне напруження [10]

$$p_{\text{ср}} = 129,97 \cdot \left[1 + 0,48 \cdot 0,358 \cdot 1,35 \cdot (1 - 0,42) \cdot \frac{64,63}{35,41} \right] = 161,88 \text{ Н/мм}^2$$

Розрахуємо силу прокатування

$$P = p_{\text{ср}} \cdot B_{\text{ср}} \cdot l_d = 161,88 \cdot 23 \cdot 64,6 = 0,24 \text{ МН.}$$

Були проведені розрахунки сили прокатування для аналогічних калібрів овал-ребровий овал з різними розмірами. Дані розрахунків занесені в таблицю 2.15

Також були проведені розрахунки визначення сили прокатування зі значеннями абсолютного обтиснення, яке було розраховане методом наведеної штаби. Результати розрахунків у таблиці 2.16

Таблиця 2.15 – Результати розрахунків сили прокатування в системі калібрів овал-ребровий овал (абсолютне обтиснення розраховане за методом відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва)

Кліть №	Система заготовка-калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	l_d , мм	B_{cp} , мм	Δh , мм	Δh_{cp} , мм	a	v , м/с	f	$f_{п}$	σ_T , Н/мм ²	$\sigma_{Tб}$, Н/мм ²	p_{cp} , Н/мм ²	P , МН
9	РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	64,63	23,06	31,5	22,1	0,42	4,38	0,235	0,358	129,9	88,71	161,88	0,24
10	Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	42,6	44,18	12,7	9,22	0,42	6,02	0,213	0,323	157	88,71	213,42	0,4
11	РО-Овал	51,2	14	26,6	20	58	17,4	24,6	17,76	0,43	7,52	0,2	0,302	166,7	88,71	206,2	0,208
12	Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	30,27	29,2	6,4	4,87	0,34	9,6	0,193	0,291	185,5	88,71	239,77	0,21
13	РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	39,6	14,24	11,3	8,09	0,38	10,8	0,197	0,297	195,2	88,71	242,93	0,136

Таблиця 2.16 – Результати розрахунків сили прокатування в системі калібрів овал-ребровий овал (абсолютне обтиснення розраховане за методом наведеної штаби)

Кліть №	Система заготовка -калібр	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	l_d , мм	B_{cp} , мм	Δh , мм	Δh_{cp} , мм	a	v , м/с	f	f_{Π}	σ_T , Н/мм ²	$\sigma_{T\delta}$, Н/мм ²	p_{cp} , Н/мм ²	P , МН
9	РО-Овал	66,3	19,3	34,8	26,7	64,63	23,06	31,5	18,32	0,36	4,38	0,235	0,358	129,9	88,71	156,72	0,23
10	Овал-РО	26,7	34,8	14	51,2	42,6	44,18	12,7	6,11	0,31	6,02	0,213	0,323	157	88,71	202,02	0,38
11	РО-Овал	51,2	14	26,6	20	58	17,4	24,6	14,35	0,36	7,52	0,2	0,302	166,7	88,71	198,18	0,2
12	Овал-РО	20	26,6	13,6	33,2	30,27	29,2	6,4	5,89	0,39	9,6	0,193	0,291	185,5	88,71	201,9	0,17
13	РО-Овал	33,2	13,6	21,9	16,5	39,6	14,24	11,3	5,82	0,29	10,8	0,197	0,297	195,2	88,71	233,22	0,13

За отриманими результатами побудуємо графік залежності зміни сили прокатування при різних даних абсолютного обтиснення

