Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти____*другий (магістерський)*_____
(другий (магістерський) рівень)

на тему_ *Аналіз розподілу коефіцієнта напруженого стану по ширині штаби на середні нормальні контактні напруження при холодній прокатці штаб*

Виконав: студент ___*2*__курсу, групи *8.1363-омт*

___*Артеменко Ярослав Сергійович*_____
(ПІБ) (підпис)

спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)

спеціалізація
_____
(шифр і назва)

освітньо-професійна програма
*обробка металів тиском*_____
(шифр і назва)

Керівник __Бондаренко Ю.В.
(прізвище та ініціали)

Рецензент __Воденнікова О.С.
(прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2024 року

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

Кафедра _____*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

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

Спеціальність ___*136 металургія*_____
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____*МТЕТБ*_____
_____*Ю.О. Бєлоконь*__

"_ __ _" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) ЗДОБУВАЧА

Артеменко Ярослав Сергійович

1. Тема роботи (проєкту) *Аналіз розподілу коефіцієнта напруженого стану по ширині штаби на середні нормальні контактні напруження при холодній прокатці штаб*
керівник роботи (проєкту)_____*Бондаренко Юлія Володимирівна к.т.н, доцент*____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу № 359-с від 28.02. 2024 року

2. Строк подання здобувачем роботи (проєкта)____*01.12.2024*_____

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *визначення розподілу коефіцієнту напруженого стану по ширині штаби та вплив коефіцієнту тертя на середні нормально контактні напруження при холодній прокатці штаб.*

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 12 слайдах (на 12 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1 Аналітично-пошукова частина	*Бондаренко Ю.В., доцент*	
Розділ 2 Дослідно-розрахункова частина	*Бондаренко Ю.В., доцент*	
Розділ 3 Охорона праці та техногенна безпека	*Бондаренко Ю.В. доцент*	
Нормоконтроль	*Бондаренко Ю.В. доцент*	

7. Дата видачі завдання *01.03.2024*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Вступ*	*до 30.11.2024*	
2	*Реферат*	*до 30.11.2024*	
3	*Аналітично-пошукова частина*	*до 30.06.2024*	
4	*Дослідно-розрахункова частина*	*до 19.11.2024*	
5	*Охорона праці та техногенна безпека*	*до 30.11.2024*	
6	*Висновки*	*до 30.11.2024*	

Здобувач _____ *Артеменко Я.С.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проєкту) *Ю.В. Бондаренко*

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 71с., 16 рис., 13 табл., 18 джерел.

ПРОКАТКА, ШТАБА, ОБТИСНЕННЯ, СТАН, ЕКСПЕРИМЕНТ, ФОРМУЛА, ГРАФІК, ВАЛОК

Об’єкт розробки – Визначення розподілу коефіцієнту напруженого стану по ширині штаби та вплив коефіцієнту тертя на середні нормально контактні напруження при холодній прокатці штаб.

Мета розробки – Експериментальним шляхом отримати технологічні фактори, які впливають на якість штаб при холодній прокатці.

Методи досліджень – Експериментальні та теоретичні дослідження впливу технологічних факторів на якість штаб при холодному прокатуванні, обробка та аналіз отриманих результатів.

На основі лабораторних досліджень показано, що розподіл технологічних факторів по ширині штаби різний в залежності від обтисків та ширини штаб, що необхідно враховувати в технологічному процесі холодної прокатки для отримання якісних штаб. Отримані результати експериментальних досліджень можуть бути використані в промислових умовах.

Abstract

Master thesis – 71 pages., 16 figures, 13 tables, 18 references.

ROLLING, STRIP, COMPRESSION, CONDITION, EXPERIMENT, FORMULA, SCHEDULE, ROLL

The object of development – the determination of the distribution coefficient of the stress state across the width of the strip and the influence coefficient of friction average normal contact stresses in cold rolling headquarters.

The goal of development is to experimentally obtain technological factors that affect the quality of the staff in cold rolling.

Research methods – Experimental and theoretical research of influence of technological factors on the quality of the staff at cold rolling, processing and analysis of the results.

On the basis of laboratory studies have shown that the distribution of technological factors on the width of the staffs vary from obtics and the width of the staff that need to be considered in the technological process of cold rolling to obtain high-quality staff. The results of experimental studies can be used in an industrial environment.

ЗМІСТ

Вступ……...…7
1 АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА……...…8
1.1 Стан проблеми……...…8
1.2 Заходи неплоскісності прокатних листів та штаб ……...…14
2 ДОСЛІДНИЦЬКО – РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА……23
2.1 Опис експериментальної установки, приладів та методики проведення експериментів…….....24
2.2 Методи розрахунку параметрів……...25
2.3 Обробка та обговорення результатів досліджень……..…30
3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА…….55
3.1 Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що мають властивості фізичного впливу на організм людини……...60
3.2 Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що мають властивості хімічного впливу на організм людини……....64
3.3 Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що володіють властивостями психофізіологічного на організм людини……..66
4 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…….…69
5 ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..…….70

ВСТУП

В останні 10–15 років відбулися суттєві структурні зміни у сортаменті тонкого плоского прокату.

Ці зміни повязані зі створенням та широким розповсюдженням ливарно-прокатних агрегатів, на яких було освоєно масове виробництво гарячечекатаних штаб товщиною міньш 1,2–1,5 мм, аж до 0,8–1,0 мм. Тонкі гарячекатані штаби смуги вже зайняли частину ніші плоского холоднокатаного прокату на міжнародному ринку металопродукції [1]. У звязку з цим затребуваний сортамент холоднокатаного прокату змістився у бік менших товщин. Сьогодні можна стверджувати, що на станах холодної прокатки надалі вироблятимуть виключно тонкі та особливо тонкі штаби а також тонку та особливо тонку жерсть завтовшки відповідно 0,25–0,80 мм та 0,08–0,20 мм.

Кількісний вплив зазначених особливостей пружно-пластичного взаємодії тонкої смуги з валками на параметри процесу, перш за все нар c_{pc} , в даний час вивчено недостатньо і запропоновані формули не завжди забезпечують прогнозування даного параметра з необхідною точністю. Тому дослідження, спрямовані на підвищення точності прогнозування середньої контактної нормальної напруги при холодній прокатці тонких смуг є актуальними.

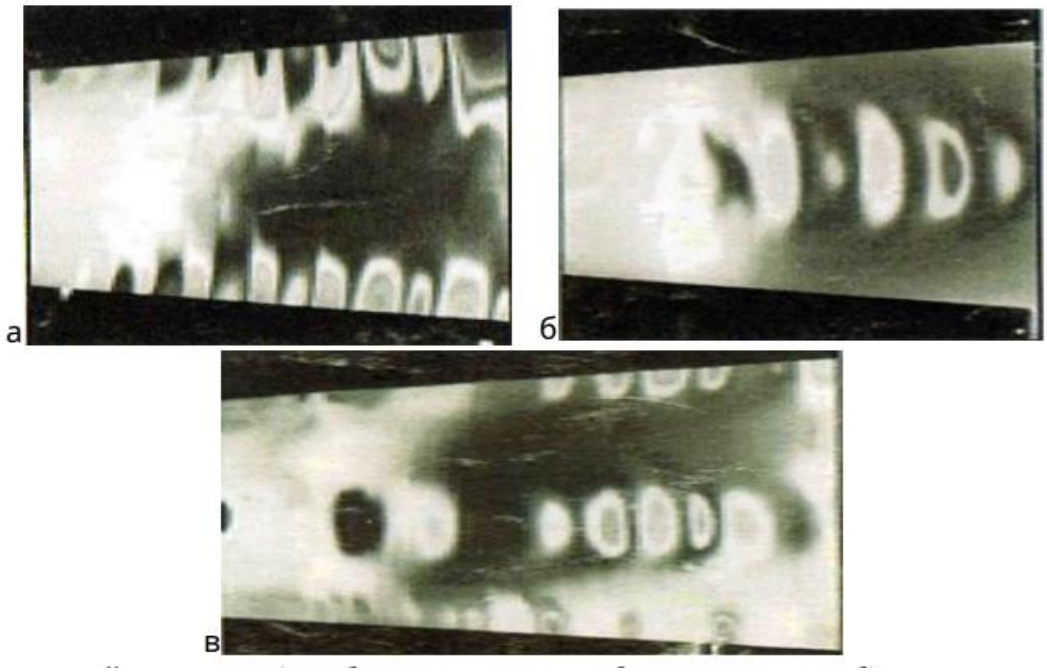
Для визначенняр c_{pc} при холодній прокатці у вітчизняній та зарубіжній практиці популярність здобули формули А. І. Цілікова, М. Д. Стоуна, Ст. Робертса та Ст. М. Луговського. В основу цих формул покладено припущення про пропорційність напруги тертя τ та нормальних напруг p.

1. **АНАЛІТИЧНО-ПОШУКОВА ЧАСТИНА**

1.1 Стан проблеми

Точність розмірів сталевого листового прокату визначається відповідністю його геометричних параметрів вимогам таких нормативних документів, як державні стандарти щодо сортаменту металопродукції (наприклад, ГОСТ 19903-74, ГОСТ 19904-90), стандарти підприємства (СТП) з випуску металопродукції, технічні умови (ТУ), а також додаткові вимоги замовника.

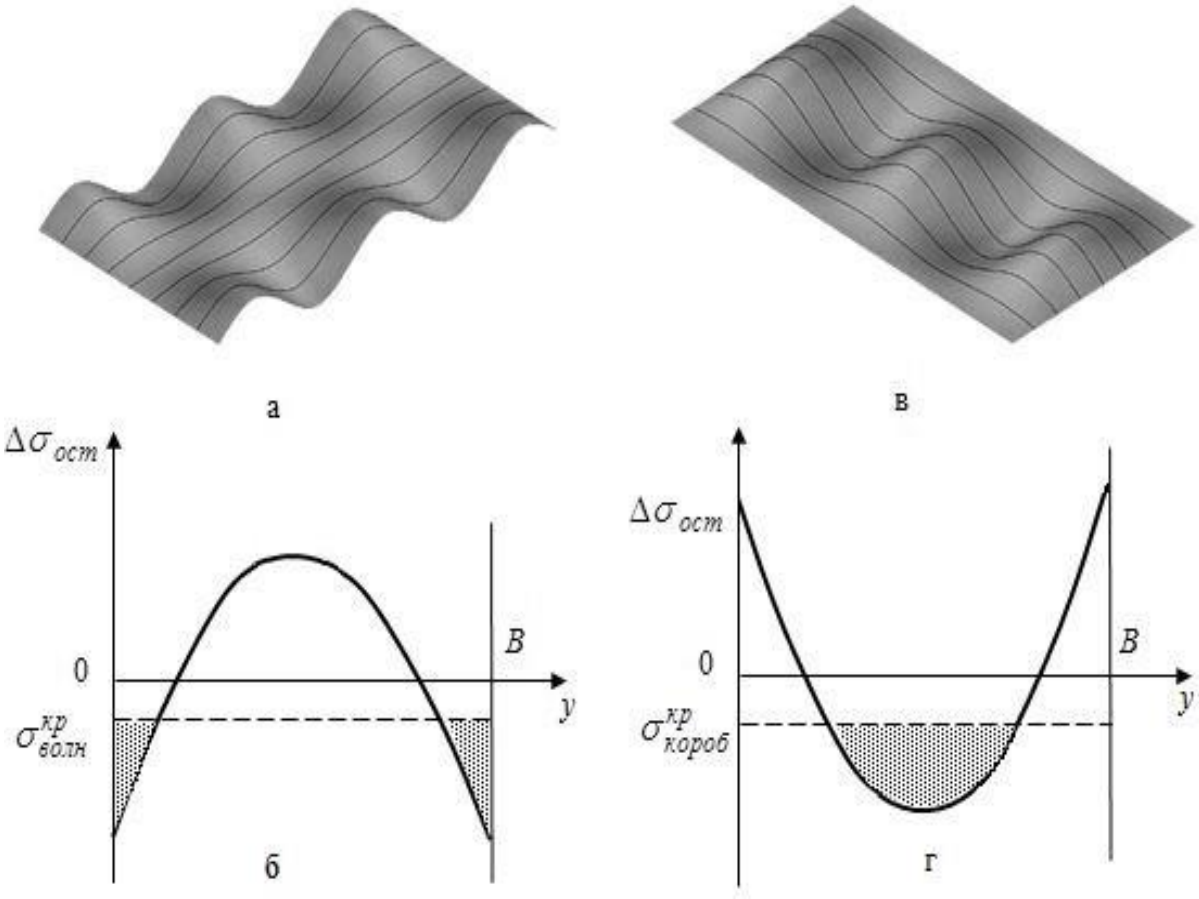
З точки зору споживача до найбільш важливих геометричних параметрів листового гаряче- і холоднокатаного прокату, крім точності по товщині (різнотовщинність) та ширині (різноширинність), відноситься відхилення від плоскої форми - неплощинність готового сталевого листа, яка проявляється у вигляді крайової хвилястості (рис.1.1 ,а), центральної коробоватості (рис. 1.1,б) або їх комбінацій (рис.1.1, в).



а – крайова хвилястість; б - центральна коробоватость; в – комбінована

Рис.1.1. Види неплощинності

Причиною відхилення сталевого листа від плоскої є вплив розподілених по ширині *У* залишкових напруг стиснення (негативних) $\Delta\sigma_{ост}$, величина яких перевищує величину критичної напруги втрати плоскої форми: для хвилястості – $\sigma_{крхвиль}$ для коробуватості - $\sigma_{ккроробо}$. На рис.2 зображено розподіл залишкових напруг випадків крайової хвилястості (рис. 1.2 а,б) і центральної коробоватості (рис. 1.2 в.г), причому області втрати сталевим листом плоскої форми на рис. 1.2 б,г виділені.



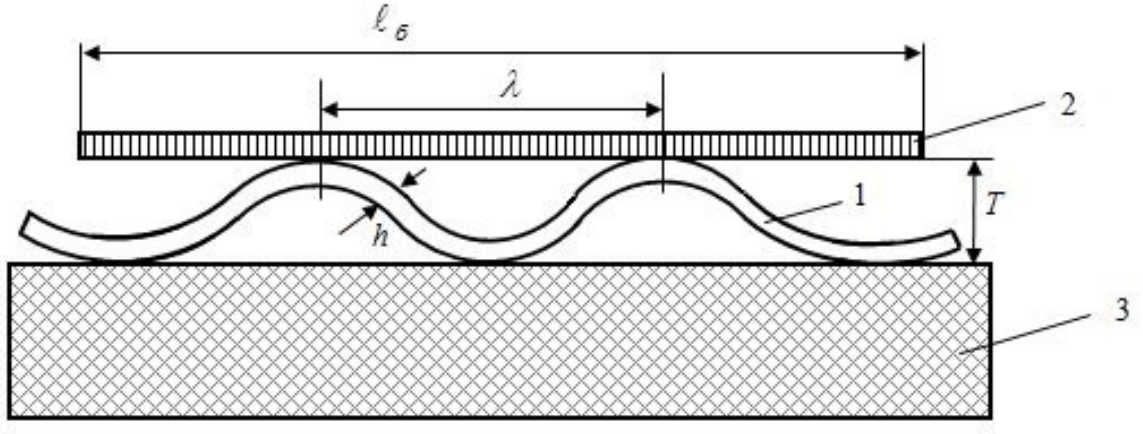
а – крайова хвилястість: б, г – розподіл залишкових напруг;
в – центральна коробоватість

Рис.1.2. Розподіл залишкових напруг по ширині сталевого листа

Вимоги споживачів до площинності листового гаряче- та холоднокатаного прокату мають тенденцію до постійного посилення, яке обумовлено наступною обставиною: галузі промисловості, що

споживають сталевий листовий прокат, такі як машинобудування (виробництво кузовних деталей автомобілів, елементів різних машин та механізмів тощо), виробництво будівельних матеріалів (покрівля, панелі, блоки, стінки, огородження тощо), виробництво труб (від побутових до магістральних нафто-і газопровідних) для виготовлення своєї продукції все ширше застосовують автоматичні потокові лінії, в яких безаварійне транспортування і формозміна сталевого листа, що поставляється, визначається рівнем його неплощинності.

Характеристикою не площинності сталевого листа є максимальне відхилення Am поверхні вимірюваного листа від плоскої плити, яку він покладено, з урахуванням (певному відрізку довжини) -*б*, рівною, як правило, 1 або 2 метрам (рис.1.3).



1- вимірюваний лист товщиною*h*; 2 – повірочна лінійка; 3 – плоска плита; λ – довжина хвилі неплощинності

Рис. 1.3. Вимірювання амплітуди неплощинності сталевого листа

$$Am = T - h$$

Вимоги до величині максимального відхилення готового гарячекатаного прокату, що виготовляється в листах, від плоскої форми російський ГОСТ 19903-74 встановлює на базі 1 м тільки залежно від товщини (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – ГОСТ 19903-74 «Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент»

Вид площинності	Відхилення від площинності при товщині прокату, мм, не більше		
	0,4-1,4	1,5-3,9	4,0 і більше
Особливо висока (ПЗ)	8	8	5
Висока (ПВ)	10	10	8
Поліпшена (ПУ)	15	12	10
Нормальна	20	15	12

Для холоднокатаних листів граничні відхилення від площинності на базі 1 м, відповідно до ГОСТ 19904-90, встановлені лише залежно від ширини і не повинні перевищувати значень, наведених у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – ГОСТ 19904-90 «Прокат листовий холоднокатаний. Сортамент»

Вид площинності	Відхилення від площинності при ширині прокату, мм		
	До 1000	Св. 1000 до 1500	Св. 1500
Особливо висока (ПЗ)	4	5	6
Висока (ПВ)	8	8	10
Поліпшена (ПУ)	10	12	15
Нормальна (ПОНЕДІЛОК)	12	15	18

У ГОСТ 19904-90 зазначено, що для холоднокатаного прокату нормальної площинності (ПН) шириною понад 1800 мм відхилення від площинності не повинні перевищувати 20 мм.

