

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних робіт з дисципліни
«Методи розрахунків технологічних навантажень металургійних машин»

Розглянуто і схвалено
на засіданні кафедри підйомно-
транспортних і металургійних машин
Протокол № 21 від 20 червня 2023 р.

КРАМАТОРСЬК-ТЕРНОПІЛЬ, 2023

УДК 621

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Методи розрахунків технологічних навантажень металургійних машин». /Укл. Е.П. Грибков. - Краматорськ: ДДМА, 2023. – 41 с.

Містять необхідні теоретичні положення, методику виконання індивідуальних завдань. Викладено створення дослідницьких систем для фізичного моделювання процесів у вузлах машин та обладнання.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри підйомно-транспортних і металургійних машин
Протокол № 21 від 20 червня 2023 р.

Електронне навчальне видання

Укладач Е.П. Грибков, професор

Практична робота № 1

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗМАЗОК ПРИ ХОЛОДНІЙ ПРОКАТЦІ

Мета роботи – вивчення впливу технологічних мастил, що застосовуються при холодній прокатці смуг, на витяжку металу, оцінка ефективності дії різних мастил, раціональний вибір мастил.

Загальні відомості

Умови тертя на контактній поверхні металу та інструменту дуже впливають на енергосилові параметри процесів обробки металів тиском і, зокрема, процесу прокатки. Крім того, тертя визначає якість поверхні металу, що обробляється і є основною причиною зносу робочої поверхні інструменту.

Зі зростанням коефіцієнта тертя i , як наслідок, нормальних контактних напружень, знижується можливість отримання точного прокату і прокатки тонких смуг через значне пружне сплющування валків. Тертя має вирішальний вплив на результат прокатки, коли відношення довжини контактної дуги l до середньої товщини смуги h_{cp} в осередку деформації більше одиниці ($l/h_{cp} > 1$) [4, 5].

Основним видом контактного тертя між металом та інструментом є тертя ковзання. Воно характеризується двома головними ознаками: наявністю сил тиску, що притискають інструмент і метал один до одного та нерівністю швидкостей інструменту та металу на поверхнях контакту.

Значення дотичних напружень у теорії ЗМД найчастіше визначають за допомогою відомого з фізики закону Амонтона:

$$\tau = \mu \times p, \quad (1.1)$$

де μ – коефіцієнт тертя ковзання (безрозмірна величина);

p – нормальне контактне напруження, Па.

Значення μ по-різному в різних точках контакту, але частіше його приймають усередненим - постійним для всієї контактної поверхні.

Серед основних факторів, що впливають на значення μ , знаходяться: параметри шорсткості інструменту і металу перед прокаткою, матеріал, що деформується, тиск між інструментом і металом, швидкість деформування (прокатки), температура металу. Особливий вплив на значення коефіцієнта тертя μ надають змащувальні властивості технологічних рідин, що використовуються як мастила.

Питання раціонального вибору мастил та способів їх нанесення розглянуто у багатьох роботах [2; 3–6] та інших. Однак зростання вимог до техніко-економічних показників виробництва холоднокатаної листової сталі викликає необхідність пошуку нових технічних рішень для кожного конкретного випадку.

Отже, мастило має найважливіше значення при холодній прокатці металу. Вона впливає на продуктивність стану, стійкість валків, витрата електроенергії, рівномірність товщини стрічки і листа і стан їхньої поверхні. Частина мастила, яку відносить стрічка, що прокочується, захищає метал від корозії до наступної операції і при зберіганні на складі. При наступних операціях мастило повинно легко видалятися з поверхні металу.

Застосування ефективного мастила дозволяє значно знизити тиск металу на валки, зменшити пружні деформації валків і деталей стану і, таким чином, створити умови для інтенсивної деформації металу.

На сучасних станах холодної прокатки в якості технологічних мастил застосовують мінеральні та рослинні олії, тваринні жири, синтетичні мастила на основі природних та синтетичних жирних кислот.

Технологічні мастила наносять на поверхню прокатуваної смуги або в чистому вигляді, або у вигляді водних емульсій. Ефективність змащення визначається наявністю в ній поверхнево-активних речовин, здатних адсорбуватися на поверхні з утворенням міцних мастильних плівок. Тому часто з метою підвищення мастильної здатності мінеральних емульсій в останні додають активні олії в чистому вигляді.

При виборі мастила для холодної прокатки жерсті застосовують мастила, які не розкладаються в осередку деформації і не утворюють сажистий наліт. Широке застосування на сучасних станах холодної прокатки знаходить пальмову олію, у якій хороша змащувальна здатність обумовлюється присутністю 7–17% жирних кислот. При 250–290°C пальмова олія зберігає високі властивості, що особливо важливо для інтенсивних режимів прокатки, при яких в осередку деформації утворюється висока температура. Недоліком пальмового масла є його дороговизна.

На температуру масла в процесі прокатки впливає ряд факторів, в першу чергу швидкість прокатки, величина обтискань, кількість перепусток, час холостого ходу між перепустками, спосіб охолодження мастила та її подачі.

При підвищенні швидкості холодної прокатки, що спостерігається на сучасних прокатних станах, кількість енергії, що перетворюється на тепло, збільшується. Частина тепла, що утворюється в процесі прокатки, сприймається валками. Збільшення діаметра валків внаслідок їх розігріву призводить до зміни товщини смуги. Крім того, розігрів валків вище за допустиму норму може призвести до поломки валків. Для забезпечення стабільних умов прокатки необхідно зберігати сталість температури бочки валка.

Як відомо, валки для станів холодної прокатки піддають термічній обробці - гартуванню і відпустці. Відведення тепла, що утворюється в зоні деформації, необхідний для того, щоб у процесі прокатки валків забезпечити температуру, нижче температури відпуску валків. Крім того, нерівномірна температура поверхні валків, що змінюється, викликає появу в них внутрішніх напружень, які можуть призвести до утворення тріщин або сколювання валків, а також до коробоватості і хвилястості готового прокату.

Всі зростаючі вимоги до якості поверхні холоднокатаного листового прокату пов'язані з необхідністю застосування більш ефективних

технологічних мастил, які забезпечували б не тільки зменшення тертя, але і поліпшення якості поверхні прокату.

Все більшою мірою застосовують комплексні системи мастила смуги - попереднє промаслювання підкату в лініях безперервного травлення і подальше використання мастильних-охолоджуючих емульсій. Це дозволяє у ряді випадків відмовитися від використання при прокатці листового прокату товщиною не менше 0,4 мм технологічних мастил, у тому числі дефіцитної касторової олії.

Ефективність застосування мастил при холодній прокатці залежить не тільки від їх правильного складу, але і від способу подачі на метал і валки. Спосіб подачі мастила повинен забезпечувати її рівномірний розподіл та економію її витрачання. Результатом нерівномірного розподілу змазки може бути нерівномірна витяжка та коробоватість листів.

Технологічні мастила і мастильно-охолоджуючі рідини можуть подаватися нанесенням мастила або на смугу після травлення, або безперервно на валки і поверхню смуги, що прокочується в процесі прокатки.

Для мастила в процесі холодної прокатки сталі застосовують емульсії, механічні дисперсії активних олій у воді (залежно від умов та швидкості прокатки концентрація олії знаходиться в межах 5–30%, дисперсія з більшою концентрацією олії застосовується при прокатуванні металу на п'ятиквітєвих станах). На ряді станів подача олії та води здійснюється незалежно.

Необхідно подавати мастило або охолоджувальну рідину до місця зіткнення металу з валками.

Мастило повинно забезпечувати отримання досить міцної плівки, а рідина, що охолоджує, - мати максимальну здатність поглинати тепло. подача великої кількості охолоджуючої рідини на валки швидкісних станів холодної прокатки дозволяє підтримувати температуру валків у заданих межах. На більшості станів їх температура не перевищує 70°C. Таке поєднання властивості досягається застосуванням водних емульсій відповідних олій. При використанні емульсії застосовують високопродуктивні установки, продуктивність яких встановлюють в залежності від умов роботи стану і сортаменту прокату. Місткість резервуару для емульсії в 15-25 разів перевищує її хвилину витрату.

При здійсненні традиційної прокатки робочі валки, що виконують роль деформуючого інструменту, мають рівні діаметри і обертаються з однаковими кутовими швидкостями. При цьому реалізується процес, який називають симетричною прокаткою. Він характеризується наявністю підпираючої дії контактних сил тертя на об'єм металу, що деформується (рис. 1), що призводить до збільшення як сили деформації, так і інтенсивності її зміни в залежності від варіацій вихідних параметрів процесу, що визначають напружено-деформований стан металу в осередку деформації. Це знижує технологічні можливості процесу симетричної (традиційної) прокатки, зокрема, погіршує точність прокатки. У зв'язку з цим роль технологічного мастила, що сприяє зниженню коефіцієнта тертя в осередку деформації, дуже висока.

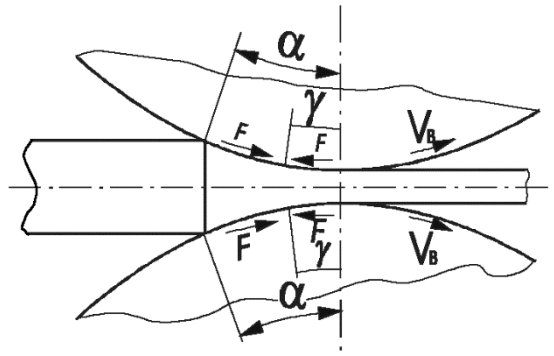


Рисунок 1.1 – Схеми осередку деформації при симетричній прокатці

Очевидно, що для традиційних процесів холодної тонколистової прокатки найбільш ефективними технологічними мастилами слід вважати такі, які мають досить широкий комплекс корисних властивостей і забезпечують умови реалізації процесу холодної прокатки при максимально можливій витяжці з мінімальними енергосиловими параметрами.

У справжній лабораторній роботі ми не ставимо собі завдання визначення точних значень коефіцієнтів тертя для випробуваних мастил. Це предмет окремих досліджень. Однак ефективність застосування цих мастил легко встановити, здійснюючи прокатку однакових зразків з різними мастилами і без мастила (в сухих валках) при постійному зазорі валків S_0 . Очевидно, що чим ефективніше мастило, тобто, чим менший коефіцієнт тертя μ , тим менша контактне напруження τ і p і сила прокатки, а отже, менша пружна деформація елементів кліті («віддача валків») і тонша смуга на виході з валків. При цьому використовують вираз залежності товщини смуги h_1 на виході з валків від сили прокатки [7], яка, за інших рівних умов, визначається і ефективністю мастила:

$$h_1 = S_0 + P/G_{\text{кл}}, \quad (1.2)$$

де h_1 – кінцева товщина смуги;

S_0 – зазор між валками;

P – сила прокатки;

$G_{\text{кл}}$ – модуль жорсткості кліті (пружна характеристика кліті).

Чим ефективніше мастило, тим менше сила прокатки P , отже, і кінцева товщина смуги h_1 . Таким чином, при постійних значеннях S_0 і , а також вихідних значень товщини h_0 і ширини смуги b_0 , кінцеві значення товщини смуги h_1 дозволяють судити про ефективність мастила.

Матеріальне забезпечення

1. Лабораторні стани дуо-100, дуо-160, дуо-200 та кварто 55/250×200.
2. Мікрометр, штангенциркуль, рисунок.
3. Зразки довжиною 150...300 мм зі сталі, міді, алюмінію або їх сплавів, вирізані з однієї смуги товщиною 0,3...2,0 мм, шириною 20...80 мм з мінімальною кількістю 12 шт. (кількість зразків вибирається кратно чотирьом з урахуванням переліку мастил).
4. Мастило двох і більше типів, ацетон технічний або нестильований бензин.

Порядок проведення експерименту

До початку прокатки на зразки, поблизу їх кінців, нанести дві поперечні ризики, відстань між якими прийняти вихідну довжину зразка L_0 . Мікрометром визначити вихідну товщину смуги h_0 .

Усі зразки прокатати з незмінним зазором між валками у двох рівнях обтискань для кожного змащення. У першому рівні відносне обтиснення ε вибрати рівним 15...20 %, але в другому рівні – 45...50 %. Перед прокаткою кожного чергового зразка валки ретельно очистити від попереднього змащення.

