МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
___Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки__

Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти ___другий (магістерський)_рівень___

на тему _**Удосконалення технологічного процесу прокатки прутків у клітях з багатовалковими калібрами**

Виконав: студент __II_ курсу, групи 8.1364-омт

Р. С. Кудальцев _____
(ПІБ)……(підпис)

спеціальності _____136 Металургія_____
(код і назва спеціальності)
освітньо-професійна програма
___Обробка металів тиском__
(шифр і назва освітньої програми)

Керівник

доц. каф. МТЕТБ, с.н.с., к.т.н. В.М. Проценко

Рецензент
Зав. каф. МТЕТБ, проф., д.т.н. Ю.О. Бєлоконь

Запоріжжя – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально – науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра ____металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___

Рівень вищої освіти __другий (магістерський) рівень_____

Спеціальність _____136 «Металургія»_____

(код та назва)

Освітньо-професійна програма _____Обробка металів тиском_____

(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

_____Ю.О. Бєлоконь

“_ __” _____2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____Кудальцеву Роману Сергійовичу_____

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) ***Удосконалення технологічного процесу прокатки прутків у клітях з багатовалковими калібрами_____***

керівник роботи (проєкту)__Проценко Віктор Максимович, к.т.н., с.н.с.____,

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “27” 02 25 р. № 319-с

2. Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2025 року_____

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики, курсові проєкти, технічна документація прокатного цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь», літературні джерела, інтернет-ресурси_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат. Вступ. Літературний огляд. Аналітично-розрахункова частина. Механічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки.

Мета кваліфікаційної роботи – удосконалення технології прокатки прутків у клітях з багатовалковими калібрами, а також створення наукових передумов для ефективного використання неперервних груп таких клітей у

складі агрегатів, що поєднують процеси пресування, прокатки і контрольовану термічну обробку.

Надати інформацію щодо перспектив створення комбінованих агрегатів для виробництва прутків і профілів, промислових технологій, що використовуються для цього прокаткою в багатовалкових калібрах; навести схеми процесу прокатки і перспективний варіант конструкції гідроприводу валків; конструктивні особливості прокатних клітей і станів для прокатки прутків. Надати характеристику процесу прокатки-пресування і лиття-прокатки-пресування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схеми прокатних станів, багатовалкових клітей, гідроприводів. Збірки багатовалкових калібрів, епюри деформацій. Результати розрахунку калібрування валків. Графіки розрахункових залежностей тощо.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Вступ, реферат, 1–4, висновки, перелік літератури	Проценко В.М., доц. каф. МТЕТБ	

7. Дата видачі завдання __05.09.2025 року.__

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ, розділ 1.	08.09.25 – 30.09.25	
2.	Розділи 2 - 3	01.10.25 – 30.10.25	
3.	Охорона праці (розділ 4), висновки, оформлення ПЗ і креслень, підготовка доповіді і презентації.	01.11.25 – 30.11.25	

Студент _____ (підпис) **Кудальцев Р.С.** (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ (підпис) **Проценко В.М.** (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ (підпис) **Бєлоконь Ю.О.** (прізвище та ініціали)

Реферат

Кваліфікаційна робота магістра містить: _86_ с., _17_ рис., _15_ табл.; використано літературних джерела _15_.

ПРОКАТНА КЛІТЬ, БАГАТОВАЛКОВІ КАЛІБРИ, ПРУТОК, ПРОФІЛЬ, ГІДРОПРИВІД, СУМІЩЕНІ АГРЕГАТИ, ПРОКАТКА-ПРЕСУВАННЯ, МОДУЛІ, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.

Об'єкт дослідження – виробництво прутків і дрібносортних профілей прокаткою у клітях з багатовалковими калібрами.

Метою магістерської роботи є удосконалення технології прокатки прутків у клітях з багатовалковими калібрами, а також створення наукових передумов для ефективного використання неперервних груп таких клітей у складі агрегатів, що поєднують процеси пресування, прокатки і контрольовану термічну обробку. Методи розрахунків – стандартні методики розрахунків у програмних комплексах Mathcad Prime, Excel. Аналітичні розрахунки на основі математичних моделей і комп'ютерне моделювання у системі САПР AutoCAD Mechanical.

Отримані результати і їх новизна – запропоновано варіант індивідуального гідроприводу валків редукційно-розтяжного стану, що дозволяє реалізувати досить гнучку систему автоматичного управління з швидкою перебудовою режиму прокатки з метою отримання різного сортаменту в межах одного парку валків стану.

Виконано розрахунок можливості реалізації процесу поєднаної прокатки-пресування і розрахунок енергосилових параметрів пресування прутка. Отримані результати рекомендуються для впровадження у прокатному цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь» для вибору найбільш раціональних умов неперервної прокатки прутків з регламентованим міжклітьовим натяжінням і температурно-швидкісним режимом, що гарантує забезпечення необхідної високої якості продукції.

ЗМІСТ

ВСТУП …….. 7
1 СУЧАСЕМЙ СТАН ТЕХНІКИ ПРОКАТКИ ПРУТКІВ У КЛІТЯХ З БАГАТОВАЛКОВИМИ КАЛІБРАМИ ..……..…….. 8
1.1 Перспективи створення комбінованих агрегатів для виробництва прутків і профілів …….…… 8
1.2 Огляд промислових технологій, що використовуються для виробництва прутків і профілів прокаткою в багатовалкових калібрах 13
1.3 Постановка завдання розробки та дослідження технології виробництва простих сортових профілів …….. 26
2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ СУМІЩЕНОГО ПРЕСОВО-ПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРУТКІВ …..……..……..… 28
2.1 Перспективи застосування гідроприводу валків прокатних клітей …… 28
2.2 Перспективний варіант конструкції гідроприводу валків ..…. 33
2.3 Конструктивні особливості прокатних клітей і станів для прокатки прутків ..……... 37
2.4 Експериментальний аналіз процесів прокатки прутків у калібрах конічних валків ……... 47
3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА …….…….. 56
3.1 Технології поєднаних та комбінованих процесів обробки металів та їх сплавів ……...……..….. 56
3.2 Характеристика процесу прокатки-пресування …….. 59
3.3 Характеристика процесу лиття – прокатки – пресування ……. 60
3.4 Розрахунок енергосилових параметрів пресування прутка ……..... 70

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННІ БЕЗПЕКА ……..…….. 77

4.1 Ідентифікація потенційно шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що впливають на персонал і оточуюче середовище ……... 77

4.2 Розробка інженерно-технічних заходів захисту від шкідливих і небезпечних для персоналу виробничих факторів ……..…….. 78

4.3 Об'ємно-планувальні рішення будівель і споруд цеху ..…….. 79

4.4 Рішення щодо виробничої санітарії ……..…… 80

ВИСНОВКИ ……. 81

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ……...……. 83

ДОДАТОК 1 Тези доповіді на конференції «Молода наука – 2025»… 85

ВСТУП

Відомо, що міні-металургійні виробництва дозволяють вирішити ряд проблем при організації випуску високотехнологічної продукції в порівняно невеликих обсягах. На цих підприємствах простіше проводити технічне переоснащення, використовувати порівняно дешеві сировинні ресурси завдяки можливості розміщення підприємств в безпосередній близькості від великих металургійних підприємств, що мають досить велику кількість металів у вигляді відходів.

На міні-металургійному заводі можлива реалізація в єдиному технологічному потоці процесів виплавки металу, його розливу та інтенсивної гарячої деформаційної обробки з метою граничного зменшення металоємності обладнання, забезпечення його швидкого і простого переналагодження, розширення технологічних можливостей автоматичного управління температурно-швидкісним режимом при поєднанні таких на перший погляд різних за динамікою процесів, як пресування і безперервна прокатка.

Виготовлення продукції широкого сортаменту і металовиробів з особливими фізико-механічними властивостями доцільно організовувати саме на міні-заводах або на спеціально створених під випуск цієї продукції підприємствах або ділянках малотоннажного металургійного виробництва з повним циклом. Однак, чим менше обсяги виробництва, тим важче досягається його рентабельність.

У даній роботі розглянуто один з можливих перспективних шляхів вирішення сучасних проблем міні-металургійних виробництв, пов'язаних з актуальною потребою в розширенні асортименту металовиробів, що випускаються малими партіями, виробництво яких на великих металургійних заводах і комбінатах економічно недоцільне через тривалі і складні переналадки обладнання та систем управління технологічними процесами.

Метою даної роботи є удосконалення технології прокатки прутків у клітях з багатовалковими калібрами, а також створення наукових передумов для ефективного використання неперервних груп таких клітей у складі агрегатів, що поєднують процеси пресування, прокатки і контрольовану термічну обробку.

1 СУЧАСЕМЙ СТАН ТЕХНІКИ ПРОКАТКИ ПРУТКІВ У КЛІТЯХ З БАГАТОВАЛКОВИМИ КАЛІБРАМИ

1.1 Перспективи створення комбінованих агрегатів для виробництва прутків і профілів

Історично першим розробником концепції міні-заводів у 50-х роках минулого століття є фірма «Danieli» (Італія) [1]. У розробленій концепції особлива увага приділялася проблемам енерго- та металозбереження, зменшення виробничих площ, металоємності основного обладнання, кількості допоміжного обладнання та швидкому інструментальному переналагодженню машин четвертого металургійного переділу.

Заслуговує на увагу застосування в якості машини інтенсивного стиснення безперервно-литих заготовок, встановленої в лінії прокатки, стану планетарної прокатки [2, 3]. Стиснення металу в планетарному стані проводиться в двох взаємно перпендикулярних площинах, як це показано на рис. 1.1 [4].

Основною перевагою такого типу планетарної прокатки є можливість надвисокого стиснення за один прохід з витяжкою до 40. Прокатка характеризується високою дробністю деформації. Зусилля, що прикладаються до робочих валків малого діаметра, порівняно невеликі, що дозволяє прокатувати метали і сплави з підвищеним опором деформації, зокрема захолоджений метал. Розігрів при стисненні настільки інтенсивний, що подальша сортова прокатка не вимагає підігріву штаби.

Застосування планетарних клітей поздовжньої прокатки доцільне в складі однопоточних ливарно-прокатних агрегатів невеликої продуктивності, призначених для випуску продукції з високолегованих сталей і сплавів. Широкому промисловому застосуванню агрегатів з планетарним станом заважають виявлені в процесі експлуатації недоліки. Для прокатки в планетарній кліті потрібний досить потужний пристрій, що задає розкат.

Практично неможливо здійснювати докатку в кліті кінців заготовки. Високі динамічні навантаження не сприяють працездатності обладнання.

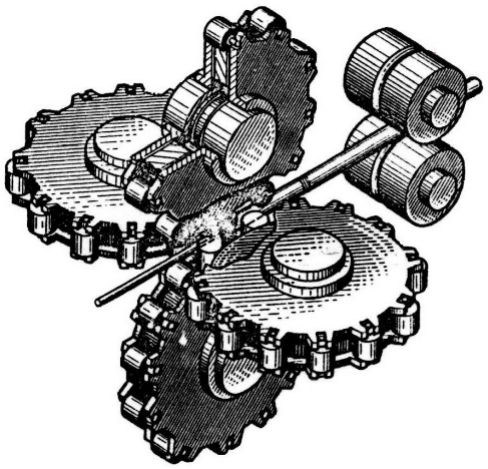


Рисунок 1.1 - Схема сортової поздовжньої планетарної прокатки

У розвитку техніки і технології суміщених процесів у виробництві дрібного сорту, дроту і труб важливе місце займають кліті поперечно-гвинтової прокатки [13]. Для поперечно-гвинтової прокатки (ПГП) використовуються два види клітей: стаціонарні, при стисненні в яких обертається заготовка, і обертові, в яких без обертання заготовка рухається в осьовому напрямку. Стаціонарні кліті, хоча і конструктивно простіші, не застосовуються в комбінованих агрегатах. Обертова кліть поперечно-гвинтового прокатування (ПГП), конструктивне виконання якої показано на рис. 1.2, придатна для прямого поєднання як МНЛЗ криволінійного типу, так і з блоками прокатних клітей дрібносортного і дротяного стану.

Виробниками подібних клітей є німецькі фірми «Schlocmann-Siemag», «Mannesmann-Demag», «Kabel und Metallwerke».

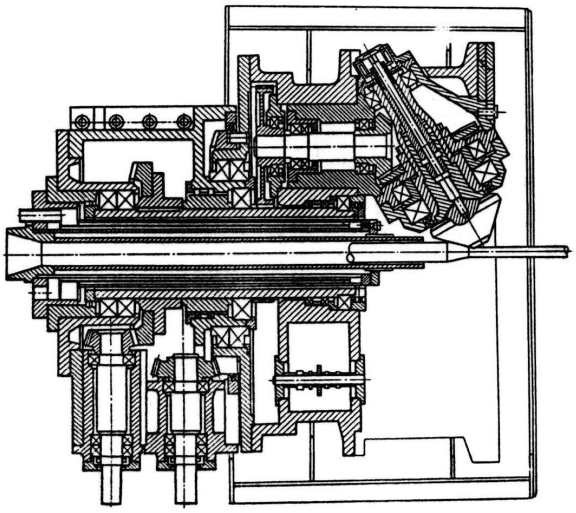


Рисунок 1.2 - Обертова кліть поперечно-гвинтового прокатування

Витяжка в кліті гвинтового прокатування досягає семикратної величини [13], що покращує температурний режим прокатування і зменшує енергоємність всього процесу виробництва сорту. За рахунок додаткових зсувних деформацій при гвинтовому прокатуванні відбувається більш глибоке опрацювання структури металу, що позитивно позначається на якості металу. Поєднання гвинтового і поздовжнього прокатування значно скорочує виробничі площі і знижує металоємність обладнання. Всі ці особливості станів ПВП робить їх ефективними за багатьма техніко-економічними показниками. В даний час вони експлуатуються в ряді країн, зокрема в Німеччині, Швеції, Японії, Італії.

З появою так званих безстанинних компактних сортопрокатних клітей, що об'єднуються в малогабаритні групи і блоки, безперервну прокатку в обтискних і чорнових групах таких клітей стали відносити до процесів інтенсивного обтиску [13, 15], оскільки при рівній витяжці групи і блоки займають виробничі площі не більше, ніж інші агрегати, що замінюють обтискну прокатку. Безстанинні кліті в даний час випускаються багатьма зарубіжними фірмами: «Sket» і «SMS» (Німеччина), «Danieli» і «Pomini»

(Італія), «Kocks» (США) та ін. Основними перевагами безстанинних клітей є наступні [13]:

– кліті можуть використовуватися для установки як у горизонтальному, так і у вертикальному положенні;

– зменшення маси кліті на 15…30 % у порівнянні з аналогічними клітями традиційної конструкції;

– можливість попереднього напруження клітей і оптимальний розподіл навантаження на опори валків;

– підвищена жорсткість клітей;

– швидка заміна валків і самих клітей.

Як приклад на рис. 1.3 показана конструкція безстанинної кліті фірми SMS з двохопорною установкою валків.

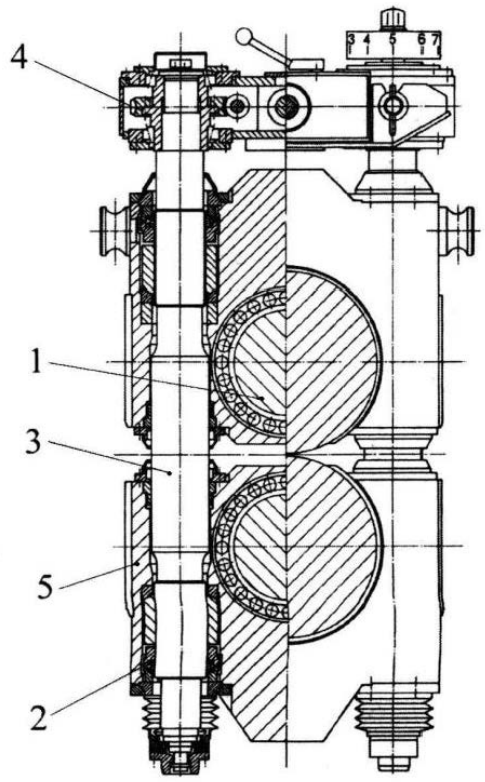


Рисунок 1.3 - Безстанинна прокатна кліть фірми «SMS»:

1 – валок; 2 – сферична шайба; 3 – натискний гвинт; 4 – натискний пристрій; 5 – подушка

Кліть має високу жорсткість (до 7200 кН/мм) і може за допомогою люнетів встановлюватися як у вертикальному, так і горизонтальному положенні. Консольні кліті, наприклад, фірми «Danieli» мають більш компактне виконання приводу, але програють у жорсткості та гранично допустимих навантаженнях.

З точки зору зниження металоємності прокатного обладнання, що виробляє дрібносортну і дротяну продукцію, подальше вдосконалення конструкцій клітей, з метою зменшення їх маси і габаритів неефективно через збереження громіздкого електромеханічного приводу (рис. 1.4). Безстанинні малогабаритні кліті дозволяють ефективно застосовувати попереднє напруження, що важливо для чистових груп клітей сортових і дротяних станів.

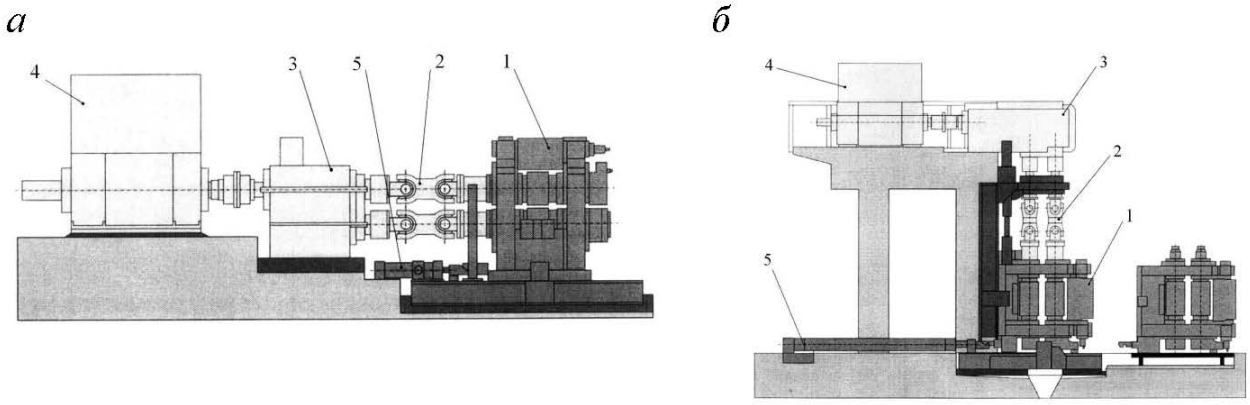


Рисунок 1.4 - Встановлення прокатної кліті з горизонтальним (а) і вертикальним (б) розташуванням валків фірми «Sket»:

1 – прокатна кліть; 2 – шпинделі; 3 – шестерня кліть; 4 – електродвигун; 5 – пристрій перевалки

Якщо мова йде про створення хоча і малотоннажного, але широко асортиментного виробництва і про можливість без реконструкції нарощувати обсяги випуску продукції, доцільно використовувати модульні принципи створення і розміщення обладнання. У цьому випадку під модулем розуміється сукупність обладнання, достатня для повної реалізації технології виготовлення конкретного виду продукції. Модулі, кожен з яких має

порівняно низьку продуктивність, можуть бути рентабельними тільки в разі низької металоємності, при високому рівні автоматизації і гранично низькій енергоємності технології, що реалізується на кожному модулі. Отже, принципи поєднання переділів і операцій повинні бути покладені в основу розробки простих, компактних і швидко переналаштовуваних модулів. Кожна одиниця обладнання в складі модуля повинна бути максимально керованою і придатною для обробки матеріалів при широкому як марочному, так і типорозмірному сортаменті продукції.

Конкуренцію електроприводу складає гідропривід. Якщо можливе створення компактних гідромоторів для установки на прокатні кліті, то привід може бути безредукторним і безшпиндельним, отже, гранично компактним. Гідроприводні прокатні блоки доцільно встановлювати в модулі, що включає гідравлічний прес, який працює від насосно-акумуляторної станції (НАС). Якщо в цеху кілька модулів, то колективне використання НАС мало впливає на металоємність і окупність кожного модуля.

1.2 Огляд промислових технологій, що використовуються для виробництва прутків і профілів прокаткою в багатовалкових калібрах

Прокатка в багатовалкових калібрах показала свою ефективність не тільки при виготовленні простих, але і фасонних профілів [6]. В першу чергу, порівняно легко досягається висока жорсткість клітей і, отже, висока розмірна точність прокатки. У будь-якому конструктивному виконанні кількість опор валків у цих клітях більша, ніж у двовалкових клітях. У більшості випадків багатовалковий калібр розміщується в цілісній замкнутій станині, що знижує пружні деформації під дією різноспрямованих сил.

Крім того, в цих калібрах змінюється кінематика течії металу, істотно зменшується розширення, і навіть можлива прокатка з утяжкою профілю. В останньому випадку діаметр заготовки може бути більшим за найбільший розмір перерізу одержуваного профілю. Зокрема, при прокатці за схемою

круг-квадрат, діаметр перерізу заготовки може бути більшим за довжину діагоналі квадратного калібру. В результаті, можливе досягнення більших витяжок, ніж при двовалковій прокатці. Автори [6] витяжну здатність багатовалкових калібрів, а також систем калібрів здійснюють коефіцієнтом ефективності деформації

$$К_{еф} = \frac{\lambda - 1}{\lambda_0 - 1},$$

де λ - реальна витяжка при прокатці в багатовалковому калібрі;

λ_0 - витяжка без урахування розширення або звуження профілю.

Суть коефіцієнта ефективності деформації в калібрах за І.М. Павловим зводиться до виразу

$$К_{еф} = \frac{V_\lambda}{V_n} = 1 - \lambda \cdot \frac{S_b}{S_n},$$

де V_λ - об'єм металу, зміщений валками в поздовжньому напрямку; V_n – загальний обсяг металу, зміщений валками; S_b – площа перетину штаби, зміщена в поперечному напрямку; S_n – загальна площа перетину штаби, зміщена валками.