Відхилення від площинності, наведені в табл. 1.2, поширюються на листи з тимчасовим опором, що не перевищує 690 Н/ мм^2(70 кгс/мм^2).

Для листів з тимчасовим опором, що перевищує 690 Н/мм^2(70 кгс/ мм^2), ГОСТ 19904-90 передбачає особливість: допустимі відхилення від площинності встановлюються у нормативно-технічній документації для кожного конкретного виду прокату.

Зарубіжні стандарти на неплощинність сталевих листів (наприклад, табл. 1.3-1.7) використовують інші вимоги по товщині

готових сталевих листів, ширині, межі плинності. Крім того, включаються вимоги до довжини лінійки перевірки; японський промисловий стандарт JIS G 3141 виділяє в окремий вид неплощинності так звану хвилясту кромку.

Таблиця 1.3 - JIS G 3193 "Розміри, маса та допустимі відхилення для гарячекатаного товстого листа, тонкого листа, штаби"

Товщина листа, мм	Довжина перевірочної лінійки, мм			
	2000			4000
	Ширина, мм			Ширина, мм
	менше 1250	1250 – 1600	1600 – 2000	менше 2000
менше 1,60	18	20	-	-
1,60 - 3,15	16	18	20	-
3,15 – 4,00	16			-
4,00 – 5,00	14			26
5,00 – 8,00	13			22
8,0 - 25,0	12			12

Таблиця 1.4 - JIS G 3141 «Аркуш і штаба з холоднокатаної вуглецевої сталі» Максимальна неплощинність, клас А, мм

Ширина, мм	Тип неплощинності		
	Хвиля	Хвиляста край	Коробкуватість по центру
о 1000	12	8	6
1000 або більше до 1250	15	9	8
1250 або більше до 1600	15	11	8
1600 або більше	20	13	9

Японський промисловий стандарт JIS G 3141 «Аркуш і штаба з холоднокатаної вуглецевої сталі» оперує такими видами неплощинності: хвиля - сталевий лист має хвилястість у напрямку прокатки; хвиляста кромка - лист має хвилястість по краю; коробоватисть по центру - сталевий лист має хвилястість у центральній частині.

Таблиця 1.4 встановлює допустимі величини неплощинності для сталевих листів, не підданих редагуванню в правильно-розтяжній машині.

Таблиця 1.5 - EN 10029 «Горячекатані сталеві листи товщиною 3 мм і вище. Допуски на розміри, форму та масу»

Товщина листа, мм	Межа плинності < 460 МПа		Межа плинності ≥ 460 МПа	
	Довжина перевірочної лінійки		Довжина перевірочної лінійки	
	1000 мм	2000 мм	1000 мм	2000 мм
3,0 – 5,0	9	14	12	17
5,0 – 8,0	8	12	11	15
8,0 - 15,0	7	11	10	14
15,0 – 25,0	7	10	10	13

Таблиця 6. EN 10131 «Плоскі холоднокатані вироби без покриття та з електролітичним цинковим або цинк-нікелевим покриттям з м'яких сталей, а також зі сталей з більш високою межею плинності для холодної обробки тиском» Допуски по площинності для листів з м'яких сталей, мм

Клас допуску	Номінальна ширина,*w*, мм	Номінальна товщина,*t*, мм		
		$t<0,7$	$0,7 \le t<1,2$	$1,2 \le t \le 3,0$
Стандартний	$w < 600$	7	6	5
	$600 \le w < 1200$	10	8	7
	$1200 \le w < 1500$	12	10	8
	$w \ge 1500$	17	15	13
Обмежений (FS)	$w < 600$	4	3	2
	$600 \le w < 1200$	5	4	3
	$1200 \le w < 1500$	6	5	4
	$w \ge 1500$	8	7	6
	$w < 1500$	Висота хвилі при довжині хвилі понад 200 мм має бути меншою за 1 % довжини.		
	≥ 1500	Висота хвилі при довжині хвилі понад 200 мм має бути меншою за 1,5 % довжини.		
	$w \ge 1500$	Для довжин хвилі менше 200 мм максимальна висота хвилі не повинна перевищувати 2 мм.		

Таблиця 7. EN 10131 «Плоскі холоднокатані вироби без покриття та з електролітичним цинковим або цинк-нікелевим покриттям з м'яких сталей, а також зі сталей з більш високою межею плинності для холодної

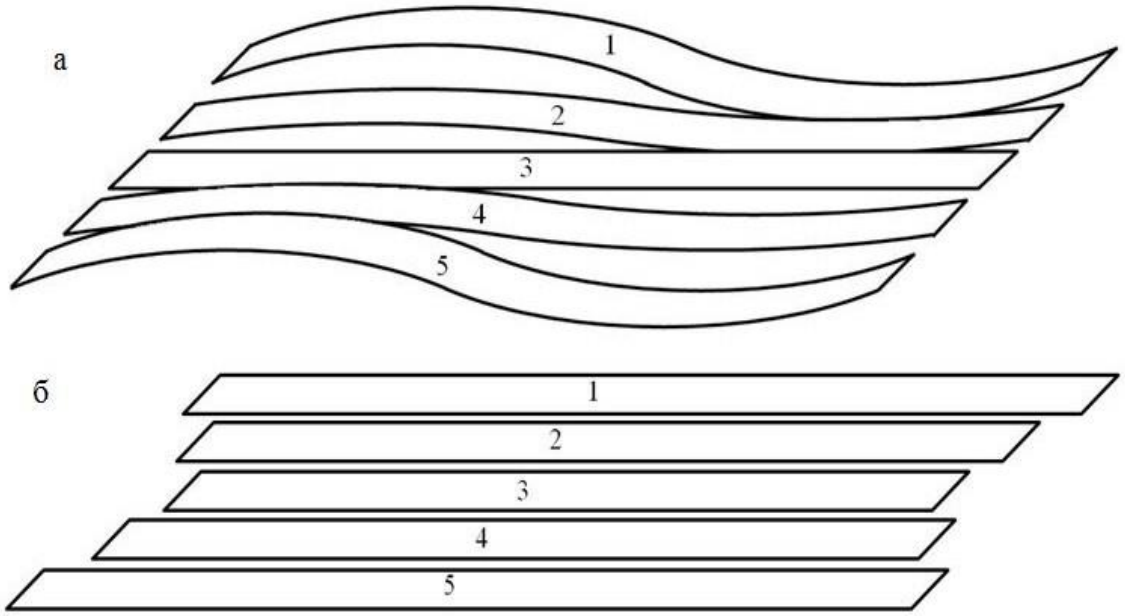
обробки тиском» Допуски по площинності для листів зі сталей з межею плинності від 26 до 340 МПа, мм

Клас допуску	Номінальна ширина,*w*, мм	Номінальна товщина,*t*, мм		
		0,7 ≤*t*<1,2	0,7 ≤*t*<1,2	0,7 ≤*t*<1,2
Стандартний	600 ≤w< 1200	13	10	8
	1200 ≤w< 1500	15	13	11
	w ≥1500	20	19	17
Обмежений (FS)	600 ≤w< 1200	8	6	5
	1200 ≤w< 1500	9	8	6
	w ≥1500	12	10	9

1.2 Заходи неплоскісності прокатних листів та штаб

Залишкова напруга, розподілена по ширині готового сталевого листа і є причиною його неплощинності, тісно пов'язані з нерівномірністю витяжок металу по ширині при прокатці.

Розділимо сталевий лист з неплощинністю типу «крайова хвилястість» на поздовжні смужки (рис. 1.4, а) і випрямимо їх (рис. 1.4, б). Після вимірювання довжини кожної смужки відзначимо той факт, що найменшу довжину має середня смужка №3, смужки №2,4 довша, ніж середня, але коротша, ніж крайні смужки №1,5, які мають найбільшу довжину. Коли смужки були єдиним цілим, довгі смужки розтягували короткі, короткі, своєю чергою, піддавали стиску довші. Таким чином і формуються залишкові напруги, розподілені по ширині листа або штаби при прокатці.



а – сталевий лист із крайової хвилею, розділений на поздовжні смужки;б - випрямлені смужки з різним ступенем витяжки

Рисунок 1.4 - Довжина поздовжніх смужок після поділу сталевого листа з крайовою хвилястістю

Розглянемо зв'язок параметрів неплощинності з розподілом поздовжніх витяжок по ширині штаби, навіщо скористаємося схематичним зображенням сталевого листа з крайової хвилястістю (рис. 1.5).

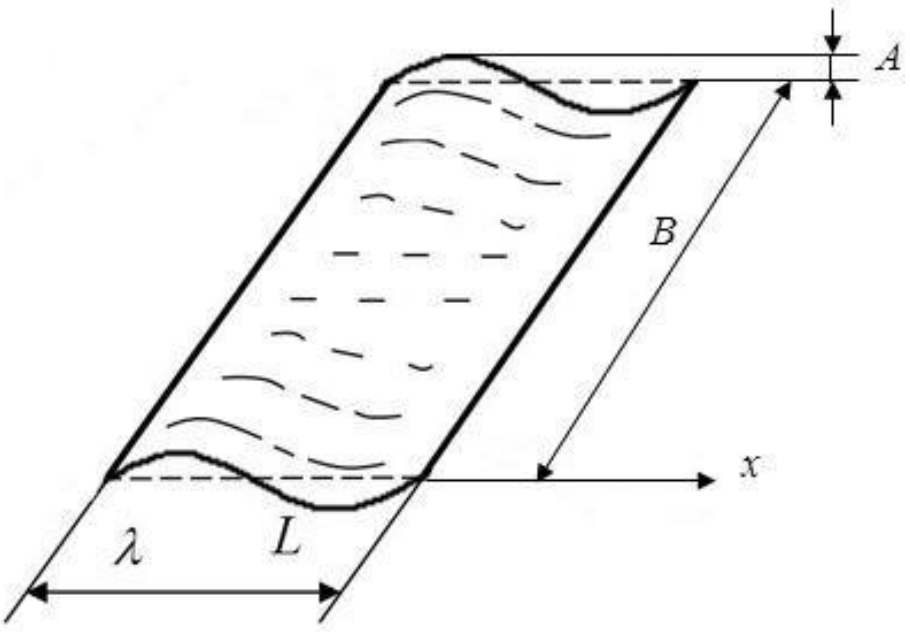


Рисунок 1.5 - Хвиляста штаба

Довжина листа дорівнює довжині хвилі λ неплощинності, амплітуда неплощинності *Am=2A* довжина деформованої кромки дорівнює *L*, ширина листа дорівнює *B*.

Довжина деформованої кромки виражається формулою $L = \int_0^{\lambda} \sqrt{1+(y')^2}\,dx$, де *y'(x)*– похідна функції, що описує форму деформованої краю листа.

Форму деформованої кромки можна апроксимувати за допомогою різних функцій. Спочатку розглянемо апроксимацію відрізками квадратичної параболи. На рис. 1.6 зображено половину хвилі неплощинності причому початок координат поміщено в середину - довжина кромки від цього не змінюється, а викладки спрощуються.

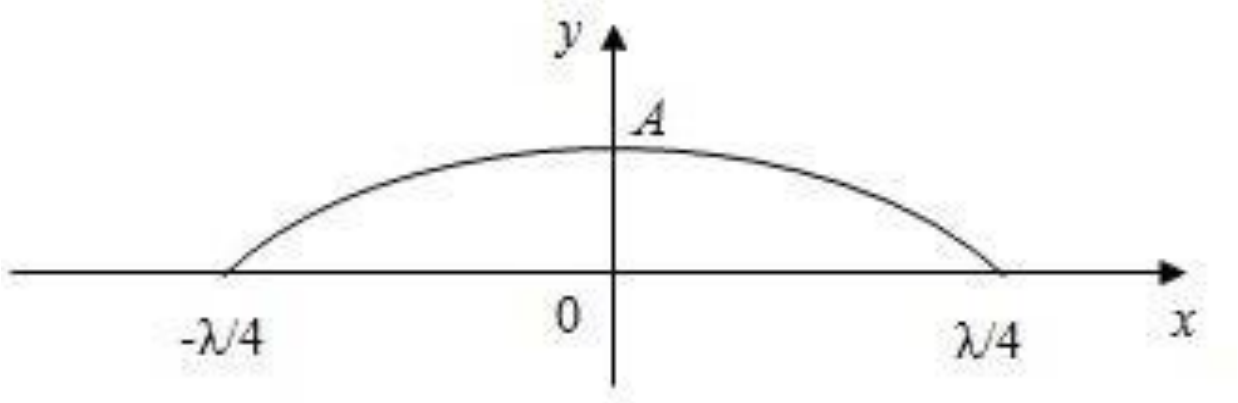


Рисунок 1.6 - Половина хвилі неплощинності - параболічна апроксимація.

Легко бачити, що функція *y*, зображена на рис. 6, описується наступним чином:

$$y = -\frac{16A}{\lambda^2}x^2 + A; \qquad (1.1)$$

$$y' = -\frac{32A}{\lambda^2}x. \qquad (1.2)$$

Обчислимо довжину деформованої кромки листа на довжині хвилі λ:

$$L = 4\int_0^{\frac{\lambda}{4}} \sqrt{1+(y')^2}\,dx = 4\int_0^{\frac{\lambda}{4}} \sqrt{1+\left(\frac{32A}{\lambda^2}\right)^2 x^2}\,dx =$$

$$= \frac{\lambda^2}{8A}\left\{\frac{16A}{\lambda^2}x\sqrt{1+\left(\frac{32A}{\lambda^2}\right)^2 x^2} + \frac{1}{2}\ln\left[\frac{32A}{\lambda^2}x + \sqrt{1+\left(\frac{32A}{\lambda^2}\right)^2 x^2}\right]\right\}\Bigg|_0^{\frac{\lambda}{4}} =$$

$$= \frac{\lambda}{2}\sqrt{1+\left(\frac{8A}{\lambda}\right)^2} + \frac{\lambda^2}{16A}\ln\left[\frac{8A}{\lambda} + \sqrt{1+\left(\frac{8A}{\lambda}\right)^2}\right]. \qquad (1.3)$$

Мірою неплощинності штаби є відносна різниця довжин між серединою l_0 і крайкою l_1 вимірюваного листа:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \frac{\ell_0 - \ell_1}{\ell_0} = -\frac{L-\lambda}{\lambda}. \qquad (1.4)$$

Підставляючи у формулу (1.4) вираз (1.3), отримуємо:

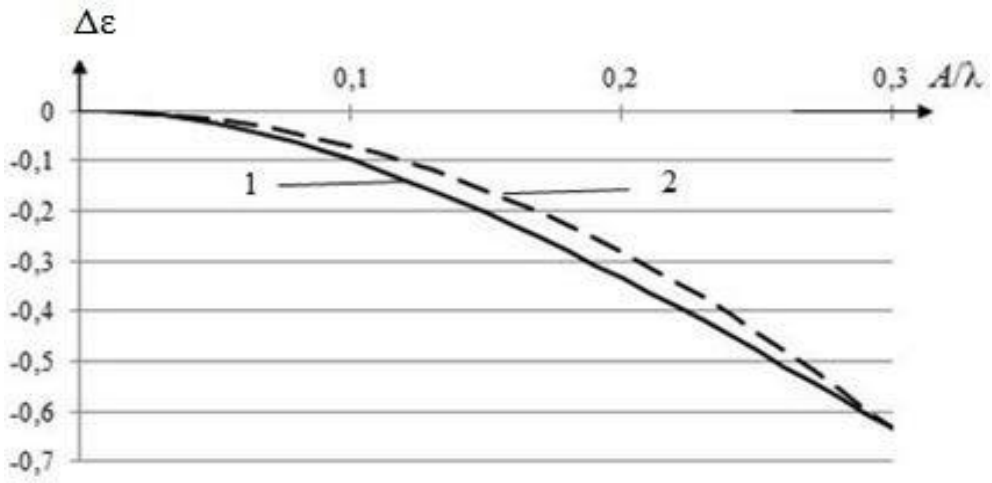
$$\Delta\varepsilon = 1 - \frac{1}{2}\sqrt{1+\left(\frac{8A}{\lambda}\right)^2} - \frac{\lambda}{16A}\ln\left[\frac{8A}{\lambda} + \sqrt{1+\left(\frac{8A}{\lambda}\right)^2}\right]. \qquad (1.5)$$

Зазначаємо, що до формули (1.5) входить відношення амплітуди до довжини хвилі $\left(\frac{A}{\lambda}\right)$.

