

### 3. ВИРОБНИЦТВО ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРУБ

#### 3.1. Теоретичні основи процесів зварювання труб

Здатність зварюватися мають всі метали, що утворюють за певних температур, тверді розчини та механічні суміші. З'єднання при зварюванні відбувається за рахунок міжатомного впливу шляхом зчеплення (зв'язку) атомів. Для того, щоб відбулося зварювання, необхідно з'єднати крайки трубною заготовки. При досить близькому зближенні зовнішні електрони атомів металів з'єднуються за крайок трубною заготовки утворюють загальну систему, внаслідок чого і досягається зварювання. Таким чином, при зварюванні виникають внутрішньокристалічні зв'язки між з'єднаними кромками заготовки (або з'єднаними кромками і металом шва).

Зближенню атомів заважають нерівності поверхні крайок і наявність на цих поверхнях забруднень (оксидів, органічних плівок та ін.). Відповідно до способу, застосовуваним для усунення цих перешкод та забезпечення необхідного для зварювання зближення атомів, всі існуючі методи зварювання поділяють на дві основні групи: способи зварювання спільною пластичною деформацією при нагріванні вище температури рекристалізації (зварювання тиском) і способи зварювання спільним плавленням крайок (зварювання плавленням). Механізм виникнення внутрішньокристалічних зв'язків між металом крайок для цих двох груп методів зварювання різний.

При зварюванні труб тиском з'єднання крайок досягається нагріванням їх до високої температури і подальшою спільною пластичною деформацією в місці зіткнення. Пластична деформація (осадка) проводиться за рахунок програми зовнішнього зусилля (тиску), достатнього для забезпечення спільної деформації металу зварюваних кромок. Ступінь деформації в місці зварювання (стику кромок) найбільша, тому що в цій області метал має максимальну температуру. При високій температурі нагріву і значній пластичній деформації руйнуються окисні плівки, що покривають поверхню металу, і зминаються нерівності, що перешкоджають зближенню атомів металу зварюваних кромок. При відсутності постійних включень в місці з'єднання рекристалізовані зерна металу будуть виникати і розвиватися на обох зварюваних кромках. Таким чином, при спільній пластичній деформації металів, нагрітих до температури вище температури рекристалізації, виникають і розвиваються зерна, які належать одночасно обом зварюваним кромкам. На основі цих процесів і здійснюється з'єднання - зварювання крайів.

При зварюванні труб кромки нагрівають значно вище температури рекристалізації, а іноді до оплавлення. Такий нагрів, окрім зниження опору металу пластичній деформації, призводить також до розрідження окислів, а отже, до полегшення їх видалення, до підвищення рухливості атомів і сприяє їх зближенню і утворення спільної кристалічної системи. Розм'якшений і

розплавлений метал, якщо він утворився в процесі нагріву, видавлюється в процесі деформації із зони зварювання, утворюючи грати.

При зварюванні плавленням кромки труби з'єднуються за рахунок розплавлення металу зварюваних елементів (основного металу по крайках в місцях їх дотику або основного металу крайок і додаткового металу електрода). Розплавлений метал зварюваних кромок мимоволі (без програми зовнішнього зусилля) зливається між собою і додатковим металом, утворюючи так звану зварювальну ванну. Після видалення джерела тепла метал у ванні твердне (кристалізується), утворюючи зварне з'єднання. Поздовжній шов при зварюванні труб отримують переміщенням джерела тепла щодо крайок (або зварюваних крайок щодо джерела тепла). При цьому пересувається і ванна розплавленого металу. У міру віддалення джерела тепла відбувається кристалізація металу зварювальної ванни (зі швидкістю переміщення джерела тепла) і перетворюється в твердий шов, що з'єднує кромки труби в одне ціле. Все тепло або більша його частина відводиться примикаючими до зварювальної ванни (навколошовними) ділянками металу. В обох розглянутих методах зварювання між крайками виникає металевий зв'язок шляхом утворення спільних зерен; межа між металами практично зникає.

Зварювання при температурах, близьких до температури кипіння металу, при зварюванні плавленням збільшує його здатність окислятися. Для зменшення окислювання і ізоляції від навколишньої атмосфери металу шва розплавлений при зварюванні метал (при деяких видах виробництва зварних труб) оточується спеціальними шлаками, отриманих в результаті плавлення флюсів.