Якщо $К_{еф}>1$, то при багатовалковому сортовому прокатуванні спостерігається утяжка профілю і можливе підвищення витяжок у відповідному калібрі. При $К_{еф}<1$ розширення, навіть при порівняно невисоких витяжках, створює переповнення калібру і витікання металу в зазори між валками з утворенням задирок. При $К_{еф}=1$ діаметри кіл, описаних навколо перерізів заготовки і штаби, збігаються. За даними [6], $К_{еф}$ зростає за інших рівних умов зі збільшенням кількості валків, що утворюють калібр.

У роботі [6] наводиться класифікація сортових станів з багатовалковими калібрами. Сортові, дрібносортні та дротові стани з багатовалковими калібрами класифікують таким чином:

1) стани з тривалковими калібрами;

2) стани з чотиривалковими калібрами;

3) стани з багатовалковими калібрами, що мають змінні касети з тривалковими і чотиривалковими калібрами.

Вперше кліті з тривалковими калібрами були побудовані в 50-х роках італійським винахідником Проперці [7]. Спосіб прокатки і конструкції безперервних станів з тривалковими калібрами постійно вдосконалюють [8].

У роботі [8] описано стан розвитку конструкцій клітей з тривалковими калібрами з посиланнями на патенти US2789450, US3142208 і US3552164. Також безперервні стани, що мають тривалкові калібри, конструкції «ВНІІметмаша» описані в роботах А.І. Целікова [8].

Перший промисловий чистовий блок клітей з тривалковими калібрами конструкції фірми «Kocks», призначений для отримання сталевої катанки, був пущений в експлуатацію в 1957 р. [9]. Конструкція безперервного стану для цього блоку була запатентована Ф. Коксом ще в 1940 р. (пат. US2214279). Потім конструкції дротяних і дрібносортних безперервних станів з тривалковими калібрами, що випускаються фірмою «Kocks», безперервно вдосконалювалися.

На рис. 1.5 представлена чистова робоча кліть з одним вхідним валом. Ця кліть має механізм радіального регулювання валків у вигляді ексцентрикових втулок, шарнірно з'єднаних з приводом їх повороту.

Істотний недолік описаних прокатних клітей з тривалковими калібрами – низька навантажувальна здатність за зусиллям прокатки і за крутним моментом, що підводиться до валків. Це знижує величину деформації штаби в кожній кліті і обмежує можливість прокатки матеріалів з високим опором деформації. Для усунення цього недоліку фірма «Kocks» створила конструкції клітей і блоків з індивідуальним приводом кожного валка [9].

У практиці виробництва достатнє поширення отримала конструкція кліті з трьома вхідними валами фірми «Kocks» (рис. 1.6).

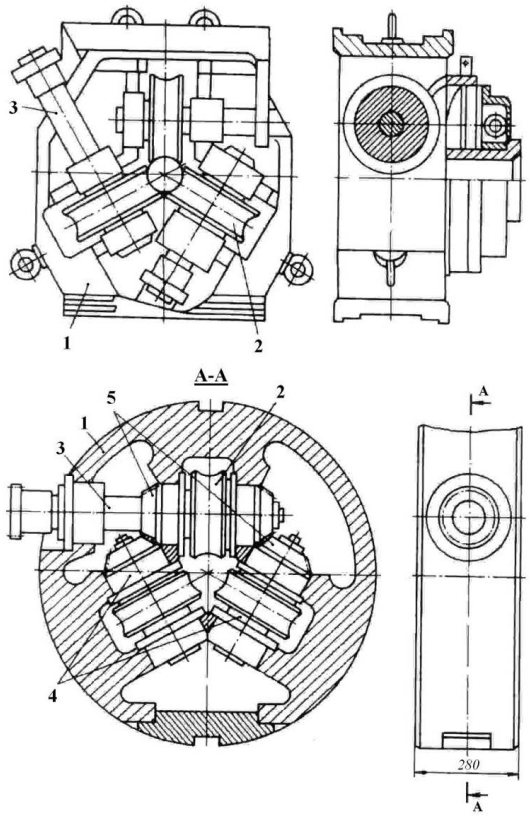


Рисунок 1.5 - Тривалкова кліть з одним вводом за US2214279:

1 – станина; 2 – валки; 3 – приводний шпиндель; 4 – вісь валка; 5 – опори підшипників

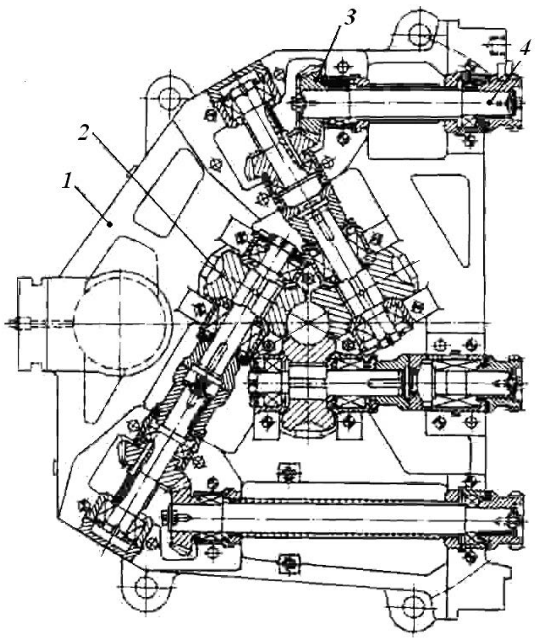


Рисунок 1.6 - Тривалковий робочий кліть конструкції фірми «Kocks» [9]: 1 – робочий кліть; 2 – робочий валок; 3 – конічне зачеплення; 4 – ввідний вал

У такій конструкції конічні зачеплення, хоча і істотно віддалені від робочих валків, але змонтовані в корпусі кліті і є його невід'ємною частиною. Несуча здатність кліті підвищується в результаті ускладнення самої кліті і введення окремої шестерної кліті з сімома шестернями, розташованими у вертикальній площині.

Тривалкові кліті з трьома вводами можуть бути різної конструкції, але в усіх випадках умови роботи конічних зачеплень значно поліпшені, оскільки ці передачі віднесені від зони валків; підшипникові вузли всіх трьох валків знаходяться в рівних умовах, зазнаючи тільки радіальних навантажень, а осьові зведені до нуля.

Подібні конструкції клітей запропоновані Проперці (Італія) [40], компанією «Sumitomo Heavy Industries Ltd» (Японія) [41]. Валки клітей мають осьове і радіальне регулювання в обмежених діапазонах (3...6 мм), які залежать від діаметрів валків. Останні конструкції тривалкових клітей компанії «Kocks» [3] дозволяють здійснювати перевалку валків без демонтажу шпинделів приводу клітей.

Із існуючих у сучасній практиці прокатних багатовалкових сортових кліті найефективнішими визнаються чотиривалкові, де навіть при порівняно малих витяжках $К_{еф}$ може перевищувати одиницю. Тривалкові кліті, що застосовуються при прокатці за схемою круг-трикутник-круг, займають за ефективністю проміжне положення між дво- і чотиривалковими клітями. Кліті з числом валків більше чотирьох не знайшли промислового застосування через складність конструктивного виконання, малу надійність і складність налаштування при отриманні точних профілів.

Основним конструктивним недоліком клітей з багатовалковими калібрами слід вважати застосування довгих трансмісійних ланцюгів приводу.

Один двигун за допомогою головного редуктора передає пряме обертання лише на один валок кліті. Решта приводяться в дію за рахунок трансмісійних валів і додаткових конічних редукторів. Також відомо, що

традиційна схема приводу будь-якого прокатного стану включає в себе головний редуктор, що забезпечує необхідне передавальне число між електродвигуном і робочою кліткою, і шестерню клітку, призначену для розподілу переданого моменту між валками робочої клітки [5]. Для з'єднання шестерневої та робочої клітей використовуються універсальні або зубчасті шпинделі [7].

Досить повний огляд існуючих варіантів приводів сортопрокатних станів і шляхи вдосконалення описані автором роботи [2]. Низька стійкість конічних зубчастих передач і швидка поява люфтів в лінії приводу погіршують експлуатаційні характеристики клітей. Люфти створюють асиметрію осередків деформації в моменти входу штаб. Результатом є відгин виходять передніх кінців штаб, додаткові навантаження на проводкові пристрої, необхідність різання досить довгих передніх кінців летючими ножицями. Варіанти виконання клітей з частково приводними валками не рятують положення, оскільки холості валки також породжують асиметрію процесу прокатки.

Відмінною особливістю конструкцій багатовалкових клетей є спосіб складання багатовалкових калібрів. Існуючі способи складання тривалкових [9], чотиривалкових [7] і багатовалкових [8] калібрів, призначених для витяжної прокатки, досить повно висвітлені в літературі.

Найпростіший спосіб складання тривалкових калібрів, широко використовуваних для гарячої витяжної та чистової прокатки чорних і кольорових металів, – складання з зазором між сусідніми валками (рис. 1.7, а). Таке складання спрощує конструкцію прокатних валків, знижує трудомісткість їх виготовлення, полегшує багаторазове відновлення і підвищує стійкість [6]. Цей спосіб складання широко використовують на дрібносортних і дротяних станах конструкції фірми «Kocks» [9].

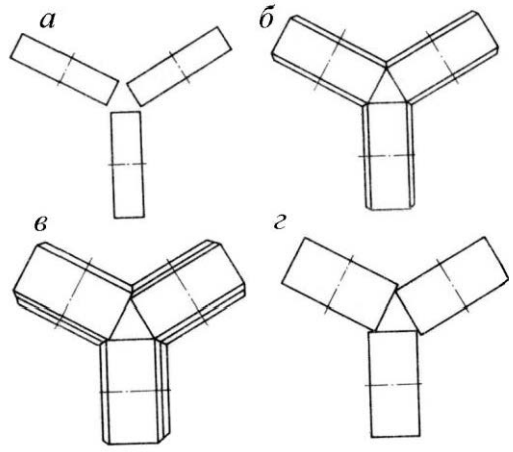


Рисунок 1.7 - Способи складання тривалкових калібрів

Збірку з зазором між сусідніми валками використовують і на станах з чотиривалковими калібрами (рис. 1.18, а), наприклад, на дротяному стані конструкції «МГМІ–SKET» [6].

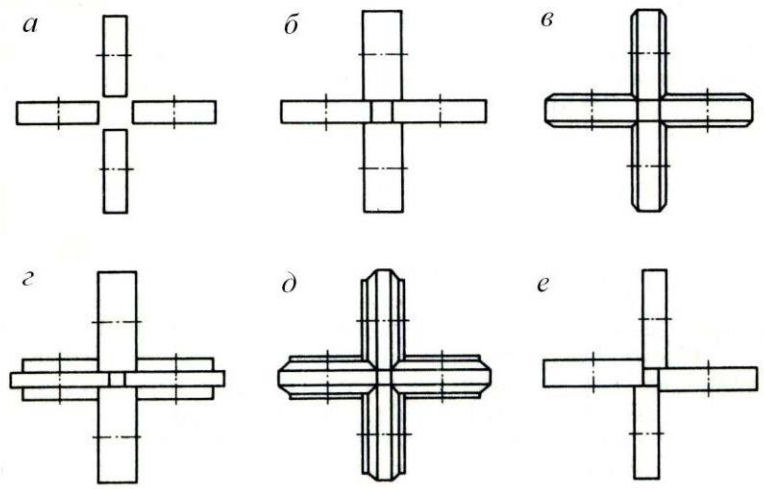


Рисунок 1.8 - Способи складання чотиривалкових калібрів

Однак спосіб складання валків у багатовалковий калібр із зазором між сусідніми валками має й істотні недоліки. При використанні калібрів, зібраних таким способом, на клітях без механізмів осьового та радіального регулювання потрібні спеціальні верстати для одночасної обробки всіх валків, змонтованих у прокатній кліті. При використанні таких калібрів на клітях з механізмами радіального і осьового регулювання для налаштування

положення валків потрібен спеціальний механізм або, принаймні, спеціальний шаблон.

Щоб уникнути зазначених недоліків, замість розглянутих способів складання багатовалкових калібрів із зазором між сусідніми валками розроблено способи складання калібрів із контактом між сусідніми валками на спеціальних замкових ділянках бочок прокатних валків (рис. 1.7, б, в; рис. 1.8, б-д). Збірка з контактом між сусідніми валками частково або повністю обмежує переміщення валків відносно один одного в радіальному та осьовому напрямках. Способи складання багатовалкових калібрів з контактом між сусідніми валками на спеціальних замкових ділянках бочок виключають додаткове налаштування калібру. Таке складання калібрів успішно використовують при прокатці фасонних профілів високої точності.

Однак збірка з контактом між сусідніми валками має істотні недоліки: ускладнюється конструкція прокатних валків, підвищується трудомісткість їх виготовлення і подальшого відновлення, збільшується витрата матеріалу.

Стійкість валків часто знижується через швидкий знос замкових ділянок бочок. Тертя на замкових ділянках бочок валків значно підвищує витрату енергії, що подається до робочих валків. Такий спосіб складання не дозволяє змінювати розміри калібру, а валки утворюють тільки один калібр [6].

Для усунення останнього недоліку розроблені способи складання багатовалкових калібрів і конструкції валків, зібраних з перекриттям бочок (рис. 1.7, г і рис. 1.8, е), що дозволяють розміщувати на бочці кожного валка два [9] або три струмки. На рис. 1.9 показані способи складання тривалкових калібрів при розміщенні на бочці кожного валка двох струмків.

При складанні першого калібру, утвореного циліндричними струмками більшого діаметра, контакт між сусідніми валками здійснюється по конічних замкових ділянках. При складанні другого калібру, утвореного циліндричними струмками меншого діаметра, контакт між сусідніми валками здійснюється по конічних замкових ділянках і торцях бочок валків.

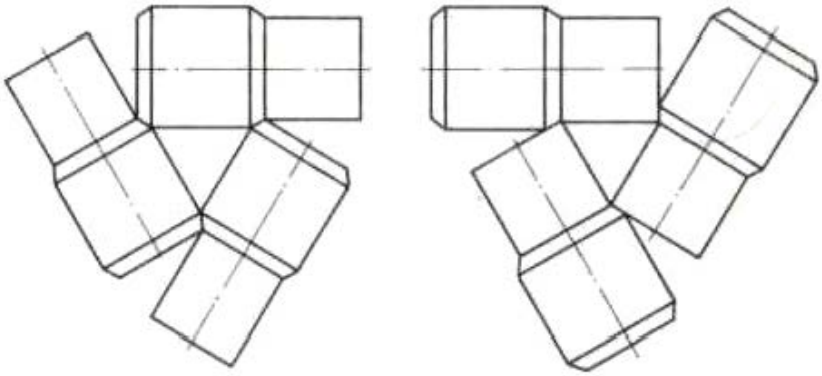


Рисунок 1.9 - Збірка тривалкових калібрів з розміщенням двох струмків на бочці кожного валка

При складанні першого калібру, утвореного циліндричними струмками більшого діаметра, контакт між сусідніми валками здійснюється по конічних замкових ділянках. При складанні другого калібру, утвореного циліндричними струмками меншого діаметра, контакт між сусідніми валками здійснюється по конічних замкових ділянках і торцях бочок валків. На рис. 1.10 показані способи складання двох чотиривалкових калібрів, один з яких утворений циліндричними струмками, а інший – фасонними [6].

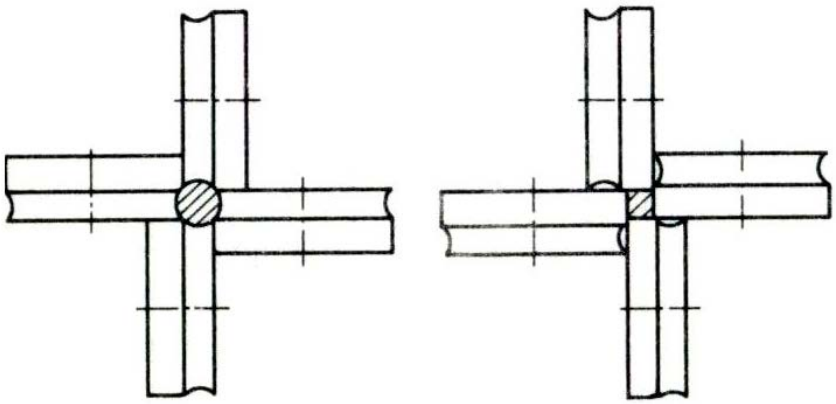


Рисунок 1.10 - Збірка чотиривалкових калібрів з розміщенням двох струмків на бочці кожного валка

Розміщення двох струмків на валках, що утворюють багатовалкові калібри, дозволяє розширити сортамент прокату, в 2 рази збільшити термін служби валків, зменшити втрати часу на перевалки, знизити витрату

інструментальної сталі і вдвічі зменшити парк робочих валків. У цьому випадку складання і регулювання розмірів багатовалкового калібру здійснюється шляхом радіального і осьового зміщення кожного з валків.

Застосування калібрів, виконаних на конічних бочках і утворених гладкими конічними бочками, відомо порівняно давно. Наприклад, двовалковий круглий калібр, утворений струмками на конічних валках, описаний в а.с. №1202645 [6]. Калібр застосований з метою підвищення точності розмірів і якості поверхні круглого профілю. Запропоноване конструктивне виконання валкового вузла показано на рис. 1.11.

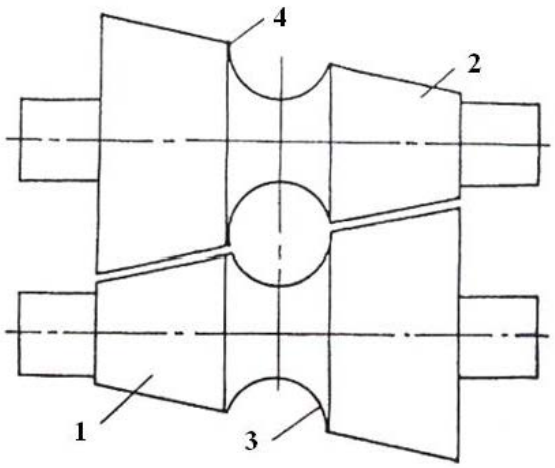


Рисунок 1.11 - Двовалковий калібр [6]

На думку авторів винаходу, підвищення точності та якості поверхні прокату обумовлено тим, що кожен елементарний перетин круглого профілю при прокатці здійснює обертально-поступальний рух уздовж осередку деформації. При цьому кожна точка поверхні круглого профілю піддається багаторазовій деформації, тобто ті частини контуру елементарного перетину, які в момент захоплення потрапляють в роз'єм калібру, здійснюючи обертально-поступальний рух уздовж осередку деформації, зміщуються відносно роз'єму і піддаються деформації в круглому калібрі. Багаторазова деформація точок поверхні профілю підвищує ефективність викатування мікродефектів.

Відомі також [11] багатовалкові калібри, утворені гладкими конічними бочками валків, що застосовуються з метою оперативної зміни розмірів калібру і розширення, за рахунок цього, технологічних можливостей обладнання. Два варіанти конструктивного виконання тривалкових вузлів з конічними валками показані на рис. 1.12.

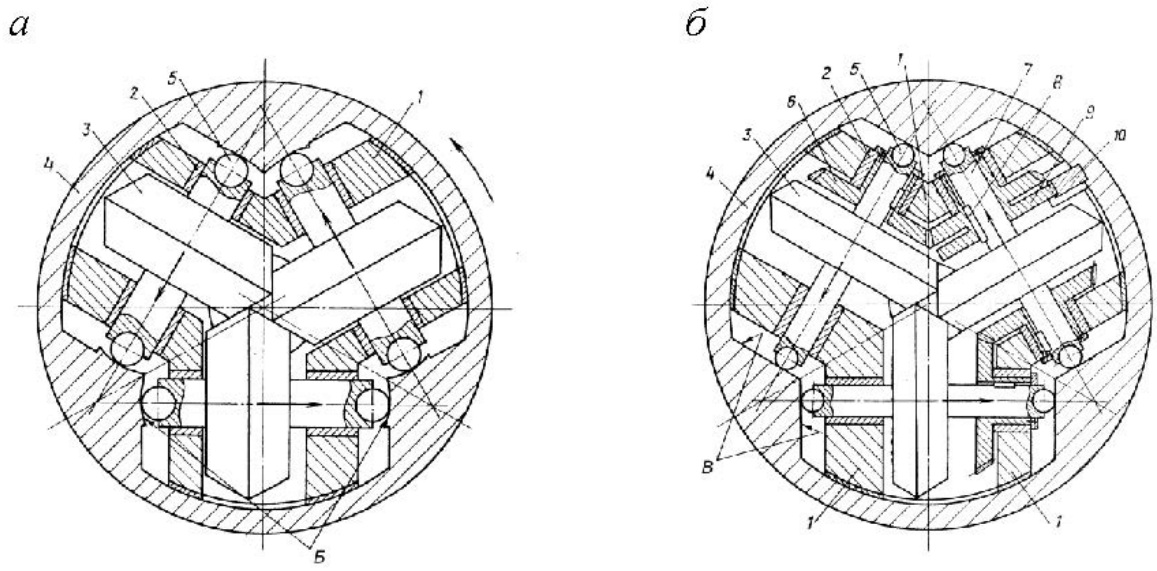


Рисунок 1.12 - Тривалкові калібри [11] (опис позицій за текстом)

Валковий вузол, зображений на рис. 1.12, а, містить станину 1 з нерухомими валковими опорами 2, розташованими навколо осі прокатки валка 3, і загальний для всіх валків кулачок 4, що має по парі напрямних опорних поверхонь Б для кожного валка. При налаштуванні калібру кліті кулачок 4 повертають відносно нерухомої станини 1. При цьому напрямні опорної поверхні Б кулачка 4, впливаючи на осьові опори валків 5, синхронно зміщують валки відносно станини 1 вздовж осей їх обертання. Таким чином, здійснюється зведення або розведення валків і налаштування вузла на заданий розмір тривалкового калібру. У такому варіанті конструктивного виконання кліть придатна лише для редукування або волочіння, оскільки привід валків неможливо здійснити. Однак винахід показує ефективність подібної схеми

сполучення валків з точки зору істотної зміни розмірів калібру без розкриття зазорів на поверхнях сполучення валків.

