

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних і практичних робіт
з курсів
«Технології та обладнання для виробництва гнутих профілів»
та «Виробництво гнутих профілів»

для студентів освітньої програми
«Прикладна механіка»
денної і заочної форми навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 25.02.2021

Харків
НТУ «ХПІ»
2021

Методичні вказівки до виконання лабораторних і практичних робіт з курсів «Технології та обладнання для виробництва гнутих профілів» та «Виробництво гнутих профілів» : для студентів освітньої програми «Прикладна механіка» денної і заочної форми навчання / уклад. С. О. Губський, В. Л. Чухліб, А. О. Окунь, А. В. Ашкелянєць, О. А. Юрченко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2021. – 40 с.

Укладачі: С. О. Губський
В. Л. Чухліб
А. О. Окунь
А. В. Ашкелянєць
О. А. Юрченко

Рецензент В. І. Кузьменко

Кафедра комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском

Вступ

Методичні вказівки призначені для студентів освітньої програми «Прикладна механіка» і допоможуть їм оволодіти знаннями і навичками з курсів «Технології та обладнання для виробництва гнутих профілів» та «Виробництво гнутих профілів». У роботі надані методики розрахунку ширини заготовки для виготовлення профілю та розрахунок калібрування валків. Дані методики студенти будуть використовувати при виконанні лабораторних і практичних робіт з курсів «Технології та обладнання для виробництва гнутих профілів» та «Виробництво гнутих профілів».

Метою методичних вказівок є надання студентам інформації щодо методики розрахунку ширини заготовки для виготовлення профілю та розрахунок калібрування валків.

Лабораторна робота 1 УЗАГАЛЬНЕНИЙ РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ

Мета: застосувати узагальнену методику [1] розрахунку ширини заготовки для виготовлення профілю з металевієї полоси.

При проектуванні профілю необхідно визначити ширину заготовки. Передбачається, що теоретична нейтральна вісь загнутої заготовки переміщується від середини товщини до внутрішнього краю заготовки, як показано на рис. 1.1.

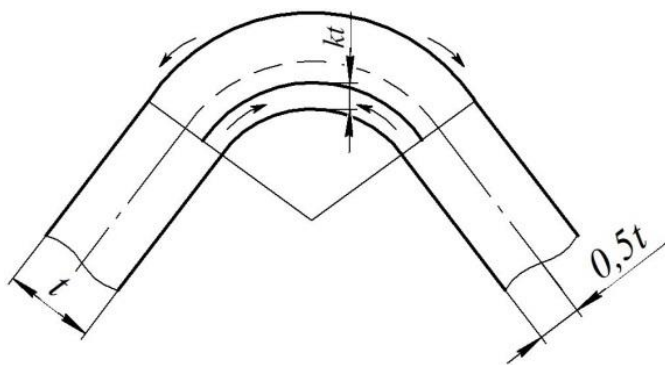


Рисунок 1.1 – Теоретичне переміщення нейтральної вісі при згинанні заготовки

Нове положення при згині нейтральної вісі характеризується k -фактором (коефіцієнт зміщення нейтрального шару). Наприклад, k -фактор низьковуглецевих сталей, радіус згину яких рівний товщині заготовки ($R/t = 1$), дорівнює приблизно 0,33.

У дійсності при згині переміщення нейтральної осі відбувається таким чином, як зображено на рис. 1.2.

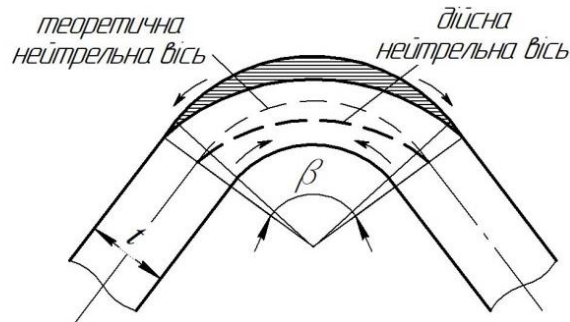


Рисунок 1.2 – Дійсне переміщення нейтральної вісі при згинанні заготовки

Основними чинниками, що впливають на k -фактор – внутрішній радіус згину, товщина матеріалу та механічні властивості металу.

Здебільшого, коефіцієнт зміщення нейтрального шару визначають шляхом практичних досліджень [2, 3]. Але в роботі [1] розрахунок ширини заготовки та розрахунок калібрування валків автоматизований та виконується за допомогою програмного забезпечення Roll Former's Guide. k -фактор в даному підході вираховується за формулою

$$k = 0,567 \cdot \frac{\frac{R_i}{t} + 0,25}{1,2 \cdot \frac{R_i}{t} + 1} \cdot \left(1 + \frac{0,0004875 \cdot Y^{2,5}}{U^{1,41}} \right),$$

де R_i – внутрішній радіус згину, мм; t – товщина металу, мм; Y – межа плинності, МПа; U – межа міцності, МПа.

Заготовка складається з прямолінійних та криволінійних ділянок. Розглядаючи криволінійну ділянку (рис. 1.3), її довжина дорівнює

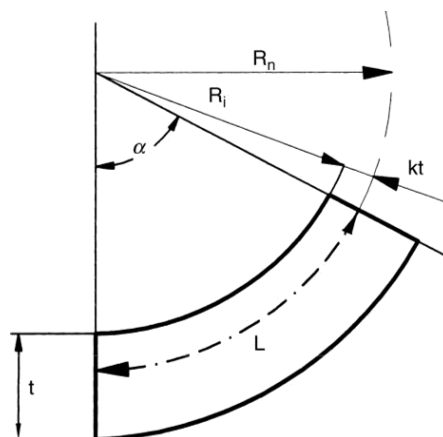


Рисунок 1.3 – Криволінійна ділянка заготовки

$$L = 2 \cdot \pi \cdot R_n \cdot \frac{\alpha}{360} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_i + k \cdot t) = 0,0174533 \cdot (R_i + k \cdot t) \cdot \alpha, \quad (1.1)$$

де R_i – внутрішній радіус, мм; $R_n = R_i + k \cdot t$ – радіус нейтральної вісі, мм; α – кут підгинання.

Якщо перегин заготовки зобразити відповідно до рис. 1.4, то, виконуючи певні геометричні розрахунки, можливо вирахувати параметри:

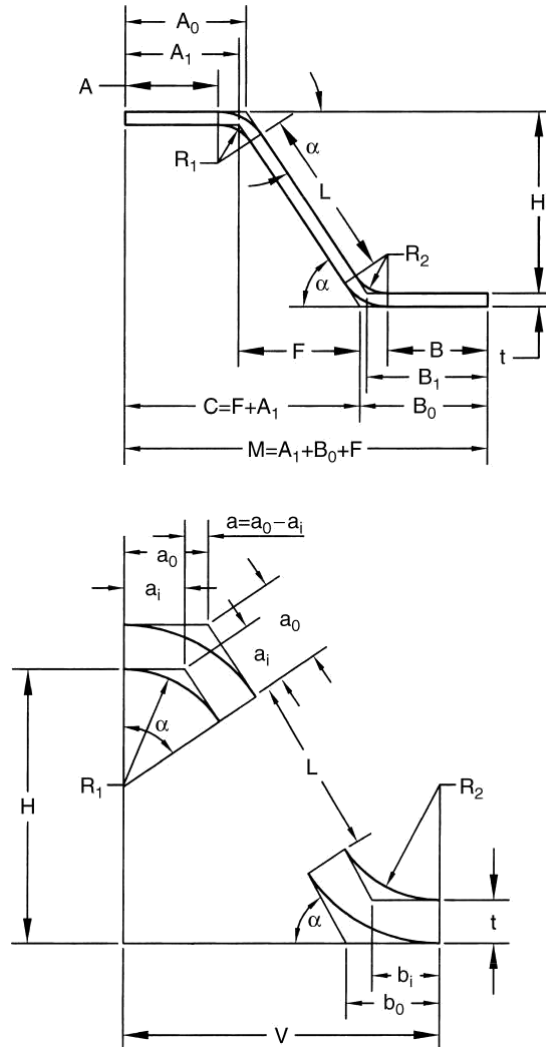


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення криволінійної ділянки заготовки

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= \frac{a_i}{R_1} = \frac{a_0}{R_1 + t} = \frac{b_0}{R_2 + t}, \\ a_i &= R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \\ b_0 &= (R_2 + t) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \\ a_i + b_0 &= \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot (R_1 + R_2 + t) \end{aligned}$$

Якщо $R_1 = R_2$, тоді $a_i + b_0 = (2 \cdot R + t) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$.

Під час розрахунку ширини заготовки передбачається, що довжини прямих ділянок не змінюються під час профілеутворення.

Якщо $R_1 = R_2 = R$, тоді $a_i = b_i$ та $a_0 = b_0$. Виходячи з рис. 1.4

$$V = L \cdot \cos \alpha + (2 \cdot R + t) \cdot \sin \alpha. \quad (1.2)$$

Якщо $R_1 \neq R_2$

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} - R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - (R_2 + t) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Якщо $R_1 = R_2 = R$

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} - (2 \cdot R + t) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (1.3)$$

Якщо дано H, A_0, α та $A = A_0 - a_0$

$$A = A_0 - (R + t) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Якщо дано H, B_0 та α

$$B = B_0 - (R_2 + t) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Якщо дано H, A_i, α та $A = A_i - a_1$

$$A = A_i - R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

та

$$B = B_1 - R_2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Контрольні запитання

1. Як переміщується теоретично нейтральна вісь загнутої заготовки?
2. Як переміщується практично нейтральна вісь загнутої заготовки?
3. Які основні чинники, що впливають на k фактор (коефіцієнт зміщення нейтрального шару)?
4. Яким чином визначають коефіцієнт зміщення нейтрального шару?
5. Яким чином визначають коефіцієнт зміщення нейтрального шару при автоматизованому підході?
6. Як розрахувати довжину криволінійної ділянки заготовки?

Практична робота 1

РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ

Завдання: Обрати з таблиці 1.1 свій варіант за списком, розрахувати ширину заготовки для виготовлення профілю відповідно до рис. 1.5.

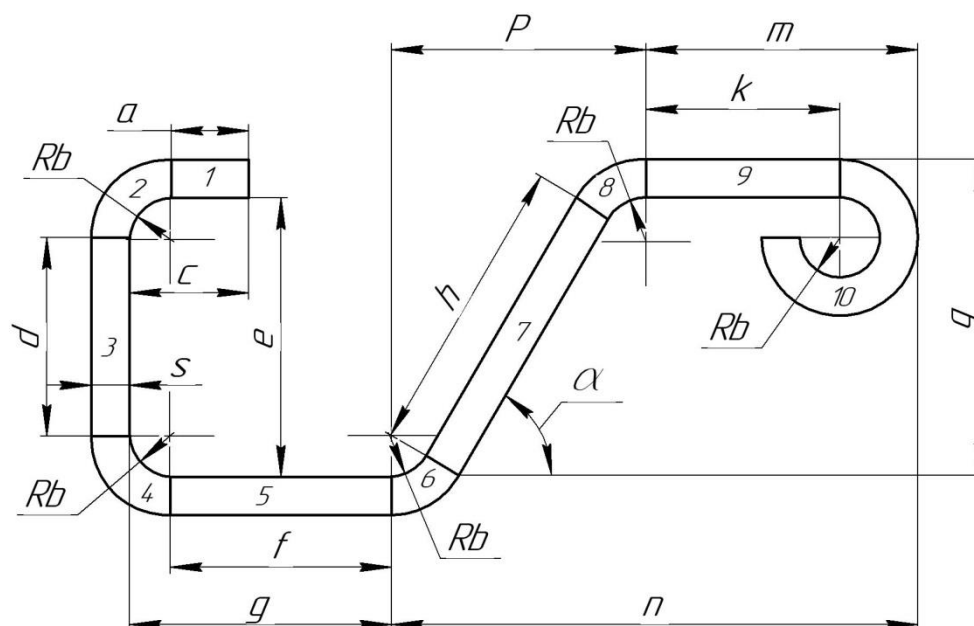


Рисунок 1.5 – Поперечний переріз профілю

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 1

Параметр	Варіант													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
s , мм	2	3	4	5	5	4	3	2	5	4	3	2	3	4
α , °	60	65	55	50	70	66	57	59	64	69	60	65	55	62
a , мм	8	6	10	12	6	11	7	8	9	10	12	8	6	7
Rb , мм	3	5	4	6	3	4	5	6	6	5	4	3	2	4
d , мм	19	16	17	18	20	21	22	23	18	19	20	21	22	17
f , мм	21	16	17	18	19	20	22	23	24	25	26	15	20	21
n , мм	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
q , мм	28	29	30	31	32	33	34	28	29	30	31	32	33	34

Матеріал профілю – низьковуглецева сталь, коефіцієнт зміщення нейтрального шару $k = 0,33$.