Перший зразок на кожному рівні обтискання прокатати в сухих валах, без мастила, наступні – із застосуванням мастил, які слід наносити безпосередньо перед прокаткою рівномірним шаром на поверхню зразків. При прокатці використовувати жири, рослинні, синтетичні та мінеральні мастила.

Після прокатки зробити виміри товщини зразків та відстані L_1 між ризиками.

Досвідчені дані занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати холодної прокатки із застосуванням різних мастил

Вид мастила	h_0 , мм	h_1 , мм	L_1 , мм	ε , %	λ
Перший рівень обтиску ($\varepsilon_{cp} =$ %)					
1. Без мастила					
2.					
3.					
Другий рівень обтиску ($\varepsilon_{cp} =$ %)					
1. Без мастила					
2.					
3.					

Обробка результатів експерименту

За отриманими дослідними даними підрахувати для кожного випадку прокатки абсолютне Δh і відносне ε обтиск і коефіцієнт витяжки $\lambda = L_1/L_0$. Це дозволяє підвищити точність оцінки рівня обтиснення, оскільки при прокатуванні тонких плоских зразків, коли розширення практично відсутнє (воно нижче 1%), співвідношення товщин h_0 і h_1 теж визначає коефіцієнт витяжки смуги λ в проході, тобто $h_0/h_1 = L_1/L_0 = \lambda$.

Результати розрахунків занести до таблиці 1.1. Зробити аналіз дослідних даних, відзначити вплив мастила на геометричні параметри прокатки, порівняти дію різних мастил при різних обтисненнях.

Контрольні питання

- 1 Яка роль технологічного мастила при холодній прокатці?
- 2 Чому застосування технологічних мастил забезпечує можливість прокатки тонших смуг?
- 3 Чому нерівномірне нанесення мастила по ширині смуги призводить до її жолоблення, утворення хвилястості?
- 4 Чому застосування мастила при прокатці призводить до зниження нормального контактного напруження?
- 5 Вкажіть механізм дії мастила, чим визначається ефективність мастила.
- 6 Назвіть види мастила та вимоги до них.
- 7 Які фактори визначають температуру мастила у процесі прокатки?
- 8 З яких міркувань визначають витрату технологічного мастила?
- 9 Вкажіть способи подачі технологічного мастила.
- 10 На чому заснований підхід в оцінці ефективності мастил, що застосовується в даній лабораторній роботі?
- 11 Чому зі зростанням коефіцієнта тертя знижується можливість отримання точного прокату.
- 12 Вкажіть фактори, що визначають значення коефіцієнта тертя під час прокатування.
- 13 Вкажіть ознаки, що визначають ефективність мастила.
- 14 Вкажіть вплив тертя на результат прокатки залежно від відношення l/h_{cp} .

Практична робота № 2

ВПЛИВ УМОВ ТЕРТЯ НА ВИПЕРЕДЖЕННЯ ПРИ ПРОКАТКУ У ГЛАДКИХ ВАЛАХ

Мета роботи – практичне вивчення явища випередження під час прокатки, вивчення впливу коефіцієнта тертя на величину випередження, визначення коефіцієнта тертя за випередженням.

Загальні відомості

Швидкість поступального руху кінця смуги, що виходить із валків, більша, ніж окружна швидкість валків. Це називають випередженням. Швидкість заднього кінця смуги менша за горизонтальну складову швидкості валків. Це явище отримало назву відставання [1].

Випередження і відставання є результатом осідання смуги по висоті в процесі прокатки, і їх поява є наслідком дії закону найменшого опору.

Випередження та відставання при прокатці значною мірою визначають характер розподілу та величину контактних напружень, а також знання розширення при прокатці. Величину випередження необхідно визначати для налаштування безперервного табору, щоб уникнути надмірного натягу та утворення петель між клітями табору.

Випередження визначають за формулою:

$$S = (V_1 - V_B) / V_B = V_1 / V_B - 1, \quad (2.1)$$

де V_1 и V_B – відповідно швидкість переднього кінця смуги та окружна швидкість валків.

Випередження знаходиться в межах від 2 до 15%.

Насправді випередження визначають методом кернів:

$$S = (l_1 - l_B) / l_B = l_1 / l_B - 1, \quad (2.2)$$

де l_1 и l_B – відстані відповідно між відбитками на смугі та кернами (по дузі) на валку.

Дійсно, за час t $l_B = V_B t$, а $l_1 = V_1 t$, тоді $V_B = l_B / t$, а $V_1 = l_1 / t$.

Теоретично для симетричної прокатки випередження можна визначити, враховуючи положення нейтрального перерізу. При прокатуванні тонких смуг, коли радіус валків R набагато більший за товщину смуги h_1 на виході з вогнища деформації випередження може бути підраховано за формулою Дрездена:

$$S = \frac{R}{h_1} \gamma^2, \quad (2.3)$$

де γ – нейтральний кут.

Очевидно, що питання визначення випередження пов'язане з визначенням нейтрального кута.

Величина випередження залежить від геометричних розмірів осередку деформації, умов тертя на контактній поверхні та натягу (підпорів):

$$S = f(l/h_{cp}; \alpha; b_0/l; \sigma_0; \sigma_1; \mu),$$

де α – кут контакту;

σ_0, σ_1 – напруження переднього та заднього натягів;

μ – коефіцієнт тертя.

Чим більше $l/h_{cp}; \alpha; b_0/l; \sigma_1$ и μ , тим більше випередження.

Заднє натяг зменшує випередження.

Знаючи величину випередження можна приблизно визначити середнє значення коефіцієнта тертя, використовуючи при цьому так званий метод випередження [2].

Його суть полягає в тому, що при процесі прокатки, що встановився, експериментально визначають величину випередження S , як показника відносного ковзання металу по поверхні валків на виході з вогнища деформації. Потім за допомогою формули Фінка знаходять величину нейтрального кута γ :

$$\cos \gamma = \frac{D + h_1}{2D} + \sqrt{\left(\frac{D + h_1}{2D}\right)^2 - \frac{h_1}{D}(1 + S)}, \quad (2.4)$$

де D – діаметр валків.

З цією ж метою може бути використана спрощена формула Дрездена (2.3) у вигляді:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Sh_1}{R}}. \quad (2.5)$$

Знайдене в такий спосіб значення кута γ підставляють у відому формулу Екелунда-Павлова

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta}\right), \quad (2.6)$$

вирішену відносно кута тертя β :

$$\beta = \frac{\alpha^2}{2(\alpha - 2\gamma)}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт тертя визначають залежно (2.7) з урахуванням того, що

$$\mu = tq\beta. \quad (2.8)$$

Слід пам'ятати, що формули (2.4–2.6) отримані у припущенні рівномірного розподілу швидкостей за висотою перерізів вогнища деформації, тобто за їх висновку було прийнято гіпотеза «плоских перерізів». В даний час встановлено, що поздовжні швидкості частинок металу розподіляються по висоті смуги в осередку деформації нерівномірно. Повне вирівнювання швидкостей відбувається вже після виходу металу із зони зіткнення з валками. У зв'язку з цим нейтральне перетин у випадку має криволінійну форму [8]. Ця важлива обставина не знаходить відображення у формулах (2.4–2.6). Тому їх застосування дає задовільні результати при прокатуванні відносно тонких смуг, коли $l/h_{\text{ср}} > 3...4$, в умовах пласкої деформації, тобто при $b_0/l > 5$ (тут: l – горизонтальна проекція довжини дуги контакту металу з валками; $h_{\text{ср}}$ – середня висота смуги в осередку деформації; b_0 – вихідна ширина смуги).

Матеріальне забезпечення

1. Лабораторні стани Дуо-100, Дуо-160, кварто 55/250×200.
2. Мікрометр, штангенциркуль.
3. Зразки довжиною 150...300 мм, товщиною 0,8...2,0 мм, шириною 20...60 мм із сталі, міді, алюмінію або їх сплавів у кількості 6 штук.
4. Мастило двох типів, ацетон технічний або неестильований бензин.

Порядок проведення експериментів

На поверхню одного з валків наносять керни та вимірюють відстань l_b по дузі між ними. Визначають діаметри валків. Встановлюють відносне обтискання ϵ близько 15...30 % і не змінюючи розчин валків здійснюють прокатку зразків у сухих валках без мастила та з мастилами, очищаючи валки після кожного проходу з мастилом. Потім експеримент повторюють, встановивши обтискання $\epsilon = 45...50$ %.

Обробка результатів експериментів

Вихідні та кінцеві розміри зразків та відстані l_1 між відбитками на смузі у дослідах після кожного пропуску занести до таблиці 2.1.

Використовуючи формулу (2.2), визначити дослідне значення випередження S і на його основі за формулами (2.5), (2.7) та (2.8) визначити значення коефіцієнта тертя μ .

За отриманими даними побудувати графічні залежності $S = f(\mu)$ для різних обтискань.

Таблиця 2.1 – Дослідні значення випередження під час прокатки

Вид мастила	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	ε , %	α , рад	l_1 , мм	S , %	γ , рад	μ
Перший рівень обтискання ($\varepsilon_{cp} = \%$)									
1. Без мастила									
2.									
3.									
Другий рівень обтискання ($\varepsilon_{cp} = \%$)									
1. Без мастила									
2.									
3.									

Проаналізувати вплив коефіцієнта зовнішнього тертя μ на величину випередження, а також вплив обтискання на значення μ .

Контрольні питання

1. Яке явище називають випередженням?
2. Назвіть експериментальні методи визначення випередження. У чому їхня сутність?
3. Перерахуйте чинники, що впливають на величину випередження. Виділіть групу факторів, що викликають зменшення випередження.
4. Як впливають на випередження переднє та заднє натяги?
5. Як впливає на випередження ширина смуги? Поясніть.
6. Як впливає на величину випередження ступінь деформації металу?
7. Який вплив на випередження має кут контакту?
8. Який вплив на випередження має зростання діаметра валків за інших рівних умов?
9. Який вплив на випередження має зміна відношення l/h_{cp} ?
10. Як підпори впливають на величину випередження?
11. Який вплив на випередження надає зовнішнє тертя?
12. На яких станах необхідно точно враховувати випередження? Чому?
13. З яких міркувань вибирають кутові швидкості валків безперервних станів?
14. Які знаєте методи визначення коефіцієнта тертя при прокатці?
15. У чому полягає метод визначення коефіцієнта тертя з випередження. Які межі його застосування?

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СТРІЧОК ШЛЯХОМ ПЛЮЩЕННЯ КРУГЛОЇ ЗАГОТОВКИ

Мета роботи – вивчення впливу режиму обтискання на розширення та витяжку металу при плющенні круглої заготовки; визначення умов, що дозволяють мінімізувати зміщення металу в поздовжньому напрямку та тим самим збільшити його розширення.

Загальні відомості

Машинобудівна та приладобудівна області є основними споживачами прецизійних профілів високої точності та чистоти поверхні. Такі профілі після прокатки ріжуть на задані довжини і виготовляють з них готові деталі, які не вимагають механічної обробки зовсім або у яких обробляють лише окремі елементи. До такого виду продукції відноситься плющена стрічка, у якої форма бічних кромки виходить закругленою в результаті природного розширення, що в ряді випадків є одним з переваг даного профілю. З плющеної стрічки виготовляють пружини для автотракторної та авіаційної промисловості, приладобудування, сільськогосподарського машинобудування та багато іншого.

Плющеною стрічкою називають вузьку металеву смугу з відношенням ширини b до товщини h 1,3 ... 20 (а іноді і більше), отриману з круглого дроту шляхом зміни її поперечного перерізу від круглого до прямокутного обтисканням перпендикулярно до поздовжньої осі [9] найчастіше прокаткою. Відповідно і сам процес такої прокатки називають плющенням, хоча ця операція має місце тільки в першому проході, так як в наступних проходах (рис. 3.1) прокатці піддається вже стрічка. Отже, плющення по суті є окремим випадком прокатки вузької смуги з розширенням.

