

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повна найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський)

(другий (магістерський) рівень)

на тему Аналіз розширення металу при
прокатуванні штаб в лабораторних умовах

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-омт

Крицюк Олексій Одесандрович

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(номер і назва)

спеціалізація

(номер і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(номер і назва)

Керівник к.т.н. доц. Бондаренко Ю.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень

Спеціальність 136 металургія

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

" 07 " 05 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Кривцов Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз розширення металу при прокатуванні штаб в лабораторних умовах

керівник роботи (проекту) Бондаренко Юлія Володимирівна к.т.н. доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "07" 05 2023 року № 632с від 01.05.2023

2. Строк подання студентом роботи (проекту) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекту) дослідити осередок деформації при холодному прокатуванні штаб з метою визначення коефіцієнта положення рівнодіючої сили за різними методиками.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналіз наукової інформації та стан проблеми, Обладнання та методики дослідження, Експериментальні дослідження параметрів розширення при прокатуванні, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 13 слайдів (на 13 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<u>Розділ 1 Аналіз наукової інформації та стан проблеми</u>	<u>Бондаренко Ю.В., доцент</u>	
<u>Розділ 2 Обладнання та методики дослідження</u>	<u>Бондаренко Ю.В., доцент</u>	
<u>Розділ 3 Експериментальні дослідження параметрів розширення при прокатуванні</u>	<u>Бондаренко Ю.В. доцент</u>	
<u>Розділ 4 Охорона праці та техногенна безпека</u>	<u>Бондаренко Ю.В. доцент</u>	
<u>Нормоконтроль</u>	<u>Бєлахань Ю.О. завідувач кафедри</u>	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Цілі
1	<u>Вступ</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
2	<u>Реферат</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
3	<u>Аналіз наукової інформації та стан проблеми</u>	<u>до 30.06.2023</u>	
4	<u>Обладнання та методики дослідження</u>	<u>до 19.11.2023</u>	
5	<u>Експериментальні дослідження параметрів розширення при прокатуванні</u>	<u>до 26.11.2023</u>	
6	<u>Охорона праці та техногенна безпека</u>	<u>до 30.11.2023</u>	
7	<u>Висновки</u>	<u>до 30.11.2023</u>	

Студент _____ Кочин О.О.
(підпис) (підпис та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Ю.В. Бондаренко
(підпис) (підпис та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної робота магістра: 88 с., 14 табл., 23 рис., 27 джерел переліку посилань

РОЗШИРЕННЯ, ПІДКАТ, ДЕФОРМАЦІЯ, КЛІТЬ, ШТАБА, ОПР, ПОПЕРЕЧНА ДЕФОРМАЦІЯ, КОЕФІЦІЄНТ, ПРОКАТУВАННЯ, РОЗРАХУНОК, ОБТИСНЕННЯ, МОДЕЛЬ, ФАКТОР.

Об'єкт дослідження – лабораторний прокатний стан з гладкими сталевими валками діаметром 200 мм при коефіцієнті тертя в усталеному процесі прокатки $f = 0,25$ і швидкості прокатки $v = 0,5$ м/с.

Мета роботи – експериментально довести та розглянути причини що є головним фактором, визначаючим величину розширення металу при прокатуванні.

Найважливіша умова зростання продуктивності прокатних станів і якості продукції - безперервність процесу і вживання оптимальних режимів прокатки з автоматизацією процесу.

Вимоги споживачів прокатної продукції до її якості, що постійно підвищуються, вимагають глибокого вивчення впливу структури й властивостей гарячекатаного підкату, умов холодної прокатки, термообробки й дресирування на кінцеву структуру, якість поверхні й точність геометричних розмірів штаб. Істотним резервом підвищення якості прокатки сталі є усунення тонких кромки штаб при холодній прокатці.

У частині «Охорона праці та техногенна безпека» описані основні заходи для безпечних умов праці на стані.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ.....	8
1.1 Поперечна деформація металу при прокатуванні.....	8
1.2 Вплив різних факторів на поперечну деформацію металу.....	10
1.3 Моделі розрахунку поперечної деформації металу.....	18
1.4 Нерівномірність поперечної деформації металу.....	25
2 ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
2.1 Устаткування для проведення дослідів.....	31
2.2 Метод дослідження - гіпотеза шляху найменшого опору.....	33
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗШИРЕННЯ ПРИ ПРОКАТУВАННІ.....	41
3.1 Визначення параметрів осередку деформації при прокатуванні.....	41
3.2 Умова сталості об'єму і коефіцієнти деформації при прокатуванні.....	49
3.3 Порівняльний аналіз визначення поперечної деформації при прокатуванні.....	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	72
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	72
4.2 Виробнича санітарія.....	74
4.3 Розрахунок захисного заземлення.....	76
4.4 Пожежна безпека.....	79
4.5 Охорона навколишнього середовища.....	80
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	86

ВСТУП

Металургійна промисловість України є базовою галуззю національної економіки, забезпечує більшу частку бюджетних надходжень і надає велику кількість робочих місць. Сьогодні це експортно-орієнтована галузь, де дві третини випущеного плоского металопрокату використовується на внутрішньому ринку [1-2].

Найбільш важливими перевагами продукції підприємства перед конкурентами є:

- ✓ Висока якість сталі, що виробляється в мартенівських печах;
- ✓ Раціональне співвідношення ціни металопрокату і його якості;
- ✓ Низька собівартість металопродукції завдяки близькості річкових і морських портів;
- ✓ Низька собівартість сировини завдяки близькому розташуванню залізних і марганцевих руд, вугілля й ін.;
- ✓ Подальша сертифікація і відповідність світовим стандартам.

На сучасному етапі розвитку чорної металургії важливої значення має прискорення науково - технічного прогресу в області створення нової технології, розробки нових і вдосконалювання існуючих машин і механізмів всіх переділів металургійного виробництва, підвищення їхньої продуктивності і надійності.

Листова сталь є одним з найбільш економічних видів прокатної продукції, з якої виготовляють труби, гнуті профілі; вона широко використовується в машинобудуванні, суднобудуванні, автомобілебудуванні й для виготовлення побутової техніки [1-3].

Розширення при прокатуванні в більшості випадків є негативним явищем, тому що зменшує поздовжню витяжку металу. З цієї причини метал бажано прокатувати в умовах, що перешкоджають розширенню, наприклад,

сортові профілі прокатують у калібрах відповідної форми, бічні стінки яких перешкоджають поперечному плину металу.

Наявність прямої бічної поверхні обумовлюється мінімальними величинами коефіцієнта зовнішнього тертя й рівномірністю деформації штаб по висоті. При гарячій прокатуванні сполучення цих умов досягти досить важко, тому форма бічних поверхонь завжди відмінна від прямої.

Розглядаючи питання поперечного плину металу при прокатуванні вчені відзначають, що розширення відбувається в результаті поперечного ковзання металу по контактній поверхні, виходу бічних часток металу на контактну поверхню (заворот металу) та розширення середніх по висоті штаби ділянок металу (бочкоутворення). Останнє має найбільш велике значення в загальному розширенні. Розширення контактного шару становить значно меншу частку через вплив контактних сил тертя, що діють у поперечному напрямку.

На розширеннях металу при прокатці впливає безліч факторів. Смуга в ході прокатки підпирається силами контактного тертя в поздовжньому, і в поперечному напрямку. Зміна величини цих сил безпосередньо впливає на величину розширення. Чим більша дія сил тертя, чим більше величина розширення [1-3]. Такі фактори, як збільшення швидкості прокатки і ширини листа, приводять до меншого розширення. Збільшення діаметра валків, навпаки, - до збільшення розширення. Температура деформації надає більш складний вплив на величину розширення. Втім, при збільшенні температури від 20 до 100° С розширення падає, потім, приблизно до 300° С, спостерігається збільшення розширення, після 700-800° С розширення знову зменшується. Все це частково пов'язано з впливом температури на коефіцієнт тертя. Натяг смуги також призводить до зменшення величини розширення.

1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Поперечна деформація металу при прокатуванні

У результаті висотного обтиснення у валках метал тече не тільки в поздовжньому, але й у поперечному напрямку, збільшуючи ширину вхідної штаби. Збільшення ширини штаби деформації називають розширенням та позначають $\Delta b = b - B$ (рис.1.1).

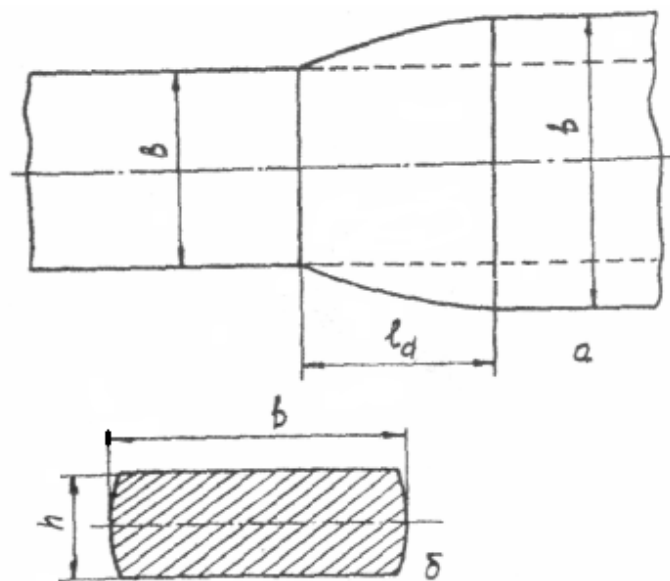


Рисунок 1.1 – Форма осередку деформації (а) та поперечного перерізу тонкої штаби після прокатки (б)

Розширення при прокатуванні в більшості випадків є негативним явищем, тому що зменшує поздовжню витяжку металу. З цієї причини метал бажано прокатувати в умовах, що перешкоджають розширенню, наприклад, сортові профілі прокатують у калібрах відповідної форми, бічні стінки яких перешкоджають поперечному плину металу.

Наявність прямої бічної поверхні обумовлюється мінімальними величинами коефіцієнта зовнішнього тертя й рівномірністю деформації штаб

по висоті. При гарячій прокатуванні сполучення цих умов досягти досить важко, тому форма бічних поверхонь завжди відмінна від прямої.

Розглядаючи питання поперечного плину металу при прокатуванні І.М.Павлов відзначає, що розширення відбувається в результаті поперечного ковзання металу по контактній поверхні, виходу бічних часток металу на контактну поверхню (заворот металу) та розширення середніх по висоті штаби ділянок металу (бочкоутворення). Останнє має найбільш велике значення в загальному розширенні. Розширення контактного шару становить значно меншу частку через вплив контактних сил тертя, що діють у поперечному напрямку [6].

У роботах [1-3] досліджено розширення металу при прокатуванні та його складові та отримано наступні тези:

1. Основний вплив на розвиток поперечної деформації роблять ступінь деформації й форма осередку деформації. Чим більше відношення $l/V_{\text{ср}}$, тим більше й відносне розширення. Ця залежність виражена тим гостріше, чим більше відносне обтиснення.
2. Розширення штаби при прокатуванні являє собою складне явище, що охоплює кілька складових. Їхнє співвідношення в загальному розширенні може змінюватися в широких межах залежно від умов процесу.
3. Як правило, зі збільшенням відносного обтиснення розширення середнього по висоті шару штаби стосовно загального розширення безперервно зменшується, частка розширення ковзанням безперервно збільшується, а частка розширення заворотом спочатку збільшується, досягає свого найбільшого значення при $\frac{\Delta h}{H} = 50 \div 60\%$, а потім зменшується.
4. Умови, найбільш сприятливі для розвитку поперечної деформації (σ_3 по поперечній осі), особливо сприяють розвитку розширення заворотом.

5. Показник розширення не може бути повноцінною характеристикою поперечної деформації, тому що не відбиває якісно впливу способу зміни обтиснення (H , h та $\Delta h = \text{const}$) на розвиток поперечної деформації (рис.1.2).

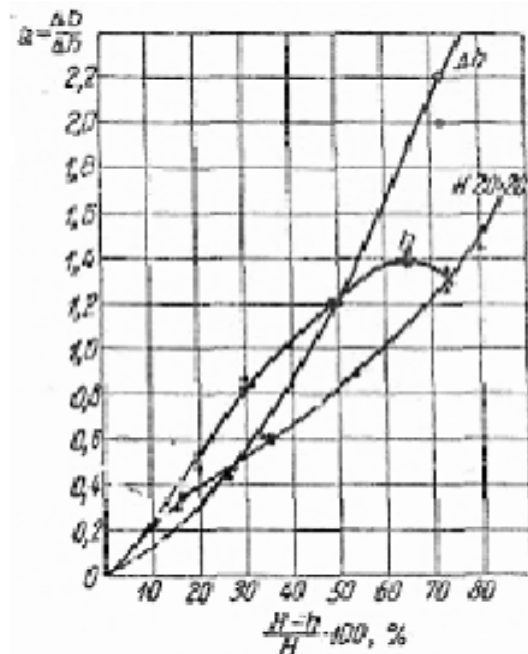


Рисунок 1.2 – Залежність показника розширення від відносного обтиснення для прокатки при H , h та $\Delta h = \text{const}$

1.2 Вплив різних факторів на поперечну деформацію металу

Вплив діаметра валків на розширення. Зі збільшенням діаметра валків (при всіх інших постійних факторах) розширення зростає. Подібна закономірність пов'язана зі зміною співвідношення опорів поздовжньому й поперечному плину металу в результаті збільшення довжини дуги контакту. При цьому сили тертя в зонах відставання й випередження, а отже, й поздовжня напруга, що підпирає σ_z (σ_x) підвищуються, утруднюючи плин металу вздовж дуги захоплення. Оскільки опір плину металу в поперечній нарузі при цьому майже не змінюється, то розширення штаби зростає. Таким чином, з метою одержання найбільшої витяжки за прохід доцільніше

прокатувати штаби, якщо це можливо за умовами міцності деталей стана й точності готового профілю, на валках з меншим діаметром.

Цим також обумовлений той факт, що в міру зменшення розмірів сортових профілів зменшують й діаметр валків прокатних станів. Так, при прокатуванні круглих профілів з діаметром $d = 60...100$ мм застосовують діаметри валків $D = 500...600$ мм, а при прокатуванні дроту з $d = 5,5...6$ мм діаметр валків $D = 150...250$ мм.

Вплив обтиснення на розширення. З підвищенням обтиснення розширення збільшується в результаті впливу двох факторів: зміщеного по висоті об'єму й поздовжніх напруг, що підпирають. Зі збільшенням зміщеного об'єму витяжка й розширення штаби зростають. Крім того, з підвищенням обтиснення збільшується дуга захоплення, а разом з нею й поздовжні напруги, що підпирають. Це призводить до збільшення розширення. Вплив абсолютного обтиснення на розширення представлено, на рис. 1.3. Експерименти по вивченню закономірностей поперечного плину сталі марки 45 при $t = 1150^{\circ}\text{C}$ проведені на лабораторному стані з діаметром валків 175 мм.

Вплив вихідної товщини штаби на розширення. З рис.1.3 також видно, що на розширення значний вплив робить вихідна товщина штаби. При цьому зі збільшенням товщини штаби розширення зменшується. Так, при $\Delta h = 6$ мм розширення металу при товщині штаби $H = 10$ мм дорівнює $\Delta b = 8,5$ мм, а при товщині $H = 32$ мм маємо всього $\Delta b = 1,2$ мм.

Зазначену закономірність можна пояснити в такий спосіб. Зі збільшенням товщини штаби (при постійних значеннях контактних сил тертя) зменшується зона випередження й сили тертя в ній. Напруга, що підпирає σ_z (σ_x) також знижується, полегшуючи плин металу в поздовжньому напрямку. При цьому зменшується частка зміщеного об'єму, що доводиться на розширення. Отже, при прокатуванні тонких штаб ця частка більше, ніж при прокатуванні товстих.

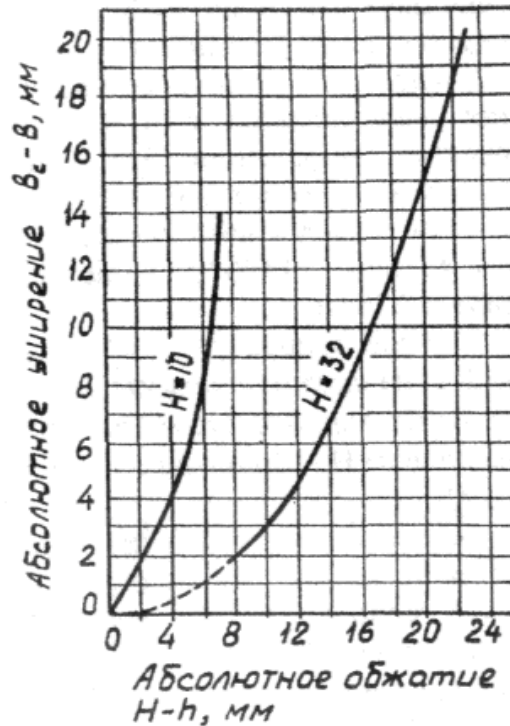
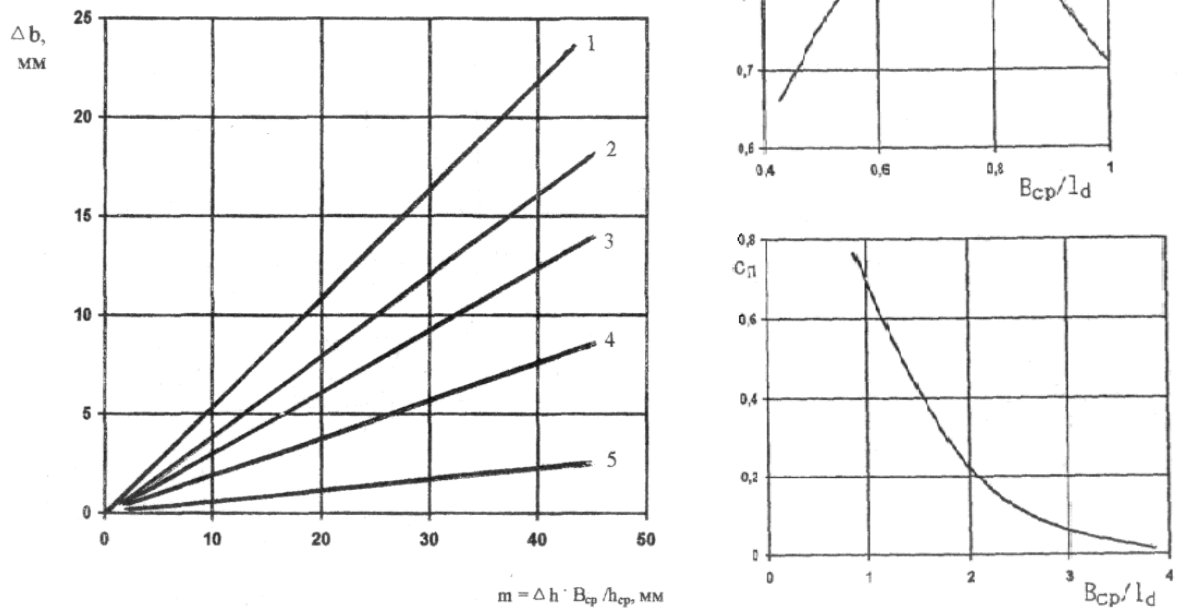


Рисунок 1.3 – Залежність розширення від обтиснення при різній вихідній висоті штаби (М.Л. Зароцинский)

Вплив ширини штаби на розширення. Ширина штаби впливає на розширення. При цьому збільшення ширини штаби завжди викликає підвищення поперечних дотичних напружень тертя й напруг, що підпирають σ_y у перетині штаби. Такий вплив сприяє зменшенню розширення зі збільшенням ширини штаби. Однак, з іншого боку, поки $V_{cp}/l_d < (0,8...1)$ ($l_d = \text{const}$) збільшення ширини сприяє збільшенню зміщеного об'єму металу в поперечному напрямку й, отже, кількості металу, що йде на розширення. У цей період кількість металу, що зміщується в поздовжньому напрямку зменшується, а показник розширення $\Delta b/\Delta h$ збільшується (рис. 1.4). При $V_{cp}/l_d = 0,8...1,0$ (залежно від товщини штаби, діаметра валків, відносного обтиснення) опір плину металу в поперечному й поздовжньому напрямках вирівнюються, (вирівнюються й величини зміщених об'ємів металу). Відношення $V_{cp}/l_d < 0,8...1$ (вузький осередок деформації) відповідає прокатуванні дрібносортих профілів (круг, квадрат, овал й т.п.).