Приклад розрахунку ширини заготовки для виготовлення профілю наведено в додатку А.

Лабораторна робота 2
РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Мета: застосувати методику [2] розрахунку ширини заготовки для виготовлення U-профілю (швелера).

Ширину заготовки можна визначити аналітичним, графоаналітичним або графічним методами. Вибір методу розрахунку залежить від складності перерізу профілю. Ширину заготовки зазвичай визначають за довжиною нейтрального шару профілю, який як умовно прийнято, не піддається деформації від вигину і поперечної витяжки. Результати розрахунків корегують з врахуванням потоншення металу в місцях згину та поперечної витяжки.

Переріз швелера дана на рис. 2.1.

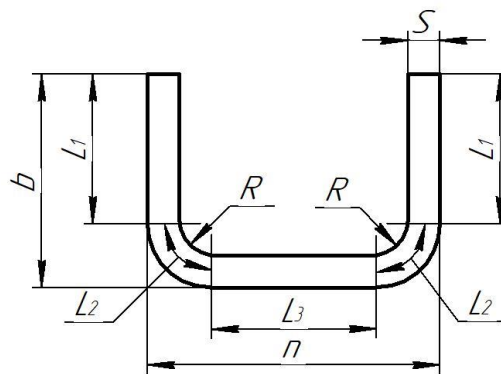


Рисунок 2.1 – Переріз швелера

При визначенні ширини заготовки аналітичним методом переріз профілю ділять на елементарні ділянки (рис. 2.1), сума ширин яких є шириною заготовки, тобто формула [2]

$$L = \sum L_{\text{п}} + \sum L_3,$$

де L – ширина заготовки, мм; $\sum L_{\text{п}}$ – сума ширин прямолінійних ділянок, мм; $\sum L_3$ – сума ширин ділянок заокруглень, мм.

Ширину ділянки заокруглення визначають за формулою

$$L_3 = \pi \cdot \rho \cdot \alpha / 180,$$

де α – кут, що утворюється між ділянками профілю при його підгинанні, град; ρ – радіус заокруглення по нейтральній лінії деформації, мм.

Для розрахунку ширини заготовки профілів типу гнутих кутків, швелерів та інших використовують емпіричну формулу [2]

$$L = P_{\text{умов.}} - q/2 \cdot (3s + R) \cdot \sin \alpha - \Delta s$$

де $P_{\text{умов.}}$ – умовний периметр без урахування заокруглень, мм; q – число заокруглень; R – радіус заокруглення в чистовій калібру, мм; Δs – сумарний кут підгинання, град.

При розрахунку ширини заготовки графоаналітичним методом ширину найбільш складних за конфігурацією ділянок профілю, яку не завжди можна розрахувати аналітичним методом, визначають графічно. Для цього переріз складних ділянок профілю викреслюють у збільшеному масштабі і вимірюють мікрометричним циркулем або курвіметром. Ширина інших ділянок профілю визначає аналітично.

Радіус закруглення чистової калібру R обирають в залежності від пластичних властивостей штаби. Для кольорових металів та низьковуглецевих сталей рекомендується приймати його рівним товщині матеріалу, тобто $R = s$. Також допустимо підгинання елементів профілю із кольорових металів та низьковуглецевих сталей на 180° без внутрішнього закруглення в місцях згинання. Для корозійностійких та низьколегованих сталей внутрішній радіус повинен бути $R \geq 1,5$. При виготовленні гнутих профілів із матеріалів з покриттям $R = (2 \div 3) \cdot s$ змінні радіуси по переходам визначаємо аналітично.

Радіус нейтрального слою визначають за формулою

$$\rho = R + x \cdot s,$$

де R – радіус внутрішнього закруглення готового профілю, мм; s – товщина стінки швелера, мм; x – коефіцієнт нейтрального шару в місці згину, мм. Який приймають:

– для тонкого металу ($s \leq 3,0$) [2, 3]: при $R > s$ коефіцієнт $x = 0,5$; при $R < s$ коефіцієнт $x = 0,33$; при $R < 0,5$ необхідно попередньо видавлювати канавки по місцю згинання, та розрахунковий радіус нейтрального слою розраховують $\rho = (0,2 \dots 0,3) \cdot s$;

– при $s > 3,0$ [2, 3]: при $R/s < 1,5$ коефіцієнт $x = 0,33$; при співвідношенні $R/s = 1,5 \div 5,0$ величиною $0,4$; при відношенні $R/s > 5$ величиною $0,5$.

Довжини ділянок швелера (рис. 2.1) розраховують з таких залежностей – формули (2.1 – 2.3):

$$L_1 = b - (R + s); \quad (2.1)$$

$$L_2 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot \rho}{2}; \quad (2.2)$$

$$L_3 = n - 2(R + s), \quad (2.3)$$

де L_1, L_2, L_3 – довжини ділянок швелера, мм; b – вертикальний розмір профіля швелера, мм; $\alpha = 90^\circ$ – кут підгинання полиць швелера; n – горизонтальний розмір профіля швелера, мм.

Місця згинання профіля в процесі профілювання стають тонше та довжини полиць готового профіля виходять за межі плюсового допуску. Тому необхідно проводити корегування довжини кожної ділянки:

- довжину L_1 зменшують на мінімум допуску по ширині полиці b ;
- довжину L_3 зменшують на мінусовий допуск по висоті профіля h .

Виходячи з формул (2.1-2.3), визначаємо ширину заготовки для виготовлення швелера за формулою

$$L = 2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3.$$

Контрольні запитання

1. Якими способами можливо визначити ширину заготовки?
2. Який алгоритм визначення ширини заготовки аналітичним методом?
3. Який алгоритм визначення ширини заготовки графоаналітичним методом?
4. В залежності від чого обирають радіус закруглення чистової калібру R ?
5. Які радіуси закруглення чистової калібру R обирають для різних металів?
6. Від чого залежить коефіцієнт нейтрального шару в місці згинання?
7. Чому необхідно проводити корегування розрахункової довжини кожної ділянки?
8. Яке корегування необхідно робити довжину L_1 ?
9. Яке корегування необхідно робити довжину L_3 ?

Практична робота 2

РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ

U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Завдання: Обрати з таблиці 2.1 свій варіант за списком, розрахувати ширину заготовки для виготовлення U-профілю (швелера) відповідно до рис. 2.2.

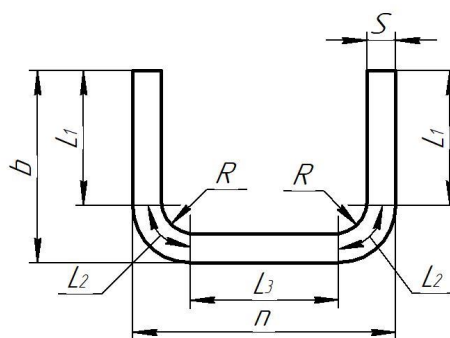


Рисунок 2.2 – Схема швелера

Приклад розрахунку калібрування валків для виробництва наведено в додатку Б.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань до практичної роботи 2

№ варіант	b , мм	n , мм	s , мм
1	100	46	4,5
2	120	52	4,8
3	140	58	4,9
4	160	64	5,0
5	160	68	5,0
6	180	70	5,1
7	180	74	5,1
8	50	32	4,4
9	65	36	4,4
10	80	40	4,5
11	140	58	6,0
12	160	64	5,6
13	160	68	5,8
14	180	70	6,2
15	140	58	6,0

Кут підгинання полиць швелера $\alpha = 90^\circ$.

Лабораторна робота 3

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ *U*-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Мета: застосувати методику [2] розрахунку калібрування валків для виготовлення *U*-профілю (швелера) першої групи.

Загалом, за конструкцією комплект профілезгинальних валків розділяють на три групи. До першої та другої відносять валки, що виконують функцію підгинання (їх ще називають закриті калібри) до сумарного кута 30° та більше 30° , до 85° відповідно. До третьої групи відносять відділочні валки.

Щоб розрахувати калібрування валків першої групи необхідно обрати спосіб калібрування та намітити положення профіля по відношенню до вісей валків. Далі необхідно визначити режим профілювання, що характеризується кутами підгинання.

Розглянемо калібрування валків для профілювання швелера по третьому методу (рис. 3.1) [2].

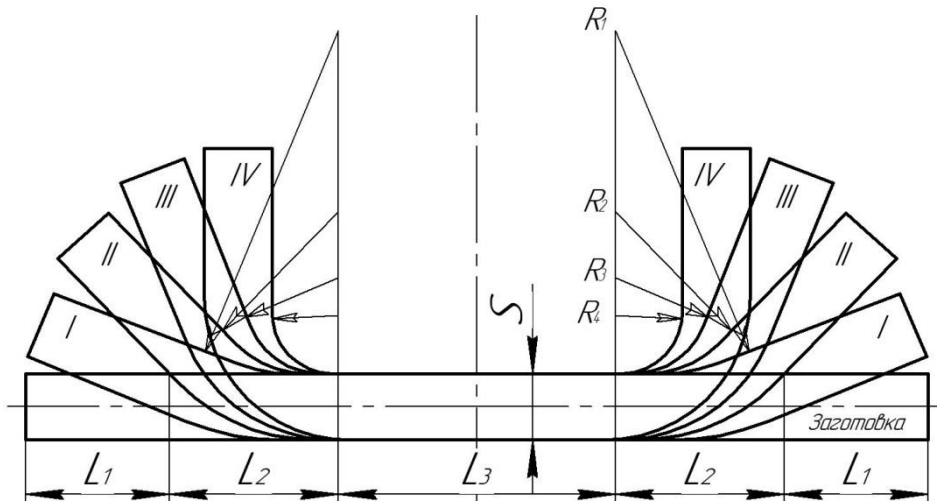


Рисунок 3.1 – Третій метод калібрування гнутих профілів (I-IV послідовність процесу)

Третій метод необхідно застосовувати для профілів, що мають проміжні прямі ділянки, наприклад, для коритного профілю (рис. 3.1) та швелерів, С-подібні і гофровані профілі.

Деформація в окремих калібрах обмежена, так як у виробі не повинні виникати напруги, що викликають руйнування матеріалу. Тому при профілювання неможливо отримати великий кут за один прохід.

Слід враховувати основну вимогу поштучного профілювання – забезпечення плавного заходу металу в калібр. У перших калібрах профіль має малу жорсткість, закруглення ще недостатньо намічені, тому приріст кутів підгинання вибирається невеликим (8° – 10°). У наступних проходах приріст кутів підгинання збільшується до 12° – 15° . В останніх проходах через погіршення умов задання металу в калібр і значного наклепу вигнутих ділянок профілю приріст кутів підгинання приймають рівним 2° – 8° .

Схема швелера дана на рис. 3.2.