В результаті обтиснення кромки стрічки стають закругленими. При необхідності їх виправляють або змінюють до інших форм бічним обтисканням або механічною обробкою. Поперечному перерізу плоскої плющеної стрічки може бути надано також фасонне обрис. Таку стрічку називають фасонною.

Плющенням можна отримувати сталеву стрічку практично будь-якої товщини в межах від 0,01 мм до 10 мм (а зазвичай холодною прокаткою на сучасних смугових станах - товщиною не більше 8 мм) і скільки завгодно малої ширини (максимальна ширина її в даний час не перевищує 30 мм).

Включення в лінію плющильного стану еджерних клітей (еджерів) з вертикальними валками, що служать для обтиснення профілю з боків, непривідних або приводних багатовалкових калібрів дозволяє отримувати стрічку з кромками будь-якої бажаної форми або з фасонним поперечним перерізом (тобто фасонну плющину).

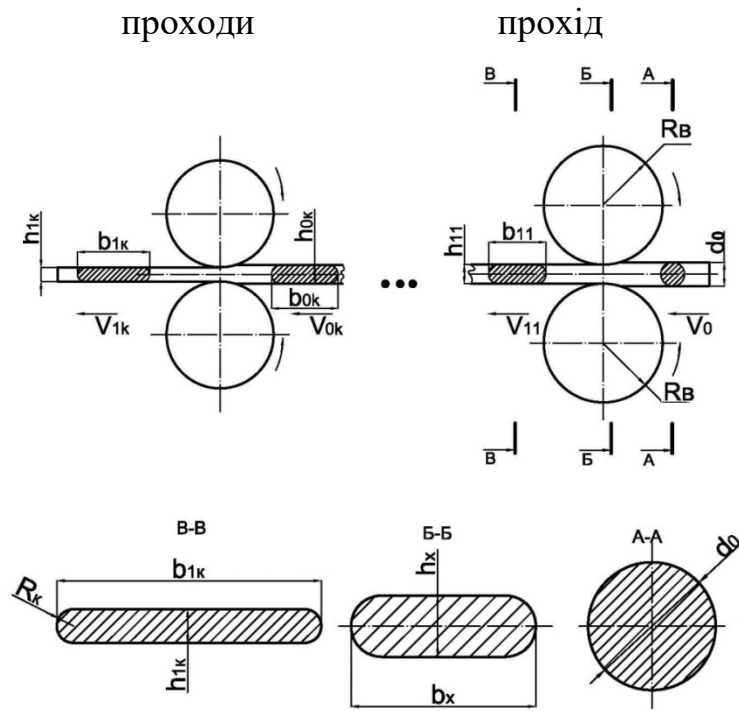


Рисунок 3.1 – Технологічна схема процесу плющення

Процес плющення внаслідок зміни форми та розмірів круглої заготовки супроводжується значним розширенням. Залежно від геометричних розмірів готової продукції (плющеної стрічки) і складу технологічного обладнання розробляють технологічний процес плющення стрічки (визначають кратність деформації по висоті). Відомо, що при прокатці заготовки з однаковою кінцевою товщиною і сумарним обтисканням, а плющення є окремим випадком поздовжньої прокатки, розширення буде тим менше, чим за більшу кількість проходів заготовку деформують. Зазначений ефект можна пояснити дією закону найменшого опору. При збільшенні числа проходів зменшується одиничний обтиск, що припадає на кожен прохід. При цьому зменшуються довжина дуги контакту, сили тертя і величина опору поздовжнього перебігу металу. При майже незмінному поперечному напруженню, забезпечується збільшення витяжки та зменшення розширення.

Отже, розробки раціональної технології плющення стрічок необхідно правильно визначити розміри вихідної заготовки. Від її розмірів залежить весь комплекс технологічних операцій отримання плющеної стрічки. Головним завданням розробки режимів обтискань при плющенні є визначення форми і розмірів вогнища деформації з метою створення умов, у яких забезпечується можливість управління процесом пластичної деформації, тобто. отримання необхідної форми та розмірів готової продукції.

Виробництво стрічки шляхом плющення заготовок круглого поперечного перерізу у валках з циліндричною робочою поверхнею не дозволяє мінімізувати діаметр заготовки і число проходів, так як в процесі деформації більша частина металу зміщується в поздовжньому напрямку і залежить від

величини зміщеного об'єму металу у вертикальному напрямку, при цьому на розширення йде незначний зміщений обсяг. Крім того, слід мати на увазі, що застосування валків з гладкою робочою поверхнею призводить до неконтрольованого (вільного) розширення гуркоту, яке залежить від багатьох факторів (діаметра заготовки, діаметра та стану робочої поверхні валків, наявності технологічного змащення, пластичності та хімічного складу металу та ін.). Відомо також, що при гарячій прокатці-плющенні створюються такі умови пластичної деформації, при яких розширення досягає більших значень, ніж при холодній деформації.

З метою збільшення ширини, коли вільного розширення при рівномірній деформації металу по ширині у валках з гладкою бочкою недостатньо, застосовують вимушене розширення, яке є наслідком нерівномірної деформації металу по ширині. Для цього використовують так звані розгінні калібри [10].

На розширення при нерівномірній деформації значною мірою впливає форма калібрів. При цьому використовують плоскі та опуклі стінки струмка, що здійснюють «розгін» металу завширшки.

Практика показує, що в окремих випадках застосування розгінних калібрів з опуклими похилими гранями забезпечує високе значення розширення [10; 11].

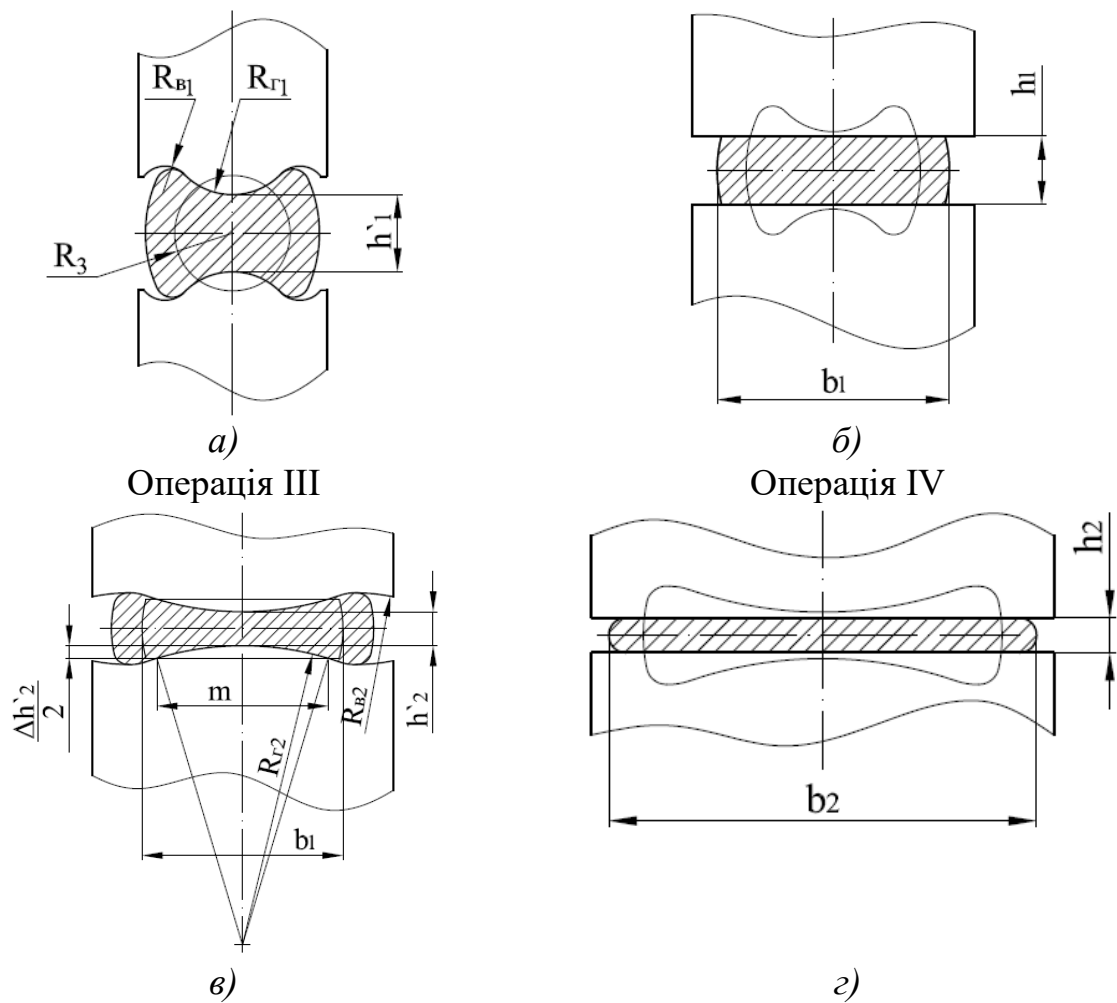
Застосування високих обтискань та розгінних калібрів дозволяє зменшити значення витяжки та веде до зростання розширення, а, як наслідок, зниження кількості проходів.

На кафедрі «Автоматизовані металургійні машини та обладнання» ДДМА розроблено способи виготовлення стрічок плющенням, які включають поетапну деформацію заготовки круглого перерізу за допомогою розгінних калібрів, що мають дугоподібну опуклу форму [12–14].

У першому випадку [12] заготовлю по черзі деформують у розгінних калібрах та циліндричних валках. При цьому в першому проході деформацію заготовки ведуть до товщини

$$h_1' = (0,95 \dots 1,2)R_3 \quad (3.1)$$

в середині перерізу за допомогою розгінних калібрів (рис. 3.2 а), що мають спеціальний опукло-увігнутий профіль (тут R_3 - радіус заготовки, мм).



*a, в – деформація у розгінних калібрах;
б, г - деформація в циліндричних валках (на гладкій бочці)
Рисунок 3.2 – Спосіб виготовлення стрічок плющенням*

Другий прохід (див. рис. 3.2 б) здійснюють у циліндричних валках до отримання стрічки товщиною h_1 і шириною b_1 , при цьому h_1 знаходять за виразом:

$$h_1 = (0,95 \dots 1,0)h'_1. \quad (3.2)$$

Ця умова використовується, якщо за цим слідує третій прохід у розгінних калібрах, якщо ні, то $h_1 < 0,95h'_1$.

Третій прохід (див. рис. 3.2, в) здійснюють у розгінних калібрах, що мають свій спеціальний опукло-увігнутий профіль, до товщини h'_2 в середині перетину.

Наступні проходи ведуть у циліндричних валках (див. рис. 3.2, г) до отримання стрічки завтовшки h_2 і шириною b_2 , при цьому h_2 знаходять за виразом $h_2 = (0,95 \dots 1,0)h'_2$, якщо передбачається кілька проходів, якщо ні – то частіше $h_2 < 0,95h'_2$.

Поетапна деформація заготівлі круглого перерізу шляхом чергування прокатки в розгінних калібрах, що мають опукло-увігнутий профіль і в калібрах циліндричної форми забезпечує утворення недеформованих або мало деформованих зон металу в центральній частині стрічки в парних проходах та по її крайках – у непарних проходах випадках призводить до появи поздовжнього стискаючого напруження в зонах розвиненої пластичної деформації металу і сприяє зменшенню витяжки, а, як наслідок, збільшенню розширення. Цей ефект забезпечує максимальне розширення заготівлі та отримання стрічки різної ширини із заданою товщиною за мінімальну кількість проходів.

Розроблена схема прокатки та калібрування дозволяє отримувати широкий сортамент прокатних виробів із круглої заготовки. При цьому можуть бути реалізовані різні поєднання операцій (див. рис. 3.2):

I-II; I-II-II; I-II-III-IV; I-II-III-IV-IV та ін.

В результаті проведених досліджень встановили, що для виготовлення стрічок із поперечним розміром $h_k \times b_k$ із дроту-заготівлі діаметром d_n прокаткою, яка полягає в поетапному деформуванні металу в розгінному калібрі та циліндричних валках, початковий діаметр заготовки (дроту) може бути обраний у межах $d_n = (4,4 \dots 4,7) b_k / h_k$.

