

Винахід відноситься до способів обробки металів тиском і може бути використаний на автоматичних станах при поздовжній оправочній прокатці безшовних труб.

Існують різні способи розподілу сумарної деформації заготовки по стінці, яку вона отримує в площині вершин калібру (меридіональній площині, що проходить через вісь прокатки та вершини калібру валків) автоматичного стану, між ділянками зони (осередку) деформації, що розташовані до площини центрів валків (діаметральної площини, що проходить через вісі валків) і за площиною центрів валків. Сумарну деформацію заготовки по стінці в площині вершин калібру за прохід в кліті автоматичного стану, обчислюють за формулою

$$(\Delta S_{\Sigma})_h = (S_0)_h - (S_t)_h \quad (1)$$

де $(\Delta S_{\Sigma})_h$ - сумарна деформація заготовки по стінці в площині вершин калібру, мм;

$(S_0)_h$ - товщина стінки заготовки на вході в осередок деформації в площині вершин калібру, мм;

$(S_t)_h$ - товщина стінки труби на виході з осередку деформації в площині вершин калібру, мм.

Розподіл сумарної деформації $(\Delta S_{\Sigma})_h$ заготовки по стінці в площині вершин калібру автоматичного стану між ділянками зони (осередку) деформації, що розташовані до площини центрів валків і за площиною центрів валків характеризується показником розподілу деформації

$$\delta_h = \frac{(\Delta S_2)_h}{(\Delta S_{\Sigma})_h} \quad (2)$$

де δ_h - показник розподілу сумарної деформації заготовки по стінці в площині вершин калібру;

$(\Delta S_2)_h = (S_g)_h - (S_t)_h$ - обчислення заготовки по стінці в площині вершин калібру на ділянці, що розташована від площини центрів валків до межі виходу труби з осередку деформації (в вихідному конусі зони деформації), мм;

$(S_g)_h$ - товщина стінки заготовки в перетині площини вершин калібру і площини центрів валків, мм.

Зміна товщини стінки заготовки в площині вершин калібру в напрямку прокатки характеризується інтенсивністю деформації стінки в площині вершин калібру, яка обчислюється за формулою

$$(I_s)_h = \frac{\partial(\Delta S_x)_h}{\partial x} \quad (3)$$

де $(I_s)_h$ - інтенсивність деформації стінки в площині вершин калібру;

$(\Delta S_x)_h$ - поточна зміна товщини стінки в площині вершин калібру, мм;

x - координата уздовж осі прокатки ОХ, позитивний напрямок якої збігається з напрямком прокатки, рахуючи за "нуль" координату площини центрів валків, мм.

Зміна зовнішнього радіуса заготовки в площині вершин калібру в напрямку прокатки характеризується інтенсивністю деформації зовнішнього радіуса заготовки в площині вершин калібру, яка обчислюється за формулою

$$(I_R)_h = \frac{\partial(\Delta R_x)_h}{\partial x} \quad (4)$$

де $(I_R)_h$ - інтенсивність деформації зовнішнього радіуса заготовки в площині вершин калібру;

$(\Delta R_x)_h$ - поточна зміна зовнішнього радіуса заготовки в площині вершин калібру, мм.

Наприклад, відомий спосіб поздовжньої прокатки труб у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці, відповідно до котрого деформацію зменшення зовнішнього радіуса і обчислення стінки заготовки здійснюють у вхідному конусі осередку деформації (до площини центрів валків) і закінчують одночасно в площині центрів валків (дивися, наприклад, підручник: В.М. Друян, Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов. Теория и технология трубного производства. Дніпропетровськ, Дніпро-ВАЛ, 2001. Рис.2.2.16, стор.339-340 - аналог №1). Цей спосіб характеризується такими показниками деформації заготовки:

$$(\Delta S_2)_h = 0 \quad (5)$$

$$(\Delta S_{\Sigma})_h = (\Delta S_1)_h \quad (6)$$

$$\delta_h = 0 \quad (7)$$

$$(S_x)_h = (S_g)_h + I_x \operatorname{tg} \phi_x + (R_i - 0,5h_k) - \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - I_x^2} \quad (8)$$

$$(\Delta S_x)_h = (S_0)_h - (S_x)_h = (\Delta S_1)_h - I_x \operatorname{tg} \phi_x - (R_i - 0,5h_k) + \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - I_x^2} \quad (9)$$

$$(R_x)_h = R_i - \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - I_x^2} \quad (10)$$

$$(\Delta R_x)_h = (R_0)_h - (R_x)_h = (R_0)_h - R_i + \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - I_x^2} \quad (11)$$

$$(I_s)_h = \left[\operatorname{tg} \phi_x + \frac{I_x}{\sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - I_x^2}} \right] \cdot (-1) \quad (12)$$

$$(I_R)_h = \frac{(-I_x)}{\sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - I_x^2}} \quad (13)$$

$$[(I_s)_h]_{l=0} = 0 \quad (14)$$

$$[(I_R)_h]_{l=0} = 0 \quad (15)$$

де $(\Delta S_1)_h = (S_0)_h - (S_g)_h$ - обчислення заготовки по стінці в площині вершин калібру на ділянці, що розташована від межі входу труби в осередок деформації до площини центрів валків (у вхідному конусі зони деформації), мм;

ϕ_x - кут між віссю прокатки та утворюючою поверхні оправки (кут конусності оправки), град, (радіан);
 R_j - ідеальний радіус валків, мм;
 $(R_0)_h$ - зовнішній радіус заготовки до деформації в площині вершин калібру, мм;
 h_k - висота калібру, мм;
 $I_{x=x}$ - координата діаметрального перетину осередку деформації, в якому обчислюють поточні значення $(S_x)_h$, $(R_x)_h$ мм;
 3
 $[(I_s)_h]_t$ - інтенсивність деформації стінки в площині вершин калібру на виході з осередку деформації;
 $[(I_R)_h]_t$ - інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в площині вершин калібру на виході з осередку деформації.

Першим недоліком цього способу є мала величина можливого обтиснення заготовки по стінці через зрив осьової подачі внаслідок поганих силових умов втягування заготовки валками в зону деформації. Цей недолік обумовлено тим, що при прокатці труб у відповідності із способом, описаним в аналогу №1, в осередку деформації, що розташований до площини центрів валків по ходу прокатки, нормальні контактні напруги і нормальні сили, що ініціюються ними, спрямовані протилежно напрямку прокатки як на валках, так і на оправці. Внаслідок указаної орієнтації нормальних сил, можливість підвищення обтиснень по стінці обмежена зривом осьової подачі заготівки. Тому використання цього способу при прокатці труб у станах поздовжньої прокатки (СПП) забезпечує таке обтиснення по стінці заготовки, що не перевищує 1,0-2,5мм; це, в свою чергу, обмежує нижню межу товщини стінки труб, вироблених на СПП, розміром $(S_t)_2=5,0-6,0$ мм (дивися, наприклад, книгу: В.Н. Данченко, А.В. Чус. Продольная прокатка труб. Москва, Металлургия, 1984. Стор.46).

Другим недоліком цього способу є високі показники відносної різностінності і, відповідно, низькі показники точності прокатаних труб. Відносну різностінність прокатаних труб обчислюють за формулою (дивися, наприклад, книгу: Атлас дефектов стальных горячекатаных бесшовных труб. Тбилиси, Сакартвело, 1991. Стор.117)

$$B_t = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\text{mid}}} \cdot 100\% \quad (16)$$

де B_t - відносна різностінність труби, %;

S_{\max} - максимальна товщина стінки в діаметральному перетині труби, мм;

S_{\min} - мінімальна товщина стінки в діаметральному перетині труби, мм;

$S_{\text{mid}}=0,5 \cdot (S_{\max} + S_{\min})$ - усереднене значення товщини стінки в діаметральному перетині труби, мм.

Другий недолік способу поздовжньої прокатки труб відповідно з аналогом №1 обумовлено тим, що обтиснення стінки заготовки в площині випусків калібру (меридіональній площині, що проходить через вісь прокатки та випуски калібру) не відбувається (дивися, наприклад, книгу: В.М. Друян, Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов. Теория и технология трубного производства. Днепропетровск, Дніпро-ВАЛ, 2001. Стор.128-129)

$$(\Delta S_{\Sigma})_b = (\Delta S_1)_b = 0 \quad (17)$$

де $(\Delta S_{\Sigma})_b = (S_0)_b - (S_t)_b$ - сумарне обтиснення заготовки по стінці в площині випусків калібру на ділянці, що розташована від межі входу труби в осередок деформації до площини центрів виходу з осередку деформації, мм;

$(\Delta S_1)_b = (S_0)_b - (S_g)_b$ - обтиснення заготовки по стінці в площині випусків калібру на ділянці, що розташована від межі входу труби в осередок деформації до площини центрів валків (у вхідному конусі зони деформації), мм;

$(S_0)_b$ - товщина стінки заготовки на вході в осередок деформації в площині випусків калібру, мм;

$(S_t)_b$ - товщина стінки труби на виході з осередку деформації в площині випусків калібру, мм;

$(S_g)_b$ - товщина стінки заготовки в перетині площини випусків калібру і площини центрів валків, мм.