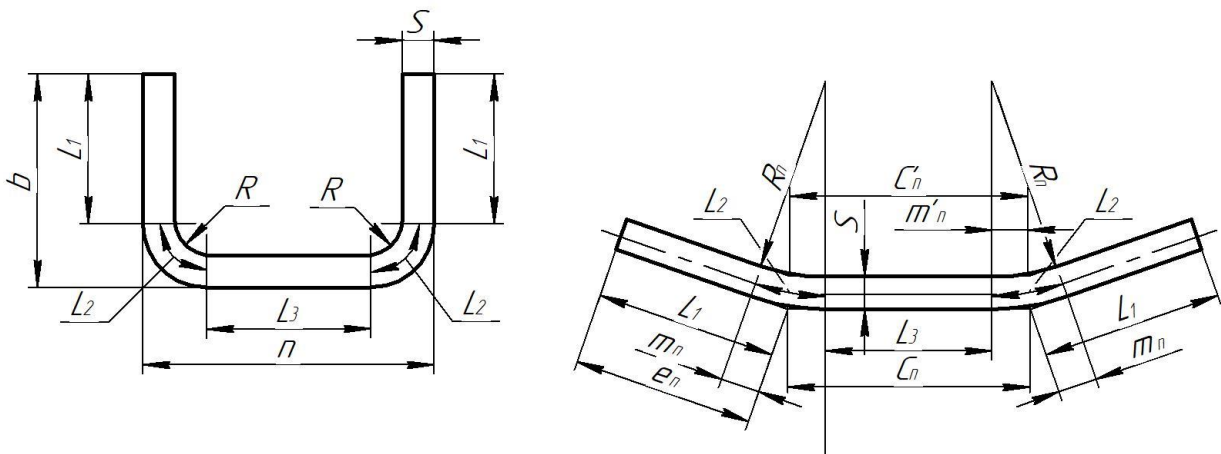


Рисунок 3.2 – Схема швелера

Ширина горизонтальних ділянок калібрів нижнього c_n та верхнього c'_n валків:

$$\begin{aligned}c_n &= L_3 + 2 \cdot m_n, \\c'_n &= L_3 + 2 \cdot m'_n.\end{aligned}$$

Проекція суми прямих ділянок на лінію, що нахилена під кутом α_n :

$$e_n = m_n + L_1.$$

Проекція відрізка e_n на горизонталь:

$$a_n = e_n \cdot \cos \alpha_n.$$

Сума проєкцій всіх відрізків на горизонталь проміжної форми профіля, тобто ширина калібру верхнього валка:

$$b_n = c_n + 2 \cdot a_n.$$

Ширина калібру нижнього валка:

$$\begin{aligned}\text{в першій калібру: } b_{n+1} &= L + 1, \\ \text{в інших калібрах першої групи } b_{n+1} &= b_n + 1,\end{aligned}$$

Зазор між вертикальними частинами верхнього та нижнього валків приймають 0,5 мм, при $b_{n+1} > 500$ мм, зазор приймають 1 мм.

Інші розміри калібру визначають за формулами:

– для нижнього валка:

$$\begin{aligned}k_{n+1} &= \frac{b_{n+1} - c_n}{2}, \\ h_{n+1} &= k_{n+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_n,\end{aligned}$$

– для верхнього валка:

$$\begin{aligned}k'_{n+1} &= \frac{b_n - c'_n}{2}, \\ h'_{n+1} &= k'_{n+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_n.\end{aligned}$$

Ширину бокових реборд нижніх валків приймають з урахуванням міцності та подальшого переточування в інтервалі 50...100 мм.

Загальна ширина валка

$$B_{n+1} = b_{n+1} + 2 \cdot (50 \dots 100).$$

Ширина бурта верхнього валка:

$$t_{n+1} = \frac{B_{n+1} - b_n}{2}.$$

Основні діаметри верхнього та нижнього валків пов'язані між собою співвідношенням:

$$D_{\text{о.в. } n+1} = D_{\text{о.н. } n+1} \cdot i,$$

де i – передаточне співвідношення між шестернями верхнього та нижнього валків шестерної калібру.

Інші розміри вираховуються за формулами:

$$\begin{aligned} D_{\text{н } n+1} &= D_{\text{о.н. } n+1} + 2 \cdot h_{n+1}, \\ D_{\text{в } n+1} &= D_{\text{о.в. } n+1} - 2 \cdot h'_{n+1}, \\ D'_{\text{н } n+1} &= D_{\text{н } n+1} - 2 \cdot (1,5 \cdot s). \end{aligned}$$

Діаметр бурта нижнього валка:

$$D_{\text{б.н } n+1} = D'_{\text{н } n+1} + 20 \dots 30.$$

Розрахунковий зазор в калібру повинен бути рівний товщині заготовки та зазору на буртах між ними і верхніми валками.

Діаметр бурта верхнього валка:

$$D_{\text{б.в } n+1} = D_{\text{о.н. } n+1} + D_{\text{о.в. } n+1} - D_{\text{б.н } n+1}.$$

Для забезпечення подачі штаби в калібр реборди нижніх валків виготовляють з конусами (під кутом 60°), а радіуси приймають рівними: $r_1 = r_3 = 5$ мм; $r_2 = 15$ мм.

Для виходу шліфувального круга на верхньому валку роблять поясок, а для зручності обробки валки виготовляють роз'ємними.

Контрольні запитання

1. На скільки груп розділяють комплект профілезгинальних валків?
2. До якого сумарного кута виконують підгинання валки першої групи?
3. До якого сумарного кута виконують підгинання валки другої групи?
4. Який метод профілювання обирають для виготовлення швелера?
5. Яка з основних вимог поштучного профілювання?
6. Який приріст кутів підгинання обирають у перших калібрах?
7. Який приріст кутів підгинання обирають у середніх калібрах?
8. Який приріст кутів підгинання обирають у останніх калібрах?

Практична робота 3

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Завдання: Продовжити розрахунок варіанту обраного з таблиці 2.1 в практичній роботі 2. Розрахувати калібрування валків першої групи для виготовлення U-профілю (швелера) відповідно до схем з рис. 3.4 та 3.5.

Контрольні запитання

1. Який, як правило, мають калібр другої групи?
2. При розрахунку яка це величина похилої ділянки нижнього валка потрібно враховувати величину, щоб виключити викривлення полиці профіля прямолінійної частини нижнього та верхнього валків?
3. Який приймають кут для вивільнення полиці профіля від защемлення та усунення шкідливих впливів різниці окружних швидкостей?
4. Яке співвідношення для розрахунку ширини реборд нижнього валу?
5. Яке співвідношення для розрахунку ширини бурта верхнього валка?

Практична робота 4

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ДРУГОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Завдання: Продовжити розрахунок варіанту обраного з таблиці 2.1 в практичній роботі 4. Розрахувати калібрування валків другої групи для виготовлення U-профілю (швелера) відповідно до схеми з рис. 4.2.

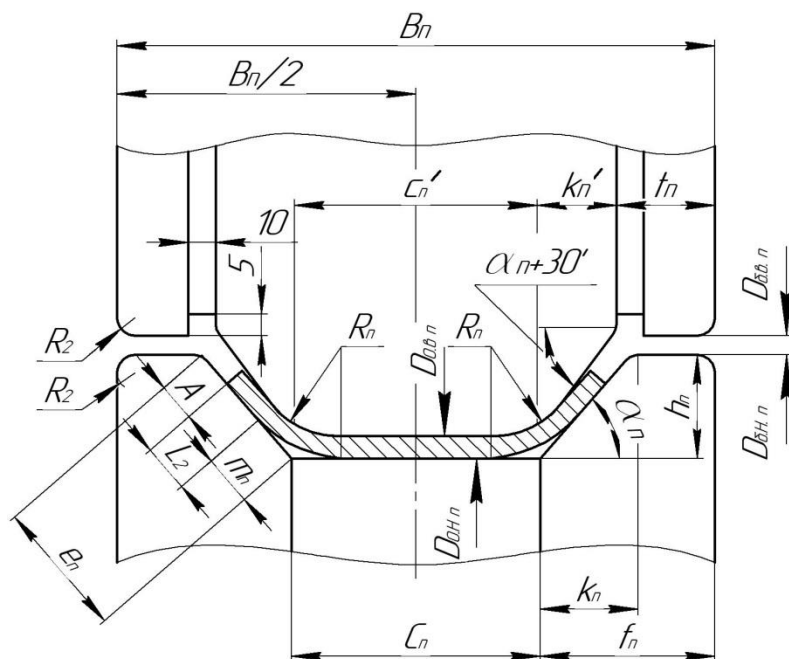


Рисунок 4.2 – Калібрування валків другої групи

Приклад розрахунку калібрування валків для виробництва наведено в додатку Б.

Лабораторна робота 5

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ТРЕТЬОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Мета: застосувати методику [2] розрахунку калібрування валків для виготовлення U-профілю (швелера) третьої групи.

Валки третьої групи призначені для отримання кінцевих кутів. В передчистовому калібрі (рис. 5.1) основу профіля прогинають так, щоб AB стала перпендикулярною до похилої стінки калібру. Кут між полицею профіля та його основою сягає 90° .

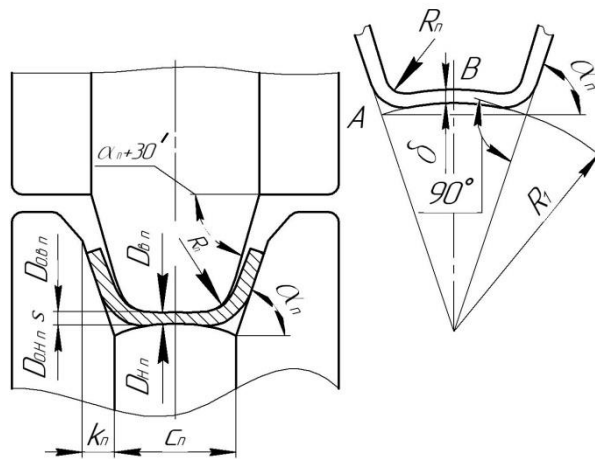


Рисунок 5.1 – Калібрування валків третьої групи в передчистовій калібру

Значення розмірів горизонтальних ділянок калібрів нижнього c_n та верхнього c'_n валків визначають так же, як і для калібрів першої групи.

Радіус кривизни:

$$R_1 = \frac{c_n}{2 \cdot \sin(90^\circ - \alpha_n)}$$

Величина прогину:

$$\delta = R_1 - \frac{c_n}{2 \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha_n)}$$

Інші розміри (у т.ч. чистової калібру (рис. 5.2) розраховуємо за формулою

$$e_n = m_n + L_1 + B,$$

де $B = 15 \dots 20$ мм.

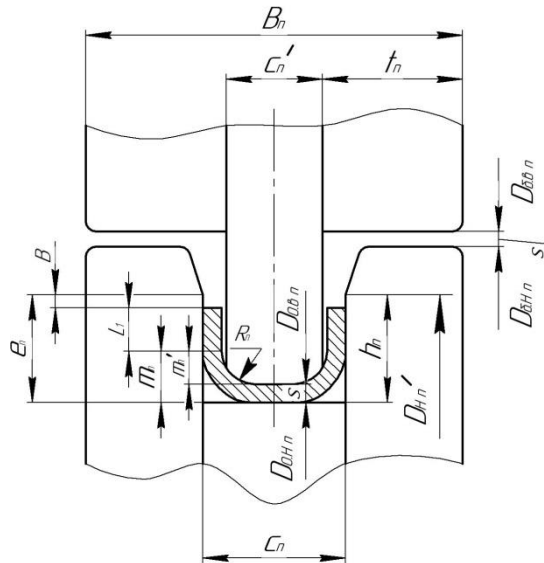


Рисунок 5.2 – Калібрування валків третьої групи в чистовій калібру

Значення h_n та k_n визначають за вище наведеними формулами. Діаметр валків визначають за формулами:

$$\begin{aligned} D_{H n} &= D_{o.H n} + 2 \cdot \delta, \\ D'_{H n} &= D_{o.H n} + 2 \cdot h_n, \\ D_{B n} &= D_{o.B n} - 2 \cdot \delta. \end{aligned}$$

Діаметр бурта нижнього валка:

- для предчистового калібру $D_{б.н.н} = D_{H n} + 2 \cdot h_n$,
- для чистової калібру $D_{б.н.н} = D_{o.H n} + 2 \cdot h_n$.

У чистовій калібру: $k_n = 0$; $e_n = h_n$; $m_n = R_n + s$; $m'_n = R_n$.