### ***3.2 Особливості процесів зварювання труб плавленням***

При зварюванні труб плавленням для розплавлення металу шва використовують різні джерела нагріву, що створюють температуру не нижче 2000° С. У залежності від джерела тепла, використовуюваного для розплавлення металу, розрізняють електричне і хімічне зварювання. При електричному зварюванні плавленням джерелом нагріву металу шва труби є електрична дуга або електронний пучок (електронно-променеве або плазменне зварювання).

При виробництві труб широке застосування знаходять різні методи дугового зварювання, при яких нагрівання і плавлення металу відбуваються за рахунок енергії, відокремленої дуговим розрядом. При електронно-променевому зварюванні енергія, що витрачається на нагрівання і плавлення металу, утворюється в результаті інтенсивного бомбардування основного металу труби в місці з'єднання крайок швидкорухомими електронами. При хімічному зварюванні плавленням як джерело тепла використовують реакцію горіння газів (газове зварювання). Газове зварювання в процесі виготовлення зварних труб знаходить обмежене застосування.

Процеси газового зварювання труб (атомно-водневого і ацетилено-кисневого) у зв'язку з розвитком більш досконалих методів зварювання труб з високолегованих сталей в даний час майже не використовують.

Процеси дугового зварювання плавленням, що застосовуються при виробництві труб і використовують як джерело нагріву електричну дугу, класифікують за властивостями електроду, типу дуги, виду захисту області зварної ванни від впливу атмосферного повітря.

За типом електрода розрізняють зварювання неплавким (вольфрамовим) і плавким (сталевим) електродом.

При зварюванні неплавким електродом застосовують дугу прямої (залежної) або непрямої (незалежної) дії. Зварювальною дугою називають потужний довгостроковоіснуючий електричний розряд в середовищі парів і газів. Дуга характеризується високою температурою газів.

Зварювання вольфрамовим електродом дугою прямої дії ведуть на постійному струмі прямої полярності або змінному струмі з обов'язковим захистом області дуги інертним газом (гелієм, аргоном) - гелієво-дугове або аргоно-дугове зварювання. Зварювання вольфрамовими електродом незалежною дугою ведуть постійним струмом із захистом області дуги воднем - атомно-водневе зварювання. При зварюванні плавким електродом дуга виникає між основним металом труби і металевим електродом певного хімічного складу, що подається в зону дуги у міру плавлення. При виробництві труб область дуги захищають від впливу атмосферного повітря шаром пінливого флюсу, який створює жужільний захист.

Електроди підключають до джерела живлення змінного або постійного струму прямої або зворотної полярності. При зварюванні на постійному струмі електрод приєднаний до позитивного полюсу джерела живлення, називають анодом, а до негативного - катодом. При зварюванні змінним струмом кожен електрод поперемінно є анодом і катодом.

Область між електродом (між електродом і зварюваної трубою) називають областю розряду або дуговим проміжком, довжину цього проміжку називають довжиною дуги. Довжину дуги (рисунок 3.1) поділяють на зовнішню (від кінця електрода до металу труби) і приховану (від поверхні зварюваної труби до вершини провару). Дуговий проміжок розділяють на три області: анодну 1, катодну 2 і стовп дуги 3. На поверхні анода і катода є найбільш нагріті ділянки 4 і 5 (через які проходить весь струм дуги), що називаються відповідно анодною і катодною активними плямами.

При сталому процесі дуга горить між рідкими електродом, так як кінець електрода і поверхня труби знаходяться в розплавленому стані. Поверхня рідкої ванни, розташована на трубі, не залишається плоскою, а під впливом механічних і електромагнітних сил, створюваних дугою, вдавлюється, утворюючи заглиблення, що називається кратером. Електрична енергія, споживана дугою, переходить в основному в теплову енергію. Ефективно теплова потужність, що витрачається на нагрівання основного і додаткового металу визначається:

$$Q_{\text{эф}} = 0,2kI_{\text{д}}U_{\text{д}}\eta_{\text{эф}} \quad (3.1)$$

де  $I_{\text{д}}$  - сила струму, А;

$U_{\text{д}}$  - напруга дуги, В;

$k$  - коефіцієнт, що враховує вплив змінного струму на потужність дуги.