В іншій конструкції валкового вузла (рис. 1.12 б) обертання валків 3 синхронізовано конічними шестернями 6, встановленими на валках 7 з можливістю їх осьового переміщення. На осі одного з валків встановлена шестерня 9, що знаходиться в постійному зачепленні з зубчастою рейкою 10, яка і здійснює привід валків при її переміщенні в напрямку, паралельному осі прокатки. Регулювання калібру в цьому валковому вузлі виконується, як і в попередньому калібрі. Області застосування такої кліті досить обмежені через кінцеву і порівняно невелику довжину рейки. Валкові вузли, зображені на рис. 1.8, не готові до промислового застосування ще й через неможливість переточування валків при їх зносі. У разі переточування діаметри валків зменшуються і при складанні вузла утворюються зазори, які не можна усунути осьовим переміщенням валків. Зазори знижують витяжну здатність системи калібрів і, отже, коефіцієнт ефективності деформації.

З метою підвищення жорсткості багатовалкових клітей і точності прокатки використовують двоопорну установку валків, що ускладнює конструкцію лінії приводу і ускладнює перевалку клітей. Консольна ж установка валків не дає великого ефекту в підвищенні жорсткості в порівнянні з двовалковими клітями. Правда, конструкції клітей з консольними (грибоподібними) валками значно простіші і зручніші. У цьому плані їм слід віддати перевагу і підвищувати жорсткість клітей за рахунок інших конструктивних особливостей, що не ускладнюють експлуатацію.

Якщо бочки валків циліндричні, то при будь-якому конструктивному виконанні кліті регулювання калібру досягається з неминучим зниженням жорсткості і ускладненням експлуатації. Це випливає з розгляду можливих варіантів сполучення чотирьох валків, показаних на рис. 1.8.

У схемі замикання калібру, показаній на рис. 1.8 а, регулювання розмірів квадратного калібру можливе лише паралельним зміщенням осей валків.

Конструктивно це досягається важко і завжди з пониженням жорсткості кліті. Більш прийнятний варіант установки валків в даному випадку – це розміщення в подушках ексцентрикових поворотних втулок, синхронний розворот яких можливий із застосуванням досить громіздких механізмів. Навіть при вдалому конструктивному вирішенні проблеми паралельного зміщення осей валків необхідно ввести шарніри в шпинделі приводу, які обов'язково навіть після незначного зносу створюють люфти і асиметрію прокатки в період захоплення штаби. При регулюванні цим способом розміру калібру слід пам'ятати про зміну торцевих зазорів, розкриття яких більше певної величини призведе до зниження одиничних обтиснень через небезпеку формування поздовжніх задирок на штабі.

Важливою перевагою клітей з багатовалковими калібрами є стабільність кантувань при чергуванні клітей в групах або блоках. Сучасні блоки і групи двовалкових клітей для виробництва простих сортових профілів будуються за принципом чергування клітей з кантуваннями під 90°. Це уніфікує конструкції обладнання, але не дозволяє використовувати весь можливий набір систем калібрів. За витяжною здатністю дуже ефективними є системи квадрат-шестикутник-квадрат (у чорнових групах) і квадрат-овал-квадрат (у передчистових і чистових групах). Однак без застосування кантуючих (скручуючих) проводкових пристроїв, або без режиму послідовного прокатування з повним виведенням штаб з клітей, або без лінійної схеми прокатування, використання цих систем стає неможливим через необхідність кантування під 45°. Що стосується, наприклад, чотиривалкових клітей, то, встановивши в блоці або в групі кліті з взаємним розворотом під 45°, можна реалізувати обидві схеми обтиснення: квадрат-квадрат і круг-квадрат-круг, які за витяжною здатністю не поступаються найефективнішим системам двовалкових калібрів.

1.3 Постановка завдання розробки та дослідження технології виробництва простих сортових профілів

Наведений вище літературний огляд відомих схем безперервного прокатування простих профілів дозволяє зробити наступні висновки.

Прагнення поєднати процеси обробки металів виправдано сучасними тенденціями розвитку промислового виробництва металовиробів. Малотоннажність і швидке переналагодження обладнання в останні роки стають визначальними ознаками сучасності та виживаності металургійного виробництва.

Відомо, що переважна частка енерговитрат пов'язана з нагріванням металу, тому малотоннажне виробництво може розглядатися як рентабельне при скороченні кількості нагрівань і підігрівів металу в циклі його отримання і обробки. Розробка суміщених агрегатів для гарячої деформації, зокрема пресово-прокатних агрегатів і комплексів, в основному переслідує цілі максимального використання тепла попереднього технологічного переділу, скорочення часу і матеріальних витрат при переході від одного типорозміру металопродукції на інший.

З огляду літератури випливає доцільність застосування для сортової прокатки багатовалкових, наприклад, чотиривалкових калібрів. При електромеханічному приводі збільшення кількості валків ускладнює конструкції клітей і змушує застосовувати або привід не всіх валків, або вводити складні трансмісії.

У чотиривалковій кліті важко забезпечити синхронний привід всіх двохопорних валків [6], тому широкого поширення набула консольна установка грибоподібних валків. Для підвищення жорсткості кліті з такими валками доцільно використовувати прості калібри конічних валків, при прокатці в яких в поперечному напрямку на осі валків діє лише проекція

повного тиску металу. Використання конічних валків дає можливість регулювання розміру калібру без паралельного зміщення осей валків.

Повністю відмовитися від механічного з'єднання між осями валків і таким чином позбутися шестерних клітей, шпинделів, конічних і черв'ячних редукторів можна тільки за рахунок застосування прямого індивідуального гідроприводу всіх валків в кліті. Застосування гідромоторів для приводу клітей дозволяє зменшити масу обладнання прокатних блоків або груп клітей в десятки разів у порівнянні з сучасними при рівній потужності. Однак слід пам'ятати, що ефективність гідроприводних клітей може бути реалізована тільки при наявності насосно-акумуляторної станції колективного користування, зокрема на ділянці пресувально-прокатного агрегату.

Таким чином, завданнями розробки обладнання та технології поєднання пресування з безперервним прокатуванням, а також дослідження технології сортового прокатування в чотиривалкових калібрах конічних валків є наступні:

– запропонувати компонувальне рішення пресово-прокатного агрегату, що вбудовується в міні-металургійний комплекс обладнання модульного типу для виробництва, зокрема, дротяної заготовки;

– запропонувати конструктивний варіант універсальної чотиривалкової кліті для сортової прокатки прутків;

– зібрати інформацію про закономірності прокатки прутків у чотиривалкових калібрах конічних валків;

– проаналізувати кінематичні та енергосилові параметри сортової прокатки за схемою круг–квадрат–круг у чотиривалкових калібрах конічних валків.

Метою магістерської роботи є удосконалення технології прокатки прутків у клітях з багатовалковими калібрами, а також створення наукових передумов для ефективного використання неперервних груп таких клітей у складі агрегатів, що поєднують процеси пресування, прокатки і контрольовану термічну обробку.

2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ СУМІЩЕНОГО ПРЕСОВО-ПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРУТКІВ

2.1 Перспективи застосування гідроприводу валків прокатних клітей

Проблеми люфтів і пов'язана з ними асиметрія осередків деформації та вигину передніх кінців профілів, що прокатуються, ефективно вирішуються встановленням індивідуального гідроприводу валків кліті з багатовалковим калібром. Компактність конструкції кліті досягається застосуванням спеціальних гідромоторів з великим крутним моментом, що не вимагають застосування додаткових понижуючих редукторів, і механічною незалежністю приводів валків. Швидкісне узгодження валків в таких клітях досягається за рахунок багатопотокових гідравлічних дільників [13, 14]. Більш того, як показав досвід експлуатації клітей з індивідуальним гідроприводом, швидкісне узгодження потрібне лише при холостому ході приводу для запобігання зупинки одного або одночасно декількох валків через різницю моментів холостого ходу. Під навантаженням, коли штаба знаходиться між валками, легко досягається автоузгодження швидкостей валків навіть при наявності факторів асиметрії осередку деформації, оскільки мінімальна потужність прокатки споживається гідроприводом при відсутності вигину штаби на виході. Індивідуальний гідравлічний привід повністю виключає вплив люфтів на симетрію прокатки.

Компактна однокорпусна кліть без трансмісій і редукторів гранично проста конструктивно і зручна в експлуатації, а найголовніше, допускає довільний осьовий розворот по відношенню до сусідніх клітей для завдання будь-яких кутів кантування.

Компактну конструкцію і можливість довільного осьового розвороту має чотиривалкова кліть, показана на рис. 2.1. Це промисловий чотиривалковий агрегат для холодного калібрування прутків квадратного

поперечного перерізу 16×16 мм, що подаються на штампування залізничних милиць в безперервному агрегаті.

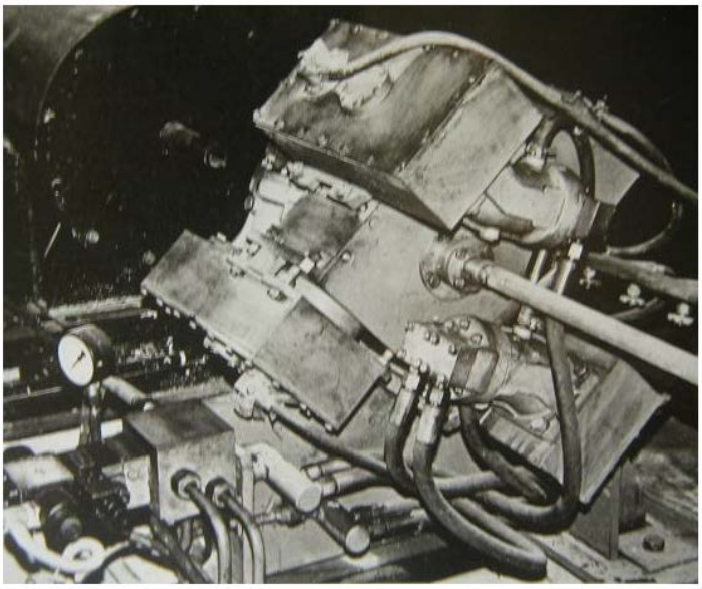


Рисунок 2.1 - Чотиривалкова калібрувальна кліть з індивідуальним редукторним гідроприводом валків

До основних переваг і переваг гідроприводу перед електромеханічними системами слід віднести:

– забезпечення більш високої надійності і різке зменшення простоїв обладнання, оскільки в гідроприводі порівняно просто реалізується резервування; гідроапаратура і об'ємні машини виробляються на спеціалізованих підприємствах і в даний час доведені до високого рівня надійності; при використанні в металургійному обладнанні електромеханічних приводів постійно виникають непереборні труднощі в успішному конструктивному виконанні, в застосуванні стандартних, серійно випускаються механізмів і вузлів приводу;

– простота і надійність запобіжних пристроїв гідроприводів захищає обладнання від перевантажень і знижує аварійність;

– зменшення електричної та механічної частин приводів і кількості зношуваних вузлів і деталей, оскільки централізована насосна станція обслуговує велику кількість виконавчих механізмів;

– у гідроприводі не існує проблем перетворення обертального руху в зворотно-поступальний, зменшується кількість редукторів і суттєво скорочується довжина трансмісій;

– підвищення показників ремонтопридатності; організація ремонту за агрегатним і вузловим принципом; забезпечується легкий доступ для технічного обслуговування, а самі гідравлічні апарати просто замінюються завдяки малій вазі і габаритам;

– високий рівень уніфікації гідроапаратів і елементів приводу, тоді як при електромеханічному приводі багато різнотипного і нестандартного обладнання;

– висока швидкість і швидкодія, що на порядок перевершує електромеханічний привід;

– висока прийомистість гідроприводів і різке зниження тривалості перехідних процесів при різкій зміні технологічних навантажень (наприклад, моментів прокатки);

– значне спрощення систем автоматизації;

– висока точність позиціонування гідрокерованих механізмів, можливість реалізації складних законів руху, безступінчастість і широкий діапазон регулювання; можливість роботи в динамічних режимах при частих включеннях, зупинках, реверсах;

– компактність і простота установки гідропристрою на корпусах технологічних агрегатів;

– малі моменти інерції гідромоторів і гідроциліндрів приводу; питома маса об'ємних гідромашин становить 0,5...1,8 кг/кВт і 4,5...12,5 кг/кВт – пристроїв електромеханічного приводу; на гідромотори припадає не більше 5% моменту інерції механізму, що приводиться ними, тому час їх розгону і гальмування зазвичай не перевищує декількох сотих або десятих часток секунди;

– відсутність обмежень у досягненні практично будь-яких технологічних зусиль і моментів;

– простота розміщення обладнання приводу, оскільки насосна або насосно-акумуляторна станція розміщуються довільно в зручному місці, а на технологічному обладнанні розміщуються тільки виконавчі механізми (гідроциліндри і гідромотори);

– жорсткість механічної характеристики (особливо при наявності централізованої насосної станції великої витрати робочої рідини), що забезпечує стабілізацію швидкісного режиму агрегатів при значних змінах технологічних навантажень; у разі оптимального завантаження насосних станцій жорсткість механічних характеристик гідроприводу визначається тільки стисливістю робочої рідини і пружними деформаціями трубопроводів.

Недоліками гідроприводів, особливо в металургійному виробництві, слід вважати:

– підвищення вимог до точності виготовлення гідрокерованого обладнання;

– досить висока культура технічного обслуговування і підвищена кваліфікація обслуговуючого персоналу;

– посилення правил пожежної безпеки при використанні мінерального масла в якості робочої рідини в умовах гарячого виробництва;

– організація постійного контролю герметичності гідросистем.

Однак практика широкого застосування гідроприводів в металургії свідчить про подолання перерахованих недоліків.

Усунення громіздких електромеханічних приводів клітей дозволяє об'єднати останні в блок, тобто змонтувати поворотні касети на одній станині, що значно полегшує роботи з монтажу обладнання. Отже, з'являється реальна можливість створити компактний, наприклад, обтискний блок сортової прокатки, маса якого не перевищить 20 % від маси кращих зразків сучасного прокатного обладнання з електромеханічним приводом.

Жорстка механічна характеристика гідроприводу важлива при вході чергової штаби в безперервну групу клітей, оскільки дозволяє запобігти без додаткових засобів автоматизації тимчасовому швидкісному розбігу клітей в групі або блоці.

Окружний люфт робочих валків практично при будь-якій конструкції шестерневої кліті і шпинделів знаходиться в межах від 0,3 до 8°. Заходи, спрямовані на зниження люфтів в лінії приводу валків, здорожують обладнання і ускладнюють його експлуатацію. Якщо навіть у стані поставки обладнання окружний люфт знижений до мінімуму, то в реальних умовах експлуатації, особливо при низькому організаційному рівні технічного обслуговування, люфт з'являється досить швидко і усувається зазвичай тільки при черговому капітальному ремонті.

При періодичному прокатуванні окружний люфт валків є причиною несанкціонованого розбіжності швидкостей валків в момент входу штаби і нерегулярного вигину переднього кінця заготовки, що посилює вимоги до конструкцій рольгангів і проводкових пристроїв. Якщо не вводити спеціальні механізми компенсації люфтів перед завданням штаби, то практично кожен прохід виконується з одним ведучим і одним холостим валками. Відомо, що будь-яка асиметрія осередку деформації при прокатці супроводжується перевитратою енергії і нерівномірністю навантаження в лініях приводу валків. У зв'язку з цим зростає кількість поломок елементів приводу і знижується надійність прокатного переділу.

З практики прокатного виробництва відомо багато причин асиметрії осередку деформації: різна шорсткість робочих поверхонь валків, нерівномірність подачі мастила, градієнт температури по висоті штаби, нерівномірність механічних властивостей металу по товщині штаб. Будь-яка асиметрія в першу чергу проявляється вигином заготовки на виході з валків. Основним фактором, що визначає характер вигину штаби, є величина висотної деформації. Крім розподілу деформації по висоті осередку деформації на вигин впливають умови тертя.

При прокатці відносно високих штаб вихідний кінець штаби згинається в бік гладкого валка, що пояснюється асиметричною дією сил тертя на контакті. Стиснення з боку шорсткого валка стає більше середнього, і швидкість виходу металу біля цього валка вище, ніж у гладкого. У той же час крутний момент завжди вище на валку з великим коефіцієнтом тертя. Таким чином, для вирівнювання штаби на виході з валків у разі асиметрії контактного тертя необхідно зменшити швидкість шорсткого або недостатньо змащеного валка. З цим завданням успішно справляється некерований гідропривід валків кліті. При зростанні моменту прокатки на одному з валків зростає відповідно гідроопір в лінії подачі гідромотора цього валка. Відбувається перерозподіл потоків робочої рідини; валок з великим моментом гальмується, а інший прискорюється. Таким чином, здійснюється самовирівнювання штаби і усунення асиметрії.

2.2 Перспективний варіант конструкції гідроприводу валків

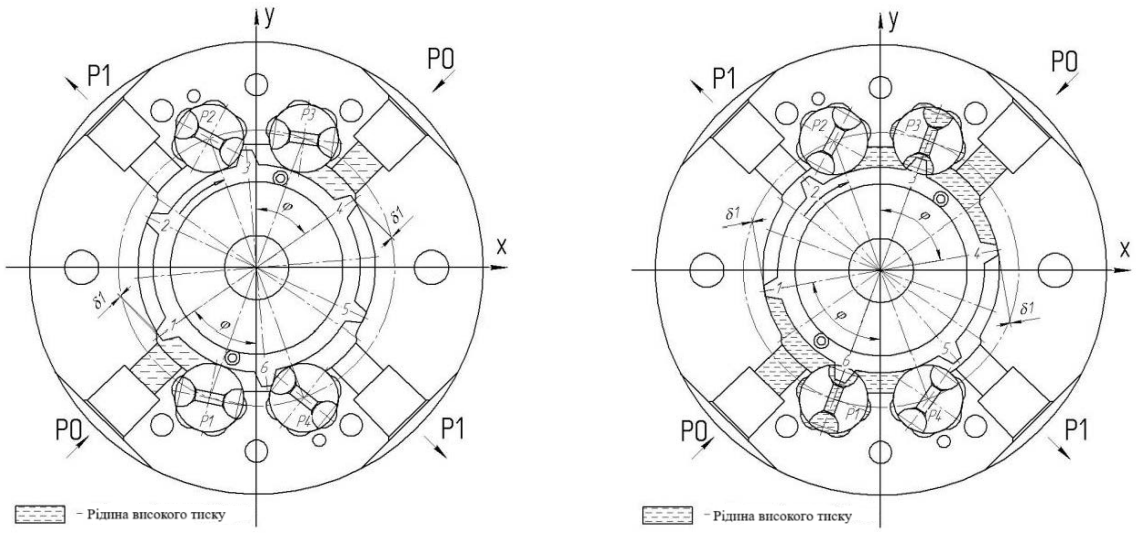
В якості гідромоторів можуть бути застосовані або машини радіально- і аксіально-поршневого, або роликово-лопатевого типу. Принцип дії гідромотора роликово-лопатевого типу подібний до роботи гідроповоротника, в якому за рахунок введення в конструкцію роликів усувається обмеження в куті повороту. Тому такий гідромотор можна розглядати як гідроповоротник з необмеженим кутом повороту. Кільцевий канал між ротором і статором-корпусом розділений роликами-роздільниками на чотири або шість порожнин, які під час обертання ротора по черзі є напірними або зливними.

Перевагами мотора роликово-лопатевого типу, в порівнянні з поршневим, слід вважати відсутність тертьових частин в корпусі мотора і пов'язаний з цим великий термін служби приводу без втрати паспортних характеристик. Крім того, ці мотори, завдяки особливостям конструкції, можуть стійко працювати на порівняно малих швидкостях і забезпечувати

великий крутний момент, який визначається діаметром і розмірами поперечного перерізу кільцевої порожнини.

Розглянемо зміну камери високого тиску при обертанні ротора гідромотора. У певний момент часу зуб ротора 1 – (рис. 2.2, а) прийме положення, яке характеризується деяким кутом φ = 55°. При цьому рідина високого тиску Р0 заповнить деякі обсяги, обмежені роликом Р1 і зубом ротора 1 (Р1-1), а також між Р3 і зубом 4 (Р3-4). Дана ситуація повториться при повороті ротора на кут 60о (коли зуб 6 займе положення зуба 1, а зуб 3 – положення зуба 4).

У цій ситуації порожнини між зубами 1-2, 2-3, 4-5 і 5-6 знаходяться під тиском зливу, тобто розвантаженими, тому тиск в порожнинах Р1-1 і Р3-4 створює сили, близькі до зосереджених. Більш рівномірні, але великі за величиною, навантаження на статор виникають при φ = 74...84° (рис. 2.2, б), коли під робочим тиском знаходяться відповідно порожнини Р2-4, Р4-1 і Р3-3, 3-4, Р1-6, 1-6.

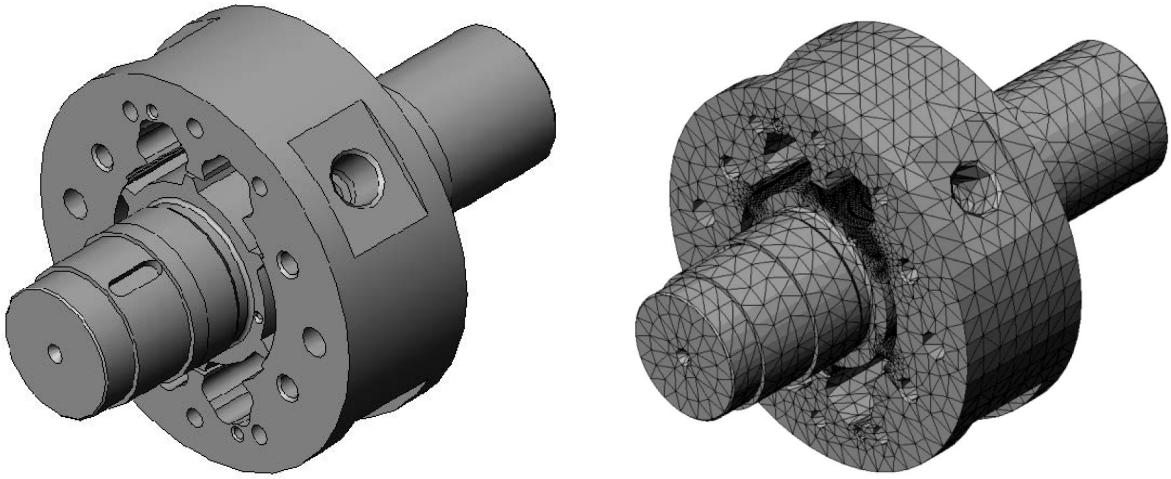


а б

Рисунок 2.2 – Навантаження на статор гідродвигуна при кутовій позиції ротора φ < 55° (а) і φ в діапазоні від 74° до 84° (б)

Принциповим моментом у проєктуванні високомоментних гідромоторів роликово-лопатевого типу є розрахунок пружних деформацій статорної частини мотора під дією тиску робочої рідини в напірних порожнинах робочого каналу. Пружна задача в рамках даної роботи вирішувалася методом скінченних елементів у програмному комплексі AutoCAD Mechanical.