Ширина верхнього калібру

$$c'_n = (L_3 + 2 \cdot m'_n) - 1 = (L_3 + 2 \cdot R_n) - 1.$$

Довжина циліндричної ділянки бурта

$$t_n = \frac{B_n - c'_n}{2}.$$

Контрольні запитання

1. Основне призначення валків третьої групи.
2. Основна вимога деформації основи профіля в предчистовому калібру?
3. Яке співвідношення для розрахунку бурта в предчистовому калібру?
4. Яке співвідношення для розрахунку бурта в чистовому калібру?
5. Яке співвідношення для розрахунку ширини верхнього калібру?

Практична робота 5

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ТРЕТЬОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Завдання: Продовжити розрахунок варіанту обраного з таблиці 2.1 в практичній роботі 5. Розрахувати калібрування валків третьої групи для виготовлення U-профілю (швелера) відповідно до схем з рис. 5.3 та 5.4.

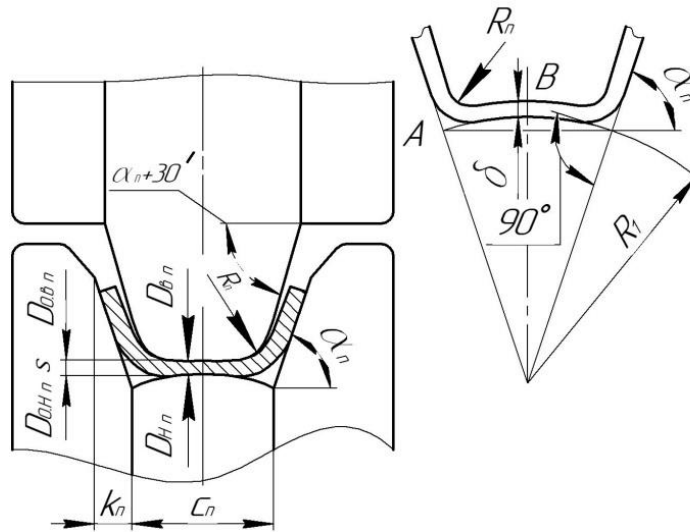


Рисунок 5.3 – Калібрування валків третьої групи в передчистовій калібру

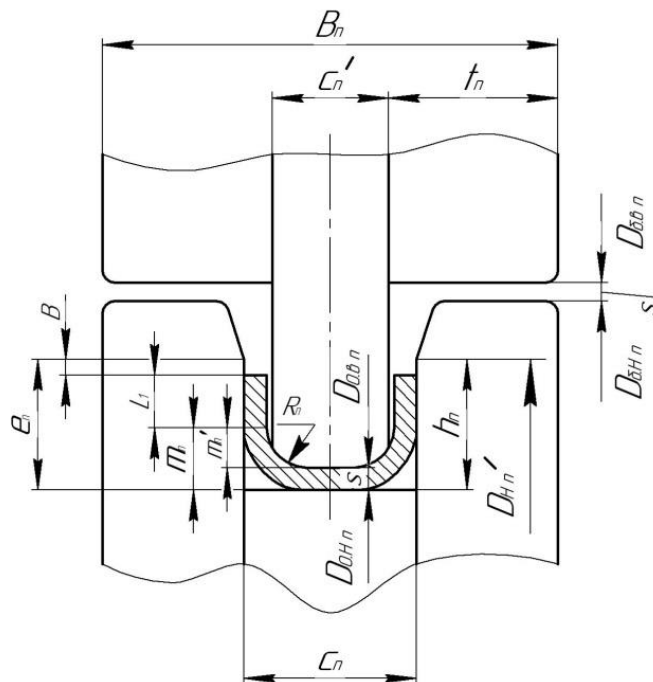


Рисунок 5.4 – Калібрування валків третьої групи в чистовій калібру

Приклад розрахунку калібрування валків для виробництва наведено в додатку Б.

Лабораторна робота 6

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Мета: застосувати методику [2] розрахунку калібрування вертикальних валків першої групи для виготовлення U-профілю (швелера).

Велика відстань між клітьми профілезгинального стану, пружність штаби, виникнення поздовжніх і поперечних прогинів при профілюванні погіршують умови завдання переднього кінця штаби в подальшу кліть. Для усунення цього недоліку передбачені неприводні вертикальні валки, розташовані між клітьми. Валки першої групи калібрів використовують для спрямування переднього кінця смуги в кліть (рис. 6.1). Кут α_n приймають рівним куту підгинання в попередній калібру. Утворююча конуса верхньої частини валка повинна бути перпендикулярна кромці профілю.

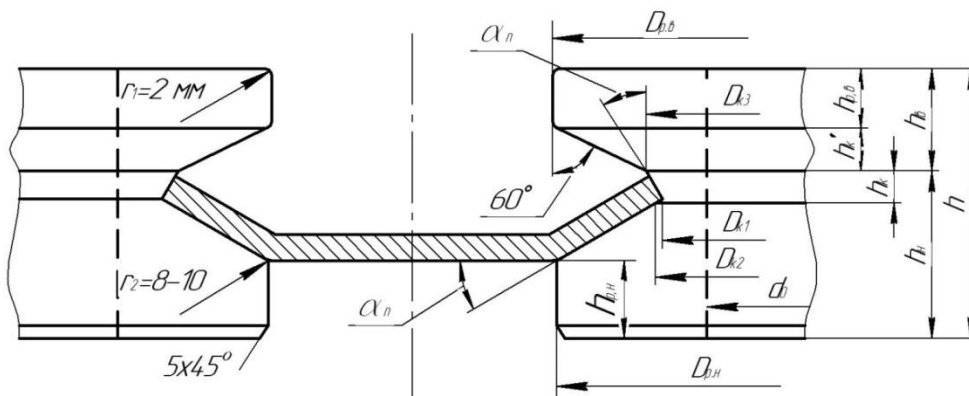


Рисунок 6.1 – Калібрування вертикальних валків першої групи калібрів

Мінімальний діаметр, що утворює калібр D_{k_1} , і висоту поясу h_k приймають рівними:

$$D_{k_1} = d_o + 40 \text{ мм},$$

$$h_k = (2 \div 2,5)s,$$

де d_o – діаметр вісі вертикального валка, мм; s – товщина стінки профілю, мм.

Діаметри валків дорівнюють:

$$D_{k_2} = D_{k_1} + 10 \text{ мм},$$

$$D_{k_3} = D_{k_1} + 2 \cdot k_k \cdot \operatorname{tg} \alpha_n.$$

Довжина похилої ділянки

$$I_n = (0,6 \div 1)b,$$

де b – ширина полиці профілю.

Діаметр нижньої реборди

$$D_{p.n.} = D_{k_2} + 2 \cdot I_n \cdot \cos \alpha_n.$$

Висота реборди і нижньої частини валка:

$$h_{p,n} = 15 \div 20 \text{ мм},$$

$$h_n = h_{p,n} + 2 \cdot I_n \cdot \sin \alpha_n.$$

Діаметр реборди верхнього елемента $D_{p,v}$ вибирають рівним $D_{p,n}$, або вибирають конструктивно. Висота реборди верхнього елемента $h_{p,v} = 10 \text{ мм}$.

Решту розмірів визначають за формулами:

$$h'_k = \frac{D_{p,v} - D_{k3}}{2} \operatorname{tg} 30^\circ;$$

$$h_v = h_k + h'_k + h_{p,v}.$$

Загальна висота вертикального валка $H = h_n + h_v$, а радіуси заокруглення $r_1 = 2 \text{ мм}$ $r_2 = (8 \div 10) \text{ мм}$.

Контрольні запитання

1. Які фактори при профілюванні погіршують умови завдання переднього кінця штаби в подальшу кліть?
2. Яка функція вертикальних неприводних валків при профілюванні?
3. Яка функція валків першої групи калібрів?
4. Яке співвідношення для обчислення висоти реборд і нижньої частини валка?
5. Яке співвідношення для обчислення загальної висоти вертикального валка?

Практична робота 6

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Завдання: Продовжити розрахунок варіанту обраного з таблиці 2.1 в практичній роботі 6. Розрахувати калібрування вертикальних валків першої групи для виготовлення U-профілю (швелера) відповідно до схеми з рис. 6.2.

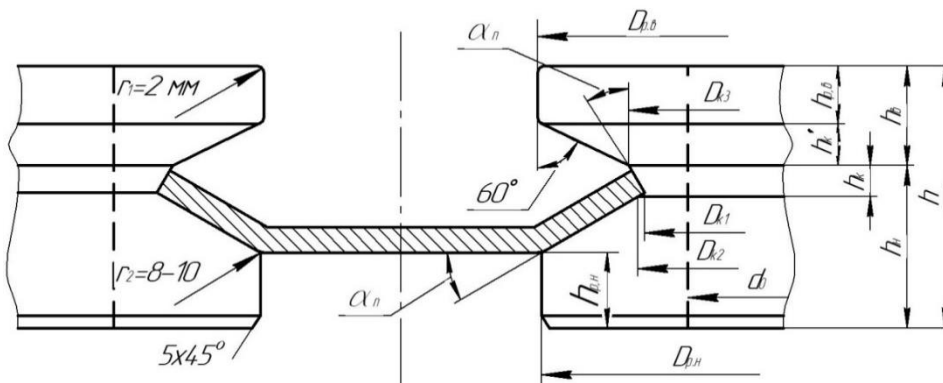


Рисунок 6.2 – Калібрування вертикальних валків першої групи калібрів

Лабораторна робота 7

РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКІВ ДРУГОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)

Мета: застосувати методику [2] розрахунку калібрування вертикальних валків другої групи для виготовлення U-профілю (швелера).

Вертикальні валки другої групи калібрів (рис. 7.1) призначені для спрямування смуги в подальшу кліть, а також для ліквідації поздовжніх прогинів у вертикальній площині.

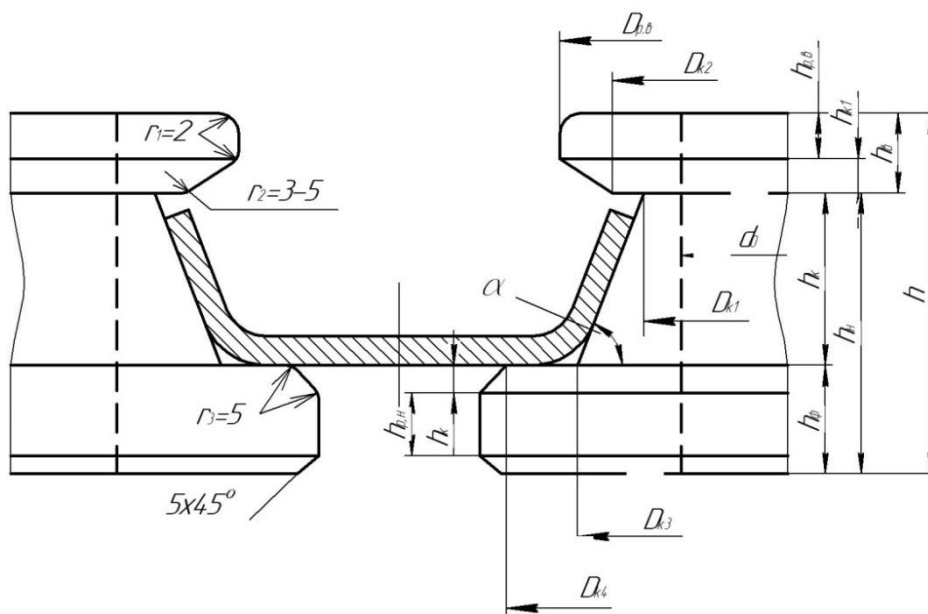


Рисунок 7.1 – Калібрування вертикальних валків другої групи калібрів

Розміри верхнього елемента приймають: $h_{k_1} = 15$ мм; $h_{p.v} = 10$ мм; $h_B = 25$ мм.