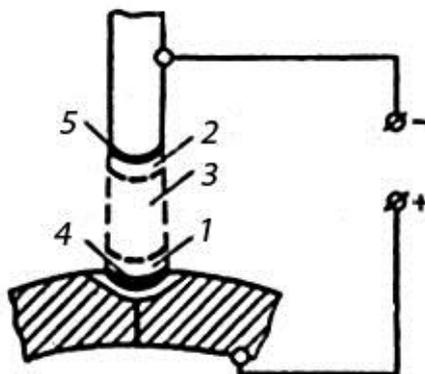


Рисунок 3.1— Схема зварювальної дуги

При постійному струмі  $k = 1$ ; при змінному струмі в залежності від складу навколишньої атмосфери і характеристики джерела живлення  $k = 0,7-0,97$ ;  $\eta_{\text{эф}}$  - відношення ефективної теплової потужності зварювальної дуги до повної теплової потужності.

При аргоно-дуговому зварюванні труб  $\eta = 0,5-0,6$ ; при зварюванні труб під шаром флюсу  $\eta = 0,8 - 0,95$ .

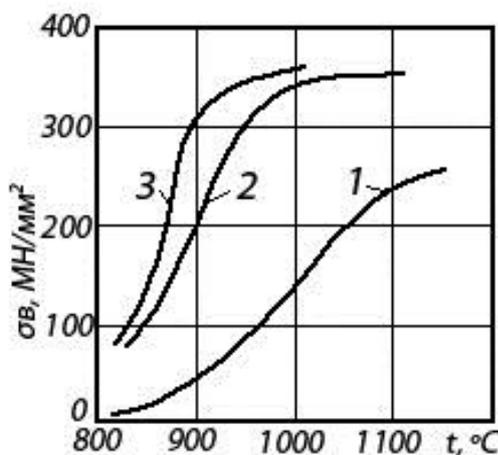
### 3.3 Особливості процесів зварювання труб тиском

Процес зварювання тиском відбувається при високих температурах, коли метал кромки заготовки знаходиться в пластичному стані, але не розплавляється. При різних методах виробництва труб кромки нагріваються за рахунок тепла полум'я (грубне зварювання); тепла, що виділяється при проходженні електричного струму в контактні крайки (контактне зварювання опором); тепло, що виділяється при проходженні індукційного струму (індукційне зварювання).

Дослідження процесу зварювання тиском показали, що, крім температури і тиску, на міцність зварних з'єднань впливає також період часу дії необхідної високої температури і тиску. Чим більше час дії тиску, тим вище міцність зварного шва. При малому питомому тиску - близько  $10 \text{ МН/м}^2$  ( $1 \text{ кг/мм}^2$ ) - для отримання міцного шва необхідно проводити нагрівання зварюваних поверхонь до високих температур, близьких до температури плавлення. Однак підвищення температури зварювання супроводжується зростанням міцності шва тільки до визначеної температури, яка залежить від складу сталі. При перевищенні цієї температури починається часткове розплавлення більш легкоплавких структурних складових сталі, що робить неможливим зварювання тиском без

розплавлення поверхні зварювальних кромки, наприклад, контактне зварювання труб опором (рисунок 3.2). Таким чином, для забезпечення якісного шва зварних труб необхідно створити досить високий зварювальний тиск на кромках зварюваної заготовки; цей тиск має бути забезпечений відповідним калібруванням робочого інструмента.

Зі збільшенням змісту вуглецю в сталі, як показували спеціально поставлені досліди, максимально можлива температура зварювання без розплавлення металу знижується, а мінімальна температура підвищується. Для сталей з підвищеним вмістом вуглецю це призводить до звуження діапазону температур зварюваності тиском (без розплавлення). При вмісті вуглецю близько 1% зварювання тиском утруднене а при вмісті вуглецю понад 1,5% - неможливе.



1-10(1); 2-20(2); 3-35(3,5) МН/м<sup>2</sup> (кг/мм<sup>2</sup>)

Рисунок 3.2 — Залежність межі міцності зварного шва від температури зварювання при різних питомих тисках

### 3.4. Електрозварювання

Профільні труби можуть бути отримані з електрозварних труб. Виготовляються вони трьома способами: а) волочінням круглої труби через профільне кільце; б) прокаткою в спеціальному калібрувальному стані і в) прокаткою в калібрувальному потоці. У кожного з цих способів є свої переваги і недоліки.

