

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра Обробки металів тиском

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

рівень вищої освіти _____ другий _____
(другий (магістерський) рівень)

на тему Аналіз моделей визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1360-омт-д

Груша Артем Іванович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

До журі
01.12.2021

Запоріжжя - 2021 року

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

Кафедра Обробки металів тиском

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 Металургія
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОМТ


Ю.О. Белоконь

“ 01 ” 07 2021 року

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

Груша Артем Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз моделей визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці

керівник проекту (роботи) Белоконь Юрій Олександрович д.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу від “30”06 2021 року №974-с

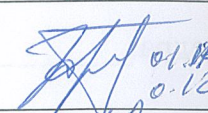

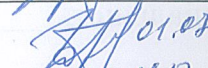
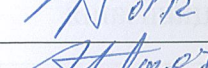

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 01.12.2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вплив сил тертя на процес прокатки штаби 1x40x1000 мм, з відпаленої листової низьколегованої 25ХГСА сталі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналіз наукової інформації та стан проблеми, Обґрунтування задачі та методики дослідження, Обробка і обговорення результатів досліджень, Охорона праці та техногенна безпека, Потенційна економічна а ефективність результатів виконаного дослідження, Висновки. Перелік посилань

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентаційний матеріал 16 слайдах (на 16 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Аналіз наукової інформації та стан проблеми	Белоконь Ю.О., доцент	 01.07 01.12
Дослідницько-розрахункова частина	Белоконь Ю.О., доцент	 01.12 01.07
Обробка і обговорення результатів досліджень	Белоконь Ю.О., доцент	 01.07 01.12
Охорона праці та техногенна безпека	Белоконь Ю.О., доцент	 01.07 01.12
Економічні аспекти проблеми	Белоконь Ю.О., доцент	 01.07 01.12

7. Дата видачі завдання 01.07.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Реферат	до 03.09.2021	Виконано
2	Вступ	до 15.09.2021	Виконано
3	Аналіз наукової інформації та стан проблеми	до 25.09.2021	Виконано
4	Обґрунтування задачі та методики дослідження	до 18.10.2021	Виконано
4	Обробка і обговорення результатів досліджень	до 01.11.2021	Виконано
5	Охорона праці та техногенна безпека	до 16.11.2021	Виконано
6	Потенційна економічна ефективність результатів виконаного дослідження	до 13.11.2021	Виконано
7	Висновки	до 23.11.2021	Виконано

Студент


(підпис)

Груша А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної магістерської роботи: 85 с., 9 рис., 14 табл., 74 джерел.

У роботі розглянута сутність контактної взаємодії металу і технологічного інструмента. Розглянуто фізичні методи експериментального визначення середнього коефіцієнта тертя (метод гальмування смуги у валках, метод моменту, що крутить, метод випередження, метод сили прокатки). Також представлені закономірності зміни коефіцієнта тертя при холодній прокатці. Детально розглянуті основні фактори, що впливають на коефіцієнт тертя при холодній прокатці (геометричні параметри деформації штаб, окружна швидкість валків, шорсткість поверхні валків і штаб, тип технологічного змащення).

У спецчастині представлений розрахунок коефіцієнта тертя й енергосилових параметрів при холодній прокатці. Розрахунок коефіцієнта тертя був зроблений по трьох методиках (Грудєв, Діннік, Ніколаєв). Після розрахунку енергосилових параметрів і порівняння з дослідними даними була запропонована найбільш достовірною методика, що має найменші розбіжності з дослідними даними.

Робота має теоретичне і практичне значення. У роботі вивчалися літературні джерела, був виконаний аналіз аналітичних моделей розрахунку коефіцієнта тертя, що порівнювався з практичними даними. Була встановлена достовірною модель розрахунку коефіцієнта тертя.

На підставі однієї з найбільш достовірних методик для розрахунку коефіцієнта тертя було проведено математичне планування з метою визначення впливу різних факторів на коефіцієнт тертя.

ABSTRACT

Explanatory message to final work: 85 p., 9 fig., 14 tablas.

In-process the considered essence of contact co-operation of metal and technological instrument. The physical methods of experimental determination of mid-coefficient of friction are considered (method of braking of bar in rollers, method of moment, that twists, method of passing, method of force of rolling). Also represented conformities to the law of change of coefficient of friction at the hot and cold rolling. In detail considered basic factors which influence on the coefficient of friction at the cold rolling (geometrical parameters of deformation of bars, circuitous speed of rollers, roughness of surface of rollers and bars, type of the technological greasing).

In the special unit the represented calculation of coefficient of frictions and parameters at the hot rolling. The calculation of coefficient of friction was done on three methods. After the calculation of parameters and comparison with experimental information there was the offered most reliable method that has the least disagreements with experimental information.

Work matters theoretical and practical. Literary sources were in-process studied, there was the executed analysis of analytical models of calculation of coefficient of friction, that was compared to practical information. There was the set reliable model of calculation of coefficient of friction.

On the basis of one to the most reliable method for the calculation of coefficient of friction the mathematical planning was conducted with the purpose of determination of influencing of different factors on the coefficient of friction.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ Й СТАН ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Сутність контактного тертя.....	10
1.2 Аналіз ефективності технологічних мастил для прокатки штаб.....	16
1.3 Вплив ступеня деформації і технологічного мастила на тиск при холодній прокатці.....	24
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
2.1 Устаткування для проведення дослідів.....	30
2.2 Методи теоретичного визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці.....	34
2.3 Методи експериментального визначення коефіцієнта тертя.....	39
3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	41
3.1 Розрахунок коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при холодній прокатці по різних методиках.....	41
3.2 Математичне планування експерименту.....	50
3.3 Практична цінність отриманих результатів	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	61
4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища.....	61
4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії.....	64
4.3 Електробезпека.....	67
4.4 Заходи щодо техніки безпеки.....	69
4.5 Пожежна та техногенна безпеки.....	70
4.6 Розрахунок штучного освітлення ділянки неперервного стана холодної прокатки 1680.....	72
5 ПОТЕНЦІЙНА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	75

ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79

ВСТУП

Одним з найважливіших параметрів, що визначає процес пластичної деформації, є зовнішнє тертя між інструментом і деформуємим матеріалом. Наявність тертя і величина сил тертя визначають здатність валків, що захоплює, а при сталому процесі прокатки — співвідношення між витяжкою, розширенням і випередженням металу при прокатці. Зовнішнє тертя викликає нерівномірність напружено-деформованного стану; змінюючи схему головних напруг, зовнішнє тертя впливає на пластичність металу. Сили зовнішнього тертя, вимагаючи додаткової роботи на їхнє подолання, викликають підвищення опору й енергії деформації. Зовнішнє тертя впливає на нагрівання, знос і стійкість прокатних валків, на точність розмірів, шорсткість поверхні й інші характеристики якості прокату.

З тертям зв'язана одна із самих гострих проблем прокатного виробництва - знос інструмента і деталей машин, витрати електроенергії. Витрати на відновлення деталей у результаті зносу величезні, причому щорічно вони збільшуються. Подовження терміну служби інструмента, машин і устаткування навіть у невеликому ступені рівносильно введенню значних нових виробничих потужностей.

Теорія й інженерна практика розрахунку параметрів тертя в процесах прокатки і волочіння має у своєму розпорядженні велику кількість залежностей і результатів експериментальних досліджень, використання яких дозволяє розрахувати контактні напруга при деформації, проектувати зносостійкий інструмент і умови його роботи, застосовувати більш ефективні технологічні змащення.

В магістерській роботі розглянута роль внішнього (контактного) тертя в процесі прокатки. Надані фізичні уяви о механізмі внішнього тертя при деформації металів. Приведені матеріали по методам дослідження та розподілу удільних сил тертя на контактній поверхні. Описані сучасні методи визначення

коефіцієнта тертя. Розроблена класифікація факторів тертя в умовах холодної прокатки. Освітлений вплив різних факторів на величину сил тертя. Результати експериментальних та теоретичних досліджень можуть бути випробовані при розробленні оптимальних режимів деформації й конструюванні прокатного обладнання.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1. Сутність контактної тертя

Під силою тертя розуміють силу, прикладену по дотичній до опорної поверхні, необхідну для зсуву по ній тертьової поверхні, навантаженою нормальною силою.

Кут між нормальною силою і рівнодіючою силами від повної реакції поверхні називають *кутом тертя* (β), а відношення сили тертя до нормальної сили - *коефіцієнтом тертя* (f):

$$f = T/N = \operatorname{tg} \beta \quad (1.1)$$

Початок вивчення явища тертя твердих тіл зв'язано з ім'ям Леонардо да Вінчі (1508 р.), що висловив думку, що для всіх тіл сила тертя дорівнює 1/4 їхньої маси, тобто $f = 0,25$.

Далі їм був сформульований основний закон сухого тертя – сила тертя пропорційна нормальному навантаженню і не залежить від величини контактної площі.

Наступні дослідження показали, що коефіцієнт тертя – функція багатьох перемінних.

По характеру ковзання між металом і інструментом можна розрізнити наступні три види тертя (рис.1.1.):

1) Сухе тертя з'являється у випадку відсутності поділяючої фази між контактними поверхнями, тобто коли відбувається контактування чистих металів інструмента і штаби, що прокочується. Це можливо при руйнуванні окисних плівок або шару змазки на поверхнях у результаті значних контактних напруг або інтенсивного ковзання металу по інструменту.

При звичайних процесах обробки металів тиском власне сухого тертя немає,

оскільки контактні поверхні несуть адсорбовані частки – продукти зносу третьових поверхонь, оксиди, пар, повітря і т.п. Однак при прокатці при наявності переважно пластичного зминання нерівностей під дією великих нормальних навантажень, а також систематичного відновлення контактної поверхні унаслідок виходу на неї внутрішніх часток металу, прийняття умов сухого тертя в більшості випадків виявляється виправданим.

Закон сухого тертя сформулював Г. Амонтон у 1699 р. Він запропонував вираження, що зв'язує силу тертя T з силою стиску P через деякий коефіцієнт тертя f :

$$T = f \cdot P \quad (1.2)$$

Звідси коефіцієнт тертя f дорівнює:

$$f = T / P \quad (1.3)$$

Тобто, коефіцієнт тертя є відношення сили тертя T к силі стиску P (силі прокатки) і характеризує інтенсивність впливу дотичних напружень при прокатці на кінематичні й енергосилові параметри деформації металу. У звичайних умовах контактування сила тертя T завжди менше зусилля P прокатки і тому коефіцієнт тертя завжди менше одиниці ($f < 0,5$). При гарячій прокатці коефіцієнт тертя істотно вище ($f \approx 0,2-0,5$), чим при холодній прокатці ($f \approx 0,03-0,15$).

Для контактного дотичного напруження (питомої сили тертя) маємо (після розподілу сил T і P на площу контакту)

$$\tau = f \cdot p_{cp} \quad (1.4)$$

де p_{cp} - середня нормальна контактна напруга в осередку деформації.

Відкіля коефіцієнт тертя дорівнює

$$f = \tau / p_{cp} \quad (1.5)$$

Якщо експериментальним шляхом визначити значення $T(\tau)$ і $P(p_{cp})$, то завжди можна розрахувати величину коефіцієнта тертя, що є основною характеристикою тертя в умовах прокатки, а також і в інших процесах контактної взаємодії.

Широке застосування в процесах обробки металів тиском має закон тертя Е.Зібеля

$$\tau = f_n \sigma_\phi, \quad (1.6)$$

де f_n - показник тертя; σ_ϕ -опір металу деформації при прокатці.

У відмінності від вираження (1.4), де дотичне напруження є функцією середньої нормальної напруги, у вираженні (1.6) дотичне напруження представлено у функції механічних властивостей деформуємого металу, тобто опору металу деформації σ_ϕ ($\sigma_\phi = \lambda \cdot \sigma_T$, де σ_T - напруження плинності металу; λ - коефіцієнт Лодє: $\lambda = 1-1,15$).

Вирішуючи спільно вираження (1.4) і (1.6) при $\tau = \text{const}$ одержимо

$$f_n = f \cdot p_{cp} / \sigma_\phi \quad (1.7)$$

З цього вираження випливає, що показник тертя f_n обумовлений величинами коефіцієнта тертя f і, так називаним, коефіцієнтом підпору p_{cp} / σ_ϕ . Таким чином, якщо відомі досвідчені значення f і p_{cp} / σ_ϕ , те завжди можна розрахувати показник тертя f_n .

Ш. Кулон у 1781 р. прийшов до висновку, що сила тертя представляє сукупність опорів двох видів: механічних зачеплень від підняття тіла по нерівностях контактних поверхонь, пружного їхнього вигину і руйнування, пропорційних прикладеній нормальній силі, але не залежної від площі контакту, і молекулярних сил зчеплення або прилипання F , що залежать від площі

контакту, але не залежних від нормальної сили. Таким чином,

$$T_f = F + f \cdot P \quad (1.8)$$

де f^l -коефіцієнт пропорційності; A -опір ковзанню, що враховує сили молекулярного зчеплення (схоплювання) локальних ділянок металу з інструментом.

2) Рідинне (гідродинамічне) тертя має місце при наявності між металом і інструментом шару змащення (рідини) і величина сили тертя залежить від в'язкості рідини. Рідинне або гідродинамічне тертя можливе при великій товщині шару змащення, що перевищує сумарну висоту нерівностей і виключає їхнє взаємне зачеплення, і опір тертю зводиться до опору зрушенню в шарах мастильного прошарку. Для цього необхідно, щоб змащення прилипало до інструмента й оброблюваного металу і при даному тиску добре утримувалася на контактних поверхнях, не вичавлюючи назовні. Основоположником теорії гідродинамічного змащення є Н.П.Петров, що описав поведження гідродинамічного змащення рівнянням, отриманим на основі відомого закону І. Ньютона:

$$t = \eta \cdot v_c / \delta, \quad (1.9)$$

де v_c – швидкість відносного ковзання між тертьовими поверхнями, м/с; δ - товщина шаруючи змащення, м; η - коефіцієнт динамічної в'язкості змащення, Н·с/м²

Варто помітити, що при характерних для обробки металів тиском високих тисках на контактних поверхнях, навіть при наявності зробленого змащення, повне рідинне тертя не досягається.

3) Граничне тертя характеризується наявністю дуже тонкого шару адсорбційного змащення (частки мікрметра), що не лагодиться законам

гідродинаміки, тобто не має властивості рідини. У технологічних процесах обробки металів тиском, зокрема при прокатці, що контактують поверхні несуть адсорбовані частки. Граничне тертя може мати місце і при рідинному змащенні при великих нормальних тисках, коли шар змащення більш не утоняється і поводить як вязкопластичне тіло. Поводження граничного шару описується рівнянням А. А. Іл'юшина:

$$t = \eta \cdot v_c \quad (1.10)$$

При наявності граничних плівок прямий молекулярний вплив тертьових поверхонь не є вирішальним чинником, однак поле молекулярних сил впливає на структуру і властивості граничного шару. Крім того, незважаючи на наявність проміжного адсорбованого шару, значна частина контактних нерівностей піддається зминанню і зрізові, відбувається рух «по похилих площинах», тобто всі особливості сухого тертя настільки чітко виражені, що при описі адсорбційного тертя звичайно застосовують закон сухого тертя.

У практичних умовах прокатки існує, як правило, змішане тертя: напівсухе і напіврідинне (сполучення ділянок граничного і сухого тертя). Напівсухе тертя характерне для гарячої прокатки і холодної прокатки в насічених валках, а напіврідинне - при холодній прокатці в шліфованих валках. Середня питома сила при змішаному терті може бути в загальному виді описана наступним вираженням:

$$\tau = a_1 \tau_c + a_2 \tau_{гр} + a_3 \tau_{ж} \quad (1.11)$$

де τ_c , $\tau_{гр}$, $\tau_{ж}$ питомі сили тертя (дотичні напруження) відповідно на ділянках сухого, граничного і рідинного тертя; a_1 , a_2 , a_3 - частки від загальної площі контакту відповідно ділянок сухого, граничного і рідинного тертя.

Найбільші сили тертя виникають при сухому терті, і найменші при

рідинному, і тому $\tau_c > \tau_{гр} > \tau_{ж}$. Отже, чим більше в даному процесі прокатки частка рідинного тертя, тим менше сили тертя, тим менше знос валків і енергосилові параметри.

Г.И. Епифанов відзначає, що в усіх без винятку випадках взаємодії твердих тіл приходить переборювати ті самі сили – *опір матеріалу зрушенню*.

Збільшення сил тертя в процесі деформації вимагає додаткової витрати і підвищує витрати енергії.