1 – 0,75...0,85; 2 – 0,9...1,0; 3 – 1,05...1,25; 4 – 1,4...1,75; 5 – 2...3 та змінення коефіцієнту C_{Π} в залежності від V_{cp}/l_d при $m < 50$ [5]

Рисунок 1.4 – Зміна дослідного розширення залежно від параметра $m = \Delta h \cdot V_{cp} / h_{cp}$ при прокатуванні в гладких валках для V_{cp}/l_d :

Зі збільшенням ширини штаби при $V_{cp}/l_d > 0,8...1$ опір поперечному плину, як було сказано вище, зростає, а опір поздовжньому плину металу відповідно до закону найменшого опору зменшується. У зв'язку із цим, розширення металу (показник розширення $\Delta b/\Delta h$) інтенсивно знижується (рис.1.4).

Як бачимо з рис.1.4, розширення Δb лінійно зростає зі збільшенням параметра $m = \Delta h \cdot V_{cp} / h_{cp}$ незалежно від відношення V_{cp}/l_d . Збільшення розширення обумовлене підвищенням зміщеного об'єму по висоті штаби (обтиснення Δh , та ширини V_{cp}) підвищення опору плину металу в поздовжньому напрямку за рахунок збільшення довжини дуги контакту й поздовжніх напруг, що підпирають σ_z .

Вплив коефіцієнта тертя на розширення. Вплив коефіцієнта тертя на закономірності зміни розширення при прокатуванні є складним. Так, О.П. Чекмарьов та І.Я. Тарновський відзначають, що залежно від відносних розмірів осередку деформації збільшення коефіцієнта тертя може привести до збільшення або зменшення тертя. Але незалежно від значення B_{cp}/l_d збільшення коефіцієнта тертя викликає підвищення опору плину металу в горизонтальній площині. Однак характер впливу коефіцієнта тертя на розширення багато в чому залежить від відношення B_{cp}/l_d .

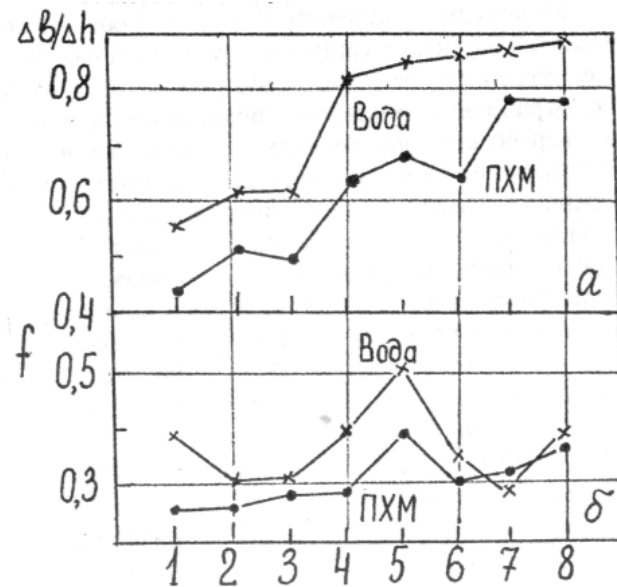
Зростання коефіцієнта тертя сприяє інтенсивному збільшенню поперечних й поздовжніх сил тертя, що підпирають й отже, напруг σ_2 та σ_3 . Співвідношення між σ_2 та σ_3 визначає зміну розширення.

З практики виробництва сортового металу відомо, що зростання коефіцієнта тертя, викликане зниженням температури штаби або виробітком поверхні валків, спричиняє збільшення поперечного плину металу. Наприклад, у результаті меншої температури заднього кінця штаби, що входить у чистовий калібр, останній зазвичай переповнюється металом з утворенням на готовому профілі заусенців. Переповнення калібрів при сортовій прокатуванні спостерігається також у випадку зношення поверхні валків. Як у першому, так і в другому випадках переповнення калібрів пов'язано зі збільшенням розширення металу у зв'язку з більшим підвищенням коефіцієнта зовнішнього тертя в поздовжньому напрямку, чим у поперечному напрямку.

При прокатуванні широких штаб з коротким осередком деформації, тобто більшим відношенням $B_{cp}/l_d > 5$, у поперечному напрямку діє значно більша напруга σ_2 , чим у поздовжньому σ_3 . При цьому зі збільшенням f поздовжня напруга зростає у меншому ступені, чим у поперечному, оскільки довжина осередку деформації невелика. Тому при прокатуванні широких штаб збільшення коефіцієнта тертя практично не впливає на розширення.

Вплив хімічного складу штаби та типу технологічного змащення на розширення. Вплив хімічного складу штаби та типу технологічного змащення

представлено на рис. 1.5. Дані отримані при прокатуванні (гальмуванні штаб з розмірами 16x16 мм з температурою $t = 1150^{\circ}\text{C}$ при $\epsilon = 15\%$ ($D = 200$ мм)). З дослідів бачимо, що хімічний склад сталі впливає на величини коефіцієнта тертя f та показника розширення $\Delta b/\Delta h$. У загальному випадку, зі збільшенням змісту хрому й інших легуючих елементів у сталі показник розширення також зростає.



1 – ШХ15; 2 – 45Г17Ю3; 3 – ст.45; 4 – Х18Н9Т; 5 – ЭИ654; 6 – Х17; 7 – 1Х17Н2; 8 – Х25Т [5]

Рисунок 1.5 – Вплив матеріалу штаби та змащення на показник розширення (а) та коефіцієнт тертя (б)

При прокатуванні у валках зі змащенням водою коефіцієнт тертя f має максимальні значення (крива 1). Мінімальне значення коефіцієнта тертя виявилось при прокатуванні штаб з ефективним технологічним змащенням ПХМ (крива 2). З рис. 1.5,а бачимо, що величини $\Delta b/\Delta h$ при прокатуванні з ефективним змащенням ПХМ (крива 2) для всіх марок сталі менші, ніж при прокатуванні з водою (крива 1). Розходження становить 12%...25%, це свідчить про зниження показника $\Delta b/\Delta h$ при зменшенні коефіцієнта тертя. Однак вплив коефіцієнта тертя на розширення пов'язано зі структурою технологічного змащення, але не пов'язане з хімічним складом сталі.

Дійсно, з рис. 1.5,б бачимо, що характер зміни розширення для багатьох марок сталей не відповідає характеру зміни коефіцієнта тертя [4,5].

Вплив зовнішніх зон на розширення. Розглянемо механізм процесу розширення з урахуванням впливу зовнішніх зон. Дія зовнішніх зон на розширення складається в прагненні вирівняти витяжки, тобто деформацію центральної та бічної частин штаби, що прокатується у поздовжньому напрямку.

Завдяки дії зовнішніх зон поздовжні напруги розтягання виникають не тільки в бічних частинах штаби в контактній зоні деформації, але й у тих бічних частинах, які перебувають у безконтактних зонах деформації на вході й на виході з валків. У прилягаючих до них зонах виникають поздовжні напруги стиску, які в кожному розглянутому перетині зовнішніх зон повинні врівноважувати напругу розтягання.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що зовнішні зони викликають істотне зменшення розширення. Зокрема, на кінцях штаби, що прокатується розширення більше, ніж на її основній частині. У зв'язку з появою поздовжніх напруг, що розтягують та стискають у зовнішніх зонах розглянемо причини їхнього впливу на розширення.

Позначимо поздовжні напруги, що діють у точках А та В (рис.1.6), через σ_A й σ_B . Завдяки цим напругам розтягання напруги стискання σ_x , що виникають внаслідок впливу зовнішнього тертя в зоні деформації, будуть сильно зменшуватися й тому лінії рівності поздовжніх та поперечних напруг σ_x та σ_y будуть проходити не через точки А, D та В, а змістяться трохи далі від зовнішніх зон та займуть нове положення приблизно EGF.

Таким чином, вплив зовнішніх зон буде виражатися в зменшенні областей штаби, які прагнуть до розширення, внаслідок чого буде істотно зменшуватися й розширення.

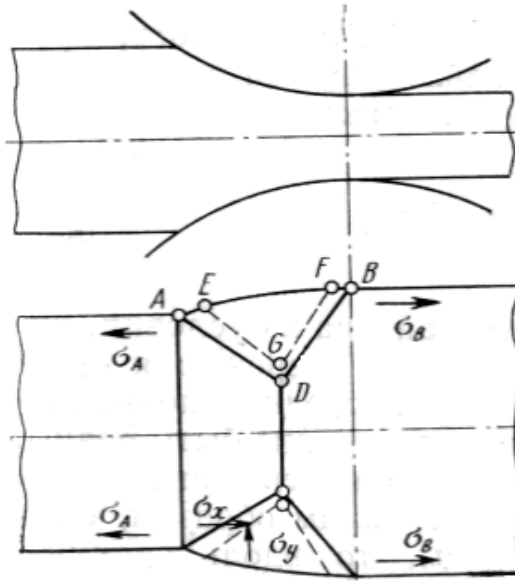


Рисунок 1.6 – Зсув умовних зон (пунктирні лінії) прагнення деформації на розширення у зв'язку із впливом зовнішніх зон [6]

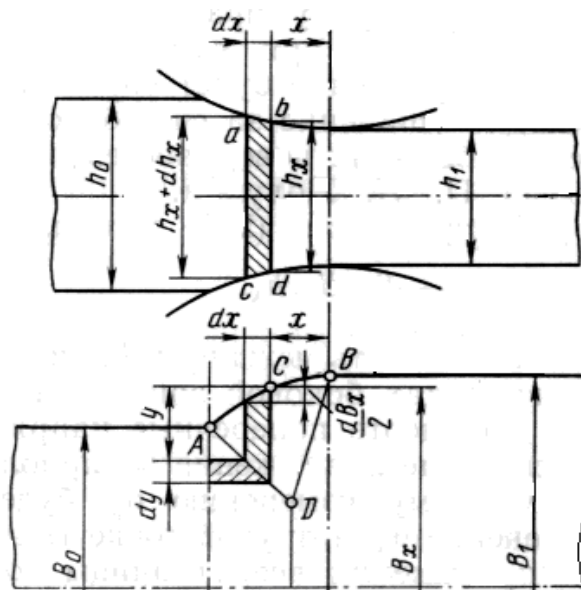


Рисунок 1.7 – Умовний елементарний об'єм бічної зони, що зміщується на розширення [6]

Аналогічний вплив на розширення роблять передній та задній натяги, що застосовуються при холодній прокатуванні, з підвищенням яких розширення зменшується. Якщо при цьому напруги σ_A й σ_B будуть настільки

значні, що максимум нормальної напруги, що виникає на лінії EG, не перевищить величину $2\tau_s$, то в цьому випадку області штаби, що прагнуть до розширення, відсутні.

Звідси маємо, що вплив зовнішніх зон є досить помітним у процесі розширення штаби. Вони перешкоджають розвитку розширення й у той же час піддаються дії значних напруг, за допомогою яких вирівнюються витяжки середньої частини штаби та її країв. Тому напруги розтягання, що виникають по краях штаби внаслідок розширення, повинні мати найбільше значення на границях контактної зони деформації із зовнішніми зонами, тобто поблизу точок А та В. У зоні розширення ці напруги будуть менші, де вони частково знижуються завдяки зовнішньому тертю.

Зони розширення, зображені на рис.1.6, не можуть характеризувати фактичні об'єми металу, що зміщуються в напрямку крайок штаби. Завдяки впливу зовнішніх зон частина металу, що перебуває в бічних зонах, деформується в напрямку довжини, та, крім того, у зв'язку з поздовжніми напругами стиску, що виникають поруч із бічними крайками штаби, що прокатується (рис.2.7), відбувається зсув на розширення металу, що перебуває за межами бічних зон.

Б.П. Бахтінов, О.І. Целіков та А.І. Гришков показали, що зазначені бічні зони, незважаючи на їх відзначену умовність, все ж таки можуть бути основою для обчислення фактичного розширення [6].

1.3 Моделі розрахунку поперечної деформації металу

Перша формула для розрахунку розширення при прокатуванні в гладких валках опублікована С.Н. Петровим в 1917 році має вигляд:

$$\Delta b = C \frac{\Delta h}{h} \sqrt{R \cdot \Delta h},$$

де C – коефіцієнт, що залежить від параметрів B/H та $\Delta h/h$.

Подібну формулу опублікував в 1927 році Е. Зібель:

$$\Delta b = (0.35 \div 0.45) \frac{\Delta h}{H} \sqrt{R \cdot \Delta h}. \quad (1.1)$$

Формули С.Н. Петрова і Е. Зібеля отримані зі співвідношення між об'ємами, зміщеними в поздовжньому й поперечному напрямках осередку деформації.

Недоліком цих формул є відсутність впливу на розширення ширини штаби і невизначеність числового коефіцієнта щодо умов деформації металу.

Чекмарьов О.П. запропонував розраховувати розширення виходячи зі зміщених об'ємів металу в поздовжньому й поперечному напрямках з урахуванням закону найменшого опору плину металу:

$$\ln \lambda / \ln \beta = B_{cp} / l_d, \quad (1.2)$$

де λ – коефіцієнт подовження штаби;

β – коефіцієнт розширення штаби в осередку деформації.

Вплив кривизни валків на розширення враховано залежністю:

$$\ln \lambda^{1/1} / \ln \beta^1 = 1 + \alpha, \quad (1.3)$$

де α – кут контакту штаби з валками.

Наявність зовнішніх (безконтактних) зон штаби зменшує поперечний плин металу й враховується залежністю:

$$\ln \lambda^{11} / \ln \beta^{11} = (B_{cp} / l_d)^n, \quad (1.4)$$

де n – показник ступеня: $n = 1$ при $B_{cp} / l_d \leq 1$; $n = 2$ при $B_{cp} / l_d > 1$.

Тому що : $\ln\lambda = \ln 1/\eta - \ln\beta$; $\ln 1/\eta = \Delta h/h_{cp}$; $\ln\beta = \Delta b/B_{cp}$, то після перетворень отримана формула розширення О.П. Чекмарьова:

$$\Delta b = \frac{\Delta h \cdot \frac{B_{cp}}{h_{cp}}}{1 + (1 + \alpha) \frac{B_{cp}}{l_d}}^n, \quad (1.5)$$

де h_{cp} – середня товщина штаби в осередку деформації.

Формула О.П. Чекмарьова по своїй структурі є однією з кращих: вона добре враховує зміщений об'єм по логарифмічній залежності, форму осередку деформації B_{cp}/l_d та ширину штаби (вплив позаконтактних ділянок перед та за валками). Однак формула (1.5) не враховує вплив коефіцієнтів тертя в поздовжньому й поперечному напрямках.

Б.П. Бахтінов визначає розширення виходячи з величин зміщених об'ємів металу загального й у поперечному напрямку. У результаті рішення отримані формули розрахунку розширення для вузького й широкого осередків деформації, які внаслідок громіздкості не знайшли застосування в практиці. Після спрощення формула Б.П. Бахтінова має вигляд:

$$\Delta b = 0.575 \frac{\Delta h}{H} \left(l_d - \frac{\Delta h}{2f} \right), \quad (1.6)$$

де f – коефіцієнт тертя за законом Амонтона.

При $\Delta h = R\alpha^2$ та $l_d = R\alpha$ після перетворень одержимо:

$$\Delta b = 0.575 \frac{\Delta h}{H} l_d \left(1 - \frac{\alpha}{2f} \right).$$

або з урахуванням залежності Екелунда-Павлова будемо мати:

$$\Delta b = 1.15 \frac{\Delta h}{H} \cdot l_d \cdot \frac{\gamma}{\alpha}, \quad (1.7)$$

де γ – кут критичного перетину.

Формули (1.6) та (1.7) не враховують вплив ширини штаби і нерівномірності деформації по висоті штаби, тому не мають високої точності.

У роботі О.І. Целікова запропоновано вивід формули розширення при наявності в осередку деформації чотирьох зон: відставання, випередження й двох зон розширення. На границях цих зон внутрішні напруження поздовжні σ_x та поперечні σ_y рівні між собою. Використовуючи відомі залежності для визначення цих напруг одержали наступну залежність [23]:

$$\Delta b = 0.5 \cdot C_b \cdot C_\sigma \left(l_d - \frac{\Delta h}{2f} \right) \cdot \ln \frac{H}{h}, \quad (1.8)$$

де C_b , C_σ – коефіцієнти, що враховують відповідно вплив ширини й напруг натягу.

