

18

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

**ТЕОРІЯ ЗМАЩУВАННЯ ТА
ТЕХНОЛОГІЧНІ МАСТИЛА В ПРОЦЕСАХ ОМТ**

Методичні вказівки до лабораторного практикуму

*для студентів ЗДІА
спеціальності 7.090404 "ОМТ"
денної та заочної форм навчання*

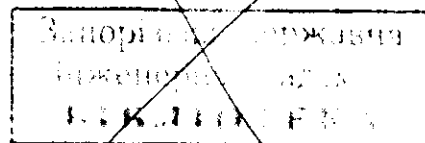
*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ОМТ
протокол № 1 від 06.09 2005р.*

12.11.09 Панченко ЗОЗТ

Теорія змащування та технологічні мастила в процесах ОМТ. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 "ОМТ" денної та заочної форм навчання /Укл.: М.Г.Прищип. – Запоріжжя, 2005- с.33

Укладач: *М.Г. Прищип, к.т.н., доцент*

Відповідальний за випуск: *зав кафедрою ОМТ*
д.т.н., проф. Серета Б.П.



ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ПРОКАТНИХ І ВОЛОЧИЛЬНИХ СТАНАХ.

1.Перед початком роботи необхідно підготувати прокатний стан, для чого звільнити проходи біля стану та його площадки від сторонніх речей; перевірити огороження муфт, шпindelів та інших обертових деталей; установити і настроїти проводкові столи і проводки.

2.Робота стану перевіряється холостим ходом, під час якого при необхідності готують валки до прокатки, протираючи та зачищаючи їхні бочки тільки з вихідної сторони стану.

3.Всі роботи, пов'язані з прокаткою, виконуються тільки за розпорядженнями викладача або іншої особи уповноваженої на проведення роботи.

4.Студенти – виконавці роботи, повинні бути одягнені в застібнену одягу і головні убори.

5.Включення і відключення стану проводити тільки за командою викладача. Перед натиском кнопки "пуск" необхідно переконатись, що працюючий стан нікому не буде загрожувати.

6.Під час прокатування короткі зразки (довжиною < 400мм) задавати руками у валки забороняється, їх підштовхують до валків дерев'яним брусом довжиною не менш 350мм. Металеві прутки в якості штовхача використовувати заборонено. Зразки довжиною > 400мм дозволяється задавати у валки руками, утримуючи їх однією рукою за бокові грані, але ні в якому разі за верхню і нижню грані. Останнє може привести до притиску руки і її травмування об нижній проводковий стіл. Після захоплення зразка валками руку або штовхач необхідно відвести.

7.Забороняється притискувати зразки до валків із зусиллям. За відсутності захоплення металу валками, щоб поліпшити умови захоплення, зменшують обтиск підняттям верхнього валка або розплющенням переднього кінця зразка молотком на ковалі.

8.При роботі зі зразками із свинцю необхідно пам'ятати, що свинець досить ядовитий метал і його не можна брати руками, якщо на них є відкриті подряпини і ранки. Після роботи зі свинцем необхідно ретельно вимити руки. За виконанням цих умов робота зі свинцем вважається безпечною.

9. По закінченню роботи інструменти і прокатаний метал необхідно здати керівникові, а стан знеструмити, відключивши рубильник і закрити валки решіткою.

10. При роботі на волочильних станах (установках) необхідно зону установки волок закривати решіткою для попередження травмування осколками металу при обриваннях прутків.

11. Сила волочіння при гідроприводі має збільшуватись поступово з невеликою швидкістю.

12. При обриві прутків або по закінченню протягування металу скрізь волоку необхідно перекрити клапан подачі робочої рідини в гідропривід, а потім зворотнім клапаном відвести рідину із гідроциліндру.

13. По закінченню роботи протягнутий метал та інструменти необхідно здати керівникові, а волочильний стан знеструмити.

14. Студенти, які не пройшли інструктаж і перевірку знань по правилам техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження ефективності технологічних мастил в процесі прокатки.

Мета роботи: дослідити ефективність технологічних мастил під час прокатки методом порівняння коефіцієнтів деформації.

Загальні відомості.

В процесах пластичної деформації на контакті поверхня інструмента – поверхня деформуємого металу (валок – штаба) виникають сили тертя. Без сил тертя неможливе захоплення металу валками. З іншої сторони в усталеній стадії прокатки з'являється надлишок сил тертя, що обумовлює додаткові затрати енергії для їх подолання. Під час холодної прокатки та волочіння металу сили тертя настільки значні, що їх зменшують за допомогою технологічних мастил, подаючи їх спеціально в осередок деформації. В теорії і практиці ОМТ технологічні мастила часто називають мастильно-охолоджуючими рідинами

(МОР). МОР не тільки зменшують сили тертя, але й відводять тепло від валків, охолоджуючи останні.

За походженням використовувані мастила поділяють:

- на природні: такі, як вода, нафта, рослинні мастила та жири тваринного утворення;

- штучно утворені: такі, як емульсії мінеральних масел, мінеральні масла, гідрогенізовані або полімеризовані рослинні масла, масляно-водяні суміші і т.п.

На практиці, окрім води і пальмового масла, використовують штучно утворені МОР.

Для визначення ефективності різних мастил в процесі прокатки скористаємось законом постійності об'єму металу до і після деформації, тобто

$$V_0 = V_1 = \text{const} \quad (1)$$

де V_0, V_1 – об'єми зразка відповідно до і після прокатки.

Позначимо відповідно до і після деформації розміри зразків: товщину H_0 і h_1 , ширину B_0 і b_1 та довжину L_0 і l_1 (малюнок 1 відповідно а і б).