Перевага профілювання труб волочінням полягає в тому, що витрати на виготовлення профілюючого інструменту при цьому будуть мінімальними. Тому дрібні партії труб доцільніше профілювати волочінням. Недолік цього способу профілювання - у відходах металу на голівки.

При виготовленні труб порівняно великими партіями раціональніше профілювання виробляти прокаткою розрізаних на потрібну довжину зварних труб в спеціальному калібрувальному стані, встановленому поза потоком. Витрати на виготовлення спеціальних валків окупаються економією на металі. До прокатки профільних труб поза потоком змушує неможливість

різання профільних труб в потоці з різцьовими головками, якими розрізають круглі труби. Але прокатка труб на окремій відстані пов'язана з певними витратами на його обслуговування, крім того, необхідна додаткова виробнича площа.

Профілювання труб в потоці є найбільш раціональним при масовому виробництві. Однак у цьому випадку для різання труб необхідна реконструкція летючих ножиць. При цьому на станині летючих ножиць, замість звичайних різцьових, встановлюють пилу, ріжучим інструментом у якій служить абразивний диск. При зазначеній реконструкції додаткові труднощі викликає необхідність відсмоктування абразивного і металевого пилу, що виникає в процесі різання. При профілюванні труб в потоці калібрувальний стан служить не для калібрування, а для профілювання труб. Наявність п'яти пар валків калібрувального стана забезпечує необхідне формозмінення круглої труби для отримання заданого профілю.

Принцип профілювання круглої труби, здійснюваний під час волочіння в одному кільці, визначає послідовну форму калібрів валків калібрувального стана.

Електрозварюванням виготовляються відносно прості профілі: квадратні, прямокутні, овальні. Для прокатки різновісних профілів калібр врізають у валки так, щоб напрямок найбільшого осаджування труби співпав з площиною валків, представлених у найбільшій кількості. Під площиною валка мається на увазі площина, перпендикулярна осі обертання валка. В існуючих калібрувальних станах цей напрям збігається з площиною робочих валків. Отже, при прокатці витягнутих профілів робочі валки здійснюють основну деформацію. Менша частка деформації припадає на еджерні валки. При прокатці квадратних труб як робочі, так і еджерні валки беруть участь в деформації труби в рівній мірі.

При необхідності невелика частина деформації може бути перенесена і на валки правильної головки. Але основне призначення правильної головки полягає саме в правці труби. Причому, якщо для круглих труб необхідно виправлення кривизни і овальності, то у профільних труб необхідно ще виправлення і гвинтовий скрученості. Останнє вирішується поворотом касет з правильними роликami навколо осі труби як відносно площини валків останньої робочої кліти, так і відносно один одного. Кривизна профільних труб виправляється таким же способом, як і кривизна круглих труб. Прокатка в калібрувальному стані супроводжується витяжкою труби. Коефіцієнт витяжки тут буде менше, ніж при холодному волочінні для тих же розмірів труб, приблизно в півтора-два рази і коливається від 1,0 до 1,05. Звичайно, коефіцієнт витяжки можна підвищити, але це пов'язано зі збільшенням тиску на валки, що не завжди можливо за умовами їх міцності. Коефіцієнт витяжки зростає із збільшенням відносини великої осі профілю до малої, зі збільшенням товщини стінки труби і зі зменшенням числа профілюючих клітей. Для більш рівномірного розподілу тиску на валки

калібрувального стана по клітках деформацію труби слід розподіляти між усіма клітками калібрувального стана.

Окремі коефіцієнти витяжки труби по клітках стану не розподіляються в такому ступені рівномірно, як деформація. Найбільша витяжка припадає на першу клітку і майже відсутня в останній, хоча деформація труби тут може бути досить відчутною. Такий розподіл приватних коефіцієнтів витяжки слід враховувати при визначенні величини периметрів труби і калібрів по клітках. Наближено у вигляді закону зміни коефіцієнтів витяжки по клітках можна прийняти спадаючу арифметичну прогресію, причому різниця прогресії дорівнює коефіцієнту витяжки по останній клітці за вирахуванням одиниці. У калібруванні для прямокутних і овальних труб витяжкою в еджерних клітках нехтують; в калібруванні для квадратних труб, в яких деформація рівномірно розподіляється як у робочих, так і еджерних клітках, витяжку розподіляють між усіма клітками.