Діаметри вертикального валка визначають за формулами:

$$\begin{aligned} D_{k_2} &= D_{k_1} + 6s \text{ мм}, \\ D_{k_3} &= D_{k_1} + \frac{2h_k}{\operatorname{tg} \alpha_n} \text{ мм}, \\ D_{k_4} &= D_{k_3} + (30 \div 40) \text{ мм}. \end{aligned}$$

Якщо основа профілю невелика, то D_{k_4} вибирають конструктивно. Діаметр нижньої реборди $D_{p.n} = D_{k_4} + 30$ мм, а загальна висота валка $H = h_\phi + h_k + h_B$. На верхньому і нижньому елементах передбачають конуси з ухілами для завдання смуги в калібр вертикальних валків у разі верхнього або нижнього поздовжнього прогину у вертикальній площині.

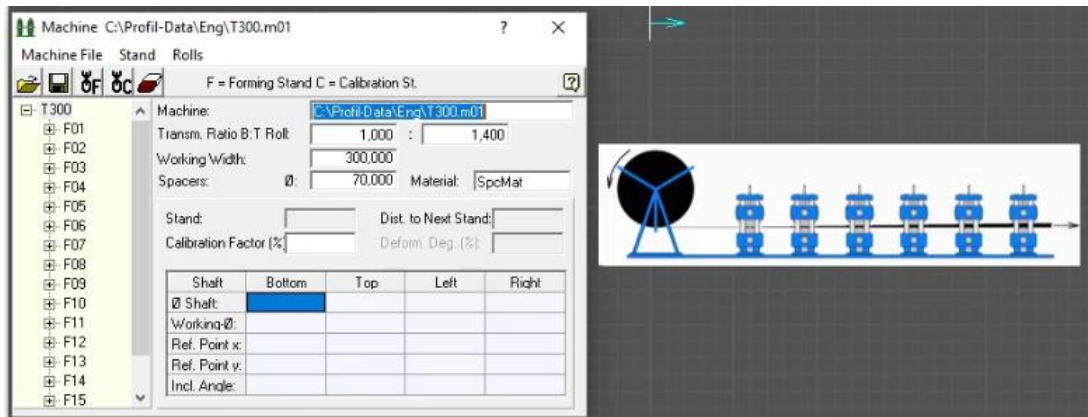


Рисунок 8.1 – Меню для обирання характеристик стану для виробництва заданого профілю

Через меню *Toolbox Profile Design*  обираємо тип профілю «U» та у вікні, що відкрилося, задаємо параметри перерізу профілю (рис. 8.2).



Рисунок 8.2 – Задання параметрів перерізу профілю

Отримуємо профіль, розміри якого задаються через меню (рис. 8.3-8.7).

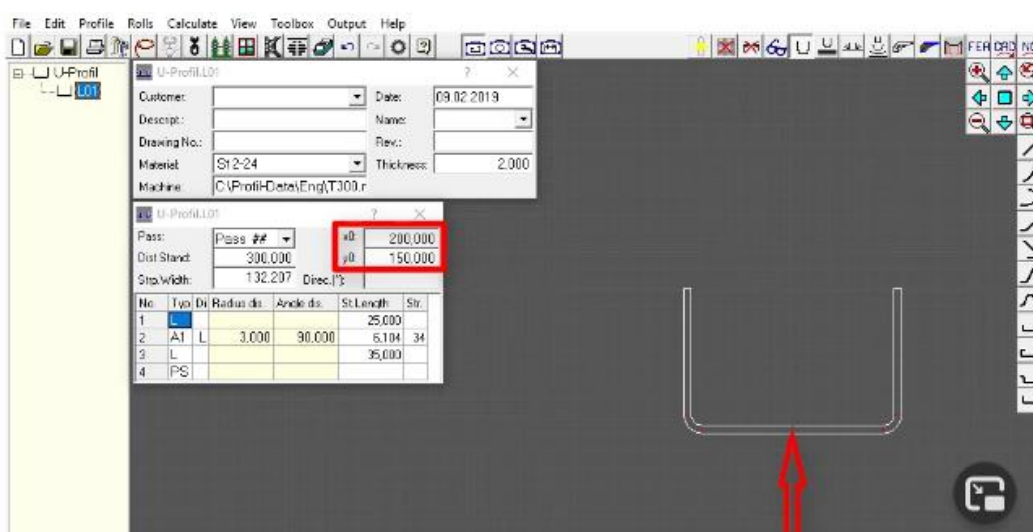


Рисунок 8.3 – Задання «нульової» точки профілю

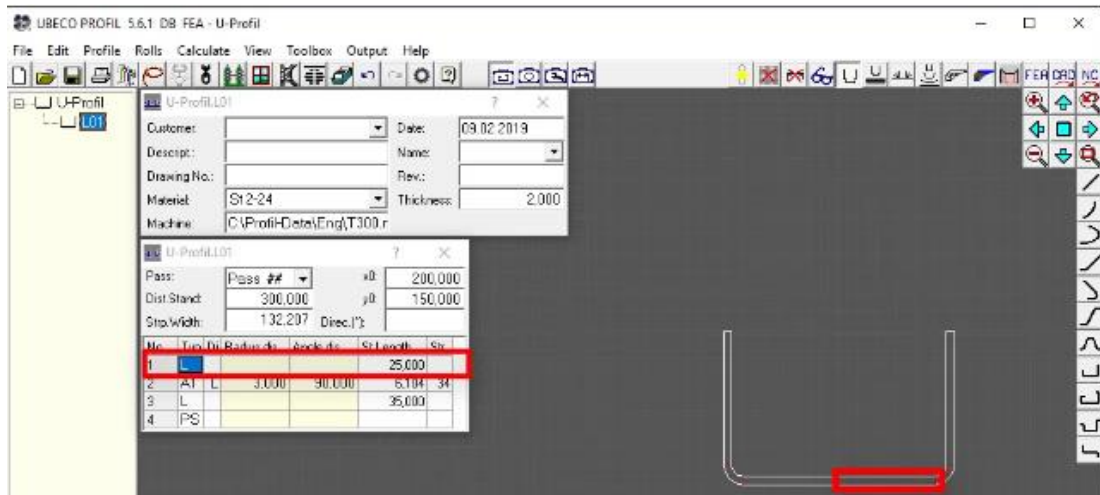


Рисунок 8.4 – Задання довжини L горизонтальної ділянки

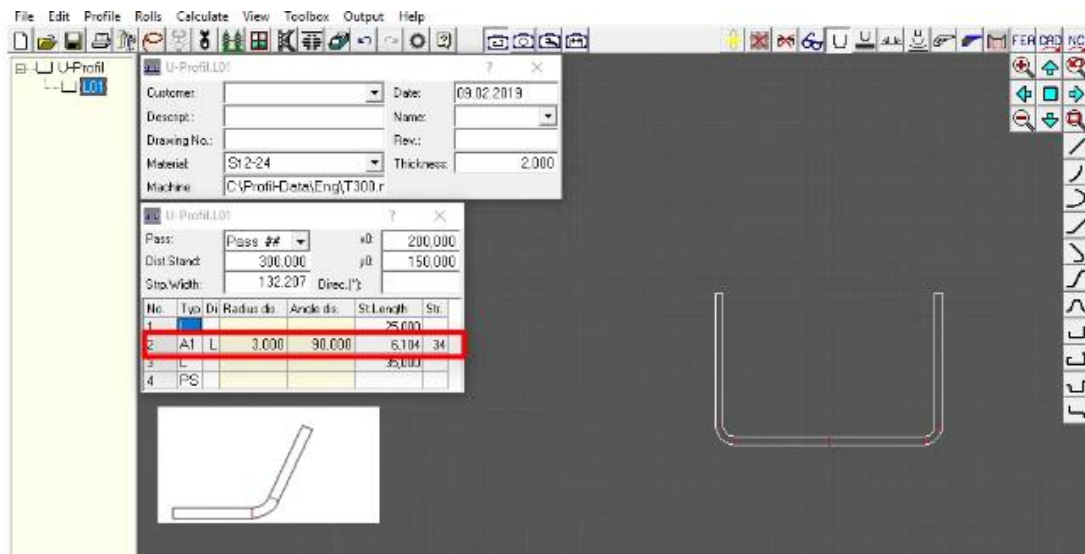


Рисунок 8.5 – Задання характеристик ділянки, що підлягає згинання

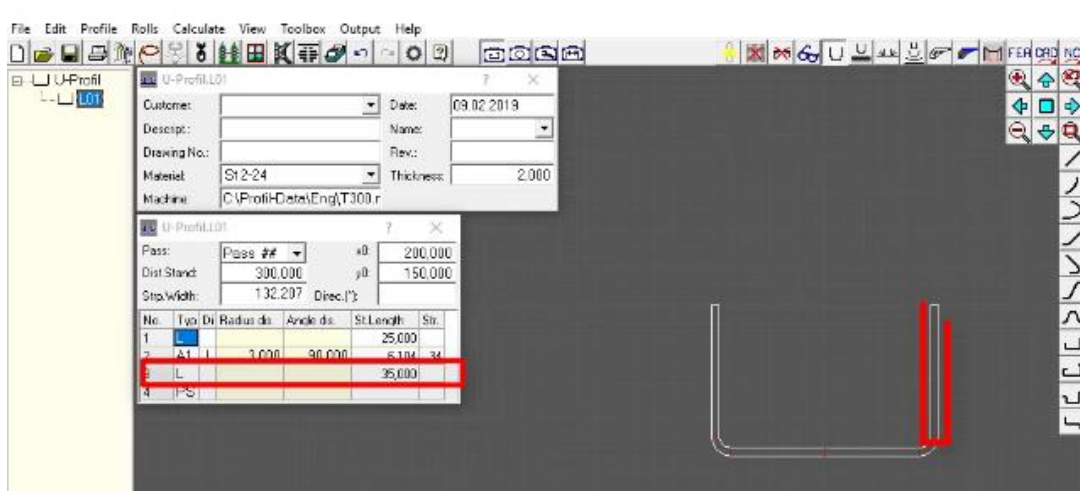


Рисунок 8.6 – Задання довжини L вертикальної ділянки

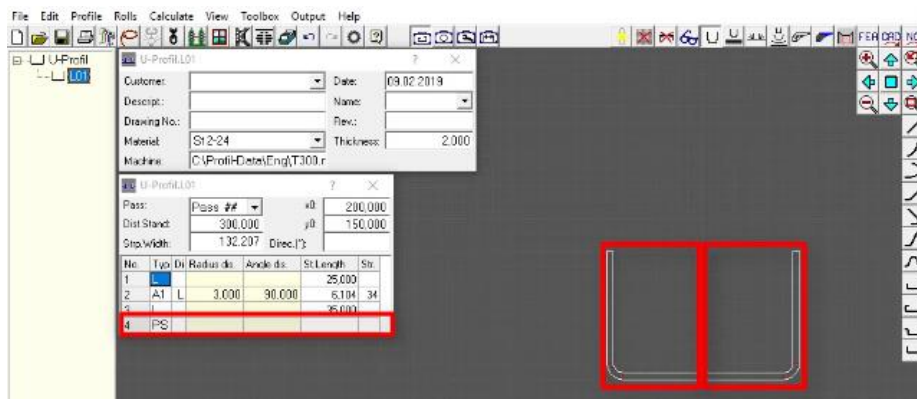


Рисунок 8.7 – Задання симетрії профілю

Розрахована автоматизовано довжина ширини заготовки для виготовлення профілю показана на рис. 8.8.

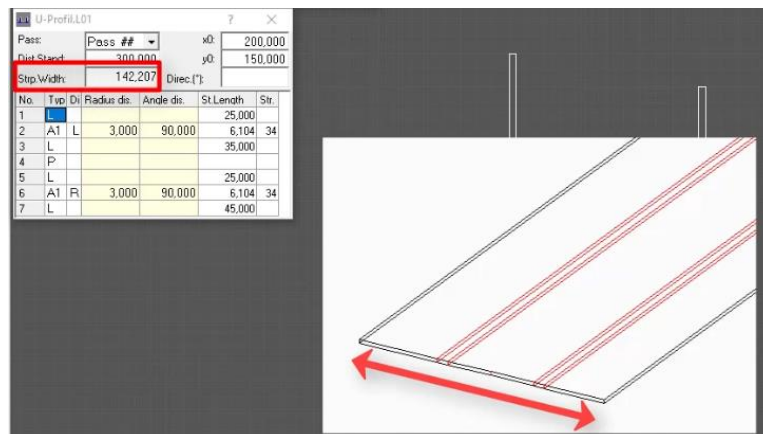





Рисунок 8.8 – Розрахована автоматизовано довжина ширини заготовки для виготовлення профілю

Для створення нового переходу необхідно обрати пункт меню *Append Profile List*  та підтвердити дію.

