

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

В.М. Проценко, к.т.н., доцент

**КАЛІБРОВКА,
ОБТИСКНЕ ТА СОРТОВЕ ВИРОБНИЦТВО**

**Методичні вказівки до практичних занять, курсового проекту
(роботи) і самостійної роботи**

*для студентів ЗДІА,
що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія»
(спеціалізація «Обробка металів тиском»),
на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти
денної та заочної форм навчання*

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

Запоріжжя
ЗДІА
2018

Відповідальний за випуск: *зав. кафедри ОМТ,
д.т.н., професор О.В. Явтушенко*

Рецензент: *Таратута К.В., к.т.н., доцент ЗДІА*

Проценко В.М.

П 845 Калібрівка, обтискне та сортове виробництво: методичні вказівки до практичних занять, курсового проекту (роботи) і самостійної роботи для студентів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском»), на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти денної та заочної форм навчання / В.М. Проценко. Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2018. – 57 с.

В методичних вказівках наведено методики, алгоритми рішень і приклади задач по основним розділам теорії і технології сортопрокатного виробництва. Викладено теоретичну частину та наведено розрахунки за темами трьох практичних завдань. Методичні вказівки призначені для студентів ЗДІА, що навчаються за спеціальністю 136 «Металургія» (спеціалізація «Обробка металів тиском»), на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти денної та заочної форм навчання.

Зміст

Вступ	4
1 Практичне завдання № 1 - Розрахунок поля допусків при виробництві сортових профілей	5
1.1 Мета завдання	5
1.2 Основні поняття і співвідношення	5
1.3 Методика розрахунку мінімального і робочого поля допусків..	10
1.4 Приклад розрахунку мінімального і робочого поля допусків ...	13
1.5 Варіанти завдань для курсового проекту	14
2 Практичне завдання № 2 - Розрахунок режиму обтиснення і калібрування валків при прокатуванні штабової сталі	17
2.1 Мета завдання	17
2.2 Сортамент прокату	17
2.3 Способи прокатки штабової сталі	18
2.4 Методи розрахунку режиму обтиснень при прокатуванні штабових профілей	21
2.5 Приклад розрахунку калібрування валків для прокатки штабової сталі	31
2.6 Варіанти завдань для курсового проекту	39
3 Практичне завдання № 3 - Калібрування валків при прокатуванні шестигранної сталі	42
3.1 Мета завдання	42
3.2 Сортамент прокату	42
3.3 Схеми прокатки шестигранної сталі	44
3.4 Методика розрахунку режиму обтиснення і калібрування валків для прокатки шестигранної сталі	45
3.5 Приклад розрахунку режиму обтиснення і калібрування валків при прокатуванні шестигранного профіля	50
3.6 Варіанти завдань для курсового проекту	55
4 Структура пояснювальної записки курсового проекту (роботи)	56
5 Перелік рекомендованої літератури	57

ВСТУП

У зв'язку з переходом на дворівневе навчання зростає роль самостійної роботи студентів. Дані методичні вказівки розроблено з дисципліни «Калібрування, обтискне та сортове виробництво» для виконання практичних завдань, курсового проекту (роботи), контрольних робіт і мають на меті набуття студентами навичок самостійної роботи з навчальною і науковою літературою, нормативною документацією, комп'ютерною технікою. В методичних вказівках викладено теоретичну частину та наведено розрахунки за темами трьох практичних завдань.

Практичне завдання «Розрахунок поля допусків при виробництві сортових профілей» має на меті дати студентам навички розрахунку поля допусків залежно від зміни технологічних параметрів і конструктивних особливостей деталей робочої кліти стана, а також навчитися самостійно аналізувати вплив різних чинників на точність прокату, визначати можливість прокатки заданого профілю за високою точністю і встановити в яких випадках доцільно застосування заздалегідь напружених клітей.

По практичному завданню «Розрахунок режиму обтиснень і калібрування валків при прокатуванні штабових профілей» наведено дві методики розрахунку, які дозволяють вибирати їх, виходячи з конкретних умов виробництва.

В практичному завданні «Калібрування валків при прокатуванні шестигранної сталі» наведено методику розрахунку калібрування валків, а також сортамент і схеми прокатки шестигранної сталі, дана їх характеристика.

Усі практичні завдання написано за єдиною схемою: дається сортамент відповідного профілю, наводяться характеристики схеми (способу) його прокатки, приводиться методика його розрахунку та приклад числового розрахунку. Наведено варіанти завдань для виконання групою студентів типових розрахункових проектів (робіт) за однією темою з індивідуальними завданнями за відповідними варіантами.

Практичне завдання № 1

1 РОЗРАХУНОК ПОЛЯ ДОПУСКІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СОРТОВИХ ПРОФІЛЕЙ

1.1 Мета завдання

Отримати практичні навички розрахунку поля допусків залежно від зміни технологічних параметрів і конструктивних особливостей деталей робочої кліті стана, а також навчитися самостійно аналізувати вплив різних чинників на точність прокату, визначати можливість прокатки заданого профілю за високою точністю і встановити в яких випадках доцільно застосування задалегідь напружених клітей.

1.2 Основні поняття і співвідношення

Отримання прокату необхідної форми, точних розмірів і маси, заданого комплексу механічних властивостей є одним з основних напрямів розвитку сучасного прокатного виробництва.

Дослідженнями встановлено, що коливання розмірів прокату мають періодичний, а також наростаючий характер. Періодичні коливання розмірів пов'язані з деформацією робочої кліті стана, яка знаходиться під змінним навантаженням, що змінюється по величині. Основні причини поступово наростаючої зміни розмірів прокату обумовлені зносом робочої поверхні калібру і підшипників. Зміна тиску прокатки, що діє на робочі валки, походить від коливання температури прокатуваного металу, неоднорідності його хімічного складу і структури, відхилення розмірів заготовки, що задається, натягнення штаби між клітьями, кількості одночасно прокатуваних штаб і інших чинників. Повністю усунути коливання тиску прокатки практично неможливо, а, отже, неможливо усунути коливання пружної деформації кліті. Крім того, дійсні розміри профілю, що прокатується, залежать від точності розмірів чистового калібру, правильного врахування ступеня його заповнення,

величини і характеру усадки при охолодженні металу. Значний вплив на точність прокату здійснює і температура прокатних валків.

Передбачені вітчизняними стандартами відхилення від номінальних розмірів - плюсові і мінусові допуски - приводять до помітної перевитрати металу. Так, різниця в масі профілю, прокатуваного на верхній і нижній межах поля допусків звичайної точності прокатки складає для катанки 36 % для кутової сталі 50 x 50 x 5 мм - 31 %, для кола \varnothing 10 мм - 17 %, для кола \varnothing 60 мм - 5,5 % і так далі.

У вітчизняних стандартах прийнято несиметричне розташування поля допусків (табл. 1.1). Плюсовий допуск m менше мінусового n і складає приблизно 40 % від повного поля допусків (рис. 1.1). Виняток становить інструментальна сталь, яку прокатують тільки на плюсовий допуск. При несиметричному розташуванні поля допусків економія металу досягається при прокатуванні на "мінус", коли відбувається зменшення розмірів профілю в порівнянні з номінальним. Проте, при меншому поперечному перетині профілю збільшується робоча напруга в деталях прокатних станів, збільшується їх знос.

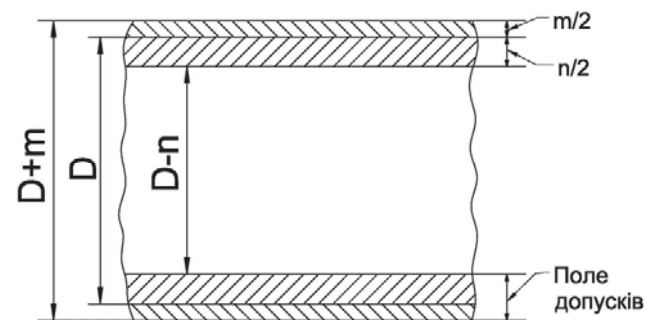


Рисунок 1.1 – Поле допусків

Таблиця 1.1 - Відхилення, що допускаються для круглої дрібносоротної сталі у вітчизняних і зарубіжних стандартах

Діаметр прокату, мм	Відхилення, що допускаються, мм					
	ГОСТ 2590 - 88 ДСТУ 4738:2007 при точності		США	Германія DIN 1013	Швеція SIS 1013	Японія JIS 3104
	звичайній	високій				
5 - 6	+0,3 -0,5	+0,1 -0,2	±0,13	±0,4	±0,3	
6 - 8						
8 - 9						
10 - 11	+0,3 -0,5	+0,1 -0,3	±0,15	±0,5	±0,3	
11 - 15						
15 - 16						
16 - 19	+0,4 -0,5	+0,2 -0,3	±0,18	±0,5	±0,4	
20 - 22						
22 - 25						
26 - 28	+0,4 -0,7	+0,2 -0,5	±0,20	±0,5	±0,4	
28 - 32						
32 - 35						
35 - 38			±0,23			
			±0,26			
			±0,28	±0,6		
			±0,30		±0,5	
			±0,35	±0,6		

У зарубіжних країнах, наприклад, Швеції, Німеччини і США (див. табл. 1.1) застосовують симетричне розташування поля допусків, тобто плюсовою і мінусовою допуск однакові. Економія металу може бути досягнута в результаті звуження загального поля допусків при однакових позитивних і негативних допусках.

Під впливом численних чинників практично неможливо зберегти постійність заданих розмірів калібру, тому кінцеві розміри прокату також не залишаються постійними. Прокатку профілю в межах відхилень, що допускаються, проводять, періодично підстроюючи кліть. Час роботи кліті без піднастройки обмежується інтенсивністю зміни розмірів калібру.

Для непрацюючої кліті висота калібру K визначається розмірами струмків і величиною зазору між валками [1].

$$K = h_{p1} + h_{p2} + S + H_{с.к.} \quad (1.1)$$

де K – установочна величина висоти калібру, мм;

$h_{p1} + h_{p2}$ – фактична глибина верхнього і нижнього струмків з урахуванням допусків на розточку, мм;

S – зазор між валками з урахуванням люфтів між деталями, що торкаються, мм;

$H_{с.к.}$ – середньоквадратичне відхилення нерівностей поверхні калібру, мм.

Для точених валків чистових клітей $H_{с.к.} = 1,6 \div 12,5$ мкм.

У міру зносу калібру його поверхня стає шорсткішою, і нерівності досягають $12,5 \div 100$ мкм.

Під час роботи стану глибина і конфігурація струмків схильні до постійної зміни, яка є наслідком нерівномірного зносу. Крім того, відбувається знос підшипників і деформація деталей кліті стану, а також биття валків і термічне розширення валків. Висота калібру у поточний момент роботи стану дорівнює [1]:

$$K_p = K + f_k + \Delta h_1 + \Delta h_k + \Delta h_{\Pi} + C \quad (1.2)$$

де K — установочна висота калібру, мм;

f_k - пружна деформація кліті, мм;

Δh_1 - зміна висоти калібру із-за нагріву валків, мм;

Δh_k - знос калібру по висоті, мм;

Δh_{Π} - знос підшипників і інших деталей кліті, мм;

C - зміна висоти калібру, викликана радіальним биттям валків, мм.

Зміна висоти калібру внаслідок зносу струмків, підшипників і навантажених деталей кліті відбувається рівномірно. Биття валків і нерівномірна деформація кліті на початку і в кінці прокатки штаби викликає періодичні коливання розмірів калібру.

В ході роботи стана температура робочих валків збільшується, що викликає зменшення висоти калібру. При нормальній роботі стана (без тривалих пауз) забезпечується певна температура валків, і висота калібру не міняється.

Для розрахунку граничних відхилень розмірів прокату слід знайти мінімальне поле допусків профілю, враховуючи технологію прокатки і конструктивні особливості клітей [2].

Мінімально можливим полем допусків будемо називати таке поле, величина якого дорівнює алгебраїчній сумі погрешностей висоти калібру при прокатуванні однієї штаби. Позначимо мінімальне можливе поле допусків:

$$\delta_{min} = m' + n' \quad (1.3)$$

де m' і n' – відповідно абсолютні значення найменшого плюсового і найменшого мінусового допусків, мм.

Робочим полем допусків буде таке поле, яке забезпечує стійку роботу клітей на протязі 1 год без її піднастройки. Позначимо робоче поле допусків:

$$\delta_{раб} = m + n \quad (1.4)$$

де m і n – абсолютні значення плюсового і мінусового допуску, мм.

З іншого боку

$$\delta_{раб} = k + \delta_{min} \quad (1.5)$$

де k - коефіцієнт, залежний від ступеня досконалості стана і особливостей технологічного процесу.

Для визначення мінімально можливого поля допусків знайдемо змінення первісної висоти калібру

$$\delta_K = K_R - K \quad (1.6)$$

З урахуванням (1.2) отримаємо

$$\delta_K = f_k + \Delta h_1 + \Delta h_k + \Delta h_{II} + C \quad (1.7)$$

За час прокатки однієї штаби змінюється пружна деформація кліті і під дією биття валків і температурного клину між переднім і заднім кінцями штаби виникає періодична різновтовщинність по довжині розкату, тобто поздовжня різновтовщинність.

В той же час відбувається знос калібрів і деталей кліті і термічне розширення валків, але при прокатуванні штаби за один прохід ними можна

нехтувати зважаючи на їх невелике значення. В цьому випадку зміна висоти калібру буде мінімальною, тобто:

$$\delta_{min} = \Delta f_k + C \quad (1.8)$$

де Δf_k – зміна пружної деформації кліті, мм.

З рівняння (1.8) слідує, що стукання валків здійснює істотний вплив на точність прокатки. Тому підвищення жорсткості робочої кліті при значних величинах стукання валків недоцільно.

