

## 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 заздалегідь 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 клітями, 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, прокатоного 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.

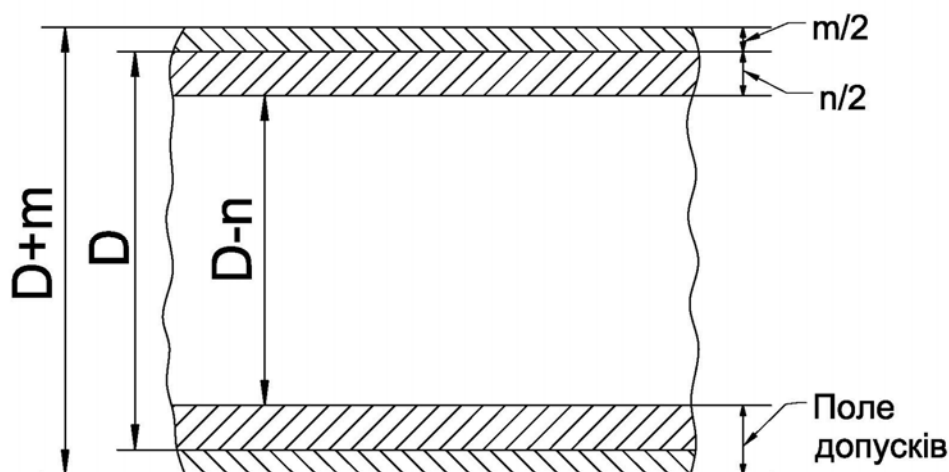


Рисунок 1.1 – Поле допусків

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	±0,4	
11 - 15			±0,18			
15 - 16			±0,20			
16 - 19	+0,4 -0,5	+0,2 -0,3	±0,23	±0,5	±0,4	
20 - 22			±0,26			
22 - 25			±0,28			
26 - 28	+0,4 -0,7	+0,2 -0,5	±0,30	±0,6	±0,8	
28 - 32			±0,35			
32 - 35			±0,35			
35 - 38			±0,35	±0,6	±0,5	

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].

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

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;

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

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

$\Delta h_1$  - зміна висоти калібру із-за нагріву валків, мм;

$\Delta h_k$  - знос калібру по висоті, мм;

$\Delta h_{\Pi}$  - 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 погрішностей висоти калібра 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 різнотовщинність по довжині розкату, тобто поздовжня різнотовщинність.

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  $\Delta f_K$  – 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  $\delta_{min}$ , 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  $\Delta C_1$  – биття верхнього валка, мм;

$\Delta C_2$  - 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;

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу валків (див. табл. 1.2);

$\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$  – 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 кліті 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  $\Delta h_{\text{п}} = 0,03$  мм/год. Розрахункове зусилля прокатки складає для переднього кінця штаби  $P_{\text{min}} = 255$  кН, для заднього кінця штаби -  $P_{\text{max}} = 314$  кН. Модуль жорсткості кліті  $M = 530$  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 кліті:

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

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

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

5. Робоче поле допусків розраховуємо по формулі 1.9:

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

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

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

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 кліті.

### ***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	$\Delta C_1$ , мм	$\Delta C_2$ , мм	$d_k$ , мм	$d_{ш}$ , мм	$\Delta t_1$ , °C	$\Delta t_2$ , °C	$\Delta h_k$ , мм/ГОД	$\Delta h_{п}$ , 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