Далі, за допомогою меню *Toolbox Modify*  та кнопок меню *larger* чи *smaller* обираємо необхідний кут підгинання. Таким чином будуємо «квітку» (розгортку) всіх переходів профілювання (рис. 8.9) (калькулятор навантажень викликають через меню ).

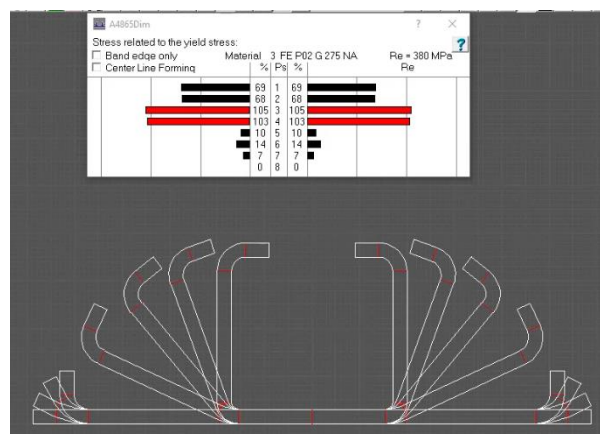


Рисунок 8.9 – «Квітка» (розгортка) всіх переходів профілювання

Важливо, щоб навантаження в калькуляторі навантажень не переходили в червону зону. Це досягається шляхом корегування кутів підгинання елементів профілю за перехід або методикою формотворення (рис. 8.10).

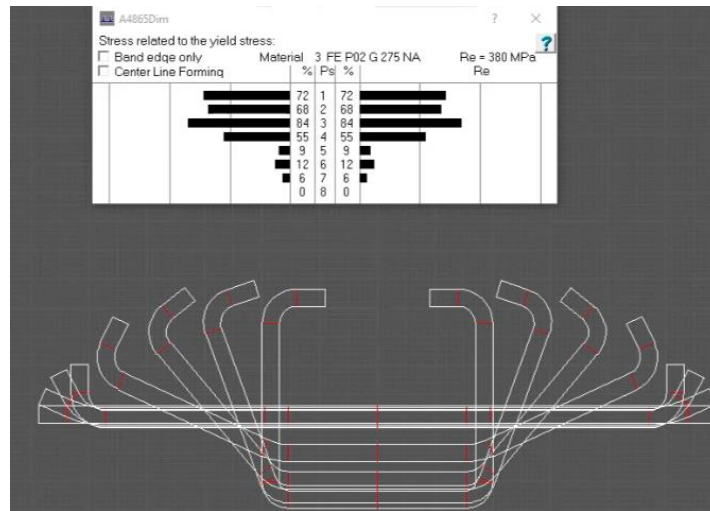


Рисунок 8.10 – Розроблений режим калібрування для виготовлення профілю в програмі UBESO

Контрольні запитання

1. Дати характеристику програми UBESO?
2. Як обрати в програмі UBESO стан для виробництва заданого профілю?
3. Як задати параметри перерізу профілю?
4. Як створити новий перехід?
5. Який основний критерій «квітки» розгортки переходів профілювання в програмі UBESO?

Практична робота 8

РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ КАЛІБРУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ В ПРОГРАМІ UBESO

Завдання: Розрахувати режим калібрування для виготовлення профілю в програмі UBESO, варіант обрати з таблиці 2.1 в практичній роботі 2.

ДОДАТКИ

Додаток А

Приклад розрахунку ширини заготовки для виготовлення профілю

На рис. А.1 дано поперечний переріз профілю з розмірами

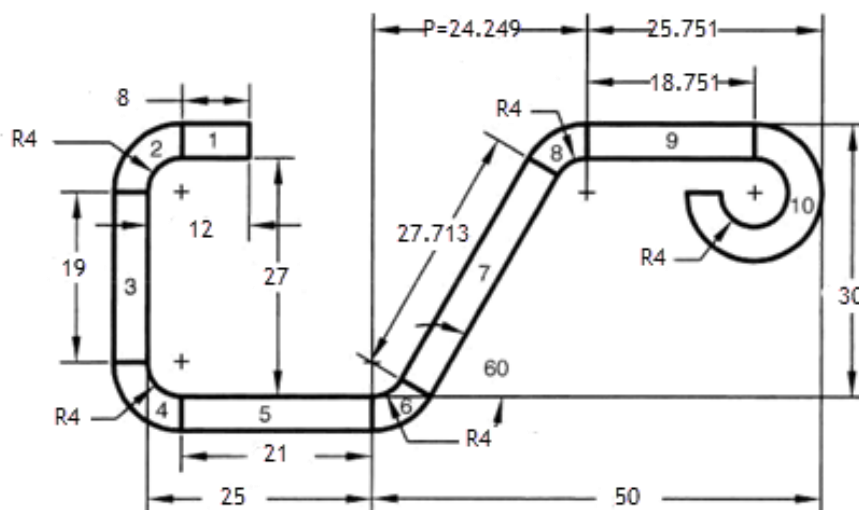


Рисунок А.1 – Поперечний переріз профілю

Матеріал профілю – низьковуглецева сталь, товщина $t = 4,0$ мм, коефіцієнт зміщення нейтрального шару $k = 0,33$.

Всі розрахунки загальної довжини профілю зведені в таблицю А.1

Таблиця А.1 – Розрахунки загальної довжини профілю

Ділянка профілю	Розрахунок	Довжина, мм
1	$12 - R$	8
2	$0,0174533 \cdot (R + k \cdot t) \cdot 90$	8,357 (формула 1.1)
3	$27 - 2 \cdot R$	19
4	$0,0174533 \cdot (R + k \cdot t) \cdot 90$	8,357 (формула 1.1)
5	$25 - R$	21
6	$0,0174533 \cdot (R + k \cdot t) \cdot 60$	5,571 (формула 1.1)
7	$\frac{30}{\sin 60^\circ} - (2 \cdot R + t) \cdot \operatorname{tg} 30^\circ$	27,713 (формула 1.3)
8	$0,0174533 \cdot (R + k \cdot t) \cdot 60$	5,571 (формула 1.1)
P	$L_7 \cdot \cos 60^\circ + (2 \cdot R + t) \cdot \sin 60^\circ$	24,249 (формула 1.2)
9	$51 - P - R - t$	18,751
10	$0,0174533 \cdot (R + k \cdot t) \cdot 270$	25,07 (формула 1.1)
Всього		147,39

Додаток Б
Приклад розрахунку калібрування валків для виробництва швелера 120×60×6

Обираємо режим профілювання:

$$0^\circ - 8^\circ - 18^\circ - 30^\circ - 42^\circ - 54^\circ - 66^\circ - 78^\circ - 88^\circ - 90^\circ.$$

Розрахунок ширини заготовки для виготовлення швелера

Радіус закруглення чистової калібру R обираємо 8 мм.

Коефіцієнт нейтрального шару в місці згину x обираємо 0,33 мм.

Радіус нейтрального шару:

$$\rho = R + x \cdot s = 8 + 0,33 \cdot 6 = 9,98 \text{ мм.}$$

Довжини ділянок швелера (рис. 2.1):

$$\begin{aligned} L_1 &= b - (R + s) = 60 - (8 + 6) = 46 \text{ мм,} \\ L_2 &= \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot \rho}{2} = \frac{\pi \cdot 9,98}{2} \approx 15,67 \text{ мм,} \\ L_3 &= h - 2 \cdot (R + s) = 120 - 2 \cdot (8 + 6) = 92 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Ширина заготовки для виготовлення швелера:

$$L = 2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3 = 2 \cdot 46 + 2 \cdot 15,7 + 92 = 215,4 \text{ мм.}$$

Калібрування валків першої групи (2, 3 та 4-го калібру)

Схема калібрування валків першої групи зображена на рис. 3.3.

Змінні радіуси R_n

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_2} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{8} - 0,33 \cdot 6 \approx 110,3 \text{ мм,} \\ R_3 &= \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_3} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{18} - 0,33 \cdot 6 \approx 47,9 \text{ мм,} \\ R_4 &= \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_4} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{30} - 0,33 \cdot 6 \approx 28 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Розраховуємо ділянки m_n та m'_n (рис. 3.2):

$$\begin{aligned} m_2 &= (R_2 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} = (110,3 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{8}{2} \approx 8,13 \text{ мм,} \\ m'_2 &= R_2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} = 110,3 \cdot \operatorname{tg} \frac{8}{2} \approx 7,71 \text{ мм,} \\ m_3 &= (R_3 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} = (47,9 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{18}{2} \approx 8,54 \text{ мм,} \\ m'_3 &= R_3 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_3}{2} = 47,9 \cdot \operatorname{tg} \frac{18}{2} \approx 7,59 \text{ мм,} \end{aligned}$$

Продовження додатка Б

$$m_4 = (R_4 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} = (28 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{30}{2} \approx 9,11 \text{ мм},$$

$$m'_4 = R_4 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_4}{2} = 28 \cdot \operatorname{tg} \frac{30}{2} \approx 7,5 \text{ мм}.$$

Ширина горизонтальних ділянок калібрів нижнього c_n та верхнього c'_n валків:

$$c_2 = L_3 + 2 \cdot m_2 = 92 + 2 \cdot 8,13 = 108,26 \text{ мм},$$

$$c'_2 = L_3 + 2 \cdot m'_2 = 92 + 2 \cdot 7,71 = 107,42 \text{ мм},$$

$$c_3 = L_3 + 2 \cdot m_3 = 92 + 2 \cdot 8,54 = 109,08 \text{ мм},$$

$$c'_3 = L_3 + 2 \cdot m'_3 = 92 + 2 \cdot 7,59 = 107,18 \text{ мм},$$

$$c_4 = L_3 + 2 \cdot m_4 = 92 + 2 \cdot 9,11 = 110,22 \text{ мм},$$

$$c'_4 = L_3 + 2 \cdot m'_4 = 92 + 2 \cdot 7,5 = 107 \text{ мм}.$$

Проекція суми прямих ділянок на лінію, що нахилена під кутом α_n :

$$e_2 = m_2 + L_1 = 8,13 + 46 = 54,13 \text{ мм},$$

$$e_3 = m_3 + L_1 = 8,54 + 46 = 54,54 \text{ мм},$$

$$e_4 = m_4 + L_1 = 9,11 + 46 = 55,11 \text{ мм}.$$

Проекція відрізка e_n на горизонталь:

$$a_2 = e_2 \cdot \cos \alpha_2 = 54,13 \cdot \cos 8 = 53,6 \text{ мм},$$

$$a_3 = e_3 \cdot \cos \alpha_3 = 54,54 \cdot \cos 18 = 51,87 \text{ мм},$$

$$a_4 = e_4 \cdot \cos \alpha_4 = 55,11 \cdot \cos 30 = 47,73 \text{ мм}.$$

Сума проекцій всіх відрізків на горизонталь проміжної форми профіля, тобто – ширина калібру верхнього валка:

$$b_2 = c_2 + 2 \cdot a_2 = 108,26 + 2 \cdot 53,6 = 215,46 \text{ мм},$$

$$b_3 = c_3 + 2 \cdot a_3 = 109,08 + 2 \cdot 51,87 = 212,82 \text{ мм},$$

$$b_4 = c_4 + 2 \cdot a_4 = 110,22 + 2 \cdot 47,73 = 205,68 \text{ мм}.$$

Ширина калібру нижнього валка:

$$\text{в першій калібру: } b_{2+1} = L + 1 = 215,4 + 1 = 216,4 \text{ мм},$$

$$\text{в інших калібрах першої групи } b_{3+1} = b_3 + 1 = 212,82 + 1 = 213,82 \text{ мм},$$

$$b_{4+1} = b_4 + 1 = 205,68 + 1 = 206,68 \text{ мм}.$$

Зазор між вертикальними частинами верхнього та нижнього валків приймаємо 0,5 мм.

