

4. СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОФІЛІВ І ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ

4.1 Холодне волочіння

Холодне волочіння найбільш поширене при виготовленні профільних труб. Це пояснюється широкими можливостями цього способу, порівняно простою технології, а також невеликими початковими капіталовкладеннями при виготовленні інструменту для профілювання.

Холодним волочінням можуть виготовлятися як симетричні, так і несиметричні профілі. В даний час волочінням отримують квадратні, прямокутні, трикутні, ромбічні, паралелограмні, багатогранні, овальні, плоскоовальні, краплеподібні, ребристі, зіркоподібні та інші профілі.

Більшість стандартизованих профільних труб може бути отримано шляхом безоправочного волочіння. До них відносяться труби з постійною товщиною стінки по периметру, кривизна якого спрямована в один бік. Труби, профіль яких має знакозмінних кривизну, тобто складається з опуклих і увігнутих ділянок, отримують волочінням на короткій оправці. До числа їх відносяться хресто- і зіркоподібні, жолоби, ребристі, двоканальні і їм подібні труби.

Товщина стінки у цих труб теж постійна по периметру. Застосування оправки необхідно також при виготовленні труб із змінною товщиною стінки по периметру. До таких профілів відносяться шести- і восьмигранні труби з круглим отвором, зіркоподібні восьмипроменеві, призначені для виготовлення валиків куракоуборочних машин і т. п.

Профільні труби в залежності від розмірів можуть бути виготовлені волочінням як безпосередньо з гарячекатаних круглих труб, так і з попередньо волочених для профілювання розміру.

Технологія підготовки гарячекатаної заготовки, а також виготовлення і підготовки холоднотягнутої або холоднокатаної заготовки для профілювання залишається такою ж, як і при і потоплення круглих труб з відповідної марки сталі. Відмінність полягає лише в тому, що якщо перше безоправочне волочіння холоднотягнутих круглих труб допускається без попередньої термічної обробки (в масляному вигляді), то перед профілюванням холоднотягнуті труби повинні бути обов'язково піддані відпалу.

Велика частина профільних труб може бути отримана волочінням через профільне кільце в одну операцію. Деякі ж профілі протягають два рази через профільні кільця, причому обидві операції волочіння можуть бути безоправочними чи друга із застосуванням оправки. Фактором, визначення двохпрохідного волочіння профільних труб, служить найбільша допустима величина радіального зсуву металу при профілювання. Для великих розмірів труб це зміщення досягає величини, яка не вкладається у вогнище деформації при звичайній чи навіть збільшеною товщині волочильного кільця.

Збільшувати кут конусності вогнища деформації більше деякої величини, яка залежить від форми профілю і товщини стінки, неприпустимо через втрату трубою стійкості в процесі волочіння, а надто велика товщина кільця надзвичайно ускладнює його обробку, тому необхідне для отримання потрібного профілю вогнище деформації розбивають на два вогнища.

Волочіння через два профільні кільця може бути здійснено в одну операцію, якщо пластичність металу допускає це без руйнування поверхні труб на ділянках максимальної кривизни, які зазвичай припадають на ребра труби. В іншому випадку після першої протяжки роблять звичайну підготовку труб до наступної операції волочіння, починаючи з термічної обробки.

При двопрхідному волочінні профільних труб слід звертати увагу на спеціальну підготовку забитих кінців труб - головок. Оскільки труба отримала певну ступінь профілювання в результаті першої протяжки, то, щоб уникнути перекручування вже наявної форми при протяжці її в другому кільці, необхідно задавати трубу в кільце в такому положенні, при якому досягається збіг відповідних осей кільця і труби. Досягнення такого збігу полегшується спеціальною підбиттям головок, яка полягає і тому, що головок надають не круглу, як звичайно, а приплеснуту форму. Завдяки такій формі головок одне і те ж положення труби фіксується при захопленні її плашками волочильних візків як при першій, так і при другій операції волочіння. При цьому велику вісь кільця встановлюють в люнети стану вертикально.

Волочінням труби в профільному кільці передбачається формозміна круглої труби в трубу того чи іншого профілю. У процесі формозміни метал труби переміщається з поперечному до осі труби напрямку. Це переміщення металу відбувається в результаті тиску робочої поверхні інструменту на поверхню труби, що виникає внаслідок розтягуючих зусиль, прикладених до труби вздовж її осі.

Оскільки тиск інструменту направлено тільки в сторону осі труби, то в металі в площині, перпендикулярної осі труби, створюються переважно напруги двовісного стиснення. Але крім областей, схильних стиску, є також ділянки, піддані розтяганню; такими ділянками будуть зовнішні зони в місцях перегину і внутрішні зони в місцях розпрямлення стінки труби.

Протяжність цих зон у двох вимірах зменшується в міру просування деформованого перетину в глиб вогнища деформації аж до зникнення при достатньому обтисненні труби по периметру.

