

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут
Запорізького національного університету

В. М. Проценко

ОБТИСКНЕ ТА СОРТОВЕ ВИРОБНИЦТВО

Методичні вказівки до лабораторних робіт
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності 136 "Металургія"
освітньо-професійної програми "Металургія"

Затверджено
вченою радою ЗНУ
протокол № 12 від 23.06.2020

Запоріжжя
2020

УДК 621.771

П 845

Проценко В. М. Обтискне та сортове виробництво : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 51 с.

У виданні подано зміст лабораторних робіт відповідно до дисципліни «Обтискне та сортове виробництво». Кожна лабораторна робота включає теоретичну частину, яка базується на лекційному матеріалі і може бути пов'язана з іншими завданнями дисципліни. Лабораторні заняття дозволять активізувати пізнавальну діяльність студентів проявити ініціативу і винахідливість та міцніше засвоїти програмний матеріал.

Для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 "Металургія" освітньо-професійної програми "Металургія".

Рецензент

О. Г. Кириченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри металургії.

Відповідальний за випуск

О. В. Явтушенко, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри обробки металів тиском.

ЗМІСТ

Вступ	
Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт	4
Лабораторна робота № 1. Визначення співвідношення між максимальним кутом захвату і максимальним кутом торкання	6
Лабораторна робота № 2. Дослідження розширення при прокатуванні	11
Лабораторна робота № 3. Дослідження процесу плющення	17
Лабораторна робота № 4. Прокатування в подовжньому і в поперечному напрямках	20
Лабораторна робота № 5. Калібрування і прокатування квадратної заготовки в системі діагональних калібрів	22
Лабораторна робота № 6. Визначення параметрів деформації металу за темплетами розкату	35
Лабораторна робота № 7. Валки і валкова арматура	42
Рекомендована література	49

ВСТУП

«Обтискне та сортове виробництво» – прикладна інженерна дисципліна, яка визначає загальні основи технології процесів прокатки сортових профілів.

Мета викладання дисципліни «Обтискне та сортове виробництво» – навчити студентів знаходити оптимальні варіанти технологічного процесу виробництва заготівель і сортових профілів, проводити розрахунки параметрів прокатки, засвоїти галузі застосування та шляхи вдосконалення виробництва продукції за рахунок розробки технології прокатного виробництва.

Завданням виконання лабораторних робіт є оволодіння знаннями з технології виробництва сортового прокату та заготівель, методами розрахунку раціонального режиму прокатки, визначення оптимальних схем прокатування. Програмою дисципліни передбачено 7 лабораторних робіт. Кожна лабораторна робота включає теоретичну частину, яка базується на лекційному матеріалі і може бути пов'язана з іншими завданнями дисципліни. Лабораторні заняття дозволяють активізувати пізнавальну діяльність студентів, проявити ініціативу і винахідливість та міцніше засвоїти програмний матеріал. Вони дають можливість ознайомитися з найновішими установками і приладами, обладнанням і матеріалами, з постановкою експерименту в лабораторіях чи виробничих умовах. Лабораторні заняття залучають студентів до дослідницької роботи, сприяють розвитку самостійного мислення, раціоналізаторства.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- методики розрахунку деформаційних, кінематичних і енергосилових параметрів прокатки;
- технологію прокатування простих сортових профілів;
- технологію і особливості прокатування складних сортових профілів.

уміти:

- розраховувати різні технологічні процеси прокатного виробництва, деформаційні, кінематичні та енергосилові параметри прокатки;
- знаходити оптимальні варіанти вибору технологічного інструменту для процесів виробництва сортового прокату.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких компетентностей:

К 16. Здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії;

К 17. Здатність вирішувати типові інженерні завдання відповідно до спеціалізації.

Курс «Обтискне та сортове виробництво» продовжує професійну і практичну підготовку студента і базується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін «Обробка металів тиском», «Матеріалознавство». Вивчення дисципліни «Обтискне та сортове виробництво» розширює можливості студентів при виконанні кваліфікаційної роботи бакалавра.

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. Перед початком роботи необхідно переконатися, що усі проходи біля обладнання, на якому виконуються роботи, вільні. Якщо площадка, або проходи біля обладнання зайняті сторонніми предметами (портфелями, сумками та ін.), які ускладнюють переміщення, їх треба прибрати до початку роботи.

2. Не слід надто близько підходити до працюючого обладнання і обпиратися на нього. Забороняється під час роботи відвертатися та займатися іншими справами, які не мають відношення до виконуваної роботи.

3. Забороняється знаходитись біля деталей, що обертаються (муфт, прокатних валків та ін.) в розстебнутому одязі, зі звисаючими кінцями шалей, шарфів, краваток та ін., а також з розпущеним волоссям.

4. Перед включенням кнопки «Пуск» необхідно переконатися, у тому, що всі деталі, які обертаються, закриті захисними засобами і включення агрегату не завдає небезпеки для присутніх, яких треба попередити про наступне включення.

5. Включати і виключати агрегати повинен тільки той студент, якому викладач доручив цю роботу. Під час перерви обладнання повинно бути зупинено. Після закінчення роботи обладнання повинно бути зупинено та знеструмлено.

6. Під час роботи на прокатних станах всі операції, пов'язані з установкою зразків, інструменту слід проводити, коли обладнання зупинено, тобто коли всі електромотори обладнання вимкнено.

8. Під час руху валків прокатного стана заборонено тримати (чи підтримувати) руками деформуючі зразки або підкладний інструмент.

11. При роботі зі зразками, які виготовлені зі свинцю, необхідно пам'ятати, що свинець – отруйний метал, тому його не слід брати руками, якщо на них є незаживлені садні, дряпини. Після роботи необхідно вимити руки. При додержанні цих засобів обережності робота з свинцем безпечна.

12. Після закінчення роботи вимірювальний інструмент слід здавати керівнику, а використовувані зразки зібрати у місцях, які вказані керівником роботи.

13. В лабораторії виконуються наукові дослідження, часто на тому ж обладнанні, що і лабораторні роботи. Тому без спеціальної вказівки заборонено торкати вимірювальну апаратуру та зразки, які не належать до виконуваної роботи, щоб не нанести шкоди дослідженням.

14. Під час проведення робіт суворо виконувати усі вимоги керівника.

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ МАКСИМАЛЬНИМ КУТОМ ЗАХВАТУ І МАКСИМАЛЬНИМ КУТОМ ТОРКАННЯ

1.1 Мета роботи

Вивчення умов захвату і визначення співвідношення між максимальним кутом торкання в сталому процесі і максимальним кутом захвату в початковому періоді процесу прокатки.

1.2 Теоретичний вступ

Природний захват штаби валками здійснюється за умови коли:

$$\alpha_3 \leq \beta_3 \quad (1.1)$$

де α_3 – кут захвату в початковий момент захвату; β_3 – кут тертя у момент захвату.

Схема дії сил при захваті штаби валками представлена на рис.1.1.

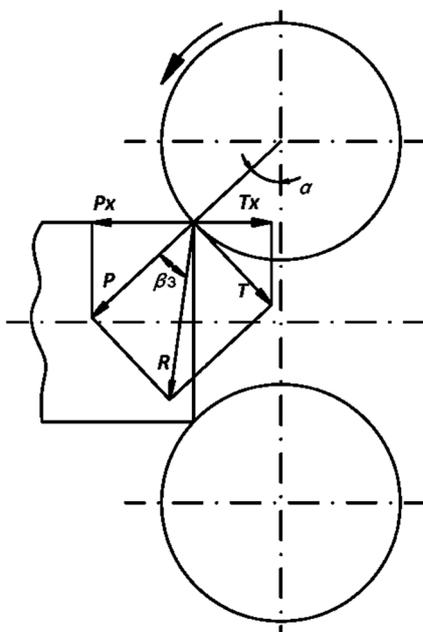


Рисунок 1.1 – Схема дії сил на штабу при захваті штаби валками

При торканні штаби з валками з боку валків діє нормальна сила P і сила тертя T , що виникла під дією сили P . Горизонтальні складові цих сил P_x і T_x направлені у протилежні сторони, при цьому сила T_x втягує штабу в зазор між валками, а сила P_x заважає цьому. Захват металу валками починається при рівності сил P_x і T_x , що можливо при рівності кутів α_3 і β_3 .

У сталому процесі прокатки (рис. 1.2) контакт між прокатуваним металом і валками відбувається не по лінії, як це було у момент захвату, а по поверхні, довжина якої дорівнює довжині дуги захвату. Точці прикладення рівнодіючої

зусилля прокатки відповідає кут φ . В цьому випадку рух металу між валками характеризується умовою:

$$\varphi \leq \beta_y \text{ або } \alpha_y \leq K_\varphi \cdot \beta_y \quad (1.2)$$

де φ – кут, що відповідає положенню точки прикладення рівнодіючої зусилля прокатки; α_y – кут торкання в сталому процесі; K_φ – коефіцієнт положення рівнодіючої.

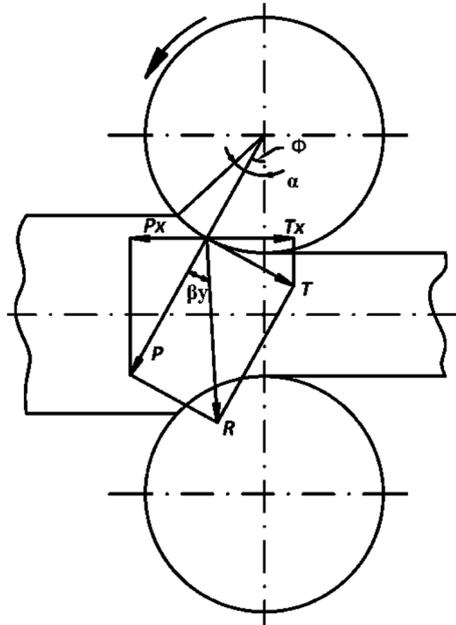


Рисунок 1.2 – Схеми дії сил на штабу в сталому процесі прокатки

За дослідними даними коефіцієнт положення рівнодіючої K_φ дорівнює 1,3–3,0, при цьому більше його значення відноситься до процесу холодної прокатки.

Таким чином, сталий процес прокатки здійснюється в надійніших умовах, ніж захват металу, тобто при надлишку сил тертя, що сприяє розвитку випередження при прокатуванні. Проте це твердження справедливе у разі, коли $\beta_3 = \beta_y$. Насправді кут тертя у момент захвату β_3 як правило більше кута тертя в сталому процесі β_y , звідси показник співвідношення кутів тертя дорівнює:

$$K_\beta = (\beta_3 / \beta_y) > 1 \quad (1.3)$$

При холодному прокатуванні $K_\beta = 1,6 - 2,8$.

На величину K_β впливає температура, наявність на поверхні металу мастила або оксидів, відносна швидкість переміщення поверхні валків і металу, що прокатується. Наявність мастила в основному знижує β_y і майже не змінює β_3 .

Отже, маємо умову, що характеризує захват $\alpha_3 \leq \beta_3$ і умову, відповідну сталому процесу $\alpha_y \leq K_\varphi \cdot \beta_y$. Звідси для максимальних кутів $\alpha_{m3} = \beta_3$; $\alpha_{my} = K_\varphi \cdot \beta_y$.

Відношення максимального кута торкання в сталому процесі α_{my} до максимального кута захвату $\alpha_{mз}$ позначимо, як:

$$K_{\alpha} = \alpha_{my} / \alpha_{mз} \quad (1.4)$$

Коефіцієнт K_{α} , як буде показано нижче, характеризує стійкість процесу прокатки і ступінь розвитку випередження. Чим більше K_{α} , тим стійкіше процес прокатки і більше випередження. Величина K_{α} залежить від співвідношення кутів тертя β_3 і β_y .

Якщо прийняти $\beta_3 = \beta_y$, то $K_{\alpha} = (\alpha_{my} / \alpha_{mз}) = K_{\varphi}$. Приймаючи середнє значення $K_{\varphi} = 2$ отримаємо $\alpha_{my} = 2\alpha_{mз}$.

Проте, частіше зустрічається випадок, коли $\beta_3 > \beta_y$, тоді

$$K_{\alpha} = \frac{\alpha_{my}}{\alpha_{mз}} = \frac{K_{\varphi} \cdot \beta_y}{\beta_3} = \frac{K_{\varphi}}{K_{\beta}} \quad (1.5)$$

Оскільки $K_{\varphi} > K_{\beta}$, то в даному випадку $K_{\alpha} > 1$.

Стійкість процесу прокатки можна оцінювати за коефіцієнтом K_{φ} , що дорівнює відношенню максимального кута торкання в сталому процесі α_{my} до дійсного кута торкання α_{dy} :

$$K_{\varphi} = \frac{\alpha_{my}}{\alpha_{dy}} = K_{\varphi} \cdot \beta_y / \alpha_{dy} \quad (1.6)$$

Приймаючи коефіцієнт стійкості захвату $K_{yз} = (\alpha_{mз} / \alpha_{dз}) = \beta_3 / \alpha_{dз}$, де $\alpha_{dз}$ – дійсний кут захвату, і враховуючи, що практично процес прокатки завжди протікає за умови $\alpha_{dy} = \alpha_{dз}$, остаточно отримуємо:

$$K_{\varphi} = \frac{K_{\varphi}}{K_{\beta}} \cdot K_{\beta} = K_{\alpha} \cdot K_{\varphi\beta} \quad (1.7)$$

1.3 Устаткування, інструмент, матеріали

У роботі використовували прокатний стан 200, лінійку, штангенциркуль, клиновидні зразки зі свинцю (рис. 1.3):

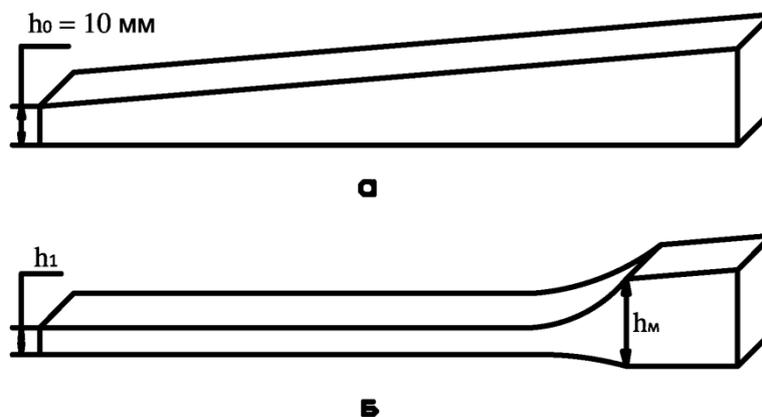


Рисунок 1.3 – Зразка до (а) і після прокатки (б)

1.4 Методика проведення роботи

Прокатку проводили за різних умов тертя: у сухих валках, з мастилом і у валках, покритих крейдою. У останньому випадку зразок також покривали крейдою.

Перед прокаткою валки слід встановити з таким зазором, щоб природний захват не здійснювався, потім покласти на стіл зразок і за допомогою дерев'яного бруска злегка притиснути зразок передньою гранню (тонким кінцем) до валків, після чого поволі підводити валок до тих пір, поки відчується тремтіння зразка. При подальшому незначному підйомі валки захоплюють зразок і прокатують до певного моменту, коли починається ковзання валків по металу. Після цього валки зупиняють, піднімають верхній валок і витягують зразок.

Для ділянки зразка з постійною висотою по довжині, визначають максимальний кут захвату $\alpha_{мз}$:

$$\cos\alpha_{мз} = 1 - \frac{h_0 - h_1}{d} \quad (1.8)$$

де d – діаметр валка; h_0, h_1 – товщина штаби до і після прокатки.