Таким чином, при використанні способу прокатки відповідно аналогу №1 відносна різностінність дорівнює

$$B_t = \frac{(S_0)_b - (S_t)_h}{S_{\text{mid}}} \cdot 100\% \quad (18)$$

Третій недолік цього способу полягає в тому, що при його використанні має місце велика різниця W між обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_{\Sigma})_h$ в площині вершин калібру і обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_{\Sigma})_b$ в площині випусків калібру.

$$W = (\Delta S_{\Sigma})_h - (\Delta S_{\Sigma})_b \quad (19)$$

Різниця обтиснень W є причиною нерівномірного розподілу поздовжніх напруг σ_x по поперечному перетину заготовки в осередку деформації (дивися, наприклад, книгу: В.М. Друян, Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов. Теория и технология трубного производства. Днепропетровск, РИА Днепр-ВАЛ, 2001, стор.128, рис.2.2.3в). Чим більша, за інших рівних умов, величина W , тим більша різниця $\Delta \sigma_x$ між розтягуючими напругами $(+\sigma_x)_b$ у зонах випусків калібру і стискуючими напругами $(-\sigma_x)_h$ у зонах вершин калібру. При певному значенні W різниця

$$\Delta \sigma_x = (+\sigma_x)_b - (-\sigma_x)_h = (\sigma_x)_b + (\sigma_x)_h \quad (20)$$

де $\Delta \sigma_x$ - різниця між поздовжніми напругами в зонах вершин калібру та у зонах випусків калібру, МПа;

$(\sigma_x)_h$ - абсолютне значення стискуючих (негативних) напруг у зонах вершин калібру, МПа;

$(\sigma_x)_b$ - абсолютне значення розтягуючих (позитивних) напруг у зонах випусків калібру, МПа;

може досягти деякої критичної $(\Delta \sigma_x)_k$ величини, при якій на трубі утворюються дефекти типу "шпаківен" і "тріщин напруги" (дивися, наприклад, галузевий стандарт ОСТ 14-82-82 «Трубы стальные бесшовные катаные. Дефекты поверхности. Термины и определения». Стор.20). Утворення згаданих дефектів є причиною бракування труб і підвищення видаткового коефіцієнту металу.

Третій недолік обумовлено тим, що інтенсивність деформації $[(I_R)_h]_t$ зовнішнього радіуса в площині вершин калібру на виході з осередку деформації в способі відповідно аналогу №1 не є регульованою величиною (завжди дорівнює нулю по фізичній суті процесу).

Четвертим недоліком цього способу є високі показники овальності, що характеризує різницю між взаємно перпендикулярними діаметрами (один із яких є максимальним діаметром у даному поперечному перетині труби) відповідно до залежності (дивися, наприклад, книгу: Атлас дефектов стальных горячекатаных бесшовных труб. Тбилиси, Сакартвело, 1991. Стр.117)

$$O_t = \frac{2 \cdot (D_{\max} - D_p)}{D_{\max} + D_p} \cdot 100\% \quad (21)$$

де O_t - овальність труби, %;

D_{\max} - максимальний діаметр в діаметральному перетині труби, мм;

D_p - діаметр труби в напрямку, перпендикулярному D_{\max} , мм.

Четвертий недолік способу поздовжньої прокатки труб відповідно з аналогом №1 обумовлено тим, що в площині випусків калібру практично не відбувається зміни радіусу заготовки (дивися, наприклад, книгу: В.М. Дрюян, Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов. Теория и технология трубного производства. Дніпропетровськ, Дніпро-ВАЛ, 2001. Стр.455)

$$(R_0)_b \approx (R_t)_b = 0,5 \cdot b_k \quad (22)$$

де $(R_0)_b$ - радіус заготовки в площині випусків калібру, мм;

$(R_t)_b$ - радіус труби в площині випусків, мм;

b_k - ширина калібру, мм.

Таким чином, при використанні способу прокатки відповідно аналогу №1 овальність труби після поздовжньої прокатки в каліброваних валках дорівнює

$$O_t = \frac{2 \cdot [b_k - 2(R_t)_h]}{b_k + 2(R_t)_h} \cdot 100\% \quad (23)$$

де $(R_t)_h$ - радіус труби в площині вершин калібру, мм.

Високий рівень овальності O_t після поздовжньої прокатки призводить до того, що в процесі подальшої формозміни в технологічній лінії (в розкатному, калібрувальному, редуційному станах тощо) труба отримує великий рівень деформації переовалізації, що призводить до появи додаткових напруг і, як наслідок, дефектів у вигляді тріщин на готовій трубі, що призводить до відбраковки продукції і зниженню видаткового коефіцієнту.

Конкретний приклад 1. В першому стані поздовжньої прокатки (СПП-1) технологічної лінії агрегату "140" здійснюють поздовжню прокатку циліндричної заготовки (гільзи, отриманої з прошивного стану) з зовнішнім радіусом $R_0 = (R_0)_h = 79,5$ мм і товщиною стінки $S_0 = (S_0)_h = (S_0)_b = 10,5$ мм. В СПП-1 використовують коротку нерухому оправку з діаметром циліндричної ділянки $d_c = d_g = 134$ мм. Ідеальний радіус каліброваних валків СПП-1 становить $R_i = 295$ мм, висота калібру становить $h_k = 149$ мм, ширина калібру становить $b_k = 159,4$ мм. Після прокатки в СПП-1 отримують трубу, розміри якої становлять: зовнішній радіус в площині вершин калібру $(R_t)_h = 0,5 h_k = 74,5$ мм, товщина стінки в площині вершин калібру $(S_t)_h = (S_g)_h = 0,5(h_k - d_g) = 7,5$ мм, зовнішній радіус в площині випусків калібру $(R_t)_b = 0,5 b_k = 79,7$ мм, товщина стінки в площині випусків калібру $(S_t)_b = (S_0)_b = S_0 = 10,5$ мм. Параметри деформації: сумарне обтиснення стінки в площині вершин калібру $(\Delta S_z)_h = S_0 - (S_t)_h = 3,0$ мм; сумарне обтиснення стінки в площині випусків калібру $(\Delta S_z)_b = S_0 - (S_t)_b = 0$. При таких параметрах деформації різниця між сумарними обтисненнями стінки в площинах вершин і випусків калібру становить $W = (\Delta S_z)_h - (\Delta S_z)_b = 3,0$ мм і при прокатці труб із відносно малопластичних сталей є причиною появи на трубах дефектів у вигляді шпаківень і тріщин напруги. У відповідності до (23) овальність труби після прокатки в СПП-1 дорівнює $O_t = 6,74\%$. Отримана прокаткою в СПП-1 труба є заготовкою, що далі деформується в другому стані поздовжньої прокатки (СПП-2); при цьому заготовка подається в СПП-2 таким чином, що площа випусків калібру СПП-1 є площиною вершин калібру СПП-2, а площа вершин калібру СПП-1 є площиною випусків калібру СПП-2. Це призводить до того, що на вході в осередок деформації СПП-2 заготовка отримує деформацію переовалізації (яка тим більша, чим більше овальність O_t), в наслідок чого в площинах випусків та вершин калібру СПП-2 в заготовці ініціюються додаткові напруги, що при прокатці труб із відносно малопластичних сталей є причиною появи на трубах дефектів у вигляді тріщин напруги. Ці дефекти не можуть бути усунуті в процесі подальшої обробки труби в лінії стану і є причиною відбраковки продукції та зниження видаткового коефіцієнту.

Відомий також спосіб поздовжньої прокатки труб у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці, відповідно до котрого одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, щоб інтенсивність деформації стінки в площині вершин калібру послідовно зменшувалась від максимальної величини 0,10-0,25 в площині центрів валків до мінімальної її величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а величини обтиснення стінки, збільшення радіуса заготовки та довжини осередку деформації в площині вершин калібру після площини центрів валків були зв'язані співвідношенням

$$(\Delta R_2)_h \cdot L_2 = (\Delta S_2)_h \cdot [R_i - (R_t)_h] \cdot \sin \alpha_2 \quad (24)$$

де $(\Delta R_2)_h$ - збільшення радіуса заготовки в площині вершин калібру, мм;

L_2 - довжина осередку деформації після площини центрів валків, мм;

$(R_t)_h$ - радіус труби в площині вершин калібру, мм;

α_2 - кут захвату за площиною центрів валків, град.,

(дивися, наприклад, патент Російської Федерації №2148445 С1, 7В21В17/02 - аналог №2).