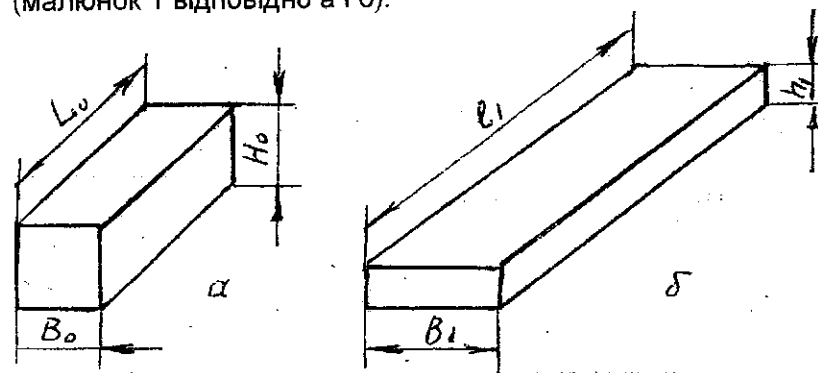


Рис. 1. Розміри паралелепіпеда до (а) та після (б) деформації.

Користуючись (1) запишемо:

$$H_0 \cdot B_0 \cdot L_0 = h_1 b_1 l_1 \quad (2)$$

Поділивши праву та ліву частини (2) на ліву частину отримаємо

$$\frac{H_0 B_0 L_0}{H_0 B_0 L_0} = \frac{h_1}{H_0} \cdot \frac{b_1}{B_0} \cdot \frac{l_1}{L_0} \quad (3)$$

Контрольні запитання.

1. На які види поділяють мастила за походженням?
2. Як визначити коефіцієнти деформації із умови (закону) постійності об'єму?
3. Як визначається коефіцієнт ефективності мастила в напрямках розширення (K_p) і витяжки металу (K_μ)?
4. Як визначити коефіцієнт ефективності мастила в напрямку висотної деформації K_h ?
5. Що таке узагальнений коефіцієнт ефективності мастила K_{ef} і як він розраховується?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження коефіцієнта тертя під час прокатки на сухих і змащених валках.

Мета роботи: дослідно-розрахунковим методом визначити коефіцієнт тертя в усталеній стадії прокатки без мастила та з різними мастилами.

Загальні відомості.

В теорії прокатки і тертя в процесах ОМТ для розрахунків сил та коефіцієнтів тертя використовують закон тертя Амонтона:

$$T = fP \quad (10)$$

де T – сила тертя;

f – коефіцієнт тертя;

P – сила нормального тиску поміж металом і валками.

Схема дії цих сил в осередку деформації для усталеної стадії прокатки приведена на мал.2 (тільки для верхнього валка); де N_y – сила нормального тиску зі сторони валка на штабу; T_y – сила тертя поміж валком та металом; N_{xy} і T_{xy} – горизонтальні проекції на ось x - x нормальної та фактичної сил.

Під час прокатки клинових зразків (мал.3) за максимально можливого обтиску $\Delta h_{\max}$ метал буксує поміж валками, що відповідає умові рівноваги горизонтальних складових (проекцій) сил нормального тиску і тертя в осередку деформації, яка для двох валків має вигляд:

$$\sum \bar{\chi} = 2T_{xy} - 2N_{xy} = 0 \quad (11)$$

або

$$2T_{xy} = 2N_{xy} \quad (12)$$

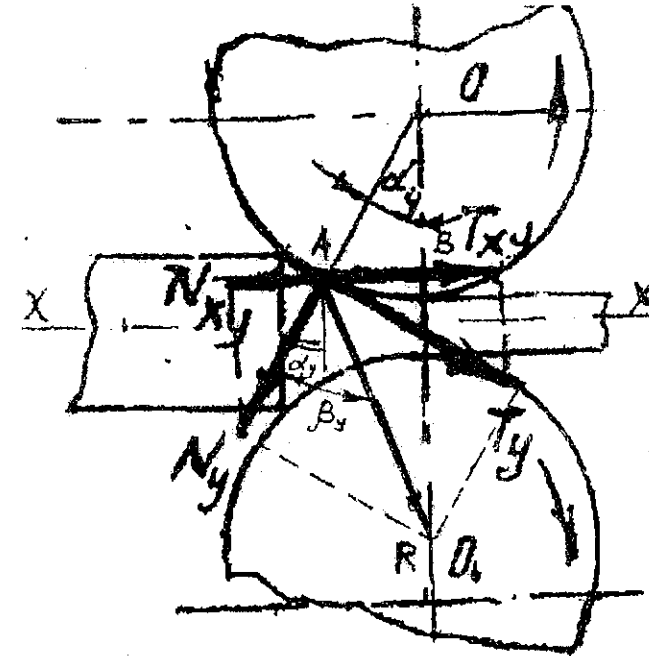


Рис. 2. Схема дії зовнішніх сил в осередку деформації під час усталеної стадії прокатки (β_y – кут тертя, α_y – кут захоплення).

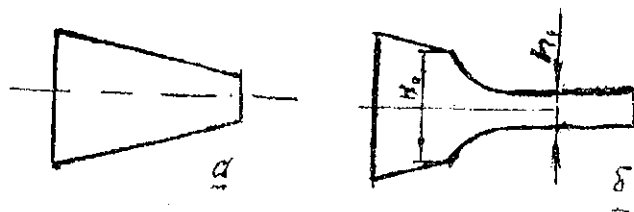


Рис. 3. Клиновий зразок до (а) і опісля (б) прокатки.

Із геометричних співвідношень мал.2 можемо записати, що:

$$N_{xy} = N_y \sin \alpha_y \quad (13)$$

$$T_{xy} = T_y \cos \alpha_y \quad (14)$$

Підставивши значення N_{xy} із (13), T_{xy} із (14) та скориставшись значенням сили T по (10), отримаємо:

$$2N_y \cdot f_y \cos \alpha_y = 2N_y \sin \alpha_y \quad (15)$$

звідки:

$$f_y = \frac{\sin \alpha_y}{\cos \alpha_y} \quad (16)$$

Кут захоплення металу валками визначимо із прямокутного трикутника AOB :

$$\cos \alpha_y = \frac{OB}{OA} = \frac{R - \frac{\Delta h}{2}}{R} = 1 - \frac{\Delta h}{2R} \quad (17)$$

Розклавши $\cos \alpha_y$ в ряд, отримують:

$$\cos \alpha_y = 1 - \frac{\alpha_y^2}{2!} + \frac{\alpha_y^4}{4!} - \frac{\alpha_y^6}{6!} + \dots \quad (18)$$

Взявши до уваги тільки два перших члени правої частини і знехтувавши за малістю іншими членами (18), запишемо:

$$\cos \alpha_y = 1 - \frac{\alpha_y^2}{2} \quad (19)$$

Прирівнявши праві частини (17) і (19), матимемо:

$$1 - \frac{\Delta h}{2R} = 1 - \frac{\alpha_y^2}{2} \quad (20)$$

звідси отримуємо просту і зручну формулу для визначення α_y :

$$\alpha_y = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \text{ рад} \quad (21)$$

де R – радіус валків

$$\text{або.} \quad \alpha_y = 57,3 \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}, \text{ град} \quad (22)$$

Порядок проведення роботи.