Знаючи значення $\cos\alpha_{мз}$, по значенню тригонометричної функції (табл. 1.1) знаходимо $\alpha_{мз}$. В цьому випадку $\alpha_{мз} = \beta_3$. Максимальний кут торкання сталого процесу прокатки $\alpha_{му}$ визначається за формулою:

$$\cos\alpha_{му} = 1 - \frac{h_m - h_1}{d} \quad (1.9)$$

де h_m – товщина штаби перед зоною деформації на конусній ділянці довжини зразка.

Таблиця 1.1 – Значення тригонометричної функції

Кут α , град.	$\cos\alpha$						
0	1,0000	11	0,9816	22	0,9272	33	0,8387
1	0,9998	12	0,9781	23	0,9205	34	0,8290
2	0,9994	13	0,9744	24	0,9135	35	0,8192
3	0,9986	14	0,9703	25	0,9063	36	0,8090
4	0,9976	15	0,9659	26	0,8988	37	0,7986
5	0,9962	16	0,9613	27	0,8910	38	0,7880
6	0,9945	17	0,9563	28	0,8829	39	0,7771
7	0,9925	18	0,9511	29	0,8746	40	0,7660
8	0,9903	19	0,9455	30	0,8660	41	0,7547
9	0,9877	20	0,9397	31	0,8572	42	0,7431
10	0,9848	21	0,9336	32	0,8480	43	0,7314

Усі експериментальні і розрахункові дані заносяться до табл. 1.2 і будується графік (рис. 1.4) залежності коефіцієнта K_α від умов прокатки (номера зразка). Наводяться висновки. Приклад заповнення табл. 1.2 і графіка на рис. 1.4 наведено нижче.

Таблиця 1.2 – Дослідні і розрахункові дані визначення $\alpha_{мз}$ і $\alpha_{му}$

№ зразка	Умови досліджу	h_0 , мм	h_1 , мм	h_m , мм	$h_0 - h_1$, мм	$h_m - h_1$, мм	d валків мм	$\cos \alpha_{мз}$	$\alpha_{мз}$, радіан	$\cos \alpha_{му}$	$\alpha_{му}$, радіан	K_α
1	Валки, покриті крейдою	10	8	19,4	2	11,4	200	0,9900	0,1415	0,943	0,3393	2,40
2	Чисті валки	10	8,5	16,6	1,5	8,1	200	0,9925	0,1226	0,9595	0,2856	2,33
3	Валки, покриті мастилом	10	9	14,1	1	5,1	200	0,9950	0,1	0,9745	0,2263	2,26



Рисунок 1.4 – Залежність коефіцієнта K_α від умов прокатки

Необхідно оформити звіт і зробити висновки.

Контрольні питання

1. Поясніть схему дії сил на штабу при захваті штаби валками.
2. Поясніть схему дії сил на штабу в сталому процесі прокатки.
3. Що таке кут захвату?
4. Що таке кут торкання?
5. Який процес прокатки здійснюється в надійніших умовах і чому: в момент захвату металу валками чи в сталому процесі прокатки?
6. Що показує співвідношення між максимальним кутом торкання в сталому процесі прокатки і максимальним кутом захвату в початковому періоді процесу прокатки.
7. За яким коефіцієнтом можна оцінювати стійкість процесу прокатки?

Література до лабораторної роботи 1: [1, 2, 5, 6]

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗШИРЕННЯ ПРИ ПРОКАТУВАННІ

2.1 Мета роботи

Мета роботи – дослідження залежності розширення від абсолютного обтиснення і початкової ширини штаби.

2.2 Теоретичний вступ

Зміна ширини штаби при прокатуванні (абсолютна поперечна деформація) називається розширенням.

Розширення визначають за формулою:

$$\Delta b = b_1 - b_0 \quad (2.1)$$

де b_1 і b_2 – ширина штаби до і після прокатування.

Простому процесу прокатування відповідає об'ємна схема деформованого стану із зменшенням висоти і збільшенням довжини і ширини прокатуваної штаби (рис. 2.1). Відповідно до закону сталості об'єму, сума подовжньої і поперечної деформацій дорівнює висотній деформації. Величина висотної деформації (обтиснення) задається геометрією осередку деформації – початковою товщиною штаби і зазором між валками. Співвідношення між подовжньою (витяжка) і поперечною (розширення) деформаціями визначається законом найменшого опору.

При прокатуванні, як правило, середня ширина осередку деформації більше його довжини. У зв'язку з цим, опір течії у подовжньому напрямі менший, ніж у поперечному, і течія металу у витяжку помітно більше поперечної деформації.

Усі чинники, що збільшують опір течії металу в подовжньому напрямі і полегшують течію в поперечному напрямі, збільшують розширення; навпаки, чинники, що полегшують течію в подовжньому напрямі, зменшують розширення.

Розглянемо основні чинники прокатування, що впливають на розширення при простому процесі прокатування.

1. Абсолютне обтиснення. Із збільшенням абсолютного обтиснення розширення збільшується. Вплив цього чинника пояснюється двома причинами. Чим більше висотна деформація, тим інтенсивніше течія металу, тим більше і розширення, і витяжка. З цієї точки зору абсолютне обтиснення є основним чинником, що визначає величину розширення. Найчастіше величину розширення оцінюють коефіцієнтом $k = \frac{\Delta b}{\Delta h}$, що показує яку частину від абсолютного обтиснення складає розширення.

Друга причина збільшення Δb полягає у тому, що із зростанням абсолютного обтиснення збільшується довжина контакту, оскільки $l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h}$. У зв'язку з цим зростає сума сил тертя, яку треба подолати частинкам металу при

течії в подовжньому напрямі у витяжку а, отже, збільшується течія металу в поперечному напрямі.

2. Діаметр валків. Із збільшенням діаметру валків також збільшується довжина контакту l_d , ускладнюється подовжня течія металу і збільшується розширення.

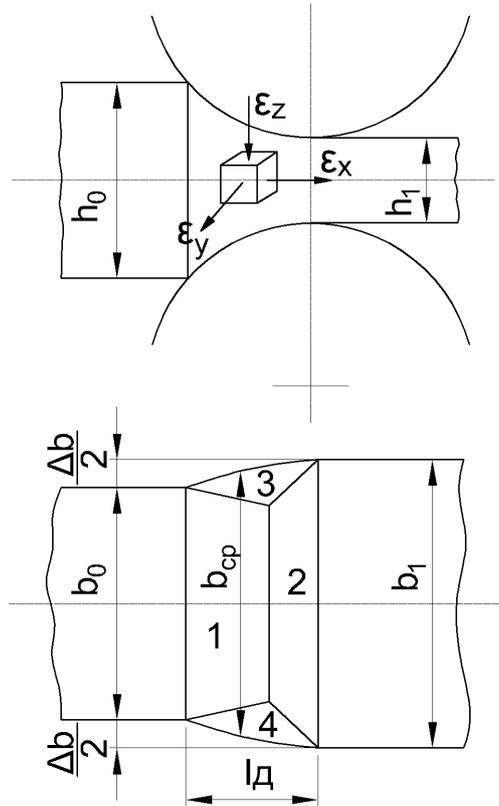


Рисунок 2.1 – Течія металу при простому процесі прокатування:

1 – зона відставання; 2 – зона випередження; 3, 4 – зони розширення.

3. Ширина штаби. Із збільшенням ширини штаб збільшуються опор тертю поперечній течії металу і розширення зменшується.

4. Коефіцієнт тертя. Із збільшенням коефіцієнта тертя зростає опір течії металу, як в подовжньому, так і в поперечному напрямі. Вплив підвищення коефіцієнта тертя на розширення залежить від форми осередку деформації. При широкому осередку деформації ($b_{cp} > l_d$) підвищення коефіцієнта тертя приводить до збільшення течії металу в подовжньому напрямі відповідно до закону найменшого опору, при цьому зменшується об'єм металу, що зміщується у напрямі розширення, і величина абсолютного розширення. При вузькому осередку деформації ($b_{cp} < l_d$), що характерний для умови сортового прокатування, підвищення коефіцієнта тертя приводить до збільшення розширення, оскільки відповідно до закону найменшого опору велика частина металу, що обжимається, зміщується у напрямі короткої сторони (у розширення). Непрямий вплив на розширення здійснюють такі чинники, як температура, хімічний склад металу, швидкість прокатки, мастила тощо, які впливають на величину коефіцієнта тертя.

5. Натягнення кінців штаби. Натягнення створює розтягуючу подовжню напругу в осередку деформації, що полегшує течію металу в подовжньому напрямі, збільшує витяжку і зменшує розширення. Підпір кінців штаби, навпаки, збільшує розширення. Особливо сильно позначається на величині розширення натягнення або підпір заднього (що входить) кінця штаби.

2.3 Порядок проведення роботи

Роботу проводять на двовалковому стані дуо з діаметром валків 200 мм. Використовують свинцеві зразки, зображені на рис. 2.2 і 2.3. Розміри початкових зразків приведені в табл. 2.1. Номер ділянки зразка: менша ділянка – це 1 ділянка, середня – це 2 ділянка, більша – це 3 ділянка.

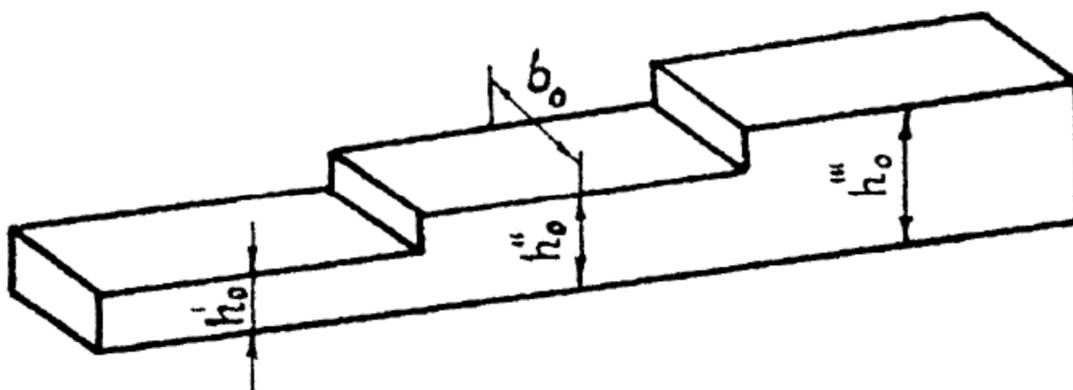


Рисунок 2.2 – Зразок для дослідження впливу обтиснення на розширення металу при прокатуванні

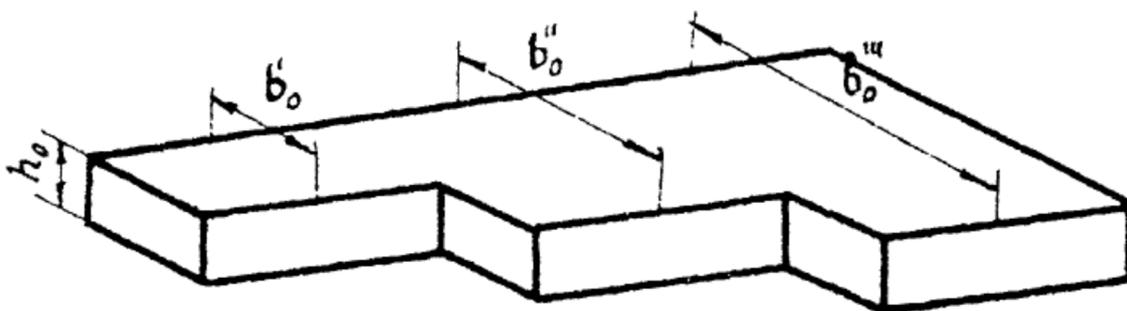


Рисунок 2.3 – Зразок для дослідження впливу початкової ширини штаби на розширення при прокатуванні

2.4 Дослідження впливу обтиснення на розширення металу при прокатуванні

Для дослідів використовують ступінчастий зразок, зображений на рис. 2.2. Зразок прокатують за один прохід так, щоб всі ділянки штаби отримали певне обтиснення. Для цього зразок задається тонкою частиною вперед. Після

прокатування вимірюють товщину і ширину кожної ділянки штаби і дані заносять до табл. 2.1. Розширення визначають за формулою (2.2). Далі розраховують теоретичне значення розширення за формулами:

А.П. Чекмарева

$$\Delta b = \frac{2 \cdot b_{cp} \cdot \Delta h}{(h_0 + h_1) \cdot [1 + (1 + \alpha) \cdot (\frac{b_{cp}}{R \cdot \alpha})^n]} \quad (2.2)$$

де b_{cp} – середня ширина штаби: $b_{cp} = \frac{b_0 + b_1}{2}$; n – показник ступеня:

– для широкого осередку деформації ($b_{cp} > R \cdot \alpha$) $n = 2$;

– для вузького осередку деформації ($b_{cp} < R \cdot \alpha$) $n = 1$;

Δh для кожної ділянки дорівнює $\Delta h = h_0 - h_1$;

α – угол контакту, що визначається за формулою:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \quad (2.3);$$

R – радіус валків.

Ю.С. Зикова

$$\Delta b = \frac{1+f}{2} \cdot \frac{\Delta h}{h_0 + h_1} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (2.4);$$

де f – коефіцієнт контактної тертя (залежно від стану валків і мастила дорівнює 0,1 – 0,2).

Дані заносять до табл. 2.1 і порівнюють розширення Δb , отримане практичним шляхом, і отримане теоретичним шляхом розрахунком за формулами (2.2 і 2.4). Приклад заповнення табл. 2.1 наведено нижче.

Будують графіки залежності розрахункового і дослідного значення розширення Δb від обтиснення Δh (приклад рис. 2.4 наведено нижче).

Таблиця 2.1 – Дослідні і розрахункові дані щодо дослідження залежності розширення від обтиснення при прокатуванні

Номер ділянки зразка	Розміри зразка до і після прокатування, мм				Δh , мм	Розширення Δb за формулою (2.1), мм	Розширення Δb за формулами, мм	
	h_0	b_0	h_1	b_1			(2.2)	(2.4)
1	9	15	8,5	16,3	0,5	1,3	5,6	0,1
2	12	15	8,5	18	3,5	3,0	11,5	1,8
3	15	15	8,5	19,3	6,5	4,3	17,5	4,1

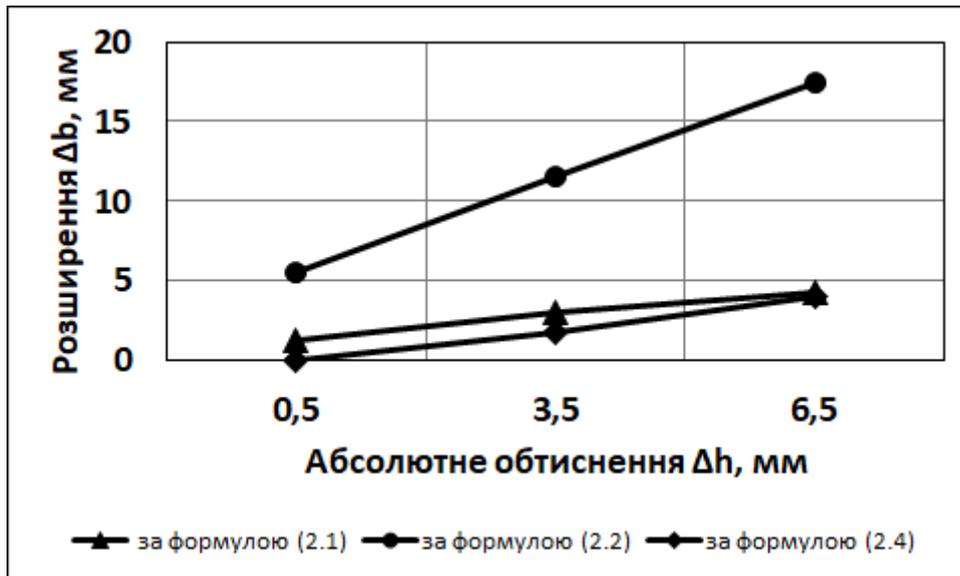


Рисунок 2.4 – Залежність розширення металу від абсолютного обтиснення, розрахованого за різними формулами

2.5 Дослідження впливу початкової ширини штаби на розширення при прокатуванні

Для дослідів використовують ступінчастий (по ширині штаби) зразок, зображений на рис. 2.3. Вимірюють товщину і ширину кожної ділянки зразка і прокатують за один прохід, задаючи його у валки широким кінцем. Після прокатування вимірюють товщину і ширину кожної ділянки штаби і дані заносять до табл. 2.3. Розширення визначають за формулою (2.1). Крім того, для порівняльної оцінки визначають коефіцієнт розширення за формулою:

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} \quad (2.5);$$

Далі розраховують теоретичне значення коефіцієнта розширення за формулою Ю.С. Зикова:

$$\beta = \left(\frac{h_0}{h_1} \right)^a \quad (2.6);$$

де a – показник поперечної деформації, який визначається за формулою:

$$a = \frac{\frac{h_{cp}}{l_d} + \frac{f}{2}}{\frac{2 \cdot h_{cp}}{l_d} + \left(\frac{b_0}{l} \right)^2} \quad (2.7);$$

де h_{cp} – середня товщина штаби: $h_{cp} = \frac{h_0 + h_1}{2}$;

l_d – довжина осередку деформації (див. рис. 2.1), яка визначається за формулою:

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (2.8).$$

Розрахункові значення розширення і коефіцієнта розширення заносяться до табл. 2.3. Будують графіки залежності: значення розширення Δb від початкової ширини штаби b_0 (рис. 2.5); розрахункового і дослідного значення коефіцієнта розширення β від початкової ширини штаби b_0 (рис. 2.6). Приклад заповнення табл. 2.3 і графіків на рис. 2.5 і 2.6 наведено нижче.