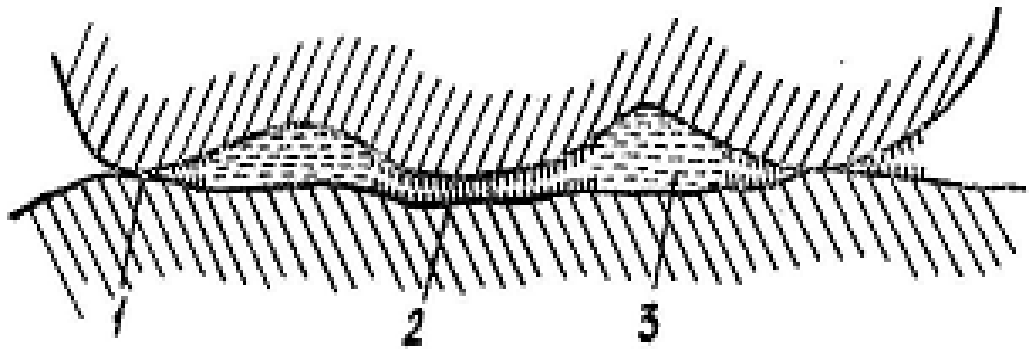


Рисунок 1.1 – Схема контактної взаємодії при сухому (1), граничному (2) і рідинному (3) терті.

Сили, що виникають при терті, впливають на розширення, випередження і тиск. Зі збільшенням коефіцієнта тертя зазначені характеристики процесу прокатки збільшуються і цю обставину необхідно враховувати при розробці режимів деформації металу.

Особливо негативно позначається наявність великих величин сил тертя при холодній прокатці штаб, коли в результаті виникнення значних сил на деталі прокатного стану, а отже, і значних пружних деформацій, виявляється неможливим одержання достатнє тонкого листа з точним профілем. Тому в умовах холодної деформації металу знижують коефіцієнт тертя до припустимого мінімуму шляхом застосування мастильних речовин, що відповідає підготовки поверхонь валків.

Однак, незважаючи на зазначені негативні сторони впливу зовнішнього тертя, з метою інтенсифікації процесу прокатки металу в гарячому стані

найчастіше приходиться домагатися збільшення коефіцієнта тертя для одержання великих кутів захоплення і величин обтиснення (блюмінги, безперервно-заготовочні стани, чорнові кліті сортових станів).

1.2. Аналіз ефективності технологічних мастил для прокатки штаб

Жири

Жири застосовують при прокатці жерсті і важкодеформуючих сталей і сплавів для зниження напруги тертя. Крім того, при виробництві лудженої жерсті вимагається видалення залишків мастила перед наступним нанесенням покриттів, тому однією з вимог, що пред'являються до жирів, є їх хороша змиваність. Незважаючи на різні способи мастила і охолодження валків при прокатці жерсті, принципова дія жирів буде однаковою і істотно відмінною від мінеральних масел. За основний еталон слід прийняти пальмову олію, що є досі кращим жировим мастилом при прокатці.

Створення вітчизняних замінників пальмової олії на базі синтетичної сировини базується на використанні синтетичних спиртів і жирних кислот. Зіставлення мастильної здатності сумішей ЛЗ- 142 і ЛЗ- 228 і ЛЗ- 193 з пальмовою олією показала перевага сумішей з ЛЗ- 228. Встановлено, що ефіри СЖК і одноатомних спиртів, що мають низьку температуру плавлення, не задовольняють вимозі по мастильній здатності ($\tau_{тр} = 32-39$ МПа), як і ефіри неграничних кислот ($\tau_{тр} \geq 32$ МПа). Додатки легкоплавких ефірів до тугоплавких дозволяють отримати необхідну температуру плавлення, а мастильна здатність суміші ефірів граничних і неграничних кислот близька до граничної.

Олеїнова кислота і її ефіри краще проявляють себе в тонких плівках. В той же час достатня кількість граничних кислот забезпечує низьку напругу зрушення по звичайній плівці мастила завтовшки близько 1,0 мкм, тому їх суміш має оптимальну мастильну дію. Аналогічний ефект досягнутий при прокатці корозійностійкої сталі додаванням 10 % вільної олеїнової кислоти до мастила ЛЗ- 142, проте такий склад мастила викликає корозію на вуглецевій сталі.

В результаті вибраний оптимальний склад, близький за властивостями до пальмової олії, : 80% ефірів СЖК фракції С17- 20 триетиленгліколя і бутилового спирту в співвідношенні 4:1, 20% ефірів олеїнової кислоти і триетиленгліколя.

Додаткові перевірки мастила на захист металу від корозії, стабільність водомасляної суміші показали, що вона може бути повноцінним заміником пальмової олії; як синтетичний жир вона успішно застосовується в емульсіях для волочіння. Склади на основі полігліколей із-за неминучої наявності в них неповних ефірів утворюють стабільні емульсії. Виділення масла з них при високій швидкості прокатки і незначному часі контакту, недостатньо. Шар мастила утворюється не товще 0,5-0,75 мкм, крім того, в нім виділяється тільки сильно гідратоване масло і напруга тертя різко зростає. Тому для жерсті перспективні ефіри синтетичних одноосновних кислот від С9 і вище, при тому ж співвідношенні граничних і неграничних кислот.

Суміш ефірів кислот бавовняного соапстока і синтетичних жирних кислот з одноосновними синтетичними жирними спиртами при попередніх випробуваннях не виявила істотних відмінностей від пальмової олії.

Мінеральне мастило

Мінеральне масло застосовують для прокатки як єдину мастилоохолоджуючу рідину на багатовалкових станах, станах кварто, коли швидкість прокатки невелика (менше 5-8 м/с), і вимагається висока обробка поверхні або застосування емульсій. Представляє інтерес приклад розробки мастила на мінерально-масляній основі для виробництва біметала: сталь-алюміній-олов'янистий сплав для виготовлення підшипників ковзання.

Цей приклад характерний тим, що практично усі властивості мастила задаються в строго обмежених межах і їх виконання забезпечується збалансованим підбором присадок.

Прокатка біметалічної стрічки (сталь 08кп - сплав алюмінію з 18% олова) виробляється на двохвалкових станах з робочими валками діаметром 400 мм при швидкості прокатки 15- 20 м/хв з великим обтисканням - 40 %, що забезпечує

зварювання пакету.

Валки охолоджуються зсередини водою, мастило подається на валки з боку сталі за допомогою насоса, що забезпечує прокачування масла в'язкістю до 100 мм²/с при 50 °С. Мастило з боку алюмінієвого сплаву здійснюється періодично вручну і її завдання полягає в запобіганні налипанню металу на валок, для чого через фетр подається те ж мастило. До сталевій стороні штаби пред'являються високі вимоги по обробці поверхні - шорсткість не нижче 0,8 Ra і забрудненість - не більше 300-400 мг/м². Після прокатки стрічка проходить відпал 450-500 °С.

Основні вимоги до мастила пояснюються особливостями процесу і вимогами до якості готової продукції, а саме:

- забезпечення оптимального значення напруги тертя і стабільності процесу;
- відсутність ушкоджень поверхні;
- забезпечення обробки поверхні (0,8 Ra - клас шорсткості);
- кількість залишків продуктів зносу : на штабі (не більше 400 міліграма/м²).

Технічні вимоги до мастила, що розробляється, наступні:

- напруга тертя $\tau_{тр} \geq 45$ МПа;
- стабільність величини напруги тертя і відсутність ушкоджень поверхні при високих обтисканнях ($\epsilon = 0,4$); шорсткість поверхні 8 клас, не менше;
- забруднення поверхні після прокатки не більше 400 міліграма/м²; мастило має бути рідкотекучим - при 15°С (виходячи з конструкції стану і системи), в'язкість при 50 °С не більше 75 мм²/с; стабільність мастила повинна зберігатися при перемішуванні;
- захист від корозії повинен забезпечувати зберігання в цеху до 10 днів після прокатки; з інших вимог необхідно забезпечити повне вигорання мастила при відпалі при 500 °С; вимоги до санітарних норм, органолептична проба, пожежанебезпечність (в межах загальних вимог до мінеральних масел).

Величині $\tau_{тр} = 45-60$ МПа при малій швидкості ковзання відповідає суміші мінерального масла середньої в'язкості (турбінне 22) з тваринним жиром в кількості близько 15 %. З метою забезпечення мастильної дії в тонких граничних плівках, бажана присутність в мастилi неграничних кислот, тому як жирова

добавка, що забезпечує захист поверхні від ушкоджень і зниження напруги тертя, використовували суміш тваринного і рослинного масел або суміш тваринного жиру з олеїною кислотою.

Проте, як показали технологічні випробування, стабільність процесу прокатки повністю не забезпечується цим складом - при роботі стану зрідка спостерігаються ривки, вібрації, ризики. З метою підвищення стабільності процесу додано 10-15 % хлорпарафіна (ХП- 470), що виконує роль противозадирної присадки високої поверхневої активності. Вібрація стану припинилася, хоча стійкість процесу прокатки була забезпечена, штаба була сильно забруднена продуктами зносу (до 1600 міліграма/м²).

Для забезпечення чистоти поверхні як плівкотвірна присадка введені ефірокислоти (МНИ- 3) у кількості 2-5%, а кількість олеїнової кислоти зменшена до 4-5 %. В результаті забезпечено отримання шорсткості 0,4 Ra, 0,2 Ra і виконана вимога по чистоті поверхні, тобто 300-400 міліграм/м² залишків продуктів зносу; одночасно МНИ- 3 є інгібітором корозії. Слід зазначити, що застосування тільки присадки МНИ- 3 без хлорпарафіна, не усуває вібрації і появи ризик.

Вибір саме цих присадок, а не інших, які імовірно забезпечили б процес, наприклад, ЛЗ- 215, обумовлений вимогою до їх розчинності в маслі, а також сировиною. Інші вимоги до мастила також задовольняються: досягнута механічна стабільність мастила, забезпечений захист від корозії. Застосування чистих початкових продуктів і мала кількість продуктів зносу дозволили задовольнити і останню вимогу - відсутність плям і чистоту поверхні після відпалу. Надалі це мастило було замінене технологічнішій, такій, що не містить тваринних жирів (мастило СПТ- 13), склад якої з інших компонентів підібраний аналогічно, причому роль жирової добавки, що знижує тертя, виконують такі відомі присадки, як поліметакрилаті і діалкилдітіофосфат цинку [].

Емульсії

Емульсії для прокатки найбільш масового виду холоднокатаної продукції -

автомобільного листа і стрічки, є основним типом мастильно-охолоджуємої рідини.

Хоча для цієї мети і можливе застосування жирів і емульсій на їх основі, економічно це навряд чи доцільно і зазвичай застосовують емульсії на основі мінеральних масел.

Однією з головних вимог є здатність, що охолоджує, що і зумовлює застосування емульсії масла у воді невисокої концентрації (1-5 %).

Композиція емульсолів включає мінеральне масло і емульгатор. Крім того, в сучасних емульсіях, як правило, присутні різні добавки, службові властивості, що підвищують їх. Оскільки мастильні властивості емульсій легко можуть бути поліпшені присадками, а застосування масла у воді знижує високі вимоги до нього по випаровуваності, деемульгується, то як основа використовуються найбільш дешеві масла. Вимога емульсолів призводить до застосування малов'язких масел, типу веретеного в'язкістю 10-20 при 50 °С.

Як емульгатори в першу чергу використовують мило жирних кислот і лужних металів, триетаноламіну або моноетаноламіну. Пропонуються також амонієві солі природних полімерів, сульфонати, а також неіоногенні емульгатори.

Підвищення мастильних властивостей досягається добавками полімерів [] як у вигляді кислотного залишку, так і самостійно. Використовуються добавки поліетилену, діалкилдітіофосфата цинку, а для підвищення стабільності емульсій - спиртів у кількості 1-2%. В цілому використання присадок для емульсолів аналогічно використанню присадок для мінеральних масел. Специфічною є вимога до їх стабільності у воді. На відміну від масел, емульсії містять емульгатори і бажані добавки, що запобіжать мікробіологічній поразці [].

Емульсії для дресировання можуть бути ті ж, що і для прокатки, але з метою підвищення корозійної стійкості прокату в 5-10 разів їх концентрація має бути не 2-3%, а не менше 6-8% []. Можливо і істотне спрощення композиції емульсії за рахунок видалення складової, забезпечуючої зниження напруги тертя. Проте концентрація компонентів, що забезпечують захист від корозії, наприклад, солей тримonoетаноламіна, має бути граничною.

Емульсії, вживані нині (Т, ЕГТ) і що раніше застосовувалися (Е2Б, ЕТ1 та ін.), відносяться до мінерально-масляних емульсій стабілізованим милом. Термін їх експлуатації частіше всього біля 5-6 днів.

Розглянемо приклад створення емульсії, що перевершує за своїми властивостями емульсії мінерального масла без присадок, типу Т, ЕГТ. Основним завданням створення нових емульсій є підвищення термінів їх експлуатації, потім підвищення чистоти поверхні і, нарешті, зниження енергосилових витрат з метою розширення сортаменту у бік меншої товщини. Перерахуємо основні вимоги до емульсій:

- забезпечення стабільності і довговічності емульсій, здатність до очищення;
- отримання чистої від забруднень поверхні : близько 200- 400 міліграма/м² залишків продуктів зносу і масла;
- оптимальна мастильна здатність;
- відсутність шкідливих дій на метал в процесі відпалу;
- захист прокатоного металу від корозії.

Уточнимо вимогу по оптимальній мастильній здатності емульсій. Для широкополосових станів з робочими валками діаметром 500 мм приймаємо максимальне обтискання в першій кліті 1,8 мм, для стрічкапрокатних станів з робочими валками діаметром 250 мм обтискання 1,2 мм. Прокатується низьковуглецева сталь, для якої $\sigma_{те} = 250$ МПа, $\sigma_{тср1} = 400$ МПа. За умовами захоплення при $D_B = 500$ мм значення напруги тертя $\tau_{тр} \geq 21,2$ МПа, при $D_B = 250$ мм відповідно $\tau_{тр} \geq 24,5$ МПа. Для сталого процесу без урахування натягнення при $D_B = 500$ мм отримаємо $\tau_{тр} \geq 20,1$ МПа і, при $D_B = 250$ мм - $\tau_{тр} \geq 23,2$ МПа. Проте величина напруги тертя обмежена граничною мінімальною товщиною штаби, яка має бути прокатана. Приймаємо для станів з валками діаметром 500 мм граничну товщину $h_{min\epsilon} = 0,4$ мм і для станів з робочими валками діаметром 250 мм - $h_{min\epsilon} = 0,2$ мм. Межа плинності штаби при цьому може досягати 800 МПа.

При прокатці низьковуглецевої сталі і $l = 0,20$ отримаємо: для широкоштабових станів ($D_B = 500$ мм) - $\tau_{тр} \leq 66$ МПа; для стрічкопрокатних ($D_B =$

250 мм) - $\tau_{\text{тр}} \leq 73$ МПа; у загальному випадку можна прийняти обмеження $\tau_{\text{тр}} \leq 66$ МПа.

Відмітимо, що для малих швидкостей прокатки в області 0,2-1,0 м/с, напруга тертя більша, ніж задано. Приймаємо наступні технічні вимоги для емульсій, що знову розробляються:

- значення напруги тертя в межах від 25 до 66 МПа;
- захист поверхні від ушкоджень;
- нормована шорсткість поверхні при прокатці - 1,5 мкм;
- отримання чистої від забруднень поверхні - вимагається кількість залишків мастила і продуктів зносу в межах 200-400 міліграма/м², або в 1,5-2 рази менше, ніж на емульсіях Е2Б, Т;
- мастило повинне застосовуватися у вигляді водної емульсії;
- забезпечення рідкотекучості емульсолу при 20-25° С (умови транспортування і зберігання);
- стабільність готової свіжої емульсії повинна забезпечувати відсутність виділення масла за час не менше 24 ч;
- термін експлуатації емульсії - не менше, чим в два рази більше емульсії Т, в схожих умовах;
- захист від корозії повинен забезпечуватися як після промаслювання підкату емульсолем, так і після прокатки, при зберіганні в приміщенні в течію не менше 5 діб;
- повне вигорання залишків мастила при відпалі без утворення нальотів саж;
- вимоги до санітарних норм, органолептична проба, пожежабезпечність - в межах, що задовольняються емульсолем Т, вживаним у виробництві.

Такі вимоги, як захист поверхні від ушкоджень при прокатці і нормована шорсткість поверхні не є визначальний при виборі складу емульсола, оскільки вживані емульсії, що не містять спеціальних присадок, забезпечують відсутність ризик, а шорсткість готової продукції створюється при дресируванні. Навпаки, вимога збільшення терміну експлуатації - одне з головних. Для того, щоб його забезпечити, необхідно добитися підвищеної здатності емульсії відділяти

механічні домішки і не утворювати при цьому відкладень на трубопроводах, що важко видаляються, і щільних опадів в місткостях системи. Необхідно, щоб властивості емульсії не змінювалися істотно при попаданні в неї сторонніх масел з систем мастила устаткування, промаслюючих складів і залишків травильних розчинів.

Основу підбирали на базі легших масел типу I-12A- I-20A з добавками жирів. Як було показано, добавка до мінерального масла жирів в межах від 10 до 25 % дає однаковий ефект. Крім того, емульгатори (мило, оксиетильовані кислоти) по своїй дії аналогічні жирам. Звідси витікає, що сумарна кількість жирів і емульгаторів, що додаються до мінерального масла повинно бути не менше 10 %, або дещо більше з урахуванням їх втрат в процесі експлуатації і розбавлення масляної основи сторонніми маслами.