Робота виконується на двовалковому стані з діаметром валків $D=200\text{мм}$.

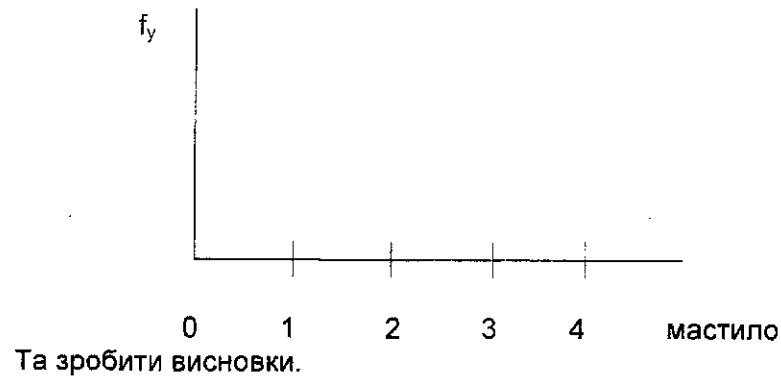
Клинові зразки (а) на мал.3 прокатують з великим максимально можливим обтиском $\Delta h_{\max}$: перший зразок – на сухих валках, другий та третій – з різними мастилами. Прокатка кожного зразка проводиться до настання пробуксовки металу в валках, після чого стан зупиняють, виймають зразок із валків і замірюють товщину зразка до - H_0 і опісля прокатки - h_1 . Місця замірів показані на мал.3б.

Результати замірів та розрахунків заносять до табл.2.

Таблиця 2. Параметри прокатки клинових зразків на сухих та змащених валках.

№№ дослідів	Масило	Товщина зразків, мм		Обтиск Δh , мм	α_y		f_y
		H_0	h_1		рад.	град.	
1							
2							
3							

Користуючись даними табл.2 збудувати графік:



Контрольні запитання.

1. За яких умов настає рівновага зовнішніх сил в осередку деформації?
2. Ескізно показати схему дії зовнішніх сил під час прокатки.
3. Які сили втягують метал у валки, а які - відштовхують штабу?
4. Чому дорівнює коефіцієнт тертя f_y ?
5. Записати умову рівноваги сил під час буксування металу в валках.
6. Чому дорівнює кут захоплення металу валками α_y ?
7. Як залежить коефіцієнт тертя від умов тертя в осередку деформації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Експериментальне дослідження та визначення коефіцієнта тертя по випередженню металу.

Мета роботи: дослідити та визначити коефіцієнт тертя по експериментальним значенням випередження металу.

Загальні відомості.

Метод випередження – один із найбільш простих, доволі точних і надійних способів експериментального визначення коефіцієнта тертя в усталеній стадії прокатки. Для цього зразки металу прокатують в валках з керованими позначками, відстань між якими дорівнює L_b (мап.4).

За рахунок випередження металу відстань між відбитками позначок на прокатаному зразкові буде дорівнювати L_{Me} .

Вимірявши відстані L_{Me} і L_b визначають випередження металу S :

$$S = \frac{L_{Me} - L_b}{L_b} \quad (23)$$

В теорії прокатки випередження за відсутності або при незначній величині розширення металу визначають по спрощеній формулі Фінка-Дрездена:

$$S = \frac{R \gamma^2}{h_1} \quad (24)$$

звідки:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Sh_1}{R}} \quad (25)$$

де γ – кут критичного перерізу;

h_1 – товщина зразка (штаби) після прокатки;

R – радіус валків.

Коефіцієнт тертя f за відомого кута γ визначають із співвідношення кутів захоплення α , тертя – β та критичного – γ по формулі Екелунда-Павлова:

$$f = \frac{\psi \alpha}{1 - \frac{2\gamma}{\alpha}} \quad (26)$$

де ψ – коефіцієнт положення рівнодійної сил в осередку деформації.

Цей метод дійсний для визначення коефіцієнта тертя, коли під час прокатки $l/h_{cp} = 3 \dots 4$ і $b_{cp}/l = 4 \dots 5$. В цих випадках умови деформації металу в валках близькі до рівномірних і

виконується гіпотеза плоских перерізів І.М. Павлова (швидкості плину металa в окремому поперечно-вертикальному перерізі осередку деформації однакові).

Середні товщина h_{cp} і ширина b_{cp} металу в осередку деформації визначаються із мал.4:

$$h_{cp} = \frac{H_0 + h_1}{2} \quad (27)$$

$$b_{cp} = \frac{B_0 + b_1}{2} \quad (28)$$

де H_0 і B_0 – відповідно товщина і ширина зразка до прокатки;
 h_1 і b_1 – ті ж розміри після прокатки.