Формула (1.5) незручна для інженерних розрахунків, тому $\Delta\varepsilon = K\left(\frac{A}{\lambda}\right)^2$:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \frac{\ell_0 - \ell_1}{\ell_0} = -\frac{L-\lambda}{\lambda} = -7{,}0588\left(\frac{A}{\lambda}\right)^2. \qquad (1.6)$$

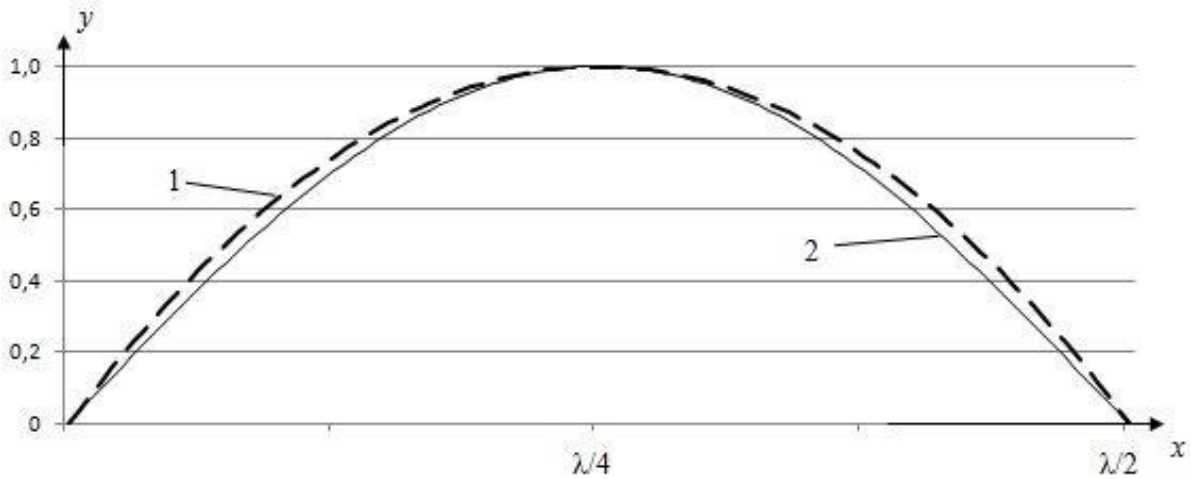
На рис.1.7 показано порівняння залежностей (1.5) та (1.6) при $0 < \frac{A}{\lambda} \le 0{,}3$; відповідність цілком задовільна.



1 – за виразом (1.5); 2 – за наближеною формулою (1.6)

Рисунок 1.7 - Залежність неплощинності від відношення A/λ

Форму кромок хвилястого листа можна апроксимувати функцією $y = A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$. Порівняння параболічної та синусоїдальної апроксимацій при A =1,0 представлено на рис. 1.8.



1 – параболічна апроксимація; 2 – синусоїдальна апроксимація

Рисунок 1.8 - Апроксимація неплощинності

Маючи на увазі, що $y' = A\frac{2\pi}{\lambda}\cos\frac{2\pi}{\lambda}x$, і записуючи вираз для обчислення довжини синусоїди, приходимо до еліптичного інтегралу, який не виражається в елементарних функціях:

$$L = \int_0^{\lambda} \sqrt{1 + A^2\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \cos^2\frac{2\pi}{\lambda}x}\,dx\,. \qquad (1.7)$$

Обчислюючи довжину синусоїди безпосередньо за допомогою чисельних методів та підставляючи її у формулу (1.4), отримуємо залежність відносної різниці довжин між серединою l_0 і крайкою l_1 вимірюваного листа при синусоїдальної апроксимації. На рис. 9 представлено порівняння залежностей відносної різниці довжин між серединою l_0 і крайкою l_1 вимірюваного листа при синусоїдальній (штрихова лінія) та параболічній (суцільна лінія) апроксимації. Різниця практично відсутня.

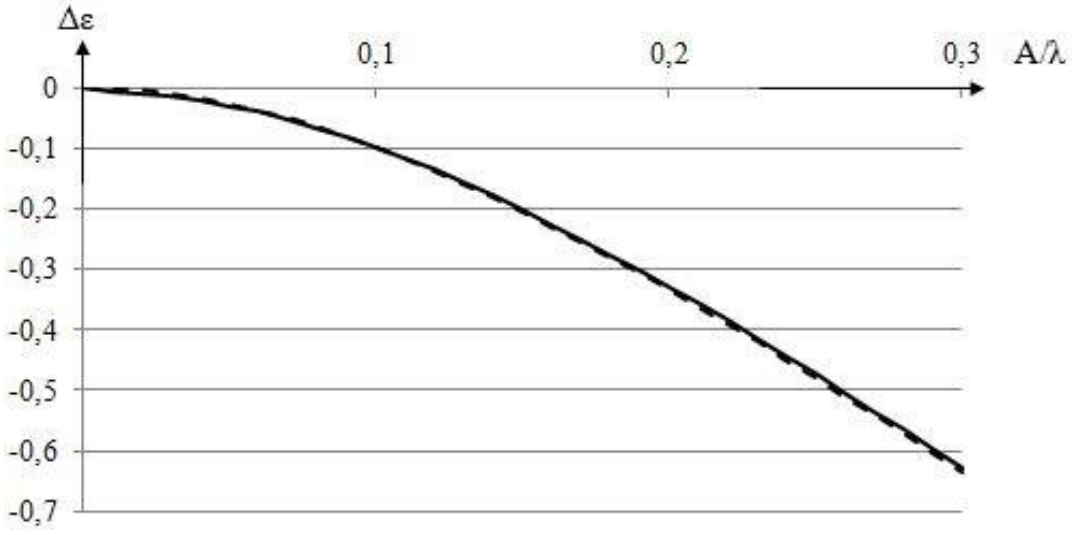
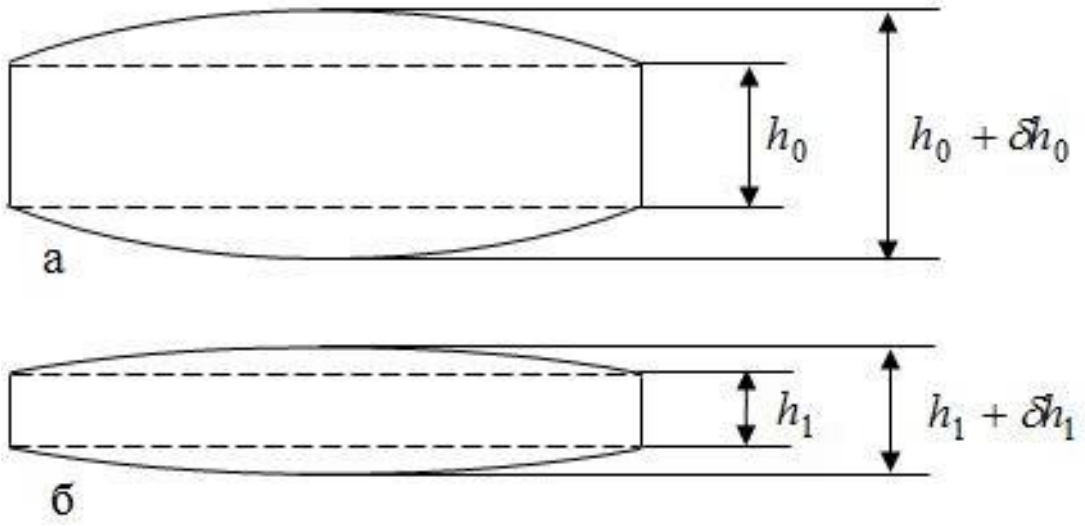


Рисунок 1.9 - Залежність неплощинності від відношення A/λ при синусоїдальної та параболічної апроксимації

До поняття міри неплощинності сталевих листів і штаб можна підійти з погляду форми профілю поперечного перерізу до і після обтиснення в кліті прокатної без розширення.

На рис. 1.10 а зображено поперечний переріз штаби на вході в осередок деформації, а на рисунку 1.10 б - поперечний переріз на виході з осередку деформації.



а – на вході у осередок деформації; б – на виході з осередку деформації

Рис.1.10 - Профіль поперечного перерізу штаби, що прокочується

Приймемо, що довжина штаби, що прокатується, до обтиснення була L_0. Відповідно до плоскої схеми деформації та закону сталості секундних обсягів довжина кромки прокатаної штаби стала рівною $\ell_1 = L_0 \frac{h_0}{h_1}$, а довжина її середини $\ell_0 = L_0 \frac{h_0 + \delta h_0}{h_1 + \delta h_1}$. Тоді відносна різниця між довжинами середини і кромки штаби виразиться так:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \frac{\ell_0 - \ell_1}{\ell_0} = \frac{1}{\mu_h}\left(\frac{h_0 + \delta h_0}{h_1 + \delta h_1} - \frac{h_0}{h_1}\right) = \frac{\Delta\mu_h}{\mu_h}, \qquad (1.8)$$

де μ_h – коефіцієнт витяжки, $\Delta\mu_h$ – різниця коефіцієнтів витяжки в середині та на кромці штаби. Коефіцієнт витяжки у прокатці для простоти

часто називають просто витяжкою, хоча витяжкою називається ще й технологічна операція отримання порожнистих деталей із плоских заготовок. З виразу (1.8) можна легко отримати інший вираз для відносної різниці в довжинах між серединою та кромкою штаби:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta\mu_h}{\mu_h} = \frac{1}{\mu_h}\left(\frac{h_0+\delta h_0}{h_1+\delta h_1} - \frac{h_0}{h_1}\right) = \frac{1}{\mu_h}\frac{h_1\delta h_0 - h_0\delta h_1}{h_1(h_1+\delta h_1)} = \frac{\delta h_0}{h_0} - \frac{\delta h_1}{h_1}. \qquad (1.9)$$

Величину нерівномірності відносних подовжень вимірюють I- UNIT, одна одиниця якої дорівнює 10 мкм/м. Для отримання Δε в I-UNIT перед правою частиною (1.8) чи (1.9) потрібно поставити множник $5\ 10$. Якщо відносна різниця в довжинах між серединою та крайкою Δε = 0 – штаба має абсолютно пласку форму. З (1.9) природним чином випливає умова рівності нулю відносної різниці у довжинах між серединою та кромкою штаби [1]:

$$\frac{\delta h_0}{h_0} = \frac{\delta h_1}{h_1}. \qquad (1.10)$$

У разі Δε ≠ 0 у смузі виникають залишкові напруження, величина яких обчислюється так:

$$\Delta\sigma_{ост} = -E\Delta\varepsilon, \qquad (1.11)$$

де Е – модуль пружності матеріалу штаби. Слід зазначити, що з втрати штабою плоскої форми величина $\Delta\sigma_{ост}$ має перевищити деяку критичну величину напруг стиснення σ кр. Цій величині відповідає нерівномірність відносних подовжень $I_{кр} = 10^5\frac{\sigma_{кр}}{E}$ [I-UNIT]. Случай $|\Delta\varepsilon| > I_{кр}$, $\Delta\varepsilon > 0$

відповідає смузі з центральною коробоватостю, а випадок $|\Delta\varepsilon| > I_{кр},\ \Delta\varepsilon < 0$ відповідає смузі з крайової хвилястістю. У загальному випадку критична величина напруг стиснення при крайовій хвилястість не збігається з аналогічною при центральній коробоватості. Неплощинність гарячекатаної штаби величиною 25-100 I-IUNT вважається задовільною для наступної холодної прокатки [2]. З вищенаведених міркувань Ю.Д. Залізнів [3] формулює деформаційний критерій оцінки величини залишкових напруг та стійкості штаби

$$\Delta\sigma_{ост} = E\left(\frac{\delta h_0}{h_0} - \frac{\delta h_1}{h_1}\right) < \sigma_{кр}\,. \qquad (1.12)$$

2 ДОСЛІДНИЦЬКО – РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Проводилось багато експериментальних досліджень на теми розподілу питомих тисків в осередку деформації при прокатуванні, розподілу погонних сил в контакті штаба-валок та запропоновано багато методів для теоретичного розрахунку розподілу по ширині штаби середніх нормальних контактних напружень і погонних сил. Наприклад, об'ємний осередок деформації розбивати на кінцеве число поздовжніх смужок з кроком Δy. Деформацію кожної окремої смужки приймати двомірною, тоді рішення об'ємного завдання зводиться до вирішення плоскої задачі. Але проблема плоскості штаб не вирішена остаточно, та потребує більше не тільки теоретичних але і практичних досліджень, так як вона є дуже важливою у теорії прокатуванні.

Ціль експериментів – використовуючи абсолютно новий метод визначення коефіцієнту напруженого стану по випередженню, який не потребує спеціального обладнання, визначити, як буде розподілятися коефіцієнт тертя f, показник тертя $f_{\text{п}}$та коефіцієнт напруженого стану n_σ по ширині штаби в залежності від обтиснень та ширини штаби. Також показати, що цим методом можна визначати, як розподіляються обтиснень з боку кожного валка при непростих процесах прокатки (прокатка штаб з різними коефіцієнтами тертя на контактах з валками). Та отримати експериментальні дані, які допоможуть вирішити проблему неплоскостності штаб при процесах прокатки.

Визначення коефіцієнту напруженого стану по випередженню, на думку багатьох дослідників, дає найбільш надійну оцінку на штабах при $l_d/h_{\text{ср}} > 3$ (l_d – довжина дуги контакту, $h_{\text{ср}}$ – середня товщина штаби), коли висотна деформація набуває рівномірний характер. У цьому випадку кожна точка по висоті перетину штаби в осередку деформації має однакову витяжку на швидкість повздовжньої течії металу.

2.1 Опис експериментальної установки, приладів та методики проведення експериментів

Усі експерименти проводили у лабораторії кафедри ОМТ Запорізької державної інженерної академії. Експеримент для визначення розподілу коефіцієнту напруженого стану проводився на трехклітівому стані дуо з діаметром валків 100 мм та довжиною 170 мм, матеріал валків – сталь, потужність двигуна 40 кВт, число обертів валків – 32 об/хв. Для проведення експерименту використовувалась тільки перша кліть. Попередньо перед проведенням експерименту на верхній та нижній валок наносились кернові відбитки на відстані 100 мм по всій ширині валка. Відстань між керновими відбитками по ширині валка – 5 мм. Для проведення експерименту використовували усього 6 свинцевих штаб, дві з яких були шириною – 75 мм, дві – 100 мм та дві – 130 мм. Перед прокаткою на штаби були нанесені відбитки для визначення коефіцієнту витяжки після прокатки. Прокатка проводилась на сухих валках без змазки, після кожного проходу валки протирались чистим дрантям та папером. Після кожного проходу за допомогою нажимних гвинтів встановлювали потрібний зазор між валками. Після прокатки відстань між керновими відбитками та відбитками, для визначення коефіцієнту витяжки заміряли спеціальною лінійкою. Товщину штаб заміряли за допомогою мікрометра.

Експеримент для визначення коефіцієнту напруженого стану та розподілу обтиснень з боку кожного з валків при несиметричній прокатуванні проводився на лабораторному стані дуо, діаметр валків – 200 мм, матеріал валків – сталь, потужність двигуна 40 кВт, число оборотів валків – 16 об/хв. На верхній та нижній валок були нанесені кернові відбитки на відстані 100 мм, для проведення експерименту було взято 15 алюмінієвих штаб шириною 20 мм, та початковою висотою 2,08 мм. Перші п’ять штаб прокатувались на сухих валках без змазки, потім інші п’ять зразків прокатувались при несиметричному процесі прокатки (верхня частина штаби

була суха, а нижня – змащена емульсією), останні п’ять зразків прокатувались також при несиметричному процесі прокатки (верхня частина штаби була покрита крейдою, а нижня – змащена емульсією). Після кожного проходу валки протирались чистим драпнтям та папером. Після кожного проходу за допомогою нажимних гвинтів встановлювали менший зазор між валками, щоб збільшити обтиснень штаб. Після проведення експерименту штаби замірялись спеціальною лінійкою, та цією же лінійкою замірялася відстань між керновими відбитками на штабах. Товщину прокатаних штаб заміряли мікрометром. Також на стан були встановлені месдози, які були підключені до тензопідсилювача типу УТ4-1, і через підсилювач к самописцю Н338-1П. В процесі прокатки сигнал від месдоз поступав на тензопідсилювач та фіксувався самописцем. Тарировка месдоз проводилась на розривній універсальній машині типу УГ 20/2.

2.2 Методи розрахунку параметрів

Методика розрахунку розподілу коефіцієнту напруженого стану по ширині для свинцевих штаб. Спочатку розрахуємо абсолютний обтиснень за формулою, мм:

$$\Delta h = H - h, \tag{2.1}$$

де H – товщина штаби до прокатки; h –товщина штаби після прокатки.

Довжина дуги контакту штаби з валками, мм:

$$ld = \sqrt{\Delta h\, R}, \tag{2.2}$$

де Δh – абсолютне обиснення, R – радіус робочих валків.

Середні параметри осередку деформації в гладких валках характеризуються приблизно середньою висотою, мм:

$$h_{\text{ср}} = (H + h)/2, \quad (2.3)$$

Фактором форми називають вираз:

$$l_d/h_{\text{ср}}, \quad (2.4)$$

За яким судять о висотних розмірах осередку деформації.

Випередження визначають методом кернових відбитків за формулою:

$$S = \frac{L_h - L_B}{L_B}, \quad (2/5)$$

де L_B, L_h – відстань відповідно між керновими відбитками на валках та між відбитками відміток на штабі.

Кут контакту штаби з валками можна знайти за формулою, рад.:

$$\alpha = \sqrt{\Delta h/R}, \quad (2.6)$$

де Δh - абсолютне обтиснення, R – радіус валків.

Кут критичного перерізу в осередку деформації, рад.:

$$\gamma = \sqrt{S\ h/R}, \quad (2.7)$$

де S – випередження металу, h – висота штаби, R – радіус валків.