Цей спосіб характеризується такими показниками деформації заготовки:

$$(\Delta S_z)_h = (\Delta S_2)_h \quad (25)$$

$$(\Delta S_1)_h = 0 \quad (26)$$

$$\delta_h = 1 \quad (27)$$

$$(S_x)_h = (S_g)_h - l_x \operatorname{tg} \phi_x + (R_i - 0,5h_k) - \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - l_x^2} \quad (28)$$

$$(\Delta S_x)_h = (S_g)_h - (S_x)_h = l_x \operatorname{tg} \phi_x - (R_i - 0,5h_k) + \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - l_x^2} \quad (29)$$

$$(R_x)_h = R_i - \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - l_x^2} \quad (30)$$

$$(\Delta R_x)_h = (R_t)_h - (R_x)_h = (R_t)_h - R_i + \sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - l_x^2} \quad (31)$$

$$(l_s)_h = \operatorname{tg} \phi_x - \frac{l_x}{\sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - l_x^2}} \quad (32)$$

$$(l_R)_h = \frac{(-l_x)}{\sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - l_x^2}} \quad (33)$$

$$[(l_s)_h]_t = \operatorname{tg} \phi_2 - \frac{L_2}{\sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - L_2^2}} = \operatorname{tg} \phi_2 - \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (34)$$

$$[(l_R)_h]_t = \frac{L_2}{\sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - L_2^2}} = \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (35)$$

де $\phi_2 = \phi_x$ - кут між віссю прокатки та утворюючою поверхні оправки (кут конусності оправки) на виході з осередку деформації, град. (радіан). Враховуючи, що

$$\frac{L_2}{R_i - (R_t)_h} = \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (36)$$

$$(\Delta S_2)_h = L_2 \cdot \left[\operatorname{tg} \phi_2 - \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right) \right] \quad (37)$$

$$(\Delta R_2)_h = L_2 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right) \quad (38)$$

після підстановки (36)-(38) в (24) маємо таке математичне формулювання умов прокатки відповідно до аналога №2

$$\phi_2 = \alpha_2 \quad (39)$$

З урахуванням (39), на підставі формул (32)-(35) можна кваліфікувати спосіб прокатки відповідно до аналога №2 таким чином.

Відомий також спосіб поздовжньої прокатки труб у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці, відповідно до котрого одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, щоб інтенсивність деформації стінки в площині вершин калібру послідовно зменшувалась від максимальної величини $\operatorname{tg} \phi_2 = \operatorname{tg} \alpha_2 = 0,10-0,25$ в площині центрів валків до нуля в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а інтенсивність деформації зовнішнього радіуса монотонно збільшувалась від нуля в площині центрів валків до максимальної величини $\operatorname{tg} \alpha_2 = \operatorname{tg} \phi_2 = 0,10-0,25$ на виході з осередку деформації.

Використання цього способу забезпечує деяке підвищення обтиснення по стінці заготовки $(\Delta S_\Sigma)_h$ і зменшення відносної різностінності B_t прокатаних труб у порівнянні із способом відповідно до аналогу №1, але овальність труб O_t та різниця W між обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_\Sigma)_h$ в площині вершин калібру і обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_\Sigma)_b$ в площині випусків калібру залишаються на достатньо високому рівні. Останній факт обумовлено тим, що інтенсивність деформації $[(l_R)_h]_t$ зовнішнього радіуса в площині вершин калібру на виході з осередку деформації в способі відповідно аналогу №2 не є незалежно регульованою величиною, а залежить від кута конусності оправки ϕ_2 у вихідному конусі осередку деформації і по фізичній суті процесу завжди має перебувати в межах $[(l_R)_h]_t = 0,10-0,25$.

Конкретний приклад 2. Як і в попередньому прикладі, в першому стані поздовжньої прокатки (СПП-1) технологічної лінії агрегату "140" здійснюють поздовжню прокатку труби, розміри якої становлять: зовнішній радіус в площині вершин калібру $(R_t)_h = 74,5$ мм, товщина стінки в площині вершин калібру $(S_t)_h = (S_2)_h = 7,5$ мм. Прокатку здійснюють на нерухомій конічній оправці, кут конусності утворюючої поверхні якої дорівнює $\phi_2 = 0,17$ радіан, а довжина ділянки за перетином центрів валків становить $L_2 = 38$ мм; діаметр оправки в перетині виходу труби з осередку деформації (як і в попередньому прикладі) становить $d_2 = 2[(R_t)_h - (S_t)_h] = 134$ мм, а в перетині центрів валків дорівнює $d_g = d_2 - 2L_2 \operatorname{tg} \phi_2 = 121$ мм. Ідеальний радіус каліброваних валків становить $R_f = 296,3$ мм, висота калібру становить $h_k = 142,6$ мм, ширина калібру становить $b_k = 152,5$ мм

$$\lambda_k = \frac{b_k}{h_k}$$

(овальність калібру), як і в попередньому прикладі, становить $\lambda_k = 1,07$; радіус валків в площині вершин калібру $R_B = R_i - 0,5h_k$, як і в попередньому прикладі, становить $R_B = 225$ мм). Здійснюють поздовжню прокатку циліндричної заготовки з зовнішнім радіусом $R_0 = (R_0)_h = 74,6$ мм і товщиною стінки $S_0 = (S_0)_h = (S_0)_b = 0,5(h_k - d_g) = 10,8$ мм. Збільшення радіуса заготовки в площині вершин калібру становить $(\Delta R_2)_h = (R_t)_h - 0,5h_k = 3,2$ мм; кут захвату за площиною центрів валків дорівнює

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{L_2}{R_i - 0,5h_k}\right) = 9,72\text{град.} = 0,17 \text{ радіан}$$

, обтиснення стінки в площині вершин калібру становить $(\Delta S_2)_h = (\Delta S_\Sigma)_h = S_0 - (S_t)_h = 3,3\text{мм}$. Вищенаведені параметри прокатки відповідають всім без винятку умовам і вимогам відповідно аналогу №2: одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, що інтенсивність деформації стінки в площині вершин калібру послідовно зменшується від максимальної величини 0,204 в площині центрів валків до мінімальної її величини (нуля) в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а величини обтиснення стінки $(\Delta S_2)_h$, збільшення радіуса заготовки $(\Delta R_2)_h$ та довжини осередку деформації L_2 в площині вершин калібру після площини центрів валків зв'язані співвідношенням:

$$(\Delta R_2)_h \cdot L_2 = (\Delta S_2)_h [R_i - (R_t)_h] \cdot \sin \alpha_2;$$

$$3,2 \cdot 38 = 3,3 \cdot (296,3 - 74,5) \cdot \sin(0,17) = 122 \text{мм}^2.$$

При режимі деформації відповідно вимогам способу прокатки за аналогом №2 інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в площині вершин калібру на виході з осередку деформації становить $[(I_R)_h] = 0,172$; при цьому обтиснення стінки в площині випусків калібру становить $(\Delta S_2)_b = (\Delta S_\Sigma)_b = S_0 - 0,5 \cdot (b_k - d_c) = 1,55\text{мм}$, а різниця між сумарними обтисненнями стінки в площинах вершин і випусків калібру становить $W = (\Delta S_\Sigma)_h - (\Delta S_\Sigma)_b = 1,75\text{мм}$ і при прокатці труб із відносно малопластичних сталей є причиною появи на трубах дефектів у вигляді шпаківень і тріщин напруги. У відповідності до (23) овальність труби після прокатки в СПП-1 дорівнює $O_t = 2,32\%$. Отримана прокаткою в СПП-1 труба є заготовкою, що далі деформується в другому стані поздовжньої прокатки (СПП-2); при цьому заготовка подається в СПП-2 таким чином, що площа випусків калібру СПП-1 є площиною вершин калібру СПП-2, а площа вершин калібру СПП-1 є площиною випусків калібру СПП-2. Це призводить до того, що на вході в осередок деформації СПП-2 заготовка отримує деформацію переовалізації (яка тим більша, чим більше овальність O_t), в наслідок чого в площинах випусків та вершин калібру СПП-2 в заготовці ініціюються додаткові напруги, що при прокатці труб із відносно малопластичних сталей є причиною появи на трубах дефектів у вигляді тріщин напруги. Ці дефекти не можуть бути усунуті в процесі подальшої обробки труби в лінії стану і є причиною відбраковки продукції та зниження видаткового коефіцієнту.

Найбільш близьким до заявляемого способу є спосіб поздовжньої прокатки труб у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці, кут конусності котрої на ділянці від площини центрів валків до перетину виходу готової труби з осередку деформації дорівнює $\phi_2 = 15^\circ - 35^\circ$, відповідно до котрого деформацію заготовки по стінці і зовнішньому радіусу здійснюють до площини і за площиною центрів валків, а одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації на ділянці довжиною

$$L_2 = (0,1 - 0,3) \cdot d_c \quad (40)$$

де d_c - діаметр циліндричної ділянки оправки, мм;

(дивися, наприклад, авторське посвідчення СРСР №567514, М. Кл². В21В25/00, 17/02, 1977 - прототип).

Цей спосіб характеризується наявністю обтиснення стінки заготовки як у вхідному (до площини центрів валків), так й у вихідному (за площиною центрів валків) конусах осередку деформації ($0 < \delta_h < 1$). Показники деформації заготовки у вхідному конусі осередку деформації обчислюються відповідно до формул (8)-(13), показники деформації заготовки у вихідному конусі осередку деформації обчислюються відповідно до формул (28)-(35). З точки зору розподілу інтенсивностей деформації прототип можна охарактеризувати таким чином.