Для проведення розрахунків методом скінченних елементів були побудовані просторові моделі ротора і статора, що описують реальну конструкцію зазначених деталей гідромотора. Взаємне положення ротора і статора представлено на рис. 2.3 а, а сітка кінцевих елементів представлена на рис. 2.3 б. Статор виконаний з легованого чавуну, ротор зі сталі 18ХГТ. У табл. 2.1 наведені властивості матеріалів для виготовлення ротора і статора гідромотора.



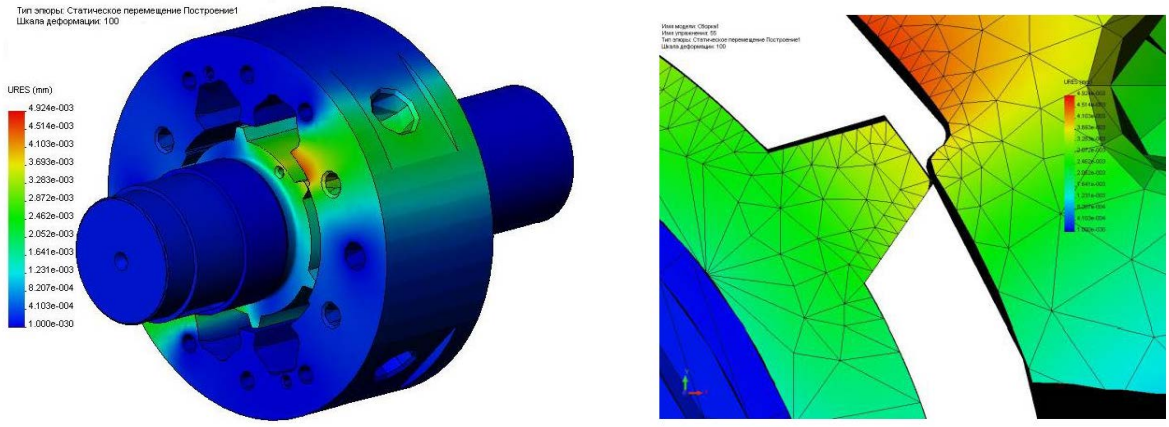
а б

Рисунок 2.3 - Просторова модель гідромотора (а) і вихідна сітка кінцевих елементів (б)

Розрахунок виконувався для різних кутів φ. У процесі розрахунків встановлювалася величина зазору між зубом ротора і внутрішньою поверхнею статора. Епюра розподілів значень переміщень, що виникають у моделі, зображена на рис. 2.4, а, а епюра деформації для кута $\varphi = 55^{o}$ на рис. 2.4, б.

Таблиця 2.1 - Властивості матеріалів для виготовлення ротора і статора

Властивість	Значення	
	для ротора	для статора
Модуль пружності нормальний, Па	$2{,}12 \cdot 10^{11}$	$1{,}9 \cdot 10^{11}$
Масова щільність, кг/м^3	7800	7300
Коефіцієнт Пуассона	0,28	0,27
Модуль пружності нормальний при зсуві крученням, Па	$8{,}3 \cdot 10^{10}$	$8{,}6 \cdot 10^{10}$



а б

Рисунок 2.4 - Епюра деформації для кута φ = 55°, масштаб 1:1 (а) і масштаб 100:1 (б)

Як максимально можливе навантаження було прийнято тиск P0 = 20 МПа.

На рис. 2.4, б показано деформацію зуба і деформацію ротора в збільшеному вигляді. Чорним кольором показано початковий (вихідний контур деталей), деформації представлені в масштабі 100:1. Отримані дані були занесені в табл. 2.2.

Проведений кількісний аналіз впливу тиску робочої рідини в порожнині статора гідромотора і кута повороту ротора на величини розкриття зазору між вершинами зуба ротора і робочою поверхнею статора показав, що навіть при

максимальному тиску 20 МПа у всьому конструктивно визначеному діапазоні зміни кута повороту ротора зазор залишається в межах поля допуску, що приймається за нормативне при проєктуванні промислових гідравлічних машин. Це свідчить про те, що дренаж не перевищує допустимого обсягу, і механічні характеристики приводу відповідають проєктним.

Таблиця 2.2 – Залежність величини зазору δ_1 від значення кута φ

Значення кута φ, град.	Величина зазору δ_1, мм
55	0,0044
65	0,0047
75	0,0053
85	0,0057
95	0,0061
110	0,0070
115	0,0068

2.3 Конструктивні особливості прокатних клітей і станів для прокатки прутків

Оснащення сортопрокатних багатовалкових кліті індивідуальним гідроприводом від моторів роликово-лопатевого типу вирішує проблеми усунення трансмісій і редукторів, а також розбіжності швидкостей через наявність зазорів, але не спрощує процедуру регулювання розмірів калібрів.

Перераховані застосуванням індивідуального гідроприводу проблеми прокатки в багатовалкових калібрах успішно вирішуються установкою грибоподібних валків з конічною бочкою. У цьому випадку квадратний калібр формується конічними поверхнями, а круглий – також нарізується на конічних валках, попередньо зведених з утворенням квадратного просвіту. Схеми замикання чотирьох валків при формуванні квадратного і круглого калібрів показані на рис. 2.5. Всі валки встановлені консольно в індивідуальних

подушках і можуть зміщуватися в осьовому напрямку (рис. 2.5, а), змінюючи розміри квадратного калібру, який при цьому залишається замкнутим.

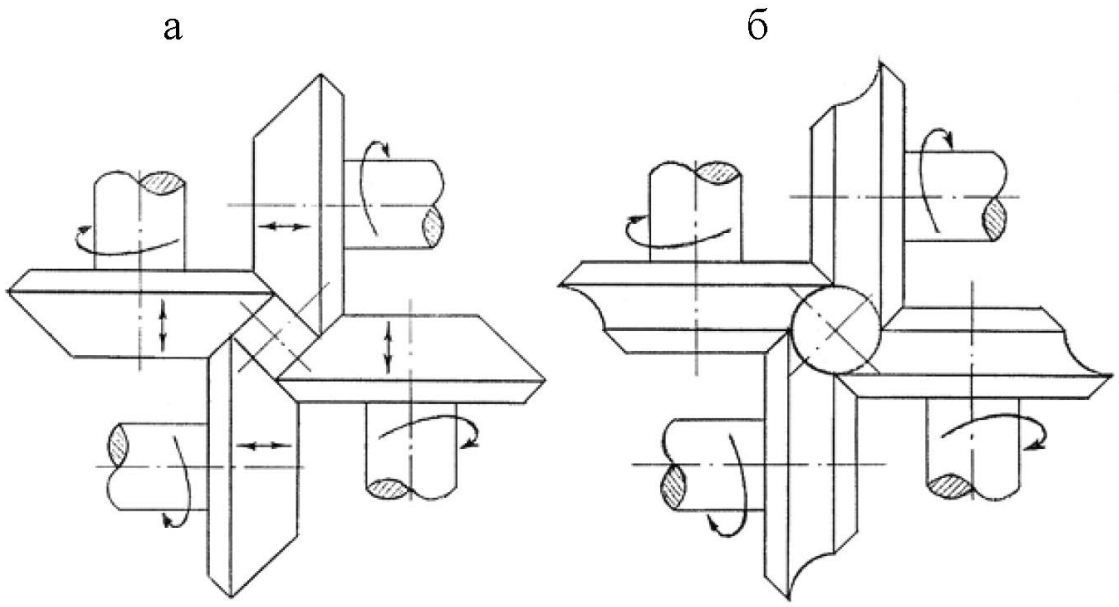


Рисунок 2.5 - Схеми формування калібрів конічними валками: а – квадратного; б – круглого

Важливим проєктним заходом при створенні блоків і груп гідроприводних клітей завжди є раціональний або оптимальний вибір параметрів моторів, зокрема ролико-лопатевого типу. Насосна станція, від якої живляться гідромотори рідиною високого тиску, характеризується максимальним тиском і витратою. Їх добуток, поділений на ККД всієї гідросистеми, визначає встановлену потужність електроживлення насосної станції або частку повної потужності, що припадає на розглянутий блок. Будь-яка безперервна група сортових або редукційних клітей працює з послідовним зростанням швидкості прокатки і зниженням на маршруті крутних моментів. Витрата робочої рідини в гідромоторі визначає швидкість, тиск – момент прокатки.

Як приклад організації процедури раціонального вибору параметрів гідромоторів розглядаються варіанти укомплектування клітей моторами в

групі, що спроєктована для установки на ливарному-ковальському-прокатному агрегаті, призначеному для прокатки катанки із середньовуглецевої сталі. Вихідна заготовка шестигранного поперечного перерізу з діаметром вписаного кола 35 мм, отримана прохідним радіальним куванням або пресуванням, прокатується за схемою круг-квадрат-круг в чотиривалкових калібрах конічних валків до катанки діаметром 6,5 мм. Матеріал заготовки Сталь 45.

Для розробки маршруту прокатки і розмірів калібрів використані дослідні дані, а розрахунок кінематичних і енергосилових параметрів виконаний за опублікованими [6, 7, 9, 14] методиками, розробленими для випадків прокатки в багатовалкових і двовалкових калібрах циліндричних валків. Катувальний діаметр визначається як при двовалковому прокатуванні простих сортових профілів [13]. Форма контактної поверхні на кожному валку з трикутним (при прокатуванні за схемою квадрат-круг) і параболічним (при прокатуванні за схемою круг-квадрат і шестикутник-квадрат) контурами.

Скручування штаби не враховувалося. Опір металу деформації розраховувався методом термомеханічних коефіцієнтів за даними роботи [14].

Спираючись на отримані дані з прокатки зразків у чотиривалковому калібрі, була розроблена схема обтиснень для отримання катанки діаметром 6,5 мм із шестигранної заготовки з розміром по діагоналі 35 мм. Витяжки прийняті середні: при прокатці за схемою круг-квадрат 1,55, при прокатці за схемою квадрат-круг 1,29, для всіх клітей за винятком калібрувальної (в 11-й кліті прийнято $\lambda_{11} = 1,06$), в якій необхідно отримати катанку високої точності. Обрана схема обтиснень наведена на рис. 2.6, а результати розрахунку геометричних, кінематичних параметрів і контактних тисків, виконаного в програмі Mathcad Prime 11, наведені в табл. 2.3.

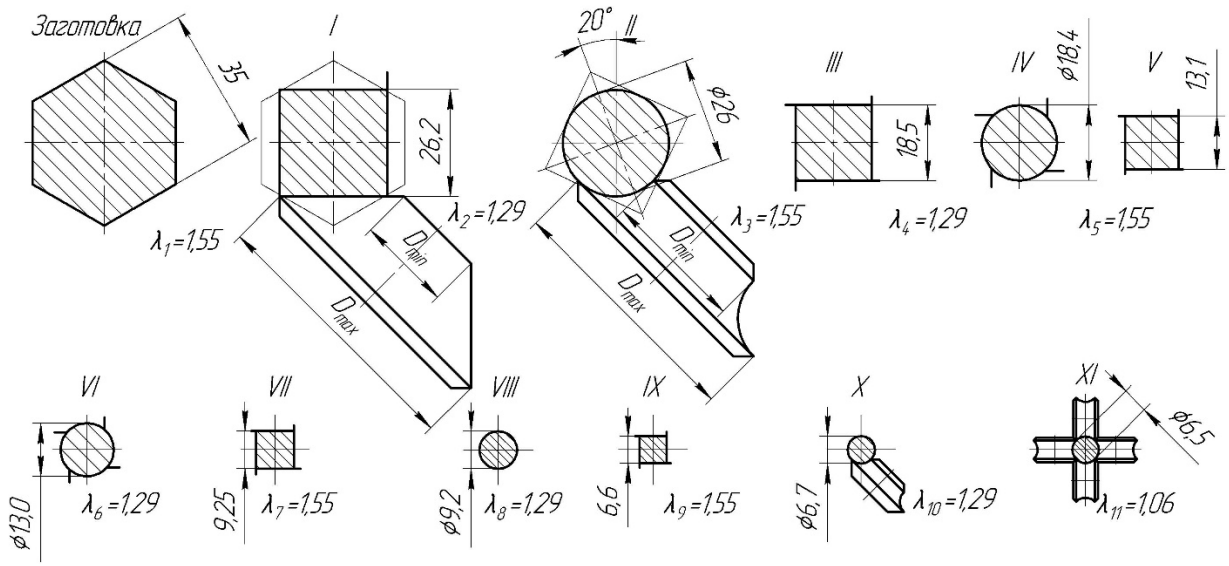


Рисунок 2.6 - Схема калібрування для прокатки катанки в чотиривалкових калібрах конічних валків

При визначенні моменту прокатки коефіцієнт плеча прикладання рівнодіючої повного тиску металу на валки розглядалася відносна координата центру ваги епюри контактних тисків. Прокатка за представленим калібруванням характеризується енергосиловими параметрами, наведеними в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Енергосилові параметри прокатки

Параметр	Номер кліті										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
n_i, об/хвил	20,4	25,8	40,0	50,0	99,19	126,3	195,8	250,7	520,8	628,0	840,7
M_i, кНм	1,154	0,487	0,668	0,279	0,298	0,1203	0,1764	0,071	0,0813	0,0273	0,0139
$N_{дві}$, кВт	2,42	1,29	2,74	1,46	3,03	1,56	3,55	1,82	4,35	1,76	1,20
$N_{клі}$, кВт	9,68	5,16	10,96	5,84	12,12	6,24	14,20	7,28	17,40	7,04	4,80
N_i, кВт	16,13	8,60	18,30	9,73	16,16	8,33	18,93	9,70	20,47	8,28	5,56

Гідравлічний привід валків робочих клітей прокатного блоку здійснюється від гідромоторів, конструкція яких наведена на рис. 2.3. Привід валків індивідуальний. Критерієм вибору оптимальних конструктивних параметрів гідроприводу, в даному випадку, буде мінімальна витрата робочої рідини гідроприводу для забезпечення необхідного моменту прокатки (див. табл. 2.4) при максимальному тиску в гідросистемі Р = 20 МПа. Можливі кілька варіантів установки гідромоторів різних модифікацій. Розглянемо ці варіанти.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку калібрування валків при прокатці катанки діаметром 6,5 мм

№ клеті	Калібр	λ_i	$\omega_i \cdot 10^{-6}$ м/с	υ_i, м/с	$D_{min} \cdot 10^{-3}$ м	$D_{max} \cdot 10^{-3}$ м	$D_{ki} \cdot 10^{-3}$ м	n_i, об/хвил	(d_i) $c_i \cdot 10^{-3}$, м	$l_{ci} \cdot 10^{-3}$, м	$H_{cpi} \cdot 10^{-3}$, м	$\frac{l_{ci}}{H_{cpi}}$	ε_i	$\tau_{\partial i}$, с	u_i, $с^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-	заготовка		1061	0,16	-	-	-	-	36,8	-	-	-	-	-	-
1	квадр.	1,55	685	0,248	213	250	232,0	20,4	26,2	35,0	31,5	1,1	0,44	0,172	2,56
2	круг	1,29	531	0,320	24	250	237,0	25,8	26,0	36,2	26,1	1,4	0,25	0,127	2,00
3	квадр.	1,55	543	0,496	224	250	237,0	40,0	18,5	29,8	22,25	1,3	0,44	0,073	6,00
4	круг	1,29	265	0,640	232	250	241,0	50,7	18,4	30,6	18,45	1,7	0,25	0,054	4,63
5	квадр.	1,55	171	0,992	181	200	191,0	99,19	13,1	22,5	15,75	1,4	0,44	0,028	15,71
6	круг	1,29	133	1,280	187	200	193,5	126,3	13,0	23,1	13,05	1,8	0,25	0,020	12,52
7	квадр.	1,55	87	1,984	187	200	193,5	195,8	9,25	19,0	11,13	1,7	0,44	0,012	36,67
8	круг	1,29	66,4	2,560	191	200	195,0	250,7	9,2	19,5	9,23	2,1	0,25	0,009	27,78
9	квадр.	1,55	42,8	3,968	141	150	145,5	520,8	6,6	13,7	7,9	1,7	0,44	0,0042	104,76
10	круг	1,214	35,2	4,817	143	150	146,5	628,0	6,7	13,9	6,65	2,1	0,19	0,0032	59,38
11	круг	1,06	33,2	5,106	112	120	116,0	840,7	6,5	13,2	6,6	2,0	0,058	0,0027	21,80

Продовження табл. 2.3

№ клеті	$П_i \cdot 10^{-3}$, м	τ_i, с	Δt_i, ^{0}C	t_i, ^{0}C	k_ε	k_u	k_t	σ_i, МПа	$n\sigma_i$	P_{cpi}, МПа	n_{cpi}	$\sigma^*_{\tau i}$, МПа	$P_{cpk,i}$, МПа	$F_{ki} \cdot 10^{-6}$ м^2	P_i, кН
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	104,8	1,21	-1,94	1050	1,32	0,82	0,85	79,4	1,18	107,75	1,41	91,31	114,49	720,21	82,457
2	81,7	0,94	0,20	1051,4	1,30	0,80	0,86	77,19	1,23	109,48	1,57	88,77	121,31	332,76	40,368
3	74,0	0,61	-3,41	1051,3	1,32	0,93	0,84	85,81	1,22	120,39	1,41	98,68	129,38	432,99	56,022
4	57,8	0,47	-1,146	1054,7	1,30	0,89	0,83	82,87	1,28	122,30	1,57	95,30	137,71	199,06	27,413
5	52,4	0,30	-5,02	1055,9	1,32	1,00	0,82	93,41	1,23	132,49	1,41	107,42	142,87	231,50	33,074
6	40,8	0,23	-5,06	1060,9	1,30	0,97	0,80	87,06	1,30	130,15	1,57	100,12	147,25	106,17	15,634
7	37,0	0,15	-6,6	1065,9	1,32	1,16	0,79	104,39	1,28	154,06	1,41	120,05	168,15	138,03	23,210
8	28,9	0,12	-3,02	1072,5	1,30	1,10	0,78	96,26	1,35	149,44	1,57	110,70	171,55	63,43	10,881
9	26,4	0,08	-8,99	1075,5	1,32	1,48	0,77	129,82	1,28	191,59	1,41	149,29	209,11	71,02	14,850
10	21,1	0,0062	-2,47	1084,5	1,20	1,29	0,75	100,19	1,35	155,54	1,57	115,22	178,72	32,93	5,885
11	20,4	0,059	-2,5	1087,0	0,9	1,15	0,74	66,10	1,23	93,75	1,57	76,02	103,88	30,33	3,151

І варіант. На кожну кліть прокатного блоку встановлюється своя модифікація гідромотора залежно від необхідного моменту прокатки. Принципова конструкція гідромотора наведена на рис. 2.7. Тиск у гідросистемі постійно Р=20,0 МПа. Діаметр внутрішнього кільця (ротора) $D_{вн}$ = 70 мм. Залежно від моменту прокатки M_i змінюється зовнішній діаметр робочого каналу ($D_{зовн}$) і довжина поршня (L). Для описаної вище конструкції клітей прокатного блоку виконується умова

$$M_{pi} = M_i \tag{2.1}$$

де M_{pi} – крутний момент, що створюється ротором гідромотора; Mi – крутний момент прокатки.

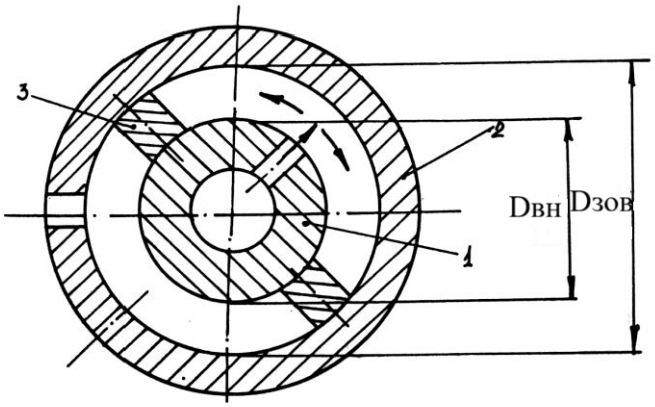


Рисунок 2.7 - Розрахункова схема гідромотора: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – поршень

Для визначення M_{pi} розраховується площа робочої поверхні поршня (див. рис. 2.7)

$$S_i = 0{,}5 \cdot (D_{зовi} - D_{вн}) \cdot L_i.$$

Сила, що діє з боку робочої рідини на робочу поверхню поршня, визначається за формулою

$$F_i = P \cdot S_i = P \cdot 0{,}5 \cdot (D_{зовi} - D_{вн}) \cdot L_i.$$

Тоді крутний момент ротора з двома поршнями буде визначатися за формулою

$$M_{pi} = 0{,}25 \cdot P \cdot L_i \cdot \left(D_{зовi}^2 - D_{вн}^2\right).$$

Підставивши отриману формулу для M_{pi} у вираз (2.1), отримаємо:

$$M_i = 0{,}25 \cdot P \cdot L_i \cdot \left(D^2_{\text{зов}i} - D^2_{\text{вн}}\right).$$

Звідси

$$D_{\text{зов}i} = \sqrt{\frac{M_i}{0{,}25 \cdot P \cdot L_i} + D^2_{\text{вн}}};\ P = \frac{M_i}{0{,}25 \cdot L_i \cdot (D^2_{\text{зов}i} - D^2_{\text{вн}})};$$

$$L_i = \frac{M_i}{0{,}25 \cdot P_i \cdot (D^2_{\text{зов}i} - D^2_{\text{вн}})}. \quad (2.2)$$

Для визначення витрати рідини, що подається в гідросистему, визначається об'єм робочого каналу (див. рис.2.7)

$$V_i = 0{,}25 \cdot \pi \cdot L_i \cdot \left(D^2_{\text{зов}i} - D^2_{\text{вн}}\right).$$

Тоді витрата рідини буде визначатися за формулою

$$Q_i = 0{,}25 \cdot \pi \cdot L_i \cdot \left(D^2_{\text{зов}i} - D^2_{\text{вн}}\right) \cdot n_i. \quad (2.3)$$

де n_i – частота обертання ротора гідромотора (виходячи з прийнятої конструкції приводу, частота обертання ротора гідромотора дорівнює частоті обертання валків).