Зовнішнє розтягуюче зусилля, прикладене до труби, створює в осередку деформації третю складову тривісного напруженого стану, яка характеризується напруженням розтягування.

Як напруги стиснення в поперечному перерізі, так і напруги розтягування уздовж осі труби діють в напрямку зменшення периметра труби, тобто створюють її витяжку. Але так як ця витяжка створюється в умовах пластичної деформації, то вона буде тим більше, чим більше відносна

величина роботи по формозміні труби, тобто роботи, віднесеної до одиниці об'єму металу труби.

Оскільки частина витяжки, обумовлена фактором деформації, залежить не від абсолютної, а від відносної величини цієї деформації, тобто залежить від одержуваного профілю труби, то порівняльне уявлення про величину витяжки дає міра формозміни труби. Будемо називати мірою формозмінення різницю кутів заходів дуг профілю до і після формозмінення. Щоб ця різниця завжди була позитивною, необхідно віднімати з більшого кута менший. Але так як будь-який профіль, крім круглого, складається з того чи іншого числа дуг різної кривизни, то міра формозміни профілю буде сумою різниць кутів заходів всіх дуг профілю. Оскільки ця сума вимірюється кутами одиницями (градусами або в радіанах), то міру формозміни можна назвати також сумарним кутом формозміни.

Розглянемо формозміну ідеально прямої з ідеально пластичного металу платівки. У теорії пластичності ідеально пластичних називають матеріал, що не наклепується у процесі пластичної деформації. Оскільки платівка пряма, то її кінці будуть паралельними один відносно іншого. Зігніть платівку по дузі деякого радіуса на 90° одну і на 90° в іншу сторону (рисунок 4.1).

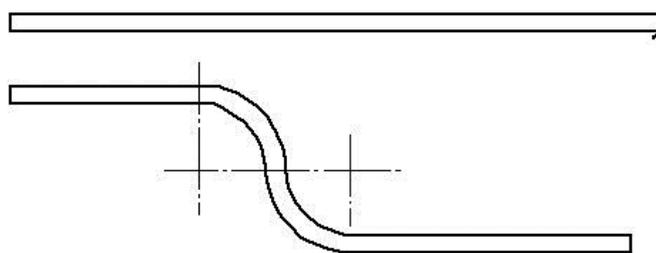


Рисунок 4.1 — Подвійний вигин пластинки

В результаті такого вигину сумарний кут формозміни дорівнює 180° .

Причому величина кута не залежить від величини радіусів кривизни, до того ж величина цих радіусів може бути різною. Якщо кінці пластинки після операції формозміни в одну сторону строго дорівнює куту формозміни в протилежну сторону. Це положення,

справедливе для прямої пластинки, залишається справедливим і для будь-якої іншої форми пластинки, якщо відносне положення решт її не змінюється в результаті формозміни. А оскільки це так, то розглянуту платівку можна представити у вигляді замкнутої фігури, у тому числі і кільця. Але формозмінення кільця аналогічно формозміні труби. Дійсно, при будь-якому формозміненні кільця положення його кінців, а їх можна представити в будь-якому поперечному перерізі кільця, залишається незмінним відносно один одного.

Положення про взаємне рівність кутів з протилежними знаками формозміни дозволяє при визначенні сумарного кута формозміни труби обмежуватися тільки підсумовуванням кутів різниць дуг з однаковими

знаками зміни їх кривизни; подвоєна величина цієї суми дасть сумарний кут формозміни профілю.

Висловлене вище положення про те, що захід формозміни по залежить від радіуса дуги, тобто від її довжини, не є тільки формальним наслідком самого визначення, так як кут дійсно не залежить від радіуса, а й містить в собі певний фізичний зміст.

Розглянемо формоїзміну прямої пластинки товщиною s . Зігніть дві однакові пластинки з ідеально пластичного матеріалу по дугах кіл різних радіусів на один і той самий кут. Як відомо, різниця в довжинах двох окружностей не залежить від величини їх радіусів, а визначається тільки різницею цих радіусів. Так як наші платівки взяті однакової товщини, то подовження волокон з опуклого боку пластинок або стиснення їх з увігнутого боку для обох зігнутих пластинок буде однаковим, незважаючи на розходження в довжинах дуг. Але на подовження і стиск волокон пластинок витрачається робота. Оскільки абсолютна деформація пластинок однакова, то, отже, і роботи на вчинення цих деформацій будуть рівними. Звідси випливає висновок: при рівності кутів формозміни існує і рівність робіт на вчинення цієї формозміни при однаковій товщині стінки профілів.