Найбільш близьким до заявляемого способу є спосіб поздовжньої прокатки труб у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці з кутом конусності ділянки розташованої у вихідному конусі осередку деформації $\phi_2 = 15 - 35$ градусів, відповідно до котрого деформацію заготовки по стінці і радіусу здійснюють до площини і за площиною центрів валків, а одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, щоб в площині вершин калібру інтенсивність деформації стінки послідовно зменшувалась від максимальної величини $\text{tg} \phi_2 = 0,268 - 0,700$ в площині центрів валків до мінімальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а інтенсивність деформації зовнішнього радіуса монотонно збільшувалась від нуля в площині центрів валків до максимальної на виході з осередку деформації величини

$$[(I_R)_h]_t = \frac{L_2}{\sqrt{(R_i - 0,5h_k)^2 - L_2^2}} \quad (41)$$

де $L_2 = (0,1 - 0,3) \cdot d_c$ - довжина осередку деформації після площини центрів валків, мм;

d_c - діаметр циліндричної ділянки оправки, мм.

Використання цього способу забезпечує деяке підвищення обтиснення по стінці заготовки $(\Delta S_\Sigma)_h$ і зменшення відносної різностінності B_t прокатаних труб у порівнянні із способом відповідно до аналогу №1, але овальність O_t прокатаних труб та різниця W між обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_\Sigma)_h$ в площині вершин калібру і обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_\Sigma)_b$ в площині випусків калібру залишаються на достатньо високому рівні. Останній факт обумовлено тим, що інтенсивність деформації $[(I_R)_h]$ зовнішнього радіуса в площині вершин калібру на виході з осередку деформації в способі відповідно прототипу не є незалежною регульованою величиною, а залежить від діаметра d_c циліндричної ділянки оправки, який, в свою чергу, по фізичній суті не є зв'язаним з параметрами процесу деформування заготовки в калібрі автоматичного стану (дивися, наприклад, книгу: Ф.А. Данилов, А.З. Глейберг, В.Г. Балакин. Горячая прокатка и прессование труб. М., Металлургия, 1972. Стр.219-220). Наслідком того, що овальність O_t та різниця W між обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_\Sigma)_h$ в площині вершин калібру і обтисненням стінки заготовки $(\Delta S_\Sigma)_b$ в

площині випусків калібру залишаються на достатньо високому рівні, є утворення на трубах дефектів типу шпаківень та тріщин напруги, що, в свою чергу, призводить до високого рівня відбраковки готової продукції і підвищення видаткового коефіцієнту.

Конкретний приклад 3. Як і в попередніх прикладах, в першому стані поздовжньої прокатки (СПП-1) технологічної лінії агрегату "140" здійснюють поздовжню прокатку труби, розміри якої становлять: зовнішній радіус в площині вершин калібру $(R_t)_h = 74,5 \text{ мм}$, товщина стінки в площині вершин калібру $(\Delta S_\Sigma)_h = (\Delta S_2)_h = 7,5 \text{ м}$. Прокатку здійснюють на нерухомій короткій оправці з такими параметрами: кут конусності утворюючої поверхні оправки до перетину центрів валків дорівнює $\phi_1 = 8,0$ градусів; діаметр циліндричної ділянки (яка розташована до перетину центрів валків по ходу прокатки і з'єднується з вихідною кінцевою ділянкою оправки в перетині осередку деформації площиною центрів валків) дорівнює $d_c = d_g = 127,1 \text{ мм}$; кут конусності утворюючої поверхні оправки після перетину центрів валків (на вихідній ділянці оправки) дорівнює $\phi_2 = 15,1$ градусів; довжина ділянки за перетином центрів валків становить $L_2 = 12,8 \text{ мм}$; діаметр оправки в перетині виходу труби з осередку деформації (як і в попередніх прикладах) становить $d_2 = 2[(R_t)_h - (\Delta S_t)_h] = 134 \text{ мм}$, а в перетині центрів валків дорівнює $d_g = d_c = d_2 - 2L_2 \tan \phi_2 = 127,1 \text{ мм}$. Ідеальний радіус каліброваних валків становить $R_j = 299,1 \text{ мм}$, висота калібру становить $h_k = 148,3 \text{ мм}$, ширина калібру

$$\lambda_k = \frac{b_k}{h_k}$$

становить $b_k = 158,7 \text{ мм}$ (овальність калібру), як і в попередніх прикладах, становить $\lambda_k = 1,07$; радіус валків в площині вершин калібру $R_B = R_t - 0,5h_k$, як і в попередніх прикладах, становить $R_B = 225 \text{ мм}$. Здійснюють поздовжню прокатку циліндричної заготовки з зовнішнім радіусом $R_0 = (R_0)_h = 79,2 \text{ мм}$ і товщиною стінки (як у конкретному прикладі 2) $S_0 = (S_0)_h = (S_0)^b = 10,8 \text{ мм}$. Сумарне обтиснення стінки в площині вершин калібру становить $(\Delta S_\Sigma)_h = S_0 - (S_t)_h = 3,3 \text{ мм}$; обтиснення стінки в площині вершин калібру за площиною центрів валків (у вихідному конусі осередку деформації становить) $(\Delta S_2)_h = S_0 - 0,5(h_k - d_g) = 3,1 \text{ мм}$; співвідношення

$$\delta_h = (\Delta S_2)_h \cdot (\Delta S_\Sigma)_h^{-1} = 0,94$$

обтиснень. Вищенаведені параметри прокатки відповідають всім без винятку умовам і вимогам прокатки відповідно прототипу: деформацію заготовки по стінці і зовнішньому радіусу здійснюють до площини і за площиною центрів валків, а одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, що інтенсивність деформації стінки в площині вершин калібру послідовно зменшується від максимальної величини 0,27 (що лежить в потрібних межах $\tan \phi_2 = 0,268 - 0,700$, де $\phi_2 = 15,1$ градуси, що відповідає умові прототипу $\phi_2 = 15 - 35$ градусів) в площині центрів валків до мінімальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації $[(I_s)_h] = 0,213$, а інтенсивність деформації зовнішнього радіуса монотонно збільшується від нуля в площині центрів валків до максимальної на виході з осередку деформації величини

$$[(I_R)_h] = \frac{L_2}{\sqrt{(R_t - 0,5h_k)^2 - L_2^2}} = 0,057$$

(тут відповідно до вимог прототипу $L_2 = (0,1 - 0,3) \cdot d_c = 12,8 \text{ мм}$; $d_c = 127,1 \text{ мм}$).

При режимі деформації відповідно вимогам способу прокатки за прототипом інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в площині вершин калібру становить: мінімальну величину (нуль) в перетині осередку деформації площиною центрів валків, максимальну величину $[(I_R)_h] = 0,057$ на виході з осередку деформації. При таких параметрах розподілу інтенсивності деформації зовнішнього радіуса заготовки вздовж осередку деформації зазор між поверхнями валка та оправки в площині випусків калібру в перетині виходу труби з осередку деформації становить $\Delta_2 = 0,5(b_k - d_2) = 12,33 \text{ мм}$ і, в наслідок того, що $\Delta_2 > S_0$, обтиснення стінки в площині випусків калібру дорівнює $(\Delta S_\Sigma)_b = 0$, а різниця між сумарними обтисненнями стінки в площинах вершин і випусків калібру становить $W = (\Delta S_\Sigma)_h - (\Delta S_\Sigma)_b = 3,3 \text{ мм}$, що при прокатці труб із відносно мало пластичних сталей є причиною появи на трубах дефектів у вигляді шпаківень і тріщин напруги. У відповідності до (23) овальність труби після прокатки в СПП-1 дорівнює $O_t = 6,27\%$. Отримана прокаткою в СПП-1 труба є заготовкою, що далі деформується в другому стані поздовжньої прокатки (СПП-2); при цьому заготовка подається в СПП-2 таким чином, що площиною випусків калібру СПП-1 є площиною вершин калібру СПП-2, а площиною вершин калібру СПП-1 є площиною випусків калібру СПП-2. Це призводить до того, що на вході в осередок деформації СПП-2 заготовка отримує деформацію переовалізації (яка тим більша, чим більше овальність O_t), в наслідок чого в площинах випусків та вершин калібру СПП-2 в заготовці ініціюються додаткові напруги, що при прокатці труб із відносно малопластичних сталей є причиною появи на трубах дефектів у вигляді тріщин напруги. Ці дефекти не можуть бути усунуті в процесі подальшої обробки труби в лінії стану і є причиною відбраковки продукції та зниження видаткового коефіцієнту.