Позитивний вплив на знос і високі мастильні властивості триетаноламінового ефіру синтетичних жирних кислот (СЖК) дозволили застосувати його і деякі аналоги як жирова присадка. Так, був запропонований продукт конденсації (ефір) триетаноламіну і кубового залишку СЖК.

Дослідження стабільності емульсії, що містить 10 % ефірів триетаноламіну і кубового залишку СЖК, показало, що необхідний зміст стеарокс- 6 і мила того ж триетаноламіну з СЖК в середньому по 8-10%. В результаті отримана композиція емульсола (ЕП- 29) : основа - масло веретенне; 10 % ефіру триетаноламіну і кубового залишку (СЖК; 5-10 % стеарокс- 6; 10 % мило триетаноламіну і СЖК фракції С10- 20.

Лабораторні дослідження забрудненості поверхні зразків і дослідження енергосилових параметрів при прокатці з емульсолами Т і ЕП- 29 показали переваги ЕП- 29; зниження напруги тертя на 25-30%, зменшення забрудненості на 40-45%.

При прокатці на реверсивному стані 1680 середнє значення напруги тертя на емульсії Т складає 92 МПа, а на емульсії ЕП- 29 нижче - 64 МПа. Дані про забрудненість самої емульсії і поверхні металу, приведені раніше, показують, що порівняно з .прокатком на емульсії Т, кількість продуктів зносу, що утворюється,

менше в 2-3 рази.

Штаба чистіша, загальна кількість залишків при прокатці на реверсивному стані 1680 складає 240-260 мг/м². Застосування емульсії Т дає не менше 380-400 мг/м². На швидкісному (до 5 м/с) безперервному стані 1680 загальна кількість залишків при прокатці на емульсії ЕП-29 складає 300-320 мг/м², на емульсії Т - 620-690 мг/м². Термін експлуатації емульсії ЕП- 29 в 4-6 разів вищий, ніж емульсії Т, при збереженні основних робочих характеристик. Дослідження корозійно-захисних властивостей емульсола ЕП- 29 в лабораторних умовах показало, що вони вищі, ніж у спеціально розробленого захисного мастила К-17. У виробничих умовах корозії, плям і нагар не спостерігалось. Шорсткість поверхні нижча, ніж при прокатці на емульсії Т і відповідає 0,9 від шорсткості валків. Висока екрануюча здатність емульсії ЕП- 29 привела також до того, що повністю виключається злипання при відпалі.

1.3. Вплив ступеня деформації і технологічного мастила на тиск при холодній прокатці

Для оптимізації режимів обтискань необхідно розглянути і врахувати вплив ступеня деформації і технологічного мастила на тиск при холодному прокатуванні.

Дослідження проводили на лабораторному прокатному стані 100 [], обладнаному сучасною тензометричною апаратурою. Штаби 1x40x1000 мм, вирізані з відпаленої листової низьколегованої 25ХГСА сталі, прокатували на стані із швидкістю 4,5 м/с при постійній установці натискних гвинтів. Товщину штаб до і після прокатки вимірювали по довжині через кожні 100 мм. Ретельно очищену поверхню підготовлених зразків промивали авіаційним бензином, а потім знежирювали кріоскопічним бензолом.

При прокатуванні застосовували водну емульсію мастила А20 при температурі 60—70 °С і лужності рН=8 – 9 з концентрацією поверхнево активних речовин 0,5; 4; 8 і 16%. Мастило А20 (ТУ 38—30703—70) виробництва Шебекинського хімкомбінату є продуктом конденсації триетаноламіну з

синтетичними жирними кислотами фракції C18—C25, з кислотним числом 30 міліграм КОН/г, числом обмилення 140 міліграм КОН/г і температурою каплепадения 48—55°C.

Змащені емульсією зразки пропускали через спеціальні віджимаючі прогумовані ролики, добиваючись рівномірного розподілу на них мастила, після чого витримували протягом доби до повного просихання вологи і освіти на поверхні тонкого досить міцного твердого шару мастила. У дослідях варіювали відносне обтискання в межах від 10 до 30%. За допомогою осцилографа на фотопаперову стрічку записували силу прокатки. Вплив на процес прокатки сил тертя, виникаючих на контактній поверхні валків і металу, оцінювали після кожного проходу по коефіцієнту витяжки μ , випередженню S , показнику протяжності зон осередку деформації

$$\frac{\gamma}{\alpha} = \sqrt{\frac{S}{\mu - 1}} \quad (1.12)$$

і коефіцієнту напруженого стану

$$n = \frac{p}{k} \quad (1.13)$$

де p — дослідний тиск металу на валки, кгс/мм²;

$k = 1,15\sigma$ – вимушена межа текучості металу, кгс/мм², який визначали з урахуванням двох зон осередку деформації по формулі:

$$\kappa = 1,15 \left[\mu_{02} + \frac{1}{2} A \left(\frac{\mu - 1 - S}{\mu} 100 \right)^n + \frac{1}{2} A \left(\frac{S}{1 + S} 100 \right)^n \right] \quad (1.14)$$

одержаної на підставі емпіричної залежності.

Одночасно коефіцієнт напруженого стану визначаємо розрахунковим шляхом

по формулі

$$n_{nc} = \frac{n_{OT}l_{OT} + n_{OP}l_{OP}}{l_c} \quad (1.15)$$

де l_{OT} – довжина дуги торкання зони відставання;

l_{OP} – довжина дуги торкання зони випередження;

n_{OT} – коефіцієнт напруженого стану в зоні відставання;

n_{OP} – коефіцієнт напруженого стану в зоні випередження;

вони визначаються по формулах:

$$n_{OT} = \frac{p_{OT}}{k_{OT}} \quad (1.16)$$

$$n_{OP} = \frac{p_{OP}}{k_{OP}} \quad (1.17)$$

Величини $k_{OT}=1,15 \sigma_{OT}$ і $k_{OP}=1,15 \sigma_{OT}$ – вимушені межі текучості металу по відповідних зонах;

p_{OT} і p_{OP} — тиск в зоні відставання і випередження, визначувані по формулі:

$$p_{OT(OP)} = \frac{1}{F_{OT(OP)}} \int_{h_H}^{H, h_H} p_{xOT(OP)} dx \quad (1.18)$$

де $F_{OT(OP)}=bl_{OT(OP)}$ — проекція площі торкання раскату з валком відповідно в зоні відставання і випередження.

Поточний тиск визначали по зонах, причому в зоні відставання:

$$p_{xOT} = \frac{k_{OT}}{\delta_{OT}} \left[(\delta_{OP} - 1) \left(\frac{H}{h_{xOT}} \right)^{\delta_{OT}} + 1 \right] \quad (1.19)$$

а в зоні випередження:

$$p_{ХОП} = \frac{k_{ОП}}{\delta_{ОП}} \left[(\delta_{ОП} + 1) \left(\frac{h_{ХОП}}{h} \right)^{\delta_{ОП}} - 1 \right] \quad (1.20)$$

де H і h — товщина штаби до і після прокатки;

$h_{ХОТ}$ і $h_{ХОП}$ — поточна товщина штаби відповідно в зоні відставання і випередження;

δ , $\delta_{ОТ}$ і $\delta_{ОП}$ — показники умов тертя відповідно загальний, в зоні відставання і випередження:

$$\delta = \frac{1}{1 - 2\frac{\gamma}{\alpha}}; \quad \delta_{ОТ} = \frac{1}{1 + 2\frac{\gamma}{\alpha}}; \quad \delta_{О}^{\Pi} = \frac{1}{\frac{\gamma}{\alpha}}.$$

Ради спрощення рішення задачі з достатнім ступенем точності дугу торкання можна апроксимувати двома хордами в зоні відставання і в зоні випередження, і для рівнянь (45) і (46) величини $h_{ХОТ}$, $h_{ХОП}$ визначати рівняннями прямої хорди в кожній зоні. Після визначення $n_{ОТ}$ і $n_{ОП}$ і відповідних перетворень виходить загальний коефіцієнт напруженого стану

$$n_{н.с} = \frac{p}{k} = \frac{h_n}{\Delta h \delta} \left[\left(\frac{H}{h_n} \right)^{\delta_{ОТ}} + \left(\frac{h_n}{h} \right)^{\delta_{ОП}} - 2 \right] \quad (1.21)$$

Встановлено, що із збільшенням ступеня деформації розкату і концентрації в мастилi поверхнево активних речовин спостерігається збільшення витяжки. З підвищенням обтискання і концентрації поверхнево-активних речовин в мастилi А20 спостерігаються пробуксували, унаслідок чого при високих значеннях

вищенаведених параметрів прокатки стає майже неможливим (рис. 1.2).

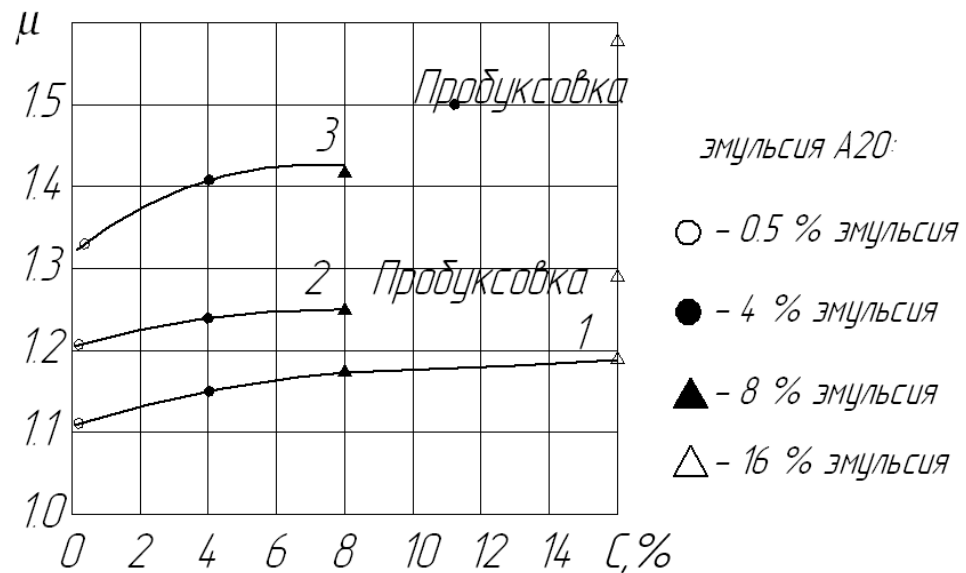


Рисунок 1.2 – Коефіцієнт витяжки при постійній установці валків у випадку холодної прокатки штаб з обтисканням 10%(1), 20%(2), 30%(3) заздалегідь промаслених емульсією А20.

За наслідками спостережень також встановлено, що із збільшенням концентрації поверхньоактивних компонентів в мастилі А20 (рис. 1.3 а) випередження, тиск і показник γ/α при холодному прокатуванні зменшуються. Закономірність зменшення вказаних параметрів прокатки із збільшенням концентрації емульсії зберігається як у області невеликих, так і вищих обтискань (рис. 1.3) Стабільність процесу прокатки з мастилом емульсією 16% концентрації мастила А20 при обтисканні штаби 30% не робить помітного впливу на зниження тиск (рис 1.3, а) і показник γ/α . Практично це означає, що використання для промаслювання підкату емульсією високої концентрації неекономічно.

Задовільний збіг досвідченого тиску з розрахунковим по формулі (1.21) дозволяє використовувати уточнену залежність для оцінки ефективності вживаних технологічних мастил і режимів деформацій. Тиск при одному і тому ж значенні концентрації в мастилі поверхнево активних речовин збільшується із

зростанням обтискання (рис. 1.3, б); застосування технологічного мастила з різною концентрацією поверхнево активних компонентів дозволяє впливати на інтенсивність зміни тиску (нахил прямих $p=f(\Pi_{\phi})$ до осі абсцис зменшується).

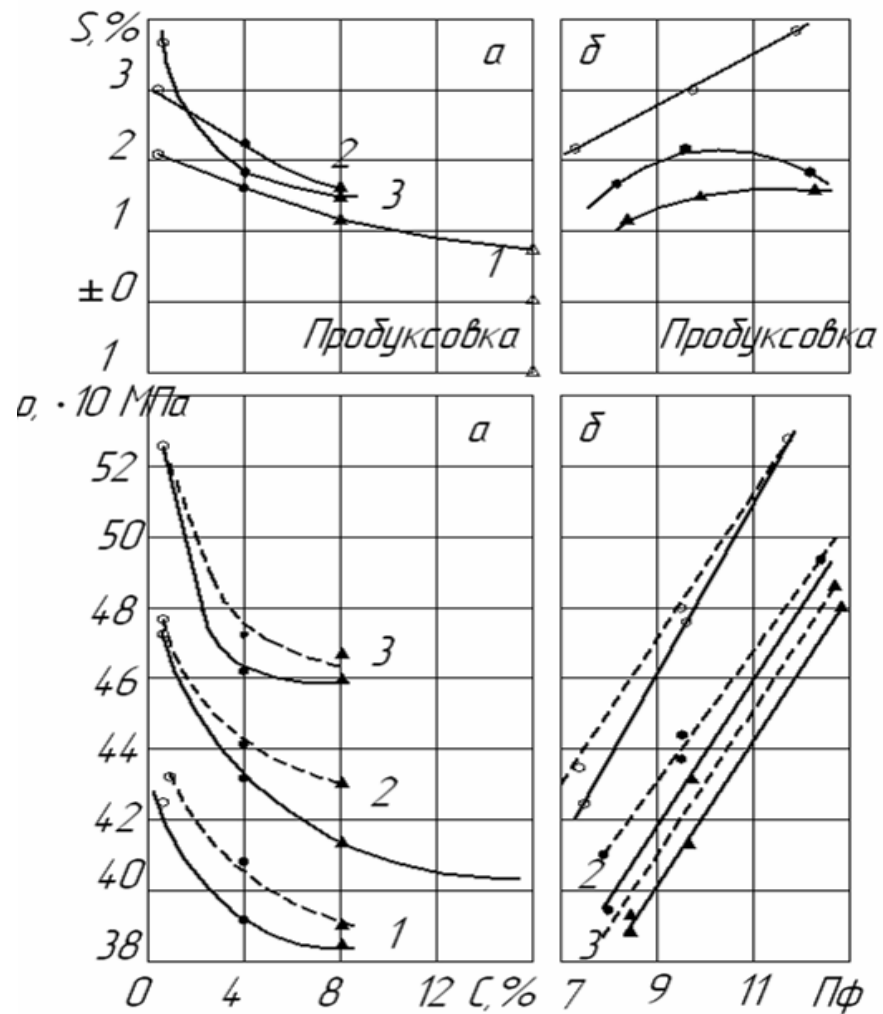


Рисунок 1.3 – Випередження і тиск досвідчений (—) і розрахунковий (---) залежності а – складу мастила; б – показника форми осередку деформації.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Устаткування для проведення дослідів

З метою зниження трудомісткості, економії матеріальних ресурсів і подальшого розширення діапазону досліджуваних умов реалізації в рамках даної роботи було використане встаткування лабораторного прокатного стану 260×260 (рис. 2.1., 2.2) головна лінія робочої кліті якого містить у собі мотор–редуктор 1 типу МЦ 2С-63 ($n = 40 \text{ об/хв}$), моторну муфту 2, одноступінчастий циліндричний зубчастий редуктор 3 з передатним відношенням **4,0**, проміжну муфту 4, шестеренну кліть 5, універсальні шпинделі 6 на підшипниках кочення, механізм 7 їх пружинного зрівноважування й властиво двухвалкову робочу кліть 8.

Устаткування робочої кліті даного стану, загальний вид і конструкція якої ілюстровані рис. 2.1, містить у собі нижній 1 і верхній 2 робочі валки з номінальними значеннями діаметрів і довжин бочок по 260 мм. За допомогою дворядних сферичних підшипників 3 шийки робочих валків зафіксовано у відповідних подушках 4, 5 між якими з метою зрівноважування верхнього робочого валка 2 розміщені гумові прокладки 6. Самі робочі валки були виготовлені зі сталі **9X** із твердістю утворюючих поверхонь бочок **≈85HS** і шорсткістю, що відповідає $\sqrt{\text{Ra1,25}}$.

Подушки 4 нижнього 1 і подушки 5 верхнього 2 робочих валків, у свою чергу, були розміщені в напрямних вікнах вузла станин 7 (див. рис. 2.1).