Довжину осередку деформації l визначають із прямокутного трикутника АОД (мал.4).

$$\begin{aligned} l^2 = AD^2 &= AO^2 - OD^2 = R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2 = \\ &= R^2 - R^2 + 2R \frac{\Delta h}{2} - \frac{\Delta h^2}{4} \end{aligned} \quad (29)$$

Після спрощення отримуємо:

$$l^2 = R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4} \quad (30)$$

Знехтувавши малою величиною $\frac{\Delta h^2}{4}$, в кінцевому вигляді
 будемо мати:

$$l = \sqrt{R\Delta h} \quad (31)$$

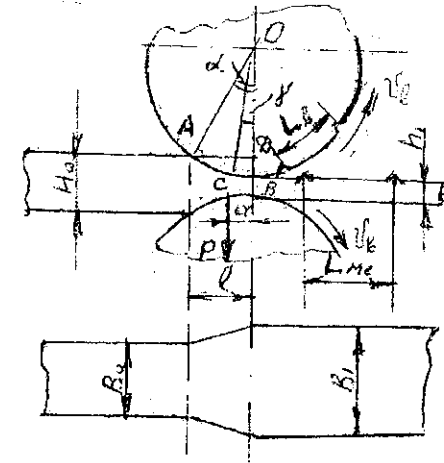


Рис. 4. До визначення коефіцієнта тертя за випередженням металу: (Р – рівнодійна; a – плече рівнодійної; $\psi \approx a/l$ – коефіцієнт плеча).

За відомих величин l і h_{cp} визначають їх відношення, тобто h_{cp} , і користуючись графіком на мал.5, знаходять ψ і по формулі (26) – f . Кут захоплення α визначають за формулою (21) із роботи 2, тобто

$$\alpha = \sqrt{\Delta h / R}$$

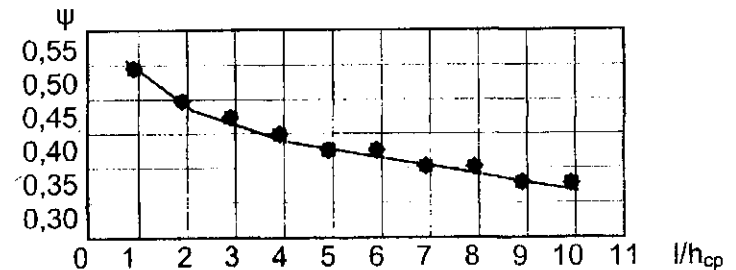


Рис. 5. Залежність коефіцієнта плеча моментa ψ від параметра l/h_{cp} .

Порядок виконання роботи.

Роботу виконують на стані з діаметром валків $D=200\text{мм}$. На верхньому валкові попередньо наносяться кернові позначки з відстанню поміж ними $L_b=100\text{мм}$.

Три свинцеві зразки товщиною $H_0=4\text{-}5\text{мм}$ прокатують на сухих, змащених водою і мінеральним маслом валках (можна змащувати зразки металу).

До і після прокатки вимірюють товщину і ширину зразків, та відстань поміж відбитками кернових позначок на зразках, тобто H_0 , B_0 , h_1 , b_1 та L_{Me} . Результати вимірів та розрахунків заносять до табл. 3.

Таблиця 3. Дослідні значення коефіцієнта тертя f та інших параметрів прокатки.

№№ дос-ліду	Масило	Розміри зразків, мм				Розміри поміж позначками, мм		Показники прокатки									
		до про-катки		після прокатки				h _{ср} , мм	b _{ср} , мм	L, мм	α рад	S	γ	f	Ψ		
		H ₀	B ₀	h ₁	b ₁												
						L _в	L _{Ме}										
1	Вазолін	4	100	3.5	95	100	100										
2	Вазолін	4	100	3.5	95	100	100										
3	Вазолін	4	100	3.5	95	100	100										

За отриманими результатами будуються графіки S , γ , $f=F(\text{мастила})$ та $f=F(\Psi)$.

По графікам зробити висновки по ефективності мастил та визначити ступінь залежності коефіцієнта тертя від положення рівнодійної в осередку деформації.

Контрольні запитання.

1. Пояснити сутність визначення випередження металу керновим методом.

2. По якій теоретичній формулі визначаються випередження S та критичний кут γ ?

3. Що таке коефіцієнт положення рівнодійної сили в осередку деформації?

4. Які параметри осередку деформації необхідно знати для визначення коефіцієнта тертя за випередженням металу?

5. Як отримати теоретичну формулу для визначення довжини осередку деформації?

6. Чим пояснюється залежність коефіцієнта тертя від природи та ефективності технологічного мастила?

7. Чи залежить коефіцієнт тертя від величини коефіцієнта плеча моменту?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження коефіцієнта тертя методом гальмування штаби в валках.

Мета роботи: визначити коефіцієнти тертя методом гальмування під час прокатки штаб з різними технологічними мастилами.

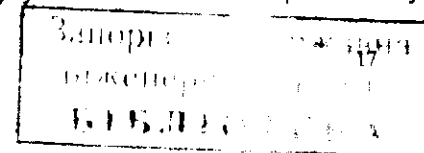
Загальні відомості.

Метод експериментального визначення середнього коефіцієнта тертя гальмуванням штаби в валках був запропонований І.М. Павловим і широко застосовується для визначення ефективності технологічних мастил під час усталеної прокатки.

За цього методу кліть 1 обладнують месдозами 2 для виміру вертикальної сили P і месдозою 3 для виміру горизонтальної сили затягування металу в валки T_x , яка дорівнює прямо вимірюваній силі T_1 . Для цього месдоза 3 вмонтована в обценковий утримувач заднього кінця штаби 4.

Схема установки наведена на мал.6.

Обценковий утримувач має вмонтований пружинний демпфер 4 для поступового гальмування штаби в валках, чим запобігається динамічний перехід від прокатки до буксування металу у валках. Навіть при такім устрої утримувача повністю



відвернути та усунути динаміку процесу гальмування не вдається, але зменшити її вплив стає можливим, що видно із осцилограм запису сил P і T_1 (мал.7).