В основу винаходу поставлена задача створити спосіб поздовжньої прокатки труб у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці, що забезпечить підвищення якості труб внаслідок усунення дефектів на трубах.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі поздовжньої прокатки труб у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці, відповідно до котрого деформацію заготовки по радіусу здійснюють до площини і за площиною центрів валків, а одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, щоб в площині вершин калібру інтенсивність деформації стінки послідовно зменшувалась від максимальної величини в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до мінімальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а інтенсивність деформації зовнішнього радіуса монотонно збільшувалась від мінімальної величини в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до максимальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації, формозміну заготовки здійснюють таким чином, що в площині вершин калібру інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в

перетині виходу готової труби з осередку деформації становить величину $I_{\max}=0,05\div 0,30$, інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса становить величину $I_{\min}=(0-0,8)I_{\max}$, а овальність калібру валків залежить від інтенсивності деформації зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації відповідно до формули

$$\lambda_k = (0,99 \div 1,01) \cdot \left(\gamma - \frac{\gamma - 1}{\sqrt{I_{\max}^2 + 1}} \right),$$

де $\lambda_k = \frac{b_k}{h_k}$ - овальність калібру валків;

b_k - ширина калібру, мм;

$$h_k = 2 \cdot \left\{ R_i - [R_i - (R_t)_h] \cdot \sqrt{1 + I_{\max}^2} \right\} \quad \text{висота калібру, мм;}$$

$$\gamma = \frac{2R_i}{h_k} \quad \text{- показник глибини калібру;}$$

R_i - ідеальний радіус валка, мм;

$(R_t)_h$ - зовнішній радіус труби в площині вершин калібру, мм.

Загальними ознаками найбільш близького (прототип) та заявляемого способів є формозміна заготовки поздовжньою прокаткою у каліброваних валках на короткій нерухомій оправці з деформацією заготовки по радіусу до площини і за площиною центрів валків та одночасним збільшенням зовнішнього радіуса і обтисненням стінки заготовки у вихідному конусі осередку деформації, які закінчують в перетині виходу готової труби з осередку деформації і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюються таким чином, щоб в площині вершин калібру інтенсивність деформації стінки послідовно зменшувалась від максимальної величини в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до мінімальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а інтенсивність деформації зовнішнього радіуса монотонно збільшувалась від мінімальної величини в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до максимальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації.

Відрізняючи ознаки заявляемого способу є в тому, що в площині вершин калібру інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації становить величину $I_{\max}=0,05\div 0,30$, інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса становить величину $I_{\min}=(0-0,8)I_{\max}$, а овальність калібру валків залежить від інтенсивності деформації зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації відповідно до формули

$$\lambda_k = (0,99 \div 1,01) \cdot \left(\gamma - \frac{\gamma - 1}{\sqrt{I_{\max}^2 + 1}} \right) \quad (42)$$

де $\lambda_k = \frac{b_k}{h_k}$ - овальність калібру валків;

b_k - ширина калібру, мм;

$$h_k = 2 \cdot \left\{ R_i - [R_i - (R_t)_h] \cdot \sqrt{1 + I_{\max}^2} \right\} \quad \text{- висота калібру, мм;}$$

$$\gamma = \frac{2R_i}{h_k} \quad \text{- показник глибини калібру;}$$

R_i - ідеальний радіус валка, мм;

$(R_t)_h$ - зовнішній радіус труби в площині вершин калібру, мм.

Суть заявляемого винаходу не слідє явним чином для спеціаліста з відомого рівня техніки. Сукупність ознак, що характеризують відоме рішення, не забезпечує досягнення нових властивостей і тільки наявність відрізняючих ознак винаходу дозволяє одержати нові властивості, новий більш високий технічний результат. Отже, пропонуємий винахід відповідає критерію "Винахідницький рівень".

Вирішення задачі, що поставлена в основу винаходу, є можливим завдяки тому, що, на відміну від відомих способів (аналоги, прототип), в заявляемому способі поздовжньої прокатки інтенсивність деформації зовнішнього радіуса $[(R)_h]=I_{\max}$ в площині вершин калібру в перетині виходу з осередку деформації є незалежно регульованою величиною, від якої (в наслідок того, що I_{\min} та λ_k залежать від I_{\max}) залежать параметри деформування стінки та радіуса заготовки в калібрі автоматичного стана. При поздовжній прокатці труб з застосуванням пропонуемого способу інтенсивність I_{\max} призначається як незалежна величина виходячи винятково з пластичних характеристик матеріалу заготовки: чим менша пластичність матеріалу що деформується, тим менше значення I_{\max} з діапазону $I_{\max}=0,05\div 0,30$ вибирають для здійснення процесу (реально можна рекомендувати такі значення: $I_{\max}=0,15\div 0,30$ для маловуглецевих сталей; $I_{\max}=0,10\div 0,25$ для вуглецевих сталей; $I_{\max}=0,10\div 0,20$ для низьколегованих сталей; $I_{\max}=0,08\div 0,20$ для середньолегованих сталей; $I_{\max}=0,05\div 0,20$ для високолегованих сталей і сплавів). Також вирішення задачі, що поставлена в основу винаходу, є можливим завдяки тому, що, на відміну від відомих способів (аналоги, прототип), в заявляемому способі поздовжньої прокатки інтенсивність деформації зовнішнього радіуса I_{\min} в площині вершин калібру в перетині осередку деформації діаметральною площиною, в якій починається одночасне обтиснення стінки заготовки і збільшення її зовнішнього радіуса, не є фіксованою константою (що завжди дорівнює нулю), а є регульованою в межах діапазону $I_{\min}=(0\div 0,8)I_{\max}$ величиною, від

якої залежать параметри деформування стінки заготовки в калібрі автоматичного стану. Реально: $I_{\min}=(0\div 0,4)I_{\max}$ для першого стану поздовжньої прокатки СПП-1 (першого проходу в автоматичному стані); $I_{\min}=(0\div 0,8)I_{\max}$ для другого стану поздовжньої прокатки СПП-2 (другого проходу в автоматичному стані). Конкретне значення параметра прокатки I_{\min} вибирають в заявляемому діапазоні величин в залежності від

$$T = \frac{S_t}{D_t}$$

співвідношення товщини стінки S_t та зовнішнього діаметра D_t (показника тонкостінності) труби що виготовляють. Реально: для $T \geq 0,20$ вибирають $I_{\min}=0$; для $0,05 < T < 0,20$ вибирають $I_{\min}=(0\div 0,4)I_{\max}$; для $0,01 < T < 0,05$ вибирають $I_{\min}=(0\div 0,8)I_{\max}$. Також вирішення задачі, що поставлена в основу винаходу, є можливим завдяки тому, що, на відміну від відомих способів (аналоги, прототип), в заявляемому способі поздовжньої прокатки овальність калібру валків λ_k призначають (вибирають) в залежності від інтенсивності деформації I_{\max} зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації відповідно до формули, яка є результатом теоретичного аналізу зв'язку геометричних параметрів осередку деформації (b_k, h_k) з деформаційними параметрами (δ_h, W, O_e), що характеризують умови формозміни заготовки при її поздовжній прокатці в каліброваних валках.

За наявними у заявника і авторів відомостями сукупність ознак, що пропонується і характеризує сутність винаходу, невідома із сучасного рівня техніки. Отже, винахід відповідає критерію "Новизна".

Прокатка труб із використанням способу, що заявляється в якості винаходу, забезпечує підвищення якості труб внаслідок усунення дефектів на трубах з низьким рівнем овальності. Таким чином, запропонований винахід відповідає критерію "Корисність".

Спосіб пояснюється графічно. На фігурі 1 показано меридіональний поперечний перетин осередку деформації автоматичного стану площиною вершин калібру у випадку, коли $\delta_h < 1$, $I_{\min}=0$, використовується оправка з двома конічними ділянками, площа з'єднання котрих співпадає з площиною центрів валків: 1 - заготовка до початку обтиснення в кліті; 2 - вхідний конус осередку деформації та оправки; 3 - вихідний конус осередку деформації та оправки; 4 - калібровані валки; 5 - труба після обтиснення в кліті; $(R_0)_h$ - зовнішній радіус заготовки в площині вершин калібру до обтиснення в кліті; $(S_0)_h$ - стінка заготовки в площині вершин калібру до обтиснення в кліті; d_0 - внутрішній діаметр заготовки до обтиснення в кліті; ОХ - ось прокатки (стрілкою показано напрямок прокатки); ϕ_1 - кут конусності вхідного конуса оправки; ϕ_2 - кут конусності вихідного конуса оправки; R_i - ідеальний радіус валків; R_b - радіус валків по вершині калібру; O_1O_1 - лінія центрів валків (лінія перетину площини, що проходить через осі валків - площини центрів валків, з площиною, що проходить через ось прокатки перпендикулярно осям валків - площиною вершин калібру); L_Σ - загальна довжина зони деформації заготовки в кліті; L_0 - довжина зони редукування заготовки по діаметру в кліті; L_1 - довжина зони обтиснення заготовки по стінці до лінії центрів валків (до площини центрів валків); L_2 - довжина зони обтиснення заготовки по стінці за лінією центрів валків (за площиною центрів валків); $(S_g)_h$ - товщина стінки заготовки в площині вершин калібру в площині центрів валків; $(S_t)_h$ - товщина стінки труби в площині вершин калібру після обтиснення в кліті; d_g - діаметр оправки в площині центрів валків; $(R_t)_h$ - зовнішній діаметр труби в площині вершин калібру після обтиснення в кліті; d_2 - діаметр оправки в площині виходу труби з осередку деформації; α_2 - кут захвату за площиною центрів валків. На фігурі 2 показано діаметральний поперечний перетин осередку деформації площиною центрів