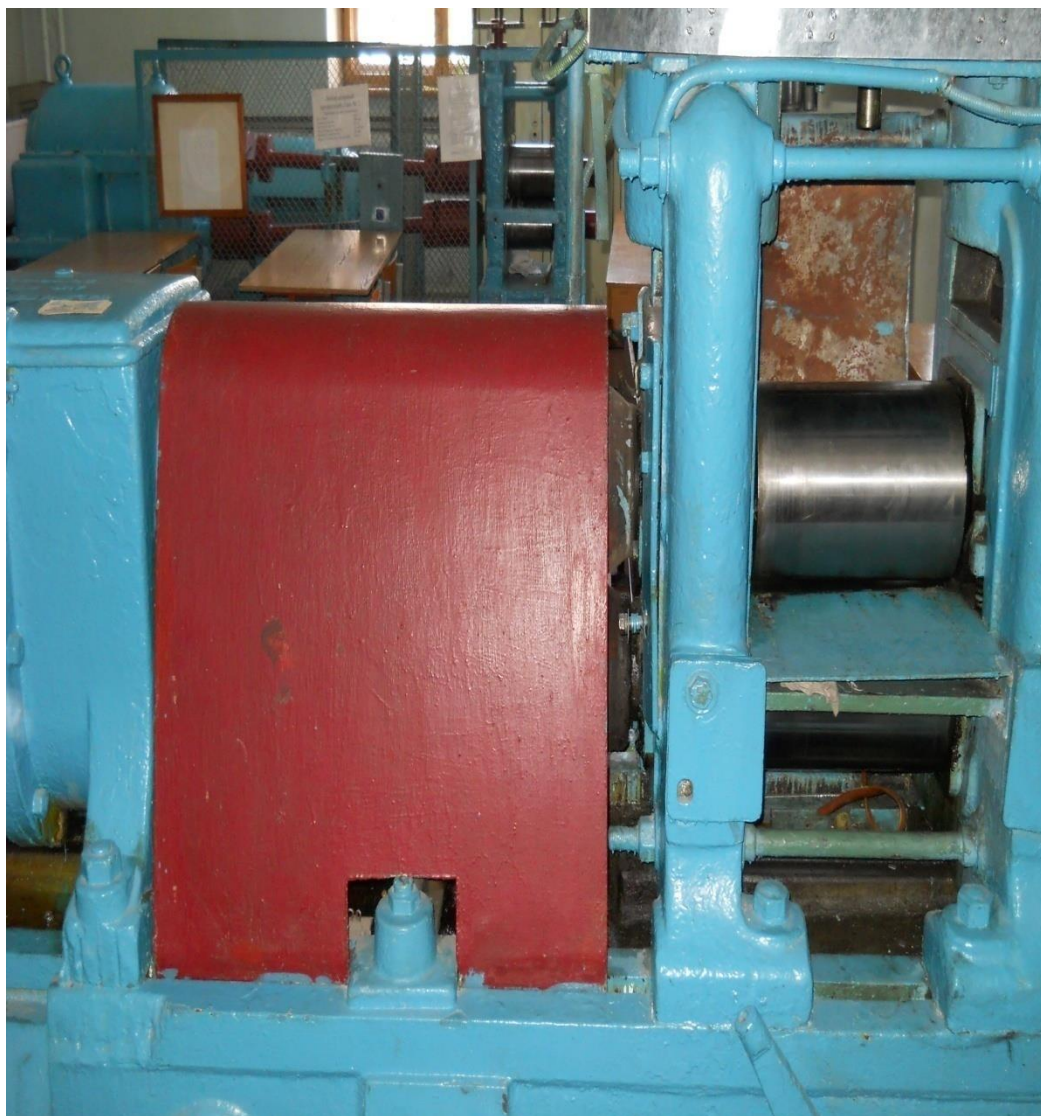


Рисунок 2.1 – Загальний вид устаткування лабораторного прокатного міні-стану 260x260.



Рисунок 2.2 – Загальний вид робочої кліти лабораторного прокатного міні-стану 260x260.

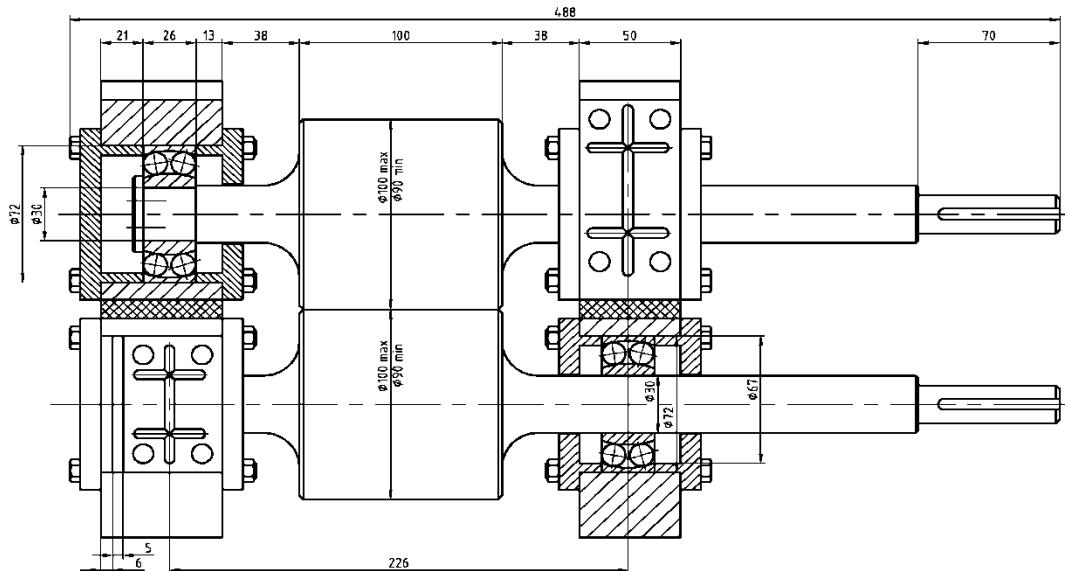


Рисунок 2.3 – Конструкція вузла робочих валків лабораторного прокатного міні-стану 260x260

При цьому у вертикальній площині подушки 4 нижнього робочого валка 1 були зафіксовані нижніми поперечками даного вузла, а подушки 5 верхнього робочого валка 2 через кільцеві пружні елементи месдоз 8 і сферичні тіла кочення 9 були сполучено з натискними гвинтами 10 механічної частини натискного механізму. Бронзові гайки 11 даного механізму різьбові нарізки, що мають **3,0мм** метричні, із кроком, були зафіксовані в розточеннях проміжної рухливої траверси 12, розміщеної за аналогією з подушками 4, 5 робочих валків 1, 2 у напрямних вікнах вузла станин 7. У випадку регулювання величини попереднього межвалкового зазору з використанням тільки механічної частини натискного механізму проміжну рухливу траверсу 12 фіксували у вертикальній площині за допомогою додаткових проставлень 13, що сполучаються з верхніми поперечками вузла станин 7.

Крім механічної частини конструкція натискного механізму робочої кліті лабораторного міні-стану 260×260 (див. рис. 2.3) містила в собі й гідравлічну частину, виконану у вигляді гідроциліндра поршневого типу, корпус якого був розміщений нерухомо в розточенні верхньої траверси вузла станин, а штоковий елемент сполучений з верхньою опорною поверхнею проміжної рухливої траверси. При цьому, крім безпосереднього регулювання величини попереднього

межвалкового зазору з досить високою швидкістю гідравлічна частина була використана для силового розвантаження додаткових проставлень 13, а також для торировки місдоз 8 шляхом додатка імітаційних сил їх стиску відомої величини. Враховуючи можливість переміщення проміжної траверси 12 у вертикальній площині при подачі робочої рідини в поршневу або в штокову порожнину гідроциліндра вона була постачена пружинним механізмом зрівноважування, а також датчиком лінійних переміщень реостатного типу (див. рис. 2.3).

За аналогією з розглянутим раніше (див. рис. 2.1–2.3) промислово–лабораторним станом вимір сили прокатки на лабораторному міні–стані 260×260 ЗДІА робили за допомогою місдоз 8, а вимір моментів прокатки на кожному з робочих валків – за допомогою тензометричних датчиків опору, наклеєних на тіла відповідних універсальних шпинделів 6 головної лінії робочої кліті (див. рис. 2.1, 2.3). Знімання електричного сигналу з обертових універсальних шпинделів робили за допомогою струнних струмознімачів ковзання.

У цілому состав і конструктивні особливості розглянутого вище встаткування з урахуванням відповідних критеріїв подоби дозволило досліджувати процес гарячої прокатки щодо товстих аркушів і штаб у горизонтальних робочих валках у всім діапазоні можливих умов його реалізації.

2.2. Методи теоретичного визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці

Для одержання більш точного значення величини коефіцієнта тертя і, відповідно, енергосилових параметрів робиться розрахунок по різним методиках.

Визначення коефіцієнта тертя за методикою О.П. Грудєва

Для розрахунку коефіцієнта тертя при холодній прокатці О.П. Грудєв пропонує використовувати формулу:

$$f = \frac{1,4[1 + (0,4 + 0,01\varepsilon)R]}{1 + 0,25\sqrt{v_{50}} - 0,005v_{50}} \left[0,07 - \frac{0,1v^2}{2(1+v) + 3v^2} \right] \quad (2.1)$$

Розрахунок середньої нормальної контактної напруги вироблявся по формулі О.І. Целікова:

$$p_{cp} = \frac{2\sigma_{\phi} h_H}{\Delta h(\delta - 1)} \left(\frac{h_H}{h} \right) \cdot \left[\left(\frac{h_H}{h} \right)^{\delta} - 1 \right] \quad (2.2)$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta - 1)(\delta + 1)(H/h)^{\delta}}}{\delta + 1} \right]^{1/\delta}; \quad \delta = \frac{2fl_c}{\Delta h}$$

Визначення коефіцієнта тертя за методикою В.О. Ніколаєва

На підставі промислових досліджень В.О. Ніколаєв пропонує формулу для визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці []

$$f = f_0 \cdot k_{\varepsilon} \cdot k_{\Pi} \cdot k_{CM} \cdot k_t, \quad (2.3)$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя, визначений у промислових умовах;
 k_{ε} , k_{Π} , k_{CM} , k_t – поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно величину відносного обтиснення, шорсткість поверхні штаби і типу технологічного змащення, вплив температури штаби.

Базовий коефіцієнт f_0 визначений у промислових умовах на реверсивних станах 1200 і 1680 холодної прокатки меткомбіната "Запоріжсталь".

Базовий коефіцієнт f_0 – визначений у промислових умовах при $\varepsilon \approx 30\%$ і температурі штаби $t = 40-100\text{ }^\circ\text{C}$, що при прийнятому обтисненні мало впливає на коефіцієнт тертя. Базовий коефіцієнт f_0 враховує вплив окружної швидкості валків і шорсткість штаби:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } v < 7,5 \text{ м/с} \\ f_0 &= 0,076 - 0,0019v + 0,03(R_a - 0,6) \cdot [(1,07 - 0,14v)^3 + 0,054v - 0,26]; \\ \text{при } v > 7,5 \text{ м/с} \\ f_0 &= k_v \cdot [0,062 + 0,005(R_a - 0,6)]; \\ k_v &= 0,7 + 0,4(1 - 0,036v)^2; \\ k_{\Pi} &= 1,09 - 0,05R_{an}. \end{aligned} \right\} (2.4)$$

де R_a - середня шорсткість валків, мкм;

R_{an} - середня шорсткість поверхні штаби, мкм;

k_v - коефіцієнт, що враховує зниження коефіцієнта тертя при $v > 7,5$ м/с.

Коефіцієнт k_ε на підставі досліджень автора [] може бути визначений у залежності від шорсткості валків і відносного обтиснення

$$k_\varepsilon = 0,5 + 1,77\varepsilon + 0,165R_a(1 - 3,33 \cdot \varepsilon), \quad (2.5)$$

де ε – відносне обтиснення в частках;

R_{an} – шорсткість поверхні штаби;

k_v – коефіцієнт, що враховує окружну швидкість валків при $v > 7,5$ м/с.

При прокатці з малов'язкими змащеннями (індустріальне 12) характер залежностей коефіцієнта тертя в області температур $20-250\text{ }^\circ\text{C}$ обумовлений величиною відносного обтиснення. При прокатці з грузлими технологічними

змащеннями (касторова олія, олія вапор, ТЕМП-1) коефіцієнт тертя істотно зростає зі збільшенням температури штаби. Апроксимація дослідних даних дозволила одержати рівняння виду ($D=256\text{мм}$, $H=1,08$ і $2,5\text{мм}$, сталь 08кп, $R_a \approx 0,8\text{мкм}$):

$$k_t = a + c(1,11 - 0,0044 t_H)^n, \quad (2.6)$$

де t_H - температура початку прокатки;

для емульсій і малов'язкої мінеральної олії ($\varepsilon \geq 0,2$):

$$a = 0,31 + 0,17 \varepsilon ; c = 1,2 - 2,8 \varepsilon ; n = 3,84 - 5,7 \varepsilon ;$$

для високов'язкого змащення ($\varepsilon = 0,3$):

$$a = 1,19; c = -0,31; n = 2.$$

Відсутність точного збігу дослідних і розрахункових значень коефіцієнта тертя, зокрема по формулі (2.3), варто пояснювати неадекватністю умов деформації металу на лабораторних і промислових станах при визначенні коефіцієнта тертя. Так, при його визначенні в лабораторних умовах у порівнянні з промисловими малися наступні відмінності: 1) діаметр валків менше в 1,76 рази; 2) вихідні штаби не мають попереднього зміцнення; 3) шорсткість штаб більше в 2 рази; 4) ефективність технологічного змащення трохи вище за рахунок відсутності механічних домішок; 5) температура валків менше в 1,4-1,5 рази; 6) відсутнє натяг кінців штаби. Перший і другий фактори обумовлюють збільшення коефіцієнта тертя в лабораторних умовах, а третій-п'ятий приводять до його зниження.

Вплив зазначених факторів стосовно до визначення коефіцієнта тертя для умов лабораторної прокатки можна врахувати шляхом введення в базову формулу

(2.3) додаткового коефіцієнта $k_{\text{тп}}$, що враховує особливості прокатки штаб на промисловому стані

$$k_{\text{тп}}=0,9-0,67 \cdot \varepsilon. \quad (2.7)$$

З цього слідує, що коефіцієнт тертя для лабораторних умов прокатки варто визначати по формулі

$$f=f_0 \cdot k_\varepsilon \cdot k_\pi \cdot k_t \cdot k_{\text{тп}} \cdot k_{\text{см}} \quad (2.8)$$

Залежність (2.8), так само як і залежність (2.3), використовується для розрахунку коефіцієнта тертя й у промислових умовах, але в цьому випадку коефіцієнт $k_{\text{тп}} = 1$.

Середня нормальна контактна напруга визначається з вираження:

$$\left. \begin{aligned} p_{\text{ср}} &= \sigma_\phi (1 + C_H f_\pi l_c / h_{\text{ср}}) \\ f_\pi &= 1,6 \cdot f - 0,018 \\ C_H &= 0,17(1 + 15 f_\pi) \quad \text{при } f_\pi < 0,12 \\ C_H &= 0,48 \quad \text{при } f_\pi > 0,12 \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Визначення коефіцієнта тертя за методикою Д.І. Старченко

Для визначення коефіцієнта тертя при холодній прокатці Д.І. Старченко запропонував наступну формулу:

$$f=f_6 - v/(a + bv), \quad (2.10)$$

де f_6 – коефіцієнт тертя при дуже малій швидкості прокатки ($f_6=0,08$);

v – окружна швидкість валків; $a = 180$; $b = -20$.

Розрахунок коефіцієнта тертя за методикою Д.І. Старченко не враховує температурний фактор, також не враховує впливу обтиснення й отже при збільшенні обтиснення ε коефіцієнт тертя буде залишатися незмінним.

Розрахунок середньої нормальної контактної напруги вироблявся по формулі О.І. Целікова (2.2).

2.3. Методи експериментального визначення коефіцієнта тертя

Для визначення коефіцієнта тертя f_3 , використовують *метод максимального кута захоплення*.

Зазор між валками встановлюють малим, щоб захоплення не відбувалося. Поступово збільшують зазор до захоплення. Після прокатки заміряють h_1 (при необхідності враховують пружну деформацію кліті), розраховують $\alpha_{3,max} = \sqrt{\frac{h_0 - h_1}{R}}$ і визначають $f_3 = \operatorname{tg} \alpha_{3,max}$.

Іншими методами визначають коефіцієнт тертя при усталеному процесі f_y .

Метод граничного обтиснення - полягає в прокатці, як правило клиноподібного зразка. По знайденому $\alpha_{max} = \sqrt{\frac{h_{0,max} - h_1}{R}}$ розраховується $f_y = \operatorname{tg}(\alpha_{max}/2)$.