Показник і коефіцієнт тертя можна визначити за формулами:

$$f_{\text{п}} = \frac{0{,}5 \ln(1 + \Delta h/h)}{\sqrt{R/h}\left(arctg\sqrt{\Delta h/h} - 2\frac{\gamma}{\alpha}\sqrt{\Delta h/h}\right)}, \quad (2.8)$$

$$\text{f} = 0{,}5\ \alpha/(1 - 2\gamma/\alpha). \quad (2.9)$$

Вираз (2.8) дозволяє за експериментальними даними безпосередньо отримати значення показника тертя. Таким чином, за наявності експериментальних даних випередження та довжини дуги контакту завжди можна визначити коефіцієнт напруженого стану n_σ (2.10) без використання спеціальної апаратури та месдоз.

$$n_\sigma = f_п / f \tag{2.10}$$

Аналогічний розрахунок проводиться і для визначення розподілу обтиснень при несиметричному прокатуванні алюмінієвих штаб. Але після визначення коефіцієнту напруженого стану розрахунок продовжується визначення обтиснень з боку нижнього та верхнього валків.

Відносне обтиснення розрахуємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \tag{2.11}$$

Використовуючи графік для визначення напруження текучості алюмінію (рис.2.1) знайдемо напруження текучості штаб.

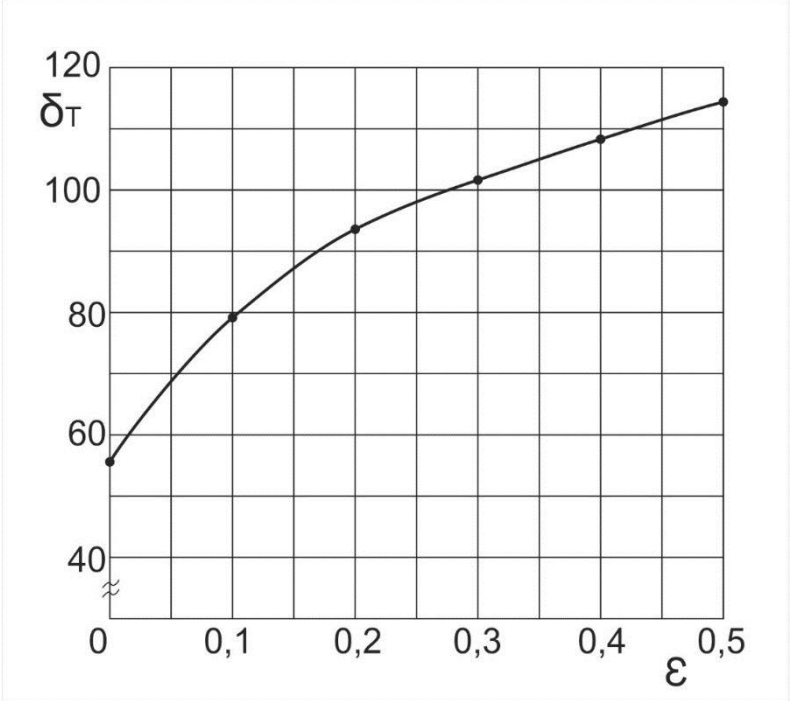


Рисунок 2.1 – Зміна $\sigma_т$ в залежності від ε

Використовуючи формулу (2.12) знайдемо фактичну напруження текучості для кожної штаби:

$$\sigma_ф = \sigma_{т0} + 0{,}67(\sigma_{т1} - \sigma_{т0})1{,}15; \quad (2.12)$$

де $\sigma_{т0} = 56{,}9$, напруження течії металу $\sigma_{т1}$ визначаємо (рис. 2.1) за значеннями ε.

Використовуючи формулу (2.13) знайдемо середню силу прокатки:

$$P_{ср} = n_\sigma \cdot \sigma_ф; \quad (2.13)$$

Розрахуємо коефіцієнт m за формулою:

$$m = \frac{P_{ср}(с)}{P_{ср}(см)}; \quad (2.14)$$

Відношення абсолютних обтиснень з боку сухого валка до абсолютного обтиснення:

$$\Delta h_c/\Delta h = 1/(1 + m^2 \cdot r/R); \quad (2.15)$$

де Δh_c – абсолютне обтиснення з боку сухого валка, Δh - абсолютне обиснення всієї штаби, r і R – радіуси меншого і більшого валків. Так як у нас валки одного і того ж самого діаметру, то мі приймаємо відношення r/R = 1.

Величина обтиснення з боку сухого валка буде дорівнювати:

$$\Delta h_c = \Delta h \cdot (\Delta h_c/\Delta h); \quad (2.16)$$

А з боку змащеного валка:

$$\Delta h_{\text{см}} = \Delta h - \Delta h_c; \quad (2.17)$$

Розрахуємо кривизну штаби, спочатку розрахуємо радіус круга, який би отримався, якщо б ми описали коло за формулою:

$$R = \frac{l_d}{\Delta h}; \quad (2.18)$$

Потім знайдемо кривизну штаби за формулою:

$$\rho = \frac{1}{R}; \quad (2.19)$$

2.3 Обробка та обговорення результатів досліджень

Розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_σ для свинцевої штаби шириною B=75 мм, початковою висотою H=1,79 мм та висотою після прокатки h=1,34 мм. Верхня частина штаби. Розрахуємо відносние обтиснення за формулою (2.1):

$$\Delta \text{h} = 1{,}79 - 1{,}34 = 0{,}45;$$

Довжина дуги контакту штаби з валками (2.2), мм:

$$\text{ld} = \sqrt{0{,}45 * 50} = 4{,}74;$$

Середні параметри осередку деформації в гладких валках характеризуються приблизно середньою висотою (2.3), мм:

$$h_{\text{ср}} = (1{,}79 + 1{,}34)/2 = 1{,}565;$$

Фактором форми називають вираз (2.4), за яким судять о висотних розмірах осередку деформації:

$$l_d/h_{\text{ср}} = 3{,}87/0{,}995 = 3{,}89;$$

Випередження визначають методом кернових відбитків за формулою (2.5):

1. $S_1 = \frac{104{,}1 - 100}{100} = 0{,}041;$
2. $S_2 = \frac{104{,}3 - 100}{100} = 0{,}043;$
3. $S_3 = \frac{104{,}35 - 100}{100} = 0{,}0435;$
4. $S_4 = \frac{104{,}55 - 100}{100} = 0{,}0455;$
5. $S_5 = \frac{104{,}35 - 100}{100} = 0{,}0435;$
6. $S_6 = \frac{104{,}25 - 100}{100} = 0{,}0425;$
7. $S_7 = \frac{104 - 100}{100} = 0{,}04;$

Кут контакту штаби з валками можна знайти за формулою (2.6), рад.:

$$\alpha = \sqrt{0{,}45/50} = 0{,}095;$$

Кут критичного перерізу в осередку деформації знайдемо за формулою (2.7), рад.:

$\gamma_1 = \sqrt{0{,}041 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}033;$	$\gamma_5 = \sqrt{0{,}0435 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0341;$
$\gamma_2 = \sqrt{0{,}043 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}034;$	$\gamma_6 = \sqrt{0{,}0425 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0337;$
$\gamma_3 = \sqrt{0{,}0435 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0341;$	$\gamma_7 = \sqrt{0{,}04 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}033;$
$\gamma_4 = \sqrt{0{,}0455 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0349;$	

Показник і коефіцієнт тертя можна визначити за формулами (2.8), (2.9):

1. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34} - 2\frac{0{,}033}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}192;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}033/0{,}095) = 0{,}1557;$

2. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34} - 2\frac{0{,}034}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}214;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}034/0{,}095) = 0{,}167;$

3. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34} - 2\frac{0{,}0341}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}216;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0341/0{,}095) = 0{,}168;$

4. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34} - 2\frac{0{,}0349}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}236;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0349/0{,}095) = 0{,}179;$

5. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34} - 2\frac{0{,}0341}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}216;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0341/0{,}095) = 0{,}168;$

6. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34} - 2\frac{0{,}0337}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}205;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0337/0{,}095) = 0{,}162;$

7. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34} - 2\frac{0{,}04}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}192;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}04/0{,}095) = 0{,}155;$

За наявності експериментальних даних випередження та довжини дуги контакту завжди можна визначити коефіцієнт напруженого стану n_σ (2.10) без використання спеціальної апаратури та мездоз:

$n_\sigma = 0{,}192/0{,}1557 = 1{,}233;$	$n_\sigma = 0{,}216/0{,}168 = 1{,}285;$
$n_\sigma = 0{,}214/0{,}167 = 1{,}28;$	$n_\sigma = 0{,}205/0{,}162 = 1{,}265;$
$n_\sigma = 0{,}216/0{,}168 = 1{,}285;$	$n_\sigma = 0{,}192/0{,}155 = 1{,}24;$
$n_\sigma = 0{,}236/0{,}179 = 1{,}318;$	

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_σ для нижньої частини штаби. Такі параметри, як абсолютне обтиснення Δh, довжина дуги контакту ld, середня висота штаби $h_{\text{ср}}$, фактор форми $l_d/h_{\text{ср}}$ та кут контакту штаби з валками α - такі ж самі, як і для верхньої частини штаби.

Випередження визначають методом кернових відбитків:

$S_1 = \frac{104{,}55 - 100}{100} = 0{,}0455;$	$S_5 = \frac{104{,}15 - 100}{100} = 0{,}0415;$
$S_2 = \frac{104{,}15 - 100}{100} = 0{,}0415;$	$S_6 = \frac{104{,}4 - 100}{100} = 0{,}044;$
$S_3 = \frac{104{,}5 - 100}{100} = 0{,}045;$	$S_7 = \frac{104{,}1 - 100}{100} = 0{,}041;$
$S_4 = \frac{103{,}95 - 100}{100} = 0{,}0395;$	

Кут критичного перерізу в осередку деформації за формулою (2.7), рад.:

$\gamma_1 = \sqrt{0{,}0455 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0349;$	$\gamma_5 = \sqrt{0{,}0415 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0333;$
$\gamma_2 = \sqrt{0{,}0415 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0333;$	$\gamma_6 = \sqrt{0{,}044 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0343;$
$\gamma_3 = \sqrt{0{,}045 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0347;$	$\gamma_7 = \sqrt{0{,}041 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0331;$
$\gamma_4 = \sqrt{0{,}0395 \cdot 1{,}34/50} = 0{,}0325;$	

Визначаємо показник і коефіцієнт тертя за формулами (2.8), (2.9):

1. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34}-2\frac{0{,}0349}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}236;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0349/0{,}095) = 0{,}179;$

2. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34}-2\frac{0{,}0333}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}197;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0333/0{,}095) = 0{,}158;$

3. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34}-2\frac{0{,}0347}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}231;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0347/0{,}095) = 0{,}176;$

4. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34}-2\frac{0{,}0325}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}183;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0325/0{,}095) = 0{,}15;$

5. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34}-2\frac{0{,}0333}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}197;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0333/0{,}095) = 0{,}158;$

6. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34}-2\frac{0{,}0343}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}221;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0343/0{,}095) = 0{,}17;$

7. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}45/1{,}34)}{\sqrt{50/1{,}34}\left(arctg\sqrt{0{,}45/1{,}34}-2\frac{0{,}0331}{0{,}095}\sqrt{0{,}45/1{,}34}\right)} = 0{,}194;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}095/(1 - 2 \cdot 0{,}0331/0{,}095) = 0{,}156;$

Визначемо коефіцієнт напруженого стану n_σ за формулою (2.10):

$n_\sigma = 0{,}236/0{,}179 = 1{,}318;$	$n_\sigma = 0{,}197/0{,}158 = 1{,}247;$
$n_\sigma = 0{,}197/0{,}158 = 1{,}247;$	$n_\sigma = 0{,}221/0{,}17 = 1{,}3;$
$n_\sigma = 0{,}231/0{,}176 = 1{,}31;$	$n_\sigma = 0{,}194/0{,}156 = 1{,}244;$
$n_\sigma = 0{,}183/0{,}15 = 1{,}22;$	

Усі отримані данні занесемо у таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Результат експерименту прокатки свинцевої штаби шириною B=75 мм, H=1,79, h=1,34.

	1	2	3	4	5	6	7
$n_{\sigma(в)}$	1,233	1,28	1,285	1,318	1,285	1,265	1,24
$n_{\sigma(н)}$	1,318	1,247	1,31	1,22	1,247	1,3	1,244
$S_{в}$	0,041	0,043	0,0435	0,0455	0,0435	0,0425	0,04
$S_{н}$	0,0455	0,0415	0,045	0,0395	0,415	0,0404	0,041
$f_{(в)}$	0,1557	0,167	0,168	0,179	0,168	0,162	0,155
$f_{(н)}$	0,179	0,158	0,176	0,15	0,158	0,17	0,156
$f_{п(в)}$	0,192	0,214	0,216	0,236	0,216	0,205	0,192
$f_{п(н)}$	0,236	0,197	0,231	0,183	0,197	0,221	0,194
$n_{\sigma(с)}$	1,276	1,264	1,298	1,27	1,266	1,283	1,242
$S_{(с)}$	0,0433	0,0423	0,0443	0,0425	0,0425	0,433	0,04
$f_{(с)}$	0,167	0,163	0,172	0,165	0,163	0,166	0,156
$f_{п(с)}$	0,214	0,206	0,224	0,21	0,207	0,213	0,193

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_{σ} для штаби шириною B=75 мм, початковою висотою H=1,77 мм та висотою після прокатки h=1,13 мм.

Усі отримані результати розрахунків занесемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результат експерименту прокатки свинцевої штаби шириною B=75 мм, H=1,79, h=1,13

	1	2	3	4	5	6	7
$n_{\sigma(в)}$	1,283	1,265	1,265	1,29	1,28	1,265	1,234
$n_{\sigma(н)}$	1,283	1,283	1,29	1,245	1,29	1,314	1,265
$S_{в}$	0,0545	0,0535	0,0535	0,056	0,055	0,0535	0,051
$S_{н}$	0,0545	0,0545	0,056	0,052	0,056	0,0575	0,0535
$f_{п(в)}$	0,19	0,186	0,186	0,197	0,192	0,186	0,174
$f_{п(н)}$	0,19	0,19	0,197	0,178	0,197	0,205	0,186
$f_{(в)}$	0,148	0,147	0,147	0,153	0,15	0,147	0,141
$f_{(н)}$	0,148	0,148	0,153	0,143	0,153	0,156	0,147
$n_{\sigma(с)}$	1,283	1,274	1,278	1,268	1,285	1,29	1,25
$S_{(с)}$	0,0545	0,054	0,0548	0,054	0,0555	0,0555	0,0523
$f_{(с)}$	0,19	0,188	0,192	0,188	0,195	0,196	0,18
$f_{п(с)}$	0,148	0,1475	0,15	0,148	0,152	0,152	0,144

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_σ для штаби шириною B=100 мм, початковою висотою H=1,79 мм та висотою після прокатки h=1,24 мм. Верхня частина штаби.

Розрахуємо абсолютне обтиснення, мм:

$$\Delta h = 1{,}79 - 1{,}24 = 0{,}55;$$

Довжина дуги контакту штаби з валками, мм:

$$ld = \sqrt{0{,}55 * 50} = 5{,}244;$$

Середні параметри осередку деформації в гладких валках характеризуються приблизно середньою висотою, мм:

$$h_{ср} = (1{,}79 + 1{,}24)/2 = 1{,}515;$$

Фактор форми:

$$l_d/h_{ср} = 5{,}244/1{,}515 = 3{,}461;$$

Випередження визначають методом кернових відбитків:

$S_1 = \frac{103{,}9 - 100}{100} = 0{,}039;$	$S_6 = \frac{103{,}75 - 100}{100} = 0{,}0375;$
$S_2 = \frac{103{,}6 - 100}{100} = 0{,}036;$	$S_7 = \frac{103{,}75 - 100}{100} = 0{,}0375;$
$S_3 = \frac{103{,}45 - 100}{100} = 0{,}0345;$	$S_8 = \frac{103{,}65 - 100}{100} = 0{,}0365;$
$S_4 = \frac{103{,}65 - 100}{100} = 0{,}0365;$	$S_9 = \frac{103{,}8 - 100}{100} = 0{,}038;$
$S_5 = \frac{103{,}8 - 100}{100} = 0{,}038;$	$S_{10} = \frac{103{,}7 - 100}{100} = 0{,}037;$

Кут контакту штаби з валками:

$$\alpha = \sqrt{0{,}55/50} = 0{,}105;$$

Кут критичного перерізу в осередку деформації, рад.:

1. $\gamma_1 = \sqrt{0{,}039 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}031;$	$\gamma_6 = \sqrt{0{,}0375 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0305;$
$\gamma_2 = \sqrt{0{,}036 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0298;$	$\gamma_7 = \sqrt{0{,}0375 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0305;$
$\gamma_3 = \sqrt{0{,}0345 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0292;$	$\gamma_8 = \sqrt{0{,}0365 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}03;$
$\gamma_4 = \sqrt{0{,}0365 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}03;$	$\gamma_9 = \sqrt{0{,}038 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0307;$
$\gamma_5 = \sqrt{0{,}038 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0307;$	10. $\gamma_{10} = \sqrt{0{,}037 \cdot 1{,}24/50} =$ $0{,}0303;$

Визначаємо показник і коефіцієнт тертя:

$$1.\ f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1 + 0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24} - 2\frac{0{,}031}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}149;$$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}031/0{,}105) = 0{,}128;$$

$$2.\ f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1 + 0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24} - 2\frac{0{,}0298}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}139;$$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0298/0{,}105) = 0{,}121;$$

$$3.\ f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1 + 0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24} - 2\frac{0{,}0292}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}1333;$$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0292/0{,}105) = 0{,}118;$$

4. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}03}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}1399;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}03/0{,}105) = 0{,}1225;$$

5. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0307}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}145;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0307/0{,}105) = 0{,}1264;$$

6. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0305}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}144;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0305/0{,}105) = 0{,}125;$$

7. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0305}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}144;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0305/0{,}105) = 0{,}125;$$

8. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}03}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}1399;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}03/0{,}105) = 0{,}1225;$$

9. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0307}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}145;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0307/0{,}105) = 0{,}1264;$$

10. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0303}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}142;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0303/0{,}105) = 0{,}1241;$$

Визначимо коефіцієнт напруженого стану n_σ:

$n_\sigma = 0{,}149/0{,}128 = 1{,}164;$	$n_\sigma = 0{,}144/0{,}125 = 1{,}152;$
$n_\sigma = 0{,}138/0{,}121 = 1{,}14;$	$n_\sigma = 0{,}144/0{,}125 = 1{,}152;$
$n_\sigma = 0{,}1333/0{,}118 = 1{,}1296;$	$n_\sigma = 0{,}1399/0{,}1225 = 1{,}142;$
$n_\sigma = 0{,}1399/0{,}1225 = 1{,}142;$	$n_\sigma = 0{,}145/0{,}1264 = 1{,}147;$
$n_\sigma = 0{,}145/0{,}1264 = 1{,}147;$	. $n_\sigma = 0{,}142/0{,}1241 = 1{,}144$

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_σ для нижньої частини штаби. Такі параметри, як абсолютне обтиснення Δh, довжина дуги

контакту ld, середня висота штаби $h_{\text{ср}}$, фактор форми $l_d/h_{\text{ср}}$ та кут контакту штаби з валками α - такі ж самі, як і для верхньої частини штаби.