Таблиця 2.3 – Дослідні і розрахункові дані дослідження впливу ширини штаби на розширення при прокатуванні

Номер ділянки зразка	Розміри зразка до і після прокатування, мм				Розширення Δb за формулою (2.1), мм	Коефіцієнт розширення β за формулою (2.5)	Коефіцієнт розширення β за формулою (2.6)
	h_0	b_0	h_1	b_1			
1	10	10,5	8	11,1	0,6	1,06	1,009
2	10	20,5	8	20,9	0,4	1,02	1,008
3	10	30,0	8	30,2	0,2	1,01	1,007

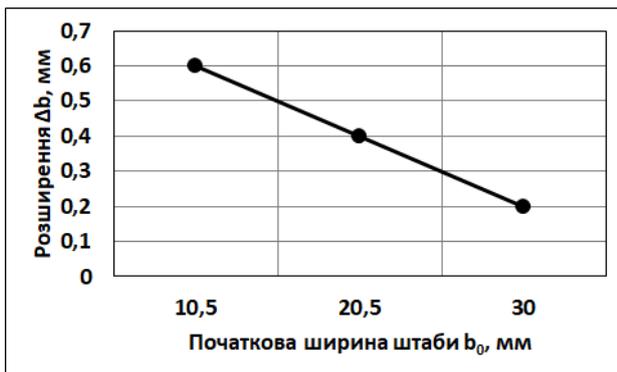


Рисунок 2.5 – Залежність Δb від b_0

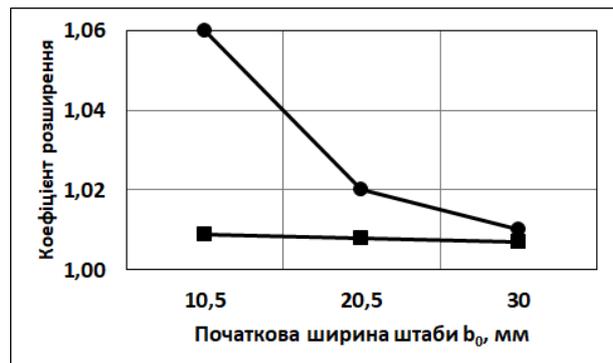


Рисунок 2.6 – Залежність β від b_0

Необхідно оформити звіт і зробити висновки.

Контрольні питання

1. Чим обумовлено розширення при прокатуванні?
2. За якою формулою визначається розширення при прокатуванні?
3. Які основні чинники, що впливають на розширення при прокатуванні?
4. Яким чином впливає абсолютне обтиснення на розширення?
5. Яким чином впливає діаметр валків на розширення при прокатуванні?
6. Яким чином впливає ширина штаби на розширення при прокатуванні?
7. Яким чином впливає коефіцієнт тертя на розширення при прокатуванні?

Література до лабораторної роботи 1: [1, 3, 5, 7]

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛЮЩЕННЯ

3.1 Мета роботи

Вивчити формозмінення металу при плющенні.

3.2 Теоретичний вступ

Плющенням називається деформація круглого профілю в гладких валках.

В результаті отримують плющену штабу з опуклими бічними поверхнями (рис. 3.1).

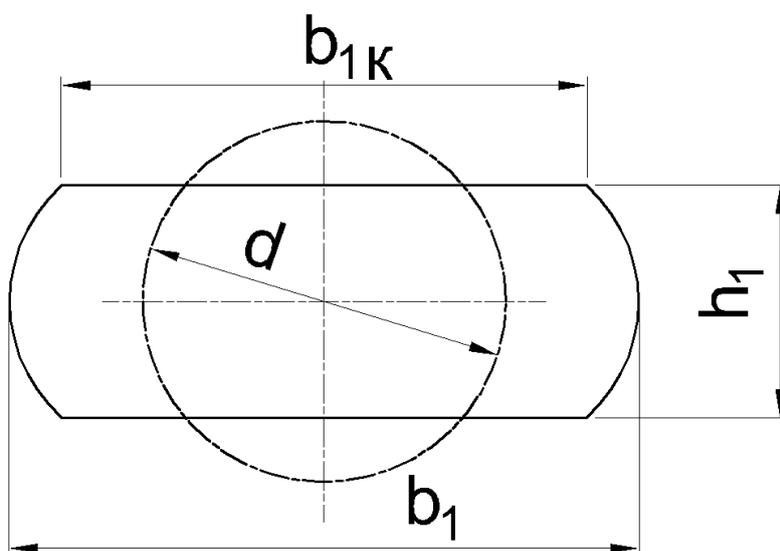


Рисунок 3.1 – Схема формозмінення металу при плющенні

Коефіцієнт витяжки при плющенні визначається за формулою

$$\mu = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\pi d^2}{4F_1}, \quad (3.1)$$

де F_1 – площа перетину плющеної заготовки; d – діаметр початкової заготовки.

Площа поперечного перетину плющеної штаби може бути визначена за формулою Ю.С. Зикова:

$$F_1 = \frac{\pi}{4} h_1 b_1 (1 + 0,273\sqrt{\varepsilon}), \quad (3.2)$$

де ε – відносне обтискання при плющенні:

$$\varepsilon = \frac{d - h_1}{d}. \quad (3.3)$$

Ширина плющеної штаби b_1 визначається за формулою:

$$b_1 = d \cdot \left(\frac{d}{h_1}\right)^a, \quad (3.4)$$

де a – показник поперечної деформації, розраховується за формулою Ю.С. Зикова:

$$a = \frac{0,5 \left(1 + \frac{2}{3}f\right)}{1 + \frac{b_{cp}^2}{l^2}}, \quad (3.5)$$

де b_{cp} – середня ширина штаби; l – довжина осередку деформації; f – коефіцієнт тертя.

3.3 Порядок проведення роботи

Роботу проводять на двовалковому прокатному стані з діаметром валків D (200 мм).

Для дослідів використовуються три алюмінієвих зразка діаметром $d = 5$ мм. На поверхню кожного зразка наносяться ризки на відстані 100...150 мм.

Его відстань приймається за початкову довжину l_0 зразка. Початкові дані заносяться до табл. 3.1.

Прокатуються зразки з різними обтисканнями за прохід: перший зразок $\varepsilon = 20\%$, другий $\varepsilon = 40\%$, третій $\varepsilon = 60\%$. Після плющення вимірюється відстань між ризками на поверхні зразків а також товщину і ширину плющеної штаби, визначається абсолютне і відносне обтискання за прохід. Розраховується коефіцієнт витяжки за виразом:

$$\mu = l_1/l_0. \quad (3.6)$$

Визначається середня ширина і довжина осередку деформації за формулами:

$$b_{cp} = 0,5(d + b_1), \quad t = \sqrt{R(d - h_1)}. \quad (3.7)$$

За формулами (3.1) – (3.6) визначається показник a , ширина b_1 , відносне обтискання ε , площа перетину F_1 і коефіцієнт витяжки μ при плющенні. Отримані дані заносяться до табл. 3.1. Приклад оформлення табл. 3.1 наведено нижче.

Контрольні питання

1. Що таке плющення металу і для чого воно застосовується?
2. Опишіть схему формозмінення металу при плющенні.
3. За якою формулою визначається коефіцієнт витяжки при плющенні?
4. За якою формулою визначається площа поперечного перетину плющеної штаби?
5. За якою формулою визначається ширина плющеної штаби?
6. Що таке показник поперечної деформації?
7. Як впливає відносне обтиснення на коефіцієнт витяжки при плющенні?

Література до лабораторної роботи 3: [2, 3, 7]

Таблиця 3.1 – Дослідні і розрахункові дані процесу плющення

№ досліджу	Розміри зразка до прокатки, мм		Розміри зразка після прокатки, мм			l_1/l_0	Δh , мм	ε	D , мм	l , мм	f	b_{cp}	a	b_1 за формулою (3.4), мм	F_1 , мм ²	μ за формулою 3.1	за формулою 3.6	$\beta_{факт}$	$\beta_{теор}$
	d	l_0	h_1	b_1	l_1														
1	14	100	11	15,5	106	1,06	3	0,21	200	17,32	0,15	14,75	0,32	15,12	147,12	1,05	1,06	1,11	1,08
2	14	100	9	16	115	1,15	5	0,36	200	22,36	0,15	15,00	0,38	16,55	136,11	1,13	1,15	1,14	1,18
3	14	100	7	17	127	1,27	7	0,50	200	26,46	0,15	15,50	0,41	18,59	121,96	1,26	1,27	1,21	1,33

Будують графіки залежності коефіцієнтів витяжки μ за формулами (3.1) і (3.6) (рис. 3.2) і розширення $\beta = b_1/d$ ($\beta_{факт}$ і $\beta_{теор}$) (рис. 3.3) від відносного обтиснення ε за дослідними і теоретичними даними. Приклади побудови графіків наведено нижче. Необхідно оформити звіт і зробити висновки.

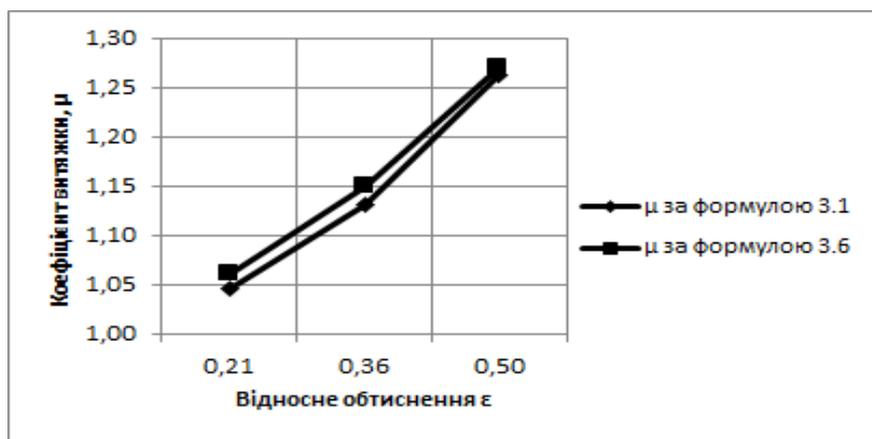


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнта витяжки при плющенні μ від відносного обтиснення ε

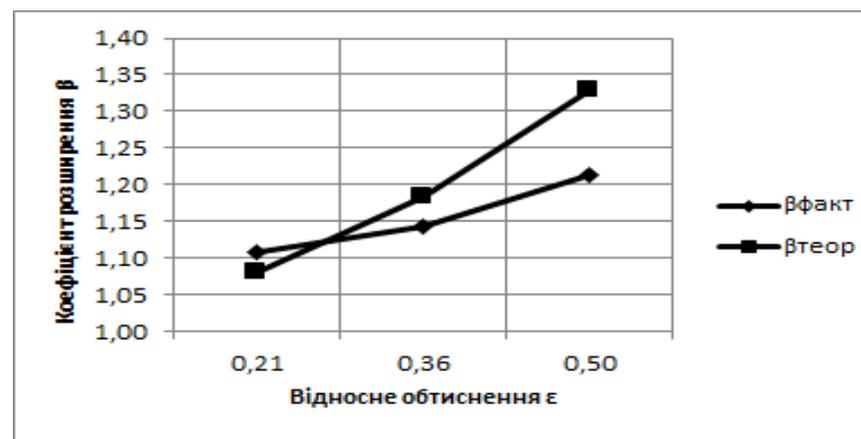


Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнта розширення β від відносного обтиснення ε

Лабораторна робота №4

ПРОКАТУВАННЯ В ПОДОВЖНЬОМУ І В ПОПЕРЕЧНОМУ НАПРЯМАХ

4.1 Мета роботи

Ознайомитися з методом прокатування листів з вузьких злитків.

4.2 Теоретичний вступ

При прокатуванні листів з плоских злитків і слябів ширина початкової заготовки b_0 може бути менше необхідної кінцевої ширини листа b_k , тобто $b_0 < b_k$. У цих випадках з метою збільшення ширини розкату злиток (сляб) спочатку повертають в горизонтальній площині на 90° і прокатують в поперечному напрямі до тих пір, поки ширина початкової заготовки не збільшиться від b_0 до необхідної ширини b_k (прокатка на необхідну ширину). Після цього розкат знову повертають в горизонтальній площині на 90° і потім прокатують до досягнення заданої товщини (прокатка на задану товщину).

4.3 Порядок проведення роботи

Роботу виконують на двовалковому стані з валками, що мають діаметр $D = 200$ мм.

Свинцевий зразок, що має форму правильного паралелепіпеда з розмірами $h_0 \times b_0 \times l_0 = 20 \times 20 \times 100$ мм, необхідно прокатати у штабу з кінцевою товщиною $h_k = 3$ мм і шириною $b_k = 30$ мм. Не враховуючи розширення штаби, товщину штаби h_k у кінці прокатки на задану ширину визначають із співвідношення $h_k/h_0 = b_0/b_k$. Знаходимо сумарне обтиснення $\Delta h = h_0 - h_k$ при прокатуванні у поперечному напрямку і здійснюємо його за 3...5 проходів. При досягненні ширини штаби значення b_k , штаба повертається в горизонтальній площині на 90° і відбувається прокатування за 3...5 проходів до отримання необхідної товщини штаби.

Вимірюють розміри штаби після кожного проходу і результати заносять до табл. 4.1. Приклад заповнення табл. 4.1 наведено нижче.

Таблиця 4.1 – Розміри штаби при прокатуванні в поперечному і в подовжньому напрямках

Номер проходу	Прокатування на ширину $b_k = 30$ мм					Прокатування на товщину $h_k = 3$ мм				
	Розміри смуги, мм			Δb , мм	Об'єм V , мм ³	Розміри штаби, мм			Δh , мм	Об'єм V , мм ³
	h	b	l			h	b	l		
0	20	20	100	0	40000	12,6	30,9	102,7	0	39985
1	16,8	23,5	101,3	3,5	39993	10,7	32,5	115	1,9	39991
2	15,1	26	101,9	6	40006	7,2	33,9	164	5,4	40029
3	12,6	30,9	102,7	10,9	39985	3,3	34,1	356	9,3	40061

Будують графіки залежності ширини штаби (рис. 4.1) і товщини штаби (рис. 4.2) від номера проходу. Приклади побудови графіків наведено нижче.