Перейдемо до визначення величини тягового зусилля, необхідного для профілювання труби. Тягове зусилля, прикладене до труби, витрачається: а) на чисте формозмінення труби в заданий профіль (корисна робота), б) на знакоперемінну деформацію в поперечному перерізі труби, пов'язану з особливістю калібрування вогнища деформації волочильного кільця (як правило, периметр вхідного отвору у вогнище деформації більше периметра вихідної труби, тому труба обжимається на початку вогнища лише на невеликих ділянках свого периметра, що і призводить до знакозмінної деформації); в) на знакозмінну деформацію в поздовжньому перерізі труби, викликану конусністю вогнища деформації; г) на витяжку труби; д) на потовщення стінки; е) на подолання зовнішнього тертя. Лише робота на витяжку труби не буде марною, але в той же час вона не є необхідною; інші види робіт, починаючи з пункту «б», марні.

Визначимо величину роботи на чисте формозмінення профілю. Для цього знову розглянемо вигин прямої пластинки з ідеально пластичного матеріалу. Зігніть пластинку в середній її частині на деякий кут, після чого видалимо з одного кінця дуги пряму частину пластинки. Уявімо собі, що вигнута частина пластинки складається з безлічі тонких пластинок, не пов'язаних між собою. Якщо тепер вигнуту пачку пластинок виправити, то з боку вільних кінців вони утворюють косий зріз, так як довжина їх внаслідок деформації стала різною (рисунок 4.2).

Природно, що кут нахилу зрізу буде залежати від кута формозміни, або від величини витяжки та стиснення крайніх пластинок. Так як товщина і ширина всіх пластинок однакова, то сили, які вчинили пластичну деформацію кожної з пластинок, будуть рівними. Робота цих сил дорівнює сумі творів кожної з сил на пройдений нею шлях. Щоб обчислити цю суму,

уявімо роботу деформації як роботу деформації розтягування, внаслідок їх рівності.

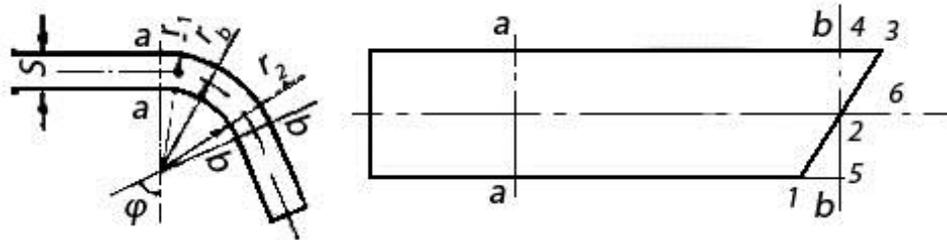


Рисунок 4.2 — Зміна довжини волокон при вигині

Робота деформації на цьому шляху дорівнює:

$$A = \frac{bs^2\pi\varphi\sigma_T}{760} = \frac{bs^2\varphi\sigma_T}{4} \quad (4.1)$$

де A - робота деформації, Н·мм;

S - товщина пластинки, мм;

φ -кут формозміни, град або рад;

b -ширина пластинки, мм;

σ_T -межа плинності, кг/см².

Шлях сил представлений відрізком 4-3, який дорівнює довжині дуг, описаних радіусами r_1 і r_0 :

$$\overline{4-3} = \frac{2(r_1 - r_0)\pi\varphi}{360} = (r_1 - r_0)\varphi = \frac{S}{2}\varphi \quad (4.2)$$

Це дозволить перенести нижній трикутник 1-2-5, в положення 2-3-6. Таким чином, загальну роботу деформації вигину пластинки можна представити як роботу деформації розтягування пластинки половинної товщини.

Переходячи до визначення роботи по формозміни труби, необхідно у формулі (4.1) ширину пластинки b замінити довжиною труби l , а під кутом увазі сумарний кут формою профілю. Тоді вираз для роботи формулою труби A_ϕ отримає вигляд:

$$A_\phi = \frac{ls^2\pi\varphi\sigma_T}{720} = \frac{ls^2\varphi\sigma_T}{4} \quad (4.3)$$

де σ_T - середня напруга опору деформації, Н/мм²

Довжина l труби являє собою шлях, пройдений волочильним візком при профілюванні:

$$P_\phi = \frac{A_\phi}{l} = \frac{ls^2\pi\varphi\sigma_T}{720} = \frac{ls^2\varphi\sigma_T}{4} \quad (4.4)$$

Формула (4.4) для визначення величини тягового зусилля чистої формозміни труби майже збігається з аналогічною формулою І. Л. Перліна, виведеної по дещо відмінній від нашої методикою. Ця формула має вигляд:

$$P_{\phi} = 0,28 \cdot S^2 \cdot \tau_m \cdot \sum a \left| \frac{1}{ra_k} - \frac{1}{ra_n} \right| \quad (4.5)$$

де a - довжина дуги одного радіуса кривизни, мм;

ra_k - кінцевий радіус кривизни, мм;

ra_n - початковий радіус кривизни, мм.

Якщо довжину дуг a ввести в дужки, то кутова величина дуг вийде в радіанах. Сума кутових різниць якраз дасть сумарний кут у формулі (4.4). Завищена на 12% величина коефіцієнта пояснюється тим, що І. Л. Перлін взяв наближене відношення пластичного моменту опору вигину до пружного.