Робоче поле допусків, що забезпечує роботу стану без піднастройки на протязі 1 години дорівнює:

$$\delta_{раб} = \delta_{min} + \Delta h_1 + \Delta h_k + \Delta h_{II} \quad (1.9)$$

Розділивши праву і ліву частину рівняння (1.9) на δ_{min} , отримаємо:

$$K = 1 + \frac{\Delta h_1 + \Delta h_k + \Delta h_{II}}{\delta_{min}} \quad (1.10)$$

З виразу (1.10) виходить, що коефіцієнт K завжди більше одиниці.

1.3 Методика розрахунку мінімального і робочого поля допусків

1. Визначаємо зміну пружної деформації кліті, яка дорівнює різниці пружних деформацій в кінці і почату прокатки штаби:

$$\Delta f_k = \frac{P_{max} - P_{min}}{M} \quad (1.11)$$

де P_{max} і P_{min} – відповідно максимальне і мінімальне зусилля прокатки для заднього і переднього кінців штаби, кН;

M - модуль жорсткості кліті, кН/мм.

2. Розраховуємо максимальну зміну висоти калібру від радіального биття. При установці робочих валків відносно один одного довільно, величина змінення висоти калібру, викликана радіальним биттям валків, знаходитиметься в межах від $\Delta C_2 - \Delta C_1$ до $\Delta C_2 + \Delta C_1$. Максимальна зміна висоти калібру від радіального биття валків складе

$$\Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2 \quad (1.12)$$

де ΔC_1 – биття верхнього валка, мм;

ΔC_2 - биття нижнього валка, мм.

3. Визначимо мінімальне поле допусків по формулі (1.8) з урахуванням (1.11) і (1.12).

4. Розраховуємо зміну висоти калібру, викликану нагріванням валків:

$$\Delta h_t = \alpha \cdot (d_k \cdot \Delta t_1 + d_{ш} \cdot \Delta t_2) \quad (1.13)$$

де d_k – діаметр бочки валка по дну калібру, мм;

$d_{ш}$ – діаметр шийки валка, мм;

α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу валків (див. табл. 1.2);

Δt_1 і Δt_2 – зміна температури бочки і шийки валка відповідно.

5. Визначаємо по формулі (1.9) робоче поле допусків, що забезпечує роботу кліті протягом 1 години без піднастройки стана.

6. Знаходимо плюсовий і мінусовий допуски і порівнюємо з відхиленнями (див. табл. 1.3 - 1.5), по відповідному ДСТУ визначаємо групу точності прокату і можливість отримання точних розмірів профілю.

Таблиця 1.2 - Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу валків

Матеріал	Коефіцієнт ($\times 10^{-6}$), 1/°C
Чавун СП62	10,0
Чавун СПЧН65	11,0
Сталь 40ХН	11,8
Твердий сплав ВК15	5,3

Таблиця 1.3 - Граничні відхилення для сталюї штаби по ГОСТ 103-2006 (ДСТУ 4747:2007)

Матеріал	Коефіцієнт ($\times 10^{-6}$), 1/°C
4 - 6	+0,3 -0,5
$\geq 6 - 16$	+0,2 -0,5
$\geq 16 - 25$	+0,2 -0,8
$\geq 25 - 32$	+0,2 -1,2
36, 40	+0,2 -1,6
45, 50	+0,3 -2,0
$\geq 50 - 60$	+0,3 -2,4

Таблиця 1.4 - Граничні відхилення для фасонних профілей

Вид прокату	Коефіцієнт ($\times 10^{-6}$), 1/°C
Номер балок двотаврових ГОСТ 8239-89	
до 14	$\pm 2,0$
$\geq 14 - 18$	$\pm 2,5$
$\geq 18 - 30$	$\pm 3,0$
$\geq 30 - 40$	$\pm 3,5$
$\geq 40 - 60$	$\pm 4,0$
Номер швелерів ГОСТ 8240-89	
до 8	$\pm 1,5$
$\geq 8 - 14$	$\pm 2,0$
$\geq 14 - 18$	$\pm 2,5$
$\geq 18 - 30$	$\pm 3,0$
$\geq 30 - 40$	$\pm 3,5$

Таблиця 1.5 - Граничні відхилення профілю по товщині полки звичайної точності (група Б)

Номер кутового профілю рівнополочного по ГОСТ 8509 86 і нерівнополочного по ГОСТ 8910 86	Товщина полки, мм		
	≤ 6	6,5 - 9	≥ 10
2 – 4,5, 2,5/1,6 – 5/3,2	+0,3 -0,4	-	-
5 – 9, 5,6/3,6 – 9/5,6	+0,3 -0,5	+0,3 -0,6	-
10 - 14	-	+0,4 -0,6	+0,4 -0,7
10/6,3 – 16/10	+0,4 -0,5	+0,4 -0,6	+0,4 -0,7
16 – 20, 18/11 – 20/12,5	-	-	+0,5 -0,8
22 – 25, 25/16	-	-	+0,5 -0,9

1.4 Приклад розрахунку мінімального і робочого поля допусків

Розраховуємо мінімальне робоче поле допусків для кутового профілю 32×32×4 із сталі Ст3, що прокатується на стані 280. Температура прокатки переднього кінця штаби в чистовій клітці стана 1050 °С, заднього кінця штаби 980 °С. Радіальне биття верхнього валка $\Delta C_1=0,03$ мм, нижнього валка $\Delta C_2=0,06$ мм. Зношення калібрів $\Delta h_k = 0,025$ мм/год, зношення текстолітових підшипників $\Delta h_{\Pi} = 0,03$ мм/год. Розрахункове зусилля прокатки складає для переднього кінця штаби $P_{\min} = 255$ кН, для заднього кінця штаби - $P_{\max} = 314$ кН. Модуль жорсткості клітці $M = 530$ кН/мм. Діаметр шийки чавунного валка $d_{\text{ш}} = 150$ мм, катаючий діаметр бочки валка $d_k = 300$ мм. Змінення температури шийки і бочки валка відповідно дорівнює $\Delta t_2 = 15$ °С, $\Delta t_1 = 20$ °С.

Рішення

1. По формулі (1.11) визначаємо змінення пружної деформації клітці:

$$\Delta f_k = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{M} = \frac{314 - 255}{530} = 0,111 \text{ мм.}$$

2. Змінення висоти калібра від радіального биття валків становить відповідно до формули 1.12:

$$\Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2 = 0,03 + 0,06 = 0,09 \text{ мм.}$$

3. Мінімальне поле допусків відповідно до формули 1.8 буде:

$$\delta_{\min} = \Delta f_k + C = 0,111 + 0,09 = 0,201 \text{ мм.}$$

4. Змінення висоти калібра, викликане нагріванням валків, визначаємо за формулою 1.13

$$\begin{aligned} \Delta h_t &= \alpha \cdot (d_k \cdot \Delta t_1 + d_{\text{ш}} \cdot \Delta t_2) = 0,0000104 \cdot (300 \cdot 20 + 150 \cdot 15) \\ &= 0,0858 \text{ мм.} \end{aligned}$$

5. Робоче поле допусків розраховуємо по формулі 1.9:

$$\delta_{\text{раб}} = \delta_{\min} + \Delta h_t + \Delta h_k + \Delta h_{\Pi} = 0,201 + 0,0858 + 0,025 + 0,03 = 0,34 \text{ мм.}$$

6. Оскільки плюсовий допуск складає приблизно 40 %, а мінусовий допуск 60 % від робочого поля допусків, то використовуючи формулу 1.4 отримаємо:

$$m = 0,4 \cdot \delta_{\text{раб}} = +0,14 \text{ мм; } n = 0,6 \cdot \delta_{\text{раб}} = -0,21 \text{ мм.}$$

Відхилення розмірів, що допускаються відповідно до ГОСТ 8509-86 складає від +0,3 до -0,4 мм при звичайній точності (група Б).

Розрахунок за наведеною методикою дозволяє визначити можливість прокатки кутової сталі з високою точністю від +0,2 до -0,3 мм (група А) і встановити, в яких випадках доцільно підвищення жорсткості прокатних клітей, оскільки з підвищенням модуля жорсткості клітей зменшується пружна деформація клітці.

1.5 Варіанти завдань для курсового проекту

Розрахувати мінімальне і робоче поле допусків при прокатуванні профілю по варіанту, наведеному у табл. 1.6.

Визначити плюсовий і мінусовий допуск на прокатку і порівняти їх з вимогами по відповідному ГОСТу (ДСТУ) (див. табл. 1.1 – 1.5). Зробити висновки про точність профілю, що прокатується.

Таблиця 1.6 – Вихідні дані для розрахунку мінімального і робочого поля допусків

Варіант	P_{max} , кН	P_{min} , кН	M , кН/мм	ΔC_1 , мм	ΔC_2 , мм	d_k , мм	$d_{ш}$, мм	Δt_1 , °C	Δt_2 , °C	Δh_k , мм/год	$\Delta h_{ш}$, мм/год	Стан	Форма і розмір про- філю, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Приклад	314	255	530	0,03	0,06	300	150	20	15	0,025	0,03	280	уголок 32x32x4
1	314	255	700	0,03	0,06	300	150	20	15	0,026	0,03	300	уголок 32x32x5
2	120	80	420	0,02	0,05	260	130	22	18	0,03	0,03	260	коло Ø14
3	200	120	430	0,03	0,06	260	130	23	17	0,028	0,03	260	штаба 36x5
4	1190	970	1000	0,05	0,08	550	220	20	16	0,05	0,03	550	балка 10
5	2000	1570	900	0,06	0,09	550	220	22	18	0,06	0,03	550	швелер 12
6	60	40	620	0,03	0,06	280	140	24	16	0,03	0,03	280	квадрат 16
7	380	340	900	0,04	0,06	350	180	20	16	0,03	0,03	350	коло Ø32
8	90	50	400	0,02	0,05	250	120	26	18	0,02	0,03	250	коло Ø16
9	390	350	950	0,03	0,06	350	170	20	15	0,03	0,03	350	квадрат 40
10	20	10	350	0,02	0,04	250	120	22	16	0,04	0,03	250	катанка 6
11	316	257	720	0,03	0,06	300	150	22	16	0,025	0,03	300	уголок 32x32x5

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
12	125	85	425	0,02	0,05	260	130	20	16	0,03	0,03	260	коло Ø14
13	210	130	435	0,03	0,06	260	130	22	18	0,03	0,028	260	штаба 36x5
14	1180	960	990	0,05	0,08	550	220	22	18	0,05	0,03	550	балка 10
15	1980	1550	890	0,06	0,09	550	220	24	20	0,06	0,03	550	швелер 12
16	65	45	625	0,03	0,06	280	140	22	18	0,03	0,03	280	квадрат 16
17	385	345	910	0,04	0,06	350	185	24	18	0,03	0,03	350	коло Ø32
18	95	55	400	0,02	0,05	250	125	24	20	0,02	0,03	250	коло Ø16
19	395	355	955	0,03	0,06	355	175	20	16	0,03	0,03	350	квадрат 40
20	25	15	355	0,02	0,04	250	125	20	15	0,04	0,03	250	катанка 6
21	310	250	535	0,03	0,06	300	150	21	16	0,025	0,03	280	уголок 32x32x4
22	324	255	720	0,03	0,06	300	150	22	17	0,036	0,032	300	уголок 32x32x5
23	130	90	425	0,02	0,05	260	125	20	17	0,03	0,031	260	коло Ø14
24	205	125	435	0,03	0,06	260	135	22	19	0,026	0,03	260	штаба 36x5
25	1185	965	1010	0,05	0,08	550	225	19	16	0,05	0,03	550	балка 10

Практичне завдання № 2

2 РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ ОБТИСНЕННЯ І КАЛІБРОВКИ ВАЛКІВ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ШТАБОВОЇ СТАЛІ

2.1 Мета завдання

Засвоїти сучасні методики розрахунку режиму обтиснень і калібровки валків при прокатуванні штабових профілей.

2.2 Сортамент прокату

Штаба сталеві по ГОСТ 103-2006 (ДСТУ 4747:2007) прокатується на сортових і штрипсових станах шириною від 11 до 200 мм і завтовшки від 4 до 60 мм (табл. 2.1). По точності штаба виготовляється: А - підвищеної точності, Б - нормальної точності.

Залежно від серповидності штаби виготовляють двох класів: клас 1 - серповидність штаби 0,2 % довжини, клас 2 - серповидність штаби 0,5 % довжини. Штаби виготовляють завдовжки 1 - 10 м з вуглецевої сталі звичайної якості, а також низьколегованої і 2 - 6 м - з вуглецевої якісної і легованої сталі. За угодою виробника і споживача штаби можуть поставлятися в рулонах. Штабову сталь з інструментальних сталей прокатують на сортових станах по ГОСТ 4405-75 (табл. 2.2).

Штаби повинні бути з гострими кромками. Граничні відхилення передбачені тільки плюсові. Допускається бочкоподібність вузької грані, що не приводить розмір по ширині за граничне відхилення, або угнутість вузької грані, що не приводить розмір по ширині за границі номінального розміру.

Штаби зі швидкоріжучої сталі поставляють довжиною 1,5 – 6 м. Серповидність штаб не повинна перевищувати 0,5 % довжини. Ромбічність штаби не повинна перевищувати граничних відхилень на ширину.