Введено наступні обмеження на розміри поршня і робочого каналу гідромотора:

$$10 \le L_i \le 200 \text{ мм};\quad 5 \le \frac{(D_{\text{зов}i} - D_{\text{вн}})}{2} \le 25;\quad 50 \le D_{\text{вн}} \le 300 \text{ мм}. \quad (2.4)$$

Розрахунок за даною методикою виконаний для всіх клітей і його результати зведені в табл. 2.5, з аналізу якої випливає, що витрата рідини по всьому блоку складе Q_I = 152,2 л/хвил. Слід зазначити, що даний варіант пов'язаний з необхідністю установки 11 модифікацій гідромоторів, що вимагає додаткового штату запасних двигунів всіх модифікацій, що в свою чергу пов'язано з великими матеріальними витратами. Крім того, немає можливості швидкої заміни двигуна, що вийшов з ладу, взаємозамінним. У розрахунках для клітей з 5-ї по 11-ту не виконується обмеження (2.4), що може призвести до швидкого виходу з ладу робочих частин двигуна внаслідок прискореного розігріву і зносу.

Таблиця 2.5 - Результати розрахунків конструктивних параметрів гідромоторів за першим варіантом

Параметр	Номер кліті										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$D_{зові} \cdot 10^{-3}$, м	88	80	80	80	78	78	78	76	76	72	72
$L_i \cdot 10^{-3}$, м	80	64,0	80	36,8	49,6	20	29,4	16	18,3	19,0	10,0
$S_i \cdot 10^{-4}$, м^2	7,2	3,2	4,4	1,84	1,99	0,80	1,18	0,48	0,55	0,19	0,10
$F_i \cdot 10^{-3}$, Н	14,6	6,49	8,91	3,73	4,02	1,63	2,38	0,97	1,114	0,39	0,203
$V_i \cdot 10^{-4}$, м^3	1,79	0,75	1,04	0,434	0,46	0,19	0,27	0,11	0,126	0,04	0,022
Q_i, л/хвил	3,65	1,35	4,15	2,198	4,58	2,36	5,37	2,75	6,57	2,66	1,863

2 варіант. На всі кліті блоку встановлюється одна модифікація гідромотора. Тиск робочої рідини в гідросистемі варіюється. Дана модифікація двигуна повинна забезпечити роботу найбільш завантаженої за моментом кліті блоку. Такою кліттю є перша кліть з M_1 = 1154 Н·м; $D_{зов}$ = $88 \cdot 10^{-3}$ м; L = $88 \cdot 10^{-3}$ м; S = $7{,}2 \cdot 10^{-4}$ м^2; F_1 = 14,587 кН; V = $1{,}79 \cdot 10^{-4}$ м^3; Q = 3,65 л/хвил. Результати розрахунку витрати робочої рідини у всіх клітях блоку наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Результати розрахунків конструктивних параметрів гідромоторів за другим варіантом

Параметр	Номер кліті										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P_i, МПа	20	8,45	11,59	4,85	5,170	2,02	3,06	1,23	1,41	0,47	0,24
$F_i \cdot 10^{-3}$, Н	14,6	6,17	8,46	3,54	3,768	1,52	2,23	0,89	1,03	0,34	0,18
Q_i, л/хвил	3,65	4,62	7,16	9,08	17,76	26,61	35,0	44,90	93,2	112,4	150

Сумарна витрата рідини на один гідромотор по всіх клітях за цим варіантом становить $\sum_{i=1}^{11} Q_i = 501$ л/хвил, а по всьому блоку (на чотири мотори для кожної кліті) Q_{II} = 2004 л/хвил.

Таким чином, порівнюючи даний варіант з першим, видно, що тут дуже велика витрата робочої рідини. Однак за даним варіантом потрібний менший штат запасних двигунів, так як всі двигуни взаємозамінні (одна модифікація), отже, даний варіант найбільш економічний за металоємністю, але змушує використовувати насосну станцію великої встановленої потужності.

Проаналізовано варіанти установки на кліті блоку двигунів двох модифікацій. При цьому в якості найбільш навантажених за моментом обрано 1-у і 5-у кліті; 1-у і 7-у кліті; 1-у і 9-у кліті. Результати розрахунку витрат за всіма п'ятьма варіантами комплектації клітей гідромоторами зведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Результати розрахунку кількості робочої рідини на прокатний блок для розглянутих п'яти варіантів модифікацій гідромоторів

Модифікація за клітями	№ варіанту				
	1	2	3	4	5
	1 - 11	по 1	1; 5	1; 7	1; 9
$\sum_{j=1}^{V} Q_j$	152,2	2004,0	568,0	450,0	512,8

Витрата рідини не залежить від зміни об'єму робочого каналу двигуна (зміни $D_{зові}$ і L_i). Зокрема, підставивши вираз (2.2) у формулу (2.3), отримаємо залежність:

$$Q_i = 0{,}25 \cdot \pi \cdot \frac{M_i}{0{,}25 \cdot P_i \cdot (D_{\text{зові}}^2 - D_{\text{вн}}^2)} = \pi \cdot \frac{M_i \cdot n_i}{P_i}.$$

Отже, зміна витрати рідини пов'язана лише зі зміною тиску робочої рідини в системі для даної кліті (за умови, що M_i і n_i фіксовані). У свою чергу зміна тиску рідини пропорційно пов'язана зі зміною $D_{зові}$ і L_i, а верхня величина тиску має верхню межу 20,0 МПа. Отже, найменша витрата рідини буде в тому випадку, якщо забезпечити тиск P_i =20,0 МПа на всіх клітях, що було реалізовано в 1-му варіанті. Однак, як зазначалося вище, розміри робочого каналу в цьому випадку не відповідають прийнятим обмеженням (2.4).

Для вибору раціонального варіанту розташування двигунів різних модифікацій необхідно розглянути й економічні показники за кожним із варіантів. Але оскільки даний технологічний процес (використання гідродвигунів для прокатки) мало вивчений і застосовується вперше, то

врахувати всі матеріальні витрати на проєктування установок з різними модифікаціями двигунів важко, а аналогів подібного процесу просто не існує. Тому можна говорити лише про якісний вибір оптимального варіанту двигунів. Так, порівнюючи перші два варіанти, можна помітити, що вони є граничними: найменша витрата і всі одинадцять модифікацій двигунів у першому варіанті, і найбільша витрата, але одна модифікація двигунів у другому. Можна припустити, що перший варіант економічно малоефективний через необхідність мати великий парк гідромоторів всіх модифікацій, причому не взаємозамінних між собою; другий варіант, навпаки, дозволяє мати в штаті лише одну модифікацію двигуна з параметрами 1-ої кліті, але пов'язаний з великою витратою робочої рідини, а значить буде потрібно встановлення насосних станцій надлишкової потужності, що позначиться на збільшенні собівартості продукції. З огляду на ці недоліки, доцільно зупинитися на середньому варіанті за витратою і установкою двигунів різних модифікацій.

2.4 Експериментальний аналіз процесів прокатки прутків у калібрах конічних валків

З метою збору та аналізу інформації про кінематику течії металу, а також про енергосилові параметри процесу багатовалкового прокатування на конічних валках, проведено дослідження на експериментальній чотиривалковій прокатній установці, яка була змонтована на універсальній випробувальній машині УВМ-30 зусиллям 0,3 МН.

Конструктивні особливості прокатної установки ілюструються об'ємною схемою на рис. 2.8.

Корпус установки являє собою дві опорні плити 1 і 2, з'єднаних чотирма стійками 3. На внутрішніх поверхнях плит виконані діагональні пази, в які поміщаються з можливістю зміщення направляючі виступи подушок 4. Прокатні конічні валки 5 закріплені на осях з підшипниковими опорами в

розточках подушок. На протилежному від валка кінці осі закріплена приводна шестерня 6, що знаходиться в постійному зачепленні з рейкою 7.

Чотири зубчасті рейки верхніми торцями з підп'ятниками закріплені на поперечині 8, яка монтується нерухомо на верхньому бойку випробувальної машини. Підп'ятники рейок виконані з можливістю зміщення відносно корпусу поперечини 8. У поперечних різьбових розточках стійок 3 встановлені місдози 9 для вимірювання повного тиску металу на валки при прокатці. Мірні дози 9 забезпечені встановленими в осьових каналах штовхачами 10, що спираються одним кінцем в дно стакана мірної дози, другим - в корпус подушки. Осі мірних доз перпендикулярні конічним бочкам валків і паралельні направляючим пазам, по яких можливе зміщення подушок. При установці кліті на випробувальну машину нижня плита 1 спирається на порожнисту опору рухомої поперечини машини. Для виведення прокатаних заготовок з кліті використовується осьовий канал рухомої гідроприводної поперечини універсальної випробувальної машини УВМ-30.

Замикання чотирьох валків для формування, зокрема, круглого калібру показано на рис. 2.9. Робочі валки кріпляться на фланцях осей 11 і легко замінюються при переналаштуваннях прокатної кліті. На осях встановлені радіально-упорні 12 і радіальні 13 підшипники кочення. Шестерні 6 жорстко закріплені на кінцях валкових осей 11 за допомогою двох шпонок і притискного фланця 14.

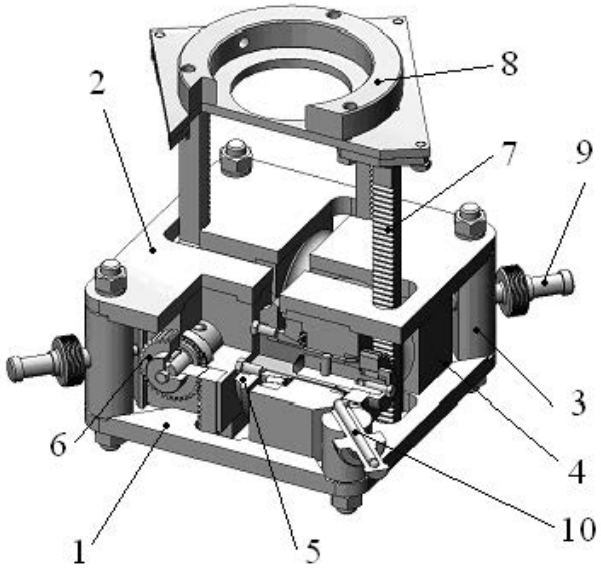


Рисунок 2.8 - Конструктивна схема експериментальної прокатної установки:

1,2 – плити корпусу установки; 3 – стійка; 4 – подушка валка; 5 – валок; 6 – шестерня приводу валка; 7 – зубчаста рейка; 8 – поперечина; 9 – месдоза; 10 – штовхач

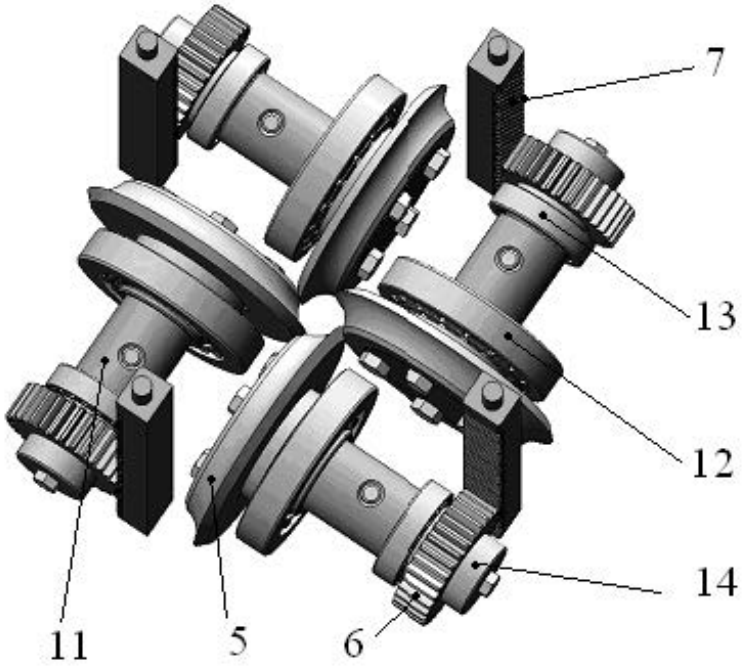


Рисунок 2.9 - Валковий вузол прокатної установки:

5 – робочий валок; 6 – шестерня приводу валків; 7 – зубчаста рейка; 11 – вісь валка; 12 – радіально-упорний підшипник; 13 – радіальний підшипник; 14 – притискний фланець

При проведенні дослідної прокатки установка працює наступним чином. У вихідному стані рухома поперечина випробувальної машини знаходиться в крайньому нижньому положенні. При цьому завдяки жорсткому закріпленню поперечини 8 на верхньому нерухомому бойку машини зубчасті рейки 7 повністю виведені вгору по відношенню до корпусу установки. Зразок вводиться нижнім кінцем в зів валків через отвір верхньої плити 2. Після включення гідроприводу машини рухома поперечина піднімається і рейки 7, залишаючись нерухомими, приводять в синхронне обертання всі валки 5.

Окружна швидкість валків на середньому діаметрі 2R визначається швидкістю переміщення рухомої поперечини машини і дорівнює $V_{окр} = V_м \cdot i$, де $i = R/R_o$, R_o – роздільний радіус шестерні 6. Швидкість прокатки регулюється дистрибутором випробувальної машини в діапазоні від 0 до 1,5 м/хвил.

Зразок має обмежену довжину; при максимально реалізованій витяжці ($\lambda = 1,7$) довжина не перевищує 160 мм і може бути збільшена до 200 мм при зменшенні витяжки.

Прокатка завершується при виході зразка з валків, або при надмірній довжині зразка, при зіткненні поперечини 8 з верхньою плитою 2 корпусу установки. Після зтравлювання робочої рідини з головного циліндра випробувальної машини рухома поперечина під власною вагою опускається в нижнє положення, виводячи рейки з подушок. Валки при цьому обертаються в зворотному напрямку. При поверненні установки в початкове положення її корпус утримується на рухомій поперечині спеціальними тягами.

Експериментальна прокатна установка оснащена системою автоматичного збору та обробки сигналів, що представляють технологічні параметри:

– тиск металу на валки P;

– момент прокатки, $M_{пр}$;

– переміщення кліті (швидкість переміщення кліті);

– швидкість штаби на вході в прокатну кліть;

– швидкість штаби на виході з валків.

Зусилля прокатки вимірюється чотирма месдозами 9 (рис. 2.8), отже, окремо на всіх валках, що дозволяє усереднювати тиск металу на валки при будь-якій асиметрії осередку деформації і, зокрема, при перекосах зразка на вході в валки.

Схема установки всіх інших датчиків показана на рис. 2.10. Для вимірювання моменту прокатки і всіх швидкостей переміщень використовуються потенціометри, включені в вимірювальні канали пристрою зв'язку з об'єктами (УСО) за схемою дільників напруг.

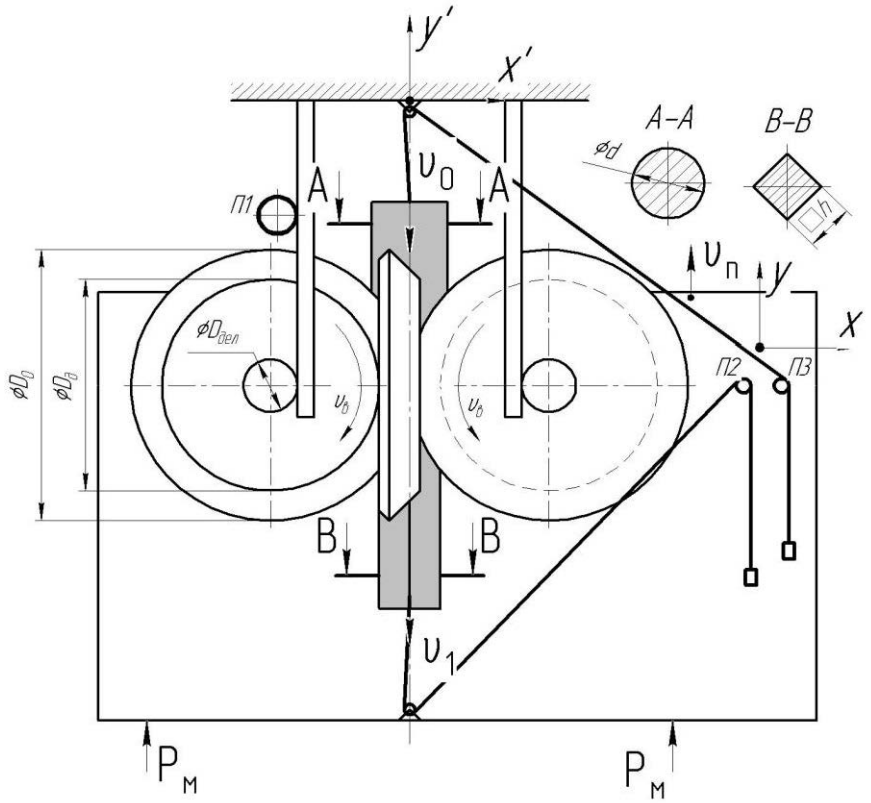


Рисунок 2.10 - Схема установки потенціометра для вимірювання швидкостей переміщення кліті та штаби на експериментальній прокатній установці

Потенціометр, за допомогою якого реєструється сила випробувальної машини $P_м$, прикладена одночасно до чотирьох рейок, встановлений на одному з елементів трансмісії динамометра випробувальної машини.

Для вимірювання моменту прокатки реєструються зусилля випробувальної машини $P_м$, а момент, прикладений до всіх чотирьох валків, визначається виразом

$$M_{пр} = \frac{P_м \cdot R_0 \cdot i}{\eta},$$

де i - передавальне число приводу валків; η - ККД приводу, у розрахунках моменту прокатки приймається $\eta = 0{,}9$.

Потенціометр П1 (рис. 2.10) використовується для вимірювання швидкості переміщення кліті $V_м$. Для вимірювання швидкостей штаби на вході і виході валків встановлені потенціометри П2 і П3, що приводяться в обертання за допомогою ниток, що охоплюють шківи на осях потенціометрів.

В межах експериментальних можливостей створеної дослідної установки чотиривалкового пресування в квадратному і круглому калібрах конічних валків здійснено визначення ряду технологічних параметрів прокатки прутків за схемами круг-квадрат і квадрат-круг. Отримана інформація необхідна для коригування математичних моделей у кінцево-елементній постановці та для перевірки адекватності цих моделей.

Вивчення прокатки прутків за схемами круг-квадрат і квадрат-круг здійснювалося в чотиривалкових калібрах, утворених конічними бочками (рис. 2.11, а), або радіальними струмками, нарізаними на конічних бочках валків (рис. 2.11, б). Грибоподібні валки розміщувалися в подушках, які в корпусі встановлювалися таким чином, що валки формували необхідний калібр. Взаємне положення подушок при формуванні круглого калібру показано на рис. 2.12.

Зовнішній і, отже, максимальний діаметр валків в калібрах D = 130 мм. Сторона квадрату калібру a = 18 мм, діаметр круглого калібра – d = 25 мм. Максимальні діаметри валків в обох калібрах D_1 = 104,5 мм, а відносні діаметри валків становили: для квадратного $A = \frac{D+D_1}{2a} = 6{,}5$; для круглого $A = \frac{D+D_1}{2d} = 4{,}7$. Середній діаметр валків в калібрах $\overline{D} = 117{,}25$ мм.

а б



Рисунок 2.11 - Прокатні валки для квадратного (а) і круглого (б) калібрів

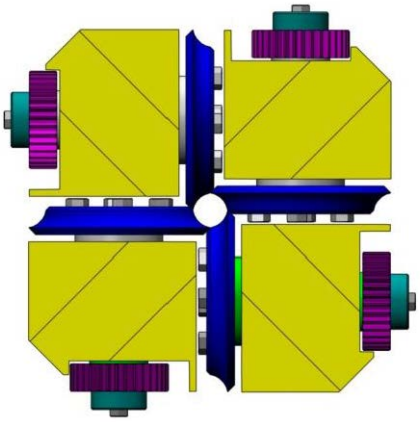


Рисунок 2.12 - Схема установки подушок валків при формуванні круглого чотиривалкового калібру

В якості модельного матеріалу для реалізації гарячої деформації використовувався свинець марки С1, а заготовки для обох схем прокатки виготовлялися пресуванням з литого злитка діаметром 75 мм.

Швидкість руху штаби при проведенні дослідних прокаток визначалася на вході V_0 і на виході V_1 кліті, що давало можливість оцінити швидкість деформації:

$$\xi = \varepsilon \cdot \bar{V}/l,$$

де $\bar{V} = (V_0 + V_1)/2$ – середня швидкість прокатки; l – довжина зони обтиснення.

Формозміна заготовки при прокатці характеризується коефіцієнтом висотної деформації 1/η, коефіцієнтом витяжки λ і ступенем заповнення калібрів δ.

Коефіцієнт висотної деформації для випадку прокатки за схемою круг – квадрат визначався виразом $1/\eta = d_0/a$ (рис. 2.13, а) і квадрат–круг – $1/\eta = a_1/d$ (рис. 2.13, б).