Друга складова тягових зусиль досить незначна за величиною і залежить від калібрування волочильного кільця. Можна з упевненістю сказати, що величина цього зусилля не перевищує 10% теоретичного зусилля формозміни і може зменшуватися до одиниць відсотків, тому що збільшення сумарного кута формозміни в результаті зазначених вигинів не перевищує 10% його теоретичної величини.

Третя складова тягового зусилля має більшу питому вагу, ніж друга, і також залежить від калібрування інструмента, а саме: від кута максимальної конусності осередку деформації. Зі зменшенням цього кута дана складова зменшується. З достатнім наближенням величину даної складової можна знайти таким шляхом. Визначаємо середній кут нахилу твірної вогнища деформації. Цей кут буде середнім кутом поздовжнього вигину або формозмінення труби. Потім знаходимо довжину дуги, з'єднуючу твірну лінію циліндра і «конусу» осередку деформації, по нейтральній лінії стінки труби. Практично довжина цієї дуги складає 0,3-0,45 сторони профілю.

Користуючись отриманими даними, визначаємо загальну роботу на поздовжній вигин стінки труби. Беручи до уваги, що сумарний кут поздовжнього формозміни труби буде більше середнього кута нахилу твірної осередку деформації, прямо пропорційний відношенню довжини труби до довжини вище згаданої дуги сполучення, шукану величину роботи знаходимо з наступного виразу:

$$A_n = \frac{L}{l} a_c \pi (D - S) \cdot S^2 \frac{\pi}{720} \sigma_m = \frac{L}{l} a_c \pi (D - S) \frac{S^2}{4} \sigma_m \quad (4.6)$$

де A_n - спільна робота вигину труби на вході у осередку деформації, кг·мм;

L - довжина труби, мм;

l - довжина дуги сполучення, мм;

a_c - середній кут нахилу твірного осередку деформації, град або рад;

D - зовнішній діаметр труби, мм.

Але робота по виразу (4.5) складає лише частину роботи поздовжнього вигину. За вигином на вході слідує випрямлення стінки при подальшому просуванні труби по вогнища деформації. На виході з вогнища деформації труба згинається вдруге і знову випрямляється. Кут вторинного вигину

залишається таким же, як і при першому вигині (на вході у осередку деформації), але довжина другої дуги вигину може відрізнятись від довжини першої дуги. Це чітко видно на вогнищі деформації круглої труби. На профільних трубах ця різниця не проявляється так чітко і залежить від одержуваного профілю труби. Довжина цієї дуги коливається від 0,2 до 0,35 сторони профілю. Слід мати на увазі, що метал труби до кінця вогнища деформації отримав деякий наклеп, що збільшує зусилля деформації. Враховуючи сказане, зусилля, необхідне для здійснення знакозмінних вигинів поздовжніх труби, може бути знайдено з виразу:

$$P_u = \left[\frac{\pi(D-S)}{l_1} + \frac{P}{l_2} \right] \frac{S^2 k}{360} a_c \sigma_c = \left[\frac{\pi(D-S)}{l_1} + \frac{P}{l_2} \right] \frac{S^2 k}{2} a_c \sigma_c \quad (4.7)$$

де P_u - сумарне зусилля поздовжнього вигину стінки труб, Н;

l_1 - довжина дуги вигину по нейтральній лінії на вході осередку деформації, мм;

l_2 - те ж на виході з осередку деформації, мм;

P - периметр профілю по нейтральній лінії, мм.

Вираз (4.6) може бути використано для підрахунку зусилля, необхідного для поздовжнього вигину стінки труби під час волочіння круглих труб.

Складові тягового зусилля є складовими зусилля при безоправочному волочінні, тому сумарна їх величина може бути знайдена за формулою Л. Є. Альшевського:

$$P_\sigma = \sigma_n \cdot F_k \quad (4.8)$$

де P_σ - зусилля безоправочного волочіння, Н;

F_k - площа поперечного перерізу труби після тягнення, мм²;

$$\sigma_n = \sigma_c \left\{ \frac{e^{-\frac{f_c}{r_k}}}{\varepsilon - 1} \left[1 - \varepsilon \left(\frac{r_0}{r_k} \right)^{\varepsilon - 1} \right] + 1 \right\} \quad (4.9)$$

де σ_n - повне напруження безоправочного волочіння, Н/мм²;

σ_c - середня напруження опору деформації, Н/мм²;

ε - ширина калібруємого паска, мм;

r_0 - середній радіус вихідної труби, мм;

r_k - середній радіус труби, периметр якої дорівнює периметру профілю, мм;

$$\varepsilon = \frac{\operatorname{tg} \alpha + f}{(1 - f \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha'} \quad (4.10)$$

де α - кут нахилу твірної осередку деформації, град;

f - коефіцієнт тертя.