На основі аналізу напружено-деформованого стану металу на початковому етапі деформування вибрали іншу схему прокатки [13], яка є сприятливою за умов більш інтенсивного розширення металу у перших трьох проходах при використанні розгінних калібрів лише в одному проході. Це спрощує роботу на таборі та полегшує калібрування валків у порівнянні зі способом, наведеним на рис. 3.2.

У цьому випадку (рис. 3.3) перший прохід здійснюють у циліндричних валках, деформуючи заготовку до товщини $h_1 = (0,63 \dots 0,65)d_n$.

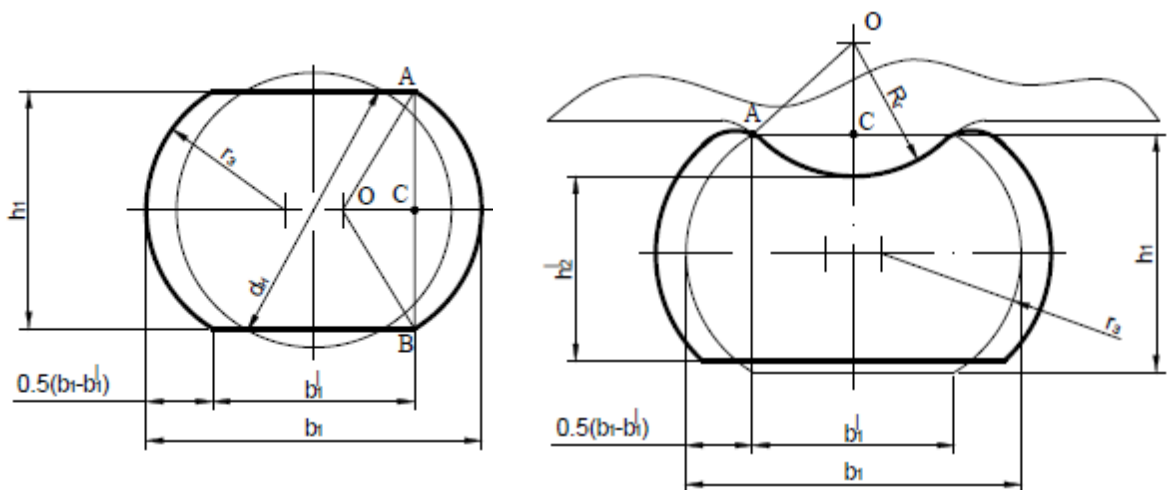


Рисунок 3.3 – Спосіб виготовлення стрічок плющенням

У другому проході здійснюють прокатку до товщини $h'_2 = (0,45 \dots 0,49) d_n$ у валках, один з яких має опуклий профіль з радіусом гребеня $R_r = (0,61 \dots 0,66) d_n$.

Третій прохід здійснюють у циліндричних валках до товщини не більше $h_3 = (0,41 \dots 0,45) d_n$, якщо для досягнення кінцевої товщини h_k потрібен ще один прохід, або до товщини менше $h_3 = (0,41 \dots 0,45) d_n$, за умови, що кінцеву товщину h_k можна досягти у цьому проході.

Поетапна деформація заготівлі круглого перерізу шляхом чергування прокатки в циліндричних валках і розгінному калібрі, який має опуклий профіль з відповідним радіусом гребеня, забезпечує наявність у кожному з перших трьох проходів пластичних та пружно деформованих зон металу. При цьому останні стримують вплив на прагнення металу текти в довжину і забезпечують тим самим його підвищене розширення.

У першому проході, з огляду на конфігурацію заготівлі (дроту), такими зонами є бічні частини металу, що знаходяться за межами прямого контакту металу з валками. Ці зони створюють стискаючі напруження в центральній частині металу (у зоні пластичної деформації) змушуючи метал текти у напрямку ширини.

У другому проході, коли один з валків має опуклий профіль картина напруженого стану, що має місце в першому проході повторюється, але ще більшою мірою через штучне збільшення обтискання в центральній частині металу, викликаючи інтенсивне протягом металу в напрямку ширини. При цьому наявність плоскої поверхні з боку циліндричного валка полегшує осьову стабілізацію металу до осі симетрії опуклої частини (гребеня) другого валка.

У третьому проході з огляду на профіль металу після другого проходу зони інтенсивної пластичної деформації мають місце на бічних ділянках заготівлі. Тепер центральна частина металу, що піддається деформації, меншою мірою перешкоджає поздовжньому перебігу бічних зон, створюючи в них стискаюче напруження.

Матеріальне забезпечення

1. Лабораторний стан прокатний кварто 55/250x200.
2. Мікромметр, штангенциркуль, масштабна лінійка.
3. Зразки зі сталі (2 шт) та свинцю (1 шт) довжиною 150...300 мм діаметром 12...18 мм. Діаметри сталевих та свинцевих зразків повинні бути рівні.
4. Ножівка по металу.

Порядок проведення експерименту

До початку прокатки на зразки поблизу їх кінців, ножівкою завдати дві поперечні ризики, відстань між якими прийняти за вихідну довжину L_0 зразку. Слідкувати, щоб при прокатуванні ризики знаходилися збоку (не в контакт з валками). Штангелем визначити вихідний діаметр d_n заготівки.

Перший сталевий зразок прокатати до товщини $h_k \approx (0,3...0,35)d_n$ за 4...5 проходів з приблизно рівними значеннями абсолютних обтискань Δh_i по проходам.

Другий сталевий зразок у першому проході прокатати з максимальним абсолютним обтисканням (з урахуванням обмежень за потужністю приводу і можливої пробуксовки металу у валках), а потім з мінімальним числом наступних проходів довести кінцеву товщину цього зразка до отриманого значення h_k для першого зразка.

Свинцевий зразок прокатати з таким режимом обтискань, як і другий сталевий зразок.

Після кожного проходу при прокатці всіх зразків проводити вимірювання товщини h_i , ширини b_i і відстані L_i між ризиками.

Дослідні значення занести до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати плющення круглої заготовки

Матеріал зразку, проходи	d_n , мм	$h_i(h_k)$, мм	Δh_i , мм	$\Delta h_{i\Sigma}$, мм	ε_i , %	$\varepsilon_{i\Sigma}$, %	b_i , мм	b_i/d_n	L_i , мм	λ_i	$\lambda_{i\Sigma}$
Зразок зі сталі № 1											
1											
2											
3											
4											
5											
Зразок зі сталі № 2											
1											
2											
3											
4											
Зразок зі свинцю											
1											
2											
3											
4											

Обробка результатів експериментів

За отриманими дослідними даними підрахувати для кожного випадку прокатки абсолютне $\Delta h_i = h_{i-1} - h_i$, відносне $\varepsilon_i = \Delta h_i/h_{i-1}$ обтискання і коефіцієнти витяжки $\lambda_i = L_i/L_{i-1}$ в проході, а також сумарні їх значення $\Delta h_{i\Sigma} = d_n - h_i$, $\varepsilon_{i\Sigma} = \Delta h_{i\Sigma}/d_n$ і $\lambda_{i\Sigma} = L_i/L_0$ з урахуванням попередніх проходів. У першому проході абсолютне обтиснення $\Delta h_1 = d_n - h_1$.

За отриманими даними для кожного випадку побудувати графічні залежності $b_i/d_n = f(\epsilon_{i\Sigma})$ і $\lambda_{i\Sigma} = f(\epsilon_{i\Sigma})$.

Дати аналіз впливу режиму обтискання та стану металу (а свинцевий зразок імітує гарячу прокатку) на розширення та витяжку металу при плющенні. Запропонувати рішення, спрямовані на збільшення розширення під час виробництва стрічок шляхом плющення круглої заготовки.

Контрольні питання

1. Який процес називають плющенням? Його особливості.
2. Які фактори впливають на величину розширення металу при плющенні?
3. Якими є особливості напруженого стану металу при плющенні круглої заготовки в першому проході?
4. Що називають зонами прагнення розширення?
5. Який закон пластичної деформації визначає обсяг зон прагнення до розширення?
6. Чи впливає і як обсяг зон прагнення до розширення на величину розширення?
7. Чи залежить розширення від обтискання та діаметра валків? Як?
8. Чи впливає і як дробність деформації на величину розширення?
9. З якою метою та як досягається вимушене розширення?
10. Який механізм досягнення більшого розширення при чергуванні прокатки в розгінних калібрах та валках з гладкою бочкою?

Практична робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛЮЩЕННЯ КРУГЛОЇ ЗАГОТІВКИ, СУМІЩЕНОГО З ПРОЦЕСОМ ВОЛОЧІННЯ ШЛЯХОМ ПРОШТОВХУВАННЯ

Мета роботи – вивчення процесу калібрування бічних кромek плушеної стрічки шляхом волочіння проштовхуванням, поєднаного з процесом прокатки, та впливу осьової сили в міжосередковому проміжку (підпору) на величину розширення при плущенні.

Загальні відомості

В даний час актуальною для металургійних виробництв є завдання створення модульних технологій виробництва довгомірної продукції у вигляді смуг, стрічок, дроту і профілів з металів і сплавів. Це передбачає об'єднання кількох різних процесів деформації до одного процесу, тобто спільну реалізацію процесів деформації. До них можна віднести процеси прокатки-волочіння [15], прокатки-пресування та їх варіацій [16; 17].

Технічний результат такого об'єднання, в першу чергу, полягає в підвищенні ступеня безперервності і технологічності процесу прокатки і процесу деформації (волочіння, пресування) з яким її об'єднують.

Проте, кожен із зазначених процесів пластичної деформації металів має свої особливості. Поєднання процесів, як правило, здійснюють таким чином, щоб ці особливості, взаємно накладаючись один на одного, доповнювали один одного, приводячи до нової якості (зниження енерговитрат, підвищення точності прокатки, розширення сортаменту та ін.).

Процес прокатки здійснюється завдяки наявності сил тертя на контактi металу з валками, що обертаються. Згідно з класичними уявленнями теорії прокатки на процес прокатки, що встановився в осередку деформації (див. рис. 1.1) присутні зона відставання, де сили тертя зі сторони валків спрямовані по ходу прокатки, будучи активними силами, і зона випередження, в якій сили тертя спрямовані у протилежний бік руху металу, створюючи реактивну дію та знижуючи ефективність процесу прокатки.

Отже, момент прокатки складається з моменту активних сил тертя ($M_{\text{акт}}$) та моменту реактивних сил тертя ($M_{\text{реак}}$):

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{акт}} - M_{\text{реак}}. \quad (4.1)$$

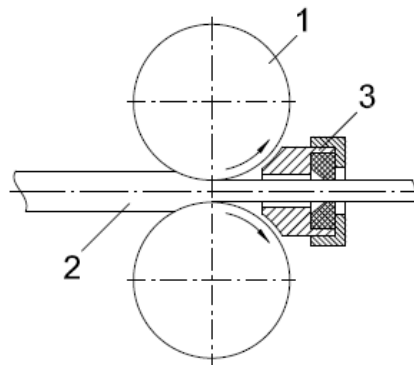
При постійній ширині, радіусі валків, опорі деформації, коефіцієнті тертя, стиску (або куті захоплення) момент кочення буде постійним і зміна його за інших рівних умов можлива лише при спільному виконанні кочення з одним методів механічної обробки, що стимулює збільшення довжини зони відставання, коли реактивні сили тертя ведучої зони переходять в активні і момент кочення зростає, досягаючи свого максимального значення при нейтральному

куті γ (див. рис. 1.1) дорівнює нулю, тобто коли зона відставання поширюється на всю зону деформації.

Отже, комбінування передбачає більш повне використання сил тертя в зоні деформації прокатної кліті за рахунок виконання додаткових операцій, таких як деформація в непривідній кліті, деформація через матрицю під час волочіння або пресування.

Спільна реалізація процесів прокатки і волочіння або пресування передбачає здійснення безперервного процесу пластичної деформації металу, принаймні, у двох осередках деформації, які розташовують по ходу руху металу так, щоб вогнище прокатки був джерелом енергії у вигляді осьовий сили, достатньої для здійснення деформації металу в осередку волочіння або пресування.