валків (перетин I-I на фіг.1): 1 - заготовка; 2 - оправка; 4 - валки; O_1O_1 - осі (центри) валків; O_1O_1 - слід площини вершин калібру на площині центрів валків; О - слід осі прокатки ОХ на площині центрів валків; R_i - ідеальний радіус валків; R_b - радіус валків в площині вершин калібру; $(S_g)_h$ - товщина стінки в площині вершин калібру в площині центрів валків; h_k - висота калібру; b_k - ширина калібру; $(S_0)_b=(S_g)_b$ - товщина стінки заготовки в площині випусків калібру (тут $(S_g)_b$ - товщина стінки в площині випусків калібру в площині центрів валків); Δ_0 - повний зазор між поверхнями оправки та заготовки в перетині центрів валків; d_g - діаметр оправки в площині центрів валків. На фігурі 3 показано меридіональний поперечний перетин осередку деформації автоматичного стану площиною вершин калібру у випадку, коли $\delta_h=1$, $I_{\min}>0$, використовується оправка з однією конічною ділянкою: 1 - заготовка до початку обтиснення в кліті; 2 - вхідний конус осередку деформації; 3 - вихідний конус осередку деформації та оправка; 4 - калібровані валки; 5 - труба після обтиснення в кліті; $(R_0)_h$ - зовнішній радіус заготовки в площині вершин калібру до обтиснення в кліті; $(S_0)_h$ - стінка заготовки в площині вершин калібру до обтиснення в кліті; d_0 - внутрішній діаметр заготовки до обтиснення в кліті; ОХ - ось прокатки (стрілкою показано напрямок прокатки); ϕ_2 - кут конусності оправки; R_i - ідеальний радіус валків; R_b - радіус валків по вершині калібру; O_1O_1 - лінія центрів валків (лінія перетину площини, що проходить через осі валків - площини центрів валків, з площиною, що проходить через ось прокатки перпендикулярно осям валків - площиною вершин калібру); L_Σ - загальна довжина зони деформації заготовки в кліті; L_{01} - довжина зони редукування заготовки по діаметру у вхідному конусі осередку деформації (до площини центрів валків); L_{02} - довжина зони редукування заготовки по діаметру у вихідному конусі осередку деформації (за площиною центрів валків); L_2 - довжина вихідного конуса осередку деформації; $(S_g)_h$ - товщина стінки заготовки в площині вершин калібру в площині центрів валків; $(S_t)_h$ - товщина стінки труби в площині вершин калібру після обтиснення в кліті; d_g - діаметр оправки в площині центрів валків; $(R_t)_h$ - зовнішній діаметр труби в площині вершин калібру після обтиснення в кліті; d_2 - діаметр оправки в площині виходу труби з осередку деформації; α_2 - кут захвату за площиною центрів валків. На фігурі 4 показано діаметральний поперечний перетин осередку деформації площиною виходу труби з осередку деформації (перетин II-II на фіг.1 та фіг.3): 3 - оправка; 4 - валки; 5 - труба; O_1O_1 - слід площини вершин калібру на площині виходу труби з осередку деформації; О - слід осі прокатки ОХ на площині виходу труби з осередку деформації; $(S_t)_h$ - товщина стінки труби в площині вершин калібру; $(S_t)_b$ - товщина стінки труби в площині випусків калібру; d_2 - діаметр оправки на виході з осередку деформації; b_k - ширина калібру.

Спосіб здійснюється таким чином.

Попередньо виготовлена будь-якому прошивному агрегаті (прошивний валковий стан, прошивний прес і т.п.) заготовка-гільза 1 задається у калібровані валки 4 автоматичного стану або стану поздовжньої

прокатки труб, у якому її деформують по діаметру та стінці на розмір труби-заготовки 5 для подальшої деформації. Величина сумарного абсолютного обтиснення по діаметру та стінці заготовки-гільзи визначається різницею між заданими по таблиці прокатки розмірами діаметра $D_0=2(R_0)_h$ та стінки $S_0=(S_0)_h$ заготовки-гільзи 1 і діаметра $D_t=2(R_t)_h$ та стінки $S_t=(S_t)_h$ заготовки-труби 5. У ході поздовжньої прокатки спочатку відбувається редукування заготовки-гільзи без деформації стінки. Цей процес характеризується овалізацією заготовки-гільзи внаслідок того, що висота калібру h_k , в якому відбувається деформування, по фізичній суті процесу поздовжньої прокатки має бути меншою за ширину калібру b_k . В наслідок овалізації внутрішня поверхня заготовки-гільзи в площині вершин калібру інтенсивно наближається до поверхні оправки (в міру переходу від вершин до випусків калібру ця інтенсивність зменшується). В діаметральному перетині осередку деформації, в якому зазор між поверхнею оправки та поверхнями валків в площині вершин калібру зрівнюються з товщиною стінки заготовки-гільзи $(S_0)_h$, починається обтиснення стінки. В залежності від вибраних параметрів формозміни діаметральний перетин осередку деформації, в якому починається обтиснення стінки може:

- бути розташований до площини центрів валків по ходу прокатки (при $\delta_h < 1$; $I_{\min}=0$);
- співпадати з площиною центрів валків (при $\delta_h=1$; $I_{\min}=0$);
- бути розташований за площиною центрів валків по ходу прокатки (при $\delta_h=1$; $I_{\min}>0$).

В першому випадку (фіг.1) на частині вхідного конусу осередку деформації довжиною L_1 відбувається одночасне зменшення радіусу і обтиснення стінки, а починаючи з площини центрів валків O_1O_1 відбувається збільшення радіусу з одночасним обтисненням стінки. В другому випадку $L_1=0$, а збільшення радіусу з одночасним обтисненням стінки починається в площини центрів валків O_1O_1 . В третьому випадку (фіг.3) збільшення радіусу з одночасним обтисненням стінки починається за площиною центрів валків O_1O_1 на відстані L_{02} по ходу прокатки від неї. В усіх випадках в зоні одночасного обтиснення стінки та збільшення радіусу процес формозміни характеризується нерівномірністю розподілу деформації зовнішнього радіусу по периметру калібру (у випусках калібру деформація мінімальна, в вершинах калібру - максимальна). Як показали дослідження, в тому разі, коли інтенсивність деформації зовнішнього радіусу в площині вершин калібру в зоні одночасного обтиснення стінки та збільшення радіусу вибрана таким чином, що $I_{\max}=0,05 \div 0,30$, а $I_{\min}=(0 \div 0,8)I_{\max}$, використання формули (42) для визначення параметрів калібру (овальності λ_k та висоти h_k) забезпечує таке співвідношення деформації зовнішнього радіусу в вершинах та випусках калібру, при якому параметри W та O_t будуть мінімальні, що зменшує вірогідність появи дефектів на трубі-заготовці. Після першого проходу в автоматичному стані або після прокатки в першому стані поздовжньої прокатки (СПП-1) отримана заготовка-труба кантується на 90° і деформується в другому проході в автоматичному стані або в другому стані поздовжньої прокатки (СПП-2); при цьому все вищенаведене у відношенні формозміни в першому проході (стані) залишається справедливим і для другого проходу (стану).

Конкретна реалізація заявляемого способу можлива при різноманітному сполученні: видів оправок (як по числу характерних ділянок, так і за формою утворюючої поверхні кожної з характерних ділянок); параметрів розташування оправок щодо площини центрів валків. При використанні заявляемого способу можуть використовуватися оправки: із двома конічними (вхідною і вихідною) і проміжною циліндричною ділянками; із двома конічними ділянками різної конусності (фіг.1); одноконусні оправки (фіг.3). Утворююча поверхні оправок на зазначених характерних ділянках може не бути прямою лінією, а відповідати кривим різноманітного профілю. Характерні ділянки оправок можуть бути по різному орієнтовані стосовно площини центрів валків. Так, наприклад, при використанні оправки, що складається з двох ділянок, площина сполучення цих ділянок може знаходитися: до площини центрів валків по ходу прокатки; збігатися з площиною центрів валків (фіг.1); знаходитися за площиною центрів валків по ходу прокатки. Як показали дослідження, проведені в промислових умовах, в усіх вищенаведених випадках прокатка труб із використанням способу, що заявляється в якості винаходу, забезпечує виготовлення труб, овальність яких не перевищує 1%.