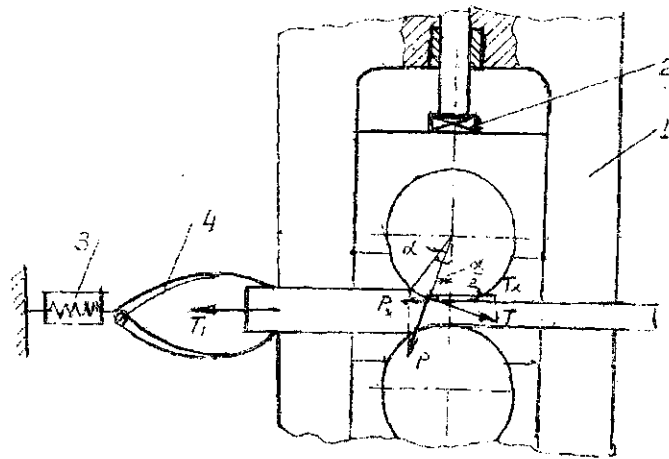


Рис. 6. До визначення коефіцієнта тертя методом гальмування штаби в валках (позначення в тексті).

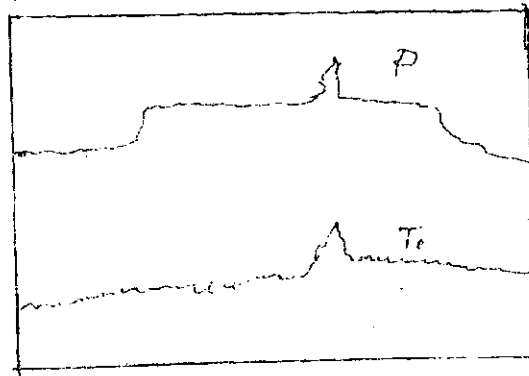


Рис. 7. Осцилограма сил із гальмуванням штаби в валках.

Користуючись схемою дії зовнішніх сил, прикладених до штаби, із мал.6 складають рівняння врівноважених сил, тобто їх суму на ось $x-x$. Рівновага сил настає в момент буксування металу в валках:

$$\sum \bar{x} = 2P_x - 2T_x - T_1 = 0 \quad (32)$$

де P_x – горизонтальна проекція сили P ;

T_x – горизонтальна проекція сили T .

В теорії прокатки доказано, що сили P і T при усталеній стадії прикладені по середині дуги захоплення металу валками, тобто під кутом $\alpha/2$. В цьому випадку:

$$P_x = P \sin \frac{\alpha}{2} \quad (33)$$

$$T_x = T \cos \frac{\alpha}{2} \quad (33a)$$

де сила T відповідно закону Амонтона дорівнює:

$$T = fP \quad (34)$$

Підставивши значення сил із (34) і (33) в (32), отримують:

$$2P \sin \frac{\alpha}{2} - 2fP \cos \frac{\alpha}{2} - T_1 = 0 \quad (35)$$

звідки:

$$f = \frac{T_1}{2P \cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{2P \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (36)$$

Після скорочень і перетворювань матимемо:

$$f = \frac{T_1}{2P \cos \frac{\alpha}{2}} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (37)$$

приймавши до уваги, що $\cos \frac{\alpha}{2} \approx 1$, в кінцевому вигляді коефіцієнт тертя f визначають по формулі:

$$f = \frac{T_1}{2P} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (38)$$

де кут захоплення металу валками α визначають по (21) із роботи №2

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

Сили P і T_1 вимірюються месдозами.

Порядок виконання роботи.

Роботу виконують на стані з діаметром валків $D_v = \dots$ (вказати діаметр валків).

До виконання роботи необхідно скласти та випробувати схему виміру сил прокатки P і гальмування штаби T_1 .

Попередньо також необхідно отримати графіки для кожної із месдоз.

Прокатують зразки алюмінію однакових розмірів при постійному значенні величини розхилу поміж валками.

Прокатку проводять на сухих валках та з декількома технологічними мастилами (по 1 зразку з кожним мастилом).

До і після прокатки вимірюють товщину зразків H_0 і h_1 та визначають параметри прокатки $\Delta h, \varepsilon, \alpha$ і коефіцієнт тертя по формулі (38).

Результати замірів та обчислень заносять до таблиці 4.

Таблиця 4. Дослідні значення коефіцієнта тертя f , визначеного методом гальмування.

Мастило	Товщина, мм		Обтиск		Сили, Н		α	f
	H_0	h_1	Δh	ε	P	T_1		
Сухі валки								
Мастило 1								
...								
Мастило ()								

По результатам дослідів і розрахунків збудувати графіки P, ε, f = функція мастила та зробити висновки по роботі.

Контрольні запитання.

1. Пояснити сутність методу гальмування штаби в валках для визначення коефіцієнта тертя.

2. Яким чином вимірюється вертикальна сила P , діюча в осередку деформації?

3. Записати умову рівноваги горизонтальних сил P_x, T_x і T_i , діючих в осередку деформації під час гальмування та пробуксовки металу в валках.

4. Як визначаються горизонтальні складові сил, діючих в осередку деформації, тобто P_x і T_x ?

5. Чому дорівнює коефіцієнт тертя f під час гальмування металу (зразка)?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5.

Дослідження впливу технологічних факторів гарячої прокатки на тертя.

Мета роботи: дослідити залежність показника та коефіцієнта тертя від температури прокатуваного металу.

Загальні відомості.

В процесах гарячої прокатки, як показали спеціальні дослідження, показники тертя залежать від температури металу та його хімічного складу, від товщини шару та хімічного складу окалини, від твердості та матеріалу валків, швидкості прокатки та інших параметрів.

Відомі значення показника тертя f_n і коефіцієнта тертя f дозволяють розробляти режими обтисків та калібровки валків, які забезпечують надійне захоплення металу валками та прокатку штаб без пробуксовок і перевантажень обладнання по міцності і потужності електропроводів.

З цією метою на промислових станах вимірюють зусилля прокатки, для чого на станині кліті установлюють тензометри або месدوزи, а деколи і те й інше (мал. 8).