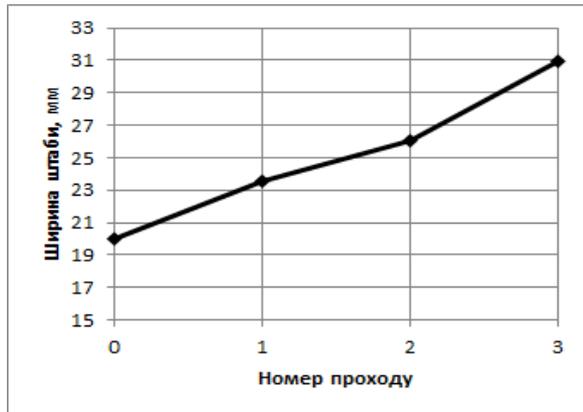


Рисунок 4.1 – Залежність ширини штаби від номера проходу

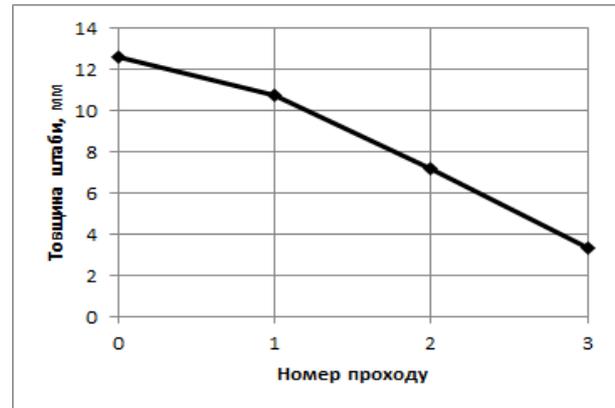


Рисунок 4.2 – Залежність товщини штаби від номера проходу

Необхідно оформити звіт і зробити висновки.

Контрольні питання

1. Для чого застосовується прокатування в подовжньому і в поперечному напрямках?
2. Як спочатку прокатують заготовку з метою збільшення ширини розкату?
3. Яка залежність ширини штаби від номера проходу при прокатуванні на ширину?
4. Яка залежність товщини штаби від номера проходу при прокатуванні на товщину?

Література до лабораторної роботи 4 [3, 5, 7]

Лабораторна робота № 5

КАЛІБРУВАННЯ І ПРОКАТУВАННЯ КВАДРАТНОЇ ЗАГОТОВКИ В СИСТЕМІ ДІАГОНАЛЬНИХ КАЛІБРІВ

5.1 Мета роботи

Освоїти один з методів розрахунку калібрування валків за системою ромб – квадрат і вивчити особливості деформації металу у цих калібрах.

5.2 Теоретичний вступ

Квадратні заготовки перетином менше $150 \times 150 \div 120 \times 120$ мм отримують зазвичай прокатуванням в системах витяжних діагональних калібрів, серед яких одним з найбільш поширених є система ромб – квадрат. У цій системі передбачається чергування квадратних і ромбічних калібрів. Штаба, що вийшла з більшого квадратного калібру, кантується на 90° і поступає в ромбічний калібр. Після виходу з ромбічного калібру штаба знову кантується на 90° і задається в менший квадратний калібр і так далі (рис. 5.1).

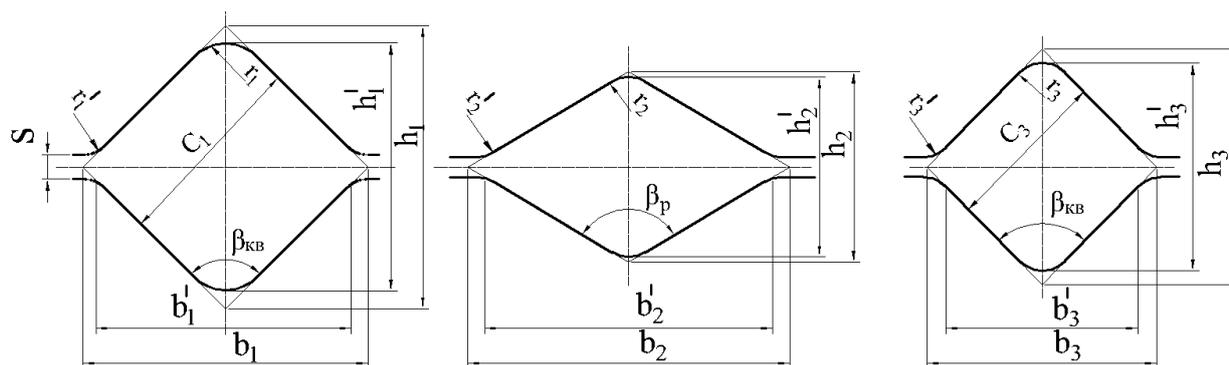


Рисунок 5.1 – Система витяжних калібрів ромб – квадрат

Система витяжних калібрів ромб – квадрат забезпечує достатньо високі коефіцієнти витяжки (до 1,6), хорошу стійкість штаби і отримання штаби правильної квадратної форми. Завдяки своїм перевагам система ромб – квадрат знайшла широке застосування на заготовочних станах, а також у чорнових клітках сортових станів.

Квадратні заготовки із стороною 50 – 150 мм зазвичай прокатують із застосуванням ромбічних калібрів, у яких кут при вершині ромба $\beta_p = 105 \div 115^\circ$, а малі квадрати із стороною 5 – 50 мм – із застосуванням ромбічних калібрів з $\beta_p = 110 \div 120^\circ$. Коефіцієнти витяжки у ромбічних калібрах μ_p для першого випадку складають 1,15 – 1,40, а в другому випадку 1,20 – 1,45.

На практиці іноді зустрічаються $\mu_p = 1,5 – 1,6$ при $\beta_p > 120^\circ$.

Коефіцієнти витяжки в ромбічному калібрі μ_p декілька вище, ніж в квадратному μ_{KB} , або вони можуть бути однаковими. Якщо позначити коефіцієнт

витяжки в парі калібрів (від квадрата до квадрата) $\mu_{p,k}$, то можна записати рівняння

$$\mu_{p,k} = \mu_p \cdot \mu_{кв} \quad (5.1)$$

При однакових коефіцієнтах витяжки в ромбічному і квадратному калібрах

$$\mu_p = \mu_{кв} = \sqrt{\mu_{p,k}} \quad (5.2)$$

При різних коефіцієнтах витяжки співвідношення їх для невеликих квадратів ($C < 40$ мм) може бути визначено за виразом (5.3):

$$m = \frac{\mu_{кв} - 1}{\mu_p - 1} = 0.9 \div 0.82 \quad (5.3)$$

Розрахунок витяжних калібрів за системою ромб – квадрат можна виконувати різними методами, які різняться в основному способами визначення розширення в ромбічних і квадратних калібрах і розмірами ромба.

5.3 Методика розрахунку

Визначення розмірів витяжних калібрів можна виконувати як по ходу прокатки, так і проти нього. До початку розрахунку відомі початкові розміри розкату, що задається, і отримуваної заготовки. При прокатуванні заготовки в системі ромбічних і квадратних калібрів початковою заготовкою є зазвичай квадрат із стороною C_0 , що задається в перший ромбічний калібр.

За заданими розмірами початкової (C_0) і отримуваної (C_3) заготовки встановлюється сумарний коефіцієнт витяжки

$$\mu_c = \frac{Q_0}{q_3} = \frac{C_0^2}{C_3^2} \quad (5.4)$$

де Q_0 і q_3 – площа поперечного перетину початкової і отримуваної квадратної заготовки, $мм^2$.

Виходячи із заданих розмірів отримуваної заготовки, прокатуваного металу і типу прокатного стану, вибирають середній коефіцієнт витяжки $\mu_{p,k}$ для пари калібрів від квадрата до квадрата. При його виборі можна орієнтуватися на графік, представлений на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – Графік для визначення $\mu_{p,k} = \mu_p \mu_{кв}$

Маючи на увазі, що

$$\mu_c = \mu_{p,k1} \cdot \mu_{p,k2} \dots \mu_{p,kn} = \mu_{p,k}^n \quad (5.5)$$

встановлюють число пар калібрів n_{Π} за виразом

$$n_{\Pi} = \frac{\lg \mu_c}{\lg \mu_{p,k}} \quad (5.6)$$

Отримане число n_{Π} округляють до найближчого цілого, після чого уточнюють середній коефіцієнт витяжки для кожної пари калібрів:

$$\lg \mu_{p,k} = \frac{\lg \mu_c}{n_{\Pi}} \quad (5.7)$$

Коефіцієнти витяжки в парах калібрів можуть бути однаковими:

$$\mu_{p,k1} = \mu_{p,k2} = \dots = \mu_{p,kn} = \mu_{p,k}^n \quad (5.8)$$

або різними, але завжди обов'язково повинна дотримуватися умова (5.5). Наприклад, іноді в перших по ходу прокатки калібрах коефіцієнти витяжки декілька знижують за умовами захвату металу валками; у інших випадках величина парного коефіцієнта витяжки визначається необхідністю отримання квадратної заготовки з проміжних квадратних калібрів. Можуть бути і інші причини, що впливають на розподіл коефіцієнтів витяжки по ходу прокатки. За відсутності таких обставин можна прийняти їх рівними.

Маючи значення парних коефіцієнтів витяжки $\mu_{p,k}$ і використовуючи вирази (5.1) і (5.3), встановлюють величину коефіцієнтів витяжки в ромбічних і квадратних калібрах.

Далі визначають площі калібрів по ходу прокатки (або проти нього):
площа першого ромбічного калібру

$$q_{p1} = \frac{Q_0}{\mu_{p1}} \quad (5.8)$$

площа другого квадратного калібру

$$q_{KB1} = \frac{q_{p1}}{\mu_{KB2}} \quad (5.8a)$$

і так далі.

Знаючи площі калібрів, встановлюють їх розміри.

Квадратні калібри будуються в більшості випадків з кутом при вершині 90° . Сторона квадрата

$$C = \sqrt{q_{KB}} \quad (5.9)$$

а вертикальні і горизонтальні діагоналі h_{KB} і b_{KB} (див. рис. 5.1):

$$h_{KB} = b_{KB} = \sqrt{2q_{KB}} = C\sqrt{2} \quad (5.10)$$

Для нормального виконання профілю необхідно в кожному калібрі мати достатній простір для розширення, тобто повинна виконуватися умова (див. рис. 5.1):

$$b_2 > h_1, \quad b_3 > h_2 \text{ і так далі.}$$

Виходячи з цього положення, розміри вертикальної діагоналі ромба (h_2 на рис. 5.1) можуть бути визначені через розширення при прокатуванні штаби в наступному квадратному калібрі:

$$h_2 = b_3 - \Delta b_3 \quad (5.11)$$

Так само повинна виконуватися умова

$$h_1 = b_2 - \Delta b_2 \quad (5.11)$$

Розширення в ромбічних і квадратних калібрах визначають за одним з відомих методів.

Оскільки між площею ромба q_p і його діагоналями b_p і h_p існує залежність

$$q_p = \frac{1}{2} b_p h_p \quad (5.12)$$

то, знаючи вертикальну діагональ ромбічного калібру h_p , неважко визначити і горизонтальну діагональ

$$b_p = \frac{2q_p}{h_p} \quad (5.13)$$

а потім співвідношення

$$\frac{b_p}{h_p} = \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} \quad (5.14)$$

При проведенні даної роботи в лабораторії розрахунок калібрувальних даних має свої особливості. У валках лабораторного стану вже виконано декілька ромбічних і квадратних калібрів, розміри яких можуть декілька змінюватися лише за рахунок підйому верхнього валка (чим досягається декілька варіантів завдань), але оскільки кут при вершині ромба β_p вже заданий, то, отже, задано і співвідношення в діагоналях ромба.

Знаючи площу ромба q_p , визначену раніше за формулою (5.8) і використовуючи вирази (5.12) і (5.14), знаходять діагоналі ромба:

$$h_p = \sqrt{\frac{2q_p}{\operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2}}} \quad (5.15)$$

і

$$b_p = h_p \operatorname{tg} \frac{\beta_p}{2} \quad (5.16)$$

Тепер необхідно перевірити, чи забезпечують отримані розміри калібрів нормальне розширення металу в них. Цьому положенню відповідає умова:

$$b_2 - h_1 \geq \Delta b_2 \quad (5.17)$$

$$b_3 - h_2 \geq \Delta b_3 \quad (5.18)$$

де Δb_2 , Δb_3 – розширення металу відповідно в другому, третьому і решті калібрів, визначене по одному з відомих методів.

Д.І. Старченко рекомендує в цьому випадку підраховувати в ромбічних і квадратних калібрах так зване приведенне (усереднене) розширення за виразом:

$$\Delta b = \frac{\mu-1}{\sqrt{\mu}} \left[\sqrt{R_{cp} \cdot h_{cp} \cdot (\mu-1)} - \frac{h_{cp}}{2f} \cdot (\mu-1) \right] \quad (5.19)$$

де μ – коефіцієнт витяжки в даному калібрі;

$h_{cp} = \frac{q}{b}$ – середня товщина розкату в калібрі, мм;

$R_{cp} = 0,5 (D_0 - h_{cp})$ – середній катаючий радіус в калібрі, мм;

D_0 – відстань між осями валків, мм;

f – коефіцієнт тертя між металом і валками.

Якщо умова (5.17) не виконується, то необхідно провести корегування розмірів калібрів, змінивши коефіцієнти витяжки в них.

Діагональні витяжні ромбічні і квадратні калібри виконують із закругленням кута при вершині радіусом

$$r = 0,1 \div 0,2h \quad (5.20)$$

і по місцю роз'єму калібру

$$r' = 0,2 \div 0,5b \quad (5.21)$$

Отриманні розрахунком значення r і r' порівнюють з тими, що є на стані.

Розміри калібрів і їх площі q' з урахуванням фактичних радіусів закруглень при вершині і по місцю роз'єму встановлюють за співвідношеннями (див. рис. 5.1):

а) для квадратного калібру при $\beta_{\text{кв}} = 90^\circ$:

$$h' = h - 0,83r = 1,41 \cdot C - 0,83 \cdot r \quad (5.22)$$

$$b' = b \cdot s = 1,41 \cdot C - s \quad (5.23)$$

$$q' = q - 0,86 \cdot r^2 \quad (5.24)$$

б) для ромбічного калібру за табл. 5.1:

Таблиця 5.1 – Розміри і площі ромбічних калібрів з урахуванням закруглень

β_p , град	$tg \frac{\beta_p}{2}$	h' , мм	b' , мм	q' , мм ²
100	1,19	$h - 0,61r$	$b - 1,19s$	$q - 0,29r^2 - 0,59s^2$
105	1,3	$h - 0,52r$	$b - 1,30s$	$q - 0,23r^2 - 0,65s^2$
110	1,43	$h - 0,44r$	$b - 1,43s$	$q - 0,18r^2 - 0,72s^2$
115	1,57	$h - 0,37r$	$b - 1,57s$	$q - 0,14r^2 - 0,79s^2$
120	1,73	$h - 0,31r$	$b - 1,73s$	$q - 0,11r^2 - 0,87s^2$
125	1,92	$h - 0,26r$	$b - 1,92s$	$q - 0,085 r^2 - 0,96s^2$
130	2,15	$h - 0,21r$	$b - 2,15s$	$q - 0,05r^2 - 1,08s^2$

5.4 Методика виконання роботи

Для прокатки застосовувалася заготовка зі свинцю перетином 10×12 мм, завдовжки (L) 216 мм. Не дивлячись на те, що в розрахунках початкова заготовка приймалася перетином 12×12 мм, дослідна заготовка мала перетин 10×12 мм, що було обумовлене наявністю саме такого кокілю для литва свинцю. Кінцеві розміри заготовки – 7×7 мм. Прокатка здійснювалася шляхом послідовного проходження заготовки через 1 – 6 калібри. Лабораторний прокатний стан мав валки діаметром $D_0 = 50$ мм, система калібрування – «ромб – квадрат». Зазор між валками приймався рівним $s = 1$ мм (задається викладачем). Після кожного проходу штангенциркулем вимірювалися діагоналі квадрата і ромба, а також довжина

заготовки лінійкою. Дослідні дані заносилися до табл. 5.2. Розрахунок калібрування за вищенаведеною методикою здійснювався за допомогою комп'ютерної математичної програми Mathcad і приведений нижче. Розрахункові дані також заносилися до таблиці 5.2. На підставі розрахункових і дослідних даних, приведених в табл. 5.2, будувалися графіки, приведені на рис. 5.3 – 5.5.