Формула (1.8), як і формула (1.7), може бути представлена у вигляді:

$$\Delta b = C_b \cdot C_\sigma \cdot l_d \cdot \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \ln \frac{H}{h},$$

Коефіцієнт C_b визначається за залежністю А.І. Гришкова:

$$C_b = 4(1 - \varepsilon) \left(\frac{B}{l_d} - 0.15 \right) e^{1.5(0.15 - B/l_d)} + \varepsilon,$$

де ε – відносний обтиск.

Основним недоліком формули (2.8) є прийнята при її отриманні умова про рівність коефіцієнтів тертя в поздовжньому й поперечному напрямках, що не відповідає дійсності.

У роботах [23-25] розширення металу при прокатуванні в гладких валках розглядається виходячи з умови чинності закону найменшого опору плину металу, що виражається у вигляді:

$$\ln\lambda/\ln\beta = \sigma_2/\sigma_3, \quad (1.9)$$

де σ_2 та σ_3 – напруги, що підпірають, діючі в поперечному й поздовжньому напрямках осередку деформації. З достатньої для практики точністю маємо:

$$\sigma_2 = \frac{2Q}{l_d \cdot h_{cp}}; \quad \sigma_3 = 2(T_{x1} + T_{x2})/B_{cp} \cdot h_{cp}, \quad (1.10)$$

де Q – опір переміщенню металу в поперечному напрямку від сил тертя;

T_{x1} та T_{x2} – горизонтальні складові поздовжніх контактних сил у зонах відставання й випередження.

З урахуванням відомих залежностей Целікова О.І. та Ніколаєва В.О. одержимо:

$$\left. \begin{aligned} Q &= f_b \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot l_{cp}; \\ T_{x1} &\approx f \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot R(\alpha - \gamma) \cos[(\alpha - \gamma)/2]; \\ T_{x2} &\approx f \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot R \cdot \gamma \cdot \cos \gamma/2, \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

де f_b – умовний коефіцієнт, що характеризує опір плину металу в поперечному напрямку осередку деформації.

Після спільного рішення рівнянь (1.10), (1.11) та перетворень одержимо [широкий осередок деформації ($B_{cp}/l_d > 0,7-0,8$):

$$\ln\lambda/\ln\beta = f_b \cdot B_{cp}/f \cdot l_d. \quad (1.12)$$

Маючи на увазі:

$$\ln\lambda = \ln(1/\eta) - \ln\beta; \ln(1/\eta) = \Delta h/h_{cp}; \ln\beta = \Delta b/B_{cp},$$

будемо мати:

$$\Delta b = \frac{\Delta h \cdot B_{cp} / h_{cp}}{1 + (f_b / f)(B_{cp} / l_d)}. \quad (1.13)$$

На відміну від розглянутих формул залежність (1.13) враховує вплив на розширення співвідношення між умовними коефіцієнтами тертя в поперечному й поздовжньому напрямках. Однак чисельне рішення рівняння (1.13) ускладнено внаслідок відсутності практичних даних про коефіцієнт тертя f_b у поперечному напрямку.

У зв'язку із зазначеним, достовірні величини розширення при прокатуванні в гладких валках можна одержати на підставі узагальнення експериментальних даних з використанням базової формули (1.13). З залежності (1.13) маємо:

$$C_n = \frac{1}{1 + (f_b / f) \cdot (B_{cp} / l_d)} = \frac{\Delta b \cdot h_{cp}}{B_{cp} \cdot \Delta h}. \quad (1.14)$$

З залежності (1.14) бачимо, що права його частина не що інше, як наближена залежність логарифмічного показання розширення:

$$\alpha = \ln \beta / \ln(1/\eta) \approx \frac{\Delta b \cdot h_{cp}}{B_{cp} \cdot \Delta p}. \quad (1.15)$$

На підставі даних різних досліджень (Ю.М. Чижикова, П.І. Полухіна, Д.І. Старченко, І.Я. Тарновського, О.П. Чекмарьова, В.О. Ніколаєва та ін.) отримано залежності:

$$\Delta b = (\Delta h, B_{cp} / h_{cp}, B_{cp} / l_d) \quad (1.16)$$

$$\Delta b = 0,53 C_n \cdot C_m \cdot \Delta h \cdot B_{cp} / h_{cp}$$

та

$$C_{II} = \phi(B_{cp}/l_d),$$

які представлені на рис. 1.4.

Як бачимо з рис.1.4, розширення Δb лінійно збільшується залежно від параметра $m = \Delta h \cdot B_{cp} / h_{cp}$. Це можна пояснити (при $B_{cp}/l_d = \text{const}$) збільшенням об'єму металу, що зміщується, в осередку деформації й збільшенням поздовжніх напруг, що підпирають, внаслідок зменшення товщини штаби. Коефіцієнт $C_{II} = \phi(B_{cp}/l_d)$ змінюється по кривій з максимумом при $B_{cp}/l_d = 0,76$ та мало залежить від параметра m .

Залежності на рис.1.8 та 1.9 апроксимуються залежністю [з урахуванням залежності (1.13) (при $B_{cp}/l_d \leq 3,0$)]:

$$\left. \begin{aligned} \Delta b &= 0.53 \cdot C_{II} \cdot \Delta h \cdot B_{cp}/h_{cp}; \\ C_{II} &= 0,24 + B_{cp}/l_d; \quad \text{при } B_{cp}/l_d \leq 0,76; \\ C_{II} &= e^{(0,9-1,2B_{cp}/l_d)^{0,9}}; \quad \text{при } B_{cp}/l_d \leq 0,76. \end{aligned} \right\} \quad (1.17)$$

При прокатуванні в калібрах розрахунок розширення ускладнюється. Метал, зустрічаючи на своєму шляху бічні стінки калібру зі змінним зазором по ширині змушений приймати форму (у поперечному перерізі) утворену калібром. У подібних умовах деформації профіль має обмежене розширення. Наприклад, у ящиковому калібрі горизонтальна сила (що підпирає) від похилих стінок порушує природний плин металу, обмежує розширення й збільшує поздовжню витяжку металу, підвищуючи ефективність процесу прокатки. Отримане в цьому випадку розширення трохи менше вільного в гладких валках. Найбільше обмеження одержують ділянки розкату, які перебувають на дні калібру, а середнє по висоті розкату ділянки мають вільне розширення. Ступінь обмеження розширення залежить від співвідношення ширини заготівлі B та дна калібру b_d ($\delta_0 = B/b_d \approx 0,95-1,01$).

1.4 Нерівномірність поперечної деформації металу

Прокатка злитків на слябінгах, блюмінгах і в чорнових клітках ТЛС відбувається в умовах короткого осередку деформації $l_d / h_{cp} < 1$. При цьому в перших пропусках при $h_0 / D > 0,5$ і $h_0 / l_d > 2$ відповідно фронту поширенню пластичної деформації по товщині розкату, деформація зосереджена в приконтактних об'ємах осередку деформації, що призводить до подвійного діжкоутворення перетину розкату. Максимальна розширення розташоване на глибині близько $0,9 \cdot \Delta h$ від контактної поверхні.

При більш високих осередках деформації діжкоутворення посилюється і при $h_0 / l_d = 5$ розширення становить $\Delta b = 0,5 \cdot \Delta h$.

Глибинні об'єми металу, що примикають до осьової лінії розкату, розширюються менше, а при $l_d / h_{cp} > 0,3$ спостерігається навіть утяжка по ширині розкату (рис.1.8).

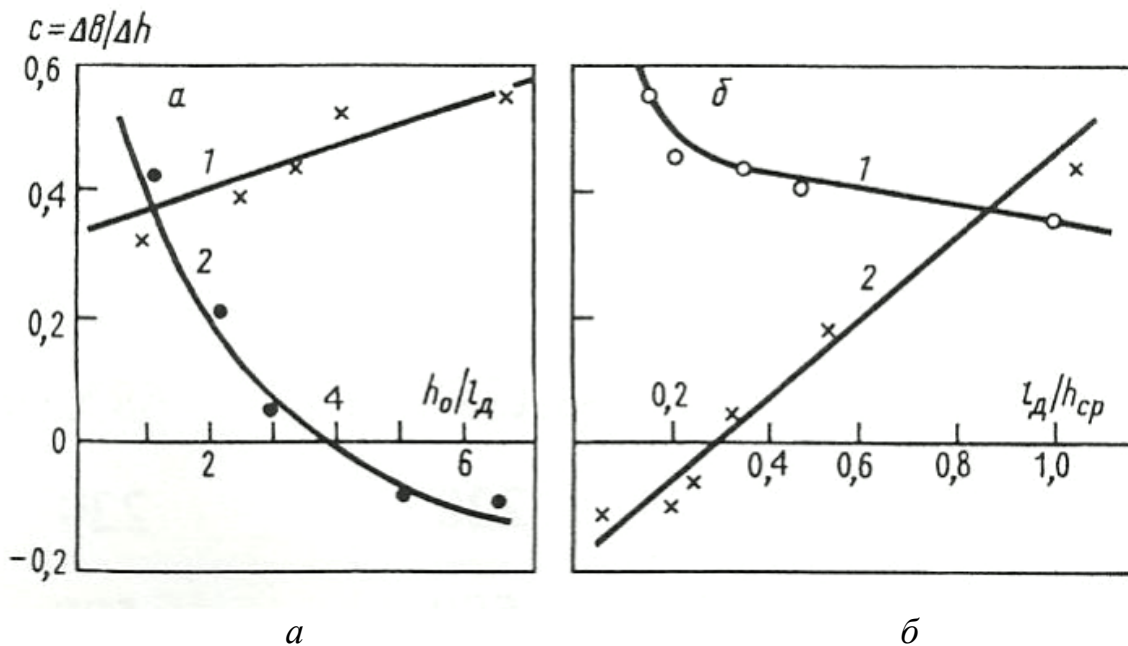


Рисунок 1.8 – Вплив факторів форми осередку деформації h_0/l_d (а) і l_d/h_{cp} (б) на показники розширення приконтного шару c_{max} (1) і центру перетину c_c (2) при прокатуванні злитків на блюмінгу (В.М. Клименко, 1957)

Задача про розподіл розширення по товщині розкату великих злитків найбільш повно досліджено в роботах В.М. Клименко. Основне рівняння утяжки по ширині з умови рівноваги сил має вид:

$$\frac{t \cdot \cos \alpha_x - p \cdot \sin \beta_x}{2 \cdot \sigma_{sj}} \geq \frac{s_3}{s_1 + s_2}, \quad (1.18)$$

де s_1 і s_2 – відповідно верхня і нижня частини площі поперечного перерізу розкату, охоплені пластичною деформацією стикання; s_3 – частина площі поперечного перерізу, не схильна до пластичної деформації стиснення.

Використовуючи закон тертя Амонтона-Кулона ($t = f_{ycm} \cdot p$) і приймаючи, на виході металу з валків ($\alpha_x = 0$) отримаємо:

$$f_{ycm} \geq \frac{2 \cdot s_3}{s_1 + s_2}, \quad (1.19)$$

тобто ймовірність утяжки збільшується зі збільшенням коефіцієнта зовнішнього тертя.

За даними В.М. Клименко, $f_{yct} = 0,67 \cdot f_3$.

При подальшій прокатуванні при $h_0/l_d = 1,3-1,8$ пластична деформація поширюється на всю товщину розкату і за інших рівних умов розвивається розширення центральних зон штаби.

У міру збільшення фактора форми $l_d/h_{cp} > 1$ розширення глибинних об'ємів металу зростає більш інтенсивно, ніж при контактних, що супроводжується зміною форми бічної поверхні розкату – відбувається її вирівнювання по товщині, а далі – діркоутворення в середній частині розкату.

На підставі дослідних даних В.М. Клименко, отриманих під час прокатки злиwkів з прямокутним перетином при $b_0/h_0 = 0,8-1,6$ з вуглецевих сталей 3сп, 3КП, 5 на гладкій бочці блюмінга 1150 при $h_0/D_0 = 0,48-0,66$ (рис. 1.8), показники розширення можна представити у формі:

– для максимального розширення при контактних зон штаби

$$c_{\max} = \Delta b_{\max} / \Delta h = 0,013 \cdot h_{cp} / l_d + 0,294;$$

– для розширення середнього перетину по товщині розкату

$$c_y = \Delta b_y / \Delta h_y = 0,455 \cdot l_d / h_{cp} - 0,155.$$

При прокатуванні злитків легованих конструкційних сталей при $b_0/h_0 = 0,88-1,44$ В.М. Клименко (1968 г.) отримав:

$$c_{\max} = 0,211 \cdot h_{cp} / l_d + 0,032,$$

$$c_y = 0,576 \cdot l_d / h_{cp} - 0,126.$$

Розширення при прокатуванні слябів з відношенням $b_0/h_0 = 1,5-6$ з низьковуглецевих сталей дорівнює:

$$c_{\max} = 0,222 \cdot h_{cp} / l_d - 0,06,$$

$$c_u = 0,85 \cdot l_d / h_{cp} - 0,196.$$

Негативне розширення, тобто утяжка по ширині зливка, починається при досягненні величини коефіцієнта контактної тертя, що відповідає відношенню подвоєної площі перетину $(s_1 + s_2)$, охоплених пластичною деформацією. При переході до глибини поширення пластичної деформації співвідношення (1.19) приймає вид:

$$f_{yct} \geq \frac{2 \cdot (h_0 - y)}{2y} = \frac{h_0}{y} - 1. \quad (1.20)$$

Таким чином, причинами нерівномірного обтиснення штаби є дія сил тертя, нерівномірність розподілу температури по перерізу, геометричні фактори l_d/h_{cp} і b_0/h_0 .

Дія сил тертя призводить до появи *зон утрудненої деформації*, де обтиснення менше, ніж у центральних шарах. Це призводить до переважної деформації центральних шарів (форма бічної поверхні на рис. 1.9, б).

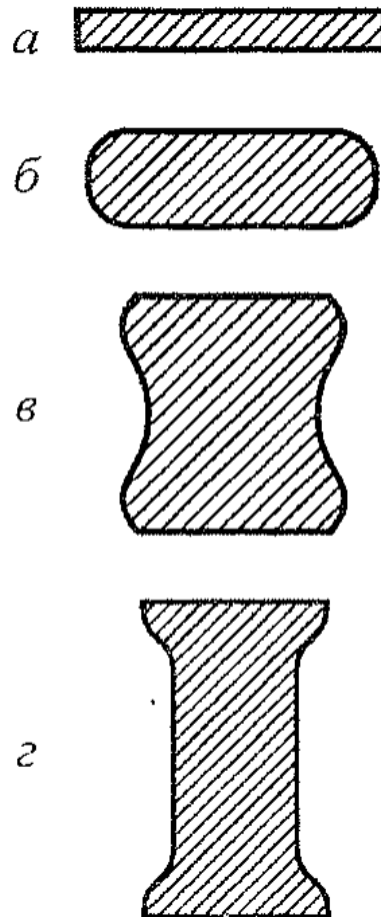
Нерівномірність температури (зазвичай підвищена температура неохолоджених центральних шарів) призводить до аналогічної картини деформації.

З урахуванням суттєвого впливу фактора форми l_d/h_{cp} на розподіл деформацій по висоті штаби процеси прокатки класифікують за цим параметром таким чином.

$$\text{Прокатка тонких штаб} - l_d/h_{cp} > 3 \div 4.$$

У цьому випадку довжина дуги контакту в кілька разів перевищує середню товщину штаби в осередку деформації. Дія підпираючих сил тертя

поширюється на всю товщину штаби. Відповідно до цього деформація розподіляється по висоті тіла майже рівномірно. Бічні крайки штаби після прокатки мають дуже малу опуклість (рис. 1.9, а).



: а – $l_d/h_{cp} > 3-4$; б – $3-4 > l_d/h_{cp} > 0,6-0,8$; в – $0,6-0,8 > l_d/h_{cp} > 0,1-0,2$; г – $l_d/h_{cp} < 0,1-0,2$. [8]

Рисунок 1.9 – Форма поперечного перерізу штаби після прокатки за різних величин параметрів l_d/h_{cp}

Прокатка штаб середньої товщини – $3 \div 4 > l_d/h_{cp} > 0,6 \div 0,8$. У зв'язку з відносним збільшенням розміру h_{cp} дія сил тертя на середні (по висоті) шари металу слабшає; ці шари деформуються найбільш інтенсивно. У той же час у приконтатних шарах утворюються зони утрудненої деформації. Бічні крайки штаби набувають явно опуклої форми ("одинарної бочки") (рис. 1.9, б).

Прокатка товстих штаб – $0,6 \div 0,8 > l_d/h_{cp} > 0,1 \div 0,2$. За великої товщини штаби деформація стиснення слабо проникає в серединні шари металу. У результаті після прокатки поперечний переріз штаби набуває форми "подвійної бочки" (рис. 1.9, в). Такий розподіл деформацій є причиною виникнення поздовжніх розтягаючих напружень у центральних шарах штаби. Ті шари металу, які одержують найбільш інтенсивне обтиснення (зони А на рис. 1.9, в), впливають на центральні шари, примусово збільшуючи їх витяжку. Розтягаючі напруження навіть можуть викликати поперечні надриви усередині штаби. Внаслідок дії розтягаючих напружень іноді спостерігається також зменшення ширини штаби в середній частині, тобто відбувається поперечна утяжка.

Прокатка особливо товстих штаб $l_d/h_{cp} < 0,1 \div 0,2$. Такі малі значення фактора форми l_d/h_{cp} зустрічаються на практиці, наприклад, при прокатуванні на ребро плоских злитків (широких штаб). Характерною ознакою цього типу прокатки є відсутність витяжки штаби. Весь метал, що обтискується, зміщується в поперечному напрямку, утворюючи бічні напливи у приконтатній зоні (рис. 1.9, г). На середню (по висоті) частину штаби деформація не поширюється.

Вплив параметра b_0/h_0 на розподіл деформації пояснюється тим, що від його величини залежить інтенсивність поперечного плину металу (в розширення). Чим менше b_0/h_0 (тобто чим вузьчою є штаба), тим легше метал йде на розширення. Тому, при прокатуванні вузьких штаб нерівномірність деформації вище, ніж при прокатуванні широких.