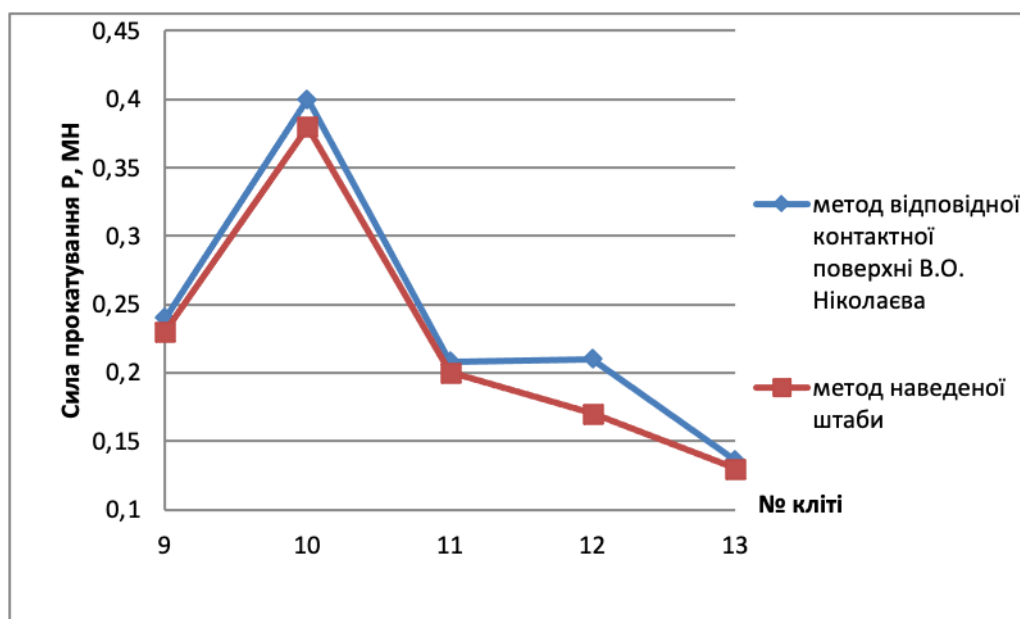


Рисунок 2.11 – Залежність зміни сили прокатування в системі калібрів овал-ребровий овал при різних значення абсолютного обтиску

Висновок. Значення сили прокатування в системі калібрів овал-ребровий овал, які розраховувались за допомогою даних середнього обтиснення по методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва значно більше даних, які розраховувались за допомогою середнього обтиснення по методу наведеної штаби. Звертаючи увагу на те, що метод наведеної штаби не враховує розширення штаби на відміну від методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва, то значення сили прокатування з даними метода відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва є більш точними на відміну від інших значень. При розрахунку потужності електродвигуна треба використовувати значення, отримані методом відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва для запобігання поломки стана на практиці.

З ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ВПЛИВУ ФОРМИ КАЛБРІВ НА ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ ПРИ ПРОКАТЦІ РІЗНОЇ ФОРМИ

Техніко-економічні показники виробництва сортової сталі.

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

Витрата теплової енергії на дрібно сортих станах 250 складає 2100 - 2500 МДж/т.

Витрата електроенергії – 40-70 кВт·ч/т. [1]

В даній роботі розрахована сила прокатування при різних значеннях абсолютного обтискання (для розрахунків були обрані значення, які отримані по методу наведеної штаби і методу відповідної контактної поверхні В.О. Ніколаєва). Значення сили прокатування, отримані методом наведеної штаби менші ніж значення, отримані методом відповідної контактної поверхні. Якщо при розрахунку потужності електродвигуна використовувати значення, отримані методом наведеної штаби, це може на практиці призвести до поломки стана, тому що фактична сила прокатування буде більше, ніж та, яку використовували при розрахунку.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

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

Об'єктом дослідження є приміщення кафедри МТЕТБ, план якого наведено на рис. 4.1.