Метод примусового гальмування штаби. До заднього кінця штаби, що прокатується, прикладається сила Q , під дією якої штаба зупиняється у валках. У початковий момент буксування вимірюють вертикальну силу $P \approx N$, що діє на валок, і силу Q . Розв'язання рівнянь рівноваги штаби в горизонтальному і вертикальному напрямках дозволяє визначити f_y :

$$f_y = \frac{Q}{2P} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (2.11)$$

Метод випередження. Керновим методом визначається випередження $S = \frac{l_{\Pi} - l_{\text{В}}}{l_{\text{В}}}$ де l_{Π} та $l_{\text{В}}$ - відстань між керновими відбитками на полісі та на валку, відповідно. З формули $S = \frac{\gamma^2 R}{h_1}$ отримуємо:

$$\gamma = \sqrt{Sh_1/R}. \quad (2.12)$$

З формули Екелунда - Павлова, враховуючи умову $f_y = \beta_y$, одержимо:

$$f_y = \frac{\alpha^2}{2(\alpha - 2\gamma)}. \quad (2.13)$$

3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Розрахунок коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при холодній прокатці по різних методиках

Дослідні дані [] отримані на стані з діаметром валків $D=250$ мм, шорсткістю поверхні R_a валків $\sim 0,8$ мкм, а штаб (низковуглецева сталь 08кп) – 1,3-1,5 мкм. Як змащення використовували мінеральну олію I-20А. У процесі прокатки експериментальним шляхом визначали довжину дуги контакту з обліком пружного сплюснення валків і пружного відновлення штаби, випередження методом кернових оцінок, коефіцієнт тертя по випередженню.

Визначення коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при холодній прокатці за методикою В.О.Ніколаєва.

Базовий коефіцієнт f_0 визначений у промислових умовах на реверсивних станах 1200 і 1680 холодної прокатки ПАТ "Запоріжсталь".

1) Базовий коефіцієнт f_0 враховує вплив окружної швидкості валків і шорсткість штаби (2.4):

$$f_0=0,076-0,0019 \cdot 0,3+0,031(1-0,6)[(1,07-0,14 \cdot 0,3)^3+0,054 \cdot 0,3-0,26]=0,065$$

При $v < 8,0$ м/с коефіцієнт $k=1$; $k_{cm}=1$.

Коефіцієнт k_{II} (2.4) дорівнює:

$$k_{II}=1,09-0,05 \cdot 1,5=1,015$$

Коефіцієнт k_e (2.5) дорівнює:

$$k_e=0,5+1,77 \cdot 0,1+0,165 \cdot 1(1-3,33 \cdot 0,1)=0,78$$

Коефіцієнт k_t (2.6) дорівнює:

$$a=0,31+1,7\cdot 0,1=0,48$$

$$c=1,2-2,8\cdot 0,1=0,92$$

$$n=3,84-5,7\cdot 0,1=3,27$$

$$k_t=0,48+0,92(1,1-0,0044\cdot 25)^{3,27}=1,4$$

Коефіцієнт $k_{\text{тп}}$ (2.7) дорівнює:

$$k_{\text{тп}}=0,9-0,67\cdot 0,1=0,8$$

Коефіцієнт тертя визначається з вираження (2.18) і дорівнює:

$$f=0,065\cdot 1\cdot 1\cdot 1,015\cdot 0,78\cdot 1,4\cdot 0,8=0,056$$

$$f_{\text{п}}=1,6\cdot 0,056-0,018=0,072$$

Середня нормальна контактна напруга визначається з вираження (2.9):

$$C_{\text{н}}=0,17(1+15\cdot 0,072)=0,36$$

$$p_{\text{ср}}=369(1+0,36\cdot 0,072\cdot 3,3)=401 \text{ Н/мм}^2.$$

Розрахунок коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при $\varepsilon = 20\%$.

Базовий коефіцієнт f_0 (2.4) дорівнює:

$$f_0=0,065$$

Коефіцієнт $k=1$; $k_{\text{см}}=1$; $k_{\text{п}}=1,015$; $k_t=1,4$.

Коефіцієнт k_{ε} (2.5) дорівнює:

$$k_{\varepsilon}=0,5+1,77\cdot 0,2+0,165\cdot 1(1-3,33\cdot 0,2)=0,91$$

$$k_{\text{тп}}=0,9-0,67\cdot 0,2=0,77$$

Коефіцієнт тертя (2.8) дорівнює:

$$f=0,065 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,015 \cdot 0,91 \cdot 1,4 \cdot 0,77=0,063$$

$$f_{\Pi}=1,6 \cdot 0,063 - 0,018=0,085$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.9) дорівнює:

$$C_H=0,17(1+15 \cdot 0,084)=0,39$$

$$p_{cp}=402(1+0,38 \cdot 0,085 \cdot 5)=470 \text{ Н/мм}^2.$$

Розрахунок коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при $\varepsilon=30\%$.

Базовий коефіцієнт f_0 (2.4) дорівнює:

$$f_0=0,065$$

Коефіцієнт $k=1$; $k_{cm}=1$; $k_{\Pi}=1,015$; $k_t=1,4$.

Коефіцієнт k_{ε} (2.5) дорівнює:

$$k_{\varepsilon}=0,5+1,77 \cdot 0,3+0,165 \cdot 1(1-3,33 \cdot 0,3)=1,1$$

$$k_{\Pi\Pi}=0,9-0,67 \cdot 0,3=0,69$$

Коефіцієнт тертя (2.8) дорівнює:

$$f=0,065 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,015 \cdot 1,1 \cdot 1,4 \cdot 0,69=0,07$$

$$f_{\Pi}=1,6 \cdot 0,07 - 0,018=0,094$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.9) дорівнює:

$$C_H=0,17(1+15 \cdot 0,094)=0,41$$

$$p_{cp}=452(1+0,41 \cdot 0,094 \cdot 6,38)=563 \text{ Н/мм}^2.$$

Розрахунок коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при $\mathcal{E} = 40\%$.

Базовий коефіцієнт f_0 (2.4) дорівнює:

$$f_0 = 0,065$$

Коефіцієнт $k=1$; $k_{cm}=1$; $k_{п}=1,015$; $k_t=1,4$.

Коефіцієнт $k_{\mathcal{E}}$ (2.5) дорівнює:

$$k_{\mathcal{E}} = 0,5 + 1,77 \cdot 0,4 + 0,165 \cdot 1(1 - 3,33 \cdot 0,4) = 1,15$$

$$k_{пII} = 0,9 - 0,67 \cdot 0,4 = 0,63$$

Коефіцієнт тертя (2.8) дорівнює:

$$f = 0,065 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,015 \cdot 1,15 \cdot 1,4 \cdot 0,63 = 0,067$$

$$f_{пI} = 1,6 \cdot 0,067 - 0,018 = 0,089$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.9) дорівнює:

$$C_H = 0,17(1 + 15 \cdot 0,089) = 0,39$$

$$p_{cp} = 500(1 + 0,39 \cdot 0,089 \cdot 7,64) = 632 \text{ Н/мм}^2.$$

Аналогічно по такій же методиці робимо розрахунок коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при холодній прокатці штаби $H=1,55$ мм і $H=1,2$ мм із низькоуглеродної сталі при різних обтисках. Отримані значення заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Експериментальні і розрахункові параметри холодної прокатки штаб Н=1,95 мм, Н=1,55 мм, Н=1,2 мм із низкоуглеродистой стали при різних обтисненнях

ε , %	l_c , мм	l_c/h_{cp}	f	f_H	σ_ϕ , Н/мм ²	$P_{cp.H}$, Н/мм ²	$P_{cp.дос.}$, Н/мм ²	Δ , %
10	6,3	3,3	0,046	0,056	369	401	440	- 8,8
20	8,6	5,0	0,064	0,063	402	470	500	- 6
30	10,3	6,38	0,063	0,07	452	563	590	- 4,5
40	11,58	7,64	0,060	0,067	500	632	620	1,8
Н=1,55 мм								
10	6,0	4,19	0,051	0,056	458	508	520	- 2,3
20	8,05	5,82	0,061	0,064	556	660	680	- 2,9
30	9,7	7,6	0,062	0,07	638	824	805	2,3
40	10,9	8,95	0,061	0,067	720	943	902	4,3
Н=1,2 мм								
10	5,4	4,73	0,06	0,056	367	423	480	- 11,8
20	7,2	6,65	0,062	0,064	438	537	600	- 10,5
30	8,4	8,2	0,062	0,07	458	603	660	- 8,6
40	9,4	9,8	0,062	0,067	488	654	690	- 5,2

Визначення коефіцієнта тертя і середньої нормальної контактної напруги при холодній прокатці за методикою Д.І. Старченко.

Розрахунок коефіцієнта тертя за методикою Д.І. Старченко не враховує температурний фактор, також не враховує впливу обтиснення й отже при збільшенні обтиснення ε коефіцієнт тертя буде залишатися незмінним.

1) Так при Н=1,95 мм і $\varepsilon = 10, 20, 30, 40\%$ коефіцієнт тертя дорівнює (2.10):

$$f=0,08-0,3/(180+20\cdot 0,3)=0,078$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 10\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,078 \cdot 6,3}{0,195} = 5$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 24 \cdot (1,95/1,76)^5}}{6} \right]^{0,2} = 1,043$$

$$p_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 369 \cdot 1,76}{0,195 \cdot 4} \right] \cdot 1,043 \cdot [(1,043)^5 - 1] = 406 \text{ Н/мм}^2.$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 20\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,078 \cdot 8,6}{0,39} = 3,44$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 10,83 \cdot (1,95/1,56)}}{4,44} \right]^{0,29} = 1,087$$

$$p_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 402 \cdot 1,56}{0,39 \cdot 2,44} \right] \cdot 1,087 \cdot [(1,087)^{3,44} - 1] = 476 \text{ Н/мм}^2.$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 30\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,078 \cdot 10,3}{0,58} = 2,77$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 6,67 \cdot (1,95/1,37)^{2,77}}}{3,77} \right]^{0,36} = 1,132$$

$$p_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 452 \cdot 1,37}{0,58 \cdot 1,77} \right] \cdot 1,132 \cdot [(1,132)^{2,77} - 1] = 559 \text{ Н/мм}^2.$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 40\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,078 \cdot 11,58}{0,78} = 2,32$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 4,38 \cdot (1,95/1,17)^{2,32}}}{3,32} \right]^{0,43} = 1,183$$

$$P_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 500 \cdot 1,17}{0,78 \cdot 1,32} \right] \cdot 1,183 \cdot \left[(1,183)^{2,32} - 1 \right] = 641 \text{ Н/мм}^2.$$

Таблиця 3.2 – Експериментальні і розрахункові параметри холодної прокатки штаб Н=1,95 мм, Н=1,55 мм, Н=1,2 мм із низькоуглеродної сталі при різних

$\varepsilon, \%$	$l_c, \text{мм}$	l_c/h_{cp}	f	$f_{ст}$	$\sigma_{\phi}, \text{Н/мм}^2$	$P_{cp.ст} \text{ Н/мм}^2$	$P_{cp.дос.} \text{ Н/мм}^2$	$\Delta, \%$
10	6,3	3,3	0,046	0,078	369	406	440	- 7,7
20	8,6	5,0	0,064	0,078	402	476	500	- 4,8
30	10,3	6,38	0,063	0,078	452	559	590	- 5,3
40	11,58	7,64	0,060	0,078	500	641	620	3,4
Н=1,55 мм								
10	6,0	4,19	0,051	0,078	458	545	520	4,6
20	8,05	5,82	0,061	0,078	556	682	680	0,3
30	9,7	7,6	0,062	0,078	638	836	805	3,7
40	10,9	8,95	0,061	0,078	720	989	902	8,8
Н=1,2 мм								
10	5,4	4,73	0,06	0,078	367	437	480	- 9
20	7,2	6,65	0,062	0,078	438	568	600	- 5,3
30	8,4	8,2	0,062	0,078	458	617	660	- 6,5
40	9,4	9,8	0,062	0,078	488	708	690	- 2,6

контактної напруги при холодній прокатці за методикою О.П. Грудєва

1) Коефіцієнт тертя при холодній прокатці штаби Н=1,95 мм визначаємо по формулі О.П. Грудєва при $\varepsilon = 10\%$ дорівнює (2.1):

$$f = \frac{1,4[1 + (0,4 + 0,01 \cdot 0,1) \cdot 2,8]}{1 + 0,25 \cdot 4,47 - 1} \left[0,07 - \frac{0,009}{2,6 + 0,27} \right] = 0,0984$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 10\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,0984 \cdot 6,3}{0,195} = 6,35$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 39,3 \cdot (1,95/1,76)^{6,35}}}{7,35} \right]^{0,157} = 1,045$$

$$p_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 369 \cdot 1,76}{1,043} \right] \cdot 1,045 \cdot [(1,045)^{6,35} - 1] = 419 \text{ Н/мм}^2.$$

При $\varepsilon = 20\%$ коефіцієнт тертя дорівнює (2.1):

$$f = \frac{1,4[1 + (0,4 + 0,01 \cdot 0,2) \cdot 2,8]}{1 + 0,25 \cdot 4,47 - 1} \left[0,07 - \frac{0,009}{2,6 + 0,27} \right] = 0,0986$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 20\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,0986 \cdot 8,6}{0,39} = 4,35$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 17,92 \cdot (1,95/1,56)^{4,35}}}{5,35} \right]^{0,229} = 1,094$$

$$p_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 402 \cdot 1,56}{1,3} \right] \cdot 1,094 \cdot [(1,094)^{4,35} - 1] = 505 \text{ Н/мм}^2.$$

При $\varepsilon = 30\%$ коефіцієнт тертя дорівнює (2.1):

$$f = \frac{1,4[1 + (0,4 + 0,01 \cdot 0,3) \cdot 2,8]}{1 + 0,25 \cdot 4,47 - 1} \left[0,07 - \frac{0,009}{2,6 + 0,27} \right] = 0,0987$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 30\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,0987 \cdot 10,3}{0,58} = 3,5$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 11,25 \cdot (1,95/1,37)^{3,5}}}{4,5} \right]^{0,285} = 1,147$$

$$p_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 452 \cdot 1,37}{1,45} \right] \cdot 1,147 \cdot \left[(1,147)^{3,5} - 1 \right] = 604 \text{ Н/мм}^2.$$

При $\varepsilon = 40\%$ коефіцієнт тертя дорівнює (2.1):

$$f = \frac{1,4[1 + (0,4 + 0,01 \cdot 0,4) \cdot 2,8]}{1 + 0,25 \cdot 4,47 - 1} \left[0,07 - \frac{0,009}{2,6 + 0,27} \right] = 0,0988$$

Середня нормальна контактна напруга p_{cp} (2.2) при $\varepsilon = 40\%$ дорівнює:

$$\delta = \frac{2 \cdot 0,0988 \cdot 11,58}{0,78} = 2,93$$

$$\frac{h_H}{h} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 7,58 \cdot (1,95/1,17)^{2,93}}}{3,93} \right]^{0,341} = 1,211$$

$$p_{cp} = \left[\frac{2 \cdot 500 \cdot 1,17}{1,51} \right] \cdot 1,211 \cdot \left[(1,211)^{2,93} - 1 \right] = 705 \text{ Н/мм}^2.$$

Таблиця 3.3 – Експериментальні і розрахункові параметри холодної прокатки штаб Н=1,95 мм, Н=1,55 мм, Н=1,2 мм із низькоуглеродної сталі при різних обтисненнях

ε , %	l_c , мм	l_c/h_{cp}	f	$f_{гр}$	σ_{ϕ} , Н/мм ²	$P_{cp.гр}$ Н/мм ²	$P_{cp.дос.}$ Н/мм ²	Δ , %
10	6,3	3,3	0,046	0,0984	369	419	440	- 4,8
20	8,6	5,0	0,064	0,0986	402	505	500	1
30	10,3	6,38	0,063	0,0987	452	604	590	2,3
40	11,58	7,64	0,060	0,0988	500	705	620	12
Н=1,55 мм								
10	6,0	4,19	0,051	0,0984	458	572	520	9,1
20	8,05	5,82	0,061	0,0986	556	741	680	8,2
30	9,7	7,6	0,062	0,0987	638	912	805	11,7
40	10,9	8,95	0,061	0,0988	720	1110	902	18,7
Н=1,2 мм								
10	5,4	4,73	0,06	0,0984	367	453	480	- 5,6
20	7,2	6,65	0,062	0,0986	438	617	600	2,8
30	8,4	8,2	0,062	0,0987	458	698	660	5,4
40	9,4	9,8	0,062	0,0988	488	804	690	14,2

3.2. Математичне планування експерименту

З метою вивчення впливу факторів (кінематична в'язкість мастила, твердість валків, окружна швидкість валків) на коефіцієнт тертя використовуємо повний факторний експеримент по методу Бокса-Уілсона.

Параметр оптимізації (Y) – коефіцієнт тертя (f).

Досліджувані фактори, характер їхніх змін і схеми кодування приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	Кінематична в'язкість, мм ² /с	Твердість валків	Окружна швидкість валків, м/с
Код	X ₁	X ₂	X ₃
Основний рівень	20	70	5
Інтервал варіювання	10	20	2,5
Нижній рівень (кодироване значення -1, -)	10	50	2,5
Верхній рівень (кодироване значення +1, +)	30	90	7,5

Таблиця 3.5 – Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер досліді	Значення факторів в кодированом вигляді			
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	-	+
4	+	-	-	+
5	+	+	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	-	-
8	+	-	-	-

Фактор, позначений "X₀" - так називаємо фіктивну перемінну - уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі - коефіцієнт "b₀".

Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб у кожному стовпці утримувалося рівне число мінусів і плюсів. Умова виконується.