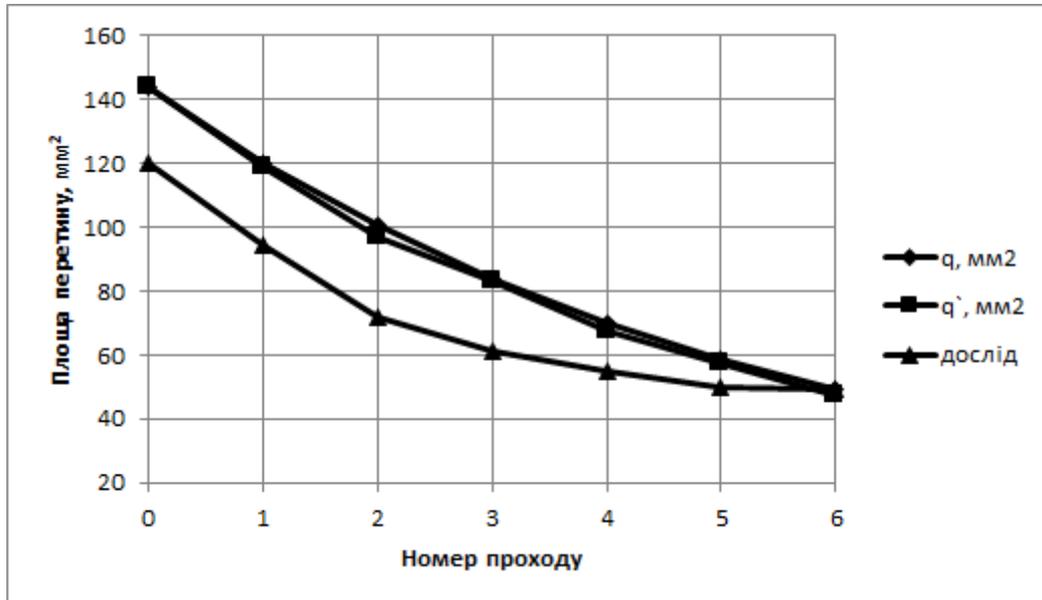


Рисунок 5.3 – Залежність площі поперечного перетину заготовки від номера проходу

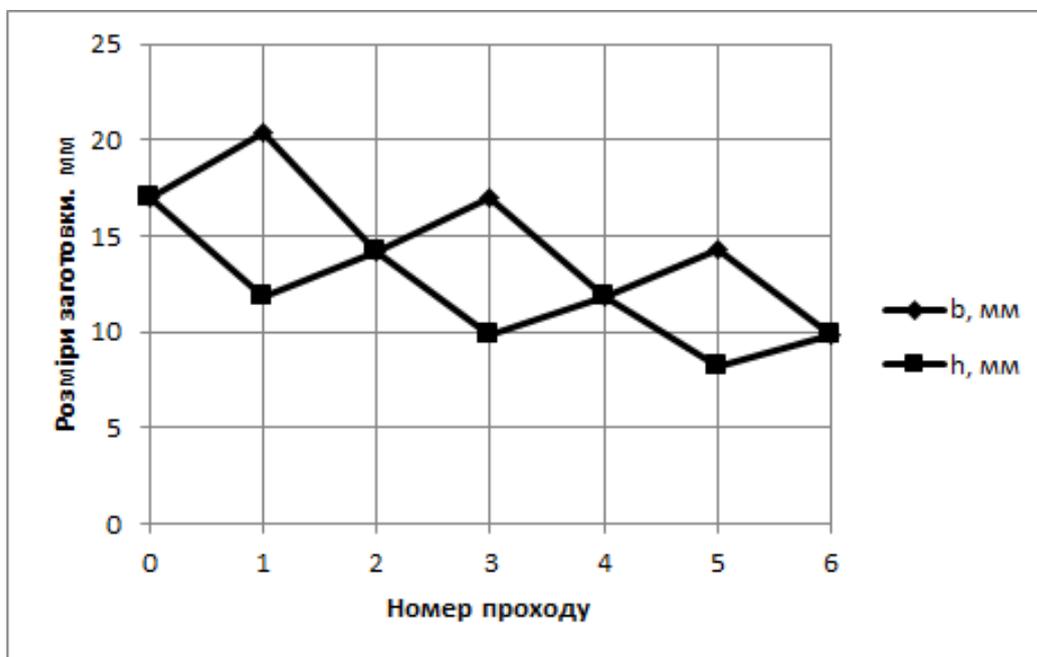


Рисунок 5.4 – Залежність розрахункових розмірів заготовки (рис. 5.1) від номера проходу

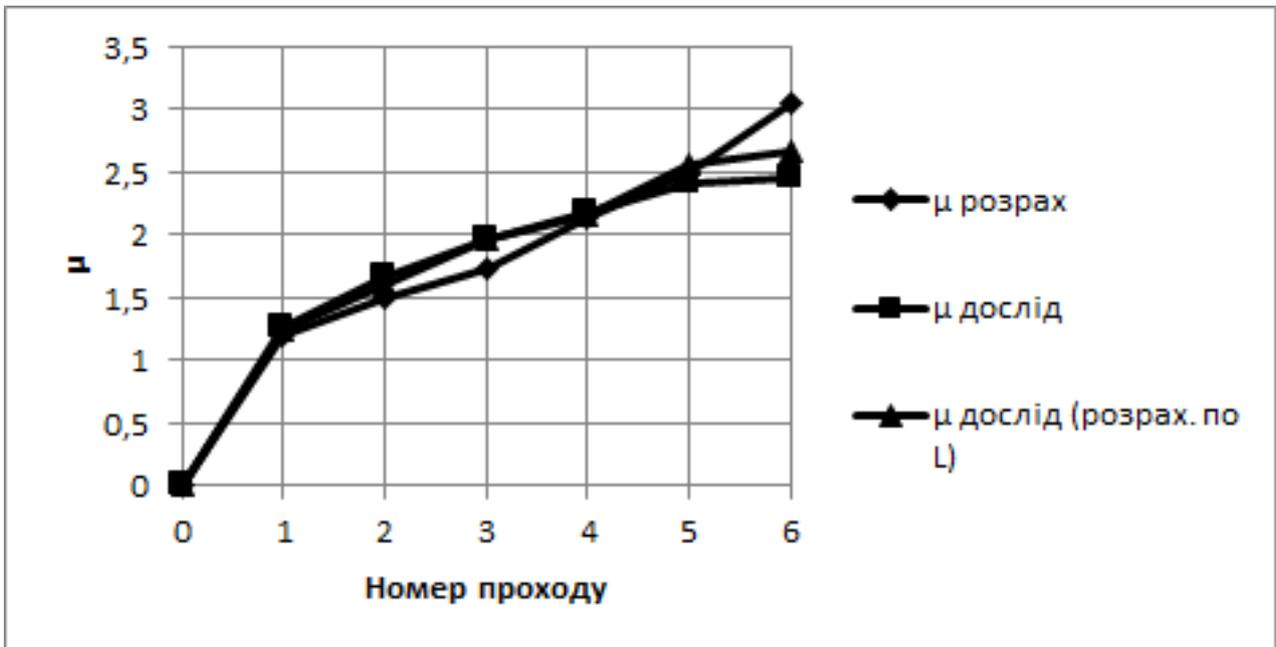
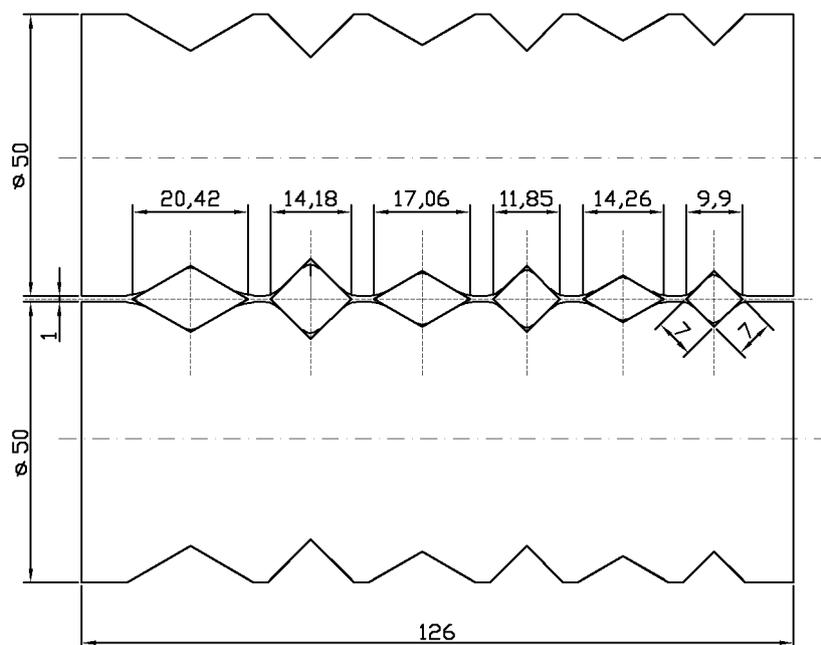


Рисунок 5.5 – Залежність сумарного коефіцієнту витяжки μ від номера проходу

На рис. 5.6 наведений ескіз розташування витяжних калібрів на валках лабораторного стану 50 і розміри калібрів, побудовані на підставі розрахункових даних, приведених в табл. 5.2.



M 1:1

Рисунок 5.6 – Розташування витяжних калібрів на валках лабораторного стану 50 і розрахункові розміри калібрів

5.5 Розрахунок сортових прокатних валків для прокатки квадратної заготовки в системі діагональних калібрів у програмному комплексі MathCAD

$$C_0 := 12$$

$$C_3 := 7$$

$$\mu_c := \frac{C_0^2}{C_3^2}$$

$$\mu_c = 2.939$$

$$\mu_{pk} := 1.5$$

$$n_{\Pi} := \frac{\log(\mu_c)}{\log(\mu_{pk})}$$

$$n_{\Pi} = 2.659$$

$$n_{\text{вал}} := 3$$

$$\log(\mu_{pk}) := \frac{\log(\mu_c)}{n_{\Pi}}$$

$$\log(\mu_{pk}) = \frac{\log(\mu_c)}{n_{\Pi}}$$

$$e^{\frac{\ln(\mu_c)}{n_{\Pi}}} = 1.432$$

$$\mu_{pk} := 1.432$$

$$\mu_p := \sqrt{\mu_{pk}}$$

$$\mu_p = 1.197$$

$$\mu_k := \sqrt{\mu_{pk}}$$

$$\mu_k = 1.197$$

$$Q_0 := C_0^2$$

$$Q_0 = 144$$

$$q_{p1} := \frac{Q_0}{\mu_p}$$

$$q_{p1} = 120.335$$

$$q_{KB2} := \frac{q_{p1}}{\mu_k}$$

$$q_{KB2} = 100.559$$

$$q_{p3} := \frac{q_{KB2}}{\mu_p}$$

$$q_{p3} = 84.033$$

$$q_{KB4} := \frac{q_{p3}}{\mu_k}$$

$$q_{KB4} = 70.223$$

$$q_{p5} := \frac{q_{KB4}}{\mu_p} \quad q_{p5} = 58.682$$

$$q_{KB6} := \frac{q_{p5}}{\mu_k} \quad q_{KB6} = 49.038$$

$$C_{KB2} := \sqrt{q_{KB2}} \quad C_{KB2} = 10.028$$

$$C_{KB4} := \sqrt{q_{KB4}} \quad C_{KB4} = 8.38$$

$$C_{KB6} := \sqrt{q_{KB6}} \quad C_{KB6} = 7.003$$

$$h_{KB2} := C_{KB2} \cdot \sqrt{2} \quad h_{KB2} = 14.182 \quad b_{KB2} := h_{KB2}$$

$$h_{KB4} := C_{KB4} \cdot \sqrt{2} \quad h_{KB4} = 11.851 \quad b_{KB4} := h_{KB4}$$

$$h_{KB6} := C_{KB6} \cdot \sqrt{2} \quad h_{KB6} = 9.903 \quad b_{KB6} := h_{KB6}$$

$$\beta_p := 120 \cdot \text{deg}$$

$$h_{p1} := \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p1}}{\tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right)}} \quad h_{p1} = 11.788 \quad b_{p1} := h_{p1} \cdot \tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right) \quad b_{p1} = 20.417$$

$$C_{p1} := \sqrt{\left(\frac{h_{p1}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{p1}}{2}\right)^2} \quad C_{p1} = 11.788$$

$$h_{p3} := \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p3}}{\tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right)}} \quad h_{p3} = 9.851 \quad b_{p3} := h_{p3} \cdot \tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right) \quad b_{p3} = 17.062$$

$$C_{p3} := \sqrt{\left(\frac{h_{p3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{p3}}{2}\right)^2} \quad C_{p3} = 9.851$$

$$h_{p5} := \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p5}}{\tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right)}} \quad h_{p5} = 8.232 \quad b_{p5} := h_{p5} \cdot \tan\left(\frac{\beta_p}{2}\right) \quad b_{p5} = 14.258$$

$$C_{p5} := \sqrt{\left(\frac{h_{p5}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{p5}}{2}\right)^2} \quad C_{p5} = 8.232$$

$$h_{cp1} := \frac{q_{p1}}{b_{p1}} \quad R_{cp1} := \frac{D_0 - h_{cp1}}{2} \quad D_0 := 50 \quad f := 0.2$$

$$\Delta b_1 := \frac{\mu_p - 1}{\sqrt{\mu_p}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp1} \cdot h_{cp1} \cdot (\mu_p - 1)} - \frac{h_{cp1}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_p - 1) \right] \quad \Delta b_1 = 0.388$$

$$h_{cp2} := \frac{q_{KB2}}{b_{KB2}} \quad R_{cp2} := \frac{D_0 - h_{cp2}}{2}$$

$$\Delta b_2 := \frac{\mu_k - 1}{\sqrt{\mu_k}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp2} \cdot h_{cp2} \cdot (\mu_k - 1)} - \frac{h_{cp2}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_k - 1) \right] \quad \Delta b_2 = 0.357$$

$$h_{cp3} := \frac{q_{p3}}{b_{p3}} \quad R_{cp3} := \frac{D_0 - h_{cp3}}{2}$$

$$\Delta b_3 := \frac{\mu_p - 1}{\sqrt{\mu_p}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp3} \cdot h_{cp3} \cdot (\mu_p - 1)} - \frac{h_{cp3}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_p - 1) \right] \quad \Delta b_3 = 0.405$$

$$h_{cp4} := \frac{q_{KB4}}{b_{KB4}} \quad R_{cp4} := \frac{D_0 - h_{cp4}}{2}$$

$$\Delta b_4 := \frac{\mu_k - 1}{\sqrt{\mu_k}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp4} \cdot h_{cp4} \cdot (\mu_k - 1)} - \frac{h_{cp4}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_k - 1) \right] \quad \Delta b_4 = 0.387$$

$$h_{cp5} := \frac{q_{p5}}{b_{p5}} \quad R_{cp5} := \frac{D_0 - h_{cp5}}{2}$$

$$\Delta b_5 := \frac{\mu_p - 1}{\sqrt{\mu_p}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp5} \cdot h_{cp5} \cdot (\mu_p - 1)} - \frac{h_{cp5}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_p - 1) \right] \quad \Delta b_5 = 0.411$$