Конкретний приклад 4 (приклад конкретної реалізації заявляемого способу). Як і в попередніх прикладах, в першому стані поздовжньої прокатки (СПП-1) технологічної лінії агрегату "140" здійснюють поздовжню прокатку труби з вуглецевої сталі, розміри якої становлять: зовнішній радіус в площині вершин калібру $(R_t)_h=74,5\text{мм}$, товщина стінки в площині вершин калібру $(S_t)_h=(S_2)_h=7,5\text{мм}$. В заявляемому способі інтенсивність деформації I_{\max} зовнішнього радіусу в перетині виходу готової труби з осередку деформації є незалежною величиною, тому призначено $I_{\max}=0,18$; $I_{\min}=0$. В СПП-1 прокатку здійснюють на нерухомій короткій оправці із двома конічними ділянками з такими параметрами: кут конусності утворюючої поверхні оправки до перетину центрів валків (на вхідній ділянці оправки) дорівнює $\phi_1=8,0$ градусів; кут конусності утворюючої поверхні оправки після перетину центрів валків (на вихідній ділянці оправки) дорівнює $\phi_2=10,2$ градусів; діаметр оправки в перетині з'єднання вхідного та вихідного конусів, що співпадає з перетином осередку деформації площиною центрів валків дорівнює $d_g=119,4\text{мм}$; довжина ділянки за перетином центрів валків становить $L_2=40,6\text{мм}$; діаметр оправки в перетині виходу труби з осередку деформації (як і в попередніх прикладах) становить $d_2=2[(R_t)_h-(S_t)_h]=134\text{мм}$, а в перетині центрів валків дорівнює $d_g=d_c=d_2-2L_2\tan\phi_2=119,4\text{мм}$. Ідеальний радіус каліброваних валків становить $R_t=300\text{мм}$. Висота калібру, розрахована відповідно формулі (42), становить $h_k=141,8\text{мм}$. Для прокатки в умовах, які становлять

$$\lambda_k = \frac{b_k}{h_k}$$

суть заявляемого способу, овальність калібру відповідно розрахунків по формулі (42) становить $\lambda_k=1,041 \div 1,062$. Прийнято $\lambda_k=1,06$ і, відповідно, $b_k=150,3\text{мм}$. Радіус валків в площині вершин калібру $R_B=R_t-0,5h_k=229,1\text{мм}$. Здійснюють поздовжню прокатку циліндричної заготовки із зовнішнім радіусом $R_0=(R_0)_h=75,1\text{мм}$ і товщиною стінки $S_0=(S_0)_h=(S_0)_b=11,4\text{мм}$. Довжина зони деформації заготовки у вхідному конусі осередку деформації $L_{bx}=L_0+L_1=43,8\text{мм}$; довжина зони обтиснення стінки у вхідному конусі осередку деформації становить $L_1=1,4\text{мм}$. Сумарне обтиснення стінки в площині вершин калібру становить $(\Delta S_2)_h=S_0-(S_t)_h=3,9\text{мм}$; обтиснення стінки в площині вершин калібру за площиною центрів валків (у вихідному конусі осередку деформації становить) $(\Delta S_2)_h=0,5(h_k-d_g)-(S_t)_h=3,7\text{мм}$; співвідношення обтиснень

$$\delta_h = (\Delta S_2)_h \cdot (\Delta S_\Sigma)_h^{-1} = 0,95$$

Вищенаведені параметри прокатки відповідають всім без винятку умовам і вимогам прокатки відповідно заявляемого способу - деформацію заготовки по радіусу здійснюють до площини центрів валків на ділянці довжиною $L_{bx}=43,8\text{мм}$ і за площиною центрів валків на ділянці довжиною $L_2=40,6\text{мм}$, а одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з перетину площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації, що лежить на відстані $L_2=40,6\text{мм}$ (по ходу прокатки) від площини центрів валків, і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, що в площині вершин калібру інтенсивність деформації стінки послідовно зменшується від максимальної величини $(I_s)_{\max}=\text{tg}\phi_2-I_{\min}=0,18$ в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до мінімальної величини $(I_s)_{\min}=\text{tg}\phi_2-I_{\max}=0$ в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а інтенсивність деформації зовнішнього радіуса монотонно збільшують від мінімальної величини в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до максимальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації так, що в площині вершин калібру інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації становить величину $I_{\max}=0,18$, інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса становить величину $I_{\min}=0$, а овальність калібру валків λ_k залежить від інтенсивності деформації зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації I_{\max} відповідно до формули

$$\lambda_k = (0,99 \div 1,01) \cdot \left(\gamma - \frac{\gamma - 1}{\sqrt{I_{\max}^2 + 1}} \right),$$

$$\lambda_k = \frac{b_k}{h_k} = 1,06$$

де b_k - овальність калібру валків;

$b_k=150,3\text{мм}$ - ширина калібру;

$$h_k = 2 \cdot \left\{ R_i - [R_i - (R_t)_h] \cdot \sqrt{1 + I_{\max}^2} \right\} = 141,8\text{мм}$$

- висота калібру;

$$\gamma = \frac{2R_i}{h_k} = 4,23$$

- показник глибини калібру;

$R_i=300\text{мм}$ - ідеальний радіус валка;

$(R_t)_h=74,5\text{мм}$ - зовнішній радіус труби в площині вершин калібру.

При таких параметрах прокатки, коли інтенсивність деформації зовнішнього радіуса заготовки в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса I_{\min} , овальність калібру λ_k та висоту калібру h_k призначено, як функцію від інтенсивності деформації I_{\max} , яка, в свою чергу, становить $I_{\max}=0,18$ (що відповідає умовам заявляемого способу, відповідно до яких $I_{\max}=0,05 \div 0,30$), обтиснення стінки в площині випусків калібру дорівнює $(\Delta S_\Sigma)_b=(S_0)_b-0,5(b_k-d_2)=3,3\text{мм}$, а різниця між сумарними обтисненнями стінки в площинах вершин і випусків калібру становить $W=(\Delta S_\Sigma)_h-(\Delta S_\Sigma)_b=0,6\text{мм}$, що в 3÷5 разів менше, ніж при використанні способів відповідно аналогів та прототипу (аналог №1 $W=3,0\text{мм}$; аналог №2 $W=1,75\text{мм}$; прототип $W=3,3\text{мм}$). Таким чином, при використанні заявляемого способу при виготовленні труб із відносно малопластичних сталей вірогідність появи на трубах дефектів у вигляді шпаківень і тріщин напруги значно знижується. У відповідності до (23) овальність труби після прокатки в СПП-1 дорівнює $O_t=0,84\%$ і є значно меншою, ніж при використанні способів відповідно аналогів та прототипу (аналог №1 $O_t=6,74\%$; аналог №2 $O_t=2,32\%$; прототип $O_t=6,75\%$) в наслідок чого значно зменшується вірогідність появи на трубах дефектів у вигляді тріщин напруги в процесі подальшої деформації в стані поздовжньої прокатки №2 (СПП-2) або в другому проході при прокатці в автоматичному стані.

Прокатана в СПП-1 труба після кантовки на 90° деформується в другому стані поздовжньої прокатки СПП-2 в трубу, розміри якої становлять: зовнішній радіус в площині вершин калібру $(R_t)_h=74,5\text{мм}$, товщина стінки в площині вершин калібру $(S_t)_h=(S_2)_h=4,5\text{мм}$. В заявляемому способі інтенсивність деформації I_{\max} зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації є незалежною величиною, тому призначено $I_{\max}=0,17$; $I_{\min}=0,425$; $I_{\max}=0,072$. В СПП-2 прокатку здійснюють на нерухомій короткій оправці, що має одну конічну ділянку з такими параметрами: кут конусності утворюючої поверхні оправки дорівнює $\phi_1=\phi_2=16,0$ градусів; максимальний діаметр оправки (діаметр оправки в перетині виходу труби з осередку деформації) дорівнює $d_2=140,0\text{мм}$; довжина ділянки за перетином центрів валків становить $L_2=38,3\text{мм}$; діаметр оправки в перетині центрів валків дорівнює $d_g=d_2-2L_2\text{tg}\phi_2=118\text{мм}$. Ідеальний радіус каліброваних валків становить $R_i=300\text{мм}$. Висота калібру, розрахована відповідно формулі (42), становить $h_k=142,5\text{мм}$.

$$\lambda_k = \frac{b_k}{h_k}$$

Для прокатки в умовах, які становлять суть заявляемого способу, овальність калібру розрахунків по формулі (42) становить $\lambda_k=1,035 \div 1,056$. Прийнято $\lambda_k=1,047$ і, відповідно, $\lambda_k=149,2\text{мм}$. Радіус валків в площині вершин калібру $R_B=R_i-0,5h_k=228,7\text{мм}$. Здійснюють поздовжню прокатку труби що була прокатана в СПП-1 і зкантована на 90° перед подачею в СПП-2, тому зовнішній радіус та стінка заготовки в площині вершин калібру СПП-2 дорівнюють зовнішньому радіусу та стінці труби в площині випусків калібру СПП-1 $(R_0)_h=75,1\text{мм}$, $(S_0)_h=8,1\text{мм}$; аналогічно для площини випусків калібру $(R_0)_b=74,5\text{мм}$, $(h_0)_b=7,5\text{мм}$. При вибраних параметрах формозміни ($I_{\min}>0$) редукування заготовки по діаметру без обтиснення стінки відбувається у вхідному конусі осередку деформації довжиною $L_{01}=41,9\text{мм}$, а на частині вихідного конуса довжиною $L_{02}=16,5\text{мм}$ (від площини центрів валків в напрямку прокатки) відбувається тільки деформація радіусу заготовки без обтиснення стінки. Зона одночасного збільшення радіусу заготовки і обтиснення її