Таблиця 2.1 - Граничні відхилення розмірів штабових профілей по ГОСТ 103-2006 (ДСТУ 4747:2007)

Товщина штаби, мм	Граничні відхилення по товщині штаби, мм		Ширина штаби, мм	Граничні відхилення по ширині штаби, мм	
	підвищеної точності	нормальної точності		підвищеної точності	нормальної точності
4 - 6	+0,2 -0,3	+0,3 -0,5	11 - 60	+0,3 -0,9	+0,3 -1,0
≥ 6 - 16	+0,2 -0,4	+0,2 -0,5	63; 65	+0,3 -1,1	+0,5 -1,3
≥ 16 - 25	+0,2 -0,6	+0,2 -0,8	70; 75	+0,3 -1,3	+0,5 -1,4
≥ 25 - 32	+0,2 -0,7	+0,2 -1,2	80; 85	+0,5 -1,4	+0,7 -1,6
36 - 40	+0,2 -1,0	+0,2 -1,6	90; 95	+0,6 -1,6	+0,9 -1,8
45 - 50	+0,2 -1,0	+0,3 -2,0	100; 105	+0,7 -1,8	+1,0 -2,0
≥ 50 - 60	+0,2 -1,8	+0,3 -2,4	110	+0,8 -2,0	+1,0 -2,2
			120; 125	+0,9 -2,2	+1,1 -2,4
			130; 150	+1,0 -2,4	+1,2 -2,8
			≥ 150 - 180	+1,2 -2,5	+1,4 -3,2
			≥ 180 - 200	+1,4 -2,8	+1,7 -4,0

Крім того, на штрипсових і сортових станах прокатують штабу сталеву гарячекатану по ГОСТ 6009-2006 (з катаною кромкою) 20 – 220 мм завширшки, товщиною 1,5 – 5 мм; прокатують також штрипси (трубні заготовки з катаною кромкою) по ТУ і штабові ресори по ГОСТ 7419-90.

2.3 Способи прокатки штабової сталі

Штабову сталь прокатують на лінійних і безперервних сортових, а також на штрипсових станах. Застосовують наступні способи прокатки штабової сталі:

Таблиця 2.2 - Граничні відхилення (плюсові) розмірів штабових профілей з інструментальних сталей по ГОСТ 4405-75

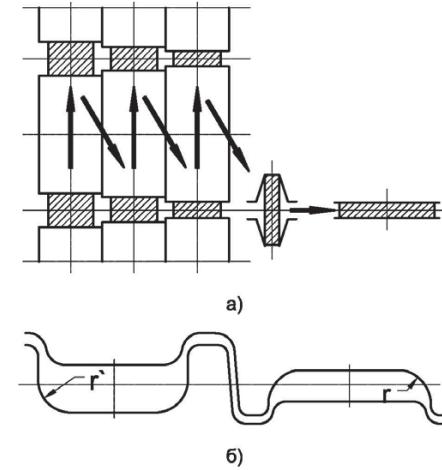
Товщина, мм	Граничні відхилення, мм	Ширина, мм	Граничні відхилення, мм
3; 4	0,4	10; 12; 14; 15	0,8
5; 6; 7; 8; 9	0,5	16; 18; 20; 22	1,0
10; 12; 14	0,6	25; 27; 28; 30	1,3
16; 18; 20	0,8	32; 34; 38	1,8
22; 24; 25	1,0	40; 42; 45; 47; 50; 55	2,0
30	1,2	60	2,2
40	1,8	65; 70	2,6
		75; 80	2,8
		90	3,0
		100	3,2
		120	3,5
		130	3,7
		135; 140	4,0
		150; 160	4,5
		170	4,6
		180	4,8
		200; 220	5,0
		300	7,0

На лінійних сортових станах:

- на ступінчатих валках (рис. 2.1 а) шириною штаб до 80 мм з використанням предчистового ребрового калібру (рис. 2.2) для обтиснення розкату по ширині (звичайно для квадратної вихідної заготовки);
- в системі закритих прямокутних калібрів (рис. 2.1 б) штаб шириною більш 80 мм і малою товщиною (з прямокутної вихідної заготовки);
- при поєднанні прокатки в системі витяжних калібрів на гладких валках і в ребрових калібрах (рис. 2.3) з квадратних заготовок.

На неперервних сортових станах: з використанням клітей з горизонтальними і вертикальними валками з прямокутної заготовки (рис. 2.4).

Сучасним способом прокатки штабових профілей є останній.



а – на ступінчатих валках; б – в системі закритих калібрів
Рисунок 2.1 – Способи прокатки сортових профілей

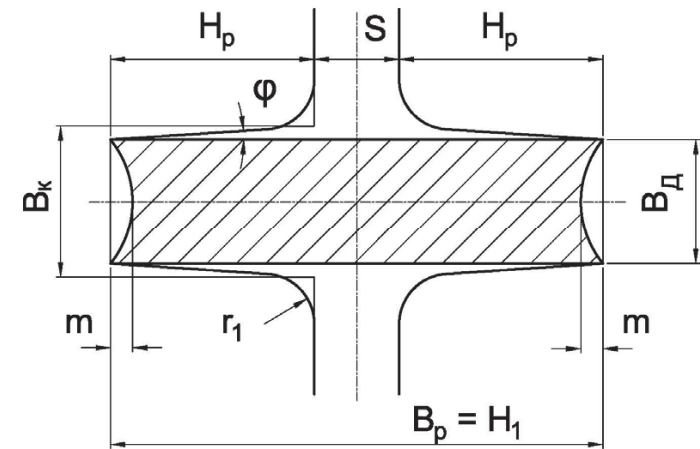


Рисунок 2.2 – Конструкція ребрового калібру для прокатування штабової сталі

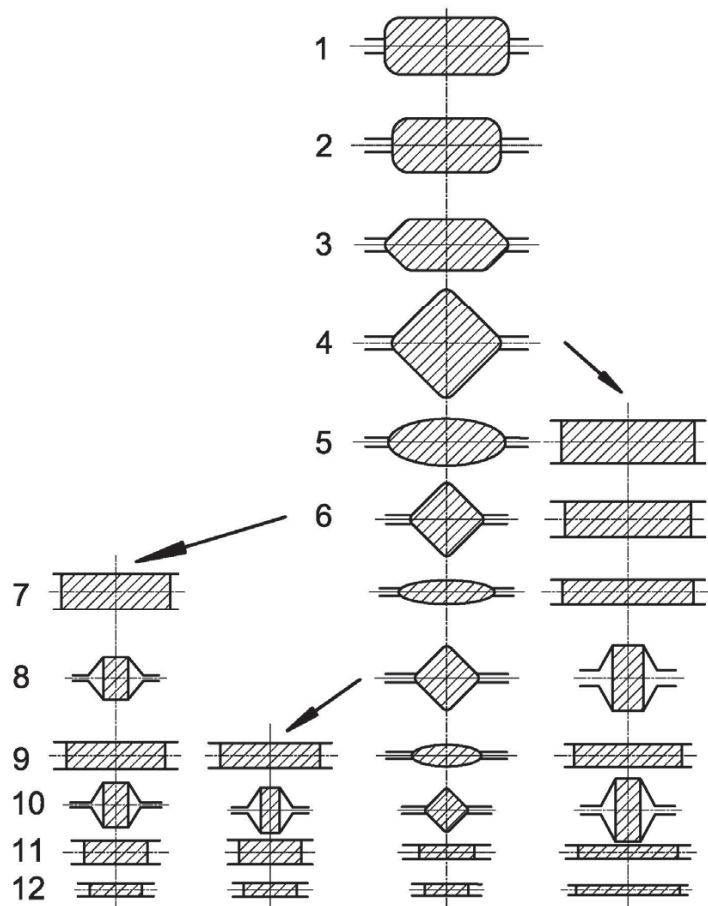


Рисунок 2.3 – Прокатка штабової сталі на лінійних сортових станах при поєднанні витяжних калібрів гладких валків і ребрових калібрів

2.4 Методи розрахунку режиму обтиснень при прокатуванні штабових профілей

Існує декілька методів розрахунку режиму обтиснень і калібрування валків при прокатуванні штабових профілей [3 - 6 тощо].

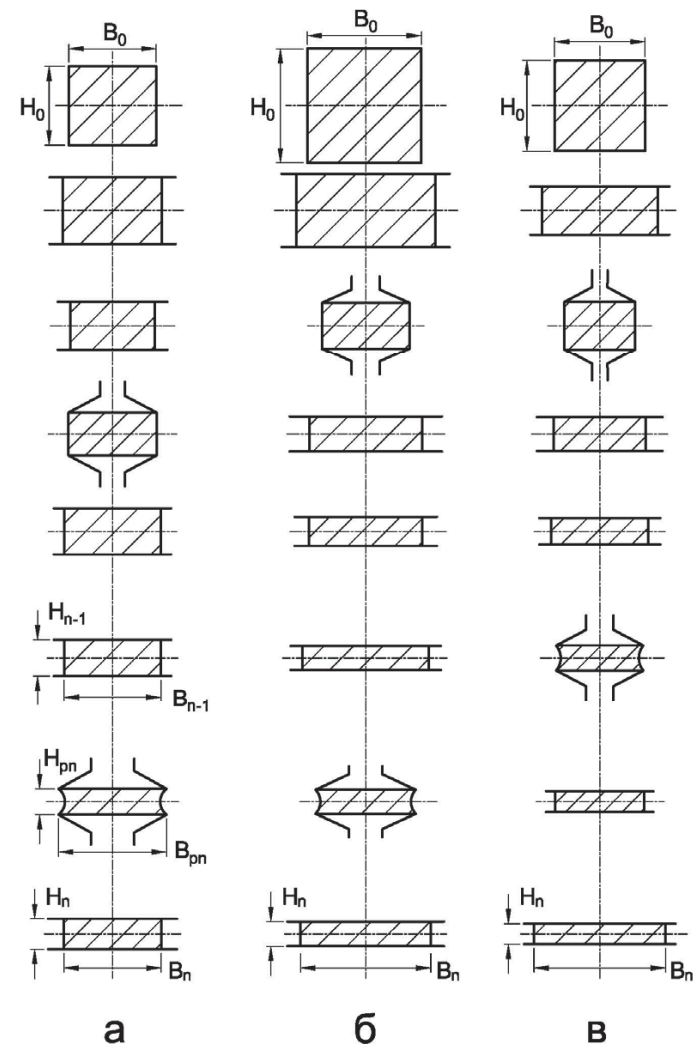


Рисунок 2.4 – Типові схеми прокатки штабової сталі на неперервних станах

Для розрахунку режиму обтиснень необхідно знати розмір готового штабового профілю H_n , B_n , граничні відхилення по висоті і ширині штаби, розмір заготовки, тип стана і його характеристика (розташування клітей, тип клітей, число клітей, номінальний діаметр валків по клітях, довжина їх бочки і шийки, матеріал валків, тип підшипників, тип приводу клітей, потужність двигуна, частота обертання валків, передаточне число редукторів, тощо), марка сталі, температура заготовки.

Розрахунок виконується по методиці В.К. Смирнова та ін. [3, с. 165-172].

1. Визначаємо розміри готового штабового профілю в гарячому стані:

$$B_n = (B - (0,5 \div 0,8) \cdot \Delta^-) \cdot (1,011 \div 1,013), \quad (2.1)$$

$$H_n = (H - (0,5 \div 0,8) \cdot \Delta^-) \cdot (1,011 \div 1,013), \quad (2.2)$$

де Δ^- - мінусовий допуск, мм.

Розрахунок ведемо проти ходу прокатки, тобто виходячи з кінцевих розмірів готового штабового профілю.

2. Визначаємо відношення осей C_n готового профілю:

$$C_n = \frac{B_n}{H_n}, \quad (2.3)$$

3. Знаходимо загальний коефіцієнт обтиснення $\lambda_{об}$ при прокатуванні на гладких валках

$$\lambda_{об} = 0,445 + 0,787 \cdot C_n, \quad (2.4)$$

Якщо в початковій інформації задані розміри перетину заготовки висота H_0 і ширина B_0 , то

$$\lambda_{об} = H_0/H_n, \quad (2.5)$$

4. Розраховуємо число проходів n_r на гладкій бочці

$$n_r = 2,319 \cdot C_n^{0,413}, \quad (2.6)$$

Чисто проходів округляється до цілого числа.

5. Розраховуємо середній коефіцієнт обтиснення на гладкій бочці

$$\lambda_{ср} = \lambda_{об}^{1/n_r}, \quad (2.7)$$

6. На підставі дослідних даних (рис. 2.5) розподіляємо загальний коефіцієнт обтиснення по проходах при прокатуванні на гладкій бочці. При цьому мінімальне значення окремого обтиснення λ_{min} у чистовому і передчистовому проходах приймають $\lambda_{min} = 1,15 \div 1,20$, а максимальне λ_{max} - виходячи з допустимих умов захвату металу валками α по формулі

$$\lambda_{max} = 1 + 2 \cdot D \cdot \sin^2(\alpha/2), \quad (2.8)$$

де $\alpha - \arctg(f)$; $f = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot (1,05 - 0,0005 \cdot t)$; t - температура $^{\circ}C$; (2.9)

k_1 - для чавунних валків 0,8; для сталевих валків 1,0;

$k_2 = 1$ при швидкості прокатки $V \leq 2$ м/с, або $0,4 + 0,6 \cdot e^{-0,2(V-2)}$ при $V > 2$ м/с.

k_3 - для вуглецевих, інструментальних і легованих сталей 1,1 - 1,6.

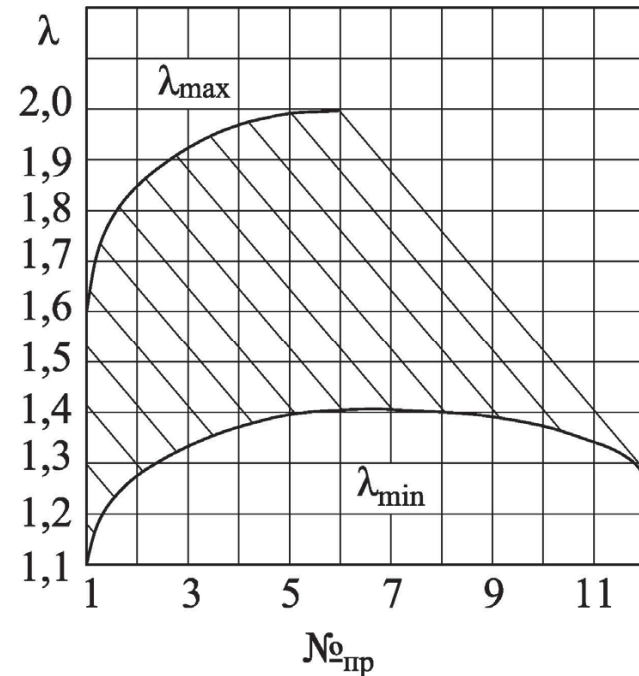


Рисунок 2.5 – Змінення коефіцієнта обтиснення по проходах при прокатуванні штабової сталі на гладких валках

Допустимий кут захвату в даному випадку α в радіанах $\alpha_{\text{рад}} = \alpha^\circ/57,3$.