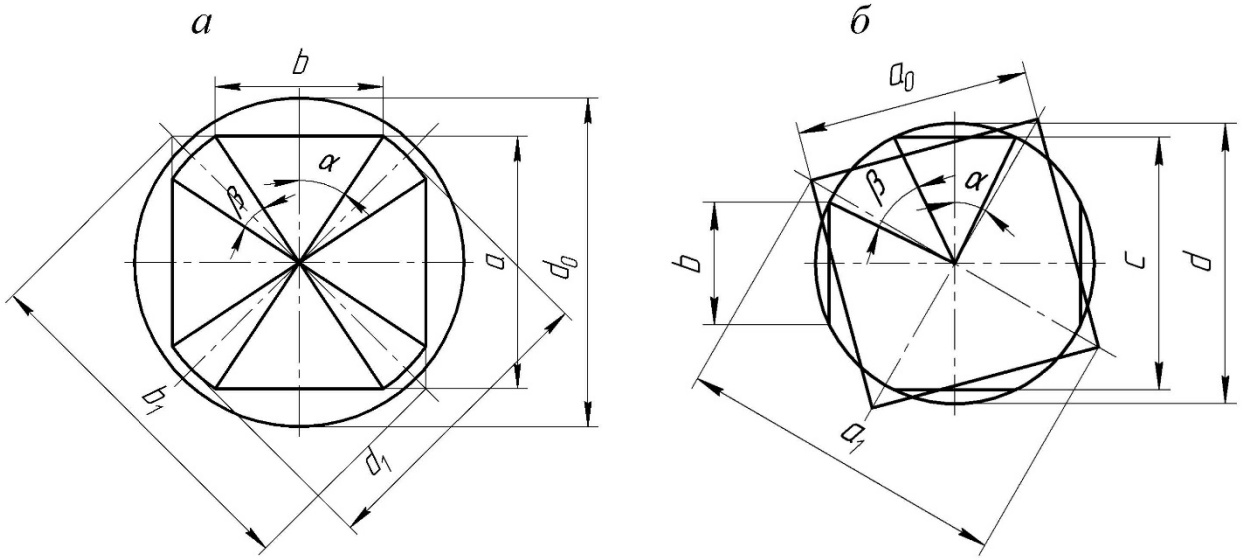


Рисунок 2.13 - Схеми зміни форми перетину заготовки при прокатці за схемами круг-квадрат (а) і квадрат-круг (б)

Для визначення коефіцієнтів витяжки використовувалися вирази:

- круг-квадрат $\lambda = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4 \cdot \left(a \cdot b + \frac{\beta}{2} \cdot d_1^2\right)}$ (рис. 2.13, а),

де $\beta = \frac{\pi}{2} - 2\alpha;\ \alpha = arctg(b/a)$;

- квадрат-круг $\lambda = \frac{a_0^2}{\left(b \cdot c + \frac{\beta}{2} \cdot d^2\right)}$ (рис. 2.13, б),

де $\alpha = arctg(b/\mathrm{c})$.

Під ступенем заповнення калібрів розуміються відносини:

- для схеми круг-квадрат $\delta = b_1/d_1$ (рис. 2.13, а);
- для схеми квадрат-круг $\delta = c/d$ (рис. 2.13, б).

Залежність λ від 1/η для двох схем прокатки наведена на рис. 2.14. За величиною ступеня заповнення можна судити про витяжну здатність калібрів, яка визначається коефіцієнтом висотної деформації при δ = 1. Залежність δ від 1/η для трьох схем прокатки наведена на рис. 2.15.

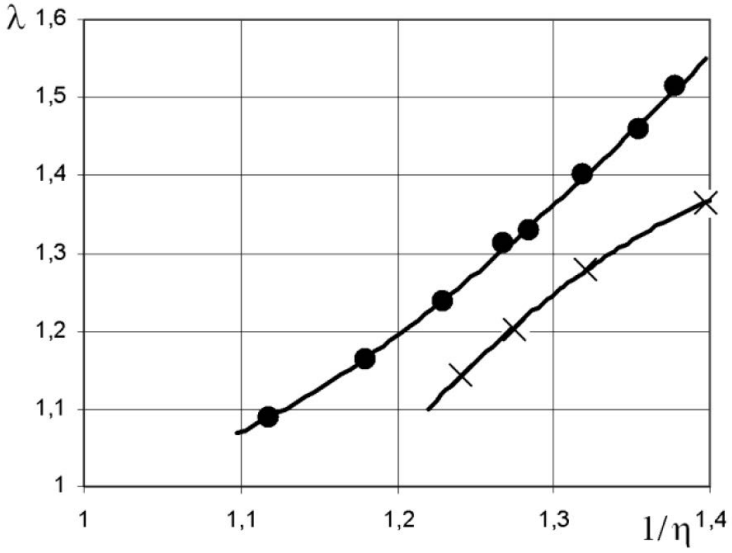


Рисунок 2.14 - Залежність коефіцієнта витяжки від коефіцієнта висотної деформації: ● – схема прокатки круг–квадрат; × – квадрат–круг

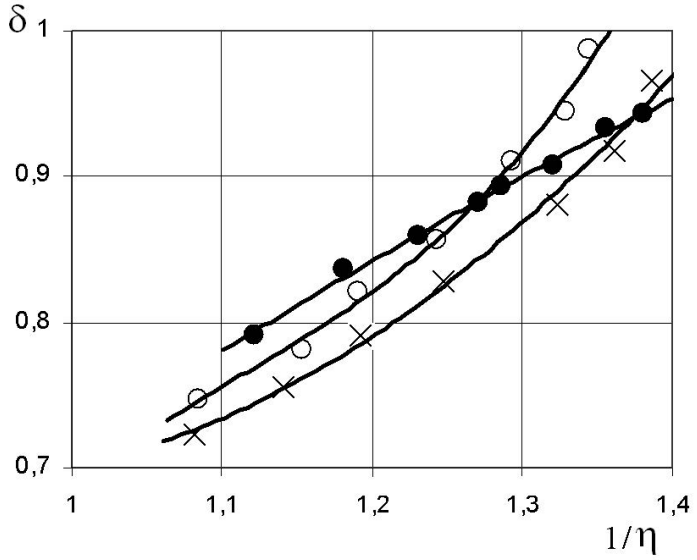


Рисунок 2.15 - Ступені заповнення квадратного і круглого калібрів конічних валків: ● – круг–квадрат; ○ – квадрат–круг; × – квадрат–квадрат

3 МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА

В останні роки широкий розвиток отримали нові процеси, засновані на поєднанні різних видів обробки тиском, на комбінації їх з литтям тощо. Ці способи дозволяють підвищити енергоефективність та продуктивність виробництва, покращити властивості виробів, а також знизити кількість відходів.

3.1 Технології поєднаних та комбінованих процесів обробки металів та їх сплавів

В останній час при отриманні профілів невеликого перетину з алюмінієвих та мідних сплавів поряд із традиційними технологіями, особливо для міні-виробництв, використовуються технології безперервного пресування конформ, екстролінг, лайнекс та безперервного лиття, прокатки, пресування кастекс, кастер. Модульне обладнання, призначене для таких виробництв, характеризується високою мобільністю, гнучкістю переходу від одного виду продукції до іншого, а також порівняно високою продуктивністю (рис. 3.1). Тому можна зробити висновок, що вдосконалення цих технологій є перспективним напрямом розвитку процесів прокатки, пресування та волочіння.

Прагнення використовувати активні сили тертя для безперервної деформації металів призвело до розробки нових методів безперервного пресування. При цьому в різних схемах таких процесів (конформ, екстролінг, лайнекс) використовуються комбінації операцій обробки металів тиском: прокатки, пресування та волочіння.

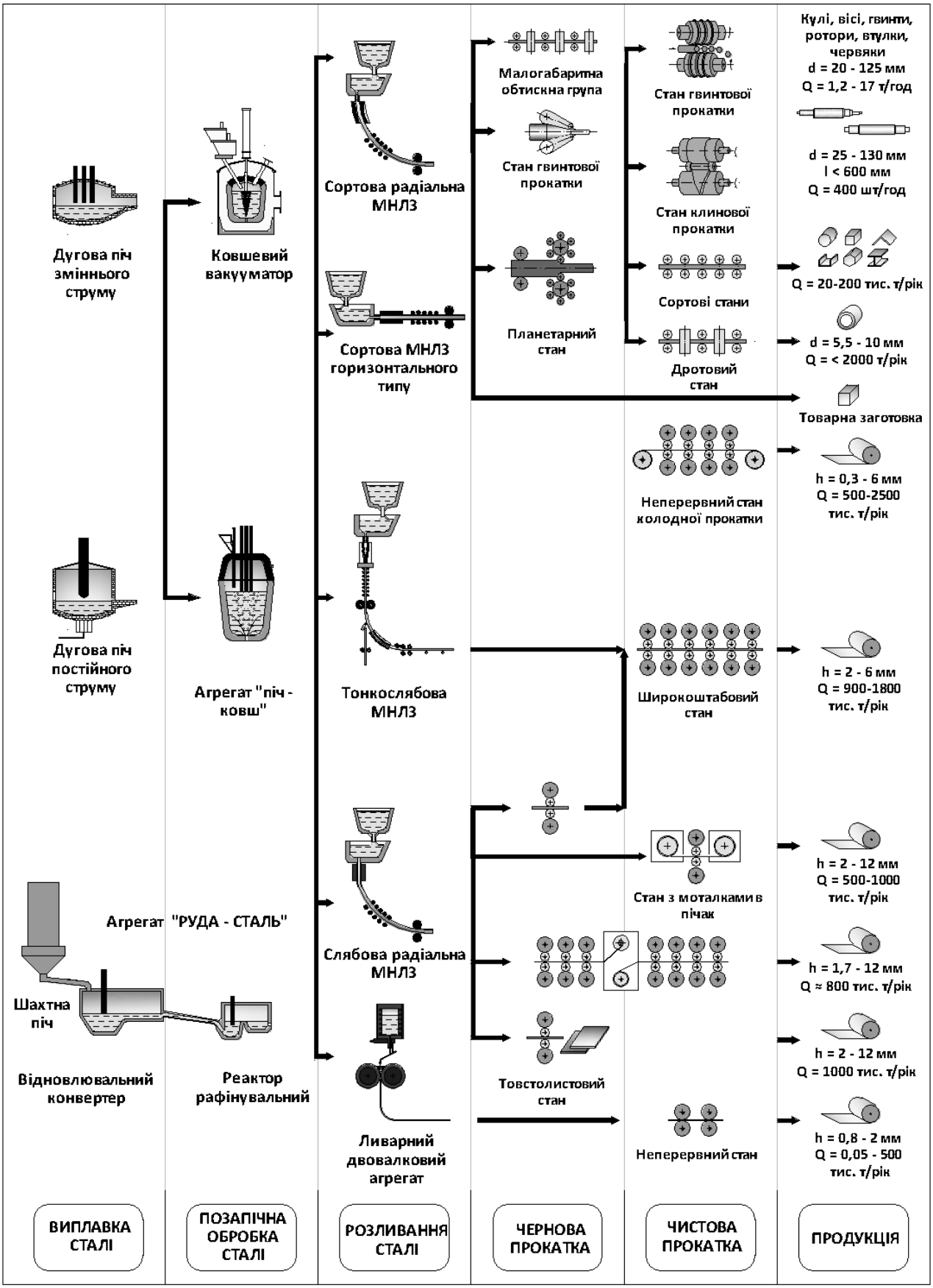


Рисунок 3.1 – Різновиди сучасних модулей для міні - заводів

До поєднаних процесів останнім часом додалися і процеси, у яких операції обробки металів тиском проводяться одночасно з операціями термообробки. Як приклад можна навести процес загартування алюмінієвих профілів, що термічно зміцнюються, на столі преса, патентирування та ін.

Технологічний процес прокатно-пресово-волочильного виробництва є багатоопераційним і складається з набору простих операцій. При цьому чим менше площа поперечного перетину виробу, тим більше потрібно операцій. Так, наприклад, для отримання алюмінієвого дроту за традиційною технологією необхідно виконати до 15 - 20 операцій, які зазвичай розірвані у часі. Таким чином, у галузі виробництва виробів із кольорових металів та сплавів виділяють прості та складні (інтегральні) процеси обробки.

Нині спостерігається тенденція щодо створення суміщено-комбінованих процесів, коли у кожному послідовному етапі обробки може застосовуватися комбінований процес. Прикладом реалізації такого процесу може бути технічне рішення, при якому на одній установці здійснюються одночасно операції лиття - кристалізації, прокатки - пресування, охолодження та змотування готових прес-виробів у бухту з калібруванням готового виробу на заданий діаметр.

Для реалізації багатьох варіантів комбінованих процесів обробки найчастіше використовується прокатка, основною перевагою якої є можливість створення за допомогою обертових валків безперервного процесу деформації. Крім того, сили тертя, що перешкоджають протіканню процесу в багатьох операціях обробки металів та потребують додаткових енергетичних витрат, при прокатуванні стають активними та сприяють деформації. Однак традиційна поздовжня прокатка не дозволяє отримати більші одиничні ступеня деформації за один цикл обробки. Разом з тим відомо, що максимальні ступені деформації можуть бути досягнуті із застосуванням прямого пресування, але тоді процес стає циклічним, і близько двох третин зусилля витрачається на подолання сил контактного тертя інструментом. Звідси виникає інтерес до поєднання позитивних властивостей кожного процесу:

безперервності та активних сил тертя при прокатці та можливості деформувати метал з великими ступенями деформації - при пресуванні.

В даний час наукові розробки спрямовані на створення комбінованих способів обробки металів тиском, в яких по можливості поєднувалися б позитивні якості кожного з процесів, що входить в комбінацію.

3.2 Характеристика процесу прокатки-пресування

Вперше процес поєднання прокатки та пресування, названий екстролінгом, був запропонований і запатентований Б. Авітцуром в 1976 р. Особливістю способу є те, що за рахунок активних сил контактного тертя між валками та заготівлею екструзія металу здійснюється через матрицю для пресування. Схема процесу показано на рис. 3.2.

Для здійснення даного процесу вихідна заготовка безперервно задається в калібр, обтискається в ньому, що повністю відповідає стадії прокатки, і видавлюється в калібруючий отвір матриці, встановленої на виході з калібру.

Цей спосіб реалізується як для екструдування металу в холодному стані, так і при підвищених температурах. У порівнянні з раніше розглянутим способом конформ в ньому знижуються витрати потужності на подолання тертя реактивної дії, а також більш ефективно відбувається заповнення порожнини калібру металом заготовки. Реалізація процесу дозволяє усунути такі недоліки пресування, як обмежена довжина виробу, а для прокатки з'являється можливість підвищити одиничні обтискання і наблизити їх до величин, одержуваних при пресуванні. Однак при методі екстроллінгу процес реалізується не повністю, так як матриця розташована на загальній осі, що проходить через центри валків.

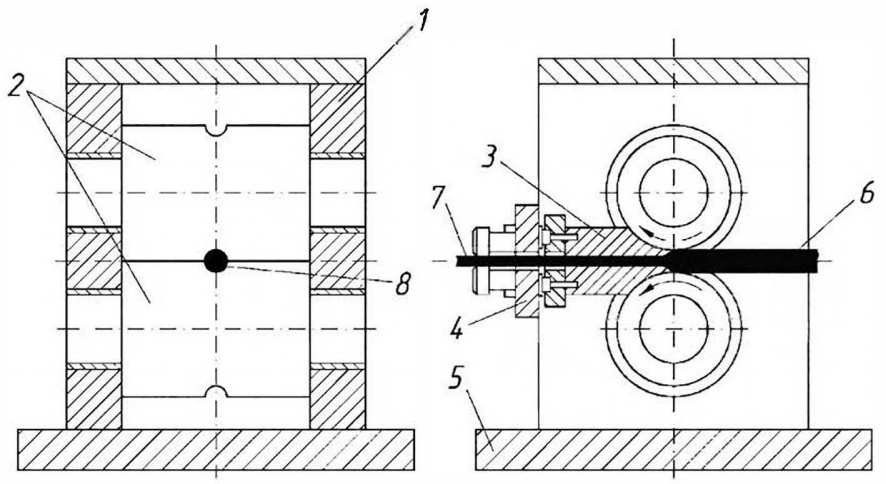


Рисунок 3.2 - Схема процесу екстроллінг:

1 – станина; 2 – валки; 3 – матриця; 4 - матрицетримач; 5 – плитовина; 6 – заготівля; 7 – виріб; 8 - калібр із металом

Був запропонований метод поєднаної прокатки-пресування (ППП), який за рахунок конструктивних рішень дозволяє зробити процес стійким з погляду безперервного протікання без зупинок та пробуксувань. Один з варіантів пристрою для суміщеної прокатки-пресування некомпактних матеріалів представлений на рис. 3.3.

У цьому пристрої безперервна та рівномірна подача заготовки у вигляді дроту або дискретних металевих частинок (порошок, гранули, стружка та ін.) у валки забезпечується за допомогою шнека.

3.3 Характеристика процесу лиття – прокатки – пресування

Наступним кроком у розвитку та вдосконаленні суміщених способів прокатно-пресово-волочильного виробництва стало створення процесу поєднаного лиття, прокатки та пресування (СЛІПП). Вченими були розроблені та запатентовані пристрої та установки безперервного лиття, прокатки та пресування. Один із варіантів такого пристрою показаний на рис. 3.4.

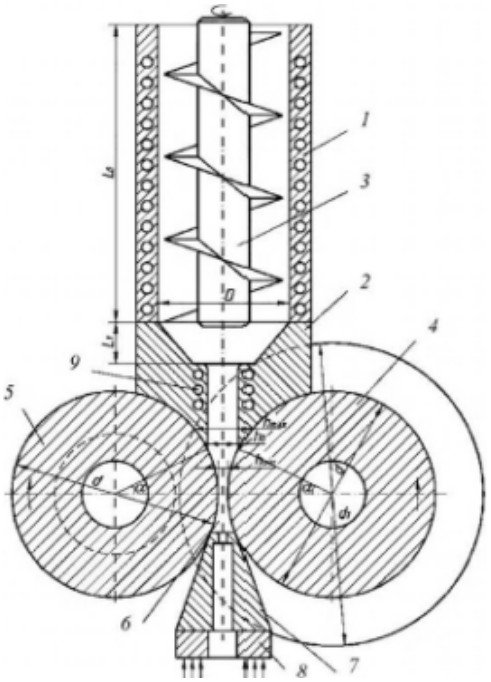


Рисунок 3.3 - Схема пристрою для отримання дроту та дрібносортних профілів з некомпактних матеріалів:

1 – контейнер; 2 – форкамера; 3 – шнек; 4 - валок із струмком; 5 – валок із виступом; 6 – калібр; 7 – матриця; 8 - гідропритиск; 9 – індуктор

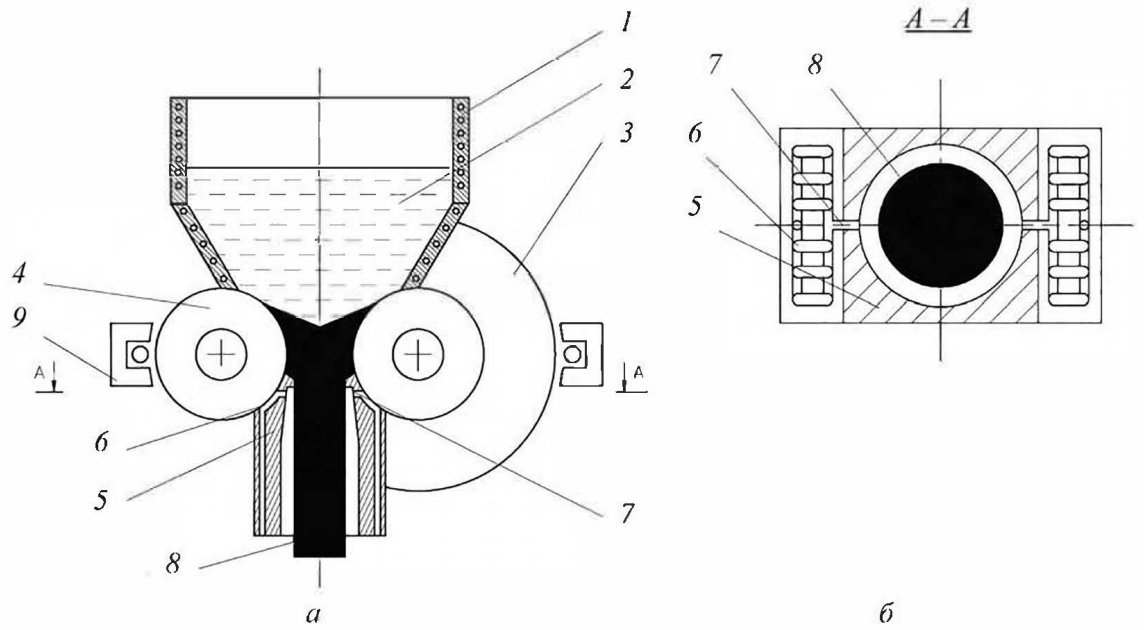


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд пристрою:

а – для безперервного лиття, прокатки та пресування; б – вид інструментального вузла пристрою у розрізі:

1 – піч-міксер; 2 – розплав; 3 – валок із струмком; 4 – валок з виступом; 5 – матриця; 6, 7 – канали для охолодження матриці; 8 – прес-виріб; 9 – індуктор

Обладнання працює наступним чином. Спочатку валки нагріваються до необхідної температури за допомогою індукторів 8. Після цього розплавлений метал 2 заливається в піч-міксер 1, звідти потрапляє у валки 3 і 4 де починається його кристалізація, потім здійснюється захват металу поверхнями валків, деформування в закритому калібрі, утвореному валками, і видавлювання через робочий канал матриці 5. У момент попадання розплаву в піч-міксер 1 охолоджувані канали 6 і 7 матриці 5 подається холодоагент. При необхідності можливе нагрівання валків індукторами 8 під час роботи.

Описані пристрої послужили основою створення дослідно-промислових установок суміщеної обробки, технічні характеристики яких представлені в табл. 3.1. Установка СЛІПП-2,5 (рис. 3.5), наприклад, входить у лінію виробництва прес-виробів невеликого перетину з алюмінієвих сплавів.

До складу лінії входять такі вузли: піч-міксер для приготування сплаву, пристрій для подачі рідкого металу у валки, установка поєднаного лиття та прокатки-пресування 1, охолоджувальний пристрій 2, накопичувач, стіл обрізки з ножицями 3, моталка 4 (рис. 3.6).