Випередження визначають методом кернових відбитків:

$S_1 = \frac{103{,}8 - 100}{100} = 0{,}038;$	$S_6 = \frac{103{,}8 - 100}{100} = 0{,}038;$
$S_2 = \frac{103{,}85 - 100}{100} = 0{,}0385;$	$S_7 = \frac{103{,}9 - 100}{100} = 0{,}039;$
$S_3 = \frac{103{,}5 - 100}{100} = 0{,}035;$	$S_8 = \frac{103{,}8 - 100}{100} = 0{,}038;$
$S_4 = \frac{103{,}85 - 100}{100} = 0{,}0385;$	$S_9 = \frac{103{,}4 - 100}{100} = 0{,}034;$
$S_5 = \frac{103{,}6 - 100}{100} = 0{,}036;$	$S_{10} = \frac{103{,}55 - 100}{100} = 0{,}0355;$

Кут критичного перерізу в осередку деформації, рад.:

$\gamma_1 = \sqrt{0{,}038 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0307;$	$\gamma_6 = \sqrt{0{,}038 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0307;$
$\gamma_2 = \sqrt{0{,}0385 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0309;$	$\gamma_7 = \sqrt{0{,}039 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}031;$
$\gamma_3 = \sqrt{0{,}035 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0295;$	$\gamma_8 = \sqrt{0{,}038 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0307;$
$\gamma_2 = \sqrt{0{,}0385 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0309;$	$\gamma_9 = \sqrt{0{,}034 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}029;$
$\gamma_5 = \sqrt{0{,}036 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0298;$	$\gamma_{10} = \sqrt{0{,}0355 \cdot 1{,}24/50} = 0{,}0296;$

Визначаємо показник і коефіцієнт тертя:

1. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5 \ln(1 + 0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24} - 2\frac{0{,}0307}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}145;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0307/0{,}105) = 0{,}1264;$

2. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5 \ln(1 + 0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24} - 2\frac{0{,}0309}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}148;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0309/0{,}105) = 0{,}1276;$

3. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5 \ln(1 + 0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24} - 2\frac{0{,}0295}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}135;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0295/0{,}105) = 0{,}1198;$

4. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0309}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}148;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0309/0{,}105) = 0{,}1276;$

5. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0298}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}138;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0298/0{,}105) = 0{,}121;$

6. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0307}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}145;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0307/0{,}105) = 0{,}1264;$

7. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}031}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}1491;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}031/0{,}105) = 0{,}128;$

8. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0307}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}145;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0307/0{,}105) = 0{,}1264;$

9. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}029}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}131;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}029/0{,}105) = 0{,}1173;$

10. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}55/1{,}24)}{\sqrt{50/1{,}24}\left(arctg\sqrt{0{,}55/1{,}24}-2\frac{0{,}0296}{0{,}105}\sqrt{0{,}55/1{,}24}\right)} = 0{,}1366;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}105/(1 - 2 \cdot 0{,}0296/0{,}105) = 0{,}12;$

Визначемо коефіцієнт напруженого стану n_σ:

$n_\sigma = 0{,}145/0{,}1264 = 1{,}147;$	$n_\sigma = 0{,}145/0{,}1264 = 1{,}147;$
$n_\sigma = 0{,}148/0{,}1276 = 1{,}1598;$	$n_\sigma = 0{,}1491/0{,}128 = 1{,}163;$
$n_\sigma = 0{,}135/0{,}1198 = 1{,}126;$	$n_\sigma = 0{,}145/0{,}1264 = 1{,}147;$
$n_\sigma = 0{,}148/0{,}1276 = 1{,}1598;$	$n_\sigma = 0{,}132/0{,}1173 = 1{,}1236;$
$n_\sigma = 0{,}138/0{,}121 = 1{,}14;$	. $n_\sigma = 0{,}1366/0{,}12 = 1{,}138;$

Усі отримані дані розрахунків занесемо до таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Результат експерименту прокатки свинцевої штаби шириною B=100 мм, H=1,79, h=1,24.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_{\sigma(в)}$	1,24	1,23	1,24	1,24	1,23	1,24	1,25	1,28	1,25	1,23
$n_{\sigma(н)}$	1,24	1,25	1,28	1,2	1,28	1,23	1,24	1,28	1,22	1,266
$S_{в}$	0,054	0,0525	0,0545	0,0545	0,0535	0,0545	0,0565	0,058	0,055	0,0535
$S_{н}$	0,054	0,055	0,058	0,053	0,0585	0,0525	0,054	0,0535	0,052	0,056
$f_{п(н)}$	0,174	0,167	0,174	0,174	0,17	0,174	0,18	0,187	0,177	0,17
$f_{п(н)}$	0,174	0,177	0,187	0,168	0,19	0,169	0,174	0,191	0,167	0,181
$f_{(в)}$	0,14	0,136	0,14	0,14	0,136	0,14	0,144	0,146	0,142	0,138
$f_{(н)}$	0,14	0,142	0,146	0,14	0,148	0,137	0,14	0,148	0,137	0,143
$n_{\sigma(с)}$	1,24	1,24	1,26	1,22	1,255	1,235	1,245	1,28	1,235	1,248
$S_{(с)}$	0,054	0,0553	0,0563	0,0538	0,056	0,0535	0,0553	0,0535	0,0535	0,0548
$f_{(с)}$	0,174	0,172	0,181	0,171	0,18	0,172	0,177	0,172	0,172	0,176
$f_{п(с)}$	0,14	0,139	0,143	0,14	0,143	0,139	0,142	0,14	0,14	0,141

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_{σ} для штаби шириною B=100 мм, початковою висотою H=1,82 мм та висотою після прокатки h=1,02 мм.

Усі отримані дані розрахунків занесемо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результат експерименту прокатки свинцевої штаби шириною B=100 мм, H=1,79, h=1,02.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_{\sigma(в)}$	1,164	1,14	1,13	1,142	1,147	1,152	1,152	1,142	1,147	1,144
$n_{\sigma(н)}$	1,147	1,16	1,126	1,16	1,14	1,147	1,163	1,147	1,124	1,138
$S_{в}$	0,039	0,036	0,0345	0,0365	0,038	0,0375	0,0375	0,0365	0,038	0,037
$S_{н}$	0,038	0,0385	0,035	0,0385	0,036	0,038	0,038	0,038	0,034	0,0355
$f_{(в)}$	0,128	0,121	0,118	0,123	0,1264	0,125	0,123	0,034	0,126	0,124
$f_{(н)}$	0,1264	0,128	0,12	0,128	0,121	0,1264	0,1264	0,1264	0,117	0,12
$f_{п(в)}$	0,149	0,138	0,133	0,14	0,145	0,144	0,14	0,14	0,145	0,142
$f_{п(н)}$	0,145	0,148	0,135	0,148	0,138	0,145	0,145	0,145	0,132	0,137
$n_{\sigma(с)}$	1,156	1,15	1,128	1,151	1,144	1,15	0,145	1,145	0,136	0,141
$S_{(с)}$	0,0385	0,0372	0,0368	0,0375	0,037	0,0378	0,0375	0,0373	0,036	0,0363
$f_{(с)}$	0,127	0,1245	0,119	0,1255	0,124	0,126	0,125	0,125	0,122	0,112
$f_{п(с)}$	0,147	0,143	0,134	0,144	0,142	0,145	0,143	0,143	0,139	0,14

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_σ для штаби шириною В=130 мм, початковою висотою Н=1,82 мм та висотою після прокатки h=1,26 мм. Верхня частина штаби.

Розрахуємо абсолютне обтиснення:

$$\Delta h = 1{,}82 - 1{,}36 = 0{,}46;$$

Довжина дуги контакту штаби з валками, мм:

$$ld = \sqrt{0{,}46 * 50} = 4{,}79;$$

Середні параметри осередку деформації в гладких валках характеризуються приблизно середньою висотою, мм:

$$h_{ср} = (1{,}82 + 1{,}36)/2 = 1{,}59;$$

Фактор форми:

$$l_d/h_{ср} = 4{,}79/1{,}59 = 3{,}01;$$

Випередження визначають методом кернових відбитків:

1. $S_1 = \frac{103{,}75 - 100}{100} = 0{,}0375;$	8. $S_8 = \frac{104{,}35 - 100}{100} = 0{,}0435;$
2. $S_2 = \frac{103{,}9 - 100}{100} = 0{,}039;$	9. $S_9 = \frac{104{,}2 - 100}{100} = 0{,}042;$
3. $S_3 = \frac{104{,}35 - 100}{100} = 0{,}0435;$	10. $S_{10} = \frac{104{,}5 - 100}{100} = 0{,}045;$
4. $S_4 = \frac{104{,}25 - 100}{100} = 0{,}0425;$	11. $S_{11} = \frac{104{,}2 - 100}{100} = 0{,}042;$
5. $S_5 = \frac{104 - 100}{100} = 0{,}04;$	12. $S_{12} = \frac{104{,}2 - 100}{100} = 0{,}042;$
6. $S_6 = \frac{104{,}05 - 100}{100} = 0{,}0405;$	13. $S_{13} = \frac{104{,}2 - 100}{100} = 0{,}042;$

7. $S_7 = \frac{104{,}1 - 100}{100} = 0{,}041;$	

Кут контакту штаби з валками:

$$\alpha = \sqrt{0{,}46/50} = 0{,}096;$$

Кут критичного перерізу в осередку деформації, рад.:

$\gamma_1 = \sqrt{0{,}0375 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0319;$	$\gamma_8 = \sqrt{0{,}0435 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03439;$
$\gamma_2 = \sqrt{0{,}039 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03256;$	$\gamma_9 = \sqrt{0{,}042 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0338;$
$\gamma_3 = \sqrt{0{,}0435 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03439;$	$\gamma_{10} = \sqrt{0{,}045 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03498;$
$\gamma_4 = \sqrt{0{,}0425 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}034;$	$\gamma_{11} = \sqrt{0{,}042 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0338;$
$\gamma_5 = \sqrt{0{,}04 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03298;$	$\gamma_{12} = \sqrt{0{,}042 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0338;$
$\gamma_6 = \sqrt{0{,}0405 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03319;$	$\gamma_{13} = \sqrt{0{,}042 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0338;$
$\gamma_7 = \sqrt{0{,}041 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03339;$	

Визначаємо показник і коефіцієнт тертя:

$$1.\ f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1 + 0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}0319}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}171;$$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0319/0{,}12) = 0{,}143;$$

$$2.\ f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1 + 0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}03256}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}181;$$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03256/0{,}12) = 0{,}149;$$

$$3.\ f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1 + 0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}03439}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}218;$$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03439/0{,}12) = 0{,}169;$$

$$4.\ f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1 + 0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}034}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}209;$$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}034/0{,}12) = 0{,}164;$$

5. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}03298}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}188;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03298/0{,}12) = 0{,}153;$

6. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}03319}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}193;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03319/0{,}12) = 0{,}153;$

7. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}03339}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}196;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03339/0{,}12) = 0{,}158;$

8. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}03439}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}218;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03439/0{,}12) = 0{,}169;$

9. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}0338}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}204;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0338/0{,}12) = 0{,}1623;$

10. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}03498}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}244;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03498/0{,}12) = 0{,}169;$

11. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}0338}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}204;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0338/0{,}12) = 0{,}1623;$

12. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}0338}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}204;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0338/0{,}12) = 0{,}1623;$

13. $f_{\text{П}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}0338}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}204;$

$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0338/0{,}12) = 0{,}1623;$

Визначемо коефіцієнт напруженого стану n_σ:

$n_\sigma = 0{,}171/0{,}143 = 1{,}196;$	$n_\sigma = 0{,}218/0{,}169 = 1{,}29;$
$n_\sigma = 0{,}181/0{,}149 = 1{,}215;$	$n_\sigma = 0{,}204/0{,}1623 = 1{,}256;$
$n_\sigma = 0{,}218/0{,}169 = 1{,}29;$	. $n_\sigma = 0{,}244/0{,}169 = 1{,}444;$

$n_\sigma = 0{,}209/0{,}164 = 1{,}274;$	$.n_\sigma = 0{,}204/0{,}1623 = 1{,}256;$
$n_\sigma = 0{,}188/0{,}153 = 1{,}229;$	$.n_\sigma = 0{,}204/0{,}1623 = 1{,}256;$
$n_\sigma = 0{,}193/0{,}153 = 1{,}245;$	$.n_\sigma = 0{,}204/0{,}1623 = 1{,}256;$
$n_\sigma = 0{,}196/0{,}158 = 1{,}24;$	

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_σ для нижньої частини штаби. Такі параметри, як абсолютний обтиснення Δh, довжина дуги контакту ld, середня висота штаби $h_{\text{ср}}$, фактор форми $l_d/h_{\text{ср}}$ та кут контакту штаби з валками α - такі ж самі, як і для верхньої частини штаби.