Як приклад розглянемо безперервний процес виготовлення стрічки плющеної, що передбачає здійснення в останній кліті плющильного стану або в останньому проході комбінацію процесів прокатки та волочіння шляхом проштовхування металу через філь'єру (рис. 4.1)



1 – валки плющильного стану; 2 – заготівка; 3 – філь'єра
Рисунок 4.1 – Схема суміщеного процесу прокатки-волочіння з проштовхуванням

Такий прийом, використовуючи енергію валків, дозволяє поєднати на виході з прокатної кліті процеси прокатки і волочіння і тим самим скоротити технологічний цикл, виключивши окрему операцію з калібрування стрічки. При цьому необхідна сила проштовхування металу в вогнище волочіння, яка створюється валками, призводить до утворення підпору металу на виході з вогнища прокатки, що забезпечує додаткові стискаючі напруження в металі, а, отже, і умови для більш розвиненої пластичної течії металу напрямі ширини, а також дозволяє підвищити якість плющених стрічок за рахунок зниження ймовірності появи тріщин і створення умов для утворення дрібнозернистої структури металу через сприятливу схему всебічного стиснення в осередках деформації при прокатці і волочінні з проштовхуванням, а, отже, збільшити вихід придатної плющеної стрічки, а в сукупності підвищити продуктивність, у тому числі і за рахунок скорочення попередніх проходів при прокатці, підвищити якість поверхні металу, точність його геометричних розмірів і розширити сортамент за

геометричними параметрами готової стрічки при використанні заготівлі одного розміру.

Максимальне значення сили, необхідної для здійснення процесу волочіння шляхом проштовхування має місце, коли в осередку деформації при прокатці дотичні напруження по всій його довжині спрямовані в сторону течії металу, тобто в цьому осередку деформації утворюється тільки зона відставання металу (рис. 4.2). Таким чином, реалізується граничний випадок прокатки з максимальною енергією валків.

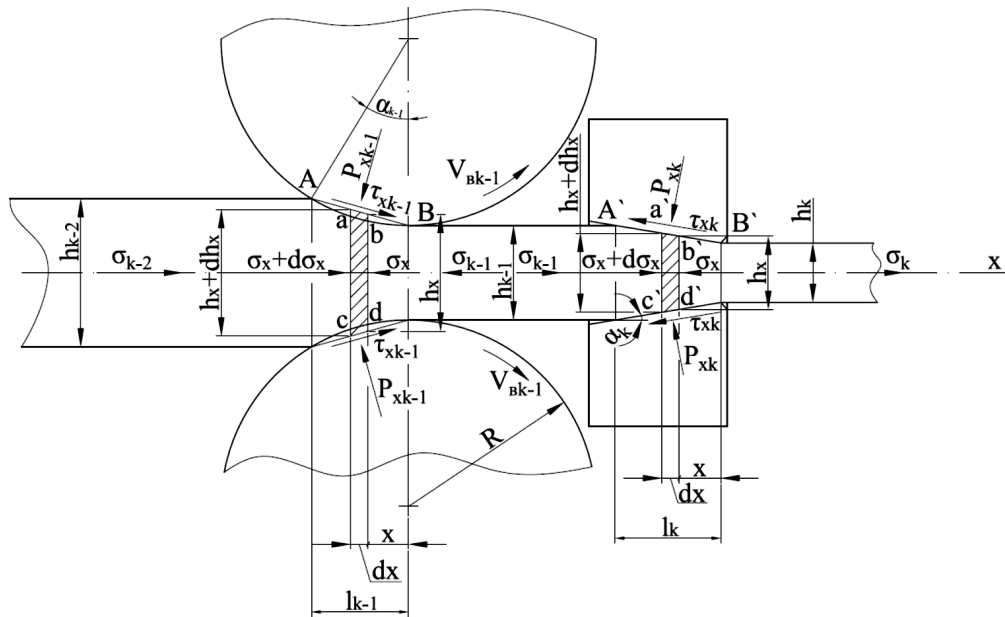


Рисунок 4.2 – Схема напруження при реалізації поєданого процесу прокатки-волочіння прошт овхуванням при однозонному ковзанні металу у валках

Осьове напруження в металі в проміжку між осередками прокатки та волочіння σ_{k-1} (див. рис. 4.2) є, з одного боку, напруження підпору для осередку прокатки, а, з іншого боку, – робочим напруженням, необхідною для здійснення процесу волочіння проштовхуванням і ця умова існує при дотриманні певних співвідношень між витяжками металу в цих осередках деформації, а також значеннями опору металу деформації, геометричними параметрами осередків деформації, умовами тертя на контактних поверхнях валків і філь'єри (волокни) і напруженнями натягу кінців стрічки на виході з вогнища волочіння і на вході в осередок прокатки.

Ці співвідношення можна знайти, розглянувши умови рівноваги елементарних обсягів металу в осередках деформації при прокатці та волочінні і вирішивши їх спільно з умовами пластичності металу.

Після інтегрування та перетворень можемо записати, що:

значення необхідного осьового напруження для здійснення процесу волочіння шляхом проштовхування дорівнює:

$$\sigma_{k-1} = 2K_k \frac{1+a_k}{a_k} \left[\left(\frac{h_{k-1}}{h_k} \right)^{a_k} - 1 \right] + \sigma_k \left(\frac{h_{k-1}}{h_k} \right)^{a_k}, \quad (4.2)$$

а при заданому обтисканні, для забезпечення схеми прокатки з однозонним ковзанням металу в осередку деформації, коли на валках мають місце тільки зони відставання металу, необхідне значення напруження підпору металу на виході з валків при прокатуванні:

$$\sigma_{k-1} = 2K_{k-1} \frac{1-a_{k-1}}{a_{k-1}} \left[1 - \left(\frac{h_{k-1}}{h_{k-2}} \right)^{a_{k-1}} \right] + \sigma_{k-2} \left(\frac{h_{k-1}}{h_{k-2}} \right)^{a_{k-1}}, \quad (4.3)$$

де $2K_k, 2K_{k-1}$ – значення опору металу деформації відповідно в осередках волочіння та прокатки в останній кліті (або проході);

a_k и a_{k-1} – коефіцієнти, що характеризують геометричні параметри та умови тертя відповідно в осередках волочіння та прокатки в останній кліті (або проході);

σ_k и σ_{k-2} – значення напруження натягу кінців стрічки відповідно на виході з вогнища волочіння і на вході в осередок прокатки в останній кліті (або проході);

h_k, h_{k-1} и h_{k-2} – значення відповідно кінцевої, проміжної та вихідної товщин металу.

За відсутності осьових сил на кінцях стрічки, коли $\sigma_k = 0$ і $\sigma_{k-2} = 0$ з виразів (4.2) та (4.3) випливає, що

$$\sigma_{k-1} = 2K_k \frac{1+a_k}{a_k} \left[\left(\frac{h_{k-1}}{h_k} \right)^{a_k} - 1 \right], \quad (4.4)$$

а

$$\sigma_{k-1} = 2K_{k-1} \frac{1-a_{k-1}}{a_{k-1}} \left[1 - \left(\frac{h_{k-1}}{h_{k-2}} \right)^{a_{k-1}} \right]. \quad (4.5)$$

При спільній реалізації процесів волочіння металу шляхом проштовхування і прокатки з однозонним ковзанням металу в осередку деформації необхідні значення осьових напружень для здійснення процесу волочіння і процесу

прокатки при відсутності натягу на кінцях стрічки визначаються виразами (4.4) і (4.5) і рівні між собою.

Таким чином, беручи до уваги рівняння (4.4) та (4.5), маємо:

$$2K_k \frac{1+a_k}{a_k} \left[\left(\frac{h_{k-1}}{h_k} \right)^{a_k} - 1 \right] = 2K_{k-1} \frac{1-a_{k-1}}{a_{k-1}} \left[1 - \left(\frac{h_{k-1}}{h_{k-2}} \right)^{a_{k-1}} \right]. \quad (4.6)$$

Підставивши у вираз (4.6) значення коефіцієнтів витяжок металу в осередках деформації при прокатуванні та волочінні $\lambda_k = h_{k-1}/h_k$ и $\lambda_{k-1} = h_{k-2}/h_{k-1}$, після перетворень отримаємо:

$$\frac{2K_k(1+a_k)a_{k-1}}{2K_{k-1}(1-a_{k-1})a_k} = \frac{\lambda_{k-1}^{a_{k-1}} - 1}{\lambda_{k-1}^{a_{k-1}}(\lambda_k^{a_k} - 1)}. \quad (4.7)$$

За наявності натягу кінців стрічки, співвідношення їх напружень σ_{k-2} і σ_k з урахуванням виразів (4.2) і (4.3) повинно задовольняти умові:

$$\frac{\sigma_{k-2}}{\sigma_k} = \lambda_k^{a_k} \lambda_{k-1}^{a_{k-1}}. \quad (4.8)$$

Виконання умов (4.7) і (4.8) забезпечує можливість комбінації процесів прокатки у валках з циліндричною поверхнею з однозонним ковзанням металу в осередку деформації та волочіння шляхом проштовхування через філь'єру, при цьому в осередку деформації при прокатуванні створюють силу, необхідну для проштовхування металу.

Матеріальне забезпечення

1. Лабораторний стан прокатний кварто 55/250x200.
2. Непривідна вертикальна кліть (роликове волокно).
3. Мікрометр, штангенциркуль.
4. Зразок із сталі (1 шт) діаметром 12...18 мм, довжиною 1500 мм.

Порядок проведення експерименту

До початку прокатки встановити на провідковий стіл прокатного стану з боку виходу металу з валків непривідну вертикальну кліть, яку використовувати як роликовий волок для суміщення процесу калібрування бічних кромek площеної стрічки з процесом прокатки.

Виміряти вихідний діаметр зразка і здійснити прокатку (плющення) зразка з максимальним обтисканням в 1 прохід. Виміряти товщину h_1 і ширину зразка бочкою v_1 . Заескізувати в масштабі 2:1 профіль поперечного перерізу зразка.

У другому проході з абсолютним обтисканням $\Delta h = 1,5 \dots 2,5$ мм при незмінному зазорі між валками здійснити три досліди:

у першому випадку - прокатати кінець зразка (близько 20% його вихідної довжини) без обтиснення бічних кромки у роликовому волоку;

у другому випадку - продовжити прокатку частини зразка (близько 50% його вихідної довжини) з деяким обтисканням кромки у роликовому волоку;

у третьому випадку - завершити прокатку зразка (з недокатом в 10 ... 15% від його вихідної довжини), обтиснувши кромки в роликовому волоку до повного усунення бачкоподібності кромки (наближаючись до стану пробуксовки металу у валках прокатного стану, коли резерв сил тертя у валках повністю вичерпано).

У всіх випадках у процесі прокатки фіксувати струм двигуна кліті (по приладу на пульті управління), а після прокатки товщину і ширину металу в міжклітинному проміжку, а в другому та третьому випадках - і після калібрування. Заескізувати в масштабі 2:1 профілі поперечних перерізів зразка в міжклітинному проміжку і після калібрування в роликовому волоку.

Досвідчені дані занести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати прокатки (плющення) та волочіння проштовхуванням (калібрування) круглої заготовки*

Прохід	$h_i(h_k)$, мм	Δh_i мм	$\Delta h_{i\Sigma}$, мм	ε_i , %	$\varepsilon_{i\Sigma}$, %	V_i , мм	V_i/d_n	$V_{i\text{калібр}}$	Ток, А
1 прохід (попередній)								*	*
2 прохід: Дослід 1 Дослід 2 Дослід 3								*	

*Вихідний діаметр заготовки $d_n =$ мм. Марка сталі – сталь.....

Обробка результатів експериментів

За отриманими дослідними даними підрахувати для кожного випадку прокатки абсолютне $\Delta h_i = h_{i-1} - h_i$ та відносне $\varepsilon_i = \Delta h_i/h_{i-1}$, обтискання у проході, а також сумарні їх значення $\Delta h_{i\Sigma} = d_n - h_i$ і $\varepsilon_{i\Sigma} = \Delta h_{i\Sigma}/d_n$ з урахуванням 1-го (попереднього) проходу.

Дати аналіз впливу рівня осьової сили в міжосередковому проміжку (підпору) на величину розширення при плющенні, орієнтуючись за значенням струму двигуна прокатної кліті.