2 ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Устаткування для проведення дослідів

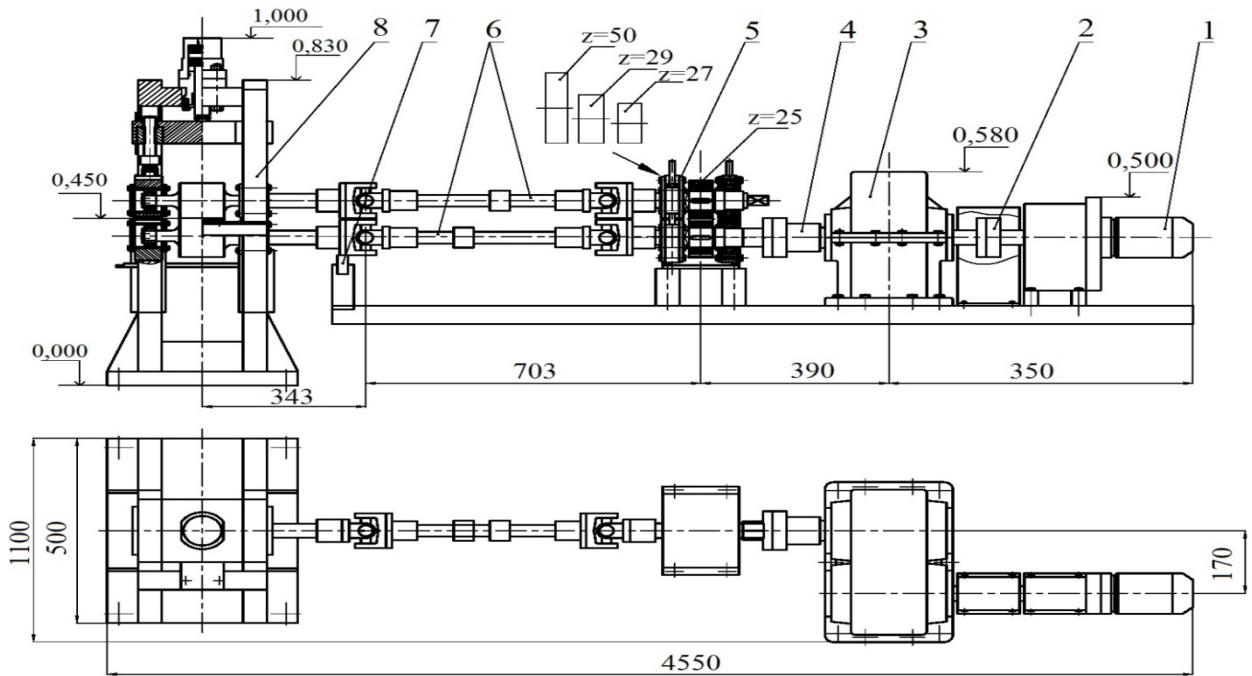
Найголовнішим устаткуванням для проведення дослідів було обрано лабораторний стан з діаметром валків 200 мм, що розташовано в лабораторії кафедри МТЕТБ в умовах Запорізького національного університету. На рисунку 2.1 показано загальний вид лабораторного прокатного стану.

Це допоможе знизити трудомісткість, зекономити матеріальні ресурси і подальшого розширення діапазону досліджуваних умов реалізації в рамках даної роботи



Рисунок 2.1 – Прокатний стан Дуо

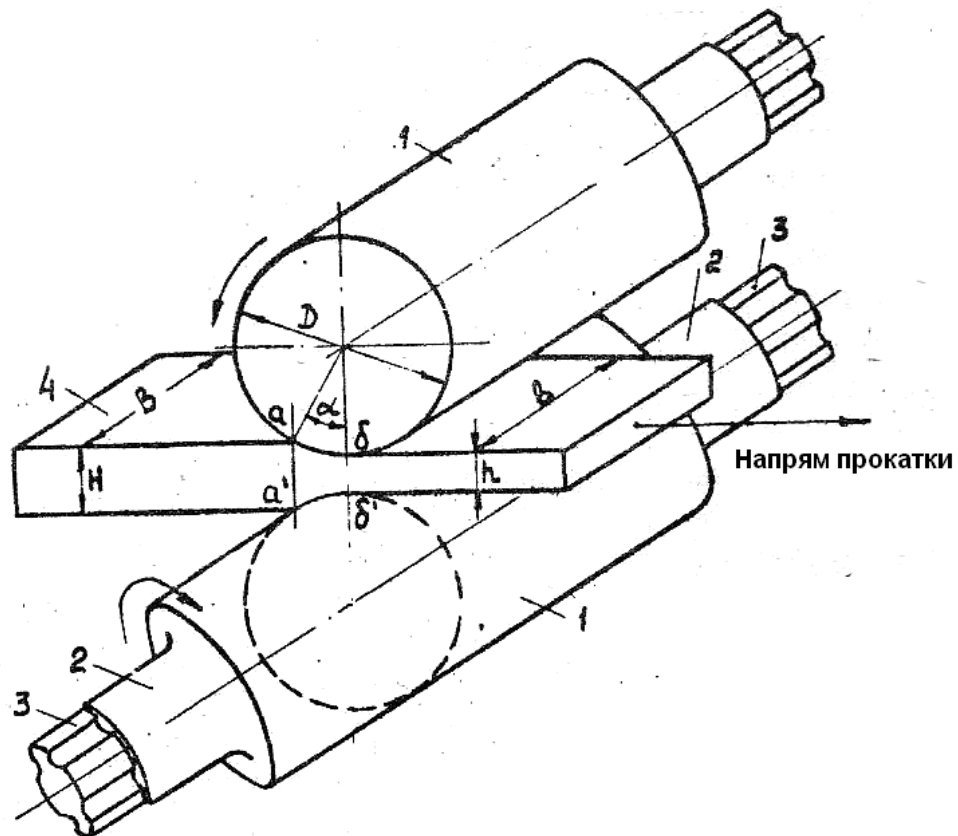
План розташування устаткування головної лінії робочої кліті лабораторного прокатного стану 200 представлено на рисунку 2.2.



1- мотор-редуктор, 2- моторна муфта, 3- одноступінчастий циліндричний зубчастий редуктор з передатним відношенням 4,0, 4- проміжну муфту, 5- шестеренну кліть, 6- універсальні шпинделі на підшипниках кочення, 7- механізм їх пружинного урівноважування й 8- двохвалкову робочу кліть

Рисунок 2.2 – План розташування устаткування головної лінії робочої кліті лабораторного прокатного стану 200

В процесі прокатки здійснюється процес симетричної прокатки штаб прямокутного поперечного перерізу в циліндричних гладких приводних валках (рис. 2.3).



1 – бочка валка, 2 – опорні шийки, 3 – трефи, 4 – зливоч, що прокатується, або заготовка

Рисунок 2.3 – Схема симетричної поздовжньої прокатки в гладких валках:

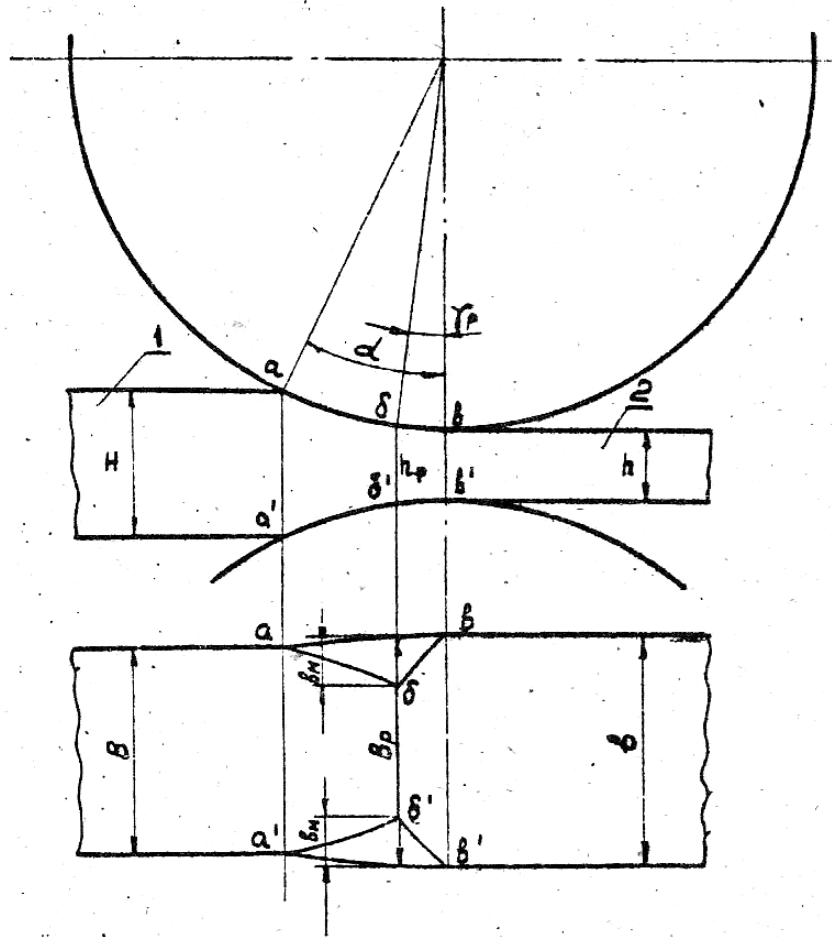
2.2 Метод дослідження - гіпотеза шляху найменшого опору

Цінність кожної гіпотези як наукового припущення минуща й відносна та визначається тим, якою мірою дана гіпотеза дає змогу пояснити вже відомі закономірності в тій чи іншій галузі пізнання чи може стати основою їхнього подальшого розвитку.

Гіпотеза ковзання, що стала свого часу хорошою базою для розвитку теорії прокатки, й тепер ще не втратила значущості. Але все-таки недостатньо пояснює цілий ряд знову встановлених у процесі поздовжньо прокатки явищ: відсутність за певних умов ковзання частинок металу на

деяких ділянках середини дуги дотику, у зв'язку з чим і виникла гіпотеза прилипання; своєрідну залежність розширення від ширини розкату – малу в процесі прокатки широких штаб і значну в процесі прокатки вузьких штаб; суттєву залежність відставання та випередження від ширини розкату тощо. Саме ці й інші явища легко і переконливо пояснюються за допомогою третьої гіпотези – гіпотези шляху найменшого опору.

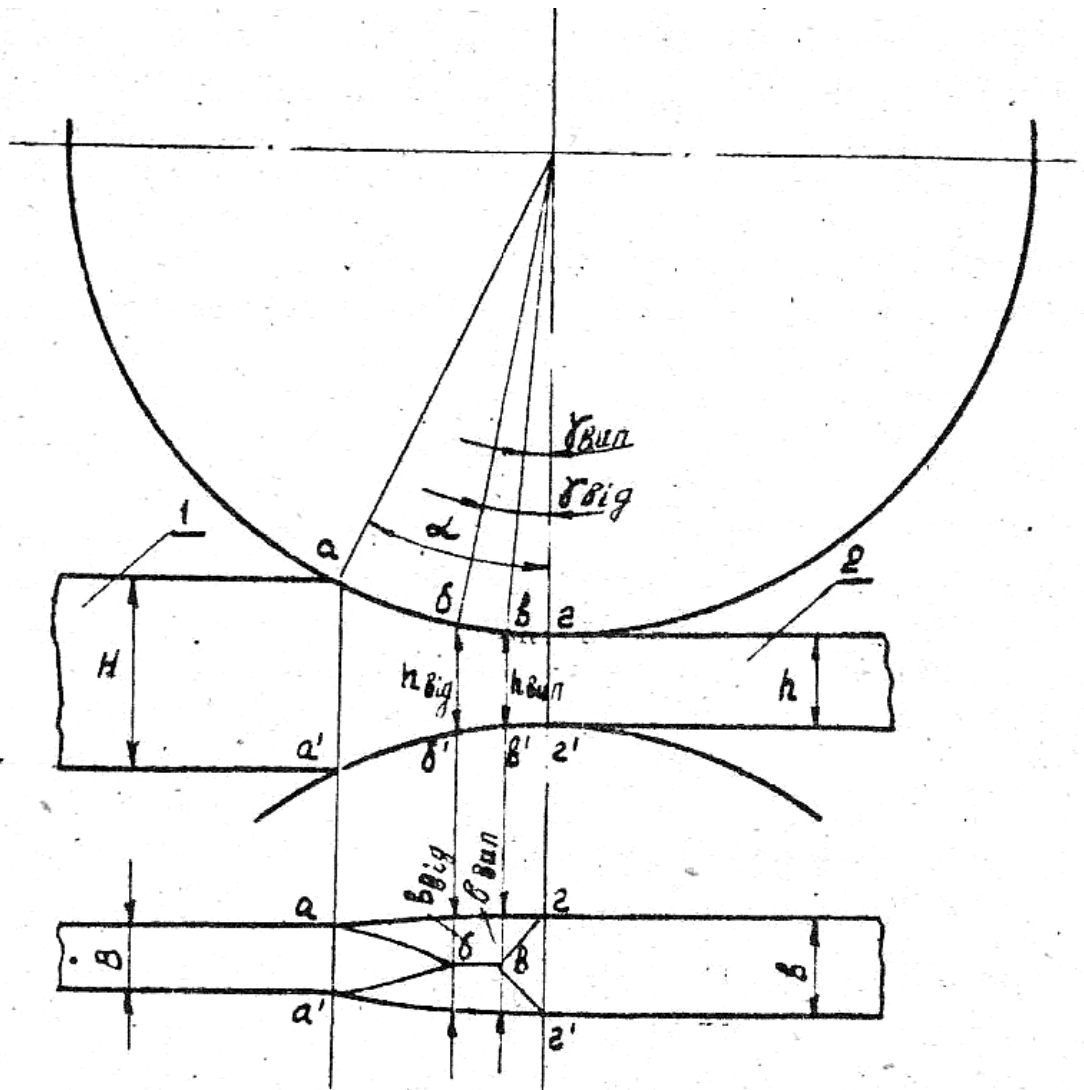
На відміну від двох відомих гіпотез – ковзання та прилипання, в яких ширина розкату не розглядається, в гіпотезі шляху найменшого опору – враховується також ширина розкату; при цьому розглядається широкий (рис. 2.6) і вузький (рис. 2.7) осередок деформації.



: $abb'a'$ – зона відставання; $bvb'b'$ – зона випередження; $abv, a'b'v'$ – зони розширення; 1 і 2 – задній і передній жорсткі кінці розкату

Рисунок 2.6 – Схема широкого чотиризонного осередку деформації згідно з гіпотезою шляху найменшого опору

У теорії обробки металів тиском відомим є закон найменшого опору, або закон мінімального периметра, згідно з яким в разі обтискання паралелепіпедних зразків або зразків будь-якої іншої форми під плоско паралельними бойками переміщення частинок металу відбувається за головними координатними напрямками по шляху найменшого опору. При цьому вирізняється чотири зони переважного переміщення частинок у напрямі до бічних граней зразка.



аба', абб'а' – зона відставання; *вгг', вгг'в'* – зона випередження; *абвг*, *а'б'вг'* – зони розширення; 1 і 2 – задній і передній жорсткі кінці розкату
Рисунок 2.7 – Схема вузького чотиризонного осередку деформації згідно з гіпотезою шляху найменшого опору:

Цей закон також зберігає силу стосовно процесу прокатки, але межі зон переважного переміщення частинок металу, певна річ, відрізнятимуться за формою від меж за найпростіших умов деформації зразків осадкою. Проте закон найменшого опору в теорії прокатки ще не знайшов належного застосування і часто його використовують для якісного аналізу характеру пливу металу в деформаційній зоні валків і порівняно рідше [13] для встановлення кількісних співвідношень між деформаціями за головними напрямками. Між тим у результаті сталості форми та розмірів контактної поверхні розкату в деформаційній зоні в усталеному процесі прокатки, саме стосовно цього процесу закон найменшого опору чи на його основі – гіпотеза шляху найменшого опору [14, 15] й може бути використана з найбільшими ефектами.

У принципі гіпотеза шляху найменшого опору не знаходиться в протиріччі з гіпотезами ковзання та прилипання, але вона більш універсальна, ніж перші дві гіпотези, і є хорошою основою подальшого розвитку теорії прокатки.

Згідно з гіпотезою шляху найменшого опору [13] осередок деформації та контактна поверхня розкату з валками розбиваються на чотири зони: за широкого осередку деформації (рис. 2.6) – на зону відставання $abb'a'$, що прилягає до заднього жорсткого кінця розкату; зону випередження $bvv'b'$, що прилягає до переднього жорсткого кінця розкату, і на дві зони розширення abv і $a'b'v$, що примикають до зон відставання та випередження і виходять зовнішніми межами до бічних граней розкату. У вузькому осередку деформації (рис. 2.7) контактна поверхня також розбивається на зону відставання aba' , зону випередження bgg' і дві зони розширення – $abvg$ і $a'bvg'$.

Під широким осередком деформації (рис. 2.6) у суворому розумінні цього поняття треба розуміти такий осередок, коли

$$b_p > 2b_m, \quad (2.1)$$

під вузьким – осередок, коли

$$b_p < 2b_m, \quad (2.2)$$

і під граничним – осередок, коли

$$b_p = 2b_m,$$

де b_m - максимальна поперечна протяжність зони розширення;
 $b_p \approx b$ - ширина розкату на межі поділу зони випередження від зони відставання.

Визначення широкого осередку деформації за умови $b_{cp} \geq R\alpha$ та вузького осередку за умови $b_{cp} < R\alpha$, де $b_{cp} \approx b$ - середня ширина розкату; $R\alpha$ - дуга контакту, також зустрічається в літературі [15].

Згідно з гіпотезою шляху найменшого опору відсутність ковзання частинок металу по валках можлива за яким-небудь одним із головних напрямів: осьовому – по дузі дотику або поперечному – по твірній валків. Для широкого осередку деформації (рис. 2.6) прилипання по дузі дотику можливе в зонах розширення abv і $a'b'v'$, а по твірній – у зонах відставання $abb'a'$ і випередження $vbb'v'$. Для вузького осередку деформації (рис. 2.7) прилипання по дузі дотику можливе в зонах розширення abv і $a'b'v'$, а по твірній – у зонах відставання aba' і випередження zvg' . Повною відсутність ковзання частинок металу по валках може бути лише в межах зон розширення, відставання та випередження, тобто по ламаних лініях $abb'a'$ і $vbb'v'$ широкого осередку деформації та лініях abv і $a'b'v'$ вузького осередку деформації.

Згідно із сказаним змінюється смисл поняття нейтрального кута, що встановився в теорії поздовжньої прокатки, яка ґрунтується на гіпотезі двохзонного осередку деформації та припущенні про сталість поздовжньої швидкості руху частинок металу в даній вертикальній площині перерізу

осередку, що перпендикулярна до напрямку прокатки. Згідно з гіпотезою шляху найменшого опору критичний кут за шириною розкату в широкому осередку деформації у межах центрального кута дотику змінюється від нуля по межах бічних граней у точках v і v' до α також по межах бічних граней у точках a і a' .