Таблиця 3.1 – Параметри установок суміщеної обробки

Параметри	Установки суміщеної обробки		
	СПП-260	СПП-400	СЛІПП-2,5
Діаметр валка, мм	260	400	480
Діаметр шийки валка, мм	190	140	245
Діаметр бочки валка, мм	350	240	250
Окружна швидкість валків, м/хвил	25,2	6,3	39,6
Потужність електродвигуна, кВт	50	75	45

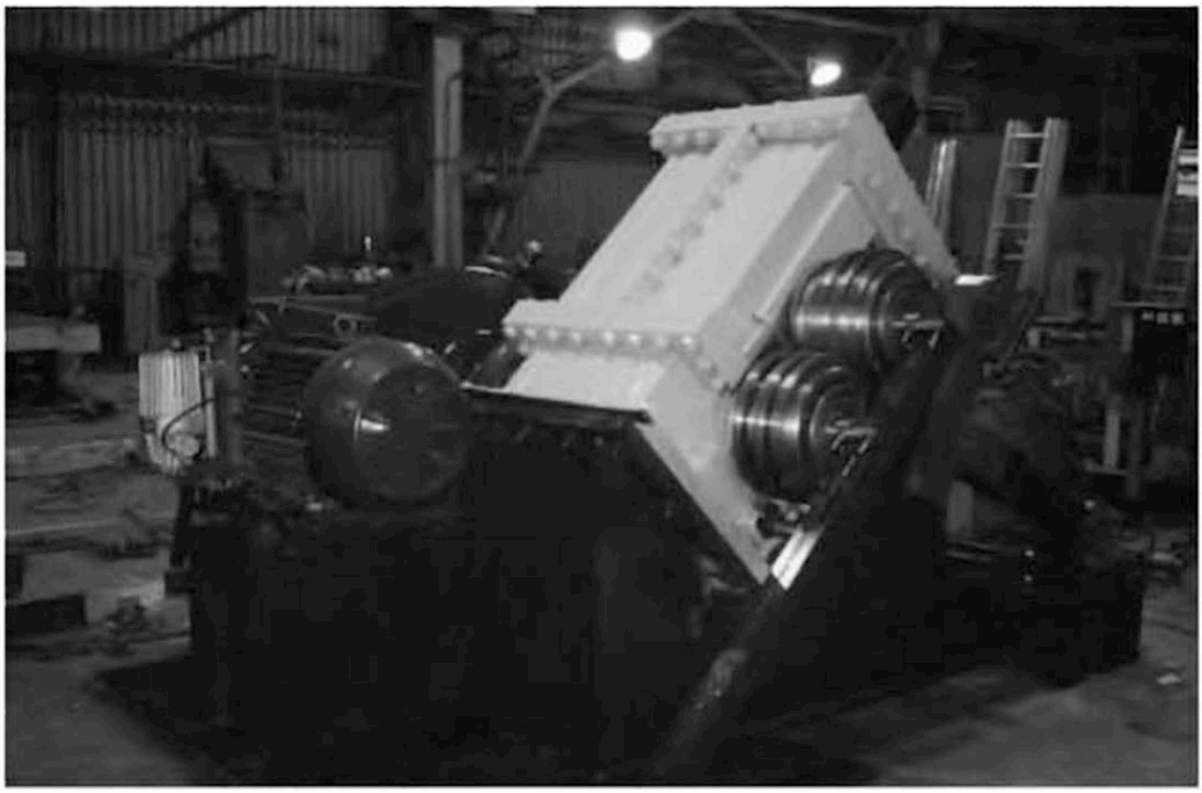


Рисунок 3.5 – Установка СЛІПП-2,5

Застосування електромагнітного кристалізатора в лінії поєднаного лиття та прокатки – пресування (рис. 3.7) дозволяє обробляти малопластичні та нетехнологічні сплави, такі, наприклад, як АК5, АК12, АМг6, АВ97 та ін. Це пов'язано з тим, що електромагнітний кристалізатор, забезпечений живителем на відміну від роторного дозволяє отримувати литі заготовки невеликого поперечного перетину (з діаметром описаного кола до 20 мм) при високих швидкостях охолодження за рахунок інтенсивної подачі холодоагенту до заготівлі, що кристалізується, а, як відомо, високі швидкості охолодження (більше 100 град/с) дозволяють отримувати дрібнозернисту структуру литої заготівлі та, відповідно, підвищують її механічні властивості. Застосування деформуючого вузла поєднаної прокатки-пресування для формозміни таких литих заготовок дозволяє отримувати прес-вироби за один цикл обробки з високими ступенями деформації.

В процесі роботи розплавлений метал з печі-міксера 1 надходить в електромагнітний кристалізатор 2, потім злиток, що закристалізувався згинається і за допомогою правильно-задаючого пристрою 4 надходить в калібр, утворений валком з виступом 5 і валком з струмком 6. Далі заготовка піддається пластичній деформації у вигляді прес-виробу через матрицю 7, підтиснуту гідроциліндром 9.

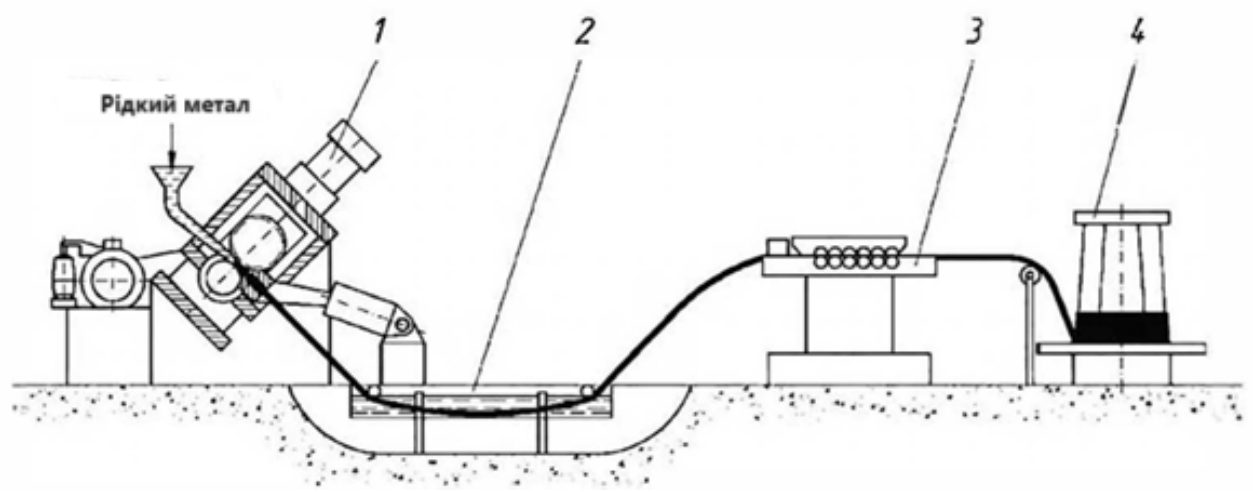


Рисунок 3.6 – Фрагмент лінії суміщеного лиття і прокатки – пресування для отримання катанки з електротехнічних алюмінієвих сплавів: 1 – установка СЛІПП; 2 – охолоджуючий пристрій; 3 – стол обрізки; 4 – моталка

Матриця охолоджується за допомогою холодоагенту, що надходить у клиноподібні порожнини 8, а заготівля змотується в бухту на пристрої намотування 12, пройшовши перед цим охолодження в ємності вузла охолодження кліті 11.

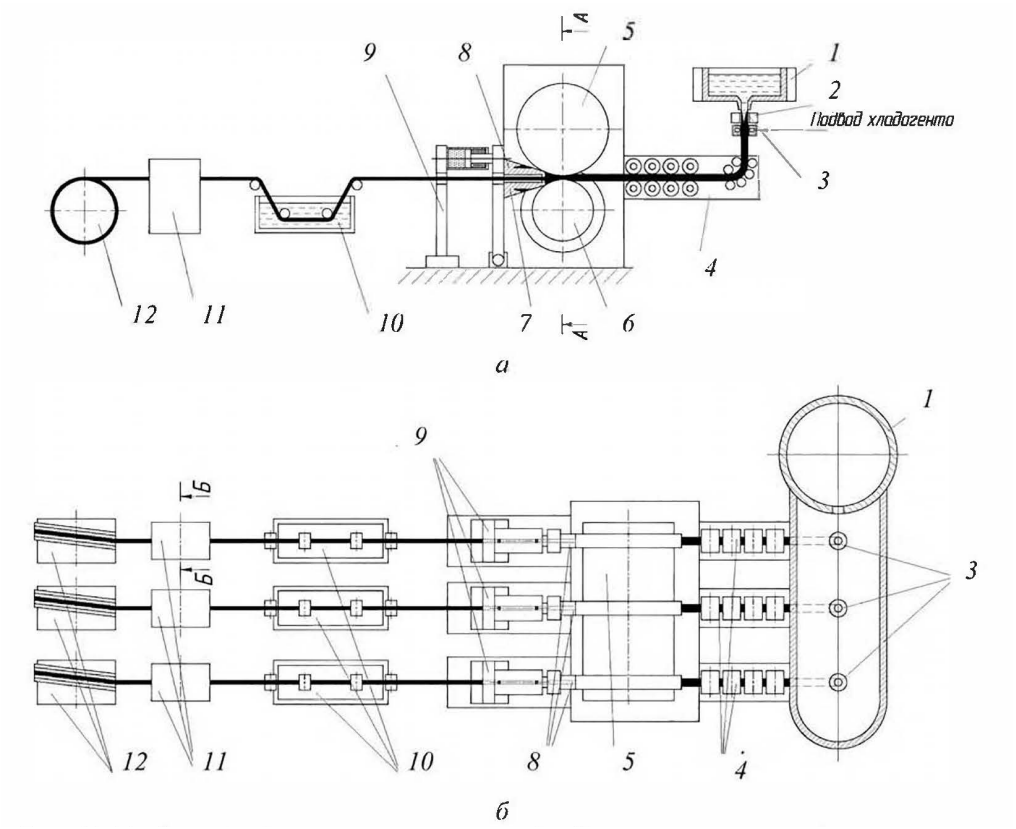


Рисунок 3.7 –Схема установки суміщеного процесу прокатки - пресування з електромагнітним кристалізатором: а – загальний вид; б – вид зверху

1 – піч-міксер; 2 - електромагнітний кристалізатор; 3 – живильник; 4 – правильно-задаючий пристрій; 5 – валок з виступом; 6 - валок зі струмком; 7 – матриця; 8 – порожнини охолодження; 9 – гідроциліндр; 10 – вузол охолодження; 11 – універсальна прокатна кліть; 12 – пристрій для намотки

Для збільшення продуктивності установки в електромагнітному кристалізаторі 2 за допомогою живильників 3 може бути отримано одночасно кілька заготовок за кількістю калібрів на валках 5 і 6, при цьому вони екструдуються через матриці 7, що перекривають ці калібри, і обробляються далі з використанням необхідної кількості гідроциліндрів 9, охолоджуючих пристроїв 10, універсальних прокатних клітей 11 і пристроїв для намотування 12.

Таким чином, комплекс, що включає електромагнітний кристалізатор і установку СЛІПП, дозволяє проводити безперервну деформацію металів і

сплавів, які за традиційної технологічної схеми виробництва практично не обробляються методами ОМТ.

3.4 Розрахунок можливості реалізації процесу поєднаної прокатки-пресування

Суміщена прокатка-пресування (СПП) є одним з методів безперервного пресування і полягає в послідовному обтисненні заготовок валками, розпресуванням металу перед матрицею та видавлюванням прес-виробу через канал матриці (рис. 3.8).

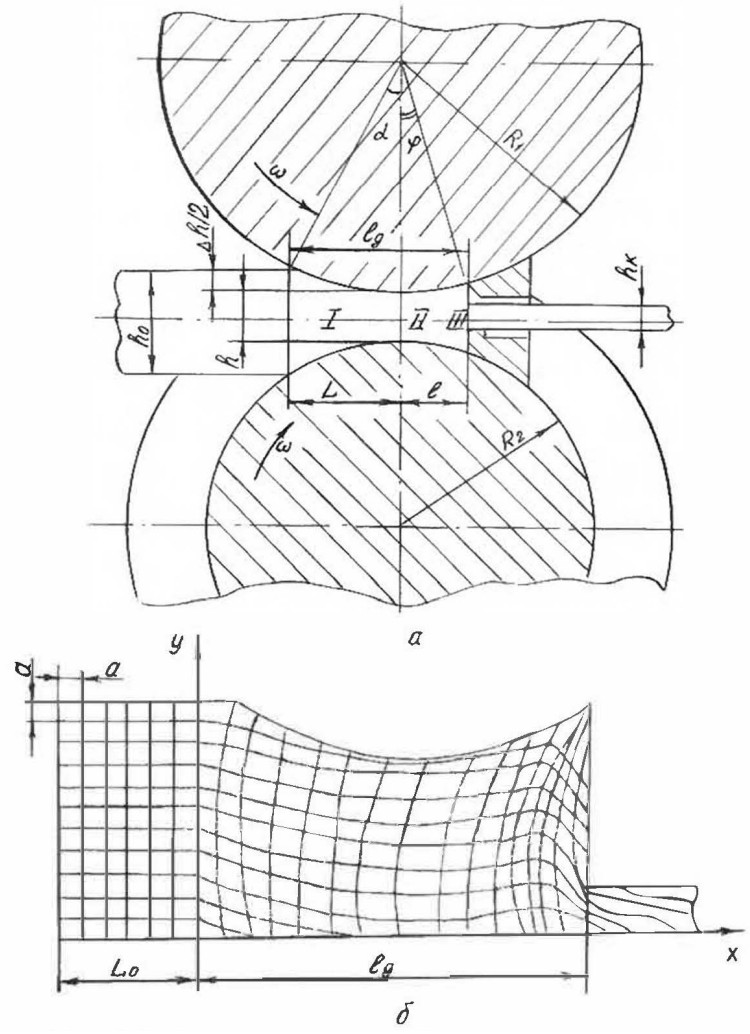


Рисунок 3.8 – Процес суміщеної прокатки-пресування
а – схема процесу; б – лінії течії металу

Так як процес видавлювання металу через канал матриці здійснюється за рахунок активних сил тертя, створюваних поверхнями валків, нерівномірність деформації при суміщеному процесі прокатування-пресування менше. Причому периферійний шар металу не тільки не відстає від центральних, але й може випереджає останні, що дозволяє зробити висновок про рівномірніше витікання металу при СПП. Крім того, енергоємність процесу (силові витрати) набагато менше, ніж при звичайному пресуванні, так як основна складова зусилля пресування, що враховує тертя контейнер, відсутня, а тертя на контакті з матрицею невелике.

Для оцінки реалізованості процесу СПП, під якою розуміється стабільність процесу деформації металу, при якому відбувається безперервне видавлювання прес-виробу, скористаємося співвідношенням

$$P_1 > P_2, \tag{3.1}$$

де P_1 – зусилля, яке здійснюється за допомогою валків; P_2 – зусилля, необхідне для видавлювання прес-виробу.

Зусилля P_1 визначають за формулою

$$P_1 = \sigma_s \cdot (F_1 + F_2). \tag{3.2}$$

Тут σ_s – опір металу деформації; F_1, F_2 – площа контакту заготовки з гребнем верхнього валка і дном струмка нижнього валка та площа контакту заготовки зі стінками калібру. Вони відповідно рівні

$$F_1 = 0{,}034906 \cdot (\alpha + \varphi) \cdot R_{cep} \cdot b; \tag{3.3}$$

$$F_2 = 0{,}017453 \cdot (\alpha + \varphi) \cdot \left(2R_{cep} \cdot h + h^2\right), \tag{3.4}$$

де R_{cep} – середній радіус валків; α – кут захвату металу валками; φ – кут, що визначає відстань матриці від загальної осі валків; h – висота калібру у найменшому перетині; b – ширина калібру.

Центральний кут α можна знайти за виразом

$$sin\alpha = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\Delta h}{2R_{cep}}\right)^2}. \quad (3.5)$$

Тоді зусилля P_1 розраховують за формулою

$$P_1 = 0{,}034906 \cdot (\alpha + \varphi) \cdot R_{cep} \cdot \sigma_s \cdot \left(b + h + \frac{h^2}{2R_{cep}}\right). \quad (3.6)$$

Зусилля пресування P_2 розраховують за формулою Перліна Л. І.

$$P_2 = R_м + T_м + T_п = 2{,}57735 \cdot \sigma_s \cdot F_м \cdot ln\lambda + \sigma_s \cdot \lambda \cdot \pi \cdot r_м \cdot l_п, \quad (3.7)$$

де $F_м$ – площа контакту розпресованої заготовки з матрицею, яку розраховують за формулою

$$F_м = b \cdot h \cdot \left[\frac{2R_{cep}}{h}(1 - cos\varphi) + 1\right], \quad (3.8)$$

де λ – коефіцієнт витяжки при пресуванні; $\lambda = \frac{F_м}{F_{пр}}$; $r_м$ – радіус канала матриці; $l_п$ – довжина пояска, що калібрує.

Виходячи з формул (3.5) – (3.8) основними факторами, що впливають на реалізованість процесу СПП, є діаметри валків, видалення дзеркала матриці від загальної осі валків (або кут φ), величина абсолютного обтиснення при прокатуванні Δh.

Необхідно за вищенаведеними формулами розрахувати можливість реалізації процесу отримання свинцевого прутка діаметром 10 мм із заготовки розміром 20×20 мм на установці СПП на базі прокатного стану Дуо 200. Як вихідні дані прийняти: ширину калібру b = 22 мм; σ_s = 20 МПа, $r_м$ = 5 мм, $l_п$ = 2 мм. Приймаємо абсолютне обтиснення Δh, мм: 0; 2,3; 4,3; 6,3; 8,3. Величина відстані дзеркала матриці від вісі валків *l*, мм: 0; 10,3; 25,3.

На лістингу, зображеному на рис. 3.9, наведено вихідні дані і результати розрахунків у програмному комплексі Mathcad Prime 11 можливості реалізації процесу поєднаної прокатки – пресування металевого прутка. Отримані дані показують, що коли Δh і *l* дорівнюють нулю, процес поєднаної прокатки – пресування взагалі неможливо реалізувати. Зі збільшенням відстані матриці від осі валків (*l*) вірогідність реалізації процесу прокатки – пресування збільшується.

$d_м := 10 \qquad r_м := \frac{d_м}{2} = 5 \qquad h_0 := 20 \qquad R_1 := 100 \qquad R_2 := R_1 - h_0$

$R_{ср} := \frac{R_1 + R_2}{2} = 90 \qquad b := 22 \qquad \sigma_s := 20 \qquad l_п := 2$

$\Delta h := \left(\text{READEXCEL}\left(\text{".\Вихідні дані.xlsx"}, \text{"Лист1!B3:F23"}\right)^{\mathrm{T}}\right)^{\langle 0 \rangle} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.3 \\ 4.3 \\ 6.3 \\ 8.3 \end{bmatrix}$

$l := \left(\text{READEXCEL}\left(\text{".\Вихідні дані.xlsx"}, \text{"Лист1!G3:I23"}\right)^{\mathrm{T}}\right)^{\langle 0 \rangle} = \begin{bmatrix} 0 \\ 10.3 \\ 25.3 \end{bmatrix}$

При $\Delta h_{1,0} = 2.3$ *мм* $\qquad h := h_0 - \Delta h_{1,0} = 17.7$ *мм*

$\alpha := \text{asin}\left(\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\Delta h_{1,0}}{2 \cdot R_{ср}}\right)^2}\right) = 0.16$ *рад* $\qquad \varphi := \text{atan}\left(\frac{l}{R_1 + \frac{h}{2}}\right) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.094 \\ 0.228 \end{bmatrix}$ *рад*

$F_1 := 0.34906 \cdot (\alpha + \varphi) \cdot R_{ср} \cdot b = \begin{bmatrix} 110.604 \\ 175.809 \\ 268.443 \end{bmatrix}$ *мм2*

$F_2 := 0.17453 \cdot (\alpha + \varphi) \cdot \left(2\, R_{ср} \cdot h + h^2\right) = \begin{bmatrix} 97.736 \\ 155.356 \\ 237.212 \end{bmatrix}$ *мм2*

$P_1 := \sigma_s \cdot (F_1 + F_2) = \begin{bmatrix} 4.167 \cdot 10^3 \\ 6.623 \cdot 10^3 \\ 1.011 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \qquad F_м := \overrightarrow{b \cdot h \cdot \left(\frac{2 \cdot R_{ср}}{h} \cdot (1 - \cos(\varphi)) + 1\right)} = \begin{bmatrix} 389.4 \\ 407.011 \\ 492.219 \end{bmatrix}$ *мм2*

$\lambda := \frac{F_м}{\pi \cdot r_м^{\,2}} = \begin{bmatrix} 4.958 \\ 5.182 \\ 6.267 \end{bmatrix} \qquad P_2 := \overrightarrow{2.57735 \cdot F_м \cdot \ln(\lambda) + \sigma_s \cdot \lambda \cdot \pi \cdot r_м \cdot l_п} = \begin{bmatrix} 4721.997 \\ 4981.952 \\ 6266.077 \end{bmatrix}$

$k := \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 = \begin{bmatrix} -13.324 \\ 24.781 \\ 38.04 \end{bmatrix}$ %

Рисунок 3.9 – Вихідні дані і результати розрахунків у програмному комплексі Mathcad Prime 11 можливості реалізації процесу поєднаної прокатки – пресування металевого прутка

3.5 Розрахунок енергосилових параметрів пресування прутка

Найбільш універсальною методикою розрахунку енергосилових параметрів пресування є методика І. Л. Перліна, яка використовує принцип суперпозиції: сила пресування Р є сумою складових, кожна з яких враховує витрату потужності на подолання реактивних сил у певному місці осередку деформації:

$$P = R_M + T_{кр} + T_M + T_П,$$

де R_M - складова зусилля на подолання потужності внутрішніх сил (на власне деформацію); $T_{кр}$ - складова зусилля на подолання напружень тертя на стінках контейнера; T_M - складова зусилля на подолання напружень тертя на поверхні матриці або напружень зрізу мертвої зони; $T_П$ - складова зусилля на подолання напружень тертя на калібрувальному пояску матриці.

У формулу можуть бути включені й інші складові, що враховують інші енерговитрати, наприклад на подолання протитиску, напруги тертя на поверхні прес-шайби тощо. Слід зазначити, що формули були отримані при використанні умови текучості Треска. При використанні умови текучості Мізеса коефіцієнти у формулах можуть виявитися дещо іншими. Доданки формули І. Л. Перліна залежно від конфігурації осередку деформації знаходяться наступним чином.

При пресуванні круглого прутка з круглої заготовки:

$$R_M = 0{,}8 \cdot D_k^2 \cdot \sigma_{scep} \cdot i/cos^2(\alpha/2),$$

$$T_{kp} = 0{,}5 \cdot \pi \cdot \psi_k \cdot D_k \cdot \sigma_{s0} \cdot L\ ,$$

$$T_M = 0{,}4 \cdot \psi_M \cdot D_k^2 \cdot \sigma_{scep} \cdot i/sin\alpha\ ,$$

$$T_П = \ 0{,}5 \cdot \psi_П \cdot d \cdot \sigma_{sk} \cdot \lambda \cdot L_П.$$

де $i = ln\lambda$ - логарифмічний ступінь деформації; $L = L_{cep} - 0{,}5 \cdot (D_k - d)/tg\alpha$ - довжина розпресованого злитка за вирахуванням довжини жорсткої (мертвої) зони; $L_{cep} = D^2 \cdot L_c/D_k^2$ - довжина розпресованого злитка; D_k, D і L_c - діаметр

контейнера, діаметр і довжина злитка; α - кут обтискної частини пластичної зони.