Інші розміри калібру визначають за формулами:

– для нижнього валка:

$$k_{2+1} = \frac{b_{2+1} - c_2}{2} = \frac{216,4 - 108,26}{2} = 54,07 \text{ мм},$$

$$h_{2+1} = k_{2+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 54,07 \cdot \operatorname{tg} 8 = 7,6 \text{ мм},$$

Продовження додатка Б

$$k_{3+1} = \frac{b_{3+1} - c_3}{2} = \frac{213,82 - 109,08}{2} = 52,37 \text{ мм},$$

$$h_{3+1} = k_{3+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 = 52,37 \cdot \operatorname{tg} 18 = 17,02 \text{ мм},$$

$$k_{4+1} = \frac{b_{4+1} - c_4}{2} = \frac{206,68 - 110,22}{2} = 48,23 \text{ мм},$$

$$h_{4+1} = k_{4+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_4 = 48,23 \cdot \operatorname{tg} 30 = 27,85 \text{ мм},$$

– для верхнього валка:

$$k'_{2+1} = \frac{b_2 - c'_2}{2} = \frac{215,46 - 107,42}{2} = 54,02 \text{ мм},$$

$$h'_{2+1} = k'_{2+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = 54,02 \cdot \operatorname{tg} 8 = 7,59 \text{ мм},$$

$$k'_{3+1} = \frac{b_3 - c'_3}{2} = \frac{212,82 - 107,18}{2} = 52,82 \text{ мм},$$

$$h'_{3+1} = k'_{3+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_3 = 52,82 \cdot \operatorname{tg} 18 = 17,16 \text{ мм},$$

$$k'_{4+1} = \frac{b_4 - c'_4}{2} = \frac{205,68 - 107}{2} = 49,34 \text{ мм},$$

$$h'_{4+1} = k'_{4+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_4 = 49,34 \cdot \operatorname{tg} 30 = 28,49 \text{ (мм)}.$$

Ширину бокових реборд нижніх валків приймають з урахуванням міцності та подальшого переточування в інтервалі 50...100 мм.

Загальна ширина валка:

$$B_{2+1} = b_{2+1} + 100 = 216,4 + 100 = 316,4 \text{ мм},$$

$$B_{3+1} = b_{3+1} + 100 = 213,82 + 100 = 313,82 \text{ мм},$$

$$B_{4+1} = b_{4+1} + 100 = 206,68 + 100 = 306,68 \text{ мм}.$$

Ширина бурта верхнього валка:

$$t_{2+1} = \frac{B_{2+1} - b_2}{2} = \frac{316,4 - 215,46}{2} = 50,47 \text{ мм},$$

$$t_{3+1} = \frac{B_{3+1} - b_3}{2} = \frac{313,82 - 212,82}{2} = 50,5 \text{ мм},$$

$$t_{4+1} = \frac{B_{4+1} - b_4}{2} = \frac{306,68 - 205,68}{2} = 50,5 \text{ мм}.$$

Діаметр нижніх валків калібру $D_{\text{о.н. } 2,3,4+1} = 250 \text{ мм}$.

Передаточне співвідношення між шестернями верхнього та нижнього валків шестерні калібру $i = 2,33$. Діаметри верхнього валка калібру:

$$D_{\text{о.в. } 2,3,4+1} = D_{\text{о.н. } 2,3,4+1} \cdot i = 250 \cdot 2,33 = 582,5 \text{ (мм)}.$$

Вираховуємо інші розміри:

$$D_{\text{н } 2+1} = D_{\text{о.н. } 2,3,4+1} + 2 \cdot h_{2+1} = 250 + 2 \cdot 7,6 = 265,2 \text{ мм},$$

$$D_{\text{н } 3+1} = D_{\text{о.н. } 2,3,4+1} + 2 \cdot h_{3+1} = 250 + 2 \cdot 17,02 = 284,04 \text{ мм},$$

$$D_{\text{н } 4+1} = D_{\text{о.н. } 2,3,4+1} + 2 \cdot h_{4+1} = 250 + 2 \cdot 27,85 = 305,7 \text{ мм}.$$

Продовження додатка Б

$$D_{B\ 2+1} = D_{O.B.\ 2,3,4+1} - 2 \cdot h'_{2+1} = 582,5 - 2 \cdot 7,59 = 567,32 \text{ мм},$$

$$D_{B\ 3+1} = D_{O.B.\ 2,3,4+1} - 2 \cdot h'_{3+1} = 582,5 - 2 \cdot 17,16 = 548,18 \text{ мм},$$

$$D_{B\ 4+1} = D_{O.B.\ 2,3,4+1} - 2 \cdot h'_{4+1} = 582,5 - 2 \cdot 28,49 = 525,52 \text{ мм}.$$

$$D'_{H\ 2+1} = D_{H\ 2+1} - 2 \cdot (1,5 \cdot s) = 265,2 + 2 \cdot (1,5 \cdot 6) = 283,2 \text{ мм},$$

$$D'_{H\ 3+1} = D_{H\ 3+1} - 2 \cdot (1,5 \cdot s) = 284,04 + 2 \cdot (1,5 \cdot 6) = 302,04 \text{ мм},$$

$$D'_{H\ 4+1} = D_{H\ 4+1} - 2 \cdot (1,5 \cdot s) = 305,7 + 2 \cdot (1,5 \cdot 6) = 323,7 \text{ мм}.$$

Діаметр бурта нижнього валка:

$$D_{б.н\ 2+1} = D'_{H\ 2+1} + 30 = 283,2 + 30 = 313,2 \text{ мм},$$

$$D_{б.н\ 3+1} = D'_{H\ 3+1} + 30 = 302,04 + 30 = 332,04 \text{ мм},$$

$$D_{б.н\ 4+1} = D'_{H\ 4+1} + 30 = 323,7 + 30 = 353,7 \text{ мм}.$$

Діаметр бурта верхнього валка:

$$D_{б.в\ 2+1} = D_{O.H.\ 2,3,4+1} + D_{O.B.\ 2,3,4+1} - D_{б.н\ 2+1} = 250 + 582,5 - 313,2 = 519,3 \text{ мм},$$

$$D_{б.в\ 3+1} = D_{O.H.\ 2,3,4+1} + D_{O.B.\ 2,3,4+1} - D_{б.н\ 3+1} = 250 + 582,5 - 332,04 = 500,46 \text{ мм},$$

$$D_{б.в\ 4+1} = D_{O.H.\ 2,3,4+1} + D_{O.B.\ 2,3,4+1} - D_{б.н\ 4+1} = 250 + 582,5 - 353,7 = 478,8 \text{ мм}.$$

Для забезпечення подачі штаби в калібр реборди нижніх валків виготовляють з конусами (під кутом 60°), а радіуси приймаємо рівними: $r_1 = r_3 = 5 \text{ мм}$; $r_2 = 15 \text{ мм}$.

Калібрування валків другої групи (5, 6, 7 та 8-го калібру)

Схема калібрування валків другої групи зображена на рис. 4.1.

Змінні радіуси R_n

$$R_5 = \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_5} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{42} - 0,33 \cdot 6 \approx 19,41 \text{ мм},$$

$$R_6 = \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_6} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{54} - 0,33 \cdot 6 \approx 14,65 \text{ мм},$$

$$R_7 = \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_7} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{66} - 0,33 \cdot 6 \approx 11,63 \text{ мм},$$

$$R_8 = \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_8} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{78} - 0,33 \cdot 6 \approx 9,54 \text{ мм}.$$

Розраховуємо ділянки m_n та m'_n (рис. 3.2):

$$m_5 = (R_5 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_5}{2} = (19,41 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{42}{2} \approx 9,75 \text{ мм},$$

Продовження додатка Б

$$m'_5 = R_5 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_5}{2} = 19,41 \cdot \operatorname{tg} \frac{42}{2} \approx 7,45 \text{ мм},$$

$$m_6 = (R_6 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_6}{2} = (14,65 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{54}{2} \approx 10,52 \text{ мм},$$

$$m'_6 = R_6 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_6}{2} = 14,65 \cdot \operatorname{tg} \frac{54}{2} \approx 7,46 \text{ мм},$$

$$m_7 = (R_7 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_7}{2} = (11,63 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{66}{2} \approx 11,45 \text{ мм},$$

$$m'_7 = R_7 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_7}{2} = 11,63 \cdot \operatorname{tg} \frac{66}{2} \approx 7,55 \text{ мм},$$

$$m_8 = (R_8 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_8}{2} = (9,54 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{78}{2} \approx 12,58 \text{ мм},$$

$$m'_8 = R_8 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_8}{2} = 9,54 \cdot \operatorname{tg} \frac{78}{2} \approx 7,73 \text{ мм}.$$

Ширина горизонтальних ділянок калібрів нижнього c_n та верхнього c'_n валків:

$$c_5 = L_3 + 2 \cdot m_5 = 92 + 2 \cdot 9,75 = 111,5 \text{ мм},$$

$$c'_5 = L_3 + 2 \cdot m'_5 = 92 + 2 \cdot 7,45 = 106,9 \text{ мм},$$

$$c_6 = L_3 + 2 \cdot m_6 = 92 + 2 \cdot 10,52 = 113,04 \text{ мм},$$

$$c'_6 = L_3 + 2 \cdot m'_6 = 92 + 2 \cdot 7,46 = 106,92 \text{ мм},$$

$$c_7 = L_3 + 2 \cdot m_7 = 92 + 2 \cdot 11,45 = 114,9 \text{ мм},$$

$$c'_7 = L_3 + 2 \cdot m'_7 = 92 + 2 \cdot 7,55 = 107,1 \text{ мм},$$

$$c_8 = L_3 + 2 \cdot m_8 = 92 + 2 \cdot 12,58 = 117,16 \text{ мм},$$

$$c'_8 = L_3 + 2 \cdot m'_8 = 92 + 2 \cdot 7,73 = 107,46 \text{ мм}.$$

Довжину похилої ділянки нижнього валка визначають за формулою (A приймаємо 15 мм):

$$e_5 = m_5 + L_1 + A = 9,75 + 46 + 15 = 70,75 \text{ мм},$$

$$e_6 = m_6 + L_1 + A = 10,52 + 46 + 15 = 71,52 \text{ мм},$$

$$e_7 = m_7 + L_1 + A = 11,45 + 46 + 15 = 72,45 \text{ мм},$$

$$e_8 = m_8 + L_1 + A = 12,58 + 46 + 15 = 73,58 \text{ мм}.$$

Визначаємо інші розміри калібру:

$$h_5 = e_5 \cdot \sin \alpha_5 = 70,75 \cdot \sin 42 = 47,34 \text{ мм},$$

$$h_6 = e_6 \cdot \sin \alpha_6 = 71,52 \cdot \sin 54 = 57,83 \text{ мм},$$

$$h_7 = e_7 \cdot \sin \alpha_7 = 72,45 \cdot \sin 66 = 66,19 \text{ мм},$$

$$h_8 = e_8 \cdot \sin \alpha_8 = 73,58 \cdot \sin 78 = 71,97 \text{ мм}.$$

$$k_5 = \frac{h_5}{\operatorname{tg} \alpha_5} = \frac{47,34}{\operatorname{tg} 42} = 52,58 \text{ мм},$$