Значення λ_{max} і λ_{min} можна також розраховувати за формулами:

$$\lambda_{\text{max}} = 1 + 0,658 \cdot N_{\text{пр}}^{0,244}, \quad (2.10)$$

$$\lambda_{\text{min}} = 1 + 0,161 \cdot N_{\text{пр}}^{0,383}, \quad (2.11)$$

де $N_{\text{пр}}$ - номер проходу на гладкій бочці проти ходу прокатки. Номер проходу на гладкій бочці знайдемо по формулі

$$N_{\text{пр}} = n_r + 1 - i \quad (\text{де } i = 1, 2, 3 \dots, n_r), \quad (2.12)$$

7. При розподілі коефіцієнтів деформації по проходах на гладкій бочці λ_r з використанням графіка (рис. 2.5) або формул (2.10) - (2.12) необхідно перевірити виконання рівності

$$\lambda_{\text{об}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \dots \lambda_{n_r} = \prod_{i=1}^{n_r} \lambda_i, \quad (2.13)$$

При неув'язці лівої і правої частин рівняння (2.13) коректують окремі коефіцієнти обтиснення λ_i .

8. Визначаємо висоту штаби по проходах і абсолютне обтиснення в кожному проході при прокатуванні на гладкій бочці. При цьому враховуємо, що товщина штаби в гарячому стані в чистовому проході вже визначена - це $H_n = H_1$. Тоді:

$$H_2 = \lambda_1 \cdot H_1, \quad H_3 = \lambda_2 \cdot H_2, \quad \text{і т.д.} \quad (2.14)$$

$$\text{Висота заготовки } H_0 = \lambda_{n_r} \cdot H_{n_r}.$$

Тепер визначимо абсолютні обтиснення по проходах:

$$\Delta H_1 = H_2 - H_1, \quad \Delta H_2 = H_3 - H_2, \quad \text{і т.д.} \quad (2.15)$$

9. Розраховуємо розширення по проходах і ширину штаб при прокатуванні на гладкій бочці по формулі Б.П. Бахтінова:

$$\Delta B_i = 1,15 \cdot \frac{\Delta H_i}{H_{i-1}} \cdot \left(\sqrt{R_i \cdot \Delta H_i} - \frac{\Delta H_i}{2f_i} \right) \quad (2.16)$$

або за формулою Зібеля

$$\Delta B_i = (0,3 \div 0,4) \cdot \frac{\Delta H_i}{H_{i+1}} \cdot \sqrt{R_i \cdot \Delta H_i} \quad (2.17)$$

де R_i – радіус валків.

10. Визначаємо сумарне розширення у всіх проходах на гладкій бочці

$$\Delta B_\Sigma = \sum_{i=1}^{n_r} \Delta B_i \quad (2.18)$$

11. Знаходимо сумарне обтиснення в ребрових проходах:

$$\sum_{j=1}^{n_p} \Delta h_{pj} = B_0 + \Delta B_\Sigma - B_n \quad (2.19)$$

де B_0 - ширина заготовки; при використанні квадратної заготовки $B_0 = H_0$, а при використанні прямокутної $B_0 = (0,99 - 0,985) \cdot B_n$.

12. Визначаємо середнє обтиснення в ребрових проходах [3]:

$$\Delta h_{\text{pc}} = (0,3 \div 1) \cdot \Delta h_{\text{rc}} \quad (2.20)$$

де Δh_{rc} – середнє обтиснення на гладкій бочці валків:

$$\Delta h_{\text{rc}} = \frac{H_0 - H_n}{n_r} \quad (2.21)$$

13. Розраховуємо число ребрових проходів:

$$n_p = \frac{\sum_{j=1}^{n_p} \Delta h_{pj}}{\Delta h_{\text{pc}}} \quad (2.22)$$

14. Розподіляємо конкретні обтиснення в ребрових проходах, враховуючи, що коефіцієнт обтиснення в ребрових проходах дорівнює 1,03 - 1,20. Для передчистового ребрового проходу

$$\Delta h_p = (0,5 \div 0,75) \cdot \Delta h_{\text{pc}} \quad (2.23)$$

15. Після цього складаємо схему прокатки, наприклад, на неперервному (рис. 2.4), або лінійному стані (рис. 2.3).

16. З урахуванням знайдених ΔB_i і Δh_{pi} , просуваючись проти ходу прокатки, розрахуємо:

а) ширину штаби в ребрових проходах

$$B_{pi} = B_{ri} - \Delta B_i \quad (2.24)$$

Висоту штаби в ребрових проходах приймають рівною висоті штаби в подальшому проти напрямку прокатки проході на гладкій бочці $H_{pi} = H_{ri+1}$;

б) ширину штаби на подальших проходах на гладкій бочці

$$B_{ri} = B_{rj} + \Delta h_{pj} \quad (2.25)$$

в) площі поперечних перетинів штаб

$$F_i = H_i \cdot B_i \quad (2.26)$$

і коефіцієнти витяжки

$$\mu_i = F_{i-1}/F_i \quad (2.27)$$

г) кути захвату при прокатуванні на гладкій бочці і ребрових проходах:

на гладкій бочці

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_f}{D_H}\right) \quad (2.28)$$

де D_H – діаметр валків;

для ребрових проходів

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_p}{D_K}\right)$$

де $D_K = D_H - B_p$.

17. Після цього складаємо режим деформації у вигляді таблиці (табл. 2.3) і перевіряємо можливість його реалізації за умовами захвату штаби валками по формулі 2.8 і $[\alpha]$ по рис. 2.6 і по енергосиловим параметрам. У разі невиконання однієї з умов проводять відповідне коректування режиму деформації.

18. Отримавши проміжну квадратну заготовку, далі розраховуємо витяжну систему калібрів в наступних клітках сортового стану.

19. Конструюємо реброві калібри (рис. 2.2) і калібри витяжної системи.

При конструюванні ребрового калібра приймемо ширину калібра по дну (див. рис. 2.2).

$$b_k = (0,98 \div 1,05) \cdot H_{i+1} \quad (2.29)$$

де H_{i+1} - товщина штаби, що задається.

Випуск приймаємо $\varphi = 5 - 10 \%$. Дно струмка має опуклість $m = 0,5-1,0$ мм. Ширину калібра розраховуємо по формулі

$$B_k = b_k + tg\varphi, \text{ де } tg\varphi = (0,5 - 0,1) \cdot h_p. \quad (2.30)$$

Таблиця 2.3 – Режим деформації при прокатуванні штабового профілю

Номер проходу	іг	jр	№ кліги	λ	Розмір штаби,		ΔН, мм	ΔВ, мм	F, мм ²	μ	α, град
					Н	В					
0	заготовка										
5											
4											
		1									
3											
		2									
2											
		3									
1											

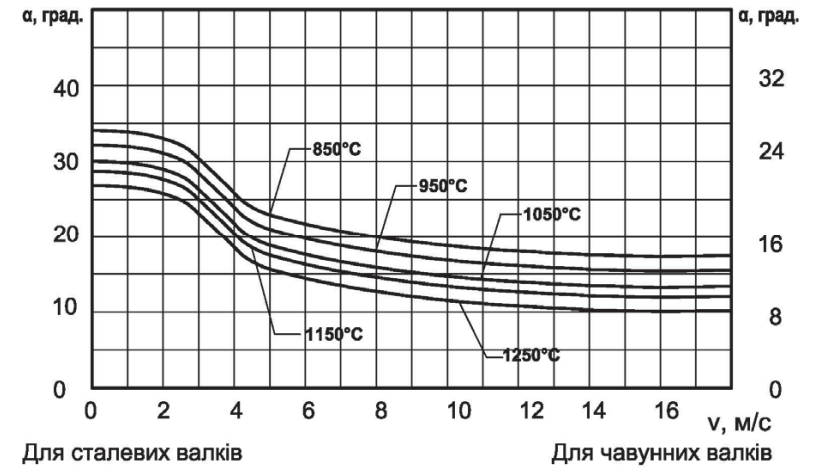


Рисунок 2.6 – Залежність кута захвату від швидкості прокатки і температури

Глибину струмка H_p визначаємо по формулі

$$h_p = H_k - \frac{S}{2}, \quad (2.31)$$

де S – зазор між валками; $S = (0,02 - 0,05) \cdot D_H$ (2.32)

Радіус закруглення по буртам $R = 2 - 10$ мм (2.33)

Існує і інший спосіб розрахунку режиму обтиснень і калібрування валків для прокатки штабової сталі на сортових станах [4, с. 272 - 277]:

1. На підставі вихідних даних приймаємо схему прокатки штабової сталі на гладких валках із застосуванням одного - двох ребрових калібрів, наприклад, див. рис. 2.3. або рис. 2.4.

2. Розраховуємо розміри H_n і B_n штабової сталі в гарячому стані з урахуванням частини мінусового поля допусків по формулам (2.1) і (2.2).

3. З урахуванням характеристики стана, марки сталі і розміру штаби приймаємо по даним табл. 2.4 режим обтиснення при прокатуванні на гладких валках.

4. Визначаємо товщину штаби, що задається для чистового калібра.

$$H_p = \lambda \cdot H_{п1}. \quad (2.34)$$

5. Розраховуємо обтиснення в чистовому проході

$$\Delta H_1 = b_k - H_{п1}. \quad (2.35)$$

6. Розширення ΔB в чистовому проході (на гладкій бочці) визначаємо по формулі (2.16) або (2.17).

7. Ширина штаби, що задається для чистового проходу

$$H_K = B_{п1} - \Delta B_1. \quad (2.36)$$

8. Обтиснення в передчистовому ребровому проході

$$\Delta H_p = (0,5 \div 0,8) \cdot H_p. \quad (2.37)$$

9. Висота штаби, що задається в ребровий калібр

$$B_2 = H_K + \Delta H_p. \quad (2.38)$$

10. Катаючий діаметр в кліті з ребровим калібром

$$D_K = D_H - H_K. \quad (2.39)$$

Таблиця 2.4 – Режим обтиснень при прокатуванні штабової сталі

Число проходів	Середній режим обтиснення, λ	Інтенсивний режим обтиснення, λ
1	1,25	1,30
2	1,45	1,60
3	1,60	1,80
4	1,60	1,80
5	1,60	1,80

Значення розширення в ребровому калібрі незначне (воно зосереджено біля поверхні контакту штаби з валками) і при розрахунку його не враховуємо.

Тоді товщина штаби, що задається в передчистовий ребровий калібр $H_2 = H_p$.

11. Розміри штаби після другого проходу на гладкій бочці перед задачею в передчистовий ребровий калібр будуть H_2, B_2 .

Штабу таких розмірів прокатують з проміжної квадратної заготовки, сторону якої визначаємо з рівняння

$$a = \frac{B_2 + k \cdot H_2}{1 + k}. \quad (2.40)$$

де k - середній показник розширення при прокатуванні на гладких валках, $k = 0,7 \div 0,9$.

12. Загальний коефіцієнт обтиснення штаби

$$\lambda_{об} = a/H_2 = \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \cdot \lambda_5 \cdot \dots \cdot \lambda_n, \quad (2.41)$$

де $\lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_n$ – окремі коефіцієнти обтиснення штаби по висоті при прокатуванні на гладких валках (див. табл. 2.4).

При прийнятті коефіцієнта обтиснення штаби по висоті необхідно перевіряти їх рівність по формулі (2.41).

13. Далі розраховуємо висоту штаби по проходам (проти ходу прокатки) $H_3, H_4, \dots H_n$ по формулі (2.14), лінійне обтиснення по формулі (2.15), розширення по формулам (2.16) або (2.17), площі поперечних перетинів по формулі (2.30), коефіцієнт витяжки по формулі (2.27) і так далі. Результати представляються у вигляді таблиці 2.3. Далі проводимо аналіз режиму

деформації за умовами захвату штаби валками і по енергосиловим параметрам.

14. Після розрахунку проміжної квадратної заготовки далі виконується розрахунок витяжної системи калібрів.

15. Конструювання ребрового калібру здійснюється по методиці, викладеній вище (2.19).

2.5 Приклад розрахунку калібровки валків для прокатки штабової сталі

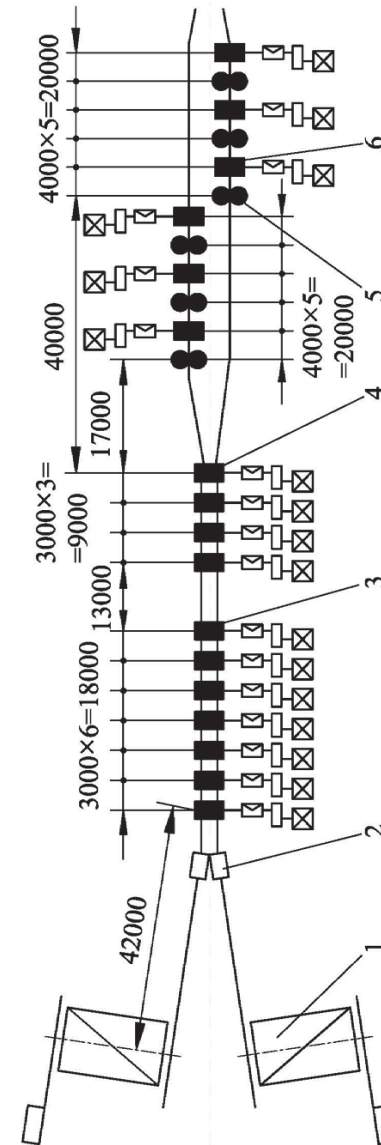
Розрахуємо режим деформації і калібровку валків для прокатки штабової сталі 5x32 мм по ГОСТ 103-2006 (ДСТУ 4747:2007), точність по групі А (підвищеної точності). Марка сталі 40Х, температура нагрівання заготовки $t = 1150$ °С, прокатка здійснюється на неперервному дрібносортовному стані (рис. 2.7), який має 17 клітей: 7 клітей з горизонтальними валками, що знаходяться в чорновій групі; в проміжній групі 4 кліті з горизонтальними валками; в двох чистових групах по 6 клітей (по 3 з горизонтальними і по 3 з вертикальними валками).