Випередження визначають методом кернових відбитків:

$S_1 = \frac{104{,}35 - 100}{100} = 0{,}0435;$	$S_8 = \frac{104{,}4 - 100}{100} = 0{,}044;$
$S_2 = \frac{104{,}55 - 100}{100} = 0{,}0455;$	$S_9 = \frac{104{,}25 - 100}{100} = 0{,}0425;$
$S_3 = \frac{104{,}55 - 100}{100} = 0{,}0455;$	$. S_{10} = \frac{104{,}25 - 100}{100} = 0{,}0425;$
$S_4 = \frac{104{,}4 - 100}{100} = 0{,}044;$	$. S_{11} = \frac{104{,}15 - 100}{100} = 0{,}0415;$
$S_5 = \frac{104{,}45 - 100}{100} = 0{,}0445;$	$. S_{12} = \frac{103{,}95 - 100}{100} = 0{,}0395;$
$S_6 = \frac{104{,}35 - 100}{100} = 0{,}0435;$	$. S_{13} = \frac{104{,}5 - 100}{100} = 0{,}045;$
$S_7 = \frac{104{,}3 - 100}{100} = 0{,}043;$	

Кут критичного перерізу в осеердку деформації, рад.:

$\gamma_1 = \sqrt{0{,}0435 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03439;$	$\gamma_8 = \sqrt{0{,}044 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0346;$
$\gamma_2 = \sqrt{0{,}0455 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03518;$	$\gamma_9 = \sqrt{0{,}0425 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}034;$
$\gamma_3 = \sqrt{0{,}0455 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03518;$	$\gamma_{10} = \sqrt{0{,}0425 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}034;$
$\gamma_4 = \sqrt{0{,}044 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0346;$	$\gamma_{11} = \sqrt{0{,}0415 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0336;$
	$\gamma_{12} = \sqrt{0{,}0395 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03278;$
	$\gamma_{13} = \sqrt{0{,}045 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}03498;$

$\gamma_5 = \sqrt{0{,}0445 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0347;$ $\gamma_6 = \sqrt{0{,}0435 \cdot 1{,}36/50} =$ $0{,}03439;$ $\gamma_7 = \sqrt{0{,}043 \cdot 1{,}36/50} = 0{,}0342;$	

Визначаємо показник і коефіцієнт тертя:

1. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}03439}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}218;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03439/0{,}096) = 0{,}169;$$

2. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}03518}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}238;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03518/0{,}096) = 0{,}179;$$

3. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}03518}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}238;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03518/0{,}096) = 0{,}179;$$

4. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}0346}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}223;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0346/0{,}096) = 0{,}172;$$

5. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}0347}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}2258;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0347/0{,}096) = 0{,}173;$$

6. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}03439}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}218;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03439/0{,}096) = 0{,}169;$$

7. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}0342}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}213;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0342/0{,}096) = 0{,}167;$$

8. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36} - 2\frac{0{,}0346}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}223;$

$$\text{f} = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0346/0{,}096) = 0{,}172;$$

9. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}034}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}209;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}034/0{,}096) = 0{,}1645;$$

10. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}034}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}209;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}034/0{,}096) = 0{,}1645;$$

11. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}0336}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}2;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}0336/0{,}096) = 0{,}16;$$

12. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}03278}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}1851;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03278/0{,}096) = 0{,}151;$$

13. $f_{\text{п}} = \frac{0{,}5\ln(1+0{,}46/1{,}36)}{\sqrt{50/1{,}36}\left(arctg\sqrt{0{,}46/1{,}36}-2\frac{0{,}03498}{0{,}096}\sqrt{0{,}46/1{,}36}\right)} = 0{,}244;$

$$f = 0{,}5 \cdot 0{,}096/(1 - 2 \cdot 0{,}03498/0{,}096) = 0{,}169;$$

Визначемо коефіцієнт напруженого стану n_σ:

$n_\sigma = 0{,}218/0{,}169 = 1{,}29;$	$n_\sigma = 0{,}223/0{,}172 = 1{,}297;$
$n_\sigma = 0{,}238/0{,}179 = 1{,}33;$	$n_\sigma = 0{,}209/0{,}1645 = 1{,}27;$
$n_\sigma = 0{,}238/0{,}179 = 1{,}33;$	. $n_\sigma = 0{,}209/0{,}1645 = 1{,}27;$
$n_\sigma = 0{,}223/0{,}172 = 1{,}297;$	.$n_\sigma = 0{,}2/0{,}16 = 1{,}25;$
$n_\sigma = 0{,}2258/0{,}173 = 1{,}3;$	.$n_\sigma = 0{,}1851/0{,}151 = 1{,}223;$
$n_\sigma = 0{,}218/0{,}169 = 1{,}29;$	.$n_\sigma = 0{,}244/0{,}169 = 1{,}444;$
$n_\sigma = 0{,}213/0{,}167 = 1{,}275;$	

Усі отримані дані розрахунків занесемо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результат експерименту прокатки свинцевої штаби шириною B=130 мм, H=1,82, h=1,36.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_{\sigma(\text{в})}$	1,96	1,215	1,29	1,274	1,229	1,245	1,24	1,29	1,256	1,444
$n_{\sigma(\text{н})}$	1,29	1,33	1,33	1,297	1,3	1,29	1,275	1,297	1,27	1,27
$S_{\text{в}}$	0,0375	0,039	0,0435	0,0425	0,04	0,0405	0,041	0,0435	0,042	0,045

$S_{н}$	0,0435	0,0455	0,0455	0,044	0,0445	0,0435	0,043	0,044	0,0425	0,0425
$f_{п(в)}$	0,171	0,181	0,218	0,209	0,188	0,193	0,196	0,218	0,204	0,244
$f_{п(н)}$	0,218	0,238	0,238	0,223	0,226	0,218	0,213	0,223	0,209	0,209
$f_{(в)}$	0,143	0,149	0,269	0,164	0,153	0,153	0,158	0,169	0,162	0,169
$f_{(н)}$	0,169	0,179	0,179	0,172	0,173	0,169	0,167	0,172	0,165	0,165

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

$n_{\sigma(с)}$	1,243	1,273	1,31	1,286	1,265	1,268	1,258	1,294	1,263	1,355
$S_{(с)}$	0,0405	0,0423	0,0445	0,0433	0,0423	0,042	0,042	0,0438	0,0423	0,0438
$f_{п(с)}$	0,195	0,21	0,228	0,216	0,207	0,206	0,205	0,221	0,207	0,227
$f_{(с)}$	0,156	0,164	0,174	0,168	0,163	0,161	0,163	0,171	0,164	0,167

Продовження таблиці 2.5

	11	12	13
$n_{\sigma(в)}$	1,256	1,256	1,256
$n_{\sigma(н)}$	1,25	1,22	1,44
$S_{в}$	0,042	0,042	0,042
$S_{н}$	0,0425	0,0395	0,045
$f_{п(в)}$	0,204	0,204	0,204
$f_{п(н)}$	0,2	0,185	0,244
$f_{(в)}$	0,162	0,162	0,162
$f_{(н)}$	0,16	0,151	0,169
$n_{\sigma(с)}$	1,253	1,238	1,348
$S_{(с)}$	0,0428	0,0408	0,0435
$f_{п(с)}$	0,202	0,195	0,224
$f_{(с)}$	0,161	0,157	0,266

Аналогічно розрахуємо коефіцієнт напруженого стану n_{σ} для штаби шириною В=130 мм, початковою висотою Н=1,82 мм та висотою після прокатки h=1,26 мм.

Усі отримані дані занесемо до таблиці 2.6.

$n_{\sigma(в)}$	1,37	1,39	1,4	1,41	1,4	1,368	1,39	1,4	1,41	1,46
$n_{\sigma(н)}$	1,41	1,42	1,47	1,477	1,386	1,41	1,4	1,42	1,41	1,368
$S_{в}$	0,055	0,056	0,057	0,0575	0,057	0,0545	0,056	0,057	0,0575	0,0595
$S_{н}$	0,0575	0,058	0,06	0,0605	0,0555	0,0575	0,057	0,058	0,0575	0,0545
$f_{п(в)}$	0,222	0,231	0,236	0,238	0,236	0,221	0,231	0,236	0,238	0,257
$f_{п(н)}$	0,238	0,243	0,226	0,263	0,226	0,238	0,236	0,243	0,238	0,221
$f_{(в)}$	0,162	0,166	0,168	0,169	0,168	0,161	0,166	0,168	0,169	0,176
$f_{(н)}$	0,169	0,171	0,177	0,178	0,163	0,169	0,168	0,171	0,169	0,161
$n_{\sigma(с)}$	1,39	1,405	1,435	1,444	1,393	1,39	1,395	1,41	1,41	1,414
$S_{(с)}$	0,0562	0,057	0,0585	0,059	0,0562	0,056	0,0565	0,0575	0,0575	0,057
$f_{п(с)}$	0,23	0,237	0,248	0,251	0,231	0,229	0,234	0,239	0,238	0,239
$f_{(с)}$	0,165	0,168	0,172	0,173	0,165	0,165	0,167	0,17	0,169	0,168

Таблиця 2.6 – Результат експерименту прокатки свинцевої штаби шириною B=130 мм, H=1,82, h=1,26.

Продовження таблиці 2.6

	11	12	13
$n_{\sigma(в)}$	1,46	1,41	1,39
$n_{\sigma(н)}$	1,386	1,352	1,386
$S_{в}$	0,0595	0,0575	0,0565
$S_{н}$	0,0555	0,054	0,0555
$f_{п(в)}$	0,257	0,238	0,232
$f_{п(н)}$	0,226	0,215	0,226
$f_{(в)}$	0,176	0,169	0,166
$f_{(н)}$	0,163	0,159	0,163
$n_{\sigma(с)}$	1,423	1,381	1,388
$S_{(с)}$	0,0575	0,0558	0,056
$f_{п(с)}$	0,241	0,227	0,229
$f_{(с)}$	0,169	0,164	0,165

Використовуючи результати розрахунків побудуємо графіки 2.1 – 2.5 та зробимо висновки

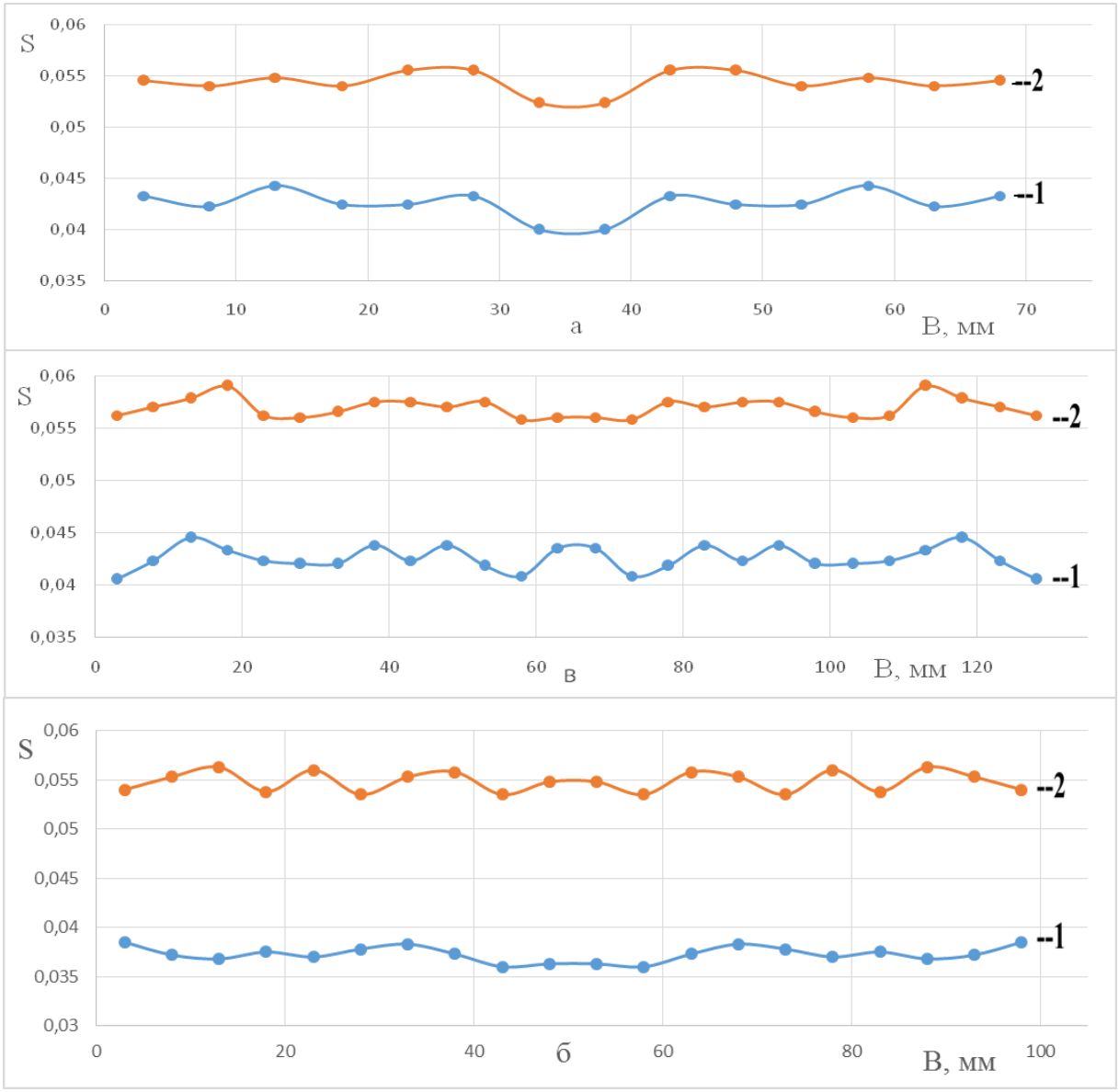


Рисунок 2.1 – Графіки розподілу випередження S по ширині свинцевої штаби B: а - штаби шириною B=75 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 20\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 36\%$; б - штаби шириною B=100 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 30\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 40\%$; в - Штаби шириною B=130 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 25\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 34\%$;

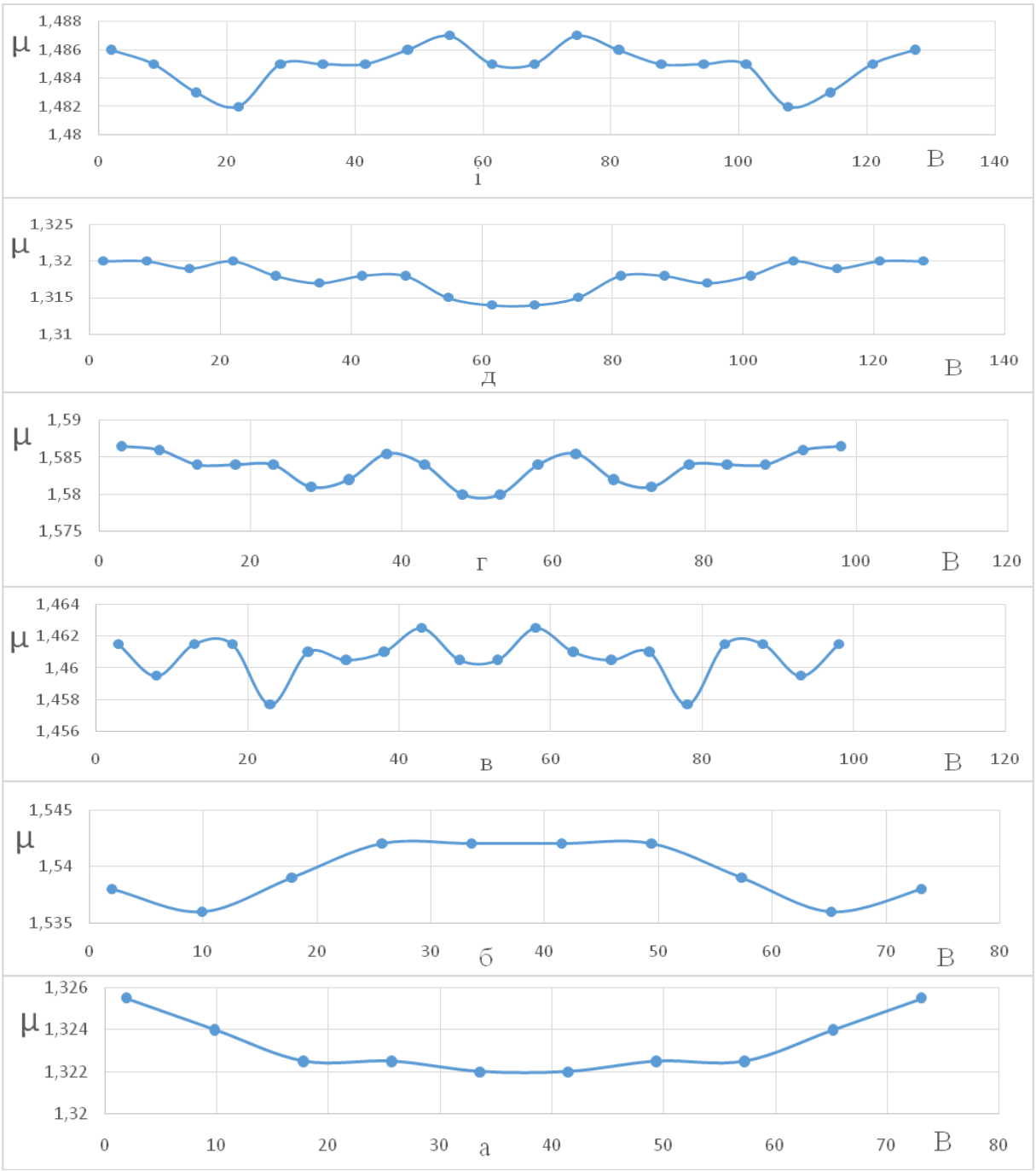


Рисунок 2.2 – Розподіл коефіцієнту витягування (μ) по ширині свинцевої штаби (В) ($\varepsilon = 34\%$).: а - 75 мм ($\varepsilon = 20\%$); б - 75 мм ($\varepsilon = 36\%$); в - 100 мм ($\varepsilon = 30\%$); г - 100 мм ($\varepsilon = 40\%$); д - 130 мм ($\varepsilon = 25\%$); і - 130 мм