На межі поділу зони випередження від зони відставання bb критичний кут досягає максимуму γ_p для зони випередження і в той самий час є мінімальним для зони відставання. Для вузького осередку деформації з розривом зони випередження від зони відставання виникають два критичних перерізи bb' і vv' , кожному з яких відповідає свій граничний критичний кут, що змінюється від нуля в точках z і z' до максимуму $\gamma_{вин}$ у точці v в зоні випередження і від мінімуму $\gamma_{від}$ в точці b до максимуму α у точках a і a' в зоні відставання. Цими кутами, як видно, визначаються межі зон в області осередку деформації і тому доцільно називати їх зональними кутами відповідної зони.

У цілях перевірки вірогідності прийнятих гіпотез шляху найменшого опору та пропорційності істинних зональних деформацій істинному об'єму та площі контактної поверхні в зонах осередку, що стали основою для теоретичного аналізу та виявлення функціональної залежності випередження, відставання, витяжки та розширення від основних факторів прокатки, проведено експериментальне дослідження поперечних і поздовжніх деформацій у процесі прокатки за умов вузького та широкого осередків деформації, а також за граничних умов, і порівняння дослідних показників з розрахованими за теоретичними формулами. [16-19].

Досліди проводили на лабораторному прокатному стані в гладких сталевих валках діаметром 200 мм при коефіцієнті тертя в усталеному процесі прокатки $f = 0,25$ і швидкості прокатки $v = 0,5$ м/с. Стан приводиться у рух від асинхронного двигуна потужністю 100 кВт через чотириступінчастий редуктор і шестеренну кліть. Прокатували свинцеві

зразки товщиною $H = 12, 18$ та 24 мм, шириною $B = 10$ та 13 мм, довжиною $l = 147-148$ мм з різним ступенем обтискання. Зразки кернували рисками, внаслідок чого забезпечували сталість товщини та ширини і правильність форми бічних граней кожної партії зразків.

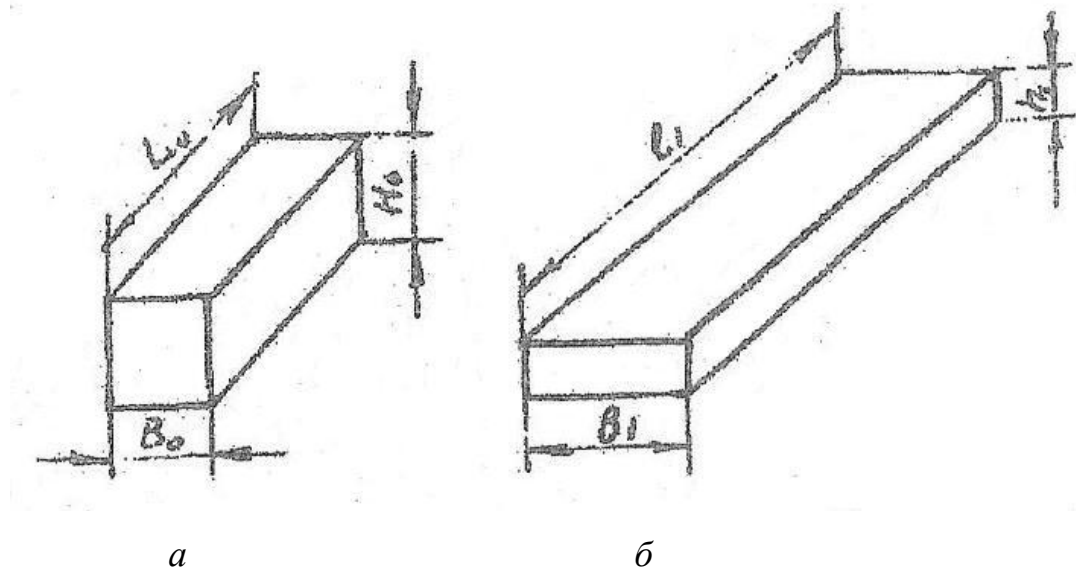


Рисунок 2.8 – Розміри паралелепіпеда до (а) і після (б) деформації

Плоскі бічні грані зразків після прокатки ставили більш-менш випуклими. Тому з прокатних зразків готували темплети і за ними планеметруванням визначали площу q , а за площею та товщиною після пропуску h обчислювали середню зведену ширину прямокутної штаби

$b = \frac{q}{h}$, середнє дослідне розширення за різницею $\Delta b_0 = b - B$ та коефіцієнт

втяжки $\mu = \frac{Q}{q}$, де $Q = H \cdot B$ - площа поперечного перерізу зразка по

пропуску.

Розрахункові втяжки та розширення визначали за теоретичними формулами, отриманими на основі гіпотези шляху найменшого опору за умов вузького і широкого осередків деформації. Ці розрахунки зручно виконувати за спеціальними алгоритмами і програмою за допомогою

Microsoft Office Excel 2003, але можна користуватися також іншими звичайними комп'ютерними програмами.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗШИРЕННЯ ПРИ ПРОКАТУВАННІ

3.1 Визначення параметрів осередку деформації при прокатуванні

Осередком деформації називається частина штаби, яка у цей момент часу піддається пластичній деформації. Подивимось на рисунку 1.1. При спрощеному описі процесу прокатки за осередок деформації приймають область, обмежену перерізами AA' , BB' і дугами кіл валків AB , $A'B'$. Це так званий *геометричний* (ідеалізований) осередок деформації.

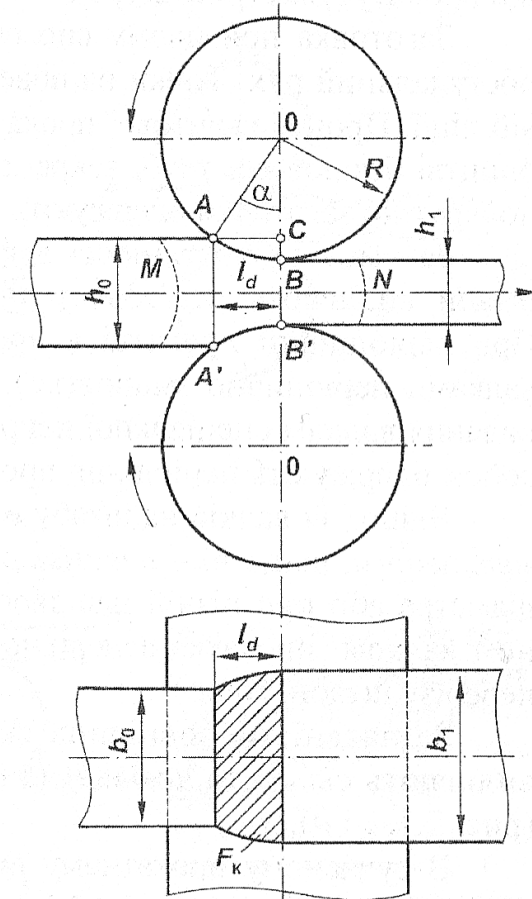


Рисунок 3.1 – Осередок деформації при прокатуванні

Експериментальні дослідження показують, що дійсні межі осередку деформації можуть не збігатися з перерізами AA' і BB' . Наприклад, пластична

деформація може починатися на лінії M , а закінчуватися на лінії N . Область між лініями M і N – це *фізичний* (дійсний) осередок деформації. Довжина фізичного осередку деформації більше, ніж геометричної. Частина штаби, що прилягають до осередку деформації, але не деформуються в цей момент часу, називаються *зовнішніми зонами* або *жорсткими кінцями*.

Під час прокатки зменшується товщина штаби від H_0 до h_1 , збільшується довжина від L_0 до l_1 і ширина від B_0 до b_1 . Зменшення товщини штаби називають *абсолютним отиском* Δh :

$$\Delta h = H_0 - h_1, \quad (3.1)$$

а збільшення ширини штаби – *розширенням* Δb :

$$\Delta b = b_1 - B_0, \quad (3.2)$$

індекси «0» позначають розміри штаби до прокатки, а «1» – після прокатки.

Розглянемо основні поняття, що стосуються геометричного осередку деформації. Дугу AB називають *дугою контакту* або *дугою захвату*, а відповідний їй центральний кут α – *кутом контакту* або *кутом захвату*. Горизонтальну проекцію дуги контакту (відрізок AC) приймають за *довжину осередку деформації* l_d . У нижній частині рисунку 3.1 штрихуванням показана горизонтальна проекція поверхні торкання штаби з валками – *контактна поверхня* F_k . [19-23].

Кут контакту металу з валками α – центральний кут, утворений двома радіусами валка, проведений із його центру до точок входу A та виходу B металу із валків. Величина кута α визначається із трикутника AOC :

$$\cos \alpha = \frac{OC}{OA} = \frac{R - \Delta h/2}{R} \quad (3.3)$$

Звідки:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{D}\right) \quad (3.4)$$

де D – діаметр робочого валка.

Для розрахунку кута контакту можна використовувати наближену, але просту й зручну формулу:

$$\alpha = \sqrt{\Delta h/R}, \text{ рад.} \quad (3.5)$$

$$\alpha = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \text{ град} \quad (3.6)$$

де R – радіус робочого валка.

Точність наближеної формули (3.5) є цілком достатньою. Порівняльні розрахунки за формулами (3.4) і (3.5) показують, що навіть при дуже великих величинах кутів контакту (до $30 \div 35^\circ$) похибка обчислень за формулою (3.5) не перевищує $1,0 \div 1,5\%$.

Довжину осередку деформації l_d можна визначити із прямокутного трикутника AOC , звідки:

$$l_d = AC = \sqrt{(AC)^2 - (OC)^2} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{R^2 - R^2 + 2R \frac{\Delta h}{2} - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$$

Зневаживши за малістю другим членом під коренем, в кінцевому вигляді отримують:

$$l_d = \sqrt{\Delta h R} \quad (3.7)$$

де R – радіус робочого валка.

Для розрахунку довжини осередку деформації можна використовувати формулу:

$$l_d = R \sin \alpha . \quad (3.8)$$

Площа контакту металу з валками F_k визначається з рисунку 3.1, звідки:

$$F_k = \frac{B_0 + b_1}{2} l_d \quad (3.9)$$

або

$$F_k = \frac{B_0 + b_1}{2} \sqrt{\Delta h R} \quad (3.10)$$

Інтенсивність деформації при прокатуванні листів і штаб визначають відносим отиском ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{H_0} \cdot 100\% , \quad (3.11)$$

а також коефіцієнтом витяжки μ :

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} , \quad (3.12)$$

де F_0, F_1 – площа поперечного перетину штаби відповідно до і після проходу.

Важливою характеристикою геометричних умов деформації є відношення довжини осередку деформації до середньої товщини штаби: l_d/h_{cp} . Цей показник, називають *фактором форми* або *коефіцієнтом форми*.

Середню товщину штаби в осередку деформації зазвичай визначають як середньоарифметичну:

$$h_{cp} = \frac{(H_0 + h_1)}{2} \quad (3.13)$$

Вираз (3.13) є найпростішим, але не зовсім точним, тому що товщина штаби змінюється протягом осередку деформації не прямолінійно (не по хордах AB і $A'B'$), а по колу. Істинна середня товщина штаби в осередку деформації є трохи меншою за ту, що обчислюється за формулою (3.13). Якщо дугу кола замінити параболою, формула має вигляд:

$$h_{cp} = \frac{(H_0 + 2h_1)}{3} \quad (3.14)$$

Досить точне значення h_{cp} дає також формула:

$$h_{cp} = \sqrt{H_0 h_1} . \quad (3.15)$$

Параметр l_d/h_{cp} характеризує геометричні умови в поздовжньому перерізі осередку деформації. Для характеристики форми осередку деформації в плані служить відношення b_{cp}/l_d , де b_{cp} – середня ширина штаби в осередку деформації; іноді використовується відношення b_0/l_d .

Роботи виконувались на двовалковому стані з діаметром валків $D = 200$ мм. Зразки із свинцю поперечного перерізу $H_0 \times B_0$ прокатувався за 5 проходів з обтиском Δh . До і після кожного проходу вимірювали розміри поперечного перерізу зразка. Результати замірів заносили в таблицю 3.1. Туди ж заносили результати розрахунків по визначенню параметрів осередку деформації по вищенаведеним формулам. Користуючись даними таблиці 3.1, будемо графіки $\alpha = f(\Delta h_i)$ і $\mu = f(\varepsilon)$.

Таблиця 3.1 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 1 ($H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм)

№ проходу	Розміри зразка				Площа перерізу		Коефіцієнти деформації				Кут захоплення		Параметри осередку деформації		Площа контакту
	H_0 , мм	B_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	Δh , мм	Δb , мм	ϵ , %	μ	α , рад	α , град	l_d , мм	b_{cp} , мм	F_k , мм ²
Зразок № 1 $H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм															
1	12	10	11,3	10,6	120	119,78	0,7	0,6	5,83	1,002	0,084	4,79	8,37	10,3	86,18
Кантування															
2	10,6	12	7,3	13	127,2	94,9	3,3	1	31,13	1,34	0,182	10,41	18,17	12,5	227,07
Кантування															
3	13	7,3	10,5	8,2	94,9	86,1	2,5	0,9	19,23	1,10	0,158	9,06	15,81	7,75	122,54
Кантування															
4	8,2	10,5	4,9	12,9	86,1	63,21	3,3	2,4	40,24	1,36	0,182	10,41	18,17	11,7	212,54
Кантування															
5	12,9	4,9	6,8	6,5	63,21	44,2	6,1	1,6	47,29	1,43	0,247	14,15	24,70	5,7	140,78

Таблиця 3.2 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 2 ($H_0 \times B_0 = 18 \times 13$ мм)

№ проходу	Розміри зразка				Площа перерізу		Коефіцієнти деформації				Кут захоплення		Параметри осередку деформації		Площа контакту
	H_0 , мм	B_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	Δh , мм	Δb , мм	ϵ , %	μ	α , рад	α , град	l_d , мм	b_{cp} , мм	F_k , мм ²
Зразок № 3 $H_0 \times B_0 = 24 \times 13$ мм															
1	18	13	16,2	13,4	234	217,08	1,8	0,4	10	1,08	0,134	7,69	13,42	13,2	177,1
Кантування															
2	13,4	16,2	9,1	18,6	217,08	169,26	4,3	2,4	32,09	1,28	0,207	11,88	20,74	17,4	360,81
Кантування															
3	18,6	9,1	17,1	9,3	169,26	159,03	1,5	0,2	8,06	1,06	0,122	7,02	12,25	9,2	112,68
Кантування															
4	9,3	17,1	7,3	18,4	159,03	134,32	2	1,3	21,51	1,18	0,141	8,10	14,14	17,75	251,02
Кантування															
5	18,4	7,3	11,4	9,1	134,32	103,74	7	1,8	38,04	1,29	0,265	15,16	26,46	8,2	216,95

Таблиця 3.3 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 3

№ проходу	Розміри зразка				Площа перерізу		Коефіцієнти деформації				Кут захоплення		Параметри осередку деформації		Площа контакту
	H ₀ , мм	B ₀ , мм	h ₁ , мм	b ₁ , мм	F ₀ , мм ²	F ₁ , мм ²	Δh, мм	Δb, мм	ε, %	μ	α, рад	α, град	l _d , мм	b _{ср} , мм	F _к , мм ²
Зразок № 3 H ₀ ×B ₀ = 24×13 мм															
1	24	13	23,2	13,5	313,2	312	0,8	0,5	3,33	1,004	0,089	5,13	8,94	13,25	118,51
Кантування															
2	13,5	23,2	13	23,6	312	306,8	0,5	0,4	3,70	1,02	0,071	4,05	7,07	23,4	165,46
Кантування															
3	23,6	13	22	13,2	306,8	290,4	1,6	0,2	6,78	1,06	0,126	7,25	12,65	13,1	165,70
Кантування															
4	13,2	22	12	22,1	290,4	265,2	1,2	0,1	9,09	1,10	0,110	6,28	10,95	22,05	241,55
Кантування															
5	22,1	12	2,1	14	265,2	29,4	20	2	90,50	9,02	0,447	25,63	44,72	13	581,38

3.2 Умова сталості об'єму і коефіцієнти деформації при прокатуванні

У процесі прокатки змінюються лінійні розміри штаби – висота (товщина), ширина та довжина. Розглянемо систему показників, які характеризують величину деформації в кожному із цих напрямків.

Висотна деформація. Зміна висоти (товщини) штаби характеризується величиною абсолютного і відносного обтиснення. *Абсолютне обтиснення* становить:

$$\Delta h = H_0 - h_1. \quad (3.16)$$

Відносне обтиснення може бути визначено з різним ступенем точності. *Дійсне відносне обтиснення* визначається за формулою:

$$e_h = \ln(H_0/h_1). \quad (3.17)$$

У механіці твердого тіла прийнято дещо інше визначення e_h , а саме як логарифм відношення кінцевої висоти до початкової. Проте у теорії та практиці обробки металів тиском прийнято визначення e_h за формулою (3.17), щоб у розрахунках оперувати позитивними величинами.

Обчислення величини e_h , є трохи незручним, тому що вимагає логарифмування. Тому часто користуються величиною *умовного відносного обтиснення*:

$$\varepsilon = \frac{(H_0 - h_1)}{H_0} = \frac{\Delta h}{H_0}. \quad (3.18)$$

Відносне обтиснення визначають у частках одиниці або у відсотках; в останньому випадку результати розрахунків за формулою (3.18) множать на 100.

Крім величин Δh , e_h , ε показником висотної деформації служить коефіцієнт обтиснення:

$$\eta = \frac{h_1}{H_0}. \quad (3.19)$$

Оскільки η менше одиниці, у розрахунках іноді зручно користуватися зворотною величиною $1/\eta = H_0/h_1$.

Поперечна деформація. Зміна поперечних розмірів штаби називається *розширенням*. Показники розширення за змістом аналогічні показникам висотної деформації.

Абсолютне розширення становить:

$$\Delta b = b_1 - \Delta b. \quad (3.20)$$

Істинне відносне розширення:

$$e_b = \ln(h_1/H_0). \quad (3.21)$$

Умовне відносне розширення:

$$\xi = \frac{(b_1 - B_0)}{B_0} = \frac{\Delta b}{B_0}. \quad (3.22)$$

Коефіцієнт розширення:

$$\beta = \frac{b_1}{B_0}. \quad (3.23)$$

Величину поперечної деформації також характеризують відношенням абсолютного розширення до абсолютного обтиснення:

$$a = \frac{\Delta b}{\Delta h}. \quad (3.24)$$

Цю величину називають *показником розширення*.