Розміри валків наступні. В 1 - 4 клітях: діаметр валків $D_{1-4} = 430$ мм, в 5 - 10 клітях діаметр валків $D_{5-10} = 380$ мм. Діаметр валків в клітях 11 - 14, 16 $D_{11-14,16} = 320$ мм, діаметр валків в клітях 15, 17 $D_{15,17} = 280$ мм.

Матеріал валків - чавун, усі кліті працюють на підшипниках котіння, швидкість прокатки в чистовій кліті 10 м/с.

Рішення

1. Визначасмо розміри готового штабового профілю в гарячому стані (по ГОСТ 103-2006 найбільші відхилення по товщині штаби $-0,3$, тобто $\Delta_{\bar{H}} = 0,3$ мм, по ширині штаби $\Delta_{\bar{B}} = 0,9$ мм), коефіцієнти $k_1 = 0,5$, $k_2 = 1,012$:



1 –нагрівальні печі; 2 - індукційна прохідна піч; 3 – чорнові горизонтальні кліті; 4 – проміжні горизонтальні кліті; 5 – чистові вертикальні кліті; 6 - чистові горизонтальні кліті

Рисунок 2.7 – Схема розташування обладнання дрібносортового неперервного стану 250

$$B_{\Pi} = (B - k_1 \cdot \Delta_B^-) \cdot k_2 = (32 - 0,5 \cdot 0,9) \cdot 1,012 = 31,9 \text{ мм},$$

$$H_{\Pi} = (H - k_1 \cdot \Delta_H^-) \cdot k_2 = (5 - 0,5 \cdot 0,3) \cdot 1,012 = 4,9 \text{ мм}.$$

Розрахунок ведемо проти ходу прокатки.

2. Визначаємо відношення вісей готового профілю:

$$C_{\Pi} = B_{\Pi} / H_{\Pi} = 31,9 / 4,9 = 6,51 \text{ мм},$$

3. Знаходимо загальний коефіцієнт обтиснення при прокатуванні на гладких валках:

$$\lambda_{об} = 0,445 + 0,787 \cdot C_{\Pi} = 0,445 + 0,787 \cdot 6,51 = 5,565.$$

4. Розраховуємо кількість проходів при прокатуванні на гладкій бочці:

$$n_r = 2,319 \cdot C_{\Pi}^{0,413} = 2,319 \cdot 6,51^{0,413} \approx 5.$$

5. Розраховуємо середній коефіцієнт обтиснення при прокатуванні на гладкій бочці:

$$\lambda_{cp} = \lambda_{об}^{1/n_r} = 5,565^{1/5} = 1,41.$$

6. Розподіляємо коефіцієнти обтиснень по проходах (див. рис. 2.5). В чистовому проході приймаємо:

$$\lambda_5 = 1,20.$$

Визначимо номери проходів на гладкій бочці по формулі (2.12) проти ходу прокатки:

$$N_{np} = n_r + 1 - i,$$

при $i = 5$: $N_{np} = 1$ (чистовий прохід);

$$i = 4: N_{np} = 2;$$

$$i = 3: N_{np} = 3;$$

$$i = 2: N_{np} = 4;$$

$$i = 1: N_{np} = 5.$$

Тоді знаходимо максимальне і мінімальне обтиснення по формулам (2.10) і (2.11).

$$\lambda_{max} = 1 + 0,658 \cdot N_{np}^{0,244}, \quad \lambda_{min} = 1 + 0,161 \cdot N_{np}^{0,383},$$

при $N_{np} = 1$: $\lambda_{max} = 1,662$; $\lambda_{min} = 1,163$;

$$N_{np} = 2: \lambda_{max} = 1,782; \lambda_{min} = 1,211;$$

$$N_{np} = 3: \lambda_{max} = 1,862; \lambda_{min} = 1,246;$$

$$N_{np} = 4: \lambda_{max} = 1,924; \lambda_{min} = 1,274;$$

$$N_{np} = 5: \lambda_{max} = 1,976; \lambda_{min} = 1,299.$$

7. З використанням отриманих даних λ_{max} і λ_{min} розподіляємо коефіцієнти обтиснень на гладкій бочці λ_r по проходах проти ходу прокатки, збільшуючи їх від проходу до проходу (див. рис. 2.5):

$$\lambda_1 = 1,20; \lambda_2 = 1,35; \lambda_3 = 1,40; \lambda_4 = 1,50; \lambda_5 = 1,64.$$

Перевіримо виконання рівняння $\lambda_{об} = \prod_{i=1}^5 \lambda_i$ по формулі (2.13):

$$\lambda_{об} = \prod_{i=1}^5 \lambda_i = 1,20 \cdot 1,35 \cdot 1,40 \cdot 1,50 \cdot 1,64 = 5,579.$$

Необхідно зробити корегування режиму обтиснень, оскільки загальний коефіцієнт обтиснень ($\lambda_{об} = 5,565$) менше добутку окремих коефіцієнтів обтиснень (5,579). Визначимо коефіцієнт обтиснення в третьому проході:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_{об}}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_4 \cdot \lambda_5} = \frac{5,565}{1,20 \cdot 1,35 \cdot 1,50 \cdot 1,64} = 1,396.$$

8. Визначимо висоту штаби і абсолютне обтиснення у кожному проході при прокатуванні на гладкій бочці.

Висота штаби:

$$H_1 = H_{\Pi} = 4,9 \text{ мм};$$

$$H_2 = \lambda_1 \cdot H_1 = 1,2 \cdot 4,9 = 5,9 \text{ мм};$$

$$H_3 = \lambda_2 \cdot H_2 = 1,35 \cdot 5,9 = 8,0 \text{ мм};$$

$$H_4 = \lambda_3 \cdot H_3 = 1,396 \cdot 8,0 = 11,1 \text{ мм};$$

$$H_5 = \lambda_4 \cdot H_4 = 1,5 \cdot 11,1 = 16,7 \text{ мм};$$

для заготовки:

$$H_0 = \lambda_5 \cdot H_5 = 1,64 \cdot 16,7 = 27,4 \text{ мм};$$

округляємо до 28 мм.

$$\text{Тоді} \quad \lambda_5 = \frac{H_0}{H_5} = \frac{28}{16,7} = 1,677.$$

Абсолютні обтиснення:

$$\Delta H_1 = H_2 - H_1 = 5,9 - 4,9 = 1,0 \text{ мм};$$

$$\Delta H_2 = H_3 - H_2 = 8,0 - 5,9 = 2,1 \text{ мм};$$

$$\Delta H_3 = H_4 - H_3 = 11,1 - 8,0 = 3,2 \text{ мм};$$

$$\Delta H_4 = H_5 - H_4 = 16,7 - 11,1 = 5,6 \text{ мм};$$

$$\Delta H_5 = H_0 - H_5 = 28,0 - 16,7 = 11,3 \text{ мм}.$$

9. Розраховуємо розширення по проходах по формулі (2.17):

$$\Delta B_i = 0,4 \cdot \frac{\Delta H_i}{H_{i+1}} \cdot \sqrt{R_i \cdot \Delta H_i}$$

Тоді розширення дорівнює:

$$\Delta B_1 = 0,4 \cdot \frac{\Delta H_1}{H_2} \cdot \sqrt{\frac{D_{15,17}}{2} \cdot \Delta H_1} = 0,4 \cdot \frac{1,0}{5,9} \cdot \sqrt{\frac{280}{2} \cdot 1,0} = 0,8 \text{ мм};$$

$$\Delta B_2 = 0,4 \cdot \frac{\Delta H_2}{H_3} \cdot \sqrt{\frac{D_{15,17}}{2} \cdot \Delta H_2} = 0,4 \cdot \frac{2,1}{8,0} \cdot \sqrt{\frac{280}{2} \cdot 2,1} = 1,8 \text{ мм};$$

$$\Delta B_3 = 0,4 \cdot \frac{\Delta H_3}{H_4} \cdot \sqrt{\frac{D_{11-14,16}}{2} \cdot \Delta H_3} = 0,4 \cdot \frac{3,2}{8,0} \cdot \sqrt{\frac{320}{2} \cdot 3,2} = 2,5 \text{ мм};$$

$$\Delta B_4 = 0,4 \cdot \frac{\Delta H_4}{H_5} \cdot \sqrt{\frac{D_{11-14,16}}{2} \cdot \Delta H_4} = 0,4 \cdot \frac{5,6}{16,7} \cdot \sqrt{\frac{320}{2} \cdot 5,6} = 4,0 \text{ мм};$$

$$\Delta B_5 = 0,4 \cdot \frac{\Delta H_5}{H_0} \cdot \sqrt{\frac{D_{5-10}}{2} \cdot \Delta H_5} = 0,4 \cdot \frac{11,3}{28,0} \cdot \sqrt{\frac{380}{2} \cdot 11,3} = 7,5 \text{ мм}.$$

10. Визначаємо сумарне розширення в усіх проходах:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\Sigma} &= \Delta B_1 + \Delta B_2 + \Delta B_3 + \Delta B_4 + \Delta B_5 = 0,8 + 1,8 + 2,5 + 4,0 + 7,5 \\ &= 16,6 \text{ мм}. \end{aligned}$$

11. Знаходимо сумарне обтиснення в ребрових проходах. Приймаємо квадратну заготовку $B_0 = H_0 = 28 \text{ мм}$, тоді:

$$\sum_{j=1}^{n_p} \Delta h_p = B_0 + \Delta B_{\Sigma} - B_n = 28 + 16,6 - 31,9 = 12,7 \text{ мм}.$$

12. Визначаємо середнє обтиснення в ребрових проходах. Спочатку розрахуємо середнє обтиснення на гладкій бочці:

$$\Delta h_{rc} = \frac{H_0 - H_n}{n_r} = \frac{28 - 4,9}{5} = 4,59 \text{ мм}.$$

Середнє обтиснення в ребрових проходах по формулі (2.20):

$$\Delta h_{pc} = 0,8 \cdot \Delta h_{rc} = 0,8 \cdot 4,6 = 3,7 \text{ мм}.$$

13. Розраховуємо число ребрових проходів:

$$n_p = \frac{\sum_{j=1}^{n_p} \Delta h_p}{\Delta h_{pc}} = \frac{12,7}{3,7} = 3,4 \approx 3 \text{ прохода}.$$

14. Розподіляємо окремі обтиснення в ребрових проходах. Для предчистового прохода:

$$\Delta h_{p3} = 0,7 \cdot \Delta h_{pc} = 0,7 \cdot 3,7 = 2,6 \text{ мм}.$$

Приймаємо $\Delta h_{p2} = \Delta h_{p1}$, тоді

$$\Delta h_{p2} = \Delta h_{p1} = \frac{\sum_{j=1}^3 \Delta h_p - \Delta h_{p3}}{2} = \frac{12,7 - 2,6}{2} = 5,04 \text{ мм}.$$

15. Приймаємо схему прокатки відповідно до умов прикладу прокатки на неперервному стані.

16. Розраховуємо ширину штаби проти ходу прокатки ($B_{r1} = B_n$):

$$B_{p3} = B_{r1} - \Delta B_1 = 31,9 - 0,8 = 31,1 \text{ мм};$$

$$B_{r2} = B_{p3} + \Delta h_{p3} = 31,1 + 2,6 = 33,7 \text{ мм};$$

$$B_{p2} = B_{r2} - \Delta B_2 = 33,7 - 1,8 = 32,0 \text{ мм};$$

$$B_{r3} = B_{p2} + \Delta h_{p2} = 32,0 + 5,04 = 37,0 \text{ мм};$$

$$B_{p1} = B_{r3} - \Delta B_3 = 37,0 - 2,5 = 34,5 \text{ мм};$$

$$B_{r4} = B_{p1} + \Delta h_{p1} = 34,5 + 5,04 = 39,5 \text{ мм};$$

$$B_{r5} = B_{r4} - \Delta B_4 = 39,5 - 4,0 = 35,5 \text{ мм};$$

$$B_0 = B_{r5} - \Delta B_5 = 35,5 - 7,5 = 28,0 \text{ мм}.$$

17. Визначаємо режим обтиснень в ребрових проходах по коефіцієнтам висотної деформації:

$$\lambda_{p1} = \frac{B_{r4}}{B_{p1}} = \frac{39,5}{34,5} = 1,15 < 1,20;$$

$$\lambda_{p2} = \frac{B_{r3}}{B_{p2}} = \frac{37,0}{32,0} = 1,16 < 1,20;$$

$$\lambda_{p3} = \frac{B_{r2}}{B_{p2}} = \frac{33,7}{32,0} = 1,06 > 1,03.$$

Коефіцієнти висотної деформації в ребрових проходах не виходять за межі практично використовуваних, тобто $\lambda = 1,03 - 1,208$. Таким чином режими обтиснень вибрано правильно.