$$h_{cp6} := \frac{q_{KB6}}{b_{KB6}} \quad R_{cp6} := \frac{D_0 - h_{cp6}}{2}$$

$$\Delta b_6 := \frac{\mu_k - 1}{\sqrt{\mu_k}} \cdot \left[\sqrt{R_{cp6} \cdot h_{cp6} \cdot (\mu_k - 1)} - \frac{h_{cp6}}{2 \cdot f} \cdot (\mu_k - 1) \right] \quad \Delta b_6 = 0.404$$

$$b_{KB2} - h_{p1} = 2.394 \quad \text{бі льше } \Delta b_2$$

$$b_{p3} - h_{KB2} = 2.88 \quad \text{бі льше } \Delta b_3$$

$$b_{KB4} - h_{p3} = 2 \quad \text{бі льше } \Delta b_4$$

$$b_{p5} - h_{KB4} = 2.407 \quad \text{бі льше } \Delta b_5$$

$$b_{KB6} - h_{p5} = 1.672 \quad \text{більше } \Delta b_6$$

$$r_{p1} := 0.15 \cdot h_{p1} \quad r_{p1} = 1.768$$

$$r'_{p1} := 0.35 \cdot b_{p1} \quad r'_{p1} = 7.146$$

$$r_{KB2} := 0.15 \cdot h_{KB2} \quad \overset{i}{r_{KB2}} = 2.127$$

$$r'_{KB2} := 0.35 \cdot b_{KB2} \quad r'_{KB2} = 4.964$$

$$r_{p3} := 0.15 \cdot h_{p3} \quad r_{p3} = 1.478$$

$$r'_{p3} := 0.35 \cdot b_{p3} \quad r'_{p3} = 5.972$$

$$r_{KB4} := 0.15 \cdot h_{KB4} \quad r_{KB4} = 1.778$$

$$r'_{KB4} := 0.35 \cdot b_{KB4} \quad r'_{KB4} = 4.148$$

$$r_{p5} := 0.15 \cdot h_{p5} \quad r_{p5} = 1.235$$

$$r'_{p5} := 0.35 \cdot b_{p5} \quad r'_{p5} = 4.99$$

$$r_{KB6} := 0.15 \cdot h_{KB6} \quad r_{KB6} = 1.486$$

$$r'_{KB6} := 0.35 \cdot b_{KB6} \quad r'_{KB6} = 3.466$$

а) для квадратного кал бра при

$$\beta_{KB} := 90 \text{ deg}$$

$$h'_{KB2} := h_{KB2} - 0.83 \cdot r_{KB2} \quad h'_{KB2} = 12.416$$

$$h'_{KB4} := h_{KB4} - 0.83 \cdot r_{KB4} \quad h'_{KB4} = 10.376$$

$$h'_{KB6} := h_{KB6} - 0.83 \cdot r_{KB6} \quad h'_{KB6} = 8.67$$

$$\overset{m}{s} := 1$$

$$b'_{KB2} := b_{KB2} - s \quad b'_{KB2} = 13.182$$

$$b'_{KB4} := b_{KB4} - s \quad b'_{KB4} = 10.851$$

$$b'_{KB6} := b_{KB6} - s \quad b'_{KB6} = 8.903$$

$$q'_{KB2} := q_{KB2} - 0.86 \cdot r_{KB2}^2 \quad q'_{KB2} = 96.667$$

$$q'_{KB4} := q_{KB4} - 0.86 \cdot r_{KB4}^2 \quad q'_{KB4} = 67.505$$

$$q'_{KB6} := q_{KB6} - 0.86 \cdot r_{KB6}^2 \quad q'_{KB6} = 47.14$$

б) для ромбичного калібра при

$$\beta_{\text{ром}} := 120 \cdot \text{deg}$$

$$h'_{p1} := h_{p1} - 0.31 \cdot r_{p1} \quad h'_{p1} = 11.24$$

$$h'_{p3} := h_{p3} - 0.31 \cdot r_{p3} \quad h'_{p3} = 9.392$$

$$h'_{p5} := h_{p5} - 0.31 \cdot r_{p5} \quad h'_{p5} = 7.849$$

$$b'_{p1} := b_{p1} - 1.73 \cdot s \quad b'_{p1} = 18.687$$

$$b'_{p3} := b_{p3} - 1.73 \cdot s \quad b'_{p3} = 15.332$$

$$b'_{p5} := b_{p5} - 1.73 \cdot s \quad b'_{p5} = 12.528$$

$$q'_{p1} := q_{p1} - 0.11 \cdot r_{p1}^2 - 0.87 \cdot s^2 \quad q'_{p1} = 119.121$$

$$q'_{p3} := q_{p3} - 0.11 \cdot r_{p3}^2 - 0.87 \cdot s^2 \quad q'_{p3} = 82.922$$

$$q'_{p5} := q_{p5} - 0.11 \cdot r_{p5}^2 - 0.87 \cdot s^2 \quad q'_{p5} = 57.644$$

Таблиця 5.2 – Основні розрахункові і дослідні дані при прокатуванні заготовки в системі витяжних калібрів ромб – квадрат (вихідний свинцевий зразок 10×12 мм, довжиною 112 мм)

№ про-ходу	Форма калібра	β, град	Розрахункові розміри								Розміри з закругленнями						μ		Δb дослід мм	С дослід мм	Довжина заготовки L дослід мм	Розрахунок μ по значенню L	
			b, мм	h, мм	С, мм	q, мм ²	s, мм	r, мм	r', мм	Δb, мм	b', мм		h', мм		q', мм ²								
											розрах.	дослід	розрах.	дослід	розрахун.	дослід	розрах.	дослід					
0	Вихідна заготовка	90	17	17	12	144						15,6		15,6	144	120					10x12	216	
1	Ромб	120	20,42	11,79	11,79	120,34	1,0	1,77	7,15	0,39	18,69	16,0	11,24	11,8	119,12	94,40	1,21	1,27	0,40	9,94	270	1,25	
2	Квадрат	90	14,18	14,18	10,03	100,56	1,0	2,13	4,96	0,36	13,18	12,0	12,42	12,0	96,67	72,00	1,23	1,31	0,20	8,49	348	1,29	
3	Ромб	120	17,06	9,85	9,85	84,03	1,0	1,48	5,97	0,41	15,33	12,2	9,39	10,0	82,92	61,00	1,17	1,18	0,20	7,89	423	1,22	
4	Квадрат	90	11,85	11,85	8,38	70,22	1,0	1,78	4,15	0,39	10,85	10,5	10,38	10,5	67,51	55,13	1,23	1,11	0,50	7,42	465	1,10	
5	Ромб	120	14,26	8,23	8,23	58,68	1,0	1,24	4,99	0,41	12,53	10,8	7,85	9,2	57,64	49,68	1,17	1,11	0,30	7,09	555	1,19	
6	Квадрат	90	9,90	9,90	7,00	49,04	1,0	1,49	3,47	0,40	8,90	9,9	8,67	9,9	47,14	49,01	1,22	1,01	0,70	7,00	575	1,04	
Всього сумарний коефіцієнт витяжки μс, як добуток μ по проходах (формула 5.4)																	3,05	2,45				2,66	

Необхідно скласти звіт і зробити висновки.

Контрольні питання

1. Що таке система діагональних калібрів?
2. Охарактеризуйте систему витяжних калібрів ромб – квадрат.
3. Які переваги має система витяжних калібрів ромб – квадрат?
4. Коефіцієнти витяжки в ромбічному калібрі вище чи нижче, ніж в квадратному калібрі?
5. Опишіть загальну методику розрахунку розмірів витяжних калібрів.
6. Які особливості проведення роботи в лабораторних умовах для розрахунку калібровки валків?

Література до лабораторної роботи 5: [2, 5, 6]

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМАЦІЇ МЕТАЛУ ЗА ТЕМПЛЕТАМИ РОЗКАТУ

6.1 Мета роботи

Аналіз калібрувань валків для прокатування дрібних заготовок.

6.2 Теоретичний вступ

На блюмінгах 1150 – 1300 прокатують крупні заготовки (блюми з $H = B = 300 - 400$ мм. В обтискній кліті прокатування розкату виконують у 2-х горизонтах: нижньому і верхньому. У калібрах, врізаних у валки, поступово зменшують розміри і форму розкату, а в чистовому калібрі отримують дрібну заготовку у вигляді квадрата.

У перших трьох проходах застосовують ящичні калібри, а в подальших проходах – витягну систему калібрів шестикутник – квадрат. Калібрування виконане таким чином, що в шестикутних і квадратних калібрах метал не заповнює повністю калібр по ширині. Це виключає переповнювання калібру. Наявність закруглених вершин квадратного профілю зменшує втрати температури металу у вершинах і знижує нерівномірність деформації розкату при прокатуванні в овальному калібрі чистової лінії стану.

При прокатуванні сортових профілів обов'язкова зміна напрямку висотній деформації шляхом кантовки розкату, що виходить з попереднього проходу. Це необхідно для отримання розкату відповідної форми поперечного перетину. При цьому в кожному випадку після кантівки матимемо $H > h$ і $B < b$. Співвідношення розмірів $H > h$ забезпечує необхідне обтиснення штаби, а співвідношення $B < b$ забезпечує необхідний простір на розширення металу в калібрах.

Визначення параметрів деформації металу по наявних зразках (темплетах розкату) проводиться за наступними формулами.

Абсолютне лінійне обтиснення по осі калібру:

$$\Delta h = H - h \quad (6.1)$$

Середнє обтиснення в калібрі:

$$\Delta h_c = n_k \cdot \Delta h \quad (6.2)$$

де n_k – коефіцієнт обмеження розширення при прокатуванні в калібрах.

Простір на розширення:

$$\Delta b_0 = b - B \quad (6.3)$$

Довжина дуги захвату:

$$l_0 = \sqrt{R_0 \cdot \Delta h} \quad (6.4)$$

$$h_c = q / b \quad (6.5)$$

$$B_{cp} = C_B \cdot b \quad (6.6)$$

де C_B – коефіцієнт заповнення калібру.

Фактичний максимальний кут захвату дорівнює:

$$\alpha = \sqrt{\Delta h_c / R_0} \quad (6.7)$$

Розширення дорівнює:

$$\Delta b = 0,53 \cdot C_n \cdot \Delta h \cdot V_{cp} / (n_{cp} \cdot h_{cp}) \quad (6.8)$$

де C_n – коефіцієнт, що враховує вплив ширини штаби.

При $V_{cp} / l_0 > 0,76$

$$C_n = e^{(0,9 - 1,2 V_{cp} / l_0)^{0,9}} \quad (6.9)$$

Отримані дані, як приклад, наведені в табл. 6.1. На рис. 6.1 наведені схеми темплетів розкату.

Таблиця 6.1 – Параметри деформації металу по темплетам розкатів

№ калібру	Форма калібру	q, мм ²	μ	H, мм	B, мм	h, мм	b, мм	t, °C
1	ящичний	9950	1,28	92	150	85	140	1200
2	ящичний	7740	1,28	140	85	88	87	1190
3	ящичний	6046,8	1,28	87	88	70	83	1175
4	шестикутник	4195	1,44	83	70	55	114	1150
5	квадрат	2913	1,44	114	55	61	77	1125
6	шестикутник	2023	1,44	77	61	30	89	1090
7	квадрат	1405	1,44	89	30	40	49	1060
8	шестикутник	976	1,44	49	40	23	61	1030
9	квадрат	678	1,44	61	23	34	34	1000

Продовження таблиці 6.1

№ калібру	Форма калібру	Розміри в мм						α, рад.	Δb, мм
		Δh	Δh _c	Δb _o	l _d	h _c	V _{cp}		
1	ящичний	7	6,65	10	41,4	71,07	140	0,16	-
2	ящичний	52	49,4	3	112,8	88,9	87	0,45	-
3	ящичний	17	16,15	5	64,5	72,8	83	0,25	-
4	шестикутник	28	27,44	44	82,8	36,8	114	0,33	-
5	квадрат	53	44,52	22	113,9	37,8	70,07	0,42	0,37
6	шестикутник	47	46,06	28	107,3	22,7	89	0,43	-
7	квадрат	49	41,16	19	109,5	28,6	44,49	0,4	10,7
8	шестикутник	26	25,48	21	79,8	16	61	0,32	-
9	квадрат	27	22,68	11	81,3	19,9	30,94	0,3	6,5

Викладач студентам видає інші схеми темплетів розкату. У ході виконання лабораторної роботи студенти проводять аналіз калібрувань валків для прокатування дрібних заготовок, визначають параметри деформації металу за темплетами розкату, виконують розрахунки і креслення калібрів, роблять висновки.