Загальне зусилля профілювання дорівнюватиме сумі його складає:

$$P_{np} = P_\phi + k P_\phi + P_u + P_\sigma \quad (4.11)$$

де P_{np} - величина загального зусилля профілювання, Н;

k - коефіцієнт, що враховує частку зусиль на знакозмінні вигини стінки труби в поперечному перерізі.

Повернімося ще раз до коефіцієнта витяжки. Як відомо, коефіцієнт витяжки являє собою відношення площ перетину труби до і після протяжки. При безоправочному волочінні з чотирьох величин відомі три: початковий діаметр D_n і товщина стінки S_n і заданий діаметр D_k . При малих коефіцієнтах витяжки потовщенням нехтують і товщину стінки до і після волочіння вважають однаковою. У цьому випадку формула для підрахунку коефіцієнта витяжки μ має вид:

$$\mu = \frac{(D_n - S_n)S_n}{(D_k - S_k)S_k} \quad (4.12)$$

де D_n - діаметр початкової труби, мм;

D_k - діаметр кінцевої труби, мм;

S_k - кінцева товщина стінки, мм;

S_n - початкова товщина стінки і $5K > 5H$.

Розрахунок коефіцієнта витяжки за формулою (4.10) означає його розрахунок по середньому діаметру для круглих і по середньому периметру для профільних труб. Якщо ж наближений розрахунок коефіцієнта витяжки при незнанні дійсної величини потовщення стінки вести по відношенню зовнішніх периметрів труб, то в цьому випадку вийде результат менший, ніж за формулою (4.10), тобто більш близький до дійсного коефіцієнту витяжки. Експериментальна перевірка дійсного коефіцієнта витяжки при профілюванні показала, що останній менше коефіцієнта витяжки, підрахованого стосовно зовнішніх периметрів, на 2-4%. Отже, розбіжність була б ще більше, якщо коефіцієнт витяжки підраховувати по відношенню середніх периметрів. Але знання дійсної витяжки (подовження) труби не має майже ніякого практичного значення. Дійсно важливо і необхідно знання відносини зовнішніх периметрів труб до і після профілювання, так як це відношення визначає величину периметра і діаметра вихідної труби, знання яких необхідно для забезпечення заповнення форми кільця. Тому нижче ми користуємося не коефіцієнтом витяжки, коефіцієнтом обтиснення, під яким мається на увазі відношення периметрів труб до і після профілювання при всіх способах виготовлення профільних труб, якщо не обумовлено інше.

Вище було сказано, що на величину природного коефіцієнта витяжки впливає величина роботи формозміни. Але крім цього, вона залежить ще від умов, в яких відбувається це формозмінення. Ці умови визначаються формою профілю і стосуються головним чином профілів, утворених прямими лініями і прилягаючими їх дугами.

Як вже зазначалося, всебічне обтиснення труби в осередку деформації створює напруги двовісного стиснення. Одна із складових напруги стиснення спрямована тангенціально. Величина напружень тангенціального стиснення надає значний вплив на величину витяжки труби. Але тангенціальні напруги є також фактором формозміни труби. Справа в тому, що вигин стінки труби

для заповнення кутів багатогранного профілю, починаючи з квадрата, відбувається під дією тангенціальних сил.

Щоб викликати пластичний вигин стінки труби по дузі певної кривизни, на стінку необхідно вплив поперечної сили, що створює потрібний згинальний момент. Очевидно, що величина згинального моменту не залежить від профілю труби, а визначається товщиною стінки і механічними властивостями металу. Але так як при виготовленні багатогранно ∇ них профілів згинальний момент створюється не поперечною силою, а тангенціальними силами, то для отримання одночинної поперечної сили однієї і тієї ж величини при різних кутах між тангенціальними силами необхідно докласти різної величини ці сили. Дане положення ілюструється на рисунку 4.3.

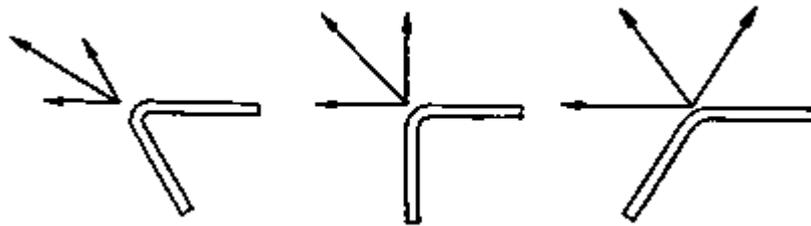


Рисунок 4.3 — Залежність величини тангенціальних сил від кута, утворюваного сторонами профілю при одній і тій же величині рівнодіючих.

Однак зростання тангенціальних сил обмежене механічними властивостями металу. При досягненні тангенціальними силами певної величини починається пластичним протягом металу, яке веде до подовження труби і потовщення її стінки і, отже, до зміцнення металу. Одночасно проходить і заповнення кутів профілю внаслідок пластичного вигину і деякого перерозподілу металу, в результаті якого товщає стінка труби в кутах профілю.