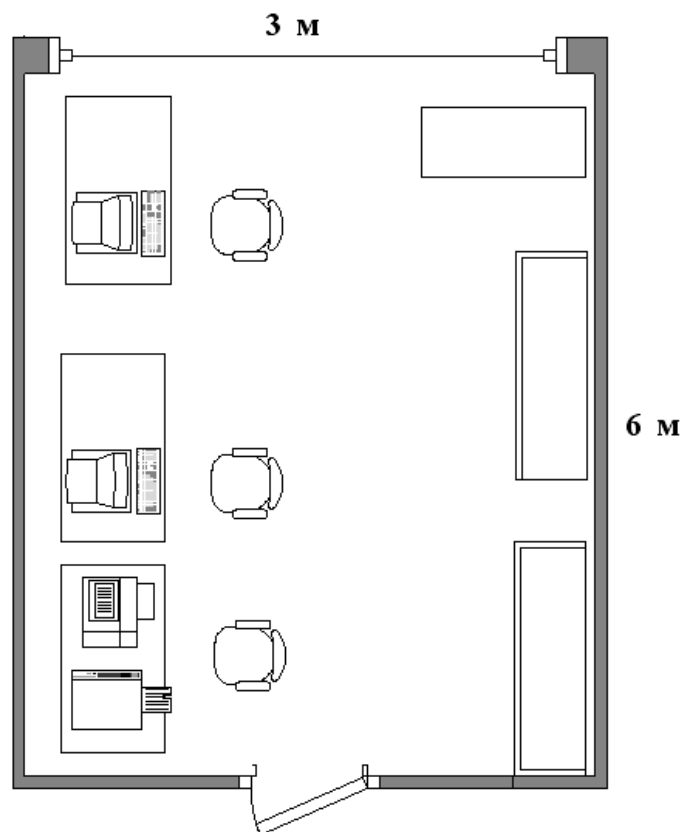


Рисунок 4.1 – План приміщення

Площа кімнати становить 18 м^2 , висота – $2,6 \text{ м}$, об'єм – $46,8 \text{ м}^3$. У кабінеті працює 2 чоловіка, на кожного доводиться 9 м^2 площі приміщення і $23,4 \text{ м}^3$ об'єму приміщення. У відповідності з СНіП 11-90-81 найменше допустиме значення площі і об'єму виробничих приміщень на одного працюючого складає відповідно 6 м^2 і 20 м^3 , отже фактичне значення площі приміщення на одного працюючого більше нормативного.

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

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

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

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

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

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів для робочого місця приміщення представлені в таблиці 4.1.

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

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу

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

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

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

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

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

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

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

4.3 Виробнича санітарія

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

повітряного середовища [12].

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ультрафіолетове випромінювання корисне в невеликих кількостях, але у великих дозах приводить до дерматиту шкіри та головного болю. Інфрачервоне випромінювання приводить до перегріву тканин людини (особливо хрусталика ока), підвищенню температури тіла. Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більш 20 кв/м. Поверхневий електростатичний потенціал не

повинен перевищувати 500 В. При підвищеному рівні напруженості полів варто скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви на протязі півтори годин роботи і, звичайно ж, застосовувати захисні екрани. Захисний екран, виготовлений із дрібної сітки або скла, збирає на собі електростатичний заряд. Для зняття заряду екран монітора заземлюють.

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

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

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

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

4.4 Заходи з електробезпеки

За небезпекою ураження електричним струмом приміщення належить до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом працюючих. Напряга джерела живлення комп'ютерів у приміщенні – 220 В.

Основними причинами поразки працівників приміщення електричним

струмом на робочому місці можуть бути:

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

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

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

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

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

4.5 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Аналізоване приміщення за небезпекою виникнення пожежі відповідно до ОНТП 24-86 відноситься до категорії В (пожеженебезпечні – в ньому наявні легкозаймисті речовини – папір, дерево) [15].

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

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

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

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

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

В випадку виникнення пожежі перш за все потрібно відключити джерело живлення, сповістити про пожежу в пожежну частину. Евакуювати сторонніх людей, які могли опинитися в небезпечній зоні і лише після цього приступити до гасіння пожежі і рятування цінного обладнання.

Будівля, в якій знаходиться наше приміщення обов'язково має резервний

вихід на випадок екстреної евакуації працівників і неможливістю використання основного виходу.