стілки починається на відстані $L_{02}=16,5\text{мм}$ (по ходу прокатки) від площини центрів валків і закінчується на відстані $L_2=38,3\text{мм}$ (по ходу прокатки) від площини центрів валків. Таким чином 100% обтиснення заготовки по стінці відбувається за площиною центрів валків по ходу прокатки (у вихідному конусі осередку

деформації) і співвідношення обтиснень $\delta_h = (\Delta S_2)_h \cdot (\Delta S_\Sigma)_h^{-1}$ становить $\delta_h=1,0$. Сумарне обтиснення стінки в площині вершин калібру становить $(\Delta S_\Sigma)_h = (S_0)_h - (S_t)_h = 3,9\text{мм}$. Вищенаведені параметри прокатки відповідають всім без винятку умовам і вимогам прокатки відповідно заявляемого способу - деформацію заготовки по радіусу здійснюють до площини центрів валків на ділянці довжиною $L_{01}=41,9\text{мм}$ і за площиною центрів валків на ділянці довжиною $L_2=38,3\text{мм}$, а одночасне збільшення зовнішнього радіуса і обтиснення стінки заготовки здійснюють у вихідному конусі осередку деформації починаючи з перетину, що лежить на відстані $L_{02}=16,5\text{мм}$ (по ходу прокатки) від площини центрів валків і закінчуючи перетином виходу готової труби з осередку деформації, що лежить на відстані $L_2=38,3\text{мм}$ (по ходу прокатки) від площини центрів валків, і при цьому обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса здійснюють таким чином, що в площині вершин калібру інтенсивність деформації стінки послідовно зменшується від максимальної величини $(I_s)_{\max} = \lg \phi_2 - I_{\min} = 0,215$ в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до мінімальної величини $(I_s)_{\min} = \lg \phi_2 - I_{\max} = 0,117$ в перетині виходу готової труби з осередку деформації, а інтенсивність деформації зовнішнього радіуса монотонно збільшують від мінімальної величини в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса до максимальної величини в перетині виходу готової труби з осередку деформації таким чином, що в площині вершин калібру інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації становить величину $I_{\max}=0,17$, інтенсивність деформації зовнішнього радіуса в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса становить величину $I_{\min}=0,425$ $I_{\max}=0,072$, а овальність калібру валків λ_k залежить від інтенсивності деформації зовнішнього радіуса в перетині виходу готової труби з осередку деформації I_{\max} відповідно до формули

$$\lambda_k = (0,99 \div 1,01) \cdot \left(\gamma - \frac{\gamma - 1}{\sqrt{I_{\max}^2 + 1}} \right),$$

$$\lambda_k = \frac{b_k}{h_k} = 1,047$$

де λ_k - овальність калібру валків;

$b_k=149,2\text{мм}$ - ширина калібру;

$$h_k = 2 \cdot \left\{ R_i - [R_i - (R_t)_h] \cdot \sqrt{1 + I_{\max}^2} \right\} = 142,5\text{мм}$$

- висота калібру;

$$\gamma = \frac{2R_i}{h_k} = 4,21$$

- показник глибини калібру;

$R_i=300\text{мм}$ - ідеальний радіус валка;

$(R_t)_h=74,5\text{мм}$ - зовнішній радіус труби в площині вершин калібру.

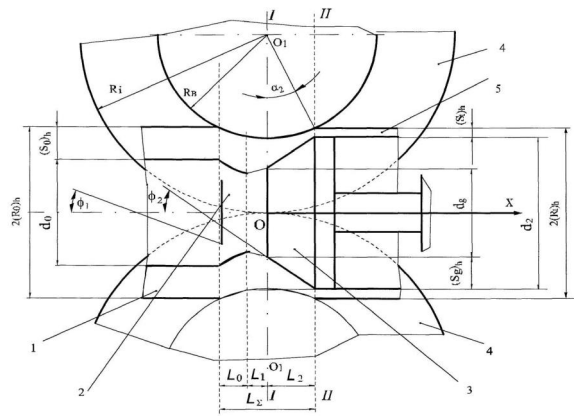
При таких параметрах прокатки, коли інтенсивність деформації зовнішнього радіуса заготовки в площині початку обтиснення стінки заготовки з одночасним збільшенням її зовнішнього радіуса I_{\min} , овальність калібру λ_k та висоту калібру h_k призначено, як функцію від інтенсивності деформації I_{\max} , яка, в свою чергу, становить $I_{\max}=0,17$ (що відповідає умовам заявляемого способу, відповідно до яких $I_{\max}=0,05 \div 30$), обтиснення стінки в площині випусків калібру дорівнює $(\Delta S_\Sigma)_b = (S_0)_b - 0,5(b_k - d_2) = 2,9\text{мм}$, а різниця між сумарними обтисненнями стінки в площинах вершин і випусків калібру становить $W = (\Delta S_\Sigma)_h - (\Delta S_\Sigma)_b = 0,7\text{мм}$ і є меншою, ніж при використанні способів відповідно аналогів та прототипу. Таким чином, при використанні заявляемого способу при виготовленні труб із відносно малопластичних сталей вірогідність появи на трубах дефектів у вигляді шпаківень і тріщин напруги значно знижується. У відповідності до (23) овальність труби після прокатки в СПП-1 дорівнює $O_t=0,15\%$ і є значно меншою, ніж при використанні способів відповідно до аналогів та прототипу, в наслідок чого значно зменшується вірогідність появи на трубах дефектів у вигляді тріщин напруги в процесі подальшої деформації на розкатному, редуційному або каліброчному станах.

Спосіб, що пропонується у якості винаходу, апробовано в промислових умовах на агрегаті «140» із станами поздовжньої прокатки "тандем" при виготовленні труб розміром $159 \times 4,5 \div 6,0\text{мм}$. Для порівняння труби було також виготовлено за технологіями відповідно аналогам №1 і №2 та прототипу. В кожному

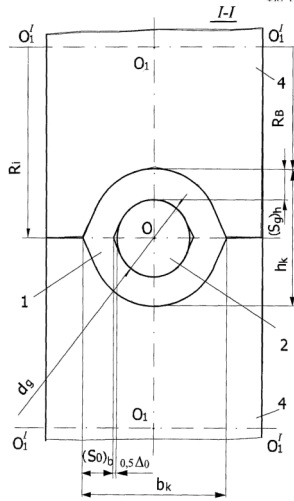
випадку фіксували розхідний коефіцієнт $P = \frac{M}{M_t}$ (тут M - кількість заданого в роботу металу, t ; M_t - кількість виготовлених без браку труб, t). Ефективність конкретного способу виготовлення труб оцінювали по

відносній величині $P_b = \frac{P_k}{P_1}$ (тут P_k - розхідний коефіцієнт при виготовленні труб конкретним способом; P_1 - розхідний коефіцієнт при виготовленні труб по способу відповідно аналога №1). Отримані дані ($P_b=0,97$ для аналога №2; $P_b=0,98$ для прототипу; $P_b=0,95$ для заявляемого способу) свідчать про те, що використання заявляемого способу дозволяє знизити відбраковку труб і, відповідно, збільшити на 2-5% кількість виготовленої без браку готової продукції в порівнянні з відомими способами поздовжньої прокатки труб.

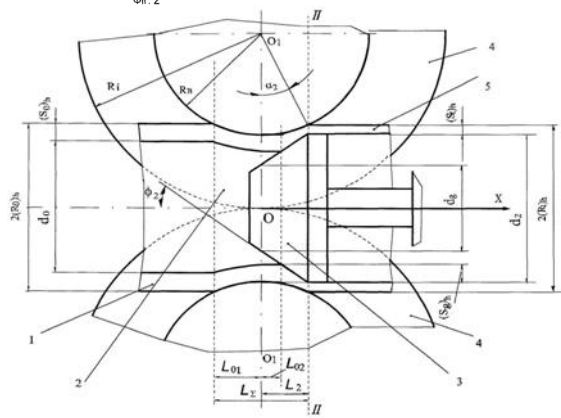
Дослідження в промислових умовах на агрегаті «140» цеху №5 Нижньодніпровського трубопрокатного заводу (м. Дніпропетровськ) показують, що пропонуємий спосіб відповідає критерію "Промислова придатність".



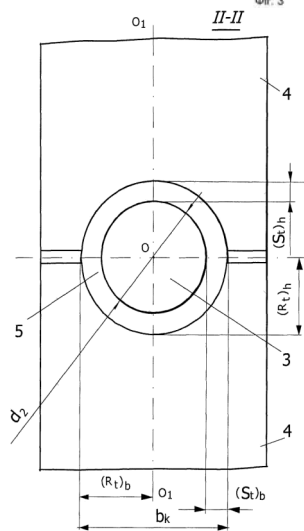
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4