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досліді варто дублювати. Частіше дублюють не всі досліді, а тільки досліді на

основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії дослідів S_y проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1}$$

где n – кількість дублів на основном уровні;

i – номер дублю;

Y_{oi} – значення параметра оптимізації в i -ом дублі;

Y_o – середне арифметичне результатів усіх дублів;

f_1 – число степеней свободи ($f_1 = n - 1$).

Для визначення дисперсії дослідів були організовано дослідів 9-11 на основному рівні. При цьому отримані наступні значення параметра оптимізації:

опыт 9 – 0,39; опыт 10 – 0,42; опыт 11 – 0,4.

Визначаємо S_y^2 . Составляем расчетну таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Расчетна таблиця дисперсії дослідів

Дослід	y_e	$ y_{oe} - y_o $	Δy_e^2	$\Sigma \Delta y$
9	0,39	0,01	0,0001	0,0005
10	0,42	0,02	0,0004	
11	0,4	0	0	
	$y_o = 0,4$			

Тоді

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} = \frac{0,0005}{3-1} = 0,00025 ;$$

Побудова математичної моделі. Після реалізації всіх дослідів матриці планування по їхніх результатах будують математичну модель досліджуваного процесу. Для цього при використанні ДФЕ розраховуємо коефіцієнти регресії рівняння по формулі:

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \quad (3.1)$$

где b_j – значення j -го коефіцієнту регресії;

X_{jn} – значення j -го фактору в n -ом досліді в кодированному вигляді;

Y_n – значення параметру оптимізації в n -ом досліді;

N – число дослідів в матриці планування.

В результаті получаять модель, котра має слідуочий вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_jX_j$$

В реалізуемій матриці планування получені слідуочі результати (табл. 3.7).

Таблица 3.7 – Результати дослідів

№№	Дослід							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Результат	0,184	0,292	0,188	0,298	0,276	0,438	0,282	0,448

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей:

$$b_0 = 1/8 \cdot [0,184 + 0,292 + 0,188 + 0,298 + 0,276 + 0,438 + 0,282 + 0,448] = 0,3;$$

$$b_1 = 1/8 \cdot [0,184 - 0,292 + 0,188 - 0,298 + 0,276 - 0,438 + 0,282 - 0,448] = -0,068;$$

$$b_2 = 1/8 \cdot [0,184 + 0,292 - 0,188 - 0,298 + 0,276 + 0,438 - 0,282 - 0,448] = -0,0033;$$

$$b_3 = 1/8 \cdot [0,184 + 0,292 + 0,188 + 0,298 - 0,276 - 0,438 - 0,282 - 0,448] = -0,06;$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$y = 0,3 - 0,068 \cdot X_1 - 0,003 \cdot X_2 - 0,06 \cdot X_3$$

Лінійна модель має вигляд: $y = 53,5 + 8,5 \cdot X_1 - 1,0 \cdot X_2 - 17 \cdot X_3$

Статистичний аналіз моделі. Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджуваного об'єкта.

Аналіз складається з двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значимість коефіцієнтів регресії. У статистику прийнято здійснювати перевірку значимості коефіцієнтів регресії за допомогою критерія Ст'юдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{bi} \quad (3.2)$$

де S_{bi} – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (3.3)$$

t_{α, f_1} – значення критерія Ст'юдента, що вибирається в залежності від рівня значимості і числа ступенів волі при визначенні дисперсії досліду f_1 .

На другому етапі остаточно отримане рівняння перевіряємо на адекватність, тобто його придатність для опису об'єкта дослідження.

Розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії. Для цього спочатку визначимо S_{bi} .

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{0,00025}{8}} = \pm 0,0056$$

Вибираємо для $\alpha = 0,05$ и $f_1 = 2$ значення критерію Ст'юдента, рівне 4,3.

Визначаємо довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 0,0056 = \pm 0,024;$$

У такий спосіб у всіх випадках, в отриманих рівняннях коефіцієнт "b2" виявився статично незначимий, і рівняння здобувають остаточно наступний вид:

$$y = 0,3 - 0,068 \cdot X_1 - 0,06 \cdot X_3;$$

Тепер перевіряємо адекватність отриманих моделей у цілому. Для цього підставляємо в отримане рівняння послідовно для всіх дослідів значення "X_i" у кодованому виді, що беремо з таблиці 3.5. Для визначення дисперсності неадекватності складаємо розрахункову таблицю 3.8. Таблиця 3.8. складаємо виходячи з алгоритму перевірки отриманого рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкта дослідження. Послідовність перевірки така:

1. По отриманій моделі визначають по черзі для всіх досвідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації. Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;
2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неод}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{расч})^2}{f_2} \quad (3.4)$$

де $f_2 = N - K'$, K' – число коефіцієнтів моделі, включи b_0 .

3. Визначають розрахункове значення критерію Фишера порівнюють з табличним, котре вибирають з таблиці у залежності від рівня значимості α і числа ступенів волі f_1, f_2 .

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неод}^2}{S_y^2} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.8 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δy	Δy^2
	експер.	розрах.		
1	0,184	0,172	0,012	0,000144
2	0,292	0,308	0,016	0,000256
3	0,188	0,172	0,016	0,000256
4	0,298	0,308	0,01	0,0001
5	0,276	0,292	0,016	0,000256
6	0,438	0,428	0,01	0,0001
7	0,282	0,292	0,01	0,0001
8	0,448	0,428	0,02	0,0004

$$\Sigma = 0,0016$$

$$S_{неад}^2 = \frac{0,0016}{5} = 0,00032; F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{2,25}{8} = 0,281;$$

Для $\alpha = 0,05$; $f_1 = 2$ і $f_2 = 1$ знаходимо табличне значення критерію Фишера, рівне 2,3. Таким чином, умова адекватності моделі виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень коефіцієнта тертя. При цьому варто пам'ятати, що отримана модель описує процес впливання факторів на коефіцієнт тертя тільки у вивчених межах варіювання факторів.

Інтерпретація результатів. Отримана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої крапки вивченого факторного простору.

Крім того, отриману залежність можна представити графічно у виді впливу окремих факторів на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність $y = f(x_i)$ за умови, що всі інші фактори фіксують на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення фактора X_2 і X_3 у кодованому виді (зі знаком "-"). Потім у перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення фактора X_1 на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто -1; 0; +1 і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність коефіцієнта тертя від кінематичної в'язкості (фактор X_1) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$y = 0,3 - 0,068 \cdot X_1;$$

Визначимо y для випадків, коли $X_1 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення y , рівні:

$$y_1=0,232; y_2=0,3; y_3=0,368.$$

Аналогічно представимо графічну залежність коефіцієнта тертя від окружної швидкості валків (фактор X_3) для випадку, коли інші $X_j = 0$. Тоді рівняння прийме вид:

$$y = 0,3 - 0,06 \cdot X_3;$$

Визначимо v для випадків, коли $X_1 = -1; 0; +1$. Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення v , рівні:

$$y_1=0,24; y_2=0,3; y_3=0,36.$$

Будуємо графічні залежності коефіцієнта тертя від кінематичної в'язкості мастила та окружної швидкості валків на одних графіках (див. рис. 1-2).

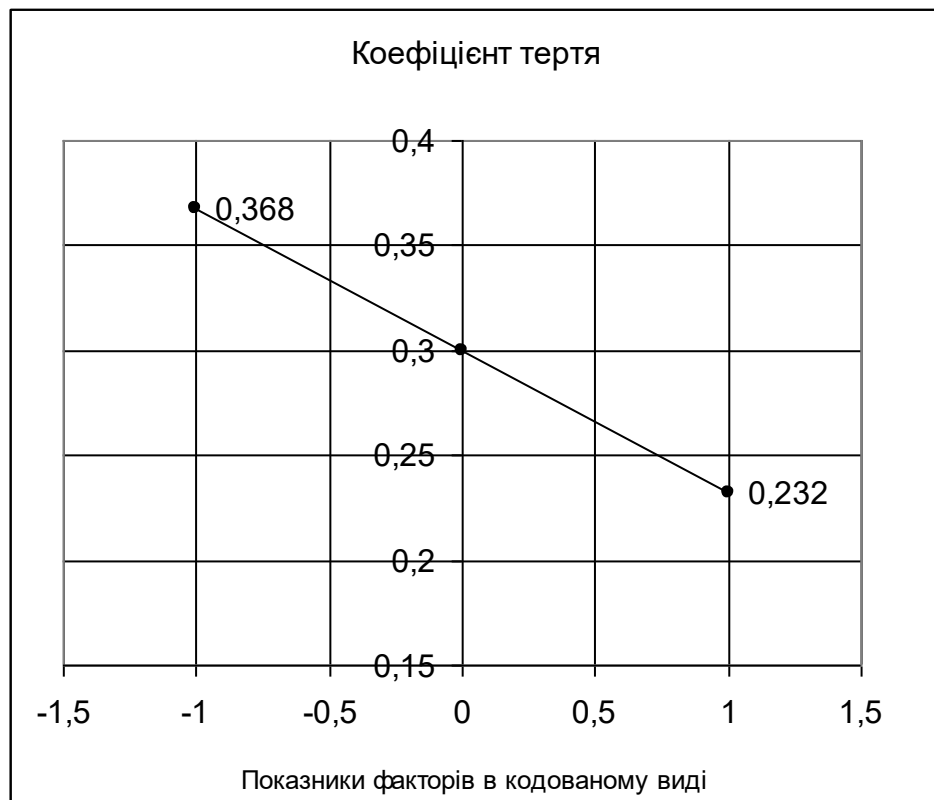


Рисунок 3.1 – Графічна залежність коефіцієнта тертя від кінематичної в'язкості мастила

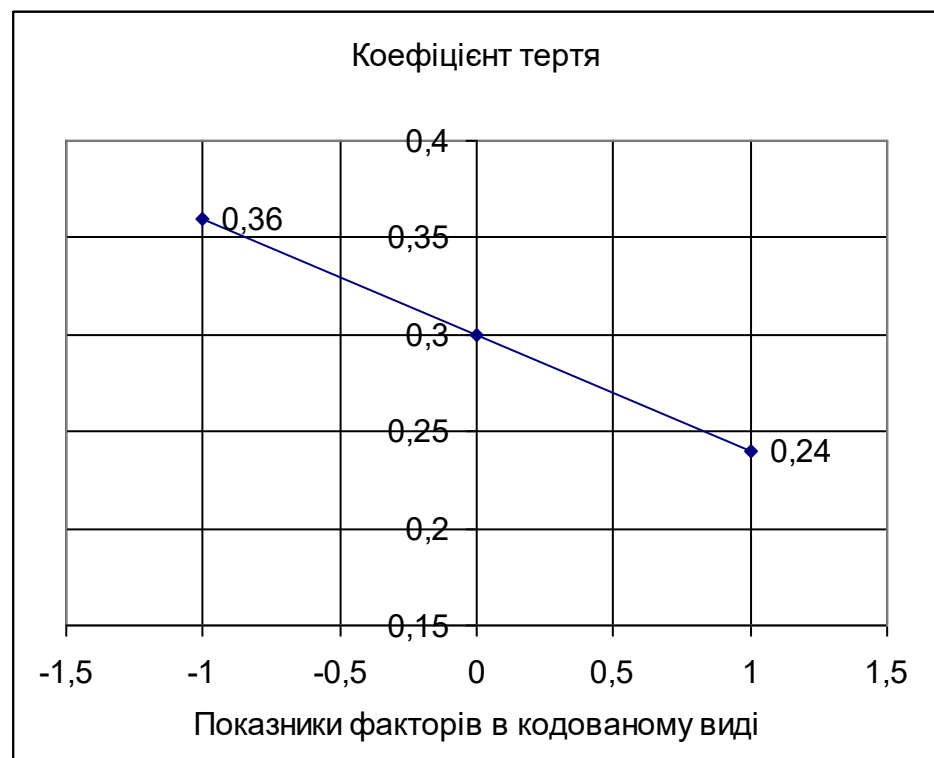


Рисунок 3.2 – Графічна залежність коефіцієнта тертя від окружної швидкості валків

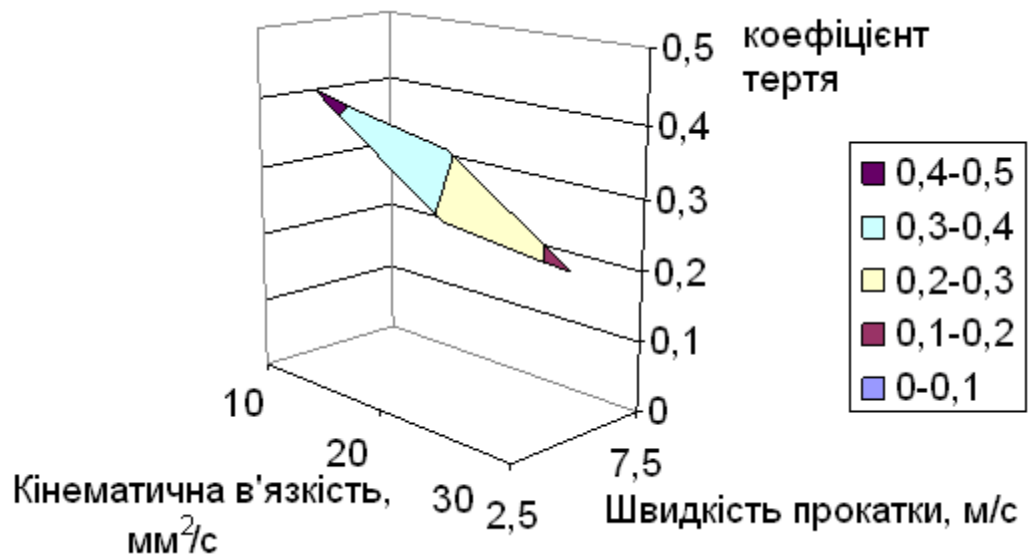


Рисунок 3.3 – Оптимальні поверхні відгуку коефіцієнта тертя

3.3. Практична цінність отриманих результатів

Коефіцієнт тертя істотно впливає на енергосилові параметри процесу плющення, тобто на середню нормальну контактну нормальну напругу $R_{ср}$, зусилля плющення P , потужність двигуна N , і на якість кінцевого прокату. Точність визначення енергосилових параметрів залежить від правильного визначення середньої нормальної контактної нормальної напруги $R_{ср}$, який залежить від великого числа параметрів:

- 1) коефіцієнт тертя f ,
- 2) опори металу деформації σ_{ϕ} ,
- 3) від параметра $lc/h_{ср}$.

Середня нормальна контактна нормальна напруга $r_{ср}$ більшою мірою залежить від величини опору металу деформації σ_{ϕ} , проте коефіцієнт тертя f теж робить великий вплив на $R_{ср}$. Від стабільності умов зовнішнього тертя залежить точність прокату, оскільки зміна коефіцієнта тертя звичайно в тій чи іншій мірі відбивається на розмірах прокатуваного профілю. При сортовому плющенні не можна не враховувати залежність величини розширення від коефіцієнта тертя. Підвищення коефіцієнта тертя, викликане наприклад, затримкою металу

між проходами і надмірним падінням його температури, може стати причиною переповнювання калібру і отримання браку. При тонколистовому плющенні зміна коефіцієнта тертя помітно впливає на величину обтискання і кінцеву товщину смуги. Тому практичне і прикладне значення полягає в представленні найбільш достовірної методики розрахунку коефіцієнта тертя, при якій отримані результати мали б найменші розбіжності з досвідченими даними.

У розрахунковій частині був виконаний аналіз точності розрахункових моделей за визначенням коефіцієнта тертя f . При аналізі отриманих розрахункових результатів було з'ясовано, що найбільш ефективною методикою є методика В.О. Ніколаєва.

При пониженні коефіцієнта тертя f на 20% витрати на валки знижуються на 5%. Витрати на електроенергію на 3%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1. Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

ЦХП - 1 відноситься до Пб категорії за ГОСТ 12.1.005-88, тому що витрат енергії робітника становить приблизно 178 ккал/г.

Слід зазначити, що умови роботи вальцювальників на безперервному стані холодної прокатки «1680» ускладнюються тим, що їхня робоча зона розташована в безпосередній близькості до стана і незахищена закритою кабіною. Через застосування постійно, що розширюється асортиментів, мастил, необхідні для забезпечення високошвидкісного процесу, у повітрі робочої зони можливе надходження низьке- і високомолекулярних жирних кислот, окису вуглецю, хлору, аерозолі масла. Це вимагає устаткування безперервного стана холодної прокатки «1680» місцевою витяжкою, вентиляцією. Технічні засоби безпеки на стані холодної прокатки повинні забезпечувати захист працюючих від підвищеного рівня шуму (екрани, пульти керування, шумозахисні кабіни), а також виключати можливість:

- ведення процесу при несправності кінцевих вимикачів, пристроїв заземлення, огорожень робітників;
- вимикання стана при перебуванні працюючих у небезпечній зоні біля стана.

У запобігання травмування повинні бути виключені всі роботи з ручним завданням або іншими операціями на стані. Спостерігаються випадки травмування частинами валків, які відлітають, і ін. частками. Через неякісний метал і порушення технології підготовки валків можливо їхнє руйнування, що може стати причиною травмування працюючих.