Розраховуємо кути захвату:

$$\alpha_{r1} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H_1}{D_{15,17}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{1,0}{280}\right) = 4,8^\circ;$$

$$\alpha_{r2} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H_2}{D_{15,17}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{2,1}{280}\right) = 7,0^\circ;$$

$$\alpha_{r3} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H_3}{D_{11-14,16}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{3,2}{320}\right) = 8,0^\circ;$$

$$\alpha_{r4} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H_4}{D_{11-14,16}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{5,6}{320}\right) = 10,7^\circ;$$

$$\alpha_{r5} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H_5}{D_{5-10}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{11,3}{380}\right) = 14,0^\circ.$$

В ребрових проходах:

$$D_{K1} = D_{11-14,16} - B_{p1} = 320 - 34,5 = 285,5 \text{ мм};$$

$$D_{K2} = D_{11-14,16} - B_{p2} = 320 - 32,0 = 288,0 \text{ мм};$$

$$D_{K3} = D_{11-14,16} - B_{p3} = 320 - 31,1 = 288,9 \text{ мм};$$

$$\alpha_{p1} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_{p1}}{D_{K1}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{5,04}{285,5}\right) = 10,8^\circ;$$

$$\alpha_{p2} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_{p2}}{D_{K2}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{5,04}{288,0}\right) = 10,7^\circ;$$

$$\alpha_{p3} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_{p3}}{D_{K3}}\right) = \arccos\left(1 - \frac{2,6}{288,9}\right) = 7,7^\circ.$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку деформаційного режиму при прокатуванні штабової сталі 5×32 мм

Номер проходу		№ кліті	λ	Розмір штаби, мм		ΔH , мм	ΔB , мм	F, мм ²	μ	α , град
i _r	j _p			H	B					
0		заготовка		28,0	28,0			784		
5		10Г	1,64	16,7	35,5	11,3	7,5	593	1,32	14,0
4		11Г	1,50	11,1	39,5	5,6	4,0	438	1,35	10,7
	1	12В	1,15	11,1	34,5	5,0		383	1,14	10,8
3		13Г	1,40	8,0	37,0	3,2	2,5	296	1,29	8,0
	2	14В	1,16	8,0	32,0	5,0		256	1,16	10,7
2		15Г	1,35	5,9	33,7	2,1	1,8	199	1,29	7,0
	3	16В	1,06	5,9	31,1	2,6		183	1,08	7,7
1		17Г	1,20	4,9	31,9	1,0	0,8	156	1,17	4,8

де Г - горизонтальна кліть, В - вертикальна кліть.

18. Далі аналогічно розраховують чорнові калібри.

19. Конструювання ребрових калібрів.

Передчистовий (третій) ребровий калібр:

$$\text{ширина по дну } B_{d3} = 1,01 \cdot H_2 = 1,01 \cdot 5,9 = 5,9 \text{ мм},$$

$$\text{ззор } S_3 = 0,02 \cdot D_{11-14,16} = 0,02 \cdot 320 = 6,4 \text{ мм},$$

$$\text{глибина струмка } H_{py3} = \frac{B_{p3} - S_3}{2} = \frac{31,1 - 6,4}{2} = 12,4 \text{ мм}.$$

Для усіх ребрових калібрів випуклість дна приймаємо 0,5 мм, випуск - 5 %.

$$B_{K3} = B_{d3} + 2 \cdot H_{py3} \cdot \text{tg} \varphi = 5,9 + 2 \cdot 12,4 \cdot 0,05 = 7,2 \text{ мм}.$$

Другий ребровий калібр:

$$B_{d2} = 1,0 \cdot H_3 = 1,0 \cdot 8,0 = 8,0 \text{ мм},$$

$$\text{ззор } S_2 = S_3 = 6,4 \text{ мм},$$

$$\text{глибина струмка } H_{py2} = \frac{B_{p2} - S_2}{2} = \frac{32,0 - 6,4}{2} = 12,8 \text{ мм}.$$

$$B_{K2} = B_{d2} + 2 \cdot H_{py2} \cdot \text{tg} \varphi = 8,0 + 2 \cdot 12,8 \cdot 0,05 = 9,2 \text{ мм}.$$

Перший ребровий калібр:

$$V_{д1} = 0,99 \cdot H_4 = 0,99 \cdot 11,1 = 11,0 \text{ мм},$$

$$\text{зазор } S_1 = S_2 = 6,4 \text{ мм},$$

$$\text{глибина струмка } H_{py1} = \frac{B_{p1} - S_1}{2} = \frac{34,5 - 6,4}{2} = 14,0 \text{ мм}.$$

$$V_{к1} = V_{д1} + 2 \cdot H_{py1} \cdot tg\varphi = 11,0 + 2 \cdot 14,0 \cdot 0,05 = 12,4 \text{ мм}.$$

Радіуси закруглення по буртам приймаємо $r_1 = r_2 = r_3 = 2 \text{ мм}$.

За результатами розрахунків на рис. 2.8 наведено калібрування валків проміжної і чистової груп клітей неперервного дрібносортного стану 250 для прокатки штабової сталі перетином $5 \times 32 \text{ мм}$.

2.6 Варіанти завдань для курсового проекту

Розрахувати режими деформації і калібрівку валків, зробити креслення калібрування валків проміжної і чистової груп клітей неперервного дрібносортного стану для прокатки штабової сталі розміром $H \times B \text{ мм}$ з діаметром валків D . Варіанти завдань наведено у табл. 2.6.

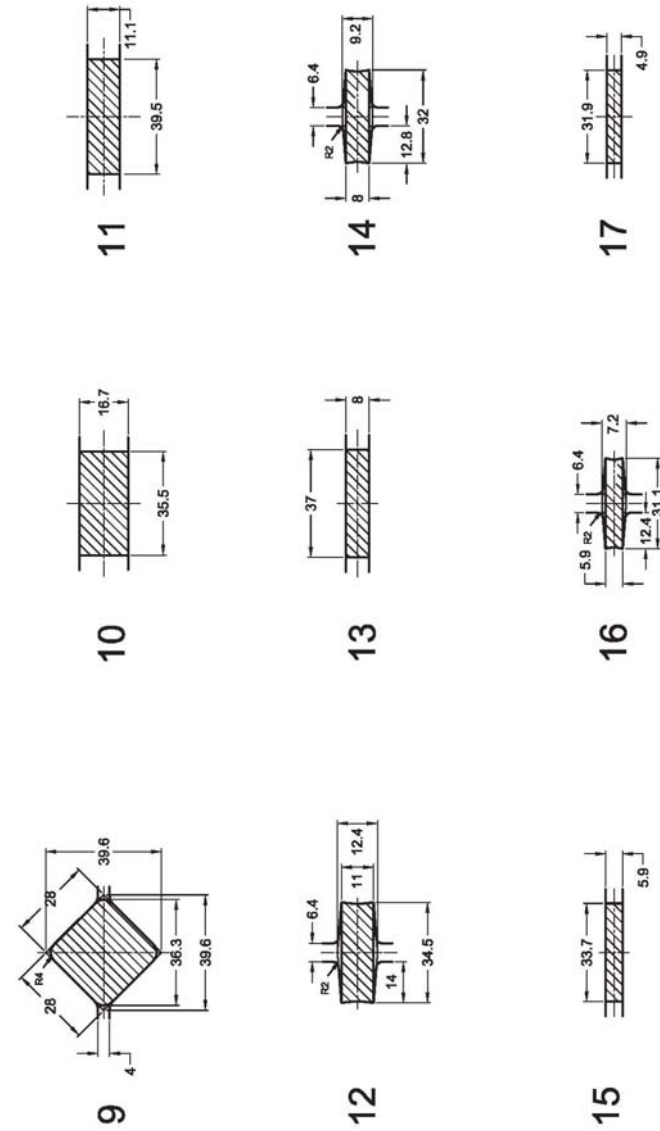


Рисунок 2.8 - Калібрування валків проміжної і чистової груп клітей неперервного дрібносортного стану 250 для прокатки штабової сталі перетином $5 \times 32 \text{ мм}$

Таблиця 2.6 – Варіанти завдань для розрахунку режиму обтиснення і калібрування валків при прокатуванні штабової сталі

Варіант	V_1 , мм	H_1 , мм	$\Delta_{ш1}$, мм	$\Delta_{ш2}$, мм	D_{1-4} , мм	D_{5-10} , мм	$D_{11-14,16}$, мм	D_{15-17} , мм	k_1	k_2	Стан
Приклад	32	5	0,9	0,3	430	380	320	280	0,5	1,012	250
1	30	6	0,9	0,3	390	350	290	250	0,8	1,013	250
2	100	20	1,3	0,6	710	640	530	450	0,5	1,012	450
3	120	20	1,3	0,6	690	620	510	430	0,7	1,012	450
4	130	20	1,3	0,6	740	670	550	460	0,7	1,012	450
5	30	6	0,9	0,3	400	360	300	260	0,7	1,012	250
6	100	20	1,3	0,6	760	680	560	470	0,8	1,013	450
7	120	20	1,3	0,6	700	630	520	440	0,6	1,011	450
8	130	20	1,3	0,6	660	600	490	410	0,6	1,011	450
9	32	5	0,9	0,3	430	380	320	280	0,6	1,011	250
10	30	6	0,9	0,3	390	350	290	250	0,7	1,012	250
11	100	20	1,3	0,6	710	640	530	450	0,6	1,013	450
12	120	20	1,3	0,6	690	620	510	430	0,5	1,011	450
13	130	20	1,3	0,6	740	670	550	460	0,6	1,013	450
14	30	6	0,9	0,3	400	360	300	260	0,8	1,011	250
15	100	20	1,3	0,6	760	680	560	470	0,7	1,012	450
16	120	20	1,3	0,6	700	630	520	440	0,8	1,013	450
17	130	20	1,3	0,6	660	600	490	410	0,5	1,012	450
18	32	5	0,9	0,3	430	380	320	280	0,6	1,013	250
19	30	6	0,9	0,3	390	350	290	250	0,7	1,012	250
20	100	20	1,3	0,6	710	640	530	450	0,6	1,011	450
21	120	20	1,3	0,6	690	620	510	430	0,8	1,013	450
22	130	20	1,3	0,6	740	670	550	460	0,6	1,011	450
23	30	6	0,9	0,3	400	360	300	260	0,8	1,013	250
24	100	20	1,3	0,6	760	680	560	470	0,7	1,012	450
25	120	20	1,3	0,6	700	630	520	440	0,5	1,013	450

Практичне завдання № 3

3 КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ШЕСТИГРАННОЇ СТАЛІ

3.1 Мета завдання

Освоїти методику розрахунку калібрування валків для прокатки шестигранної сталі.

3.2 Сортамент прокату

Сталь шестигранна прокатується по ГОСТ 2879-88 з діаметром вписаного круга від 8 до 80 мм (рис. 3.1) звичайної і підвищеної точності (табл. 3.1).

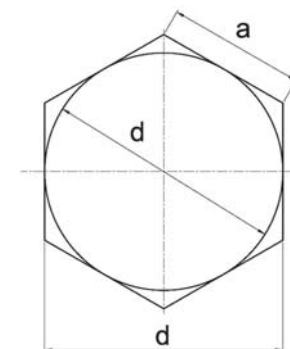


Рисунок 3.1 – Шестигранний профіль

За угодою сторін допускається поставка шестигранної сталі з плюсовими допусками, що не перевищують граничних відхилень. По довжині шестигранна сталь поставляється: немірної довжини в межах 2 - 6 м, мірної довжини до 6 м і довжини, кратної мірної.

Таблиця 3.1 - Граничні відхилення від номінального розміру шестиграних профілей по ГОСТ 2879 – 88 ДСТУ 4737: 2007

Діаметр вписаного круга, мм	Граничні відхилення при точності, мм	
	звичайній	підвищеній
8; 9	+0,3 -0,5	+0,1 -0,3
10 - 19	+0,3 -0,5	+0,2 -0,3
20 - 25	+0,4 -0,5	+0,2 -0,4
26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48	+0,4 -0,7	+0,2 -0,6
50, 52, 55	+0,4 -1,0	+0,2 -0,9
60, 63, 65	+0,5 -1,1	+0,3 -1,0
80	+0,5 -1,3	+0,4 -1,2

Граничні відхилення по довжині для шестигранної сталі мірної довжини або довжини, кратної мірної, не повинні перевищувати: +30 мм при довжині до 4 м, +50 мм - при довжині 4 - 6 м; +70 мм - при довжині понад 6 м.

Притуплення кутів шестигранної сталі допускається;

1 мм - для $d = 8 - 14$ мм;

1,5 мм - для $d = 15 - 25$ мм;

2 мм - для $d = 26 - 55$ мм;

3 мм - для $d = 60$ мм і вище, де d - діаметр вписаного круга.

Кривизна прутків не повинна перевищувати 5 мм на 1 м довжини, а загальна кривизна штанг не повинна перевищувати добуток кривизни одного метра довжини на загальну довжину прутка в метрах. Пруток шестигранної сталі повинен бути відрізаний під прямим кутом. Закручення прутка біля поздовжньої осі не допускається.

3.3 Схеми прокатки шестигранної сталі

Прокатка шестигранної сталі здійснюють по різним схемам (рис. 3.2), проте у всіх схемах у якості передчистового калібру служить шестикутний, який після кантівки на 90° задається в чистовий шестиграний калібр [6].