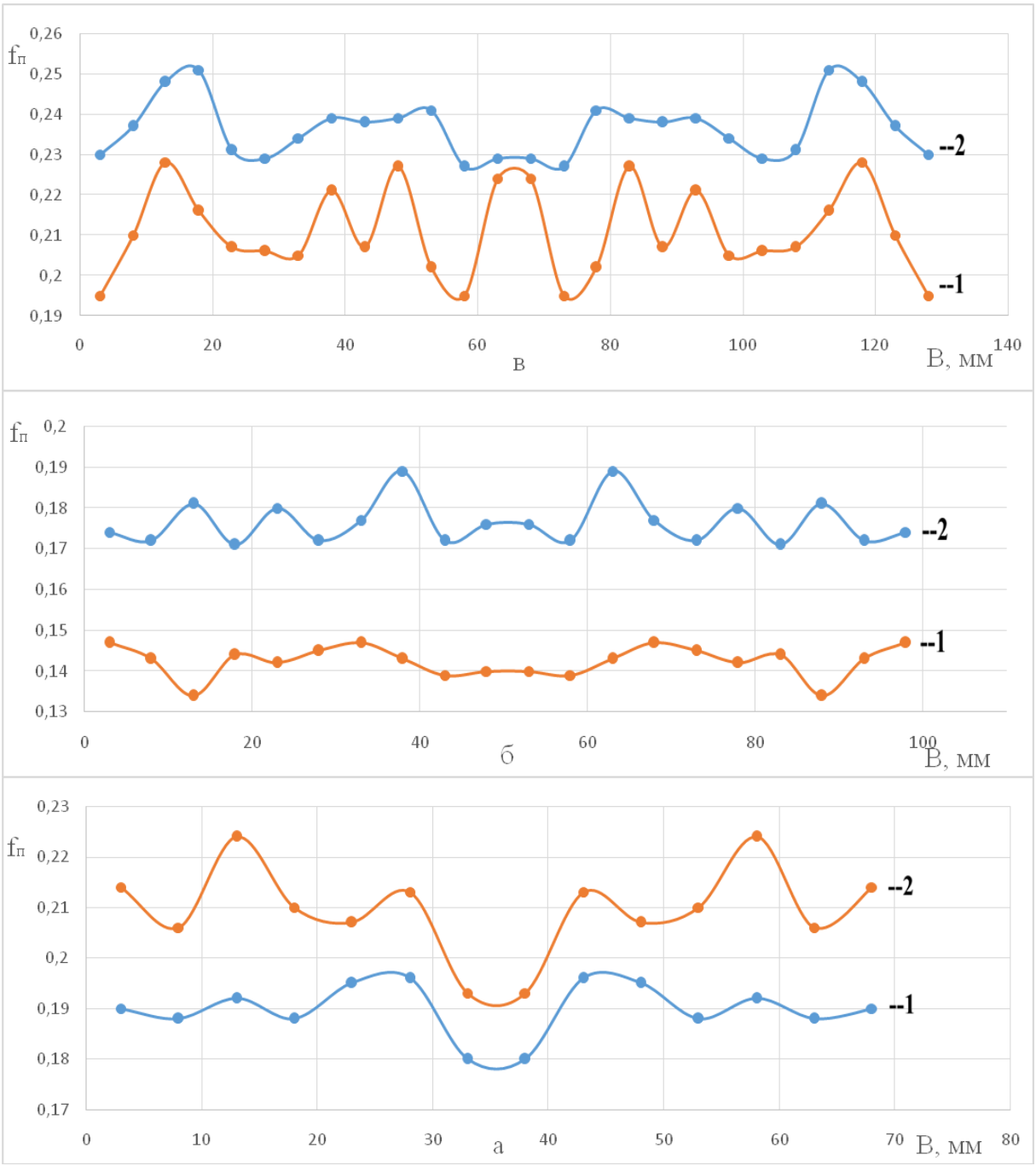


Рисунок 2.3 – Розподіл показника тертя $f_п$ по ширині свинцевої штаби В: а-штаби шириною В=75 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 20\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 36\%$; б - штаби шириною В=100 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 30\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 40\%$; в - штаби шириною В=130 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 25\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 34\%$;

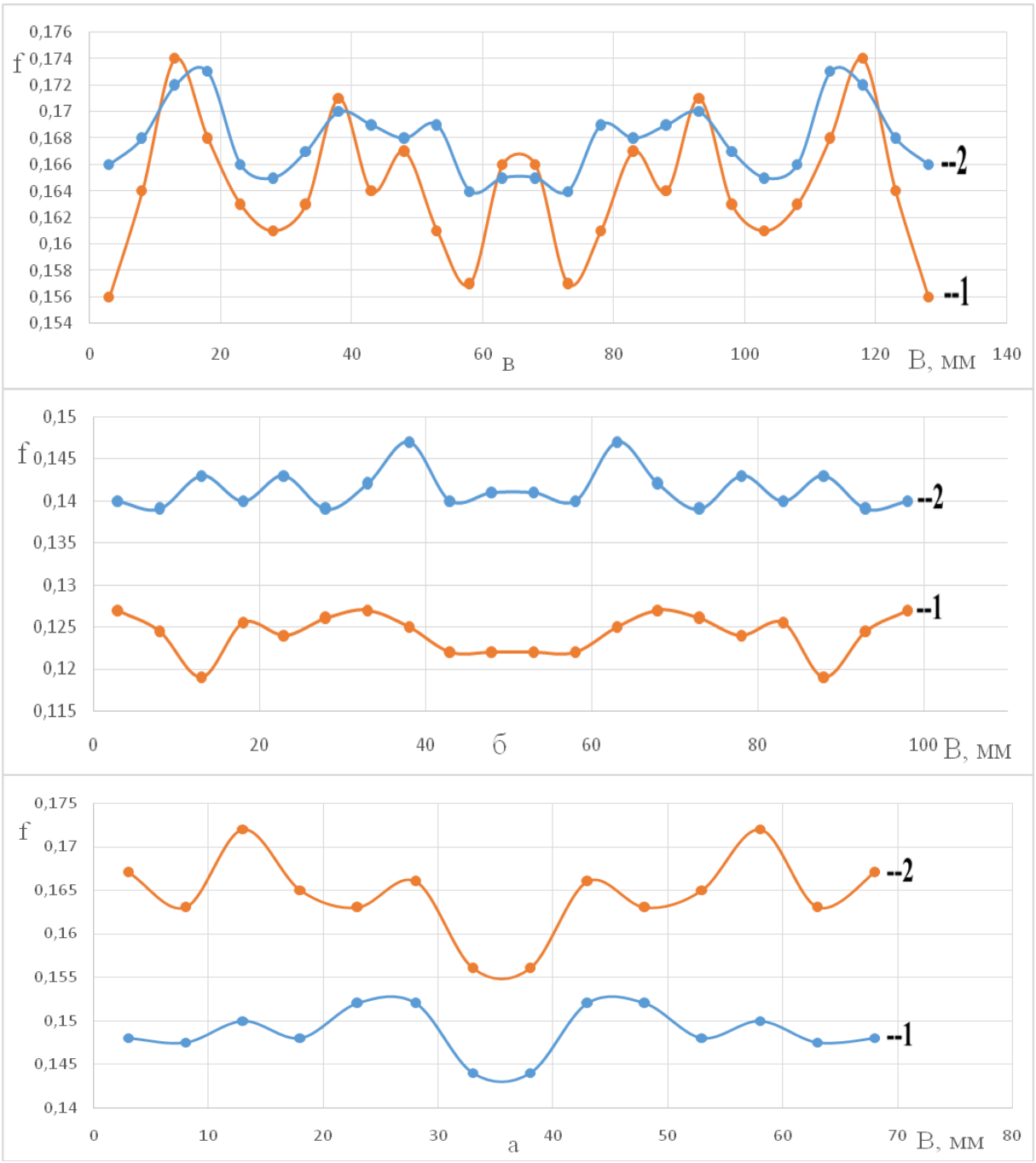


Рисунок 2.4 – Розподіл коефіцієнту тертя f по ширині свинцевої штаби В: а - штаби шириною В=75 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 20\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 36\%$; б - штаби шириною В=100 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 30\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 40\%$; в - штаби шириною В=130 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 25\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 34\%$;

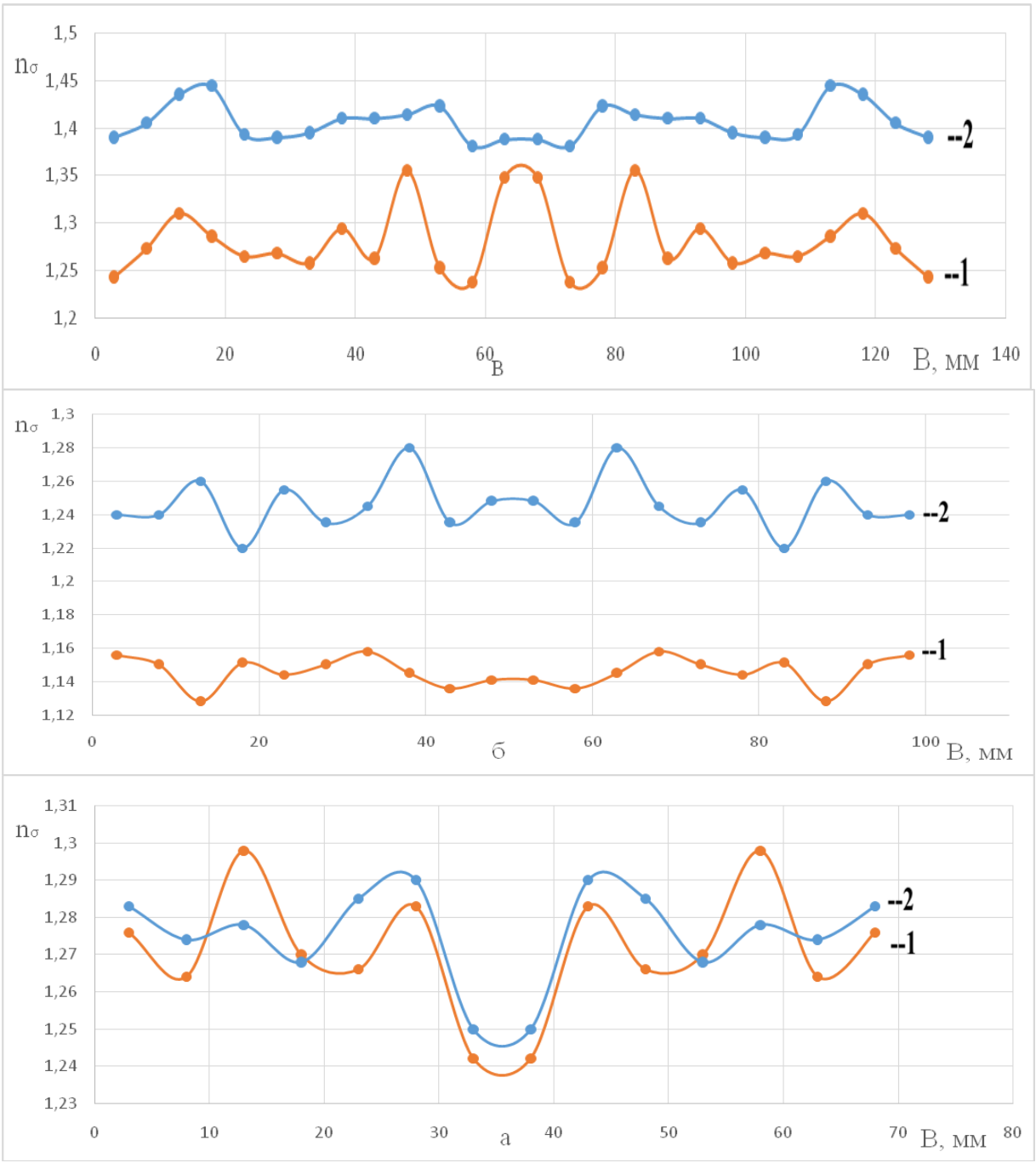


Рисунок 2.5 – Розподіл коефіцієнта напруженого стану n_σ по ширині свинцевої штаби В: а - штаби шириною В=75 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 20\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 36\%$; б - штаби шириною В=100 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 30\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 40\%$; в - штаби шириною В=130 мм: 1 – відносне обтиснення $\varepsilon = 25\%$; 2 – відносне обтиснення $\varepsilon = 34\%$;

З рисунку 2.1 видно, що зі збільшенням ширини штаби та зі збільшенням обтиснення розподіл випередження S стає більш нерівномірним, спостерігається постійне збільшення випередження S на краях штаби, також можна зробити висновок, що зі збільшенням ширини штаби випередження S по центру збільшується, наприклад на штабах 75 мм випередження S було найменше по центру ніж на краях, але зі збільшенням ширини воно поступово збільшувалось, і вже на штабі шириною 130 мм з відносним обтисненням $\varepsilon = 34\%$ випередження S майже пікове і не відстає від країв штаби.

Також ця нерівномірність впливає на розподіл коефіцієнту тертя f по ширині штаби (рис. 2.4). На рис. 2.4 (а) на кривій 2 зі збільшенням обтиснення спостерігається найбільше значення коефіцієнту тертя f на краях штаби, а в центрі штаби різкий спад до мінімальних значень. Але зі збільшенням ширини коефіцієнт тертя f в центрі штаби починає зрости (рис. 2.4, б), а при ширині штаби 130 мм коефіцієнт тертя f (рис. 2.4, в) в центрі штаби набуває великих значень. Аналогічно коефіцієнту тертя f розподіляється показник тертя $f_п$ (рис. 2.3). При найменшій ширині штаби 75 мм спостерігається різкий спад коефіцієнту напруженого стану n_σ в центрі штаби, а на краях- найбільші значення (рис. 2.5, а). Але зі збільшенням ширини штаби найбільші значення коефіцієнту напруженого стану n_σ вже спостерігаються ближче до центру штаби (рис. 2.5, б), і починають вирівнюватись значення показника напруженого стану в центрі штаби. А при максимальній ширині штаби 130 мм (рис. 2.5, в) з максимальним обтиском ε=34% спостерігаються пікові значення коефіцієнту напруженого стану n_σ.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Безпека умов праці на робочому місці визначається наявністю небезпечних та шкідливих виробничих факторів (ОВПФ), які можуть виникнути при виконанні технологічних операцій або видів робіт (ГОСТ12.0.003-2015). При цьому враховуються джерела механічних травм; джерела шуму, вібрації, іонізуючих випромінювань; визначаються умови мікроклімату у приміщеннях; оцінюється освітленість у приміщеннях та на конкретному робочому місці; визначається можливість отримання електротравм; досліджується токсичність застосовуваних речовин; проводиться оцінка пожежно- та вибухонебезпечності об'єкта; визначається можливість використання вантажопідіймальних машин та механізмів, а також судин, що знаходяться під тиском.

Ідентифікація небезпечних та шкідливих виробничих *факторів*- це розпізнавання небезпек, встановлення причин їх виникнення, просторових та тимчасових характеристик небезпек, ймовірності, величини та наслідків їх появи.

Практика давно виявила та закріпила виділення з усієї сукупності виробничих факторів два найбільш важливі та найбільш загальні типи несприятливо діючих виробничих факторів – небезпечні виробничі фактори (ОПФ) та шкідливі виробничі фактори (ВПФ).

Небезпечним називається виробничий фактор, вплив котрого на працюючого в певних умовах призводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я.

Шкідливим називається виробничий фактор, вплив котрого на працюючого в певних умовах призводить до поступового погіршення здоров'я, професійного захворювання або зниження працездатності.

Класифікації небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які встановлюються ГОСТ12.0.003-2015, можуть бути використані.

безпосередньо при побудові методик ідентифікації ОВПФ та оцінки ризику їх впливу на організм працюючих, а також можуть послужити основою розробки конкретних нормативних актів та (або) класифікаторів.

Усі виробничі чинники у сфері свого походження поділяють на дві основні групи:

- фактори виробничого середовища;
- фактори трудового процесу.

З усієї сукупності виробничих факторів з метою безпеки праці *за критерієм можливості заподіяння шкоди організму* працюючої людини виділяють:

- несприятливі виробничі фактори;
- виробничі фактори, що не є несприятливими, тобто нейтральної чи сприятливої дії.

Саме *несприятливі* виробничі фактори щодо результативного впливу на організм працюючої людини поділяють на *шкідливі* виробничі фактори та *небезпечні* виробничі чинники.

Один і той же за своєю природою несприятливий виробничий фактор за різних характеристик впливу може виявитися або шкідливим, або небезпечним, а тому логічна межа між ними умовна.

Шкідливі виробничі фактори *за впливом на організм* працюючу людину поділяють:

- на фактори, що призводять до хронічних захворювань, у тому числі посилюючі вже наявні захворювання, за рахунок тривалого щодо низькоінтенсивного впливу;

- фактори, що призводять до гострих захворювань (отруєнь,травм або за рахунок короткочасного (одиночного) та/або практично миттєвого) щодо високоінтенсивного впливу.

Небезпечні виробничі фактори *за впливом на організм* працюючу людину поділяють:

- на фактори, що призводять до смертельних травм (летального виходу, смерті);

- фактори, що призводять до несмертельних травм. ОВПФ *за характером свого походження* підрозділяють:

- на фактори, що породжуються фізичними властивостями та характерисками стану матеріальних об'єктів виробничого середовища;

- фактори, що породжуються хімічними та фізико-хімічними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються або перебувають у робочій зоні;

- фактори, що породжуються біологічними властивостями мікроорганізмів, що перебувають у біооб'єктах та (або) забруднюючих матеріальні об'єкти виробничого середовища;

- фактори, що породжуються поведінковими реакціями і захисні механізмами живих істот (укуси, ужалювання, викид отруйних або інших захисних речовин тощо);

- фактори, що породжуються соціально-економічними та організаційно-управлінськими умовами здійснення трудової діяльності (погана організація робіт, низька культура безпеки тощо);

- фактори, що породжуються психічними та фізіологічними властивостями та особливостями людського організму та особистості працюючого (погане самопочуття працівника, знаходження працівників у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння або абсистенції, втрата концентрації уваги працівниками тощо).