Продовження додатка Б

$$k_6 = \frac{h_6}{\operatorname{tg} \alpha_6} = \frac{57,83}{\operatorname{tg} 54} = 42,02 \text{ мм},$$

$$k_7 = \frac{h_7}{\operatorname{tg} \alpha_7} = \frac{66,19}{\operatorname{tg} 66} = 29,47 \text{ мм},$$

$$k_8 = \frac{h_8}{\operatorname{tg} \alpha_8} = \frac{71,97}{\operatorname{tg} 78} = 15,3 \text{ мм}.$$

$$k'_5 = \frac{h_5}{\operatorname{tg} (\alpha_5 + 30')} = \frac{47,34}{\operatorname{tg} (42 + 30')} = 51,66 \text{ мм},$$

$$k'_6 = \frac{h_6}{\operatorname{tg} (\alpha_6 + 30')} = \frac{57,83}{\operatorname{tg} (54 + 30')} = 41,25 \text{ мм},$$

$$k'_7 = \frac{h_7}{\operatorname{tg} (\alpha_7 + 30')} = \frac{66,19}{\operatorname{tg} (66 + 30')} = 28,78 \text{ мм},$$

$$k'_8 = \frac{h_8}{\operatorname{tg} (\alpha_8 + 30')} = \frac{71,97}{\operatorname{tg} (78 + 30')} = 14,64 \text{ мм}.$$

$$D_{\text{б.н. } 5} = D_{\text{о.н. } 5} + 2 \cdot h_5 = 250 + 2 \cdot 47,34 = 344,68 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б.н. } 6} = D_{\text{о.н. } 6} + 2 \cdot h_6 = 250 + 2 \cdot 57,83 = 365,66 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б.н. } 7} = D_{\text{о.н. } 7} + 2 \cdot h_7 = 250 + 2 \cdot 66,19 = 382,38 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б.н. } 8} = D_{\text{о.н. } 8} + 2 \cdot h_8 = 250 + 2 \cdot 71,97 = 393,94 \text{ мм}.$$

$$D_{\text{б.в. } 5} = D_{\text{б.н. } 5} + 2 \cdot s = 344,68 + 2 \cdot 6 = 356,68 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б.в. } 6} = D_{\text{б.н. } 6} + 2 \cdot s = 365,66 + 2 \cdot 6 = 377,66 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б.в. } 7} = D_{\text{б.н. } 7} + 2 \cdot s = 382,38 + 2 \cdot 6 = 394,38 \text{ мм},$$

$$D_{\text{б.в. } 8} = D_{\text{б.н. } 8} + 2 \cdot s = 393,94 + 2 \cdot 6 = 405,94 \text{ мм}.$$

Ширина бокової реборди нижнього валу:

$$f_5 = k_5 + 30 = 52,58 + 30 = 82,58 \text{ мм},$$

$$f_6 = k_6 + 30 = 42,02 + 30 = 72,02 \text{ мм},$$

$$f_7 = k_7 + 30 = 29,47 + 30 = 59,47 \text{ мм},$$

$$f_8 = k_8 + 30 = 15,3 + 30 = 45,3 \text{ мм}.$$

Загальна ширина валка:

$$B_5 = c_5 + 2 \cdot f_5 = 111,5 + 2 \cdot 82,58 = 276,66 \text{ мм},$$

$$B_6 = c_6 + 2 \cdot f_6 = 113,04 + 2 \cdot 72,02 = 257,08 \text{ мм},$$

$$B_7 = c_7 + 2 \cdot f_7 = 114,9 + 2 \cdot 59,47 = 233,84 \text{ мм},$$

$$B_8 = c_8 + 2 \cdot f_8 = 117,16 + 2 \cdot 45,3 = 207,76 \text{ мм}.$$

Ширина бурта верхнього валка:

$$t_5 = \frac{B_5 - (c_5 + 2 \cdot k'_5)}{2} = \frac{276,66 - (111,5 + 2 \cdot 51,66)}{2} = 30,92 \text{ мм},$$

$$t_6 = \frac{B_6 - (c_6 + 2 \cdot k'_6)}{2} = \frac{257,08 - (113,04 + 2 \cdot 41,25)}{2} = 30,77 \text{ мм},$$

Продовження додатка Б

$$t_7 = \frac{B_7 - (c_7 + 2 \cdot k'_7)}{2} = \frac{233,84 - (114,9 + 2 \cdot 28,78)}{2} = 30,69 \text{ мм},$$

$$t_8 = \frac{B_8 - (c_8 + 2 \cdot k'_8)}{2} = \frac{207,76 - (117,16 + 2 \cdot 14,64)}{2} = 30,66 \text{ мм}.$$

Калібрування валків третьої групи (9 та 10-го калібру)

Схема калібрування валків третьої групи зображена на рис. 5.1.
Змінні радіуси R_n

$$R_9 = \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_9} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{88} - 0,33 \cdot 6 \approx 8,23 \text{ мм},$$

$$R_{10} = \frac{90 \cdot \rho}{\alpha_{10}} - x \cdot s = \frac{90 \cdot 9,98}{90} - 0,33 \cdot 6 \approx 8 \text{ мм}.$$

Вираховуємо ділянки m_n та m'_n (рис. 3.2):

$$m_9 = (R_9 + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_9}{2} = (8,23 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{88}{2} \approx 13,74 \text{ мм},$$

$$m'_9 = R_9 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_9}{2} = 8,23 \cdot \operatorname{tg} \frac{88}{2} \approx 7,95 \text{ мм},$$

$$m_{10} = (R_{10} + s) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_{10}}{2} = (8 + 6) \cdot \operatorname{tg} \frac{90}{2} \approx 14 \text{ мм},$$

$$m'_{10} = R_{10} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_{10}}{2} = 8 \cdot \operatorname{tg} \frac{90}{2} \approx 8 \text{ мм}.$$

Ширина горизонтальних ділянок калібрів нижнього c_n та верхнього c'_n валків:

$$c_9 = L_3 + 2 \cdot m_9 = 92 + 2 \cdot 13,74 = 119,48 \text{ мм},$$

$$c'_9 = L_3 + 2 \cdot m'_9 = 92 + 2 \cdot 7,95 = 107,9 \text{ мм},$$

$$c_{10} = L_3 + 2 \cdot m_{10} = 92 + 2 \cdot 14 = 120 \text{ мм},$$

$$c'_{10} = (L_3 + 2 \cdot m'_{10}) - 1 = (92 + 2 \cdot 8) - 1 = 107 \text{ мм}.$$

Радіус кривизни:

$$R_1 = \frac{c_9}{2 \cdot \sin(90^\circ - \alpha_9)} = \frac{119,48}{2 \cdot \sin(90^\circ - 88^\circ)} = 1711,8 \text{ мм}.$$

Величина прогину:

$$\delta = R_1 - \frac{c_9}{2 \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha_9)} = 1711,8 - \frac{119,48}{2 \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - 88^\circ)} = 1,07 \text{ мм}.$$

Інші розміри (у т.ч. чистової калібру (рис. 5.2) розраховуємо за формулами (B приймаємо 20 мм):

$$e_9 = m_9 + L_1 + B = 13,74 + 46 + 20 = 79,74 \text{ мм},$$

$$e_{10} = h_{10} + L_1 + B = 14 + 46 + 20 = 80 \text{ мм}.$$

Продовження додатка Б

Визначаємо інші розміри калібру:

$$h_9 = e_9 \cdot \sin \alpha_9 = 79,74 \cdot \sin 88^\circ = 79,69 \text{ мм},$$

$$h_{10} = e_{10} \cdot \sin \alpha_{10} = 80 \cdot \sin 90^\circ = 80 \text{ мм}.$$

$$k_9 = \frac{h_9}{\operatorname{tg} \alpha_9} = \frac{79,69}{\operatorname{tg} 88^\circ} = 2,782 \text{ мм}.$$

$$k'_9 = \frac{h_9}{\operatorname{tg} (\alpha_9 + 30')} = \frac{79,69}{\operatorname{tg} (88 + 30')} = 2,087 \text{ мм}.$$

В чистовій калібру: $k_{10} = 0$. Діаметр валків визначають за формулами:

$$D_{H9} = D_{o.H9} + 2 \cdot \delta = 250 + 2 \cdot 1,07 = 252,14 \text{ мм},$$

$$D'_{H9} = D_{o.H9} + 2 \cdot h_9 = 250 + 2 \cdot 79,69 = 409,38 \text{ мм},$$

$$D'_{H10} = D_{o.H10} + 2 \cdot h_{10} = 250 + 2 \cdot 80 = 410 \text{ мм},$$

$$D_{B9} = D_{o.B9} - 2 \cdot \delta = 582,5 - 2 \cdot 1,07 = 580,36 \text{ мм}.$$

Діаметр бурта нижнього валка:

$$D_{б.H9} = D_{H9} + 2 \cdot h_9 = 252,14 + 2 \cdot 79,69 = 411,52 \text{ мм},$$

$$D_{б.H10} = D_{o.H10} + 2 \cdot h_{10} = 250 + 2 \cdot 80 = 410 \text{ мм}.$$

Ширина бокової реборди нижнього валу:

$$f_9 = k_9 + 30 = 2,782 + 30 = 32,78 \text{ мм},$$

$$f_{10} = k_{10} + 30 = 0 + 30 = 30 \text{ мм}.$$

Загальна ширина валка:

$$B_9 = c_9 + 2 \cdot f_9 = 119,48 + 2 \cdot 32,78 = 185,04 \text{ мм},$$

$$B_{10} = c_{10} + 2 \cdot f_{10} = 120 + 2 \cdot 30 = 180 \text{ мм}.$$

Довжина циліндричної ділянки бурта:

$$t_9 = \frac{B_9 - c'_9}{2} = \frac{185,04 - 107,9}{2} = 38,57 \text{ мм},$$

$$t_{10} = \frac{B_{10} - c'_{10}}{2} = \frac{180 - 107}{2} = 36,5 \text{ мм}.$$

Список літератури

1. Halmos G. T. Roll Forming Handbook / G. T. Halmos. – Boca Raton: Taylor&Francis, 2006. – 583 p.
2. Березовский С. Ф. Производство гнутых профилей / С. Ф. Березовский. – Москва : Металлургия, 1985. – 200 с.
3. Давыдов В. И. Производство гнутых тонкостенных профилей / В. И. Давыдов, М. П. Максаков. – Москва : Металлургиздат, 1959. – 233 с.
4. Software for Sheet Metal Forming / UBESCO. – Режим доступу: <https://www.ubesco.com> (дата звернення: 13.01.2021).

Зміст

Вступ.....	3
Лабораторна робота 1. УЗАГАЛЬНЕНИЙ РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ	3
Практична робота 1. РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ	7
Лабораторна робота 2. РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	8
Практична робота 2. РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	10
Лабораторна робота 3. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА) ..	11
Практична робота 3. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	15
Лабораторна робота 4. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ДРУГОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	16
Практична робота 4. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ДРУГОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	18
Лабораторна робота 5. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ТРЕТЬОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА) ..	19
Практична робота 5. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВАЛКІВ ТРЕТЬОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)	21
Лабораторна робота 6. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	22
Практична робота 6. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКІВ ПЕРШОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	23
Лабораторна робота 7. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКІВ ДРУГОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА)	24
Практична робота 7. РОЗРАХУНОК КАЛІБРУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВАЛКІВ ДРУГОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ U-ПРОФІЛЮ (ШВЕЛЕРА).....	25
Лабораторна робота 8. РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ КАЛІБРУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ В ПРОГРАМІ UVESO	25
Практична робота 8. РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ КАЛІБРУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ В ПРОГРАМІ UVESO	29
Додаток А. Приклад розрахунку ширини заготовки для виготовлення профілю	30
Додаток Б. Приклад розрахунку калібрування валків для виробництва швелера 120×60×6	31
Список літератури	38

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних і практичних робіт
з курсів
«Технології та обладнання для виробництва гнутих профілів»
та «Виробництво гнутих профілів»
для студентів освітньої програми
«Прикладна механіка»
денної і заочної форми навчання

Укладачі: ГУБСЬКИЙ Сергій Олександрович
ЧУХЛІБ Віталій Леонідович
ОКУНЬ Антон Олександрович
АШКЕЛЯНЕЦЬ Антон Володимирович
ЮРЧЕНКО Олександр Анатолійович

Відповідальний за видання *проф. В.Л. Чухліб*

Роботу до видання рекомендував *проф. О.М. Шелковий*

В авторській редакції

План 2021 р., поз. 31

Підп. до друку 14.06.2021. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,5.
Наклад 50 прим. Зам. № _____. Ціна договірна.

Видавець Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Самостійне електронне видання