Контрольні питання

1. Які сили в осередку деформації визначають значення моменту прокатки?
2. Яким чином можна ініціювати зростання моменту прокатки або забезпечити більш повне використання резерву сил тертя в осередку деформації?
3. Як слід розташовувати вогнища деформації сполучених процесів ЗМЗ?
4. Дайте визначення процесу волочіння, вкажіть його різновиди.
5. Як впливають на розширення переднє та заднє натяги? Підпори? Поясніть механізм зміни ширини металу у цих випадках?
6. Які переваги поєднання процесів плющення і калібрування стрічки на виході з валків?
7. У якому випадку досягається максимальне використання енергії валків прокатного стану?
8. Який принцип створення умов для одночасного здійснення двох комбінованих процесів ОМД?

Практична робота №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДНПВ БЕЗ НАТЯГУ. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ ПРИ ПРОКАТЦІ АБО ВОЛОЧІННІ ТА ФАКТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ ОПОРУ МЕТАЛУ ДЕФОРМАЦІЇ

Мета роботи – визначення умов реалізації процесу деформації металу між нерухомим та приводним валками (ДНПВ), практичне визначення коефіцієнтів тертя при прокатці та волочінні, а також фактичного значення опору металу деформації на основі нового способу шляхом реалізації процесу ДНПВ без натягу.

Загальні відомості

Як відомо, процес симетричної прокатки характеризується наявністю підпиральної дії контактних сил тертя на об'єм металу, що деформується, що істотно знижує ефективність процесу.

Поряд з традиційною (симетричною) прокаткою останнім часом застосовують нові ефективні способи деформації тонких смуг, серед яких особливе місце займають способи, засновані на зміні схеми напруженого стану металу шляхом створення примусової кінематичної асиметрії вогнища деформації.

Наприклад, реалізація процесу асиметричної прокатки у валках, що обертаються з різними окружними швидкостями (рис. 5.1), коли співвідношення швидкостей валків V_{B1}/V_{B2} дорівнює коефіцієнту витягування смуги λ дозволяє повністю виключити підпірну дію контактних сил тертя в осередку деформації [15].

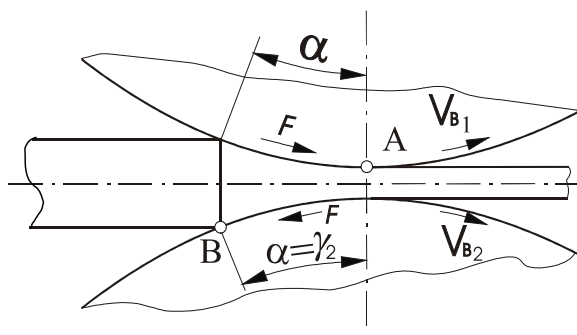


Рисунок 5.1 – Схема вогнища деформації при симетричній прокатці із співвідношенням швидкостей валків $V_{B1}/V_{B2} = \lambda$

У ряді випадків дуже ефективно застосуванням нового технологічного процесу деформації тонких смуг між нерухомим і приводним валками (рис. 5.2), що отримав назву процесу ДНПВ [15].

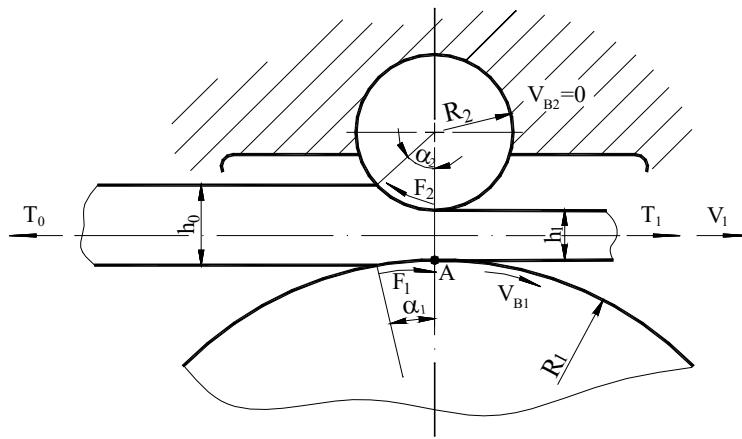


Рисунок 5.2 – Схема реалізації процесу ДНПВ

Процес ДНПВ полягає в пластичній деформації смуги між нерухомим і приводним валками, при цьому в загальному випадку переміщення металу в осередку деформації забезпечується за рахунок позитивної різниці переднього T_1 і заднього T_2 натягу, прикладених до кінців смуги, і активних сил тертя на контакті з приводним валком, швидкість якого дорівнює швидкості переднього кінця смуги. Остання умова забезпечує утворення активних сил тертя (див. рис. 5.2), спрямованих у бік руху смуги, при цьому на нерухомому валку ($V_{B2} = 0$) сили тертя спрямовані у протилежний бік. Таким чином по всій довжині вогнища деформації при ДНПВ підпірна дія сил зовнішнього тертя в осередку деформації виключається, оскільки сили тертя на протилежних контактних поверхнях спрямовані в різні сторони і створюють додатково напруження зсуву, що істотно впливає на зниження нормальних контактних напружень і полегшує можливість отримання якісного прокату.

Величина напруження переднього натягу, необхідного та достатнього для існування процесу ДНПВ [15]:

$$\sigma_1 = 2K(a + 1)[1 - (1 - \varepsilon)^a] / a; \quad (5.1)$$

$$a = (\mu_2 - \mu_1) / [\text{tg}(\alpha_1 / 2) + \text{tg}(\alpha_2 / 2)], \quad (5.2)$$

де $2K$ – середньоінтегральне значення опору металу деформації;

ε – ступінь відносної деформації;

μ_1, μ_2 – коефіцієнти тертя на контактних поверхнях приводного та нерухомого валків;

α_1, α_2 – кути контакту металу на приводному та нерухомому валках.

За наявності заднього натягу:

$$\sigma_1 = 2K(a + 1)[1 - (1 - \varepsilon)^a] / a + \sigma_0(1 + \varepsilon)^a, \quad (5.3)$$

де σ_0 – напруження заднього натягу.

За реалізації процесу ДНПВ для всіх випадків $a > -1,0$ середні значення нормальних напружень в осередку деформації менше опору металу деформації, тобто коефіцієнт напруженого стану металу в осередку деформації $n_\sigma < 1,0$.

При $a = -1,0$ $n_\sigma = p_{cp}/2K = 1$, тобто

$$p_{cp} = 2K. \quad (5.4)$$

В тому ж випадку, коли $a = -1,0$, можлива реалізація процесу ДНПВ без натягу. При цьому, беручи до уваги вираз (5.2), має виконуватися умова [15]:

$$\mu_1 - \mu_2 \geq \operatorname{tg}(\alpha_1 / 2) + \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2). \quad (5.5)$$

Умови (5.4) і (5.5) лягли в основу комплексного методу визначення коефіцієнтів тертя і для випадку процесу прокатки (μ_1) і для випадку волочіння (μ_2), а також значення опору металу деформації ($2K$).

Коефіцієнт тертя ковзання можна знайти тільки для процесів із запропонованою кінематикою, в умовах суцільного ковзання металу по всій контактній поверхні. Для процесів з непередбаченою кінематикою, наприклад, для традиційного процесу прокатки можна встановити відношення повної сили тертя до нормальної сили в зонах односпрямованого ковзання, наприклад, або в зоні відставання, або в зоні випередження (див. рис. 1.1). Коефіцієнт тертя ковзання для процесів з непрописаною кінематикою на контакті можна визначити, створивши штучно умову суцільного ковзання по всій контактній поверхні. Наприклад, при прокатці можна для цього загальмувати смугу у валках, послідовно збільшуючи обтискання до початку пробуксовки або прикладаючи натяг до заднього кінця смуги, що деформується.

У всіх випадках значення коефіцієнта тертя прямо чи опосередковано визначається лише експериментально.

Методи визначення коефіцієнта тертя можна поділити на чотири групи [2, 18].

Перша група полягає в тому, що вимірюється параметр, теоретична формула до розрахунку якого включає коефіцієнт тертя, а значення коефіцієнта тертя визначається зворотним перерахунком.

До методів першої групи відноситься, наприклад, метод тиску [2], який передбачає вимірювання сили прокатки $P_{оп}$ при встановленому процесі та подальший підбір такого значення коефіцієнта тертя μ , яке будучи підставленим в одну з теоретичних (найбільш обґрунтованих) формул для визначення цієї сили, забезпечує збіг досвідчених $P_{оп}$ та розрахункових P_p її величин. У подібних випадках може бути використане значення середньої нормального контактного напруження p_{cp} .

Друга група методів полягає в експериментальному визначенні за допомогою вимірювальних пристроїв нормальної та дотичної (тангенціальної) сили або їх проекцій на координатні осі з наступним прямим розрахунком (з

урахуванням геометрії зони деформації) коефіцієнта тертя. Ці методи дають найбільш близькі до реального значення коефіцієнта тертя.

До методів другої групи відносяться методи, засновані, наприклад [7], на одночасному вимірі проєкцій тиску і сил тертя двома месдозами, встановленими в тілі валка і нахиленими в різні сторони до контактної поверхні або одночасному вимірі нормальних і дотичних контактних сил за допомогою спеціального силувимірювального валка та розрізного торсіометра. Для цих цілей застосовуються інші спеціальні пристрої.

Третя група методів використовує кінематичні та силові особливості процесів ЗМД, які дозволяють без вимірювальної апаратури визначити значення коефіцієнта тертя.

До методів третьої групи відносяться, наприклад, методи граничного обтиснення і максимального кута захвату, метод випередження.

Четверта група методів використовує прямі вимірювання контактного напруження для визначення відношення суми сил тертя до суми тисків. Ці методи дозволяють визначити значення коефіцієнта тертя у різних процесах, у тому числі і з непередбаченою кінематикою в реальних умовах деформації. Результати досліджень дозволяють знайти і відношення дотичних напружень до нормальних напружень в будь-якій точці контакту. Однак такі значення не можна вважати коефіцієнтами тертя, тому що коефіцієнт тертя в класичному розумінні є відношенням повної сили тертя до нормальної сили і не враховує зміни напруження по контакту.

До методів четвертої групи відноситься, наприклад, метод штифта (точкової месدوزи) [20; 21], в якому використовують однокомпонентні та трикомпонентні (універсальні) штифти (точкові месدوزи), а також нахилі штифти для одночасного виміру нормальних і дотичних напружень, метод розрізного інструменту, поляризаційно-оптичний метод.

Тут доречно виділити і п'яту групу методів визначення коефіцієнта тертя, які ґрунтуються на штучному створенні умови суцільного ковзання по всій контактній поверхні для процесів з непередбаченою кінематикою у поєднанні з вимірюванням сили та моменту прокатки або сили прокатки та заднього натягу з подальшим розрахунком коефіцієнта тертя. До них належать метод Бленда-Форда (метод крутного моменту), кліщовий метод.

В методі Бленда-Форда заднім натягінням T_0 смуги добиваються того, щоб випередження S стало рівним нулю, тобто швидкість руху смуги V_1 на виході з валків наблизилась за своїм значенням до окружної швидкості валків V_B ($V_1 = V_B$). У такому разі нейтральний переріз переміщується в положення площини виходу металу з валків (нейтральний кут $\gamma=0$) і на все вогнище деформації поширюється зона відставання, в якій сили тертя на контактній поверхні діятимуть лише в одному напрямку – у бік руху металу.

Однозначність дії сил тертя дає можливість за виміряним моментом, що крутить, M на валку і рівнодіючої контактних сил P визначити коефіцієнт тертя μ_y при усталеному процесі прокатки:

$$\mu_y = M / PR, \quad (5.6)$$

де R – радіус валка.

Пропонований, заснований на схемі реалізації процесу ДНПВ без натягу комплексний метод дозволяє визначати коефіцієнти тертя і для випадку процесу прокатки, що встановився (коефіцієнт тертя μ_1) і для випадку волочіння (коефіцієнт тертя μ_2) [15].