Таким чином, зі збільшенням кута між гранями профільної труби буде збільшуватися і витяжка при її профілюванні. Цим пояснюється той факт, що при виготовленні трикутних, овальних і їм подібних профілів спостерігається найменша витяжка.

З практики відомо, що безоправочне волочіння круглих труб з малими опадами (витяжками) супроводжується більшою їх кривизною, що повторює в основному кривизну труб до протягання (безоправочні труби не піддаються проміжному редагуванню). І, з іншого боку, волочіння труб з великою витяжкою не залишає ніяких слідів від їх первісної кривизни. Останнє пояснюється тим, що осередок деформації труби має значну протяжність по осі кільця. Кругова рівновага сил конусу деформації труби збігається або дуже мало відхиляється від осі робочого конуса кільця. А це призводить до того, що вісь конуса деформації знаходиться завжди в одному і тому ж положенні по відношенню до вісі простягнутої частини труби; в ідеальному випадку ці вісі збігаються. Тому труби, протягнуті з великою деформацією, мають постійний радіус кривизни, що лежить в одній площині.

При малих обтисненнях конус деформації має невелику протяжність, тому згинальний момент, створюваний цим конусом, недостатній для зміни вже наявної кривизни, в зв'язку з чим труба проходить через осередок деформації, зберігаючи або навіть збільшуючи вихідну кривизну.

Профілювання труб відноситься до волочіння з малими витяжками. Причому калібрування осередку деформації, принцип якої полягав у сталості кута нахилу твірної робочого «конуса» кільця, профільована різновісна труба заклинювалась тільки з двох сторін, а дві інші сторони залишалися без впливу інструменту. Природно, що в такому осередку деформації відсутні сили, які могли б змінити первісну кривизну труб.

З метою зменшення кривизни профільних труб практикувалась попередня правка їх перед волочінням. Гарний результат також дає протягування через два кільця, перше з яких кругле. Автором була розроблена калібрування профільних кілець, застосування яких дає таку ж якість труб, як і під час волочіння через два кільця. У новому калібруванні збільшена протяжність осередку деформації труби і поверхня контакту труби з робочим конусом кільця. У наслідок цього деформована зона труби міцно заклинюється в очку кільця, завдяки чому непротягнута частина труби не має бічних коливань, що звичайно спостерігаються при безоправочному волочінні.

Оправочне волочіння профільних труб призначене не для зменшення товщини стінки, як це робиться при тягненні круглих труб, а для підтримки стінки труби з метою запобігання зайвого прогину профілю всередину. Такі прогини виходять при безоправочному волочінні профілів, утворених дугами знакозмінної кривизни.

Відмова від додаткової витяжки, окрім природної, при оправочному волочінні профільних труб викликаний не стільки відсутністю необхідності в цьому, скільки неприпустимістю впливу оправки на стінку профільної труби. Якщо при довідковому волочінні круглих труб сталість відносного обтиснення різностінність труби забезпечує однакову витяжку труби по всьому її периметру, то при оправочному тягненні профільних труб з обтисненням по стінці таку рівність витяжок по всьому периметру труби забезпечити неможливо. Нерівномірність витяжки по периметру створюється насамперед неминучою поперечною різностінністю труби. Крім того, оправлення для профільних труб, як правило, має таку форму, при якій оправлення впливає на стінку труби не по всьому його периметру, а це супроводжується нерівномірністю витяжки, що неприпустимо.

Обтиснення стінки труби виключається тим, що розміри оправки приймаються з урахуванням плюсового допуску на товщину стінки.

Крім профільних, волочінням виготовляють труби змінного перерізу. Ці труби бувають двох видів: змінного діаметра і зі стінкою змінної товщини.

Труби змінного діаметру представляють собою поєднання кількох циліндричних ділянок, діаметр яких зменшується від однієї ділянки до іншої,

з'єднаних конічними переходами. Останні являють собою осередок деформації перерваного процесу волочіння.

Волочіння таких східчастих труб проводиться в наступному порядку. Трубу протягають на розмір, який повинен мати ділянку з найбільшим діаметром. Друга протяжка проводиться через кільце, діаметр якого дорівнює діаметру другої ділянки, а осередок деформації відповідає формі перехідного конуса труби. На волочильному стані при цьому встановлюється пристосування, яке відключає візок від робочого ланцюга в необхідному місці, перериваючи таким чином процес волочіння. Непротягнутий залишок труби повинен мати довжину, рівну або більшу заданої. Протягнуту частину труби виймають з кільця в сторону, зворотну волочінню. Третій і наступні ділянки отримують таким же шляхом.