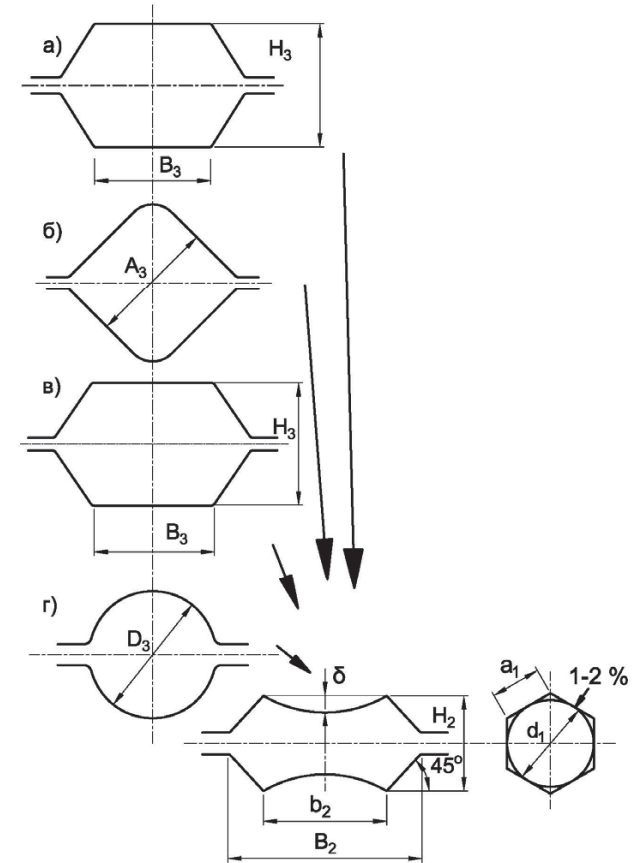


Рисунок 3.2 – Схема прокатки шестигранної сталі

Перша схема калібрування (рис. 3.2 а), в якій першим передчистовим калібром служить прямокутник, застосовується для прокатки середніх і крупних шестигранних профілей. Це найбільш раціональна схема прокатки шестигранних профілей. Вона характеризується надійним захватом штаби валками у зв'язку з зменшеним коефіцієнтом висотної деформації в передчистовому шестикутному калібрі. В цій схемі ширина штаби, що задається більше ширини шестикутного калібру по дну (тобто $B_3 > b_2$), що забезпечує повне заповнення шестикутного калібру, хоча і викликає підвищений знос бічних (похилих) стінок калібру.

Друга і третя схеми (рис. 3.2 б, в) - діагональний або ящичний квадрат задається в передчистовий шестикутник; тут заповнення передчистового шестикутного калібру здійснюється за рахунок розширення. Для забезпечення повного заповнення шестикутного калібру потрібний підвищений коефіцієнт висотної деформації за рахунок великої висоти квадратної штаби, що задається, що у ряді випадків утрудняє захват штаби валками. Щоб уникнути цього деякі калібрувальники заміняють ящичний квадрат діагональним калібром.

Нарешті, четверта схема (рис. 3.2 г) передбачає використання у якості першого передчистового калібру круга ребрового овалу або шестигранника, які задають в шестикутний передчистовий калібр. Ці схеми також характеризуються підвищеними коефіцієнтами висотної деформації в умовах значної нерівномірності деформації по ширині.

Друга, третя і четверта схеми прокатки шестигранної сталі найчастіше застосовуються на дрібносортих станах.

3.4 Методика розрахунку режиму обтиснення і калібрування валків для прокатки шестигранної сталі

Для розрахунку калібрування валків необхідно мати початкові дані, що характеризують:

- прокатний стан (тип стана, тип робочих клітей, число клітей і порядок їх розташування, діаметр і довжину бочки, а також діаметр D і довжину шийки валків, матеріал валків, допустимі зусилля, тип приводу клітей, потужність електродвигуна, частота обертання валків і т. д.);

- готовий прокат (форма і розміри готового профілю і допуски на розмір по ГОСТ, вимоги до точності профілей, що прокатуються тощо);

- початкову заготовку (H_0, B_0, L_0, F_0 , температуру нагріву заготовки t_0 тощо).

Розрахунок калібрування ведуть проти ходу прокатки в наступній послідовності [6]:

1. По заданому розміру шестигранного готового профілю розраховують розміри чистового калібру (рис. 3.3). Діаметр вписаної окружності з урахуванням мінусового допуску і температурного розширення дорівнює:

$$d_1 = (d_H - \Delta^-) \cdot (1,013 \div 1,015), \quad (3.1)$$

де d_H - номінальний діаметр круга, вписаного в шестигранник в холодному стані;

Δ^- - частина мінусового допуску, $\Delta^- = (0,5 \dots 0,8) \cdot \Delta$, тут Δ - мінусовий допуск.

Потім по d_1 розраховуємо решту розмірів шестигранного калібру:

$$\text{сторона калібру: } a_1 = (\sqrt{3}/3) \cdot d_1 = 0,557 \cdot d_1, \quad (3.2)$$

$$\text{висота калібру: } h_1 = 2 \cdot a_1 = 0,155 \cdot d_1, \quad (3.3)$$

$$\text{площа: } F_1 = 0,866 \cdot d_1^2, \quad (3.4)$$

ширина калібру (з урахуванням допуску 1-3 %):

$$B_{к1} = d_1 + (0,1 - 0,3) \cdot a_1, \quad (3.5)$$

$$\text{зазор: } S_1 = 0,01 \cdot D. \quad (3.6)$$

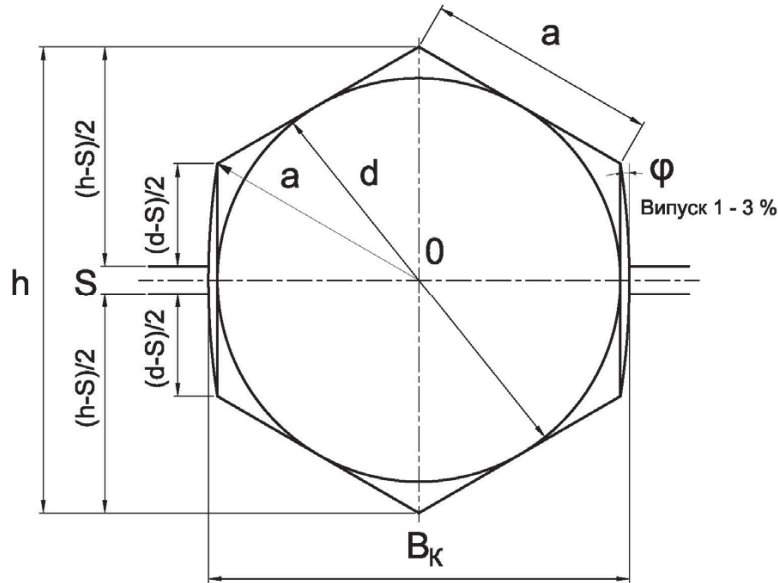


Рисунок 3.3 – Шестигранний калібр

2. Розрахунок передчистового шестикутного калібру (див. рис. 3.2).

Задавшись коефіцієнтом висотної деформації в чистовому калібрі λ_1 , можна знайти ширину передчистового шестикутного калібру:

$$B_{к2} = \lambda_1 \cdot H_1, \quad (3.7)$$

$$\text{де } \lambda_1 = B_2/H_1 = 1,25 \dots 1,45. \quad (3.8)$$

Висота передчистового шестикутного калібру

$$H_{к2} = d_1 - \Delta B_1, \quad (3.9)$$

де ΔB_1 - розширення в чистовому калібрі, яке дорівнює:

$$\Delta B_1 = 0,35 \cdot \frac{\Delta H_1}{H} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \text{ (формула Зібеля),} \quad (3.10)$$

$$\text{або } \Delta B_1 = 1,15 \cdot \frac{\Delta H_1}{H} \cdot \sqrt{R_k \cdot \Delta h} - \frac{\Delta H}{2f} \text{ (формула Бахтінова),} \quad (3.11)$$

де f – коефіцієнт тертя;

ΔH_1 – обтиснення в чистовому калібрі, яке дорівнює: $\Delta H_1 = B_2 - 2 \cdot a_1$;

H - висота металу, що задається в чистовий калібр.

Ширина дна струмка:

$$B_2 = B_{к2} - H_{к2} - S, \quad (3.12)$$

повинно бути, щоб $B_2 > a_1$.

Площа передчистового шестикутного калібру

де δ - угнутість калібру, рівна 0,25...1,5 мм.

Коефіцієнт витяжки в чистовому калібрі:

$$\mu = F_2/F_1, \quad (3.14)$$

звичайно $\mu = 1,20 - 1,25$.

3. Розрахунок першого передчистового калібру

а) Прямокутний калібр (див. рис. 3.2 а).

Ширина прямокутної штаби B_3 дорівнює:

$$B_3 = (0,8 \dots 0,85) \cdot B_2, \quad (3.15)$$

Висота прямокутної штаби H_3 дорівнює:

$$B_3 = \lambda_2 \cdot H_2, \quad (3.16)$$

де λ_2 – коефіцієнт висотної деформації в передчистовому шестикутному калібрі, $\lambda_2 = 0,25 \dots 0,45$.

Після розрахунку розмірів прямокутної штаби необхідно перевірити простір на розширення в передчистовому шестикутному калібрі, виконуючи наступну умову:

$$B_2 - (B_3 + \Delta B_2) > 0.$$

При необхідності слід змінити ширину прямокутної штаби або обтиснення в передчистовому шестикутному калібрі.

Площа штаби дорівнює:

$$F_3 = H_3 \cdot B_3, \quad (3.17)$$

витяжка

$$\mu_2 = F_3/F_2. \quad (3.18)$$

б) Квадратний калібр (див. рис. 3.2 б, в).

Розраховуємо сторону квадрату A_3 , яка дорівнює

$$A_3 = (1,2 \dots 1,3) \cdot d_1. \quad (3.19)$$

Потім перевіряють простір на розширення квадратної штаби в передчистовому шестикутному калібрі, виконуючи умову

$$B_2 - (A_3 + \Delta B_2) > 0.$$

При необхідності слід змінити сторону квадрата.

Площа штаби дорівнює:

$$F_3 = A_3^2, \quad (3.20)$$

втяжка

$$\mu_2 = F_3 / F_2. \quad (3.21)$$

в) Круглий калібр (див. рис. 3.2 г).

Розраховуємо діаметр круглої штаби:

$$D_3 = (1,25 \dots 1,40) \cdot d_1. \quad (3.22)$$

Перевірку розширення передчистового шестигранного калібру проводимо, заздалегідь визначивши розширення ΔB_2 по приведених розмірах круглої штаби:

$$H_{\text{пр3}} = 0,785 \cdot D_3. \quad (3.23)$$

Тоді обтиснення в шестигранному передчистовому калібрі буде:

$$\Delta H_2 = H_{\text{пр3}} - H_{\text{пр2}}. \quad (3.24)$$

Перевірка на заповнення передчистового калібру може бути виконана по умові

$$B_{k2} - (D_3 + \Delta B_2) > 0.$$

Площа круглої штаби

$$F_3 = \pi \cdot D_3^2 / 4. \quad (3.25)$$

Далі, приймаючи розрахований профіль передчистового прямокутника, квадрата або круга і знаючи перехідні розміри заготовки, розраховують втяжні (чорнові) калібри по відомій методиці. Результати розрахунків заносяться в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Розміри штаб і калібрів при прокатуванні шестигранної сталі

Номер калібра	Форма калібра	H, мм	B, мм	F, мм ²	μ	H _к , мм	B _к , мм
1							
2							
3							

3.5 Приклад розрахунку режиму обтиснення і каліровки валків при прокатуванні шестигранного профіля

Завдання. Визначити розміри чистового і передчистового калібрів, а також розміри проміжної заготовки для прокатки шестигранної сталі розміром $d_H = 22$ мм за звичайною точністю. Діаметр валків $D_0 = 280$ мм.

1. Розрахунок чистового шестигранного калібра.

Визначимо діаметр вписаного круга з урахуванням мінусового допуску і температурного розширення сталі:

$$d_1 = (d_H - k_1 \cdot \Delta^-) \cdot k_2 = (22 - 0,5 \cdot 0,5) \cdot 1,013 = 22 \text{ мм.}$$

Розраховуємо інші розміри чистового шестигранного калібра.

Сторона калібра: $a_1 = 0,577 \cdot d_1 = 0,577 \cdot 22 = 12,7$ мм.

Висота калібра: $H_K = 2 \cdot a_1 = 2 \cdot 12,7 = 25,4$ мм.

Висота штаби: $H_1 = H_K = 25,4$ мм.

Зазор між валками: $S = 0,01 \cdot D_0 = 0,01 \cdot 280 = 2,8$ мм.

Ширина калібра (приймаємо випуск 1% тобто $\text{tg}\varphi=0,01$):

$$b_{k1} = d_1 + \text{tg}\varphi \cdot a_1 = 22 + 0,01 \cdot 12,7 = 22,1 \text{ мм.}$$

Площа штаби: $F_1 = 0,866 \cdot d_1^2 = 0,866 \cdot 22^2 = 419,6$ мм².

2. Розрахунок шестикутного калібра.

Приймаємо коефіцієнт висотної деформації в чистовому калібрі $\lambda_1=1,4$, тоді ширина калібра

$$B_k = \lambda_1 \cdot H_1 = 1,4 \cdot 25,4 = 35,6 \text{ мм.}$$

Ширина штаби: $B_2 = B_k = 35,6$ мм.

Для розрахунку розширення по формулі Зібеля визначимо катаючий діаметр в чистовому калібрі

$$D_{k1} = D_0 - \frac{F_1}{d_1} = 280 - \frac{419,6}{22} = 261 \text{ мм.}$$

Обчислення в чистовому калібрі

$$\Delta H_1 = B_2 - H_1 = 35,6 - 25,4 = 10,2 \text{ мм.}$$

Розширення в чистовому калібрі

$$\Delta B_1 = 0,35 \cdot \frac{\Delta H_1}{B_2} \cdot \sqrt{\frac{D_{k1} \cdot \Delta H_1}{2}} = 0,35 \cdot \frac{10,2}{35,6} \cdot \sqrt{\frac{261 \cdot 10,2}{2}} = 3,6 \text{ мм.}$$

Висота предчистового шестикутного калібра

$$H_{k2} = d_1 - \Delta B_1 = 22 - 3,6 = 18,4 \text{ мм.}$$

Висота штаби: $H_2 = H_{k2} = 18,4 \text{ мм.}$

Зазор між валками: $S = 0,01 \cdot D_0 = 0,01 \cdot 280 = 2,8 \text{ мм.}$

Випуклість калібра приймаємо $\delta = 0,5 \text{ мм.}$

Ширина калібра по дну: $B_{k2} = B_2 = 35,6 \text{ мм.}$

$$b_2 = B_{k2} - (H_{k2} - S) = 35,6 - (18,4 - 2,8) = 20 \text{ мм.}$$

Отримали, що ширина калібра по дну більше сторони чистового калібра

$b_2 > a_1$, що необхідно для нормального процесу прокатки.