Підібравши величину обтиснення, при якому на приводному валку гарантовано відсутня зона випередження, тобто $\gamma=0$, а, отже, $S=0$ і вимірявши значення крутного моменту M_1 на приводному валку та силу деформації P при реалізації процесу ДНПВ без натягувань, використовуючи залежність (5.6), можна визначити коефіцієнт тертя при прокатуванні μ_1 за формулою:

$$\mu_1 = M_1 / PR_1, \quad (5.7)$$

де R_1 – радіус приводного валка кліті ДНПВ.

У цьому випадку контроль правильності вибору обтискання можна здійснити за значенням S , використовуючи метод кернів (S має дорівнювати нулю).

Зважаючи на умову (5.5) існування процесу ДНПВ без натягу, значення коефіцієнта тертя на контактні металу з нерухомим валком (при волочінні) можна визначити за формулою:

$$\mu_2 = \mu_1 - [\text{tg}(\alpha_1 / 2) + \text{tg}(\alpha_2 / 2)]. \quad (5.8)$$

Діаметри приводного та нерухомого валків при ДНПВ значно відрізняються і їхнє відношення може перебувати в інтервалі 3...10. У такому діапазоні відносин діаметрів валків обтискання смуги практично повністю здійснюється на валці меншого діаметру (нерухомому).

Введемо коефіцієнт k , що характеризує різницю в радіусах приводного R_1 та нерухомого R_2 валків:

$$k = R_1 / R_2. \quad (5.9)$$

Тоді відомі співвідношення [7] для визначення довжини дуги контакту l і кутів контакту на великому α_1 та малому α_2 валки для абсолютно жорстких валків можуть бути представлені у вигляді [15]:

$$l = \sqrt{2kR_2\Delta h / (k + 1)}; \quad (5.10)$$

$$\alpha_1 = \arccos[1 - \Delta h / k(k + 1)R_2]; \quad (5.11)$$

$$\alpha_2 = \arccos[1 - k\Delta h / (k + 1)R_2], \quad (5.12)$$

де Δh – абсолютне обтиснення смуги.

Окрім значень μ_1 та μ_2 , приймаючи до уваги умову (5.4), для випадку плоскої деформації можна визначити середньоінтегральне значення опору деформації металу:

$$2K = P_{cp} = P/b_{cp}l, \quad (5.13)$$

де b_{cp} – середня ширина смуги ($b_{cp} = b_0 + \Delta b/2$).

Для розрахунку довжини контактної дуги l використовуємо залежність (5.10).

Враховуючи що $2K = 1,15\sigma_\phi$ [1; 7], для отриманої величини відносного обтиснення знайдемо і фактичний опір металу деформації:

$$\sigma_\phi = 2K/1,15. \quad (5.14)$$

Матеріальне забезпечення

1. Лабораторний прокатний стан Дуо 100 з валковим вузлом ДНПВ 30/100, оснащений тензометричною апаратурою для вимірювання сили та моменту прокатки на приводному валку.
2. Мікрометр, штангенциркуль.
3. Технологічне мастило для поверхні смуги з боку нерухомого валка.
4. Зразки (3 шт) із міді або латуні товщиною 0,5...1,0 мм, шириною 10...20 мм, довжиною 200 мм. Стан зразків – відпалені.

Порядок проведення експерименту

На поверхню приводного валка наносять керни та вимірюють відстань l_b по дузі між ними. Визначають діаметр приводного D_1 та нерухомого D_2 валків. Попередньо вимірявши вихідну товщину h_0 та ширину b_0 зразків здійснюють їх деформацію з вимірюванням сили та моменту прокатки на приводному валку.

Месдоза та силувимірювальний шпindelь приводного валка попередньо тарують.

Перший зразок деформують у сухих (знежирених) валках із сухими поверхнями смуги. При прокатуванні другого та третього зразків використовують два типи мастил, які наносять на поверхню смуги з боку нерухомого валка. Друга поверхня смуги та валка – сухі.

Через обмежені можливості захоплення металу при ДНПВ передній кінець смуги спочатку подають у зазор між валками, який перевищує вихідну товщину смуги h_0 , а потім натискним пристроєм встановлюють необхідне обтискання, підбираючи його так, щоб випередження S дорівнювало нулю. Після цих дій включають вимірювальну апаратуру та привід кліті. Обтискання при прокатці в залежності від ефективності мастила з боку нерухомого валка може перебувати в межах 15...50 %.

Обробка результатів експерименту

Вихідні та кінцеві розміри зразків і відстані l_1 між відбитками кернів на смузі, а також експериментальні значення сили P і моменту прокатки на приводному валку M_1 для кожного зразка занести до таблиці 5.1.

Використовуючи залежність (5.7), визначити значення μ_1 для сухих валків, а на їх основі, використовуючи залежності (5.8), (5.9), (5.11) та (5.12) знайти значення μ_2 для різних мастил.

За формулами (5.13) та (5.14) з урахуванням залежності (5.10) визначити значення σ_ϕ для різних ε .

За отриманими даними побудувати графічні залежності $\mu_1=f(\varepsilon)$ і $\sigma_\phi=f(\varepsilon)$.

Таблиця 5.1 – Досвідчені значення коефіцієнтів тертя μ_1 і μ_2 , а також фактичного опору металу деформації ($R_1 =$ мм; $R_2 =$ мм; $k=R_1/R_2 =$, $l_b =$ мм)

№ зразку	Вид мастила	h_0 , мм	h_1 , мм	Δh , мм	ε , %	v_0 , мм	v_1 , мм	Δv , мм	P , Н	M_1 , Нмм	l_1 , мм	S , %	α_1 , рад	α_2 , рад	l_1 , мм	μ_1	μ_2	P_{cp} , Н/мм ²	σ_ϕ , Н/мм ²
1																			
2																			
3																			

Контрольні питання

1. У чому особливості процесу прокатки-волочіння (процесу ПВ)?
2. У чому полягає процес ДНПВ, його особливості?
3. Які умови реалізації процесу ДНПВ без натягу?
4. У чому полягають труднощі визначення коефіцієнта тертя процесів з непередбаченою кінематикою?
5. Назвіть методи визначення коефіцієнта тертя. Дайте їхню класифікацію.
6. Вкажіть методи, що ґрунтуються на штучному створенні умови суцільного ковзання металу по всій контактній поверхні. У чому суть цих методів?
7. Опишіть метод Бленда-Форда (метод моменту, що крутить).
8. У чому суть нового комплексного методу, заснованого на схемі реалізації процесу ДНПВ без натягу?
9. Опишіть методику визначення коефіцієнтів тертя та опору металу деформації на основі методу ДНПВ без натягу.
10. З яких умов вибирається обтискання під час використання методу ДНПВ без натягу визначення коефіцієнтів тертя?

ДОСЛІДЖЕННЯ СУМІЩЕНОГО ПРОЦЕСУ СИМЕТРИЧНОЇ ПРОКАТКИ-ДНХВ

Мета роботи – вивчення комбінованого процесу симетричної прокатки-деформації металу між нерухомим і холостим валками (ДНХВ) та впливу обтискання в кліті ДНХВ на величину випередження та енерго-силові параметри в кліті симетричної прокатки

Загальні відомості

Як було зазначено в лабораторній роботі № 5 (див. рис. 5.2) реалізація процесу ДНПВ в необхідному кінематичному режимі обумовлена наявністю строго певного функціонального зв'язку між напруженнями переднього і заднього натягу смуги. Переміщення смуги в осередку деформації при ДНПВ у загальному випадку забезпечується за рахунок позитивної різниці переднього і заднього натягу, прикладених до кінців смуги, а також активних сил зовнішнього тертя на контакті з приводним валком [15].

Недостатній рівень активної енергії, сполученої смузі одним приводним робочим валком кліті ДНПВ, викликає необхідність оснащення стану моталками з підвищеним значенням натягу смуги на барабані. У цьому відношенні особливий інтерес представляє спільна реалізація процесів ДНПВ та симетричної прокатки на одному прокатному стані [15].

Спільна реалізація процесів ДНПВ та симетричної прокатки передбачає здійснення безперервного процесу пластичної деформації смуги, принаймні, у двох осередках деформації, де перший по ходу руху смуги вогнище деформації призначений для реалізації процесу ДНПВ, а другий – для реалізації процесу симетричної прокатки.

Подібний принцип поєднання двох процесів, один з яких процес симетричної прокатки, ми розглянули в лабораторній роботі № 4. При цьому слід нагадати, що спільна реалізація двох процесів можлива в результаті використання резерву активних сил тертя в осередку симетричної прокатки, в якому при поєднанні стимулюється зростання протяжності зони відставання, коли реактивні сили тертя зони випередження переходять в активні і момент прокатки збільшується.

При більшій кількості вогнищ деформації ДНПВ та симетричної прокатки останні повинні чергуватись таким чином, щоб кожне вогнище симетричної прокатки було джерелом переднього натягу, достатнього для здійснення деформації смуги в осередку ДНПВ [15; 22].

Значення цього міжклітинного натягу залежить від умов деформації в осередку ДНПВ: величини обтискання, різниці в коефіцієнтах тертя на приводному і нерухомому валках, співвідношення діаметрів цих валків. Таке суміщення процесів симетричної прокатки і ДНПВ дозволяє використовувати кліті

симетричної прокатки в ролі тягнуть органів і подавати у валки цих клітей калібрований підкат, отриманий в осередку ДНПВ.

Це забезпечує умови одержання готового прокату зі зниженою різнотовщинністю, дає можливість інтенсифікації процесу прокатки. [15; 23; 24]. При спільній реалізації процесів симетричної прокатки та ДНПВ можна допустити трансформацію процесу симетричної прокатки у процес з однозонним ковзанням металу в осередку деформації (процес з нульовим випередженням металу), що досягається створенням відповідного рівня заднього натягу [15; 25], а процес ДНПВ трансформувати в процес деформації між нерухомим і холостим валками (ДНХВ), що перетворює кліть ДНПВ в калібрувальний блок без приводу.

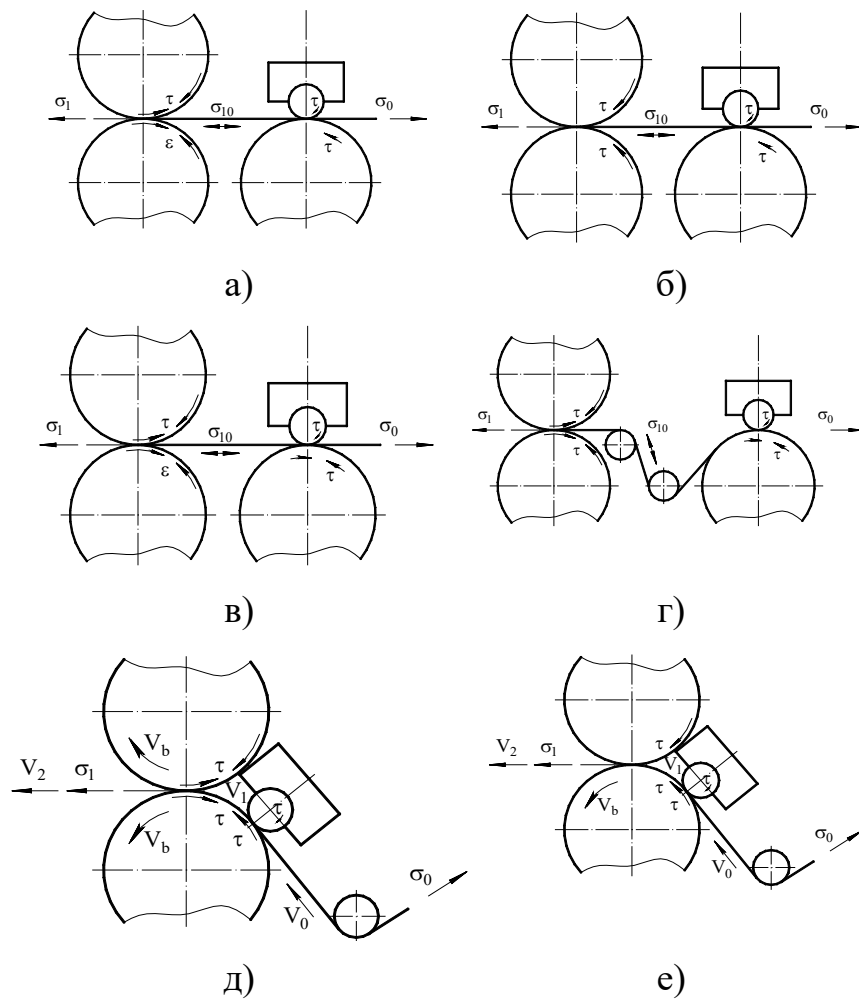
Таким чином, з числа можливих варіантів спільної реалізації процесів ДНПВ (ДНХВ) і симетричної прокатки можна виділити шість основних, чотири з яких (рис. 6.1, а, б, в, г) припускають здійснення поєднання процесів принаймні в двох клітях, а два (рис. 6.1, д, е) – в одній кліті шляхом створення двох осередків деформації на одному приводному валку кліті.