Труби зі стінкою змінної товщини можуть бути отримані волочінням на довгій конічній оправці на стані з обкатною машиною або волочінням на короткій конічній оправці, що переміщається уздовж вісі волочіння в процесі протягання. Для виготовлення труб зі стінкою змінної товщини другим способом волочильний стан обладнують пристроєм для стержня в процесі волочіння.

Закон зміни товщини стінки труби визначається формою оправки і поєднанням її рухів назад і вперед в процесі протяжки однієї труби. Так як волочіння допускає порівняно мале обтиснення стінки труби, то значна зміна товщини стінки може бути досягнуто шляхом багаторазового волочіння на коротких конічних оправках.

4.2 Холодна прокатка

В даний час існує два способи холодної прокатки труб: пілігримова (ХПТ) і роликівна (ХПТР). Обидва ці способи дозволяють виготовляти профільні труби, а пілігримова холодна прокатка - також і труби змінного перетину. Відмінність обох способів холодної прокатки труб від волочіння, зокрема, полягає в тому, що трубу в процесі прокатки періодично повертають на певний кут. Періодичне обертання труби на станах ХПТ до деякої міри ускладнює прокатку труб, що мають зовнішнє профілювання. Це утруднення пов'язано насамперед з тим, що прокатка труб відбувається в калібрі, утвореному двома напівдисками. Отже, профіль труби може бути тільки таким, який забезпечується вільною взаємною обкаткою калібрів-напівдисків. По-друге, 360° не завжди кратні куту повороту труби. Прокатка труб із зовнішнім профілюванням може бути виконана лише на станах з жорсткою системою повороту труби на кут, кратним якого є 360° . До них відносяться стани, у яких поворот труби проводиться мальтійським хрестом. На станах з нежорсткою системою повороту труби прокатка профільованих зовні труб виключена.

Завдяки тому, що стани ХПТ допускають можливість великої деформації стінки труби, на них можна прокатувати труби з внутрішньою

профільованою поверхнею: з внутрішнім тригранником, квадратом, шестигранником, з внутрішньою поверхнею у вигляді шліців різної конфігурації і т.і. Таким чином, найбільш прийнятні для виготовлення на станах ХПТ труби з внутрішньою профільованою поверхнею. Можливість прокатки труб із зовнішньої профілюванням являється більше теоретичною, ніж практичною. Це пояснюється тим, що оправки, необхідні для внутрішньої профілювання, виготовити значно легше, ніж калібри-напівдиски для зовнішньої профілювання.

Найбільш раціонально на станах ХПТ виготовлення труби змінного перерізу: циліндричних труб зі стінкою змінної товщини, конічних труб зі стінкою постійної товщини і конічних труб зі стінкою змінної товщини.

Прокатка труб зі стінкою змінної товщини виробляється шляхом подачі вперед йдучи відведення назад конічної оправлення в процесі прокатки труби. Довжина ділянки труби із змінною товщиною стінки буде визначатися інтенсивністю подачі або відведення оправки. Подача оправки вперед призводить до зменшення товщини стінки і навпаки. Якщо оправлення спочатку відводить, а потім подавати вперед, то в результаті буде отримана труба зі збільшеною з кінців до середини товщиною стінки.

Труби змінного перерізу за способом їх отримання можна розділити на дві групи. До однієї групи відносяться труби, які представляють собою безпосередньо робочий конус або яку-небудь його нову форму, отриману подальшим волочінням. Такий робочий конус представляє собою, наприклад труби для пера мотоциклетної вилки. Довжина ділянки труби з перемінним перетином в цьому випадку дорівнює довжині конічної частини струмка калібру або трохи її перевищує в результаті витяжки труби під час волочіння конічні труби довжиною, більшої довжини одного робочого конуса, можуть бути складені з декількох робочих конусів.

Прокатана конічна труба може бути піддана подальшій обробці, наприклад волочіння, для отримання циліндричної труби зі стінкою змінної товщини. Але виготовлення за такою технологією довгих циліндричних труб зі стінкою змінної товщини представляє значні труднощі і економічні.

У 1948-49 рр.. З. А. Коффі був розроблений спосіб прокатки труб змінного перерізу великої довжини, який більш продуктивний і економічний у порівнянні з розглянутим вище способом. Його перевага полягає насамперед у тому, що труба прокочується на одному стані в одній парі калібрів-напівдисків.

Сутність способу прокатки труб змінного перерізу більшої довжини полягає в тому, що в процесі прокатки конічне оправлення відводять назад або подають вперед при відведенні оправки, тому товщина стінки труби зростає і навпаки. При цьому прокатана труба має зовнішню циліндричну поверхню. Даний спосіб прокатки дозволяє отримувати труби змінного перерізу будь-якої довжини, яка визначається довжиною вихідної заготовки.

У поздовжньому перерізі товщина стінки труби може вимірюватися за будь-яким наперед заданим законом. Практичне ж значення мають труби зі

стілкою, товщина якої змінюється за законом прямої лінії від одного кінця до іншого або від середини (з максимальною товщиною) до кінців (з мінімальною товщиною). Такі труби називають рівноміцними.