Безпосередньо силу прокатки можна виміряти гідравлічними месдозами, але вони мають велике запізнення (інерційність), а точність виміру визначається точністю манометра, яка для експериментальних досліджень недостатня. На промислових станах месдоза безпосередньо вимірює силу $P/2$, діючу на натискний гвинт. Цей спосіб вимірювання є прямим, тому що датчик, перетворюючий пружну деформацію месدوزи від дії сили $P/2$ на електричний сигнал, виконаний так, щоб уся

вимірювана сила була замкнена саме на датчик. Перетворення пружної деформації датчика в електричний сигнал можливо здійснити двома шляхами. По-перше, це методи, що ґрунтуються на вимірюванні деформації на запрограмованій довжині навантажуваного елемента l . З цією метою на поверхні пружних елементів закріплюють перетворювачі деформації в електричний сигнал, наприклад, тензорезисторні перетворювачі.

По-друге, це методи, що ґрунтуються на змінюванні тих чи інших властивостей навантажуваного елемента: наприклад, до них відносяться магнітопружні та магнітоанізотронні перетворювачі, а також тензорезистори у випадку безпосередньої дії на них сили. Усі різновиди таких перетворювачів найчастіше розташовують поміж подушками верхнього валка і натискними гвинтами.

Відповідно до закону Гука пружна деформація елемента пропорційна діючій на нього силі. Очевидно, що за величиною деформації можливо визначити силу. Використовуючи цю залежність непрямым методом визначають силу прокатування за допомогою тензометрів, які розміщують на нейтральній лінії стояка станини кліті. Під час прокатування стояк по нейтральній смузі тільки розтягується, збільшуючи базову відстань l на величину пружної деформації. Відповідно до закону Гука сила розтягування стояка буде визначатись рівнянням:

$$P_y = \frac{P_y}{2} = \frac{\Delta l}{EF} \quad (40)$$

де P_y – сила, діюча на натискний гвинт;

F – площа перерізу стояка;

E – модуль пружності матеріалу станини (для чавуну $E = (1,2 - 1,6) \cdot 10^5 \text{ МПа}$; для литої вуглецевої сталі $E = 2,0 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; для кованої або штампованої легированої сталі $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$).

Знаючи, що $P_y = P/2$, сила прокатування P буде дорівнювати:

$$P = 4EF \frac{\Delta l}{l} \quad (41)$$

Теоретично сила прокатки P дорівнює:

$$P = p_{cp} \cdot F_k \quad (42)$$

де F_k – площа контакту металу з валками в осередку деформації;

p_{cp} – питомий середній тиск металу на валки.

$$F_k = \varepsilon_{cp} \cdot l = \frac{B_0 + \varepsilon_1}{2} \sqrt{\Delta h R} \quad (43)$$

де ε_{cp} – середня ширина штаби в осередку деформації;

l – довжина осередку деформації;

B_0 і ε_1 – відповідно ширина штаби до і після прокатки;

Δh – абсолютний обтиск;

R – радіус валків.

Таким чином, вимірявши силу P , із (42) маємо:

$$p_{cp} = \frac{P}{F_k} \quad (44)$$

Підставивши F_k із (43) в (44), отримуємо формулу для експериментального визначення p_{cp} :

$$p_{cp} = \frac{2P}{(B_0 + \varepsilon_1) \sqrt{\Delta h R}} \quad (45)$$

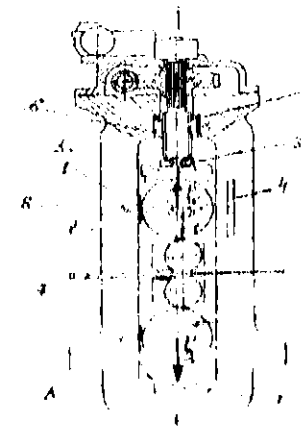


Рис. 8. Схема установки силовимірювальних приладів на кліті кварто (на клітях дуо розташування месдоз аналогічно): 1

станина; 2-натискний гвинт; 3-месдоза; 4-тензометр; 5-подушки опорних валків; 6-гайка натискного механізму; 7-робочі валки; 8-опорні валки.

За відомої величини p_{cp} показник тертя f_n можна визначити, користавшись для умов тонколистової прокатки формулою В.О.Ніколаєва [1]:

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T (1 + 0,48f_n \frac{l}{h_{cp}}) \quad (46)$$

Вирішимо (46) відносно f_n :

$$p_{cp} = 1,15\sigma_T + 0,55f_n \sigma_T \frac{l}{h_{cp}} \quad (47)$$

$$p_{cp} - 1,15\sigma_T = 0,55f_n \sigma_T \frac{l}{h_{cp}} \quad (48)$$

Звідки матимемо:

$$f_n = \frac{p_{cp} - 1,15\sigma_T}{0,55\sigma_T \frac{l}{h_{cp}}} \quad (49)$$

В кінцевому вигляді формула для визначення показника тертя матиме вигляд:

$$f_n = \frac{h_{cp}(p_{cp} - 1,15\sigma_T)}{0,55\sigma_T l} \quad (50)$$

де середня товщина штаби в осередку деформації дорівнює: $h_{cp} = (H_0 + h_1)/2$; довжина осередку деформації $l = \sqrt{\Delta h R}$; σ_T – границя текучості металу при тій чи іншій температурі прокатки.

Автор визначив границі плинності металів, сталей і сплавів в умовах гарячих випробувань зразків на розтягування [2], результати яких для технічно чистого алюмінію та маловуглецевої конструкційної сталі наведені на мал. 9 і 10.

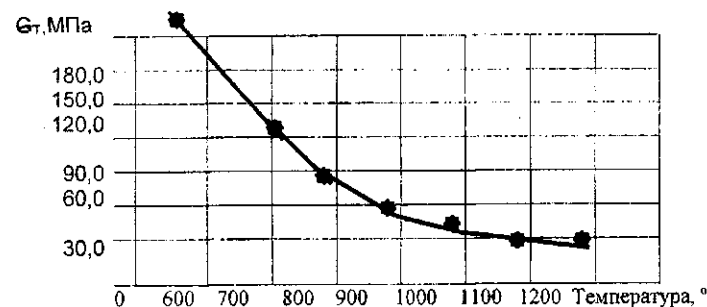


Рис. 9. Залежність границі плинності G_T мало вуглецевої сталі 08 від температури гарячих випробувань при розтягуванні зразків в печі [2].