Площа калібра (штаби):

$$\begin{aligned} F_2 &= B_{k2} \cdot H_{k2} - \left[2 \cdot \left(\frac{H_{k2} - S}{2} \right)^2 + b_2 \cdot \delta \right] \\ &= 35,6 \cdot 18,4 - \left[2 \cdot \left(\frac{18,4 - 2,8}{2} \right)^2 + 20 \cdot 0,5 \right] = 522 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Витяжка $\mu_1 = F_2/F_1 = 522/419,6 = 1,24$, що відповідає практичним даним.

3. Розрахунок першого предчистового калібра.

а. Прямокутний калібр.

Ширина прямокутної штаби дорівнює

$$B_3 = 0,82 \cdot B_2 = 0,82 \cdot 35,6 = 29,2 \text{ мм.}$$

Висота штаби $H_3 = \lambda_2 \cdot H_2 = 1,35 \cdot 18,4 = 24,8 \text{ мм.}$

Обчислення $\Delta H_2 = H_3 - H_2 = 24,8 - 18,4 = 6,4 \text{ мм.}$

Катаючий діаметр в предчистовому шестикутному калібрі дорівнює:

$$D_{k2} = D_0 - \frac{F_2}{B_2} = 280 - \frac{522}{35,6} = 265 \text{ мм.}$$

Розширення дорівнює:

$$\Delta B_2 = 0,35 \cdot \frac{\Delta H_2}{H_3} \cdot \sqrt{\frac{D_{k2} \cdot \Delta H_2}{2}} = 0,35 \cdot \frac{6,4}{24,8} \cdot \sqrt{\frac{265 \cdot 6,4}{2}} = 2,7 \text{ мм.}$$

Перевіряємо простір на розширення в предчистовому калібрі

$$B_{k2} - (B_3 + \Delta B_2) = 35,6 - (29,2 + 2,7) = 4 \text{ мм} > 0.$$

Площа штаби дорівнює: $F_3 = B_3 \cdot H_3 = 29,2 \cdot 24,8 = 723 \text{ мм}^2.$

Витяжка $\mu_2 = F_3/F_2 = 723/522 = 1,39$, що відповідає практичним даним.

б. Квадратний калібр.

Сторона квадратної штаби дорівнює:

$$A_3 = 1,25 \cdot d_1 = 1,25 \cdot 22 = 27,5 \text{ мм,}$$

$$B_3 = H_3 = 1,25 \cdot A_3 = 1,25 \cdot 27,5 = 34,4 \text{ мм.}$$

Розширення в передчистовому шестикутному калібрі дорівнює:

$$\begin{aligned} \Delta B_2 &= 0,35 \cdot \frac{A_3 - H_2}{A_3} \cdot \sqrt{\frac{D_{k2} \cdot (A_3 - H_2)}{2}} \\ &= 0,35 \cdot \frac{27,5 - 18,4}{27,5} \cdot \sqrt{\frac{265 \cdot (27,5 - 18,4)}{2}} = 4,1 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Перевіряємо простір на розширення:

$$B_{k2} - (A_3 + \Delta B_2) = 35,6 - (27,5 + 2,7) = 4 \text{ мм} > 0.$$

Площа штаби дорівнює: $F_3 = A_3^2 = 27,5^2 = 757 \text{ мм}^2.$

Витяжка $\mu_2 = F_3/F_2 = 757/522 = 1,45$, що відповідає практичним даним.

в. Круглий калібр.

Діаметр круглої штаби дорівнює:

$$d_3 = 1,3 \cdot d_1 = 1,3 \cdot 22 = 28,6 \text{ мм.}$$

Для розрахунку розширення визначимо приведені розміри круглої і шестикутної штаби:

$$H_{\text{пр3}} = 0,785 \cdot D_3 = 0,785 \cdot 28,6 = 22,5 \text{ мм.}$$

Приведене обтиснення дорівнює:

$$\Delta H_{\text{пр}} = H_{\text{пр3}} - H_2 = 22,5 - 18,4 = 4,1 \text{ мм.}$$

Розширення дорівнює:

$$\Delta B_2 = 0,35 \cdot \frac{\Delta H_{\text{пр}}}{H_{\text{пр3}}} \cdot \sqrt{\frac{D_{\text{к2}} \cdot \Delta H_{\text{пр}}}{2}} = 0,35 \cdot \frac{4,1}{22,5} \cdot \sqrt{\frac{265 \cdot 4,1}{2}} = 1,5 \text{ мм.}$$

Перевіряємо простір на розширення:

$$B_{\text{к2}} - (H_{\text{пр3}} + \Delta B_2) = 35,6 - (22,5 + 1,5) = 11,6 \text{ мм} > 0.$$

Тобто простір на розширення є.

Площа штаби дорівнює: $F_3 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 28,6^2}{4} = 643 \text{ мм}^2$.

Витяжка $\mu_2 = F_3 / F_2 = 643 / 522 = 1,23$, що відповідає практичним даним.

Результати розрахунків зведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Розміри штаб і калібрів при прокатуванні шестигранної сталі діаметром 22 мм

№ калібру	Форма калібру	Розміри штаб		F, мм ²	μ	Розмір калібрів	
		H, мм	B, мм			НК, мм	ВК, мм
1	Шестигранний	25,4	22,0	420	1,24	25,4	22,1
2	Шестигранний	18,4	35,6	522	1,39	18,4	35,6
3а	Прямокутний	24,8	29,2	723	–	–	–
3б	Квадратний	34,4	34,4	757	–	–	–
3в	Круг	28,6	28,6	643	–	–	–

За результатами розрахунків будемо розміри калібрів (рис. 3.4) при прокатуванні за схемами, зображеними на рис. 3.2 (а, б, в, г).

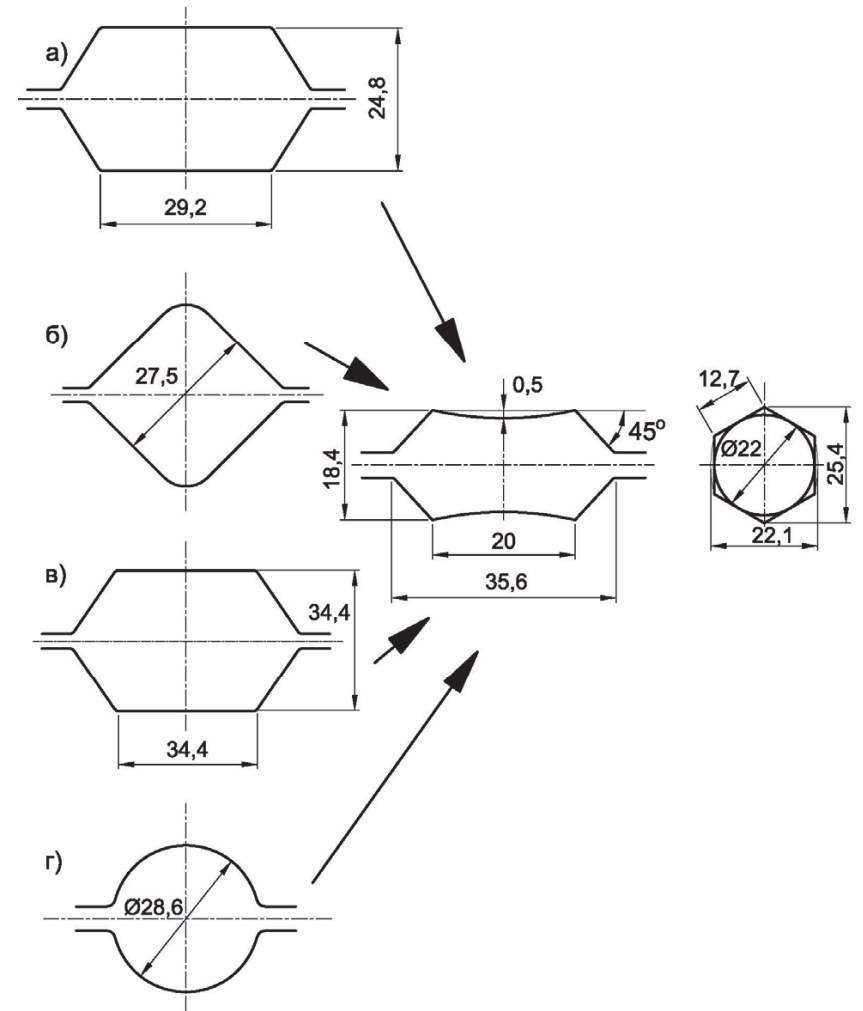


Рисунок 3.4 – Розрахункові калібрівки валків при прокатування шестигранного профілю відповідно до схем, зображених на рис. 3.2

3.6 Варіанти завдань для курсового проекту

Розрахувати режими обтиснення і розміри калібрів при прокатуванні шестигранної сталі звичайної точності і вичертити калібри по розрахованим розмірам. Варіанти завдань наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Варіанти завдань для розрахунку режимів обтиснення і розмірів калібрів при прокатуванні шестигранної сталі

Варіант	d	Δ'	D_0	tgφ	λ_1	λ_2	δ	k_1	k_2	Стан
Приклад	22	0,5	280	0,01	1,4	1,35	0,5	0,5	1,013	280
1	20	0,6	280	0,02	1,25	1,45	0,4	0,6	1,014	280
2	16	0,7	280	0,03	1,3	1,25	0,3	0,5	1,015	280
3	26	0,8	350	0,01	1,35	1,3	0,6	0,5	1,013	350
4	30	0,7	350	0,02	1,45	1,4	0,7	0,8	1,013	350
5	32	0,7	350	0,02	1,4	1,25	0,8	0,8	1,013	350
6	34	0,7	350	0,01	1,25	1,35	0,4	0,8	1,013	350
7	36	0,8	350	0,01	1,3	1,45	0,3	0,7	1,013	350
8	14	0,5	280	0,03	1,35	1,25	0,5	0,5	1,015	280
9	22	0,5	280	0,01	1,45	1,3	0,4	0,5	1,015	280
10	20	0,6	280	0,02	1,4	1,4	0,3	0,5	1,015	280
11	16	0,6	280	0,03	1,45	1,35	0,6	0,5	1,015	280
12	26	0,5	350	0,01	1,4	1,45	0,7	0,5	1,013	350
13	30	0,8	350	0,02	1,25	1,25	0,8	0,7	1,013	350
14	32	0,7	350	0,02	1,3	1,3	0,5	0,8	1,013	350
15	34	0,8	350	0,01	1,35	1,4	0,4	0,7	1,013	350
16	36	0,7	350	0,01	1,45	1,25	0,3	0,8	1,013	350
17	14	0,6	280	0,02	1,4	1,35	0,6	0,5	1,015	280
18	22	0,7	280	0,03	1,25	1,45	0,7	0,6	1,013	280
19	20	0,6	280	0,01	1,3	1,25	0,8	0,5	1,015	280
20	16	0,5	280	0,02	1,35	1,3	0,4	0,6	1,015	280
21	26	0,8	350	0,03	1,45	1,4	0,3	0,8	1,013	350
22	30	0,7	350	0,01	1,4	1,25	0,5	0,6	1,014	350
23	32	0,8	350	0,02	1,4	1,35	0,4	0,8	1,015	350
24	34	0,8	350	0,01	1,25	1,45	0,3	0,7	1,013	350
25	36	0,7	350	0,01	1,3	1,25	0,6	0,7	1,013	350

4 СТРУКТУРА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

Пояснювальна записка курсового проекту (роботи) повинна містити:

- Титульний аркуш;
- Завдання на курсовий проект (роботу)
- Зміст;
- Вступ;
- Мета завдання;
- Основні поняття і співвідношення;
- Сортамент прокату;
- Схеми і способи прокатки;
- Методика розрахунку поля допусків, режиму обтиснень, калібрування валків;
- Розрахунок поля допусків, режиму обтиснень, калібрування валків при прокатуванні відповідного профілю;
- Перелік використаної літератури;
- Графічна частина курсового проекту – креслення калібровки валків при прокатуванні сортових профілів тощо.

Організація виконання, оформлення і захисту курсового проекту (роботи) здійснюється відповідно до Положення про курсові проекти (роботи) в Запорізькій державній інженерній академії / Швець, Є.Я., Швець Д.Є . - Запоріжжя, ЗДІА, 2011.- 14 с. (http://www.zgia.zp.ua/gazeta/pologenya_kursovi.pdf).

5 ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Чекмарев, А.П.** Точная прокатка сортовых профилей [Текст]: Монография / А.П. Чекмарев, Г.Г. Побегайло. – М.: Металлургия, 1968. – 236 с.
2. **Воронов, А.Н.** Технология обработки давлением спецсталей и сплавов [Текст]: Учебное пособие / А.Н. Воронов, В.Т. Жадан, В.А. Трусов. – М.: МИСиС, 1997. – 65 с.
3. **Смирнов, В.К.** Калибровка прокатных валков [Текст]: Учебное пособие для ВУЗов / В.К. Смирнов, В.А. Шилов, Ю.В. Инатович. – М.: Теплотехник, 2010. – 490 с.
4. **Чекмарев, А.П.** Калибровка прокатных валков [Текст]: Учебное пособие для ВУЗов / А.П. Чекмарев, М.С. Мутьев, Р.А. Машковцев. – М.: Металлургия, 1971. – 512 с.
5. **Ніколаєв В.О.** Калібрування прокатних валків [Текст]: Навчальний посібник / В.О. Ніколаєв. - Запоріжжя, ЗДІА, 2015. – 158 с.
6. **Литовченко Н.В.** Калибровка профилей и прокатных валков [Текст]: Монография / Н.В. Литовченко. – М.: Металлургия, 1990. – 432 с.