Схема представлена на рис. 6.1 а, передбачає спільну реалізацію процесів ДНПВ – симетричної прокатки у звичайному їх вигляді.

Особливістю варіанта, представленого на рис. 5.1 б, є відсутність випередження металу у валках кліті симетричної прокатки, що досягається підбором відповідних рівнів заднього, в даному випадку міжклітинного натягу і обтискання металу. Таким чином, в кліті симетричної прокатки створюється вогнище деформації, в якому на контактних поверхнях валків мають місце тільки зони відставання. Це забезпечує односпрямованість активних сил зовнішнього тертя та сприяє усуненню їх підпираючого впливу на деформований об'єм металу, що веде до зниження сили деформації та полегшує отримання прокату зі зниженою різнотовщинністю.

У варіанті, наведеному на рис. 6.1 у першому осередку деформації у загальному випадку реалізується процес ДНХВ із зонами відставання та випередження металу на контактній поверхні холостого валка. У другому осередку має місце процес симетричної прокатки з двостороннім ковзанням металу в осередку деформації при підвищеній протяжності зони відставання через явно збільшене напруження міжклітинного натягу σ_{10} . Перевагою схеми є простота реалізації, оскільки кліть ДНХВ не має приводу, що полегшує задачу модернізації діючих станів.

Усунути підпір сил зовнішнього тертя у вогнищі ДНХВ можна шляхом охвата холостого валка смугою (див. рис. 6.1, г). При достатньому рівні міжклітинного натягу та значення кута охоплення холостого валка смугою його лінійна швидкість дорівнюватиме швидкості смуги в міжосередковому проміжку, що і дозволить забезпечити на контактній поверхні цього валка наявність лише зони відставання. У другому осередку деформації за схемою, що розглядається, через підвищений рівень міжосередкового натягу доцільно реалізувати процес симетричної прокатки з нульовим випередженням.



а – процес ДНПВ – симетричної прокатки; б - процес ДНПВ – симетричної прокатки з нульовим випередженням; в – процес ДНХВ – симетричної прокатки; г – процес ДНПВ (ДНХВ) з охопленням приводного валка смугою – симетричної прокатки; д – процес ДНПВ – симетричної прокатки в одній кліті; е – процес ДНПВ – симетричної прокатки з нульовим випередженням в одній кліті
 Рисунок 6.1 – Схеми спільної реалізації процесів ДНПВ (ДНХВ) – симетричної прокатки

Цікавим є спільна реалізація процесів ДНПВ та симетричної прокатки в одній кліті (див. рис. 6.1, д, е). При цьому мають місце два осередки деформації на контактній поверхні одного з приводних валків і можуть бути здійснені процеси симетричної прокатки як з двозонним ковзанням металу в осередку деформації (див. рис. 6.1, д), так і з нульовим випередженням металу (див. рис.6.1, е). Робочі приводні валки виконують функцію тягнучого механізму, створюючи необхідну для існування процесу ДНПВ величину переднього натягу. Наявність охоплення приводного валка смугою забезпечує зону нечутливості процесу ДНПВ до коливань натягу, вихідної товщини смуги та її механічних властивостей. Все це позитивно позначається на точності одержуваного прокату.

Реалізація схеми наведеної на рис. 6.1 д супроводжується пробуксовкою приводного валка в осередку ДНПВ і на дузі охоплення цього валка смугою.

Зі співвідношення середніх швидкостей металу в осередках симетричної прокатки ($V_{СП}$) і ДНПВ ($V_{ДНПВ}$) [15]

$$V_{СП} / V_{ДНПВ} = \lambda_1(1 + \lambda_2) / (1 + \lambda_1),$$

де λ_1 и λ_2 – відповідно коефіцієнти витяжок в осередках ДНПВ та симетричної прокатки, видно, що ступінь пробуксовки валка в осередку ДНПВ тим менше, чим менше витяжка металу в осередку симетричної прокатки. При $\lambda_1 = \lambda_2$ $V_{СП} / V_{ДНПВ} = \lambda_1$.

Реалізація варіанта прокатки, наведеного на рис. 6.1, е, можлива за наявності значної величини напруження σ_{10} натягу смуги в міжосередковому проміжку, що передбачає підвищене обтиснення металу в осередку ДНПВ.

Матеріальне забезпечення

1. Лабораторний безперервний прокатний стан за схемою, наведеною на рис. 6.1, для спільної реалізації процесів ДНХВ-симетричної прокатки (СП) з клітьми ДНХВ 30/100-симетричної прокатки дуо-100, оснащений тензометричною апаратурою для вимірювання сил прокатки в клітях ДНХВ і СП і моменту прокатки в кліті СП.

2. Мікрометр, штангенциркуль.

3. Технологічне мастило на поверхні смуги з боку нерухомого валка кліті ДНХВ.

4. Зразки (3 шт) з міді та латуні товщиною 0,8...1,0 мм, шириною 10...20 мм, довжиною 1000...1200 мм. Стан зразків – відпалена.

Порядок проведення експерименту

На поверхню верхнього валка кліті СП наносять керни та вимірюють відстань l_b по дузі між ними. Визначають діаметри приводних валків D_b кліті СП та діаметри холостого D_x та нерухомого D_n валків кліті ДНХВ.

Попередньо протарувавши месдози клітей СП та ДНХВ та силувимірвальний шпindelь кліті СП, а також вимірявши вихідну товщину h_0 і ширину b_0 зразків здійснюють їх деформацію з вимірюванням сил прокатки в клітях і моменту прокатки в кліті СП (якщо вимір моменту здійснюють на одному валку, то загальний момент прокатки приймають вдвічі більше).

Деформацію зразків здійснюють у такому порядку.

Передній кінець стрічки пропускають через збільшений зазор у валках кліті ДНХВ і задав у кліті СП обтискання $\epsilon_{СП} \approx 20\%$ здійснюють захоплення стрічки. Потім встановлюють у кліті ДНХВ обтискання $\epsilon_{ДНХВ} \approx 15\%$ і включають привід кліті СП. Після входу деформованої в кліті ДНХВ ділянки стрічки

у валки кліті СП обтискання в кліті СП коригують до загального його значення $\epsilon_{\text{общ}} \approx 50 \dots 60 \%$ здійснюють прокатку стрічки, вимірюючи значення сил прокатки в клітях СП ($P_{\text{СП}}$) і ДНХВ ($P_{\text{ДНХВ}}$) та моменту прокатки в кліті СП ($M_{\text{СП}}$). Після виходу заднього кінця стрічки з кліті ДНХВ процес припиняють, розводять валки в клітях, витягують стрічку і вимірюють товщину стрічки після кліті ДНХВ ($h_{\text{ДНХВ}}$) і після кліті СП ($h_{\text{общ}}$), а також відстань l_1 між кернами після кліті СП.

Другий і третій зразки піддають деформації в тому ж порядку, встановлюючи обтискання в кліті ДНХВ $\epsilon_{\text{ДНХВ}} \approx 30 \%$ (для другого зразка) і $\epsilon_{\text{ДНХВ}} \approx 40 \%$ (для третього зразка), підтримуючи загальний обтиск стрічки $\epsilon_{\text{общ}} \approx 50 \dots 60 \%$.

Обробка результатів експерименту

Вихідні та кінцеві розміри зразків, відстані l_1 між відбитками кернів на стрічці, а також експериментальні значення сил $P_{\text{ДНХВ}}$ і $P_{\text{СП}}$ і моменту прокатки $M_{\text{СП}}$ для кожного зразка занести до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Досвідчені значення енергосилових параметрів та випередження у кліті симетричної прокатки при реалізації поєднаного процесу симетричної прокатки-ДНХВ ($R_B =$ мм; $R_x =$ мм; $R_H =$ мм, $l_B =$ мм; $b_0 =$ мм)

№ зразку	h_0 , мм	$h_{\text{ДНХВ}}$, мм	$\Delta h_{\text{ДНХВ}}$, мм	$\epsilon_{\text{ДНХВ}}$, %	$h_{\text{общ}}$, мм	$\Delta h_{\text{СП}}$, мм	$\epsilon_{\text{СП}}$, %	$\Delta h_{\text{общ}}$, мм	$\epsilon_{\text{общ}}$, %	l_1 , мм	$P_{\text{ДНХВ}}$, Н	$P_{\text{СП}}$, Н	$M_{\text{СП}}$, Н	l_1 , мм	$S_{\text{СП}}$, %
1															
2															
3															

За отриманими даними побудувати такі графічні залежності: $P_{\text{ДНХВ}} = f(\epsilon_{\text{ДНХВ}})$ $P_{\text{СП}} = f(\epsilon_{\text{ДНХВ}})$ при постійному значенні загального обтиснення $\epsilon_{\text{общ}}$, а також випередження $S_{\text{СП}}$ як $S_{\text{СП}} = f(\epsilon_{\text{ДНХВ}})$ і моменту $M_{\text{СП}} = f(\epsilon_{\text{ДНХВ}})$.

Проаналізувати одержані результати.

Контрольні питання

1. Вкажіть принципи поєднання прокатки з іншими процесами ЗМД.
2. Як реалізувати процес безперервної прокатки з великою кількістю осередків деформації ДНПВ (ДНХВ)?
3. Які переваги поєднання процесів симетричної прокатки та процесів ДНПВ (ДНХВ)?
4. Опишіть варіанти спільної реалізації процесів ДНГЗ (ДНХВ).
5. У чому полягають особливості та переваги процесів ДНХВ?
6. Які фактори впливають на величину випередження під час симетричної прокатки?

Література

1. Gupta N. K. Steel Rolling: Principle, Process & Application. CRC Press, 2021. – 527 p.
2. Дослідження процесів виготовлення плющеної стрічки та її використання для електроконтактного наплавлення: монографія / С. М. Грибкова, О.В. Бережна, Е.П. Грибков, В.Д. Кассов; Донбас. держ. машинобуд. акад. (ДДМА). - Краматорськ : ДДМА, 2018. - 161 с. - 978-966-379-850-9
3. Бережна О. В., Малигіна С. В., Грибков Е. П. Комп'ютерне моделювання та оптимальне проектування: навч. посіб. -Краматорськ:ДДМА,2020 .-132 с.-978-966-379-932-2
4. Бережна О. В., Малигіна С. В., Грибков Е. П. Системи автоматизованого проектування : навч. посіб. - Краматорськ:ДДМА,2020 .-96 с.-978-966-379-933-9
5. Основи автоматизованого проектування технологічного обладнання. Лабораторний практикум : посібник [для студентів технічних спеціальностей] / Е. П. Грибков. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 67 с. -978-617-7889-21-1
6. Mazur V. L., Nogovitsyn, O. V. Theory and Technology of Sheet Rolling: Numerical Analysis and Applications. CRC Press, 2018 – 494 p.
7. Zhao J., Jiang Z. (Eds.). Rolling of advanced high strength steels: theory, simulation and practice. CRC Press. 2017. - 644 p.
8. Vladimir B. Ginzburg. Metallurgical Design of Flat Rolled Steels. CRC Press. 2019. 726 p.
9. Іванченко Ф.К. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів / Ф.К. Іванченко, В.М.Гребеник, В.І.Ширяєв . – К.: Вища шк., 1995. – 455с
10. Ніколаєв В. О. Технологія виробництва сортового та листового прокату : підручник. Частина II / В. О. Ніколаєв, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2000. – 220 с.