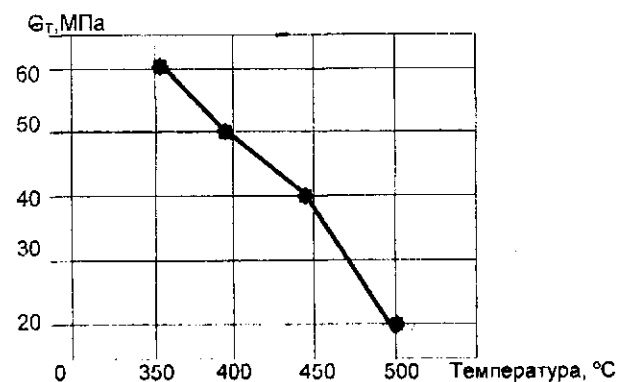


Рис. 10. Залежність границі плинності G_T технічно чистого алюмінію від температури гарячих випробувань при розтягуванні зразків в печі [2].

Коефіцієнт тертя визначаємо, користуючись виразом [3]:

$$f_n = 1,6f + 0,018 \quad (51)$$

Звідки:

$$f = \frac{f_n - 0,018}{1,6} \quad (52)$$

Порядок виконання роботи.

Роботу виконують на прокатному стані з діаметром валків $D_v = \dots$ (вказується діаметр валків), обладнаного месдозами для заміру сили прокатки P .

Попередньо в печі нагрівають зразки, у яких заміряні розміри поперечного розміру: ширина B_0 та товщина H_0 . Нагрів проводиться до температури 1100°C для зразків із маловуглецевої сталі або 500°C для зразків із технічно чистого алюмінію.

Прокатку розпочинають із максимальної температури металу (зразок 1). Зразки 2 і 3 охолоджуються разом із піччю і прокатуються при температурах T_2 (середня); T_3 (мінімальна температура для сталі $700-800^\circ\text{C}$, для алюмінію – $300-350^\circ\text{C}$). Під час прокатки записують осцилограми сили прокатки P з подальшою їх розшифровкою.

Після охолодження вимірюють товщину h_1 і ширину b_1 прокатаних зразків.

По формулам (45) і (50) розраховують середній питомий тиск p_{cp} і показник тертя f_n . При цьому величину границі плинності G_T визначають на мал.9 або 10. Коефіцієнт тертя визначають по виразу (52).

Дослідні і розрахункові дані заносять до табл.5.

Таблиця 5. Дослідні і розрахункові дані по визначенню коефіцієнта тертя під час гарячої прокатки.

№№ дослідів	T, °C	H ₀ , мм	B ₀ , мм	h ₁ , мм	b ₁ , мм	h, мм	F _k , мм ²	r, мм	b _{cp} , мм	R, мм	p _{cp} , МПа	G _T , мм	f _n	f

По результатам дослідів та розрахунків збудувати графіки p_{cp} і G_T – функція температури та f_n і f – функція температури та зробити висновки.

Контрольні запитання.

1. За якою методикою вимірюється сила прокатки P по деформації стояка станини? Написати та пояснити формулу.
2. Сутність прямого виміру сили прокатки P .
3. Як визначити середній тиск p_{cp} в осередку деформації?
4. Що таке показник тертя?
5. Як визначається коефіцієнт тертя за відомого показника тертя?
6. Яка залежність границі плинності від температури металу?
7. Як змінюється коефіцієнт тертя в залежності від температури металу під час прокатки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Дослідження умов змащування і тертя під час волочіння металу.

Мета роботи: дослідити вплив різних мастил на величини сили волочіння і коефіцієнт тертя.

Загальні відомості.

Волочіння металу виконується тільки за умови змащування металу перед його деформацією.

Дріт малих діаметрів $d < 1,0 \text{ мм}$ протягується через волокни з використанням рідких мастил (мокре волочіння), дріт більших діаметрів із $d > 1,0 \text{ мм}$ деформуються з використанням твердого мастила, найчастіше це порошок натрієвого мила.

В роботі [3] приведені декілька методів експериментального визначення коефіцієнта тертя під час волочіння дроту. Методи обертової волокни Г. Закса і розрізної волокни (метод О.О. Динника) складні за виконанням.

Доволі точною і простою є формула Зібеля [3], за якою коефіцієнт тертя f дорівнює:

$$f = \left(\frac{G_{\text{вл}}}{G_1} - 0,67 \alpha - 1 \right) \alpha \quad (53)$$

де $G_{\text{вл}}$ – напруга волочіння, МПа;

σ_T – середня границя текучості металу під час волочіння, Мпа;

α – напівкут вхідного (робочого конусного) каналу волоки (мал.11);

ε – відносний обтиск.

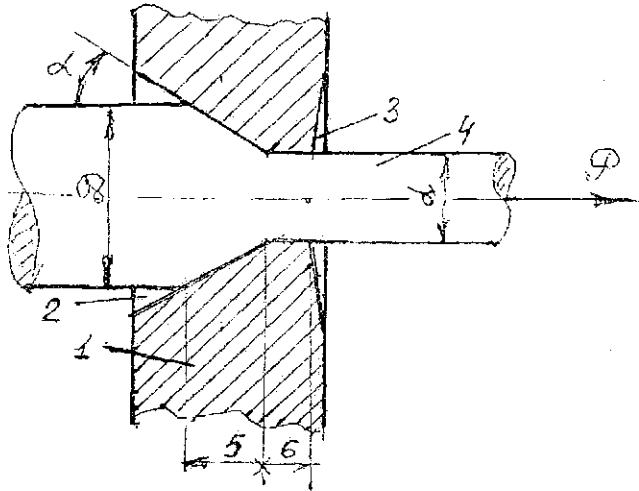


Рис. 11. Схема процесу волочіння: 1-волока; 2-вхідна розпушка; 3-вихідна розпушка; 4-протягнутий дріт; 5-робоча конусна частина каналу волоки; 6-калібруючий (циліндричний) пояс каналу волоки.

Напруга волочіння дорівнює:

$$\sigma_{вол} = P/F = 4P/\pi d^2 \quad (54)$$

де d – діаметр дроту після волочіння.