Поздовжня деформація. Абсолютне подовження штаби становить:

$$\Delta l = l_1 - L_0. \quad (3.25)$$

Істинне відносне подовження:

$$e_l = \ln(l_1/L_0). \quad (3.26)$$

Умовне відносне подовження:

$$\theta = \frac{(l_1 - L_0)}{L_0} = \frac{\Delta l}{L_0}. \quad (3.27)$$

Слід зазначити, що величини Δl , e_l , θ рідко застосовуються на практиці для характеристики поздовжньої деформації. Разом з тим широко використовується показник, названий *коефіцієнтом витяжки*:

$$\mu = l_1/L_0 \quad (3.28)$$

Коефіцієнт витяжки характеризує не тільки зміну довжини штаби, але й зміну площі її поперечного перерізу. Дійсно, з умови сталості об'єму маємо $F_0 L_0 = F_1 l_1$ звідки випливає $l_1 / L_0 = F_0 / F_1$.

Таким чином, коефіцієнт витяжки можна визначити також за співвідношенням площ поперечного перерізу штаби до і після прокатки:

$$\mu = \frac{F_0}{F_1}. \quad (3.29)$$

Якщо технологічний процес включає кілька проходів штаби через валки, що буває майже завжди, то розрізняють *поодинокі* або *часткові коефіцієнти витяжки* (у кожному проході) та *загальний коефіцієнт витяжки*.

Взаємозв'язок деформацій. Коефіцієнти деформації в трьох основних напрямках зв'язані між собою умовою сталості об'єму металу. Так, для прямокутної штаби маємо $H_0 B_0 L_0 = h_1 b_1 l_1$, звідки випливає:

$$\frac{h_1}{H_0} \cdot \frac{b_1}{B_0} \cdot \frac{l_1}{L_0} = \eta \cdot \beta \cdot \mu = 1. \quad (3.30)$$

Таким чином, добуток коефіцієнтів обтиснення, розширення та витяжки повинен дорівнювати одиниці. У протилежному випадку порушується умова сталості об'єму.

Логарифмуючи вираз (3.30), одержимо:

$$\ln \frac{h_1}{H_0} + \ln \frac{b_1}{B_0} + \ln \frac{l_1}{L_0} = 0, \quad (3.31)$$

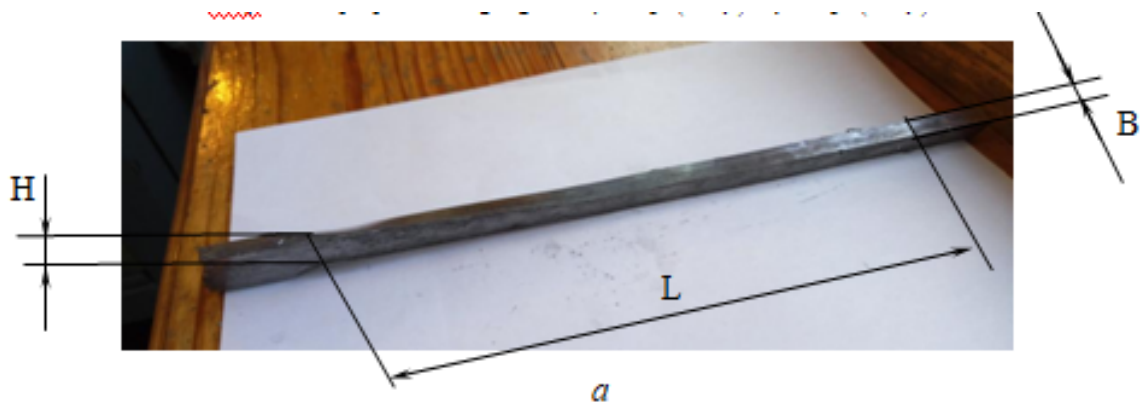
або

$$e_h + e_b + e_l = 0. \quad (3.32)$$

У цьому випадку e_h обчислюється як $\ln(h_1/h_0)$, що дозволяє виключити штучну зміну знаку показника.

Сума дійсних відносних деформацій по трьох основних напрямках (з урахуванням знака) дорівнює нулю. Вираз (3.32) є умовою сталості об'єму, записаною відносно деформації. Знаки перед членами формули (3.32) показують, що по висоті штаби відбувається зменшення, а по інших напрямках – збільшення розмірів.

Роботу виконували на стані з діаметром валків $D = 200$ мм. Відлитий зразок форми паралелепіпеду (рис. 3.2) попередньо прокатували з обтиском 1-2 мм, потім на його верхній грані наводили дві риски з відстанню поміж ними 100 мм, яке приймали за L_0 . Вимірювали H_0 , B_0 і заносили в таблицю. В подальшому прокатку повторювали у вищезначеному порядку. Далі розраховували коефіцієнти деформації по формулі (1.30) перевіряли умови сталості об'єму. Побудували графіки $\mu = f(1/\eta)$, $\beta = f(1/\eta)$.



б

a – перший прохід; *б* – останній прохід

Рисунок 3.2 – Експериментальні зразки після прокатування штаби

$H_0 \times B_0 = 24 \times 13$ мм:

Таблиця 3.4 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 1 ($H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм)

№ проходу	Розміри зразка				Геометричні параметри деформації				Коефіцієнти деформації			Добуток коефіцієнтів деформації	Параметри осередку деформації		Показник розширення
	H_0 , мм	B_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	Δh , мм	Δb , мм	η	μ	β	$\eta \cdot \beta \cdot \mu$	l_d , мм	$b_{ср}$, мм	a
Зразок № 1 $H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм															
1	12	10	11,3	10,6	120	119,78	0,7	0,6	0,942	1,002	1,060	1,001	8,37	10,3	0,857
Кантування															
2	10,6	12	7,3	13	127,2	94,9	3,3	1	0,689	1,340	1,083	1,000	18,17	12,5	0,303
Кантування															
3	13	7,3	10,5	8,2	94,9	86,1	2,5	0,9	0,808	1,102	1,123	1,000	15,81	7,75	0,360
Кантування															
4	8,2	10,5	4,9	12,9	86,1	63,21	3,3	2,4	0,598	1,362	1,229	1,000	18,17	11,7	0,727
Кантування															
5	12,9	4,9	6,8	6,5	63,21	44,2	6,1	1,6	0,527	1,430	1,327	1,000	24,70	5,7	0,262

Таблиця 3.5 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 2 ($H_0 \times V_0 = 18 \times 13$ мм)

№ проходу	Розміри зразка				Геометричні параметри деформації				Коефіцієнти деформації			Добуток коефіцієнтів деформації	Параметри осередку деформації		Показник розширення
	H_0 , мм	V_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	Δh , мм	Δb , мм	η	μ	β	$\eta \cdot \beta \cdot \mu$	l_d , мм	b_{cp} , мм	a
Зразок № 3 $H_0 \times V_0 = 24 \times 13$ мм															
1	18	13	16,2	13,4	234	217,08	1,8	0,4	0,900	1,078	1,031	1,000	13,42	13,2	0,222
Кантування															
2	13,4	16,2	9,1	18,6	217,08	169,26	4,3	2,4	0,679	1,283	1,148	1,000	20,74	17,4	0,558
Кантування															
3	18,6	9,1	17,1	9,3	169,26	159,03	1,5	0,2	0,919	1,064	1,022	0,999	12,25	9,2	0,133
Кантування															
4	9,3	17,1	7,3	18,4	159,03	134,32	2	1,3	0,785	1,184	1,076	1,000	14,14	17,75	0,650
Кантування															
5	18,4	7,3	11,4	9,1	134,32	103,74	7	1,8	0,620	1,295	1,247	1,001	26,46	8,2	0,257

Таблиця 3.6 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 3

№ проходу	Розміри зразка				Геометричні параметри деформації				Коефіцієнти деформації			Добуток коефіцієнтів деформації	Параметри осередку деформації		Показник розширення
	H ₀ , мм	B ₀ , мм	h ₁ , мм	b ₁ , мм	F ₀ , мм ²	F ₁ , мм ²	Δh, мм	Δb, мм	η	μ	β	η · β · μ	l _d , мм	b _{ср} , мм	a
Зразок № 3 H ₀ ×B ₀ = 24×13 мм															
1	24	13	23,2	13,5	313,2	312	0,8	0,5	0,967	1,004	1,038	1,008	8,94	13,25	0,625
Кантування															
2	13,5	23,2	13	23,6	312	306,8	0,5	0,4	0,963	1,017	1,017	0,996	7,07	23,4	0,800
Кантування															
3	23,6	13	22	13,2	306,8	290,4	1,6	0,2	0,932	1,056	1,015	1,000	12,65	13,1	0,125
Кантування															
4	13,2	22	12	22,1	290,4	265,2	1,2	0,1	0,909	1,095	1,005	1,000	10,95	22,05	0,083
Кантування															
5	22,1	12	2,1	14	265,2	29,4	20	2	0,095	9,020	1,167	1,000	44,72	13	0,100

Далі визначаємо істинні відносні деформації. Під істинними відносними головними деформаціями, що називаються також логарифмічними, або інтегральними, розуміють деформації вигляду:

$$\varepsilon_{об} = - \int_H^h \frac{dh_\varphi}{h_\varphi};$$

$$\varepsilon_{розш} = \int_B^b \frac{db_\varphi}{b_\varphi};$$

$$\varepsilon_\varepsilon = \int_L^l \frac{dl_\varphi}{l_\varphi}.$$

При цьому після інтегрування і підстановки меж отримують: істинне обтискання:

$$\varepsilon_{об} = \ln \frac{H}{h} = \ln \eta;$$

істинне розширення:

$$\varepsilon_{розш} = \ln \frac{b}{B} = \ln \beta;$$

істинну витяжку:

$$\varepsilon_\varepsilon = \ln \frac{l}{L} = \ln \lambda.$$

а з урахуванням, що $\frac{l}{L} = \frac{Q}{q}$, істинна витяжка в іншому, більш зручному вигляді:

$$\varepsilon_{\varepsilon} = \ln \frac{Q}{q} = \ln \mu.$$

Істинні деформації за нормальних обтискань можна досить точно виразити і без логарифмів, користуючись методами наближених обчислень; при цьому обтискання:

$$\varepsilon_{об} = \frac{\Delta h}{\sqrt{H \cdot h}} = \frac{\eta - 1}{\sqrt{\eta}};$$

Розширення

$$\varepsilon_{розш} = \frac{\Delta b}{\sqrt{B \cdot b}} = \frac{\beta - 1}{\sqrt{\beta}};$$

Витяжка

$$\varepsilon_{\varepsilon} = \frac{\Delta l}{\sqrt{L \cdot l}} = \frac{\lambda - 1}{\sqrt{\lambda}};$$

і в іншому, більш зручному вигляді

$$\varepsilon_{\varepsilon} = \frac{\Delta q}{\sqrt{Q \cdot q}} = \frac{\mu - 1}{\sqrt{\mu}}.$$

В результаті алгебраїчна сума трьох істинних головних деформацій повинне дорівнювати нулю.

Результати розрахунку істинних головних деформацій представлені у таблицях 3.7-3.9.

Таблиця 3.7– Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 1 ($H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм)

№ проходу	Розміри зразка				Геометричні параметри деформації				Коефіцієнти деформації			Істинні головні деформації			Сума трьох істинних деформацій
	H_0 , мм	B_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	Δh , мм	Δb , мм	η	μ	β	$\varepsilon_{об}$	$\varepsilon_{розш}$	ε_{ν}	$\varepsilon_{об} + \varepsilon_{розш} + \varepsilon_{\nu}$
Зразок № 1 $H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм															
1	12	10	11,3	10,6	120	119,78	0,7	0,6	0,942	1,002	1,060	-0,060	0,058	0,002	0,000
Кантування															
2	10,6	12	7,3	13	127,2	94,9	3,3	1	0,689	1,340	1,083	-0,373	0,080	0,293	0,000
Кантування															
3	13	7,3	10,5	8,2	94,9	86,1	2,5	0,9	0,808	1,102	1,123	-0,214	0,116	0,097	-0,001
Кантування															
4	8,2	10,5	4,9	12,9	86,1	63,21	3,3	2,4	0,598	1,362	1,229	-0,515	0,206	0,309	0,000
Кантування															
5	12,9	4,9	6,8	6,5	63,21	44,2	6,1	1,6	0,527	1,430	1,327	-0,640	0,283	0,358	0,001

Таблиця 3.8 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 2 ($H_0 \times B_0 = 18 \times 13$ мм)

№ проходу	Розміри зразка				Геометричні параметри деформації				Коефіцієнти деформації			Істинні головні деформації			Сума трьох істинних деформацій
	H_0 , мм	B_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²	Δh , мм	Δb , мм	η	μ	β	$\varepsilon_{об}$	$\varepsilon_{розш}$	$\varepsilon_{\varepsilon}$	$\varepsilon_{об} + \varepsilon_{розш} + \varepsilon_{\varepsilon}$
Зразок № 3 $H_0 \times B_0 = 24 \times 13$ мм															
1	18	13	16,2	13,4	234	217,08	1,8	0,4	0,900	1,078	1,031	-0,105	0,030	0,075	0,000
Кантування															
2	13,4	16,2	9,1	18,6	217,08	169,26	4,3	2,4	0,679	1,283	1,148	-0,387	0,138	0,249	0,000
Кантування															
3	18,6	9,1	17,1	9,3	169,26	159,03	1,5	0,2	0,919	1,064	1,022	-0,084	0,022	0,062	0,000
Кантування															
4	9,3	17,1	7,3	18,4	159,03	134,32	2	1,3	0,785	1,184	1,076	-0,242	0,073	0,169	0,000
Кантування															
5	18,4	7,3	11,4	9,1	134,32	103,74	7	1,8	0,620	1,295	1,247	-0,479	0,220	0,258	-0,001

Таблиця 3.9 – Параметри осередку деформації при прокатуванні зразка № 3

№ проходу	Розміри зразка				Геометричні параметри деформації				Коефіцієнти деформації			Істинні головні деформації			Сума трьох істинних деформацій
	H ₀ , мм	B ₀ , мм	h ₁ , мм	b ₁ , мм	F ₀ , мм ²	F ₁ , мм ²	Δh, мм	Δb, мм	η	μ	β	ε _{об}	ε _{розш}	ε _в	ε _{об} + ε _{розш} + ε _в
Зразок № 3 H ₀ ×B ₀ = 24×13 мм															
1	24	13	23,2	13,5	313,2	312	0,8	0,5	0,967	1,004	1,038	-0,034	0,038	0,004	0,008
Кантування															
2	13,5	23,2	13	23,6	312	306,8	0,5	0,4	0,963	1,017	1,017	-0,038	0,017	0,017	-0,004
Кантування															
3	23,6	13	22	13,2	306,8	290,4	1,6	0,2	0,932	1,056	1,015	-0,070	0,015	0,055	0,000
Кантування															
4	13,2	22	12	22,1	290,4	265,2	1,2	0,1	0,909	1,095	1,005	-0,095	0,005	0,091	0,001
Кантування															
5	22,1	12	2,1	14	265,2	29,4	20	2	0,095	9,020	1,167	-2,354	0,154	2,199	0,001

3.3 Порівняльний аналіз визначення поперечної деформації при прокатуванні

Визначення технологічних параметрів широкого осередку деформації та розширення через витяжку розраховували по наступному алгоритму:

- кут дотику

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}};$$

- нейтральний кут

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2f} \right);$$

- критерій ширини штаби

$$b_M = R\gamma \left(1 + \frac{\gamma}{2f} \right);$$

- істинне обтискання в зоні випередження

$$\varepsilon_{\text{вин}} = \ln \left(1 + \frac{R\gamma^2}{h} \right);$$

- істинне випередження

$$S_{\text{вун}} = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{b}{b - b_M} - \varepsilon_{\text{вун}} \right)^2} + \varepsilon_{\text{вун}} - \frac{1}{2} \left(\frac{b}{b - b_M} - \varepsilon_{\text{вун}} \right);$$

- істинне обтискання в зоні відставання

$$\varepsilon_{\text{від}} = \ln \left(\frac{H}{h + R\gamma^2} \right);$$

- істинне відставання

$$S_{\text{від}} = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{B}{B - b_M} - \varepsilon_{\text{від}} \right)^2} + \varepsilon_{\text{від}} - \frac{1}{2} \left(\frac{B}{B - b_M} - \varepsilon_{\text{від}} \right);$$

- коефіцієнт витяжки

$$\mu = \exp(S_{\text{вун}} + S_{\text{від}});$$

- коефіцієнт розширення

$$\beta = \frac{\eta}{\mu};$$

- розширення через ширину розкату до пропуску

$$\Delta b = B(\beta - 1);$$

- ширина штаби після пропуску

$$b = B + \Delta b.$$

Результати розрахунку витяжки та розширення за теоретичними формулами, отриманими на основі гіпотези шляху найменшого опору за умов широкого осередку деформації представлені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Розрахункове та дослідне розширення в процесі прокатки зразка №1 ($H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм) в сталевих гладких валках $D=200$ мм

№	H_0 , мм	B_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	Δh , мм	b_M , мм	Осередок деформації	Δb_d , мм	Δb_p , мм	Δ , %
1	12	10	11,3	10,6	0,7	3,73	широкий	0,6	0,54	10
2	13,5	23,2	13	23,6	3,3	6,45	широкий	1	0,82	18
3	13	7,3	10,5	8,2	2,5	5,99	вузький	0,9	1,0	11,1
4	8,2	10,5	4,9	12,9	3,3	6,45	граничний	2,4	2,51	4,58
5	12,9	4,9	6,8	6,5	6,1	7,03	вузький	1,6	1,84	15

В роботі В.О. Ніколаєва [24] отримано рішення задачі з розрахунку середнього розширення при прокатуванні простої форми. Для розрахунку розширення пропонується наступне вираження:

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

де C_f - коефіцієнт, який враховує вплив відношення f_b/f на розширення;
 φ – кут нахилу стінки калібру.

Коефіцієнт C_f визначається за формулою:

при $B_{cp}/l_d = 0,5-1,15$, $m < 50$ мм

$$C_f = 0,6 + 2,8(B_{cp} / l_d - 0,6)^{1,2},$$

при $B_{cp}/l_d \geq 1,15$, $m \geq 10$ мм

$$C_f = 1,06 + 0,77B_{cp} / l_d,$$

При відомих значеннях C_f та f визначають коефіцієнт опору плинну металу в поперечному напрямі:

$$f_b = f \cdot C_f,$$

де f – коефіцієнт тертя в повздовжньому напрямі.