Не зовсім суворе, але досить точне рішення, в відповідності до прийнятих положень, дає наступний спосіб розподілу витяжок між клітками.

Нехай основна деформація проводиться в трьох робочих клітках при загальному коефіцієнті витяжки 1,024. Різниця між коефіцієнтом витяжки та одиницею складе  $1,024 - 1 = 0,024$ . Отриману різницю розподіляємо по закону арифметичної прогресії. Якщо витяжка в останній клітці перевищує одиницю на  $a$ , то перевищення у другій клітці складе  $2a$ , в першій -  $3a$ . Сума цих перевищень складе  $6a$  і дорівнює  $0,024$ . Звідси  $a = 0,004$ . Тоді витяжка між клітками розподілиться таким чином:  $\mu_1 = 1,012$ ;  $\mu_2 = 1,008$ ;  $\mu_3 = 1,004$ . Сума цих коефіцієнтів витяжки буде перевищувати прийняту нами загальну витяжку 1,024 всього на 0,00018, що дає похибку менше 0,02%.

### **3.5. Гаряча прокатка труб**

У ряді галузей промисловості широко застосовуються гарячекатані профільні труби типу квадратних, прямокутних, квадратних з круглим отвором і ін. Труби квадратні, прямокутні і ін. зі стінкою постійної товщини по периметру виготовляються в багатокліткових станах безперервної прокатки (редукційних станах). Можна сказати, що виготовлення гарячекатаних профільних труб стало можливим саме завдяки винаходу станів безперервної гарячої прокатки труб. Квадратні труби з внутрішнім круглим отвором виготовляють прокаткою на пілігримових станах із застосуванням круглої оправки.

Особливість процесу гарячої прокатки профільних труб на редукційних станах полягає в тому, що принцип поступової зміни круглої труби в профільну тут походить східчасто, шляхом часткової зміни форми труби в кожній клітці редукційного стану. Неможливість одержання необхідної формозміни труби в одній клітці визначалась тим, що редукційні стани стали єдиним засобом виготовлення гарячекатаних безоправочних профільних труб.

Проте можливості способу гарячої прокатки профільних труб значно вужче, ніж холодного волочіння. Застосування цього способу обмежується як його технічними засобами, так і економічними міркуваннями. Способом гарячої прокатки можна виготовляти порівняно прості профілі: квадратні, прямокутні, трикутні, ромбічні, овальні.

При цьому необхідно мати на увазі, що точність геометричних розмірів цих труб значно нижче точності холоднотягнутих або холоднокатаних труб, а якість їх поверхні гірше.

Економічні обмеження застосування даного способу полягають, по-перше, в тому, що виготовлення від 6 до 12 комплектів робочих валків з профільними калібрами викликає значні витрати, які окупаються тільки за умови виконання великих за тоннажем замовлень, що дозволяють використовувати валки на допустиму величину зносу калібрів. По-друге, якщо навіть буде в подальшому можливість вторинного використання цих валків, то і в цьому випадку обсяг замовлення має бути достатнім, щоб виправдати втрати, пов'язані з подвійною перевалкою стану. Тому не завжди доцільно передавати замовлення на труби того чи іншого нового розміру або навіть на труби з освоєного сортаменту для виготовлення на стани гарячої прокатки.

Основним типом редуційних станів, є стани з двохвалковими робочими клітьми. Тому всі наступні міркування будуть ставитися саме до цього типу станів.

Найбільш прийнятні для прокатки профільних труб стани з індивідуальним приводом валків. Ці стани допускають регулювання числа оборотів валків і, отже, прокатку труб без значного натягу. До наступних за ступенем зручності відносяться стани з груповим приводом і двохопорному кріпленням валків. Останнє дозволяє приводити в відповідність швидкість труби і лінійну швидкість валків шляхом зміни діаметрів їх бочок.