Напівкут α вимірюється на зразкові дроту, протягнутого частково після зняття волоки.

Відносний обтиск визначається для волочіння так:

$$\varepsilon = \Delta F/F_0 = (F_0 - F_1)/F_0 \quad (55)$$

де F_0 і F_1 – площа поперечного перерізу дроту відповідно до і після волочіння, тобто, користуючись мал.11, запишемо:

$$F_0 = \pi D^2/4; F_1 = \pi d^2/4; \Delta F = (\pi D^2/4) - (\pi d^2/4) = \pi/4(D^2 - d^2).$$

Таким чином, користуючись вищенаведеними виразами і (55), отримаємо:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) / \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{4}{\pi D^2}$$

Після скорочень в кінцевому вигляді матимемо:

$$\varepsilon = 1 - \frac{d^2}{D^2} \quad (56)$$

Середню границю текучості G , можна визначити за формулами А.В. Третьякова [4]:

$$\sigma_T = \sigma_{T_0} + 0,67(\sigma_{T_1} - \sigma_{T_0}) \quad (57)$$

де σ_{T_0} – границя плинності металу до волочіння;

σ_{T_1} – те ж саме після волочіння.

При цьому σ_{T_1} також визначається по Третьякову за формулами такого вигляду [4]:

$$\sigma_{T_1} = \sigma_{T_0} + a\varepsilon^b \quad (58)$$

де a і b – чисельні коефіцієнти різні для різних сталей.

Автор пропонує користуватись простішим методом, користуючись експериментальними даними (графіками) $\sigma_T = f(\varepsilon)$. [5].

На мал.12 приведені дані автора для деяких сталей. За цього методу середня границя плинності G , дорівнюватиме:

$$\sigma_T = (\sigma_{T_0} + \sigma_{T_1})/2 \quad (59)$$

де σ_{T_0} – границя плинності металу до волочіння;

σ_{T_1} – те ж саме після деформації волочіння з відносним обтиском ε .

Границя плинності
 σ_T , МПа

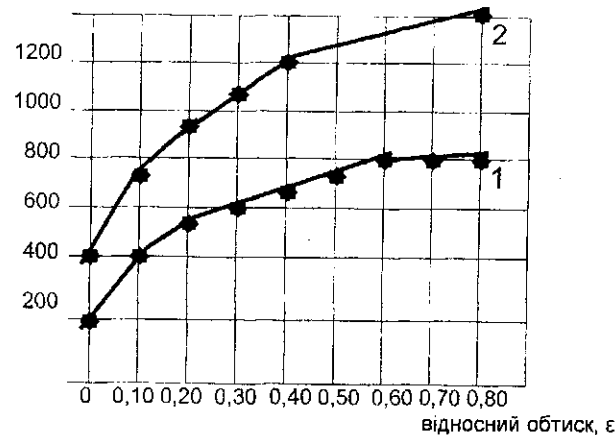


Рис. 12. Залежність границі плинності від відносного обтиску: 1-маловуглецевої сталі (БСт0, БСт1, 08, Ст1ПС, Ст2ПС); 2-нержавіючі сталі типу 12Х18Н10Т. [5].

Порядок проведення роботи.

Робота виконується на розривній машині шляхом протягування дроту через нерухомо закріплену волоку. Зразки із дроту маловуглецевої сталі попередньо загострюються, вільно пропускаються через волоку і закріплюються в рухомій траверсі розривної машини. Перший зразок без мастила протягується частково і на ньому по відпечатку вимірюється напівкут α . Далі з фіксацією сили волочіння P по силовімірювачу проводять волочіння сухого і змащеного водою, мінеральним маслом та натрієвим милом зразків. До і після волочіння вимірюють діаметри зразків. Необхідно, щоб діаметр дроту до волочіння D був однаковим. Дріт має бути гарячекатаним і протравленим.

Результати замірів D , d і P (див. мал.11) заносять до табл.6. По дослідним даним за виразами наведеними вище розраховують F_0 , F_1 , ϵ , $\sigma_{вл}$, σ_T по (57) або по (59) з використанням мал.12 і f по (53). Результати розрахунків також заносять до табл.6.

Таблиця 6. Дослідні і розрахункові дані по визначенню коефіцієнта тертя під час волочіння.

Мастило	Розміри зразків				Обтиск ϵ	σ_T , МПа	α , рад	P , Н	$\sigma_{вл}$, МПа	f
	D , мм	d , мм	F_0 , мм ²	F_1 , мм ²						
без мастила										
вода										
масло										
мило										

По результатам табл.6 збудувати графіки P , $\sigma_{вл}$, f =функція мастила і зробити висновки по роботі.

Контрольні запитання.

- 1.Які і яким чином основні параметри волочіння впливають на силу волочіння?
- 2.Від яких параметрів залежить величина напруги волочіння $\sigma_{вл}$?
- 3.Чи залежить і як коефіцієнт тертя від відносного обтиску під час волочіння?
- 4.Що таке напівкут вхідного каналу волоки і чи впливає його величина на коефіцієнт тертя?
- 5.Як визначити середню границю плинності металу в осередку деформації при волочінні дроту?
- 6.Написати та пояснити формулу для розрахунку відносного обтиску при волочінні дроту.
- 7.Як впливає технологічне мастило на коефіцієнт тертя при волочінні металу?

Список літератури.

1. Николаев В.А. Трение и технологические смазки при прокатке. - Запорожье, издательство ЗГИА, 2002, - 114с.
2. Прищип М.Г. Механічна обробка та зварювання металів. – Навч. посібник для студентів ЗДІА. – Запоріжжя, ЗДІА, 2003, - 124с.
3. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справочник. – М: «Металлургия», 1982, - 312с.
4. Теория прокатки. Справочник. А.И. Целиков, А.Д. Томлёнов, В.И. Зюзин и др. – М: «Металлургия», 1982, - 335с.
5. Ксензук Ф.А., Прищип Н.И., Троценков Н.А. Вальцовщик станов холодной прокатки. – М: «Металлургия», 1969, - 256с.