Результати розрахунку розширення за формулами В.О. Ніколаєва, О.П. Чекмарьова, О.І. Целікова та їх порівняння з результатами дійсного експериментального розширення та розрахованого за методом шляху найменшого опору Д.І. Старченко представлені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Порівняльний аналіз розрахунку розширення штаби при прокатуванні зразка №1 ($H_0 \times B_0 = 12 \times 10$ мм) за різними методами розрахунку

№	Δb_d , мм	Старченко Д.І. Δb_{p1} , мм	Ніколаєв В.О. Δb_{p2} , мм	Чекмарьов О.П. Δb_{p3} , мм	Целіков О.І. Δb_{p4} , мм
1	0,6	0,54	0,55	0,64	0,4
2	1	0,82	0,90	0,80	1,2
3	0,9	1,0	0,92	1,10	0,8
4	2,4	2,51	2,47	2,60	2,6
5	1,6	1,84	1,86	1,83	1,9

З результатів розрахунку встановлено, що найбільш точними методами розрахунку розширення є метод Д.І. Старченко і метод В.О. Ніколаєва.

Шляхом порівняння та оцінювання відносних похибки (табл. 3.10) встановлено, що розбіжність розширення, отриманих за однакових умов за різними, але спорідненими формулами, лежить у порівняно вузьких межах 5-15% для вузького осередку деформації, а розбіжність між дослідним

розширенням та розрахунковим для широкого осередку деформації не перевищує 18%.

Таке порівняно невелике відхилення розрахункових і дослідних показників поздовжньої та поперечної деформації у процесі прокатки за умов вузького і широкого осередків, а також результати інших досліджень (наукові роботи Старченко Д.І) дають змогу зробити висновок, що гіпотеза шляху найменшого опору та пропорційності головних зональних деформацій істинному об'єму та площі поверхні розкату з валками в ідеалізованих потенціальних межах зон випередження, відставання та розширення певною мірою відбивають закономірні зв'язки головних деформацій з основними факторами прокатки і можуть бути покладені в основу теорії поздовжньої прокатки штаб.

Аналізуючи розрахунки розширення, бачимо, що за умов широкого осередку деформації розширення збільшується із збільшенням абсолютного Δh і відносного $\Delta h / H$ або $\ln H / h$ обтискання, діаметра валка, хорди дуги дотику та коефіцієнта тертя f . Головним аргументом, від якого залежить розширення, є відносне обтискання, меншою мірою – хорди дуги дотику, а отже, і діаметр валків, і ще менше впливає на розширення коефіцієнт тертя, тому в інженерних розрахунках у разі гарячої прокатки сталі з достатньою точністю можна брати в сталевих валках $f = 0,4$, а чавунних $f = 0,3$.

Для дослідження впливу обтиску на розширення прокатували три однакових за формою і розмірами зразки із свинцю відповідно зі збільшенням обтиску $\Delta h_1 = 2,0$ мм, $\Delta h_2 = 3,0$ мм, $\Delta h_3 = 4,5 - 5,0$ мм. Товщину і ширину зразків вимірювали до і після прокатки. Результати замірів заносять до таблиці 3.11.

Для дослідження впливу початкової ширини b_0 на розширення прокатується один, ступінчатий по ширині зразок (рис. 3.3) із свинцю однієї товщини H_0 , завдяки чому обтиск буде постійним і його вплив на

розширення виключається. Розміри зразка замірюються до і після прокатки заносимо до таблиці 3.12.

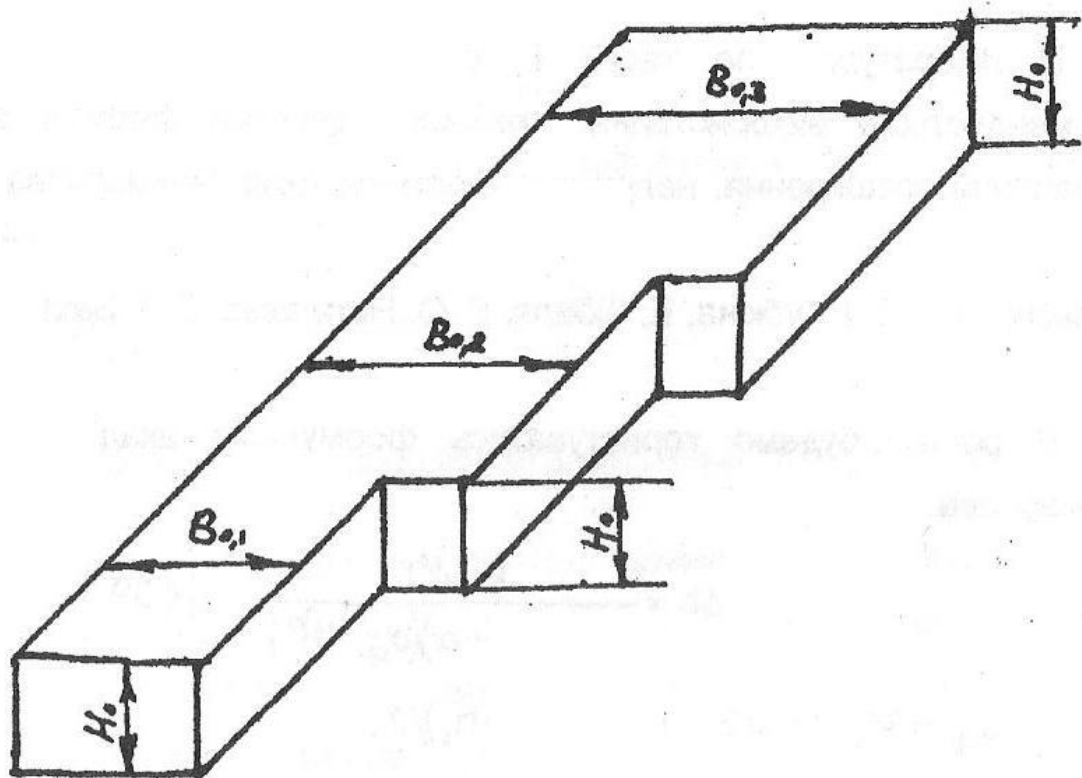


Рисунок 3.3 – Ступінчатий за шириною зразок



Рисунок 3.4 – Експериментальні зразки для дослідження впливу ширини штаби та величини обтиску на розширення до прокатки.



а



б



в

Рисунок 3.5 – Експериментальні зразки для дослідження впливу ширини штаби та величини обтиску на розширення після прокатки: а – дослід №1, б – дослід №2, в – дослід №3.

Таблиця 3.11 – Дослідні і розрахункові дані по дослідженню впливу обтиску на розширення

№	H_0 , мм	B_0 , мм	h_1 , мм	b_1 , мм	b_{cp} , мм	Δh , мм	Δb_d , мм	l_d , мм	α , рад	Δb_p , мм
1	9,4	10,8	8,4	11,1	10,95	1,0	0,3	10,00	0,10	0,28
2	9,4	10,8	6,9	12,3	11,55	2,5	1,5	15,81	0,16	1,45
3	9,4	10,8	3,0	14,1	12,45	6,4	3,3	25,03	0,25	3,16

Таблиця 3.12 – Дослідні дані по дослідженню впливу ширини штаби на величину розширення

№	H_0 , мм	$B_{0.1}$, мм	$B_{0.2}$, мм	$B_{0.3}$, мм	$b_{1.1}$, мм	$b_{1.2}$, мм	$b_{1.3}$, мм	Δb_1 , мм	Δb_2 , мм	Δb_3 , мм	ε_{b1}	ε_{b2}	ε_{b3}
1	9,4	10,8	20,5	30,2	11,1	21	30,5	0,3	0,5	0,3	2,78	2,44	0,99
2	9,4	10,8	20,5	30,2	12,3	22,1	31,8	1,5	1,6	1,6	13,9	7,8	5,3
3	9,4	10,8	20,5	30,2	14,1	26,5	38,8	3,3	6	8,6	30,6	29,3	28,5

В теорії прокатки відомо, що чим ширшою є штаба, яка прокатується, тим більшою є сума підпираючих поперечних сил тертя на контактній поверхні. Отже, зі збільшенням ширини штаби розширення зменшується. З практики добре відомо, що при прокатуванні широких штаб та листів розширення є незначним.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що при прокатуванні дуже вузьких штаб абсолютне розширення падає при зменшенні ширини штаби, але це пов'язано із різким скороченням об'єму металу, що зміщується. Якщо подивитися на розрахунки зміни відносного розширення, буде видно, що воно монотонно зменшується, починаючи з найменших значень b_0 (рис. 3.5).

Таким чином, встановлено, що розширення є складна функція майже всіх факторів процесу прокатки і його величина визначається співвідношеннями опору плинку металу в поздовжньому та поперечних напрямках. Відповідно до гіпотези найменшого опору, усі фактори збільшуючи опір поздовжньому плинку металу, призводять до зменшення витяжки і збільшується розширення і навпаки.

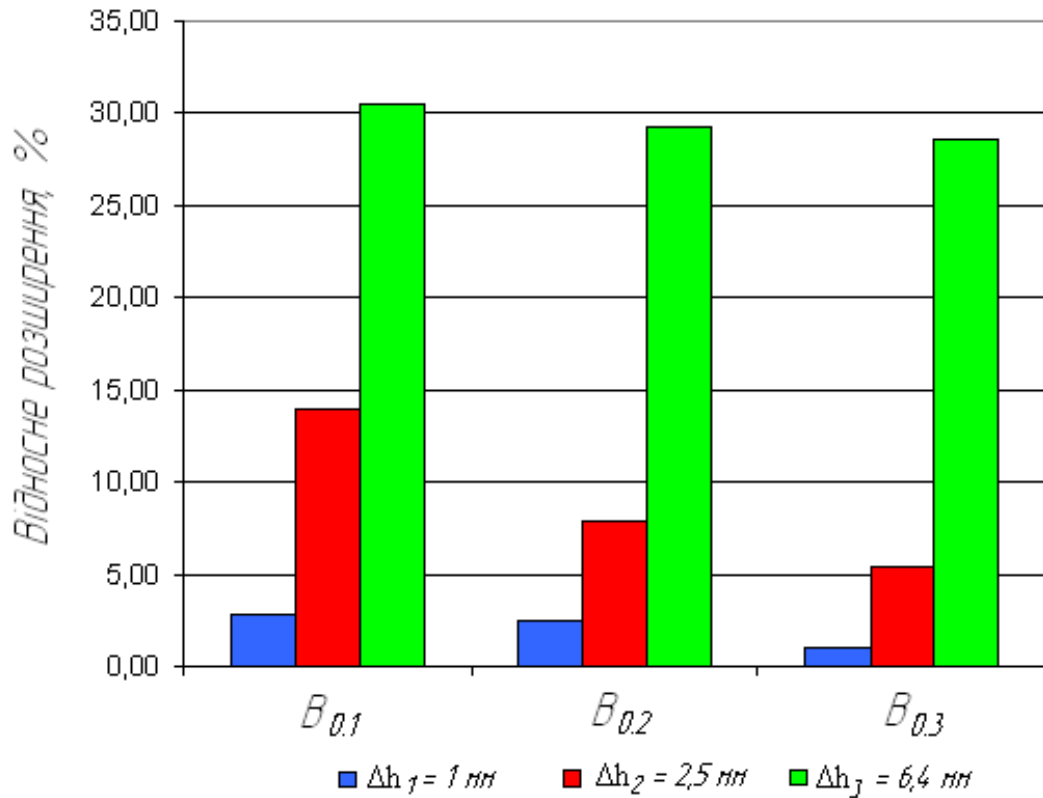


Рисунок 3.6 – Результати розрахунку відносного розширення штаби при прокатуванні ступінчатого по ширині зразка

Експериментально і практикою доведено, що головним фактором, визначаючим величину розширення є обтиск, зі збільшенням якого збільшується і розширення. Цей ефект пояснюється двома причинами:

- 1) зі збільшенням обтиску метал більш одночасно видовжується і розширяються.
- 2) зі збільшенням обтиску збільшується довжин дуги контакту металу з валками і отже, збільшується опір плину металу в повздовжньому напрямі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Широке впровадження передової сучасної техніки, подальша механізація та автоматизація виробничих процесів, а також здійснення заходів з техніки безпеки та охорони праці, підвищення безпеки життєдіяльності робітників є основними напрямками подальшого зниження травматизму та захворюваності на підприємстві.

Безпека праці – необхідна найважливіша умова будь-якого технологічного процесу. Це особливо важливо в цеху, де застосовується механічне та електричне обладнання, а також технологічний процес, що супроводжується яскравим виділенням тепла, газів, утворенням пилу та шлаків, які надають шкідливий вплив на організм людини.

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До небезпечних факторів належать

- Висока температура;
- Наявність рухомих агрегатів і механізмів;
- Наявність високої напруги.

До шкідливих факторів при налагодженні електроприводу належать:

1. Виробничий шум - від роботи різних механізмів, шум трансформатора, шум кранів, що працюють.
2. Загазованість шкідливі газу під час роботи з паяльником, загальноцехова загазованість.
3. Освітленість- відсутність або нестача природного світла, нестача освітленості робочої зони.
4. Запиленість.
5. Теплове випромінювання.

6. Електромагнітне випромінювання.

7. Відхилення показників мікроклімату.

Важливу роль у забезпеченні безпеки праці для електротехнічного персоналу відіграють електротехнічні засоби захисту та запобіжні пристрої [ГОСТ 12.4.103-83 (1987)].

При виконанні робіт необхідно дотримуватись наступних правил:

1. Весь персонал повинен мати посвідчення про щорічну перевірку знань з техніки безпеки.

2. Усі працюючі повинні бути ознайомлені з правилами надання першої медичної допомоги потерпілому від електричного струму. Забороняється під час роботи електричних машин торкатися струмопровідних частин, відчиняти дверцята та люки кожухів, а також знімати захисну огорожу.

3. Обертальні частини машин повинні бути огорожені [ГОСТ 12.2.062-81 (1985)].

4. Корпуси всіх електроустановок мають бути надійно заземлені [ГОСТ 12.1.030-81 (1996)].

5. В електричних схемах повинен бути передбачений захист від перевантаження та короткого замикання.

6. Доступ до роботи повинен здійснюватися тільки після виконання всіх технічних та організаційних заходів, які забезпечують безпеку під час проведення робіт.

Важливим заходом, що забезпечує електробезпеку обслуговуючого персоналу, є захисне заземлення металевих, не струмопровідних (конструктивних) частин електрообладнання приводу, що нормально не знаходяться під напругою щодо землі, у разі пошкодження ізоляції електродвигуна, апаратів управління, мереж тощо. щоб при напрузі 500В і вище, всі металеві струмопровідні частини електрообладнання і корпуси, що мають з ними електричний контакт, конструкції механічного обладнання були заземлені.

Захисна дія виносного заземлення обумовлена лише малою величиною його опору. Відповідно до ПУЕ, при напрузі до 1000В, опір заземлювального пристрою має перевищувати 4 Ом.

4.2 Виробнича санітарія

Цехи, із шкідливими виділеннями, виділяються розташуванням з підвітряної сторони стосовно інших цехів. У необхідних випадках застосовується пиловловлення та газоочищення. Територія підприємства не тільки задовольняє вимогам виробництва, а й усім санітарним нормам: вона рівна, добре освітлена, має достатню величину проходи та проїзди.

Для забезпечення оптимальних санітарно-побутових умов праці, визначальне значення має тип будівлі, розташування в ньому робочих приміщень, їх обсягів, площа, що припадає в середньому на одного робітника та інше.

Повітря робочої зони (мікроклімат) виробничих приміщень визначають такі параметри: температура повітря у приміщенні, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря. Ці параметри в комплексі та окремо впливають на організм людини. У цеху в усі періоди року підтримується одна температура та відносна вологість (таблиця 4.1).

Для підтримки в робочому приміщенні в холодну пору року температури повітря 22 - 24° С використовують систему опалення на трубчастих, самоварних регістрах.

Однією з необхідних умов здорової та високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря та нормальних метеорологічних умов у приміщенні, усунення таких шкідливих факторів, як пил, пара, надлишкове тепло та волога. Відповідно площа на одну особу у приміщенні має бути не менше 4.5 м² та об'єм не менше 15 м³. Повітрообмін повинен становити

щонайменше 20 м³/ч. Роботи, які проводяться в приміщенні, належать до легкої категорії тяжкості.

Таблиця 4.1 Оптимальні та допустимі значення за температурою вологістю та швидкістю руху повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплий	Легка, 1Б	22 - 24	20-28	60-40	15-75	0,1	0,1-0,3
Холодний, перехідний	Легка, 1Б	21 - 23	19-24	60-40	15-75	0,1	0,1-0,2

Однією з необхідних умов здорової та високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря та нормальних метеорологічних умов у приміщенні, усунення таких шкідливих факторів, як пил, пара, надлишкове тепло та волога. Відповідно площа на одну особу у приміщенні має бути не менше 4.5 м² та об'єм не менше 15 м³. Повітрообмін повинен становити щонайменше 20 м³/ч. Роботи, які проводяться в приміщенні, належать до легкої категорії тяжкості.

Оптимальний мікроклімат у приміщенні оператора підтримується за допомогою примусової вентиляції та кондиціювання та опалення.

У процесі виробництва забезпечується безперервна робота всіх основних припливно-витяжних та аспіраційних, вентиляційних установок.

У виробничих приміщеннях передбачено робоче та аварійне освітлення відповідно до вимог.

Джерела живлення аварійного висвітлення відповідають вимогам ПУЕ. Увімкнення відключення рубильників загального освітлення в будівлі цеху, зміна та чищення світильників, арматури та ламп, зміна штепсельних розеток

та запобіжників, монтаж та демонтаж провадиться тільки електротехнічним персоналом.

Нормальна освітленість робочого місця залежить від характеру робіт і становить відповідно до приміщення оператора 400 лк, для загального освітлення 50 лк група регіону 1 (Запорізька область).

Світильники робочого та аварійного освітлення розташовані так, що забезпечується надійність кріплення, безпека та зручність обслуговування.

Технологічні операції під час прокату та пересування продукції по рольгангах супроводжуються утворенням шумів низької та високої частоти.

Технологічні процеси, що супроводжуються особливо різким шумом, проводять у ізольованих будинках. У відділеннях та цехах встановлюють звукоізольовані кабінки для обслуговуючого персоналу. Встановлюють глушники шуму на вихлопні отвори машин, що всмоктують.

Поряд із утворенням шумів технологічні процеси супроводжуються вібрацією. Для боротьби з вібрацією передбачені віброгасні фундаменти. Широко застосовуються віброізоляційні матеріали з листів, сталевих пружин та гумових прокладок. Будівельні конструкції та стіни цеху викладені з листів з нанесенням вібропоглинаючого покриття (в основі гуми). Як індивідуальний захист робітник носить взуття на товстій гумовій підошві.