На безперервному стані холодної прокатки «1680» такі шкідливі фактори, як теплове випромінювання і вібрація відсутні.

На безперервному стані холодної прокатки «1680» застосуємо безперервний процес прокатки, тобто метал перебуває відразу у всіх клітках, які зменшують час процесу прокатки й кількість допоміжних операцій, це зменшує можливі випадки травматизму.

Вальцювальники і їх підручні повинні дотримувати ряду правил техніки безпеки. []

Насамперед, це стосується робіт, пов'язаних з перебуванням працюючих біля робочої клітки стана: перевалки, зачищення, чищення емульсійного колектора. Варто змити в клітці залишки масла або емульсії, покласти вниз дошку й після цього приступитися до роботи. Перед пуском стана вальцювальник повинен переконатися у відсутності людей у небезпечній зоні біля стана, справності кнопки аварійної зупинки. Біля стана не повинне бути обривів, деталей стана. Проходи повинні бути вільні, підлога сухих і чистий, перекриттів гофрованими металевими плитами. Необхідно перевірити справність захисних корпусів, які заземлюють електродвигуни й апаратури, а також огороження, прийомного стола, стелажів, кріплень що рухаються й обертаються.

Пари змазуючо-охолодної рідини, можуть викликати роздратування слизоватої оболонки верхніх дихальних шляхів.

Травмонебезпечні операції по стропуванню і перевезенню валків на візку; остання повинна завантажуватися не вище ботів. При стропуванні і знятті валків працюючі повинні стояти збоку візка.

На ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680», внаслідок роботи устаткування, виникає підвищений шум 90...92 дБ при нормі 85 дБ ГОСТ 12.1.003-83.[]

Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого і трудового процесу.

Робоче місце – вальцювальник

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ <u>I клас небезпеки</u>						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,06			6,0	90
	Оксид марганцю	0,05	0,39			7,8	90
	<u>II клас небезпеки</u>						90
	Акролеїн	0,2	0,66		3,3		
	<u>III клас небезпеки</u>						90
	Ангідрид сірчистий	10	16,83	1,63			90
	Вуглецю оксид	20	25	1,25			90
Масла мінеральні	5	6,78	1,36				
2	Пил переважно фиброгенної дії мг/м ³	4,0	4,8	1,2			95
3	Вібрація (загальна й локальна) дБ.						
4	Шум, дБА	85	92			7	90
5	Інфразвук дБ						
6	Ультразвук дБ						
7	Іонізуюче випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м; - діапазон промислової частоти, кв/м; - оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²						
8	Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря ⁰ С;	27	32,1		5,1		100
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,3-0,6	0,6				
	- відносна вологість повітря, %;	55	35				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²						
9	Температура навколишнього повітря(під час роботи на відкритому повітрі), ⁰ С: - улітку - узимку						
10	Атмосферний тиск						
11	Вага й напруженість праці.						

4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії

Об'ємно-планувальні рішення будинків і споруджень цеху

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов забезпечення прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання й відводу стічних і поверхневих вод. Рівень стічних і поверхневих вод на площадці повинен бути нижче рівня підлоги підземних споруджень цеху. Щодо житлового селища завод розташовують із подветреній сторони до вітрів переважного напрямку. Аналогічно розташовують будинку цехів зі шкідливими стосовно інших будинків.

Між житловою зоною і заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру і кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваного шуму, вібрації й інших шкідливих факторів. Передбачають міри, що зменшують їхній несприятливий вплив на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі, робочого зони приміщень.

Для металургійного заводу ширина санітарно-захисної зони визначається обсягом випуску стали. Якщо останній становить більше 1 млн. тонн у рік, ширину зони приймають 1000 м. У такий спосіб ширина захисної зони навколо комбінату «Запоріжсталь» становить 1000 м. Відповідно до санітарної класифікації його відносять до першого типу виробництв. Обсяг виробничих приміщень на одного робітника повинен становити не менш 15 м^3 , площа приміщень – не менш $4,5 \text{ м}^2$, фактичний обсяг – $16,3 \text{ м}^3$, а площа – $4,6 \text{ м}^2$ на одного працюючого.

Освітлення

У будинку прокатного цеху передбачене природне і штучне освітлення. Природне освітлення забезпечується через світлові прорізи в бічних стінах.

У виробничих приміщеннях прокатного цеху для загального штучного освітлення застосовують як правило, газорозрядні лампи (ртутні високого тиски з виправленою кольоровістю, люмінесцентні). Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості освітлення. У прокатному цеху для загального освітлення застосовують лампи накалювання, світильники «Альфа». У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального освітлення становлять 150 лк і менш, норму освітленості збільшують на один розряд. У випадку виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного освітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом, пунктами керування системами водопостачання, вентиляції й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь потребує обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого освітлення, але не менш 2 лк. Аварійне освітлення для евакуації персоналу проходів і сходів сходів не менш 0,5лк.

У зв'язку з тим, що над прокатним відділенням джерела природного освітлення часто запилюються й піддаються рідкому очищенню, у наслідок чого на робочу площадку надходить мала кількість світла, пропонується додаткове штучне освітлення, що у вечірні час і в темний час доби використовується як основне освітлення. []

У таблиці 4.2 вказано прийняті значення освітленості.

Санітарно-побутові приміщення

Згідно СНіП 11-92-76 за санітарно-гігієнічною характеристикою виробничий процес належить до групи 2Б. для даної групи побутові приміщення містять у себе гардеробні для збереження одягу, тому працююча відведена подвійна шафа.

Таблиця 4.2 – Прийняті значення освітленості

Найменування ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк і коефіцієнт запасу			Аварійне освітлення	
		Система комбин. освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Для робіт	Для евакуації
Ковпакові печі	IV	400	200	1,3	10	4
Прокатний стан	III	750	300	1,5	15	5

Є душові приміщення, кожна душова кабінка розрахована на трьох чоловік. Так, наприклад, якщо у відділенні працюють 250 робітників, те, розділивши на 3, одержимо 84 душові кабінки в душовому приміщенні, що відповідає дійсній кількості. []

Роздача питної води здійснюється за допомогою фонтанів і сатураторів для одержання питної підсоленої газованої води. Органи санітарного нагляду міністерства охорони здоров'я здійснює систематичний контроль за якістю води.

Туалет числом 9 (з розрахунку 1 на 30 чоловік) розташовані біля робочих місць на відстані не перевищуючому 75 м.

Живлення робітників здійснюється у виробничих їдальнях, з обліком, що одне місце розраховане на обслуговування чотирьох чоловіків у зміну.

Стирають робочий одяг у пральні ПАТ «Запоріжсталь». Організовано цілодобову роботу фельдшерського медпункту.

Виробничий шум

Надмірний шум шкідливо впливає на здоров'я працюючих, сприяє виникненню травматизму і знижує продуктивність. Для оцінки гучності звуків служить міжнародна шкала гучності, градуйована в децибелах, у якому за нульову крапку прийнятий поріг чутності, а за вищу - гучність зухвала в органах слуху відчуття болю. Для зменшення шуму на ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680» виробляються реконструктивні зміни деталей,

механізму подачі й т.д. це дозволяє зменшити шум на 10...12 дБ. Якщо ж у випадку проведених заходів фактичний рівень шуму перевищує нормативний, тоді необхідно користуватися засобами індивідуального захисту: беруши, навушники.

Засоби індивідуального захисту

Захист тіла людини від впливу шкідливих факторів забезпечується застосуванням спецодягу, взуття, головного убору і рукавиць. Забороняється працювати в брудному і рваному спецодязі.

Таблиця 4.4 – Розрахунок норми необхідної кількості засобів індивідуального захисту працюючих на ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680»

Професія	Індивідуальні засоби захисту	Кількість людей за професією	Строки носіння в місяцях	Кількість одягу
Майстер	Костюм х/б	1	12	1
	Черевики шкіряні		12	1
	Рукавиці брезентові		1	12
Вальцювальник	Костюм х/б	14	12	14
	Черевики шкіряні		12	14
	Рукавиці брезентові		1	168

4.3 Електробезпека

Особи, яким безпосередньо доручене обслуговування діючих електроустановок, повинні бути здорові й не мати хвороб, а також каліцтв, що перешкоджають виконанню виробничих операцій. Зазначений персонал зобов'язаний пройти медичний огляд:

- при прийманні на роботу;
- повторний огляд не рідше одного разу у два роки.

Особи, призначені для обслуговування електроустановок, зобов'язані пройти виробниче навчання і стажування на робочому місці не менш 12 днів, мати кваліфікаційну групу і права роботи в електричних установках.

Виконувати роботи в електричних установках повинен тільки електрик.

Аналіз нещасних випадків у промисловості свідчить про те, що кількість травм, викликаних дією електрики, порівняно невелике і становить 0,5 - 1% від загальної кількості нещасних випадків. Однак слід зазначити, що із загальної кількості нещасних випадків зі смертельним результатом на виробництві 20 - 40% трапляється внаслідок поразки електричним струмом, що більше, ніж внаслідок дії інших причин, причому близько 80% смертельних поразок електричним струмом відбувається в електроустановках напругою до 1000 В.

Живлення електропривода безперервного стана холодної прокатки «1680» здійснюється в такий спосіб: на високовольтні понижувальні трансформатори приходить напруга 10000 вольтів, трансформатор у свою чергу трансформує цю електроенергію у величину змінної трифазної напруги 380 вольтів, що підводить до тиристорних перетворювачів, а вже з них підводить до електродвигуна привода стана й допоміжному устаткуванню.

Для захисту технологічного персоналу від поразки електричним струмом пропоную, заземлення діючого електроустаткування, у тому числі і пости керування, і їхньої кабіни.

Для обслуговуючого персоналу з метою захисту, пропоную використати засоби колективного та індивідуального захисту:

- індикатори напруги;
- дерев'яні тумби, підставки;
- огороження;
- діелектричні рукавички.

4.4. Заходи щодо техніки безпеки

У виробничому процесі на ділянці безперервного стана холодної прокатки «1680» для безпеки обслуговуючого персоналу необхідно почати наступні заходи:

- виключити влучення людини в небезпечні зони за рахунок пристрою огорожень, кожухів, захисних блокувань окремих вузлів устаткування. Зменшити небезпека поразки працюючим електричним струмом досягти суворого виконання «Правил пристрою електричних установок» (ПУЕ-76), «Правила технічної експлуатації електроустановок-споживачів» (ПТЕ) і «Правила техніки безпеки» (ПТБ);
- для місцевого штучного освітлення використати знижену напругу змінного струму до 36 В;
- недоступним розташуванням відкритих струмопровідних частин;
- ізоляцією струмопровідних частин, розташованих у робочій зоні, тобто на висоті до двох метрів від рівня підлоги;
- опір ізоляції струмопровідних частин контролюють працівники енергослужби не рідше 2-х раз у рік. []

Важливе значення в охороні праці і життєдіяльності людини є попередження захворювань від пилу. На ділянці повинен проводитися систематичний контроль над станом запиленості повітря.

Зменшити небезпека при роботах з підйомно-транспортними механізмами передбаченого за рахунок строгого виконання вимог «Правил пристрою і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів» основні з них наступні:

- проведення регламентованих технічних оглядів устаткування;
- оснащення підйомно-транспортних механізмів приладами безпеки.

4.5. Пожежна та техногенна безпеки

Відповідно до СНіП 11-2-80 виробництво холоднокатаного листа ставиться до категорії Д, як виробництво пов'язане з обробкою неспалених речовин і матеріалів у холодному або тепловому стані. []

По класифікації пожежних зон прокатний цех і лінія по виробництву холоднокатаного аркуша ставляться до зони класу П-Па, тобто приміщення, у яких міститься тверді речовини, не здатні переходити у зважений стан. Будинок ЦХП-1 ВАТ «Запоріжсталь» ставиться до IV ступеня вогнестійкості.

Джерелами виникнення пожежі можуть бути:

- газоздушні вибухонебезпечні суміші (кисень, природний газ);
- масло при влученні на нього відкритого вогню;
- електроустаткування - при короткому замиканні, статична електрика;
- грозові розряди;
- самозаймання промаслених відходів.

До числа мер по попередженню пожеж і обмеженню поширення вогню відносять:

- прийняті відповідно до норм величини площі між протипожежними перешкодами;
- правильний вибір ступеня вогнестійкості будинків і межі вогнестійкості окремих його елементів;
- дотримання протипожежних розривів між будинками.

Для успішної евакуації людей передбачені шляхи евакуації і евакуаційні виходи припустимої довжини і ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідне число сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів.

Швидка локалізація і гасіння пожежі досягається пристроєм відповідних засобів зв'язку з пожежною сигналізацією, наявністю надійних джерел протипожежного впливу, під'їздів і дорого до будинків. По вогнестійкості

прокатний цех відносять до I і II ступенів. Необхідний ступінь вогнестійкості будинків прокатного цеху зазначений у таблиці 4.5.

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для одержання, зберігання й подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні й штучні водойми).

На випадок виникнення пожежі використовують первинні засоби пожежогасіння відповідно нормам (таблиця 4.6).

Для гасіння пожеж використовується також вода технічна, пожежні гідранти, пісок, повстіна.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій цеху, година

Ступінь вогнестійкості	Несучі стіни, сходові клітки, колони	Сходові площадки, сходи, балки	Зовнішні стіни з навісних панелей	Внутрішні несучі стіни	Плити й інші несучі конструкції й перекриття	Плити, настили й ін. несучі конструкції
I	2,5(НД)	1(НД)	0,5(НД)	0,5(НД)	1(НД)	0,5(НД)

Примітка: НД - не допускається.

Таблиця 4.6 – Розрахунок первинних засобів пожежогасіння для ділянки безперервного стана холодної прокатки «1680»

Найменування приміщень, споруджень, установок	Од., виміру	Пінні вогнегасники й ОХП-10	Вуглекислотні вогнегасники			Ящики з піском ємністю 0,5м ³
			ОУ-2	ОУ-5	УП-1	
Ділянка стана 1680	10210м ²	11	3	6	1	2
Пости керування	1 шт	3	4	2	2	–
Електромостовий кран	2 шт	–	1	2	–	–
Вентиляційні установки	3 шт	2	2	3	2	1

4.6. Розрахунок штучного освітлення ділянки неперервного стана холодної прокатки 1680

Вихідні дані:

- довжина прольоту, $A=180$ м;
- ширина прольоту, $B=24$ м;
- кратність кроку колони в прольоті, 6 м;
- висота приміщень до нижньої крайки будівельних ферм, $l_p=10$ м;
- висота розрахункової поверхні, $l_r=0,8$ м.

Розрахунок:

З огляду на, що приміщення високе з нормованими умовами повітря робочої зони й робота не вимагає високої якості передачі кольору, вибираємо як джерело світла лампи ДРЛ-1000. вибираємо світильник для лампи ДРЛ типу С3. передбачаємо розташування світильників на одній висоті з нижньою крайкою кроквяних ферм покрівлі прольоту.

$$L = l_p - l_r = 10 - 0,8 = 9,2 \text{ м}$$

Визначаємо висоту підвісу світильників:

$$\lambda = L \cdot n,$$

$$\text{де } n=0,9 \dots 1 \dots 1,0$$

$$\lambda = 9,2 \cdot 0,9 = 8,28 \text{ м}$$

Розрахункове рекомендоване значення відстані між світильниками становить 8,28 м. Виходячи із кратності кроку колони в прольоті передбачається відстань між світильниками 6 м.

Визначаємо кількість світильників по довжині прольоту:

$$N_1 = \frac{A}{L}, \quad (4.1)$$

По ширині прольоту:

$$N_2 = \frac{B}{L}, \quad (4.2)$$

Кількість світильників по довжині й ширині прольоту визначаємо з формул (4.1) – (4.2):

$$N_1 = \frac{180}{9,2} = 19 \text{ед};$$

$$N_2 = \frac{24}{9,2} = 3 \text{ед}.$$

Визначаємо величину мінімальної освітленості, виходячи з умов зорової роботи в прольоті. У цьому випадку робота середньої точності, що відповідає 4 розряду зорової роботи з мінімальною величиною освітленості при загальному висвітленні $E = 150$ лк.

Коефіцієнт запасу при штучному висвітленні $K_3 = 1,5$.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп ДРЛ $z = 1,15$.

Індекс приміщення:

$$i = \frac{A+B}{(A+B) \cdot l}, \quad (4.3)$$

$$i = \frac{180 \cdot 24}{(180 + 24) \cdot 9,2} = 2,3$$

З огляду на коефіцієнти відбиття поверхонь стелі й стін $P_{\text{ст}} = 50\%$, $P_{\text{і}} = 30\%$, $P_{\text{у}} = 10\%$ визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку рівний $\eta = 72\%$.