4.6 Розрахунок повітрообміну у приміщенні

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

Проведемо розрахунок надходження тепла в приміщення, Вт:

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

Надходження тепла під час роботи обладнання, Вт:

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

де n – кількість комп'ютерів, $n=2$;

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

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

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

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

Розрахуємо надходження тепла від людей, Вт:

$$Q_{\text{л}} = n_{\text{л}} \cdot q_{\text{л}}, \quad (3.3)$$

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

Обчислюємо кількість загального тепла в приміщенні:

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

Проведемо розрахунок повітрообміну, м³/год:

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

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

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

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

ВИСНОВКИ

При виконанні даної роботи були визначені значення абсолютного обтискання в системах калібрів ромб-квадрат, овал-квадрат, овал-ребровий овал за наступними методами:

- метод наведеної штаби;
- метод відповідної штаби;
- метод відповідної контактної поверхні;

Про метод наведеної штаби можна сказати, що це найпростіший спосіб визначення середнього обтиснення. Спосіб передбачає заміну калібру прямокутником з рівною шириною. Основною дією цього методу є визначення площ поперечних перерізів прямокутників, потім визначення висоти штаби.

Метод відповідної штаби А.Ф. Головіна передбачає заміну форм заготовки та калібру прямокутниками з рівновеликими площами поперечних перерізів і рівними відносинами осей. Метод складніше попереднього, але також простий у використанні. Недоліком цих двох методів є те, що не враховується розширення штаби в калібрі.

На відміну від попередніх методів, метод відповідної контактної поверхні враховує розширення штаби. Метод розрахунку передбачає визначення середнього обтиснення графо-аналітичним методом. Були визначені коефіцієнти форми площі контактної поверхні, які значно впливають на середнє обтиснення. Порівнюючи цей метод з методом відповідної і наведеної смуги можна сказати, що метод є більш точним. При розрахуванні цим методом можна побачити повну картину осередку деформації (отримання форми контакту штаби з валками).

Розрахунок сили прокатки і розширення провели за значеннями абсолютного обтиснення, які були отримані методом наведеної штаби і методом відповідної контактної поверхні. Дані сили прокатки і розширення при значеннях абсолютного обтискання за методом наведеної штаби менше ніж при значеннях за методом відповідної контактної поверхні. Тому доцільно розраховувати

абсолютне обтискання за методом відповідної контактної поверхні (так як він дає більш точні дані) і використовувати саме ці дані для розрахунку сили прокатування. Дані, отримані за цим методом дадуть змогу уникнути перевантаження електродвигуна.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. *Сердюк, І.А.* Технологія прокатного виробництва : А.І. Сердюк, В.Н. Куркчи. – Маріуполь, 2006. – 367 с.
2. *Штода, М.М., В.М. Самохвал,* Основи калібровки валків: Дніпродзержинськ, 2016. - 88 с.
3. *Чекмарев, А.П,* М.С. Мутъев, Р.А. Машковцев: Калибровка прокатных валков: Металлургия, 1971. - 512 с.
4. *Николаев, В.А.* Деформация металла при прокатке в калибра: Запорожье: ЗГИА, 2006. - 196 с.
5. Николаев В.А. К расчёту коэффициента трения при горячей прокатке // Известия вузов. Чёрная металлургия. 1994. №10. –С.18-19.
6. Эффективность деформации сортовых профилей: Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко -: Київ, 2020. – 60 с.
7. *Николаев, В.А.* Теория прокатки полос: учебное пособие: Запорожье: ЗГИА, 2014. - 258 с.
8. Николаев В.А. Уширение металла при прокатке // Известия вузов. Чёрная металлургия. 1970. №7. – С.71-75.
9. Николаев В.А. Влияние характера течения металла в очаге деформации на среднее нормальное контактное напряжение // Металл и литьё Украины. 2003. №11,12. – с.35,36.
10. Николаев В.А. Мощность и средние контактные напряжения при сортовой прокатке металла // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2005. №2. – с.40-42.
11. Николаев В.А. Расчёт истинного предела текучести при горячей деформации металла: 1999. №1. – С.26-29.
12. Жидецький В.Ц. Охорона праці користувачів комп'ютерів / Жидецький В.Ц. – Львів: Афіша, 2003. – 173 с.
13. Геврик Є.О. Охорона праці: Ніка-Центр, 2003. – 280 с.
15. Г.В. Фесенко, . Основи пожежної безпеки. – М.Харків, 2013.