Питний режим організовано відповідно до санітарних норм.

Прийом їжі проводиться тільки в їдальнях та буфетах. Прийом їжі на робочих місцях заборонено.

Санітарно – побутове приміщення призначене потреб працюючого персоналу. Сюди відносяться гардероби з душовими кімнатами, кімнати для просушування спецодягу, приміщення для прийому їжі та медичний пункт.

4.3 Розрахунок захисного заземлення

Захисним заземленням, що виконується для забезпечення електробезпеки, називається навмисне металеве з'єднання із заземлюючим

пристроєм елементів електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою. Розрахунок захисного заземлення зробимо для приводу маятникових ножиць. Периметр будівлі обмежує площу $S=13728 \text{ м}^2$, потужність двигуна $P=1120 \text{ кВт}$. Привід постійного струму напругою $U=718 \text{ В}$. Питомий електричний опір ґрунту в зоні заземлювача, що розміщується, становить $R_t=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Коефіцієнт сезонності вертикального $K_{св} = 1.3$, для горизонтального $K_{сг}=2.5$. Допустимий (нормативний) опір, в електроустановках напругою вище 1000 В з великими струмами короткого замикання $I_{кз}>500\text{А}$.

Тип заземлювального пристрою – система вертикальних електродів, з'єднаних горизонтальною смугою. Як вертикальні електроди використовуються сталеві труби діаметром $D=0.06 \text{ м}$ і довжиною $L=2.5 \text{ м}$. Приміщення машзала стану відноситься до категорії підвищеної вибухо- та пожежонебезпечності, де застосування природних провідників як основні заземлювачі не допускається.

Порядок розрахунку:

1. Питомий електричний опір ґрунту для вертикального та горизонтального електрода:

$$R_v = R_t \cdot K_{св} = 100 \cdot 1.3 = 130 \text{ Ом}$$

$$R_{г} = R_t \cdot K_{сг} = 100 \cdot 2.5 = 250 \text{ Ом}$$

2. Опір розтіканню струму наявних природних заземлювачів (залізобетонного фундаменту виробничої будівлі)

$$R_e = \frac{R_{г}}{\sqrt{S}} = \frac{250}{\sqrt{13728}} = 2.134 \text{ Ом.}$$

3. Знаходимо допустимий опір штучного заземлення

$$R_{\text{н}} = \frac{R_{\text{е}} \cdot R_{\text{н}}}{R_{\text{е}} - R_{\text{н}}} = \frac{2.134 \cdot 0.5}{2.134 - 0.5} = 0.653 \text{ Ом.}$$

4. Опір одиночного вертикального електрода

$$R_{\text{з}} = \frac{R_{\text{е}}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot L}{D} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot h_{\text{э}} + L_{\text{э}}}{4 \cdot h_{\text{э}} - L_{\text{э}}} \right) = \frac{130}{2 \cdot \pi \cdot 2.5} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot 2.5}{0.06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1.85 + 2.5}{4 \cdot 1.85 - 2.5} \right) = 43.72 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо необхідну кількість вертикальних електродів

$$N = \frac{R_{\text{з}}}{R_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{з}}} = \frac{43.72}{0.653 \cdot 0.58} = 115.$$

6. Знаходимо довжину горизонтального провідника, що з'єднає вертикальні електроди, при розташуванні по контуру

$$L = 5.25 \cdot N = 5.25 \cdot 115 = 604 \text{ м.}$$

7. Розраховуємо опір горизонтальної смуги

$$R_{\text{н}} = \frac{0.366 \cdot R_{\text{з}}}{L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t} = \frac{0.366 \cdot 250}{604} \cdot \ln \frac{2 \cdot 604^2}{0.04 \cdot 0.6} = 2.6 \text{ Ом.}$$

8. Визначаємо опір горизонтальної смуги з урахуванням коефіцієнта використання

$$R_{\text{н1}} = \frac{R_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} = \frac{2.6}{0.35} = 7.42 \text{ Ом.}$$

9. Допустимий опір природного заземлювача

$$R_a = \frac{R_{n1} \cdot R_n}{R_{n1} - R_n} = \frac{7.42 \cdot 0.5}{7.42 - 0.5} = 0.536 \text{ Ом.}$$

10. Уточнимо необхідну кількість вертикальних електродів

$$N_a = \frac{R_s}{R_a \cdot \eta_s} = \frac{43.72}{0.536 \cdot 0.58} = 141.$$

Висновок: Ми розрахували загальну кількість вертикальних електродів, вона склала 115 шт. Також розрахували довжину провідника по контуру, воно становило 604м [24-27].

4.4 Пожежна безпека

Дотримання правил протипожежної безпеки є важливою умовою нормальної експлуатації обладнання та виконання технологічних вимог.

Цех належить до категорії Р. Але в цеху є приміщення, які можуть бути віднесені і до вищої категорії пожежонебезпечності: маслопідвали, що характеризуються наявністю великої кількості олії для потреб стану, що здатне до займання, можна віднести до категорії В; проходи біля газопроводів, що подають паливо в піч, що характеризуються наявністю займистого газу, можна віднести до категорії А.

Організаційні заходи щодо пожежної профілактики передбачають правильну експлуатацію обладнання, правильний утримання будівель та територій, протипожежний інструктаж робітників та службовців, навчання виробничого персоналу правилам протипожежної безпеки, видання інструкцій, плакатів, наявність плану евакуації.

До технічних заходів належать: дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будівель, при влаштуванні електропроводів та обладнання, опалення, вентиляції, освітлення, правильне розміщення обладнання.

Причиною займання може бути:

1. Порухення нормальної роботи машин та механізмів.
2. Перевантаження електричних мереж.
3. Порухення правил пожежної безпеки.
4. Несправність електропроводки та електрообладнання.
5. Не правильне зберігання та застосування паливно-мастильних матеріалів;
6. Чи не обережне поводження з відкритим вогнем.

Необхідно передбачити низку заходів, спрямованих на забезпечення гасіння пожежі:

- забезпечити під'їзди до будівлі; знеструмлення електричних кабелів;
- наявність пожежних щитів та ящиків з піском у коридорах, азбестове полотно;
- наявність гідрантів із пожежними рукавами; теплова сигналізація;
- телефонний зв'язок із пожежною охороною;
- вогнегасники: хімічний пінний ОХП-10, вуглекислотний ОУ-5, порошковий ВП-1.

4.5 Охорона навколишнього середовища

За валовим виділенням пилу та утворення газів прокатне виробництво відноситься до найменш важких ділянок металургійного виробництва.

Нагрів та гаряча прокатка злитків сприяє утворенню значної кількості окалини. Технологічний процес пов'язаний із застосуванням великої кількості води для змиву та транспортування окалини, охолодження прокатних валків, роликів рольгангів та проводкової арматури. Високий

ступінь механізації технологічного процесу вимагає застосування у великій кількості олій та мастил.

Технологія нагріву і прокатки злитків включає відходи виробництва, що впливають на навколишнє середовище:

–димові гази, зварювальний шлак, окалину та пил у відділенні нагрівальних колодязів;

–окалину та пил на стані ;

–обріз на ножицях гарячого різання на стані;

–обріз, окалину та пил на ад'юстажі при порізці та обробці заготовок ручними різачками та на шліф овально-обдирних верстатах;

–воду з домішками окалини, мастил та мастил по лінії прокатки на блюмінгу 1250, НЗЗ та складі, гарячих заготовок.

Технологічний процес прокатки злитків на таборі супроводжується дробленням та стиранням окалини. Це сприяє великому виділенню крупно - і дрібнозернистого пилу, що містить Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO , Mn_2O_3 , SiO_2 та ін. Для відсмоктування пилу з кліті 1250 застосовується аспіраційна установка АС-1, що складається з пиловідбірної коробка, встановленої над розкочуванням, димососа Д-20 продуктивністю 150000 м³/година, зволожувача пилу у другому газоході та труби. Установка АС-1 повинна працювати під час роботи блюмінгу. Окалина змивається потоком води від зволожувача пилу і у вигляді шлаку надходить по похилому жолобі в яму для відстою окалини блюмінгу.

У процесі вогневої зачистки металу виділяється велика кількість тепла, водяної пари, продуктів згоряння та дрібнодисперсного металевого пилу.

Хімічний склад пилу. продукти згоряння представлені оксидами заліза до 90%, а гази містять до 70% азоту. Для очищення газів та пилу встановлена система подвійного очищення.

Відсмоктування продуктів згоряння від МОЗ здійснюється через газодобірний короб, встановлений над рольгангом перед машиною, підземний зрошуваний борів і газохід з протиточною подачею води. Система

газоочищення складається із трьох паралельних ниток. Кожна нитка включає пиловловлювач (труба Вентурі), циклон і димосос. Перша та третя нитки оснащені димососами типу ВМ20А, а друга ВМ 100/1200.

Експлуатаційна продуктивність кожної нитки становить 90000 м³/год, одна з яких знаходиться в резерві. У кожному пиловловлювачі передбачено попереднє зрошення газів водою через форсунки для коагуляції дрібнодисперсних частинок пилу, а мокрі циклони є уловлювачами і коагуляторами дрібних крапель, що складаються з води та пилу. Скоагульовані частинки разом з водою з пиловловлювача надходять у відстійник зворотного циклу прокатних цехів, а очищені продукти згоряння через трубу викидаються в атмосферу.

У процесі абразивної зачистки на верстатах утворюється велика кількість дрібнодисперсного пилу, що складається з сполуки кремнію, марганцю, стружки металу та інших речовин. Для відсмоктування пилу в цеху передбачено чотири пиловідсмоктувальні установки АС-2 з продуктивністю вентиляторів 50000 м³/год. Відсмоктування пилу здійснюється без зволоження, через установку, що складається з пиловловлювача, коробка відділення пилу від стружки, повітровою, чотирьох циклів, вентилятора і вихлопної труби [24-27].

Нормативи гранично допустимих викидів шкідливих речовин в атмосферу джерел обтискного цеху наведені в таблиці 4.2.

Окисли вуглецю, азоту, пил і т.д. надають різну токсичну дію на організм людини. Так, оксиди азоту впливають на органи дихання, призводять до набряку легень. Перевищення нормативної величини оксидів азоту майже 2 рази вселяє побоювання, т.к. у межах міста оксиди азоту, взаємодіючи з вуглеводнями вихлопних газів, утворюють фотохімічний туман смог. Оксид вуглецю впливає на нервову та серцево-судинні системи. Джерелами атмосферного пилу є зола, що утворюється при згорянні палива. Сажа має велику адсорбційну здатність по відношенню до важких

вуглеводнів і в тому числі до бензаперену, що робить сажу дуже небезпечною для людини.

Таблиця 4.2 - Норматив гранично допустимих викидів шкідливих речовин в атмосферу

Джерело виділення шкідливих речовин (агрегат, установка)	Викиди шкідливих речовин в атмосферу т/рік		
	Найменування речовин	Базовий викид	Гранично допустимі й викид
Нагрівальні колодязі	Пил	59	60
	Окис вуглецю	2668.9	2660
	Сірчистий ангідрид	479.7	480
	Окиси азоту	58.4	50
	Бензоперен	0.00015	0.00015
Кліть 1250 АС-1	Пил	22.53	30
МОЗ	Пил	92.8	110
	Окис вуглецю	1319.8	1310
	Сірчистий ангідрид	3.9	9
	Окиси азоту	139.1	140
Зачищувальні станки АС 2	Пил	27.63	30
Всього:	Пил	201.86	238
	Окис вуглецю	438.6	489
	Сірчистий ангідрид	3988.7	3970
	Окиси азоту	197.5	190
	Бензоперен	0.00015	0.00015

Зниження шкідливих викидів в атмосферу дозволить цеху значно збільшити прибуток, насамперед за рахунок того, що не буде потреби у сплаті з прибутку штрафних санкцій до бюджету та позабюджетних фондів за порушення вимог щодо охорони навколишнього середовища.

Організаційні заходи

Організаційними заходами, що забезпечують безпеку роботи в електроустановках, є:

а) оформлення роботи нарядом-допуском (далі нарядом), розпорядженням чи переліком робіт, що виконуються у порядку поточної експлуатації;

б) допуск на роботу;

в) нагляд під час роботи;

г) оформлення перерви у роботі, переведення на інше робоче місце, закінчення роботи.

ВИСНОВКИ

В ході проведення літературного огляду було з'ясовано, що зі збільшенням ширини штаби при $V_{cp}/l_d > 0,8...1$ опір поперечному плину, зростає, а опір поздовжньому плину металу відповідно до закону найменшого опору зменшується. У зв'язку із цим, розширення металу (показник розширення $\Delta b/\Delta h$) інтенсивно знижується.

Встановлено, що розширення є складна функція майже всіх факторів процесу прокатки і його величина визначається співвідношеннями опору плину металу в поздовжньому та поперечних напрямках. Відповідно до гіпотези найменшого опору, усі фактори збільшуючи опір поздовжньому плину металу, призводять до зменшення витяжки і збільшується розширення і навпаки.

Експериментально і практикою доведено, що головним фактором, визначаючим величину розширення є обтиск, зі збільшенням якого збільшується і розширення. Цей ефект пояснюється двома причинами:

- 1) зі збільшенням обтиску метал більш одночасно видовжується і розширяються.
- 2) зі збільшенням обтиску збільшується довжин дуги контакту металу з валками і отже, збільшується опір плину металу в поздовжньому напрямі.

Гіпотеза шляху найменшого опору та пропорційності головних зональних деформацій істинному об'єму та площі поверхні розкату з валками в ідеалізованих потенціальних межах зон випередження, відставання та розширення певною мірою відбивають закономірні зв'язки головних деформацій з основними факторами прокатки і можуть бути покладені в основу теорії поздовжньої прокатки штаб.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ніколаєв, В.О., Мазур В.Л. Виробництво плоского прокату. Запоріжжя, ЗДІА, 2010. 320 с.
2. Николаев, В.А. Горячая прокатка листов и полос. Запорожье: ЗГИА, 2013. 169 с.
3. Клименко В.М., Онищенко А.М., Минаев А.А. Горелик В.С. Технология прокатного производства: [учебное пособие для вузов] Киев: Вища школа, Головное издательство, 1989. 311с.
4. Полухин И.И., Федосов Н.М., Королев А.А., Матвеев Ю.М. Прокатное производство: [учебник для вузов].1982. 696с.
5. Сафьян М.М., Мазур В.Л., Сафьян А.М., Молчанов А.И. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство: [учебник для вузов]. Киев: Вища школа, Головное издательство, 1988. 351с.
6. Прицип, М.Г. Механічна обробка та зварювання металів. Учб. Посібник. Запоріжжя: ЗДІА.2003. 124 с.
7. Сацкий, В.А.. Тилик Т.Н., О.Н. Штехно Прогрессивная энергосберегающая технология горячей прокатки полос на станах 1150 и 1680. *Сталь*. 2001. №6. С. 67-69.
8. Кузнецов И.С., Морозов С.И., Сафронов А.А. и др. Совершенствование технологии производства проката в обжимном цехе. *Сталь*. 1999. №5. С. 50-53.
9. Горлов, Г.В. Кукуй Д.П. Освоение материало- и энергосберегающих технологий на комплексах слябинг ШСГП. *Сталь*. 2002. №8. С. 58-62.
10. Кузнецов И.С., Прахов А.Е., Антонов В.А. Использование слитков с повышенным теплосодержанием для производства слябов. *Сталь*. 2004. №5. С. 55.

11. Захур, М.В., Светлицкий А.В. Система контроля технологии прокатки и управления скоростными режимами главного привода обжимного стана. *Сталь*. 2002. №8. С. 64-66.
12. Николаев В.А. Валки прокатных стано. Запорожье: ЗГИА, 2002. 176 с.
13. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков. Киев: Техника, 1992. 160 с.
14. Николаев В.А. Технология прокатки полос и листов. Учебное пособие. В 2 –х частях. Часть I. Запорожье, ЗГИА. 2003. 158 с.
15. Приймак В.А., Яловой А.И. Трубачев., Ю.А., Рабинович А.Б. Патент № 1766747. Вагон-термас для перевозки горячих слитков МПК В61D 39/00. Днепродзержинский вагоностроительный завод. Опб. 07.10.1992. 4 с.
16. Иванченко, Ф. К., Гребенюк В. М., Ширяев В. І. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. К.: Вища школа, 1995. 454 с.
17. Анисимов Л.А., Тимошпольский В.И., Труслова И.А. [и др.]. Совершенствование режимов нагрева слитков в регенеративных колодцах блюминга 1150. *Сталь*. 1999. №7. С. 38-43.
18. Vathaire M. De Automatic Operation of SOLLAC Reversing Roughing Mill. *Proceedings of 4th International Steel Rolling Conference: The Science and Technology of Flat Rolling*. Vol. 1. Deauville, France, June 1-3, 1987. p.9.1-A.9.7.
19. Huismann, R.L. Large Width Reductions in Hot Strip Mills Commission of the European Communities Report. 1983. p.95-107
29. Nishibayashi S. Design and operation of a new hot strip mill at Hirohata works. *Iron and Steel Engineer*. October 1986. P. 49-56.
20. Бахтинов, Ю.Б., Тарасевич Ю.Ф., Пименов А.Ф. К учету влияния межклетевых сил на величину уширения при непрерывной прокатке *Производство проката*. 2007. № 10. С.2-5.
21. Бахтинов, Ю.Б., Зюзин В.И., Шаталов Р.Л., Карпов С.А. Анализ формул для расчета уширения при прокатке полос. *Производство проката*. 2006. № 6. С.2-5.

22. Шлейнинг Л.И., Головина Н.В. Исследование влияния режима подготовки нагревательных колодцев на геометрические размеры слябов *Сталь*. 2005. №3. С. 53-54.

23. Иващенко О. В. Методические рекомендации к выполнению экономической части дипломного проекта по дисциплине “Организация, планирование и управление деятельностью предприятия. ЗГИА. 2004. 30 с.

24. Панасейко С.П. Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах. Запорожье:ЗГИА,2002.-56с.

25 Самойлюк Е.П., Сафонов В. В Борьба с шумом и вибрацией в промышленности. К. Выща школа.1990. 167 с.

26. Инструкция по охране труда № 0-20-2001 для персонала комбината, обслуживающего газовое хозяйство в цехах и на участках. Запорожье: ”Днепропетровский металлург”.

27. Технологическая инструкция. ТИ 226-П.03-01-2006. Производство передельных и товарных слябов из слитков углеродистых, низколегированных, и высокоуглеродистых марок сталей. Запорожье:”Днепропетровский металлург”.