Прокатка труб великої довжини із стінкою змінної товщини, що змінюється по заданому закону, викликає необхідність узгодження між величиною часткового відведення оправки і довжиною прокоченої ділянки труби. У зв'язку з конусністю загальна величина відведення оправки не може бути значною і по відношенню до довжини ділянки труби із змінною товщиною стінки звичайно являє собою незначну величину. Внаслідок цього відвід оправки роблять періодично, поки не буде прокачаний ділянку труби заданої довжини при даному положенні оправки, тобто зі стінкою постійної товщини. Отже, внутрішня лінія поздовжнього перерізу труби буде не прямолінійною або якою-небудь іншою плавно змінюючою лінією, а складеною з паралельних відрізків, з'єднаних тієї або іншої величини сходами. Різниця в товщині стінки двох сусідніх ділянок визначається величиною часткового відведення оправки.

Розглянемо спосіб узгодження відведення оправки з прокаткою труби зі стінкою змінної товщини при зміні товщини стінки за законом прямої лінії (рівноміцної труби). При прокатці труби з відведенням оправки довжина прокатуваних ділянок труби за одну подачу через збільшення товщини стінки весь час зменшується. Ця обставина не дозволяє встановити прямий зв'язок між подачею труби і відведенням оправки, тому що при встановленні такого зв'язку товщина стінки труби змінювалася б не прямолінійно. Отже, щоб отримати прямолінійну зміну товщини стінки, необхідно при постійній подачі величину часткового відведення оправки зменшувати пропорційно зменшенню прокочуючого за одну подачу ділянок труби. А це таке саме, як встановлення пропорційної залежності між величиною прокачані ділянки труби і величина відведення оправки. Механізм відводу оправки повинен забезпечувати рівні величини відводу оправки при рівних прокатаних ділянках труби.

При заданих початковій і кінцевій товщинах стінки загальна величина відведення оправки визначиться за формулою:

$$l_{від} = (S_k - S_n) / \operatorname{tg} \alpha \quad (4.13)$$

де $l_{від}$ - загальна довжина відведення оправки, мм;

S_n - початкова товщина стінки труби змінного перетину, мм;

S_k - кінцева товщина стінки, мм;

α - кут нахилу твірної оправки до її осі, рад.

Знайдена величина відведення порівнюється з допустимою величиною відводу не стане. При перевищенні розрахункової величини відводу над допустимою збільшують до необхідної величини кут конусності оправки.

Якщо спосіб пілігримої холодної прокатки найбільш прийнятний для прокатки труб з внутрішньої профілюванням, то спосіб роликової прокатки

найбільш підходить для прокатки труб із зовнішньої профілюванням. Останнє забезпечується тим, що калібр на станах ХПТР утворений двома, трьома або чотирма роликами. Така конструкція осередку деформації дозволяє прокатувати профільні труби, профіль яких утворений двома, трьома, чотирма, шістьма і вісьма повторюваними елементами. При цьому необхідно, щоб механізм повороту труби забезпечував фіксований поворот її на 90, 60 і 45 ° на станах відповідно з двох-, трьох-і чотирьох-ролковими голівками. Прокатка двох-, трьох- і чотирьохелементних профілів здійснюється без повороту труби.

Профілі зі значним поперечним перерозподілом металу можуть бути виготовлені на станах ХПТР у дві або три прокатки з проміжною термічною обробкою труб.

4.3 Поєднання холодної прокатки і холодного волочіння

Деякі профілі труб можуть бути отримані тільки поєднанням волочіння з холодною прокаткою. Тут мається на увазі не тільки таке поєднання, коли заготовка виготовляється одним способом, а профілювання стає іншою, а головним чином поєднання, коли один спосіб служить необхідним доповненням іншого. Наприклад, труба для пера вилки мотоциклу являє собою в одній своїй частині трубу змінного перерізу (робочий конус із змінною товщиною стінки), отриману холодною прокаткою на станах ХПТ і спрофільована в овал на волочильних станах.

Більш складним прикладом поєднання холодної прокатки і волочіння служать труби великої довжини, прокатані зі стінкою змінної товщини, з декількома циліндричними ділянками, з'єднаними конічними переходами, і потім спрофільовані в овальні, причому величини вісей овалів для кожного циліндричного ділянки різні, а конічні переходи спрофільовані в овали зі змінною величиною вісей; перехідні конічні овали роблять третім способом - штампуванням.

З циліндричних труб зі стінкою змінної товщини можна виготовляти волочінням квадратні, прямокутні та інші види рівномічних профілів.

Контрольні питання:

- 1. Виробництво труб волочінням.*
- 2. Визначення вигину стінки труб.*
- 3. Виробництво холоднодеформованих труб на пілігримовому стані.*
- 4. Виробництво холоднодеформованих труб на ролковому стані.*