ТЕМПЛЕТИ РОЗКАТУ

Вихідна заготовка

1-й калібр

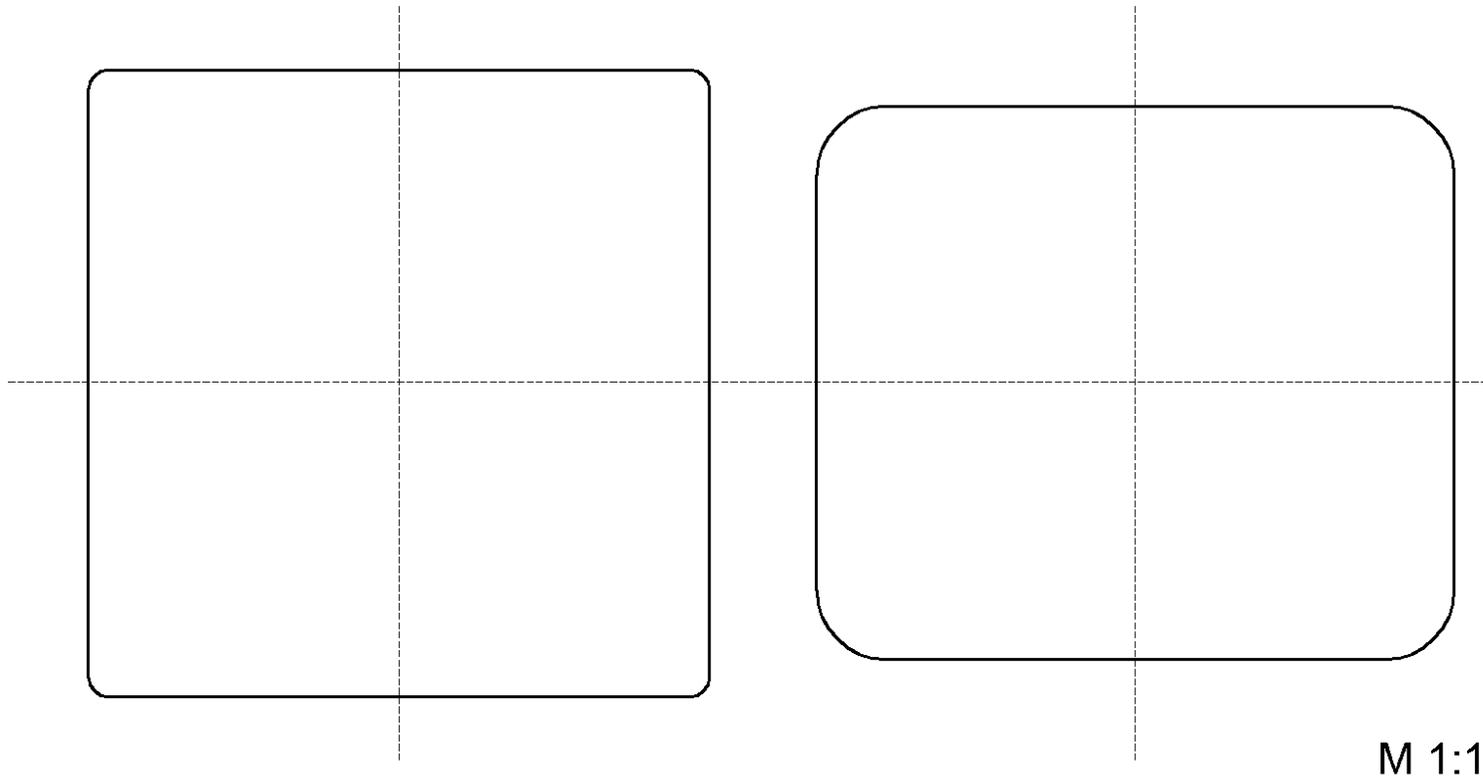
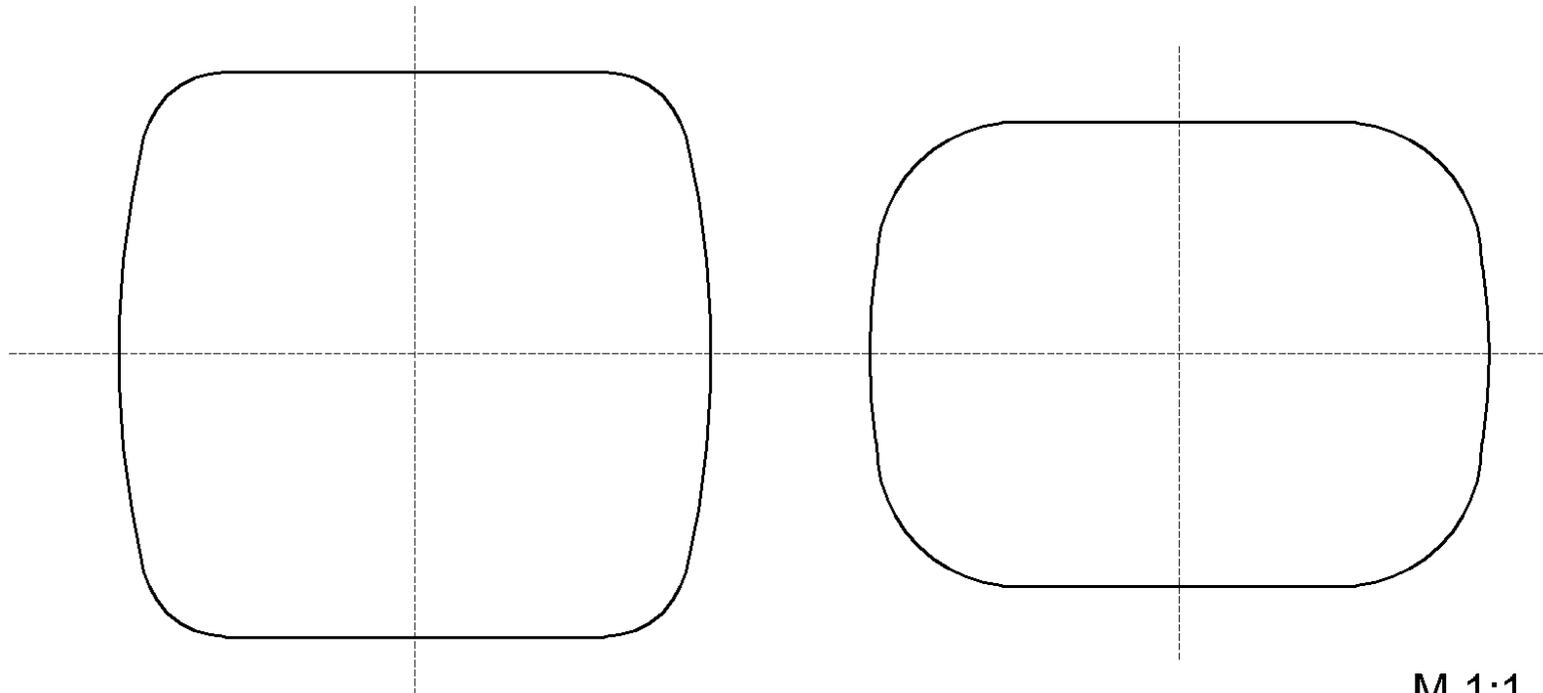


Рисунок 6.1 – Схеми темплетів розкату

ТЕМПЛЕТИ РОЗКАТУ

2-й калібр

3-й калібр

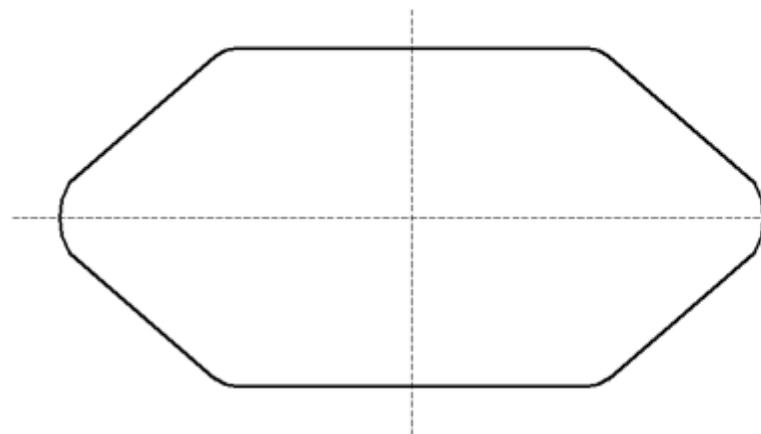


М 1:1

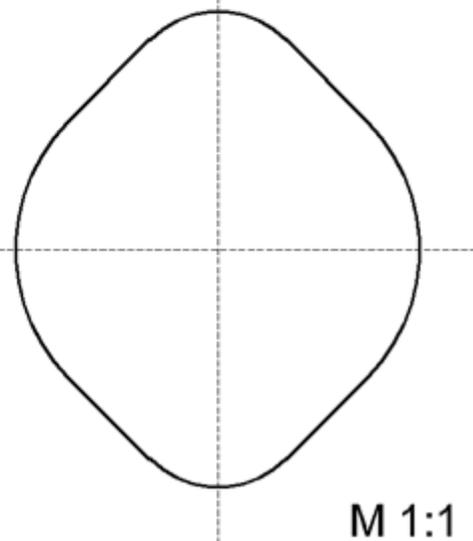
Продовження рисунку 6.1

ТЕМПЛЕТИ РОЗКАТУ

4-й калібр



5-й калібр

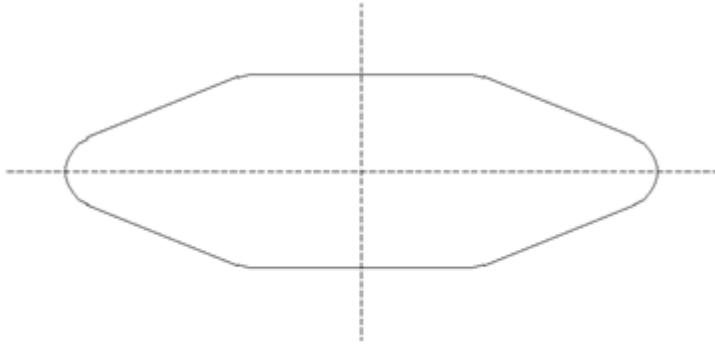


М 1:1

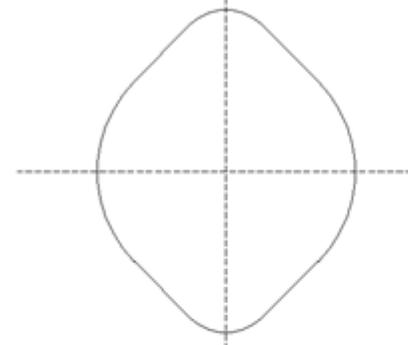
Продовження рисунку 6.1

ТЕМПЛЕТИ РОЗКАТУ

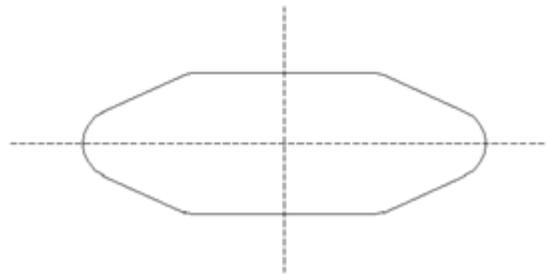
6-й калібр



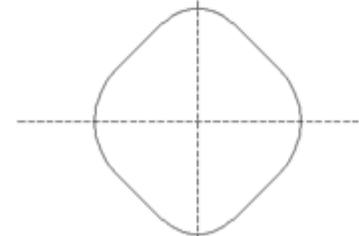
7-й калібр



8-й калібр



9-й калібр



М 1:1

Продовження рисунку 6.1

Контрольні питання

1. Що таке темплети розкату і для чого вони застосовуються?
2. Які калібри застосовують у перших трьох проходах і які в подальших проходах?
3. Яким чином виконують калібрування валків щоб виключити переповнювання калібру?
4. За якими формулами проводиться визначення параметрів деформації металу по наявних зразках (темплетах розкату)?
5. У чому полягає аналіз калібрувань валків для прокатування дрібних заготовок?

Література до лабораторної роботи 6: [1, 2, 3, 5]

Лабораторна робота № 7

ВАЛКИ І ВАЛКОВА АРМАТУРА

7.1 Мета роботи

Визначення прогину валка в процесі прокатування штаб.

7.2 Теоретичний вступ

В прокатному сортаменті листова продукція становить 65 – 67%. Якість листової (штабової) продукції оцінюють відповідністю необхідного хімічного складу, мікроструктури, показників механічних властивостей (межі міцності і текучості, відносного подовження, твердості), різнотовщинності і неплоскостності.

Вихідна поперечна різнотовщинність гарячекатаної штаби обумовлена наявністю декількох постійно діючих факторів:

- різною температурою по ширині штаби – кромки мають меншу температуру. Останнє сприяє меншим нормальним контактним напруженням в середині ширини штаби і більшому обтисненню металу;
- різницею температури металу на лівій (завалочній) і правій (приводній) крайках штаби перед чистовою групою клітей, що зумовлює різну товщину крайок – меншу на більш нагрітій кромці;
- наявністю прогину робочих і опорних валків, величина якого визначається силовими, геометричними параметрами валків і штаби, системою профілюванням валків. Фактори, що збільшують прогин валків призводять до збільшення поперечної різнотовщинності штаб;
- при прокатуванні кінцевих ділянок штаб (переднього і заднього) без натягу збільшується сила прокатки, прогин валків і поперечна різнотовщинність штаб;
- нераціональним профілюванням валкового комплекту без урахування ширини штаби – призводить до нерівномірного розподілу міжвалкового тисків і тисків під штабою, що викликає нерівномірний знос валків і нерівномірні обтиснення, і товщини штаби по ширині.

7.3 Експериментальна частина

Для вимірювання прогину валка використовують установку, представлену на рис. 7.1. Ця установка має валок 2, що спирається шийками 3 на опори 4. які в свою чергу встановлені на плиту 6 рухомої траверси пресу типу УПГ – 20 / 2. Валок через штабу 1 навантажують зусиллям $P=10 - 50$ кН, а прогин валка вимірюють індикатором 5 з використанням стрижня - подовжувача 7.

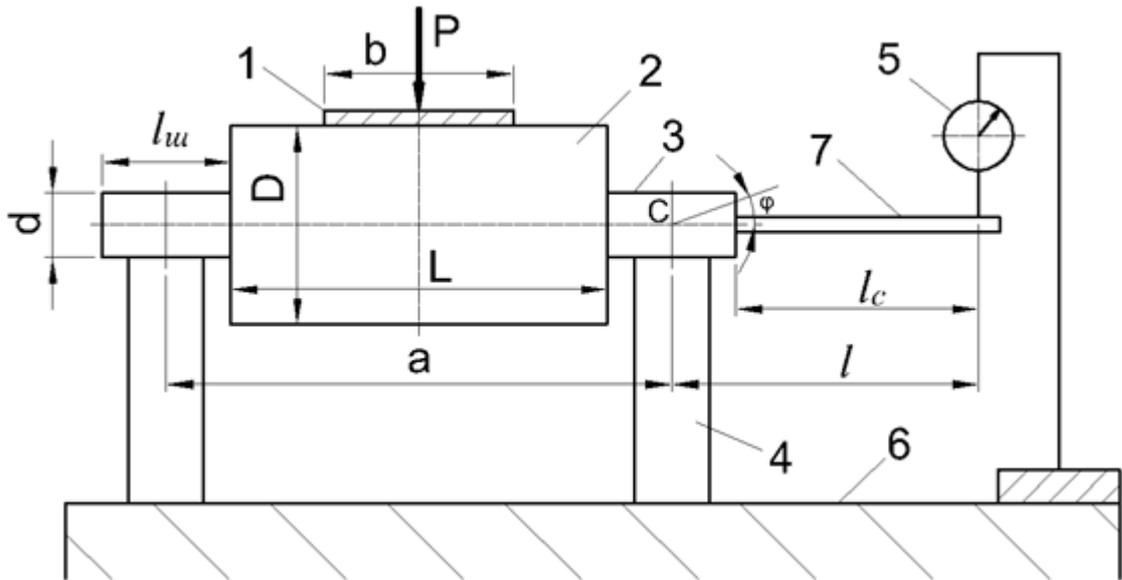


Рисунок 7.1 – Установка для визначення прогину валка: 1 – штаба; 2 – валок, прогин якого досліджується; 3 – шийка валка; 4 – опора; 5 – індикатор; 6 – опорна плита; 7 – стрижень-подовжувач.

Установка має наступні параметри (мм):

Діаметр валка – $D = 53$;

діаметр шийки – $d = 17$;

довжина бочки валка – $L = 100$;

довжина шийки валка – $l_{ш} = 34$;

довжина стрижня – $l_c = 170$;

ширина штаб – $b = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$;

відстань – $a = 134$;

навантаження – $P = 10, 20, 30, 40, 50$ кН.

Прогин краю бочки валка щодо точки «С» визначимо з виразу

$$y_1 = y \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} \quad (7.1)$$

де y – відхилення кінця стрижня, що вимірюється індикатором; $l_{ш}$ – довжина шийки; l – довжина, що визначається за виразом

$$l = l_c + 0,5 \cdot l_{ш} = 170 + 0,5 \cdot 34 = 187 \text{ мм}, \quad (7.2)$$

де l_c – довжина стрижня вимірювача до осі індикатора.

Прогин валка щодо точки «С» при вигині його по параболічній кривій дорівнює:

$$W_c = y_1 \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 \quad (7.3)$$

Прогин валка щодо краю бочки;

$$W_{\delta} = W_c \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 \quad (7.4)$$

Як приклад визначимо прогин валка W_{δ} при різних навантаженнях P і різній ширині штаби b , що наведені вище. В ході експерименту були отримані наступні значення параметру «у», наведені у табл. 7.1., які використовуються при розрахунку прогину валка для різних $P = 10 - 50$ кН, за формулою (7.1).