На підставі отриманих даних розраховуємо необхідний потік кожної лампи:

$$\Phi = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (4.4)$$

де E – нормована освітленість, лм; K_3 – коефіцієнт запасу; S – площа запасу; z – коефіцієнт нерівномірності освітлення (приймається рівним 1,1-1,2); N – кількість світильників; η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Потік кожної лампи визначимо з вираження (4.4):

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 24 \cdot 1,15}{120 \cdot 0,72} = 12937 \text{ лм}$$

Даному споживаному світловому потоку відповідає лампа ДРЛ-250 потужністю 250 Вт і світловим потоком 13000 лм.

Відхилення світлового потоку лампи від споживаного становить:

$$\frac{13000 - 12937}{12937} \cdot 100\% = 0,4\%$$

Установлена потужність освітлювальної установки:

$$P = 250 \cdot 120 = 30 \text{ кВт}$$

5 ПОТЕНЦІЙНА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Показником доцільності впровадження результатів будь-якого дослідження є економічний ефект.

Потенційний економічний ефект розраховується після завершення НДР показує максимальну економію ресурсів, що може бути отримана в народному господарстві від упровадження результатів НДР за період до морального старіння.

Річний економічний ефект від застосування нових технологічних процесів, засобів механізації й автоматизації виробництва, способів організації виробництва і праці, що забезпечують економію виробничих ресурсів при випуску однієї і тієї ж продукції, визначається по формулі:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot M \quad (5.1)$$

де C_1 , C_2 - приведені витрати на одиницю продукції (роботи), виробленої за допомогою базової або нової техніки; M - річний обсяг продукції (роботи) у розрахунковому році за допомогою нової техніки в натуральних одиницях.

Розрахунок виробничої собівартості продукції при старому варіанті технологічного процесу/

Для розрахунку будемо використовувати звітні дані витрат ПАТ «Запоріжсталь» по переділі по цеху ЦХП-1 за 2020 рік.

Виробнича собівартість на тонну продукції при старому варіанті технологічного процесу:

$$C = C_1 / M = 2372088070,79 / 3389920,25 = 7699,75 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 – Звітні витрати по переділі.

Найменування статей калькуляції	Кількість, тон	Ціна, грн	Сума, грн
Усього заданно (напівфабрикати власного виробництва, давальницький метал, інша	3490368,39	640,14	2234315255,49
Відходи	93276,69	94,78	8840925,41
Брак	2162,74	133,03	287708,76
Електроенергія, тис. квт година	2089881,06	119,33	24938306,99
Газ природний	50233,44	215,91	10845752,35
Інші енергетичні витрати			26066282,91
Зарплата основна			4684996,21
Відрахування на соцстрах			1688634,52
Допоміжні матеріали			2880013,32
Змінне устаткування			19111253,08
Валки			13511154,05
Капітальний ремонт			17767415,91
Поточний ремонт			16780699,77
Зміст основних засобів			16271138,90
Робота транспортних цехів			596097,95
Перевезення			458968,16
Амортизація основних засобів			10631152,39
Інші цехові витрати			14910234,28
Послуги ЦХП - 1 по доробці			244416,78
Витрати по термообробці			465471,27
НЕП			21907777,77
Разом витрат			2372088070,79

Розрахунок виробничої собівартості продукції при новому варіанті технологічного процесу.

При використанні нового технологічного процесу зміняться наступні статті калькуляції: валки, електроенергія. При зменшенні коефіцієнта тертя на 20% витрати на електроенергію зменшаться на 3%.

Оскільки стійкість валків залежить від коефіцієнта тертя витрати на валки зменшаються на 5%.

Собівартість тонни продукції при новому режимі:

$$C = C_2/M = (2372088070,79 - 748149,21 - 675557,71)/3389920,25 = 7699,31 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект.

$$E = (C_1 - C_2) \cdot N = (2372088070,79 - 2370664363,87) \cdot 3389920,25 = 4423706,92 \text{ грн.}$$

Розрахунок зниження частки цехових витрат.

Витрати цеху, за винятком витрат на сировину складають:

$$B = 2372088070,79 - 2234315255,49 = 137772815,3$$

Частка зниження витрат з використанням нової технології:

$$\Delta/B_{\text{ц}} = (4423706,92/137772815,3) \cdot 100\% = 3,41 \%$$

У результаті впровадження результатів НДР отриманий економічний ефект у розмірі 4,41 млн. грн., що дозволило знизити цехові витрати на 3,2%.

Слід зазначити, що в результаті розрахунку, у якому напруга плинину знизилася на 10%, цехові витрати знизилися на 3,2%. Звідси можна припустити, що на 1% напруження плинину приходить 0,341% цехових витрат.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянута сутність контактної взаємодії металу і технологічного інструмента. Розглянуто фізичні методи експериментального визначення середнього коефіцієнта тертя (метод гальмування смуги у валках, метод моменту, що крутить, метод випередження, метод сили прокатки). Також представлені закономірності зміни коефіцієнта тертя при холодній прокатці. Детально розглянуті основні фактори, що впливають на коефіцієнт тертя при холодній прокатці (геометричні параметри деформації штаб, окружна швидкість валків, шорсткість поверхні валків і смуг, тип технологічного змащення).

У спецчастині представлений розрахунок коефіцієнта тертя й енергосилових параметрів при холодній прокатці. Розрахунок коефіцієнта тертя був зроблений по трьох методиках (Грудєв, Діннік, Ніколаєв). Після розрахунку енергосилових параметрів і порівняння з дослідними даними була запропонована найбільш достовірною методика, що має найменші розбіжності з дослідними даними.

У розрахунковій частині був виконаний аналіз точності розрахункових моделей за визначенням коефіцієнта тертя f . При аналізі отриманих розрахункових результатів було з'ясовано, що найбільш ефективною методикою є методика В.О. Ніколаєва.

При пониженні коефіцієнта тертя f на 20% витрати на валки знижуються на 5%. Витрати на електроенергію на 3%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Серета Б.П. Обробка металів тиском : навч. посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 243 с.
2. Серета Б.П. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов : учеб. пособ. В 2-х книгах. Запорожье : ЗГИА, 2001. 375 с.
3. Серета Б.П. Термическая обработка : учебное пособие для студентов ЗГИА. Запорожье : ЗГИА, 2003. 270 с.
4. Серета Б.П. Металловедение и термическая обработка черных и цветных металлов. Учебн. пос. – Запорожье: Изд-во ЗГИА, 2002. 264 с.
5. Теорія процесів прокатного і трубного виробництва. Методичні вказівки до виконання кутсової роботи для студентів ЗДІА спеціальності “ОМТ” денної та заочної форм навчання / Укл.: Б.П. Серета, І.В. Кругляк. Запоріжжя, 2004. 82 с.
6. Теорія процесів прокатного і трубного виробництва. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 “ОМТ” денної та заочної форм навчання / Укл.: Б.П. Серета, М.Г. Прищип. Запоріжжя, 2004. 42 с.
7. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Термічна обробка металів і сплавів” для студентів спеціальності 6.090404 “Обробка металів тиском” / Укл.: Б.П.Серета, І.В. Палехова, І.В. Кругляк. Запоріжжя : ЗДІА, 2001.28 с.
8. Грудев А.П. Теория прокатки. Москва : Металлургия, 1988. 240 с.
9. Куликов В.В., Мурсенкови Е.С. др. Совершенство производствасортового проката. Сталь. №3. 2005. С. 22 - 25.
10. Данченко В.Н. Теоритические проблемы прокатного производства. Сталь. №8. 2000. С. 85-90.
11. Динник А.А. Обработка металлов давлением. Сб.XLVIII. Москва : Металлургия, 1965. С. 87-103.

12. Зайков М.А. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке. Москва : Металлургиздат, 1970. 300 с.
13. Николаев В.А. Трение и технологические смазки при прокатке : учебное пособие. Запорожье : ЗГИА, 2002. 114 с.
14. Николаев В.В. Расчет силы при холодной прокатке. Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. №3. С. 42-46.
15. Николаев В.А. Оценка точности формул для расчета среднего контактного напряжения при холодной прокатке. Изв. вузов. Черная металлургия. 2004. №11. С. 32-36.
16. Николаев В.А. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке. Запорожье : ЗГИА, 2005. 167 с.
17. Бротусь С.А. Металловедческие основы методики режима деформации при производстве холоднокатанного проката. Сооб.-1. Металлургическая и горнорудная промышленность. №4. 2006. С. 111-114 с.
18. Жучков С.М., Кулаков Л.В., Ключникова К.Ю. Автоматизированный расчет технологических параметров прокатки на сортовых станах. Металлургическая и горнорудная промышленность. №6. 2006. С. 41-43 с.
19. Медведь Г.А., Буданов А.П., Шурыгин В.И., Коляда Т.В. Влияние коэффициента захвата на параметры холодной прокатки слитков. Сталь. №10. 2005. С. 55-59.
20. Барышев В.В., Кудинов С.В., Седых М.О. Моделирование пластической деформации сляба в вертикальных и горизонтальных валках. Производство проката. №9. 2003. С. 88-91.
21. Гостев К. Основные направления повышения качества листового проката и современные требования к валкам. Сталь. №2. 2002. С. 15-18.
22. Радюк А.Г., Балаушкин М.С. и др. Влияние факторов очага деформации на параметры прокатки. Известия высших учебных

заведений ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. №5. 2004. С. 33-35.

23. Чемпион Н. Возможности толстолистовых станов и технологий ФАИ. Сталь. №8. 2005. С. 44-47.

24. Оробцов В.В., Коновалов Ю.В. и др. Расчет комплексной энергосберегающей технологии производства холоднокатанных полос. Производство проката. №8. 2003. С. 12-15.

25. Горбатенко В.П., Косаревич Н.И., Климанчук В.В. Влияние параметров контролируемой прокатки толстых листов на ударную вязкость. Metallургическая и горнорудная промышленность. №4. 2005. С. 118-120.

26. Винтер Г. Модернизация толстолистого стана на заводе Jigang. Сталь. №11. 2004. С. 83-86.

27. Бровман М.Я. Энергосиловые параметры при контролируемой прокатки. Производство проката. №8. 2003. С. 71-75.

28. Рашников В.Ф., Тахоутдинов Р.С., Стариков А.И. Создание комплекса для производства сортового проката на базе новейших технологий. Сталь. №8. 2004. С. 13-16.

29. Домнина Н.В., Помельников А.С. и др. Современные закалочные среды для термической обработке. Известия высших учебных заведений ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. №10. 2004. С. 32-35.

30. Бротусь С.А. Metalловедческие основы методики режима деформации при производстве холоднокатанного проката. Сооб.-2. Metallургическая и горнорудная промышленность. №5. 2004. С. 19-22.

31. Пихмр Р., Ауцинир Д., Парцер Ф. Новые разработки по разработке толстолистого стана. Сталь. №2. 1999. С. 9-11.

32. Бобух К.А., Головки А.Н. и др. Комплексное влияние режимов и термической обработки на механические свойства профилей из сплавов системы Al – Mg – Si. Metallургическая и горнорудная промышленность. №4. 2001. С. 115-117.

33. Луцкий М.Б., Дорожко И.А., Луценко В.А. Способы

уменьшения расхода металла при производстве сортового проката. Сталь. №5. 2000. С. 48–53.

34. Молчанов А.М. Исследование динамических нагрузок на широкополосном стане при прямой прокатке слябов. Производство проката. №6. 2002. С. 47-49.

35. Сафьян М.М., Молчанов И.А., Солтан А.С. Определение температурного состояния слябов перед прокаткой. Сталь. №8. 1999. С. 59–62.

36. Ершов С.В. Метод построения математической модели процессов продольной прокатки с использованием конических элементов с точечным выполнением. Известия высших учебных заведений ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ. №11. 2005. С. 14-18.

37. Куклев А.В., Соснин В.В., Виноградов В.В. Механизм образования внутренних трещин в слябах. Сталь. №8. 2005. С. 11-14.

38. Сафьян М.М., Мазур В.Л., Сафьян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки. Киев : Высшая школа, 1988. 351 с.

39. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Д. и др. Температурный режим широкополосных станов. Москва : Металлургия, 1989. 176 с.

40. Оратовский Е.Л., Сафонова М.К. Прокатка полосы при регламентированных температурных режимах. Москва : Металлургия, 1986. 26 с.

41. Бровман М.Я. Современные толстолистовые станы России, Украине и зарубежом. Москва : ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1989. 33 с.

42. Стародуб К.Ф. Новые направления в развитии термического упрочнения проката в России и за рубежом. Термическая обработка металлов. 1984. № 3. 196 с.

43. Погоржельский В.И., Литвиненко Д.А., Матросов Ю.И. Контролируемая прокатка. Москва : Металлургия, 1987. 183 с.

44. Елесина О.Н. Состояние и перспективы развития упрочнения толстолистого проката. Москва : Черметинформация,

1986. Вып.15. 32 с.

45. Degenkolbe J., Schriever U. Влияние процессов прокатки и способа охлаждения на структуру толстых листов. *Walzverfahren und Kuhlmaltehode beeinflussen die Gefundet – und bie der Grobblechherstellung. Maschinenmark.* 1988. № 44. С. 66-71.

46. Ватанабэ И. Современные тенденции использования высокопрочной судостроительной стали. Новые методы производства. “Нихон дзосэнгаккайси”. “Bull. Soc. Nav. Artic. Jap.”. 1983. № 649. P. 374-386.

47. Спиваков В.И., Савенко В.Я., Бабицкий М.С, и др. Освоение регулируемого охлаждения при термической обработке листов. *Сталь.* 1983. № 12. С.39.

48. Спиваков В.И. Регулирование плоскостности толстолиствого проката: Сб. ИЧМ НАНУ “Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии”, 1999. Выпуск 2. Киев : Наук. Думка. С. 74-77.

49. Стародуб К.Ф., Узло И.Г., Савенков В.Я. и др. Термическое упрочнение проката. Москва : Металлургия, 1989. 368 с.

50. Узло И.Г., Савенков В.Я., Поляков С.П. Управляемое термическое упрочнение проката. Киев : Техніка, 1989. 118 с.

51. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов. Москва : Металлургия, 1984. 325 с.

52. Голубчик Р.М., Полухин П.И., Матвеев Ю.М. и др. Исследование процессов обработки металлов давлением. Москва : Металлургия, 1981. 326 с.

53. Швейкин В.В. Об образовании полости при прокатке. Теория прокатки. Москва : Металлургия, 1988. С. 681-687.

54. Томпсон Э., Янг Ч. Механика пластической деформации при обработке металлов: Пер. с англ. Москва : Металлургия, 1992. С. 447 – 451.

55. Уексон Е.П., Джонсон У., Колмогоров В.Л. и др. Теория пластических деформаций металлов. Москва : Metallurgy, 1983. 600 с.
56. Григорьев А.К., Жордания С.И., Никулин А.Н. и др. Уравнение кривой пластического течения металла при прокатке. Сообщение АН.1982. Т. 105. № 3. С. 561-564.
57. Гуркин В.Д., Руменцев М.В. Структура и свойства цветных металлов. Москва : Metallurgy, 1981. 354 с.
58. Никулин А.Н. Определение напряженного состояния металла при прокатке. Металлы. 1999. № 3. С. 56-61.
59. Дзугутов М.Я. Напряжения и разрывы при обработке металлов давлением. Москва : Metallurgy, 1994. 320 с.
60. Смирнов В.С., Дурнев В.Д. и др. Текстурирование металлов при прокатке. Москва : Metallurgy, 1999. 254 с.
61. Бочвар А.А., Спаский А.Г. Цветные металлы. Москва : Metallurgy, 1984. 245 с.
62. Митьев С.А., Гавриш В.П., Канатов С.В. Процессы обработки металлов давлением. Москва : Metallurgy, 1980. С. 225-232.
63. Томлев А.Д. Теория пластического деформирования металла. Москва : Metallurgy, 1990. 366 с.
64. Головин В.А., Раошиц Г.С., Навроцкий Г.А. Технология и оборудование холодной прокатки. Москва : Машиностроение, 1984. 215 с.
65. Колобнев А.А. Термическая обработка алюминиевых сплавов. Москва : Metallurgy, 1987. 362 с.
66. Попов Е.Ф. Некоторые варианты приближенного анализа операций обработки давлением. Машины и технология обработки металлов давлением. Москва : Metallurgy, 1985. С. 425 – 433.
67. Добаткин В.И. Сб Обработка цветных металлов. Москва :

Металлургия, 1985. 312 с.

68. Воронцов А.Л. Новый метод решения инженерных задач обработки давлением. Производство проката. 2003. № 3. С. 21-25.

69. Потапов И.Н., Ефименко С.П. и др. Теория производства толстолистого проката. Москва : Metallurgy, 1987. 280 с.

70. Смирнов В.С. Теория обработки металлов давлением. Москва : Metallurgy, 1988. 496 с.

71. Сурков В.Г., Паров М.В. и др. Теория обработки металлов давлением. Москва : Metallurgy, 1992. 328 с.

72. Воронцов А.Л. О целесообразности технологии проката. Москва : Metallurgy, 2001. 215 с.

73. Фихтенгольц Г.М. Математика для инженеров. Ч. 2. Москва : ГТТИ, 1995. 332 с.

74. Сторожев В.М. Теория обработки металлов давлением. Москва : Metallurgy, 1996. 443 с.