Останній кут дорівнює куту природного витікання металу (60…65°) при напівкуті утворюючої матриці більше 60…65°, в тому числі при плоскій матриці, і дорівнює напівкуту нахилу утворюючої матриці до осі пресування, якщо останній напівкут менше кута природного витікання.

Коефіцієнти тертя $\psi_к$, $\psi_м$, $\psi_п$ відповідно на контейнері, матриці та калібрувальному пояску є довідковими даними (табл. 3.2). Особливу складність викликає визначення величини опору деформації, оскільки криві зміцнення при надвисоких значеннях ступеня деформації, характерних для пресування, досі не побудовані через відсутність відповідних методик. У зв'язку з цим користуються наявними залежностями величини опору деформації $\sigma_s = f(\varepsilon, \xi, \theta)$ (ε — швидкість деформації, θ — температура), екстраполюючи дані в область високих ступенів деформації.

Таблиця 3.2 - Значення коефіцієнтів тертя за Зібелем для різних умов пресування

Умови пресування	Коефіцієнти тертя		
	$\psi_к$	$\psi_м$	$\psi_п$
З мастилом	0,25	0,25	0,25
Без мастила при м'якій окалині (мідь)	0,5	0,5	0,5
Без мастила при жорсткій окалині (сталь)	0,75	0,75	0,5
Без мастила при інтенсивному приварюванні (алюміній)	1	1	0,5

Температурно-швидкісні параметри процесу призначають, застосовуючи результати розрахунку теплових полів, а здебільшого — використовуючи рекомендації, отримані в практиці пресування (табл. 3.3). Зазначені швидкості не призводять до перегріву металу через виділення тепла деформації.

Таблиця 3.3 - Максимальні швидкості витікання V_i при пресуванні

Матеріал	V_i, см/с	Матеріал	V_i, см/с
Мідь	400	Al, АМц, АМг1	2500
Л68	100	Д1, Д16	12
Л63	250	АД31-АД35	100
БрАЖМц10-3-1,5	25	АК4-АК8	1000
Нікелеві сплави	40	В92-В96	5

З умови постійності секундних обсягів швидкість витікання V_i можна перерахувати, знаючи швидкість пресування $V_П$ за формулою

$$V_i = \lambda \cdot V_{\text{П}}$$

а також визначити швидкість деформації за формулою

$$\xi = \frac{6 \cdot ln\lambda \cdot tg\alpha \cdot V_i}{\left(\lambda \cdot \sqrt{\lambda - 1}\right) \cdot d};$$

за кривими зміцнення при заданих ξ, θ і ε = 0, визначають σ_{s0}; при розрахованих значеннях логарифмічного ступеня деформації визначають σ_{sk}. У деяких джерелах криві зміцнення будуються у функції ступеня деформації ε, яку визначають за формулою ε = (λ -1)/λ.

Значення середнього опору деформації σ_{scep} оцінюють, виходячи з характеру кривої зміцнення: при характері, близькому до лінійного, можливо розрахувати σ_{scep}, як середнє арифметичне; для кривих, що мають асимптоту, і при великих ступенях деформації буває доцільно прийняти $\sigma_{scep} = \sigma_{sk}$.

Після розрахунку зусилля деформації розраховують напруження пресування p за формулою

$$p = \frac{4 \cdot P}{(\pi \cdot D_k^2)}.$$

Ця напруга діє на прес-шайбу, тому проводять перевірку умови $p < k \cdot \sigma_B$, де $k > 1$ - коефіцієнт запасу, σ_B - межа міцності інструментального матеріалу з урахуванням температури нагрівання цього інструменту (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Механічні властивості сталей і сплавів, що застосовуються для виготовлення пресового інструменту

Марка сталі, сплаву	Теплостійкість, °С	Температура, °С	HRC	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа
3Х2В8	660	20	50	1650	1440
		500	40	1220	1120
		600	30	1175	925
5ХНМ і 5ХНВ	600	20	-	1650	-
		650	-	400	-
2Х6В8М2К8	735	20	55	1625	1495
		650	50	1525	1250
		700	46	1225	1060
		750	42	975	850

Виконаємо розрахунку енергосилових параметрів пресування прутка. У табл. 3.5 наведено вихідні дані та результати розрахунку енергосилових параметрів процесу пресування прутка, а в табл. 3.6 наведено програму електронної таблиці EXCEL.

Аналогічний розрахунок виконано також у програмному комплексі Mathcad Prime 11. Вихідні дані та результати розрахунку наведено на лістингу, зображеному на рис. 3.10. Результати розрахунку за комп’ютерними програмами EXCEL і Mathcad Prime 11 співпадають.

Таблиця 3.5 - Вихідні дані та результати розрахунку енергосилових параметрів пресування прутка

1A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	**Розрахунок енергосилових параметрів пресування**							
3	Параметр, позначення, розрахункова формула						Значення	
4		*Вихідні данні*						
5	Спосіб пресування						Пряме	
6	Матеріал, що пресується						мідь	
7	Діаметр зливка				*D*		230	мм
8	Діаметр контейнера				*D*k		240	мм
9	Довжина зливка				*L*c		300	мм
10	Діаметр виробу				*d*		20	мм
11	Довжина пояска, що калібрує				*lk*		5	мм
12	Кут природної течії металу				α		60	o
13	Опір деформації початковий				σs0		20	МПа
14	Опір деформації				σscep		25	МПа
15	Опір деформації				σsк		50	МПа
16	Коефіцієнт тертя на контейнері				ψk		0,5	
17	Коефіцієнт тертя на матриці				ψм		0,5	
18	Коефіцієнт тертя на пояску				ψп		0,5	
19	(Закон тертя за Зібелем τ = ψ*τs)							
20		*Результати розрахунку*						
21	Коефіцієнт витяжки λ						144	
22	Логарифмічна деформація *i*						4,97	
23	Ступінь деформації ε						0,993	
24	Довжина зливка після розпресування *L*cep						275,5	мм
25	Довжина поверхні тертя			*L*			212	мм
26								
27	Доля зусилля на деформацію *R*м						14021	кН
28								
29	Доля зусилля на тертя між контейнером *T*кр						799,3	кН
30								
31	Доля зусилля на тертя між матрицею *T*м						2066	кН
32								
33	Доля зусилля на тертя між пояском *T*п						565,5	кН
34								
35	Зусилля пресування *P*			*P*=*R*м+*T*кр+*T*м+*T*п			17452	кН
36	Напруження пресування *p*						385,8	МПа

Таблиця 3.3 – Програма розрахунку параметрів пресування прутка в електронній таблиці EXCEL

G	H
21	= (H8/H10)^2
22	=LN (H21)
23	= (H21–1)/H21
24	=H7^2*H9/H8^2
25	=H24–0,5* (H8-H10)/TAN (РАДИАНЫ (H12))
26	
27	=0,8*H22*H7^2*H15/(COS (РАДИАНЫ (H12/2)))^2/1000
28	
29	=0,5*H16*ПИ ()*H8*H25*H13/1000
30	
31	=0,5*H17*H22*H8^2*H14/SIN (РАДИАНЫ (H12))/1000
32	
33	=0,5*H21*ПИ () *H10*H11*H18*H15/1000
34	
35	=СУММ (H27: H33)
36	=H35/ПИ ()/H8^2*4*1000

Вихідні дані для розрахунку енергосилових параметрів пресування прутка

$D := 230$ мм $\quad D_k := 240$ мм $\quad L_c := 300$ мм

$d := 20$ мм $\quad l_k := 5$ мм $\quad \alpha := 60$ град

$\sigma_{s0} := 20$ МПа $\quad \sigma_{scep} := 25$ МПа $\quad \sigma_{sk} := 50$ МПа

$\psi_k := 0.5$ $\quad \psi_M := 0.5$ $\quad \psi_П := 0.5$

Результати розрахунку енергосилових параметрів пресування прутка

$$\lambda := \left(\frac{D_k}{d}\right)^2 = 144 \qquad i := \ln(\lambda) = 4.97 \qquad \varepsilon := \frac{\lambda - 1}{\lambda} = 0.993$$

$$L_{cep} := \frac{D^2 \cdot L_c}{D_k^{\,2}} = 275.5 \text{ мм} \qquad L := L_{cep} - \frac{0.5 \cdot (D_k - d)}{\tan(\alpha \cdot \mathbf{deg})} = 212 \text{ мм}$$

$$R_M := \frac{0.8 \cdot i \cdot D^2 \cdot \sigma_{sk}}{\cos\left(\frac{\alpha \cdot \mathbf{deg}}{2}\right)^2} \div 1000 = 14021 \text{ кН}$$

$$T_{кр} := 0.5 \cdot \psi_k \cdot \pi \cdot D_k \cdot L \cdot \sigma_{s0} \div 1000 = 799.3 \text{ кН}$$

$$T_M := \frac{0.5 \cdot \psi_M \cdot i \cdot D_k^{\,2} \cdot \sigma_{scep}}{\sin(\alpha \cdot \mathbf{deg})} \div 1000 = 2066 \text{ кН}$$

$$T_П := 0.5 \cdot \lambda \cdot \pi \cdot d \cdot l_k \cdot \psi_П \cdot \sigma_{sk} \div 1000 = 565.5 \text{ кН}$$

$$P := R_M + T_{кр} + T_M + T_П = 17452 \text{ кН}$$

$$p := \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot D_k^{\,2}} \cdot 1000 = 385.8 \text{ МПа}$$

Рисунок 3.10 – Вихідні дані і результати розрахунків у програмному комплексі Mathcad Prime 11 процесу пресування металевого прутка

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Ідентифікація потенційно шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що впливають на персонал і оточуюче середовище

Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних виробничих факторів за основними операціями технологічного процесу дільниці дрібносортних профілей ПрАТ «Дніпроспецсталь» представлений у табл. 4.1. Характеристика потенційно шкідливих і небезпечних факторів проводиться відповідно до класифікації за ДСТУ 12.0.003-74.

Таблиця 4.1 - Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Операція технологічного процесу	Обладнання	Небезпечні та шкідливі фактори	Нормоване значення параметру
Нагрівання заготовки	Нагрівальна піч	Підвищений рівень теплового випромінювання	$\rho = 300$ Вт/м^2
		Підвищена температура обладнання Т = 45ºС	$T_н = 35$ºС
		Пересувні заготовки	
		Підвищений рівень шуму L = 92 дБ за шкалою А	L = 80 дБ за шкалою А
		Підвищений рівень запиленості та загазованості повітря робочої зони $К_П = 7$ мг/м^3	ГДК = 6 мг/м^3
Управління операціями	Пульт управління	Підвищений рівень шуму на робочому місці L = 70 дБ за шкалою А	На пультах з мовним зв'язком 65 дБ за шкалою А
		Небезпечний рівень напруги в	U=2 В f = 50 Гц

		електромережі, замикання якої може пройти через тіло людини. U=380 В f = 50 Гц $I_Н$ =10 А	I =0,3 А
		Підвищений рівень вібрації. L = 100 дБ при f = 16 Гц	ГДР = 920 дБ при f = 16 Гц
Різання металу	Ножиці для гарячого різання	Підвищений рівень вібрації L = 112 дБ при f = 16 Гц	ГДР = 920 дБ при f = 16 Гц
Гаряча прокатка	Стан 280	Підвищений рівень інтенсивності тепловиділення ρ = 250 Вт/м^2	ГДР = 100 Вт/м^2
		Підвищений рівень шуму L = 94 дБ за шкалою А	L = 80 дБ за шкалою А
		Небезпечний рівень напруги в електромережі, замикання якої може пройти через тіло людини U=600 В f = 50 Гц $I_Н$ =10 А	U=2 В f = 50 Гц I =0,3 А
		Підвищений рівень запиленості та загазованості повітря робочої зони $К_П$ = 7 мг/м^3	ГДК = 6 мг/м^3

4.2 Розробка інженерно-технічних заходів захисту від шкідливих і небезпечних для персоналу виробничих факторів

Заходи захисту від виявлених шкідливих і небезпечних виробничих факторів представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Заходи захисту від виявлених шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Небезпечні та шкідливі фактори	Захисний пристрій	Тип і параметри пристрою	Місце встановлення
Підвищений рівень шуму	Звукоізолююча кабіна	Висота - 3 м, ширина - 4 м, довжина - 4 м	Робочі місця операторів стану
Підвищений рівень інтенсивності тепловиділення	Теплозахисний екран	ТЕ 236, матеріал - сталь, товщина - 5 мм, охолодження водою до 8 кг на годину	Уздовж бічних стін нагрівальних печей
Небезпечний рівень напруги в електромережі	Захисне заземлення	Тип пристрою - контурний, R = 4 Ом	Електрообладнання стану
Підвищена запиленість	Примусова та природна вентиляція, витяжна парасолька	Аерація	Прольоти стану, зачистні верстати
Рухомі частини машин і механізмів	Захисні кожухи, містки та огорожі	Товщина сталевого кожуха не менше 2 мм, яскраве забарвлення огорож	Робочі місця персоналу та обладнання стану

4.3 Об'ємно-планувальні рішення будівель і споруд цеху

Металургійний завод «Дніпроспецсталь» розташований у західному напрямку м. Запоріжжя. Роза вітрів спрямована таким чином, що всі шкідливі та теплові випромінювання відводяться від житлових масивів.

Відстань між цехами обрана так, що тінь від будівель не перешкоджає природному освітленню. Адміністративні та допоміжні будівлі розташовані з підвітряного боку по відношенню до основних цехів.

Поздовжні осі аераційних ліхтарів і стіни будівлі з прольотами для аерації приміщень орієнтовані перпендикулярно напрямку вітрів літнього періоду року.

На даху будівлі розташований світлоаераційний ліхтар. Поверхня підлоги виробничого приміщення неслизька і горизонтальна.

Планування цеху повністю виключає захаращення проходів і вільних зон, що забезпечує безпечну роботу персоналу. Площа і обсяг виробничих приміщень в середньому на одного працівника відповідно становить 184 м^2 і 2040 м^3, що задовольняє вимогам СН245-71.

4.4 Рішення щодо виробничої санітарії

Виходячи з категорії виконуваних робіт за ступенем важкості, характеристика виробничих приміщень з надлишком явного тепла з урахуванням періоду року встановлюється відповідно до ГОСТ 12.1.005-88, параметри повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень наведені в табл. 4.3.

Опалення: для підтримки температури повітря в робочому приміщенні в межах допустимих значень необхідно забезпечити достатню кількість тепла для обігріву повітря робочої зони. Виробничі процеси на стані протікають з виділенням конвекційного тепла, основними джерелами якого є нагрівальні печі, достатнього для підтримки температури повітря в допустимих межах.

Таблиця 4.3 - Допустимі значення параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт за важкістю	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Па Пб	від 18 до 20 від 17 до 19	від 40 до 60 від 40 до 60	до 0,3 до 0,4
Теплий	Па Пб	від 21 до 23 від 20 до 22	від 40 до 60 від 40 до 60	від 0,2 до 0,4 від 0,2 до 0,5

ВИСНОВКИ

1. На основі літературних і патентних даних проаналізовано перспективи створення комбінованих агрегатів для виробництва прутків і профілів. Виконано огляд промислових технологій, що використовуються для виробництва прутків і профілів прокаткою в багатовалкових калібрах.

2. Показано ефективність застосування гідроприводу валків сортових і редукційних клітей. Запропоновано варіант індивідуального гідроприводу валків редукційно-розтяжного стану, що дозволяє реалізувати досить гнучку систему автоматичного управління з швидкою перебудовою режиму прокатки з метою отримання різного сортаменту в межах одного парку валків стану.

3. Методом скінченних елементів виконано аналіз деформацій гідромотора для індивідуального приводу валків сортопрокатних і редукційних клітей, на підставі якого проводиться вибір зазорів між статором, ротором і розділовими роликами. Це дозволяє оптимізувати конструктивні параметри гідромотора на основі деформації основних вузлів і деталей.

4. На експериментальній чотиривалковій напівпривідній кліті виконано дослідні прокатки прутків за схемами круг-квадрат, квадрат-круг, квадрат-квадрат і круг-круг. Отримано емпіричні залежності для витяжок, діаметрів, що катають, ступеня заповнення калібрів, питомих кутів скручування та силових параметрів прокатки прутків за схемами круг–квадрат і квадрат–круг.

5. На базі отриманих експериментальних даних запропоновано розробити математичну модель процесу прокатки круглої в перерізі заготовки в квадратному калібрі конічних валків, яка придатна для розрахунку енергосилових параметрів прокатки, катальних діаметрів і повних кутів скручування штаби в зоні стиснення. Модель дозволить вибрати найбільш раціональні умови неперервної прокатки прутків з регламентованим міжклітьовим натяжінням і бути основою системи автоматичного управління

температурно-швидкісним режимом і натягами як на виході з преса, так і міжклітинними натягами на виході з прокатного стану, що гарантує забезпечення необхідної високої якості продукції.

6. Із застосуванням програмних комплексів EXCEL і Mathcad Prime 11 виконано розрахунок можливості реалізації процесу поєднаної прокатки-пресування і розрахунок енергосилових параметрів пресування прутка.

7. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» виконано аналіз потенційно шкідливих і небезпечних виробничих факторів за основними операціями технологічного процесу дільниці дрібносортних профілей ПрАТ «Дніпроспецсталь». Запропоновано інженерно-технічні заходи захисту від шкідливих і небезпечних для персоналу виробничих факторів і рішення щодо виробничої санітарії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Василев Я.Д., Мінаєв О.А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк : УНІТЕХ, 2009. 488 с.

2. Проценко В. М. Технологія виготовлення гнутих профілів : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Обробка металів тиском". Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 45 с.

3. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Belokon Yu. A., Bondarenko Y. V. Productivity Optimization of Cold Rolling Mills. Steel in Translation, 2020, Vol. 50, No. 5, pp. 335–339.

4. Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.

5. Ніколаєв В. О. Теорія обробки металів тиском : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 112 с.

6. Ніколаєв В. О. Теорія прокатки штаб : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2014. 259 с.

7. Yavtushenko A. V., Protsenko V. M., Bondarenko Y. V., Kirichenko A. G., Ping F. Y. Numerical experiment for the calculation of normal contact stress in the deformation canter when rolling a metal strip. Journal of Engineering Sciences, Volume 6, Issue 2 (2019), pp. E 31–E 35.

8. Проценко В. М. Прокатка листів та штаб : методичні вказівки до виконання практичних занять, контрольних робіт і самостійної роботи для здобувачів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском») всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 67 с.

9. Ніколаєв В. О. Теорія та обладнання точної прокатки штаб: методичні рекомендації до виконання практичних завдань, контрольних і

самостійних робіт для здобувачів ЗДІА напряму 8.0504104 ”Обробка металів тиском”. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 52 с.

10. Проценко В. М. Виробництво спеціальних видів прокату : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском»). Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2025. 62 с.

11. Wei-Wen Yu. Cold-Formed Steel Design- Third Edition- John Wiley end Sons, Inc. 2000. Canada.

12. George T. Halmos. Roll Forming Handbook. Taylor & Francis Group. 2006. Canada.

13. Ніколаєв В. О. Теорія і технологія точної прокатки штаб : навчальний посібник для студентів ЗДІА металургійних спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 100 с.

14. Ніколаєв В. О. Калібрування прокатних валків : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 158 с.

15. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія прокатного виробництва : навчальний посібник. Кривий Ріг : Видавничій центр КНУ, 2017. 169 с.

Додаток 1 – Тези доповіді на конференції «Молода наука – 2025»

«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Науково-дослідна частина

Наукове товариство студентів, аспірантів і докторантів

Рада молодих вчених

РАДА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ЗНУ

НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ЗНУ

ЗБІРНИК

наукових праць студентів,

здобувачів PhD, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2025»

Том V

«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету»

Запоріжжя
2025

Кудальцев Роман
магістрант 1 року ІННІ Ю.М. Потебні ЗНУ
Наук. кер.: канд. техн. наук, доц. Проценко В.М.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ ПРУТКІВ У КЛІТЯХ З БАГАТОВАЛКОВИМИ КАЛІБРАМИ

Виробництво продукції широкого сортаменту та металовиробів з особливими фізико-механічними властивостями доцільно організовувати на міні-заводах або на спеціально створених під випуск цієї продукції підприємствах або ділянках малотоннажного металургійного виробництва з повним циклом. Проте, чим менше обсяги виробництва, тим складніше досягається його рентабельність.

У даній роботі розглянуто один з перспективних способів вирішення сучасних проблем міні-металургійних виробництв, пов'язаних із розширенні сортаменту продукції, що виробляється невеликими партіями. Виробництво такої продукції на великих металургійних підприємствах економічно недоцільно у зв’язку з довгими і складними переналаштуваннями обладнання і систем управління. У цьому полягає актуальність даної роботи.

Ефективним технічним і технологічним заходом для компактування обладнання та оперативного управління тепловим режимом обробки слід вважати заміну обтискних, чорнових і навіть передчистових груп клітей прокатного стану агрегатами інтенсивного обтиснення циклічної або безперервної дії, до яких відносять машини радіального обтиснення, пресові установки, агрегати прокатки-кування, стани поперечної прокатки, планетарні стани поздовжньої прокатки. Ці агрегати можуть замінити за витяжною здатністю велику кількість прокатних клітей [1].

Інтенсивний обтиск дає можливість керувати тепловим режимом. Якщо дозволяє пластичність металу, то безперервно-литу заготовку без додаткового підігріву після вирівнювання температури по перерізу на теплоізольованій трасі можна почати обробляти навіть у захолощеному стані. Розігрів при інтенсивному обтисненні цілком достатній для подальшої гарячої прокатки, наприклад, у чистовій групі клітей.

Запропоновано конфігурацію пресово-прокатного агрегату, яка включає горизонтальний гідравлічний прес, установку попереднього управління температурою, неперервний прокатний стан та установку регламентованого охолодження для виробництва труб та профілів з низькими допусками на геометричні розміри та заданою структурою металу.

Література

1. Таратута К.В., Проценко В.М., Востоцький С.М. Комп’ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. Труди IV міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси», 25-26 травня 2023 року, м. Черкаси. С 40 – 42.