Для ширини штаби 10 мм:

$$y_{1P1} = y_{P1} \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} = 0,0193 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00176 \text{ мм};$$

$$y_{1P2} = y_{P2} \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} = 0,0386 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00351 \text{ мм};$$

$$y_{1P3} = y_{P3} \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} = 0,058 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00527 \text{ мм};$$

$$y_{1P4} = y_{P4} \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} = 0,0773 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00703 \text{ мм};$$

$$y_{1P5} = y_{P5} \cdot \frac{l_{ш}}{2 \cdot l} = 0,0966 \cdot \frac{34}{2 \cdot 187} = 0,00878 \text{ мм}.$$

Таблиця 7.1 – Експериментальні значення параметра “у”, отримані при навантаженнях валка $P = 10 - 50$ кН і при ширині штаби 10 – 90 мм

Ширина штаби, мм	Значення "у" (мм) при навантаженні P, кН				
	10	20	30	40	50
10	0,0193	0,0386	0,0580	0,0773	0,0966
20	0,0193	0,0385	0,0578	0,0770	0,0963
30	0,0192	0,0383	0,0575	0,0766	0,0958
40	0,0190	0,0381	0,0571	0,0761	0,0951
50	0,0189	0,0377	0,0566	0,0754	0,0943
60	0,0187	0,0373	0,0560	0,0746	0,0933
70	0,0184	0,0369	0,0553	0,0737	0,0922
80	0,0182	0,0364	0,0545	0,0727	0,0909
90	0,0179	0,0358	0,0537	0,0716	0,0895

Тепер знаходимо прогин валка відносно точки «С» по формулі (7.3):

$$W_{CP1} = y_{1P1} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00176 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0273 \text{ мм};$$

$$W_{CP2} = y_{1P2} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00351 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0546 \text{ мм};$$

$$W_{CP3} = y_{1P3} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00527 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,0818 \text{ мм};$$

$$W_{CP4} = y_{1P4} \cdot \left(\frac{a}{l_{ш}}\right)^2 = 0,00703 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,1091 \text{ мм};$$

$$W_{CP5} = y_{1P5} \cdot \left(\frac{a}{l_{III}}\right)^2 = 0,00878 \cdot \left(\frac{134}{34}\right)^2 = 0,1364 \text{ мм.}$$

Прогин валка відносно краю бочки буде дорівнювати по формулі (7.4):

$$W_{6P1} = W_{CP1} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0273 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0152 \text{ мм;}$$

$$W_{6P2} = W_{CP2} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0546 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0304 \text{ мм;}$$

$$W_{6P3} = W_{CP3} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,0818 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0456 \text{ мм;}$$

$$W_{6P4} = W_{CP4} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,1091 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,0608 \text{ мм;}$$

$$W_{6P5} = W_{CP5} \cdot \left(\frac{L}{a}\right)^2 = 0,1364 \cdot \left(\frac{100}{134}\right)^2 = 0,076 \text{ мм.}$$

Будуємо графік залежності $W_6 = f(P)$ – рис. 7.2.

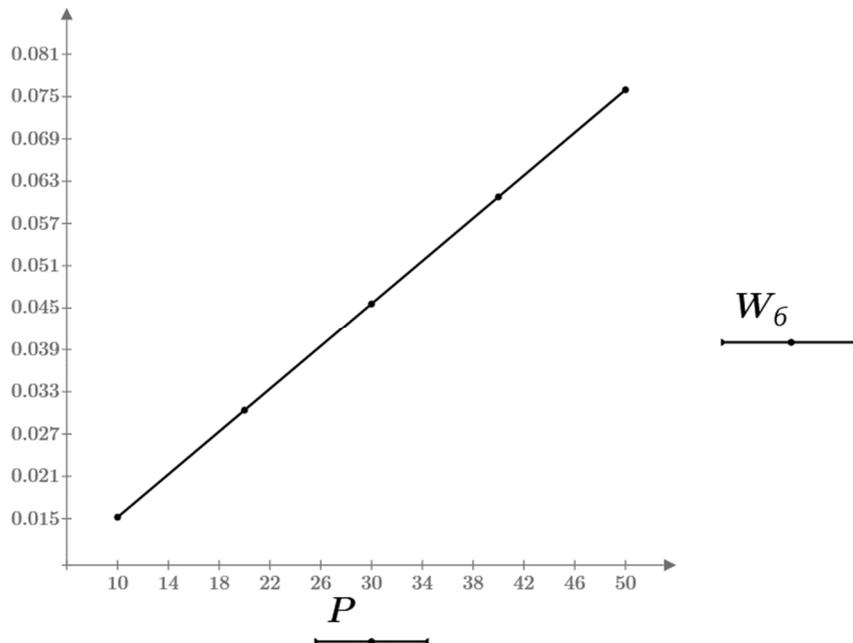


Рисунок 7.2 – Залежність прогину бочки валка W_6 , мм, від навантаження на валок P , кН

Аналогічні розрахунки виконують для штаб іншої ширини відповідно до параметрів табл. 7.1. Результати розрахунків заносяться до табл. 7.2.

Рис. 7.3 показує, що чим ширше штаба, тим менше прогин валка, але ширина штаби слабо впливає на прогин. Значно сильніше на прогин валка впливає навантаження, тобто сила прокатки (див. рис. 7.2).

7.4 Розрахунок очікуваної величини прогину валка за теоретичною формулою [1]

$$f = \frac{P}{384 \cdot E \cdot J_1} \cdot \left[8 \cdot a^3 - 4 \cdot a \cdot b^2 + b^3 + 64 \cdot c^3 \cdot \left(\frac{J_1}{J_2} - 1 \right) \right]; \quad (7.5)$$

де P – навантаження, Н; E – модуль пружності: для сталюого валка дорівнює $2,15 \cdot 10^{11}$ Н/м²; J_1 і J_2 – момент інерції перетину бочки і шийки валка відповідно, м⁴; a – відстань між опорами валка, м (див. рис. 7.2); b – ширина штаби, м; c – половина довжини шийки валка $l_{ш}$, м.

Таблиця 7.2 – Результати розрахунків за експериментальними даними прогину валка при різних навантаженнях на нього і при використанні штаби різної ширини

Ширина штаби, мм	Прогин валка W_6 , мм, при різних навантаженнях P				
	$P=10$ кН	$P=20$ кН	$P=30$ кН	$P=40$ кН	$P=50$ кН
10	0,0152	0,0304	0,0456	0,0608	0,0760
20	0,0151	0,0303	0,0454	0,0606	0,0757
30	0,0151	0,0301	0,0452	0,0603	0,0753
40	0,0150	0,0299	0,0449	0,0598	0,0748
50	0,0148	0,0297	0,0445	0,0593	0,0742
60	0,0147	0,0293	0,0440	0,0587	0,0734
70	0,0145	0,0290	0,0435	0,0580	0,0725
80	0,0143	0,0286	0,0429	0,0572	0,0715
90	0,0141	0,0282	0,0422	0,0563	0,0704

За даними табл. 7.2 будуться графіки, наведені на рис. 7.3.

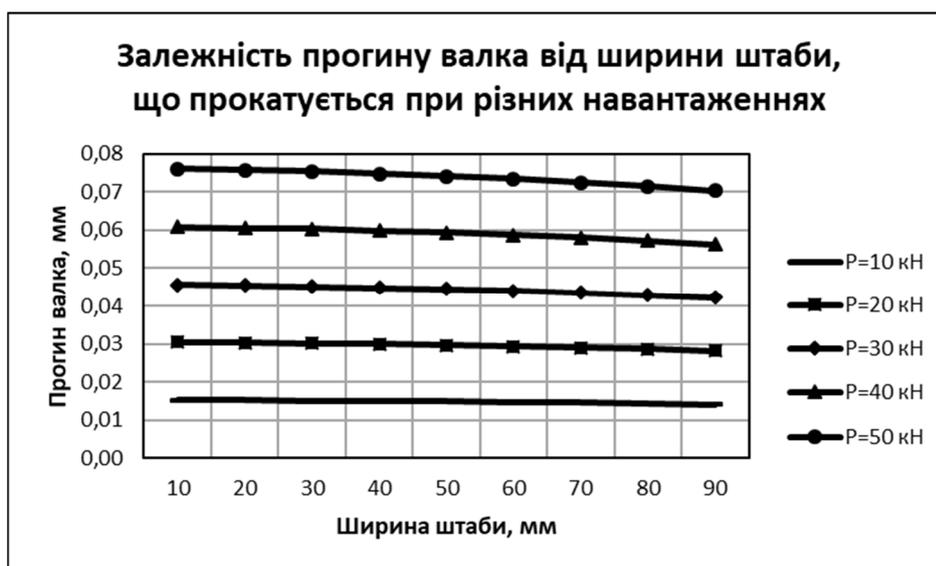


Рисунок 7.3 – Залежність прогину валка від ширини штаби при різних навантаженнях

Для розрахунку приймаємо наступні значення: $E = 2,15 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$;

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot D^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 0,053^4 = 3,873 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4;$$

$$J_2 = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 0,017^4 = 4,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$\frac{J_1}{J_2} = 94,473;$$

$a = 0,134 \text{ м}$; $c = 0,017 \text{ м}$.

При $b = 10 \text{ мм}$, тобто $0,01 \text{ м}$ і $P = 10 \div 50 \text{ кН}$, тобто $10000 \div 50000 \text{ Н}$ отримаємо за формулою (7.5):

$$f_{P_1} = \frac{10000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)]} = 1,519 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0152 \text{ мм};$$

$$f_{P_2} = \frac{20000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)]} = 3,039 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0304 \text{ мм};$$

$$f_{P_3} = \frac{30000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)]} = 4,558 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0456 \text{ мм};$$

$$f_{P_4} = \frac{40000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)]} = 6,078 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,0608 \text{ мм};$$

$$f_{P_5} = \frac{50000}{384 \cdot 2,15 \cdot 10^{11} \cdot 3,873 \cdot 10^{-7} \cdot [8 \cdot 0,134^3 - 4 \cdot 0,134 \cdot 0,01^2 + 0,01^3 + 64 \cdot 0,017^3 \cdot (94,473 - 1)]} = 7,597 \cdot 10^{-5} \text{ м, або } 0,076 \text{ мм};$$

Отримані дані заносимо до табл. 7.3 і порівнюємо з експериментальними даними (табл. 7.2). Будуємо графік залежності прогину бочки валка f від навантаження на валок P і наносимо його на рис. 7.2. У даному випадку результати табл. 7.2 і 7.3, а також графіки на рис. 7.2 співпадають.

За допомогою комп'ютерної програми Mathcad будуємо контурний графік, зображений на рис. 7.4. На цьому графіку по горизонтальній осі відкладено значення ширини штаби b (мм), по вертикальній осі – значення навантаження P (кН). На самому графіку зображено зони з однаковою величиною прогину валка f (мм).

Ширина штаби і навантаження задаються студентам викладачем на початку експериментальної частини. Потім визначається параметр “ y ” значення якого заносяться до таблиці, аналогічної табл. 7.1. Виконуються розрахунки, заповнюються таблиці прогину валків і будуються графіки.

Необхідно скласти звіт і зробити висновки.

Таблиця 7.3 – Результати розрахунків за теоретичною формулою прогину валка при різних навантаженнях на нього і при використанні штаби різної ширини

Ширина штаби, мм	Теоретичний прогин валка f (мм) при навантаженнях:				
	$P=10$ кН	$P=20$ кН	$P=30$ кН	$P=40$ кН	$P=50$ кН
10	0,0152	0,0304	0,0456	0,0608	0,0760
20	0,0151	0,0303	0,0454	0,0606	0,0757
30	0,0151	0,0301	0,0452	0,0603	0,0753
40	0,0150	0,0299	0,0449	0,0598	0,0748
50	0,0148	0,0297	0,0445	0,0593	0,0742
60	0,0147	0,0293	0,0440	0,0587	0,0734
70	0,0145	0,0290	0,0435	0,0580	0,0725
80	0,0143	0,0286	0,0429	0,0572	0,0715
90	0,0141	0,0282	0,0422	0,0563	0,0704

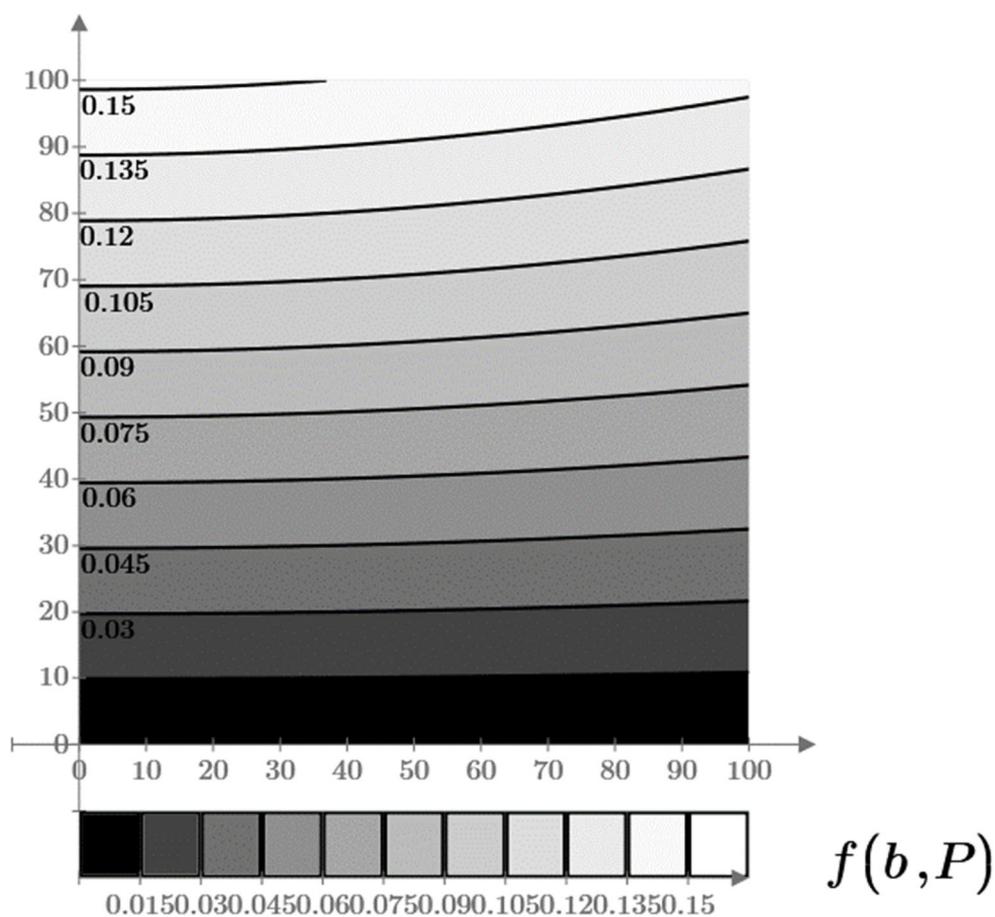


Рисунок 7.4 – Контурний графік залежності прогину валка f (мм) від ширини штаби b (мм) і навантаження P (кН)

Контрольні питання

1. Чим відрізняється штаба від листа?
2. Причини появи поперечної різновшчинності штаб (листів)?;
3. Чим обумовлена нерівномірність деформації штаб (листів)?;
4. Види нерівномірності тиску між валками і штабою;
5. Яким чином впливають різні фактори на прогин валка?
6. Чим обумовлено збільшення прогину валка зі збільшенням зусилля?

Література до лабораторної роботи 7: [2, 5,7]

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов : учебник для вузов. Москва : Металлургия, 1985. 376 с.
2. Ніколаєв В. О. Калібрування прокатних валків : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 158 с.
3. Ніколаєв В. О. Обтискне та сортове виробництво прокату : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 129 с.
4. Николаев В. А. Обработка металлов давлением : сб. лаборат. работ. Запорожье : ЗГИА, 2005. 73 с.
5. Проценко В. М. Калібровка, обтискне та сортове виробництво : метод. вказівки до практичних занять, курсового проекту (роботи) і самостійної роботи для студентів. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 57 с.
6. Чекмарев А. П., Мутьев М. С., Машковцев Р. А. Калибровка прокатных валков : учебник для вузов. Москва : Металлургия, 1971. 512 с.
7. Смирнов В. К., Шилов В. А., Инатович Ю. В. Калибровка прокатных валков : учеб. пособие для вузов. Москва : Металлургия, 1987. 368 с.

Навчально - методичне видання
(українською мовою)

Проценко Віктор Максимович

ОБТИСКНЕ ТА СОРТОВЕ ВИРОБНИЦТВО

Методичні вказівки до лабораторних робіт
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності 136 "Металургія"
освітньо-професійної програми "Металургія"

Рецензент *О .Г. Кириченко*

Відповідальний за випуск *О. В. Явтушенко*

Коректор *В. М. Проценко*