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером їх *зміни у часі* підрозділяють:

— на постійні, у тому числі квазіпостійні;

— змінні, у тому числі періодичні;імпульсні, зокрема регулярні випадкові.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером їх *дії у часі* підрозділяють:

- на постійно діючі;
- періодично діючі, зокрема інтермітуючі;

— Аперіодично діючі, у тому числі стохастичні. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером їх *дії у просторі* підрозділяють:

- на постійно локалізовані у джерелі свого виникнення;

— локалізовані при нормальних ситуаціях, але розлітаються (які рухаються, розповсюджуються) у просторі виробничого середовища при аварійних ситуаціях;

— що поширюються (які рухаються) разом з рухом повітря у виробничому середовищі;

- що поширюються (які рухаються) через виробничу середовище чи інший простір у вигляді матеріальних об'єктів, включаючи газові струмені;
- Розповсюджувані (пронизливі) виробничу середу випромінювання та хвилі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером їх *просторового розподілу* підрозділяють:

- на просторово розподілені (у полі дії яких знаходиться людина, її робоче місце іт. п.);
- зважені або розчинені в повітрі (або здатні перейти в газоподібний або аерозольний стан) і є його компонентом;
- зважені або розчинені в рідині і є її компонентою;
- утворюють локально обмежені тверді макрооб'ємні об'єкти;

— що містяться в локальних макрооб'ємних, що обмежують їх. об'єктах.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори *по безпосередності свого впливу* підрозділяють:

— на безпосередньо впливають на організм зайнятого трудом людини;

— опосередковано впливають на організм зайнятого працею людини через інші породжувані ними і безпосередньо впливають на організм

зайнятого працею людини фактори.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером *взаємної дії при багатофакторному впливі* на організм людину поділяють:

- на незалежно діючі;
- сумарно діючі;
- синергетично діючі;
- антагоністично діючі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером *виявлення їх організмом* підрозділяють:

- на органолептично (наприклад, світло/темрява, шум, вібрація, запах, смак, тепло/холод, тяжкість, слизькість, шорсткість тощо);

- невиявлені органолептично (наприклад, газоподібні речовини без смаку, кольору, запаху; електричний потенціал тощо).

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори виробничого середовища за джерелом своїм *походження* підрозділяють:

- на природні (включаючи кліматичні та погодні умови на робочому місці);
- техніко-технологічні;
- Ергономічні (тобто пов'язані з фізіологією організму дюдини).

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори виробничого середовища *по природі їх впливу* на організм працюючої людини поділяють:

- на фактори, вплив яких носить фізичну природу;
- фактори, вплив яких носить хімічну природу;
- фактори, вплив яких носить біологічну природу. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори трудового процесу *за джерелом* походження поділяють:
- на психофізіологічні;
- організаційно-управлінські;
- особистісно-поведінкові (тобто пов'язані з самим працюючим);
- соціально-економічні.

3.1 Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що мають властивості фізичного впливу на організм людини

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що мають властивості фізичного впливу на організм працюючої людини, поділяють на такі типові групи:

а) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані із силами та енергією механічного руху, у тому числі в полі тяжкості:

1) невагомість, тобто відсутність нормального значення сили тяги, що змінює динаміку та кінематику руху, а також характер механічної роботи внутрішніх органів людського організму;

2) перевантаження, тобто наявність додаткових до сили тяжіння інерційних масових сил, що змінюють динаміку та кінематику руху, а також характер механічної роботи внутрішніх органів людського організму;

3) дія сили тяжкості в тих випадках, коли вона може викликати падіння твердих, сипких, рідких об'єктів;

4) дія сили тяжкості в тих випадках, коли вона може викликати падіння працюючого, що стоїть на опорній поверхні, на цю ж опорну поверхню;

5) дія сили тяжкості в тих випадках, коли вона може викликати падіння працюючого з висоти;

6) нерухомі ріжучі, колючі, обдираючі, розривні (наприклад, гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання) частини твердих об'єктів, що впливають на працюючого при зіткненні з ним, а також жала комах, зуби, пазурі, шипи та інші частини тіла живих організмів, використовувані ними для захисту чи нападу, включаючи укуси;

7) струмені рідини, що впливають на організм працюючого при зіткненні з ним;

8) поверхні твердих або рідких об'єктів, про які вдаряються рухомі частини тіла працюючого;

9) рухомі (у тому числі розлітаються) тверді, рідкі або газоподібні об'єкти, що завдають удару по тілу працюючого (у тому числі рухомі машини та механізми; рухомі частини виробничого обладнання; пересувні вироби, заготовки, матеріали; руйнуючі конструкції; гірські породи, що обрушуються; падають дерева та їх частини; струмені та вол- ни, включаючи цунамі;

10) ударні хвилі повітряного середовища;

б) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з надмірно високою або низькою температурою матеріальних об'єктів виробничого середовища, які можуть спричинити опіки (обморожування) тканин організму людини;

в) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з різкою зміною (підвищенням або зниженням) барометричного тиску повітря виробничого середовища на робочому місці або з його суттєвою відмінністю від нормального атмосферного тиску (за межами його природної мінливості);

г) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з аномальними мікрокліматичними параметрами повітряного середовища на місцезнаходження працюючого: температурою та відносною вологістю повітря, швидкістю руху (рухомістю) повітря щодо тіла працюючого, а також з тепловим випромінюванням навколишніх поверхонь, зон горіння, фронту полум'я, сонячної інсоляції;

д) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з надмірним забрудненням повітряного середовища в зоні дихання, тобто з аномальним фізичним станом повітря (у тому числі зниженою або підвищеною іонізацією) та (або) аерозольним складом повітря;

е) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з механічними коливаннями твердих тіл та їх поверхонь та характеризуються:

1) підвищеним рівнем загальної вібрації;

2) підвищеним рівнем локальної вібрації;

ж) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з акустичними коливаннями у виробничому середовищі та характеризуються:підвищеним рівнем та іншими несприятливими характеристиками шуму;

1) підвищеним рівнем інфразвукових коливань (інфразвуку);

2) підвищеним рівнем ультразвукових коливань (повітряного та контактного ультразвуку);

і) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з електричним струмом, що викликається різницею електричних потенціалів, під дію якого потрапляє працюючий, включаючи дію блискавки та високовольтного розряду у вигляді дуги, а також електричного розряду живих організмів;

к) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з електромагнітними полями, що не іонізують тканини тіла людини:

1) постійного характеру, пов'язаного:

- з підвищеним утворенням електростатичних зарядів;

— наявністю електростатичного поля, що надмірно відрізняється від поля Землі;

- наявністю постійного магнітного поля, надмірно відрізняється від геомагнітного поля Землі;

2) змінного характеру, пов'язаного з:

- наявністю електромагнітних полів промислових частот (порядки50-60Гц);

- наявністю електромагнітних полів радіочастотного діапазону; л) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з світловим середовищем (некогерентними неіонізуючими випромінюваннями оптичного діапазону електромагнітних полів) та характеризуються надмірними (аномальними щодо природних значень та спектру) характеристиками світлового середовища, що ускладнюють безпечне ведення трудової та виробничої діяльності:

1) відсутність або недолік необхідного природного освітлення;

2) відсутність або недолік необхідного штучного освітлення;

3) підвищена яскравість світла;

4) знижена світлова та колірна контрастність;

5) пряма та відбитаблискучість;

6) підвищена пульсація світлового потоку;

м) небезпечні і шкідливі виробничі фактори, пов'язані з неіонізуючими випромінюваннями, такими як:

1) інфрачервоне випромінювання;

2) ультрафіолетове випромінювання;

3) лазерне випромінювання;

н) небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з підвищеним рівнем іонізуючих випромінювань, спричиненим:

1) короткохвильовим електромагнітним випромінюванням (потоком) фотонів високих енергій) – рентгенівським випромінюванням та гамма- випромінюванням;

2) потоками частинок:

- бета-часток (електронів іпозитронів);
- альфа-часток (ядер атома гелію-4);
- нейтронів;
- протонів, інших іонів, мюонів та ін;
- уламків розподілу (важких іонів, що виникають при розподілі ядер);

3) радіоактивним забрудненням (вище природного фону), у тому числі забрудненням техногенними радіонуклідами:

— радіоактивне забруднення повітря робочої зони працюючих (через наявність радіоактивних газів радону, торону, актинону, продуктів їхнього радіоактивного розпаду, аерозолів, що містять радіонукліди);

— радіоактивне забруднення поверхонь та матеріалів водного середовища, включаючи засоби захисту працюючих та їх шкірні покриви.

Небезпека та шкідливість впливу газових компонентів (включаючи пари), що забруднюють чисте природне повітря домішок, на організм працюючого залежать від їх вмісту (концентрації) та токсичності, тобто хімічних властивостей цих газів та пар.

Небезпека і шкідливість впливу аерозолів, що забруднюють природне повітря, на організм працюючого залежать від їх вмісту (концентрації), дисперсності респірабельної фракції, хімічних властивостей, включаючи токсичність і фіброгенність, тобто здатність викликати фіброз легеневих тканин, а для біоаероз. Здатність викликати захворювання.

3.2 Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що мають властивості хімічного впливу на організм людини.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що володіють властивостями хімічного впливу на організм, які називаються для стислості хімічними речовинами, представляють фізичні об'єкти (або їх складові компоненти) живої та неживої природи, що перебувають у певному фізичному стані та мають такі хімічні властивості, які при взаємодії з організмом людини в рамках біохімічних процесів її функціонування призводять до пошкодження цілісності тканин організму та (або) порушення його нормального функціонування.

Хімічні речовини можуть перебувати у твердому, пастоподібному, порошкоподібному, рідкому, пароподібному, газоподібному, аерозольному станах, у тому числі нанорозмірах.

Ступінь небезпеки хімічних речовин пов'язана з шляхами їх потрапляння в організм людини, які поділяють на наступні *групи проникнення*:

— через органи дихання (інгаляційний шлях);

— через шлунково-кишковий тракт (пероральний шлях);

— через шкірні покриви та слизові оболонки (шкірний шлях);

— через відкриті рани;

— при проникаючих пораненнях;

— при внутрішньом'язових, підшкірних, внутрішньовенних ін'єкціях.

За *характеру результуючого хімічного впливу* організм людини хімічні речовини поділяють:

— на токсичні (отруйні);

- дратівливі;

- сенсибілізуючі;

— канцерогенні;

- мутагенні;

- що впливають на репродуктивну функцію.

За *склад у* хімічні речовини поділяють:

— на індивідуальні речовини;

— суміші.

За *критерію небезпечної трансформації* хімічні речовини поділяють:

- на використовувані у виробничій діяльності без наслідків. ної трансформації хімічних властивостей;

- використовуються у виробничій діяльності для технологічно обумовлених хімічних реакцій, що спричиняють виникнення нових речовин з іншими хімічними властивостями;

— що виникають ненавмисно в процесі виробництва та тру- нових хімічних речовин з іншими хімічними властивостями.

За *критерію небезпечного та (або) шкідливого* на організм працюючого хімічні речовини поділяють:

- на безпосередньо діють на організм працюючого як небезпечні та шкідливі виробничі фактори хімічної природи дії;

— опосередковано діють організм працюючого як небезпечні і шкідливі виробничі фактори фізичної природи дії, зумовлені властивостями цих хімічних речовин, спалахувати, горіти, тліти, вибухати тощо.

Для цілей розробки засобів захисту виділяють окремі групи хімічних речовин, пов'язаних з хімічною продукцією та специфічно впливають на людину:

— речовини, що мають гостру токсичність за впливом на організм (отруйні речовини/хімікати/хімічна продукція);

— речовини, що спричиняють ураження (некроз/омертвіння або роздражнення) шкіри;

— речовини, що спричиняють серйозні пошкодження або подразнення очей;

- мутагенні речовини;

— канцерогенні речовини;

— сенсибілізуючі (алергенні) речовини;

- речовини, що впливають на функцію відтворення;

— речовини, що мають вибіркову токсичність на організм намішені та (або) системи при одноразовому впливі;

— речовини, що мають вибіркову токсичність на організм. намішені та (або) системи при багаторазовому або тривалому впливі;

- речовини, що становлять небезпеку при аспірації.

3.3 Класифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що володіють властивостями психофізіологічного на організм людини

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що мають властивості *психофізіологічного впливу* на організм людини, поділяють:

— на фізичні навантаження, пов'язані з тяжкістю трудового процесу;

- нервово-психічні навантаження, пов'язані з напруженістю трудового процесу

Фізичні перевантаження поділяють: на

- статичні, пов'язані з робочою позою;

- динамічні навантаження, пов'язані з масою піднімається і перевантажується вручну;

- динамічні навантаження, пов'язані з повторенням стереотипних робітничих рухів.

Фізичні навантаження організму працюючого,*пов'язані з тяжкісттю трудового процесу*, З метою оцінки умов праці, розработки та вжиття заходів щодо їх поліпшення характеризуються такими показниками:

— фізичне динамічне навантаження;

- маса вантажа вручну, що піднімається і переміщується;

— стереотипні робочі рухи;

- статичне навантаження;

- робоча поза;

- нахили корпусу тіла працівника;

- Переміщення у просторі.

Нервово-психічні навантаження підрозділяють:

— на розумову перенапругу, у тому числі спричинену інформаційним навантаженням;

— перенапруга аналізаторів, у тому числі викликана інформаційним навантаженням;

- монотонність праці, що викликає монотонію;

- емоційні навантаження.

Нервово-психічні перевантаження організму працюючого, зв’язані *з напруженістю трудового процесу*, з метою оцінки умовній праці, розробки та вжиття заходів щодо їх поліпшення характеризуються такими показниками:

- тривалість зосередженого спостереження;

- активне спостереження за ходом виробничого процесу;

— число виробничих об'єктів одночасного спостереження;

— щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в одиницю часу;

- навантаження на слуховий аналізатор;
- навантаження на голосовий апарат;
- робота з оптичними приладами.

Вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів на організм людини

У виробничих умовах, як правило, діє комплекс шкідливостей та небезпек.

Машини, що рухаються, і механізми, рухомі частини обладнання, пересувні вироби, руйнуючі конструкції сприяють виникненню механічних травм (забитих місць, переломів, ран, каліцтв тощо), запиленості та загазованості повітря робочої зони, підвищеного рівня шуму, статичного електроструму, напруги зорових аналізаторів, статичних перевантажень, монотонності праці і т. д. Усі небезпеки в комплексі посилюють дію на організм людини в процесі праці.

Запилення, загазованість повітря робочої зони. Шкідливими є речовини, які при контакті з організмом людини можуть викликати виробничі травми, професійні захворювання або відхилення в стані здоров'я сучасними методами як у процесі роботи, так і віддалений ні терміни життя сьогодення та наступних поколінь (ГОСТ 12.1.007-76 С «СБТ. Шкідливі речовини, класифікація та загальні вимоги безпеки»). У санітарно-гігієнічній практиці прийнято розділяти шкідливі речовини на хімічні речовини та виробничий пил.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було проведено низку експериментів, які показали, як впливає відносне обтиснення та ширина штаб на розподіл випередження S, витягування μ, коефіцієнту тертя f, показника тертя $f_п$ та коефіцієнту напруженого стану n_σ по ширині штаб.

Також було проведено експеримент, який показав, як впливає змащування при несиметричному прокатуванні на енергосилові параметри прокатки алюмінієвих штаб.

Усі розрахунки проводились унікальним методом, який дозволяє розраховувати коефіцієнт напруженого стану n_σ та середнє нормальне контактне напруження $p_{ср}$ без використання спеціальної апаратури.

Отримані результати експериментальних досліджень можна використовувати при вирішенні проблеми неплоскосності штаб. Можна стверджувати, що використання отриманих результатів експериментальних досліджень допоможе покращенню процесу холодної прокатки штаб в умовах сучасного виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ніколаєв В.А. Теорія та технологія прокатки металу. Монографія. Запоріжжя: Акцент Інвест-трейд. 2013. 232 с.

2. Ніколаєв В.А. Теорія прокатки. Запоріжжя, ЗДІА. 2007. 228 с.

3. Ніколаєв В.А. Профілювання та зносостійкість листових валків. К.: Техніка. 1992. 160 с.

4. Будаква А.А. Коновалов Ю. В., Ткалич К. Н. Профільування валків листових станів. К.: Техніка.1986. 190 с.

5. Ніколаєв В.А. Профілювання та зносостійкість листових валків. К.: Техніка. 1992. 160 с.

6. Ніколаєв В.А., Жученко С.В. Нерівномірність погонних сил за довжиною валків та штаби. Метал та лиття України. 2011. №5. С. 6-9.

7. Ніколаєв В.А., Жученко С.В. Погонні сили в галузі контакту «смуга-валок» у кліті кварто. Метал та лиття України. 2010. №12. С. 9-13.

8. Ніколаєв В.О., Мазур В. Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя. ЗДІА.2010. 320 с.

9. Ніколаєв В.А., Жученко С.В. С. В. Регулювання площинності смуг при холодній прокатці роликовими пристроями. Металургійна та гірничорудна промисловість. 2011. №7. С. 235-237.

10. Ніколаєв В.А. Теорія прокатки штаб. Запоріжжя. ЗДІА. 2014 . С. 207 - 245;

11. Чекмарьов А.П., Нефьодов А.А., Миколаїв В.А. Теорія поздовжньої прокатки. Харків: ХДУ. 1965. 206 с.

12. Ніколаєв В.А. Теорія та практика процесів прокатки. Запоріжжя,.ЗДІА. 2003. 232 с.

13. Ніколаєв В.А. Поздовжні та нормальні напруження в осередку деформації при несиметричній прокатці штаб. Метал та лиття України. 2009. №6. С. 37-42.

14. Ніколаєв В.О., Босхамджієв Н.Ш., Полухін В.П. Параметри деформації металу у гладких валках та у простих калібрах. К.: Освіта України. 2010. 235 с.

15. Ніколаєв В.А. Кути критичного перерізу при несиметричній прокатці. Металургія та коксохімія. К.: Техніка. 1982. №78. С. 47–52.

16. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів: Афіша. 2002. 320с.

17. Трахтенберг А.М. Гігієна праці та виробнича санітарія. К.: Київ. 1997. 462 с.

18. Геврік Є.О. Охорона праці: [навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів]. К.: Єльга, Ніка-Центр. 2003. 280 с.