Найменш прийнятні стани з груповим приводом і консольним кріпленням валків, що мають постійні діаметри бочок. З огляду на те, що швидкості валків в цих станах орієнтована на редукування труб із значними витяжками, прокатка профільних труб в них буде відбуватися з великим натягом, особливо прямокутних, прокочуваних з більшим числом клітей. У цих станах внаслідок великого натягу не рекомендується прокатка прямокутних труб. Прокатку квадратних труб, яка виробляється в порівняно малому числі клітей, слід вважати допустимою.

В основному деформація труби при профілюванні в валках редуційного стану зводиться до формозміни круглої труби в профільну. Валки стану при цьому відчувають менший тиск, ніж при скороченні круглих труб. Тому, якщо виходити з силових умов, прокатку профільних труб можна вести при порівняно низькій температурі. Однак значне зниження температури прокатки профільних труб супроводжується підвищеною їх кривизною і скрученістю, що вкрай небажано, тому що правка таких труб представляє значні труднощі. У зв'язку з цим зазвичай обмежуються

зниженням температури металу, при якому забезпечується достатнє заповнення калібру. Практично прокатка профільних труб ведеться при температурі 800-850° С з підвищенням її до 900° С для товстостінних труб. При виготовленні прямокутних і квадратних труб користуються двома типами калібрів: ящиковими або стрілчастими.

Першими користуються переважно для прокатки прямокутних труб. Однак застосування для прокатки цих труб в стрілчастих калібрів дає можливість розмістити всю калібровку для отримання прямокутної труби в меншій кількості клітей, ніж при калібруванні в ящикових калібрах. Незважаючи на цю перевагу калібрування зі стрілчастими калібрами, останні не отримали застосування внаслідок припущення, що через нерівномірність тиску валків на трубу остання буде скручуватися навколо своєї осі. Таке припущення практично не підтверджено, тому що якщо навіть і буде відбуватися скручування труби по виході з даної кліті, то дія наступної кліті направлено у протилежну сторону і має ліквідувати виникнене скручення. Крім того, деформація труби в кожній наступній кліті зменшується, знижуючись майже до нуля в чистових клітях. Останнє має призвести до того, що чистові кліті будуть не скручувати, а виправляти трубу, якщо припустити, що робочі кліті і створять деяку її скрученість.

Прокатку-профілювання квадратних труб можна вести як у валках з ящиковими, так і в валках з стрілчастими калібрами. Проте практично користуються валками з стрілчастими калібрами. Це пояснюється тим, що в стрілчастому калібрі обтиснення проводиться відразу по всіх чотирьох сторонах профілю, в ящикових ж калібрах обтиснення відбувається тільки з боку дна калібру.

Цей недолік калібрів ящикового типу чітко проявляється калібрування, призначених для прокатки прямокутних труб, особливо для профілів з великою різницею у величині сторін. Так як зсув металу по малій стороні (по великій осі) профілю незначний, то кліті з глибоким врізом калібру у валки майже не беруть участь в деформації труби.

Всебічне обтиснення профілю в стрілчастому калібрі дозволяє виготовляти квадратні труби в меншій кількості клітей з профільними калібрами, тобто з більш інтенсивної деформацією, якщо її відносити до всіх клітей з профільними калібрами, ніж прямокутні труби в ящикових калібрах. Це можна проілюструвати прикладом застосовуваних калібрів. Квадратні труби 65×65, 70×70, 80×80, 100×100 мм виготовляють в шести клітях, з яких дві чистові; прямо-вугільні труби 60×40 мм виготовляються в шести клітях, 80×60 мм — в дев'яти клітях, 100×50 мм - в одинадцяти клітях, з яких дві у всіх випадках чистові. Таким чином, якщо квадратні труби 100×100 мм виготовляються в п'яти клітях, то прямокутні труби 100×50 мм формуються в десяти клітях.

Число робочих клітей, в яких відбувається основна деформація, визначається прийнятою величиною осадки профілю труби:

$$n = \frac{\lg D_n - \lg b_n}{\lg k} \quad (3.2)$$

Остання приймається в межах 10-14% від величини малої осі профілю в попередній кліті для кожної робочої кліті, в якій відбувається деформація в напрямку малої основи. Таким чином, висота профілю в першій робочій кліті і наступних визначиться з виразів:

$$b_1 = \frac{D_u}{k} \quad b_2 = \frac{b}{k} = \frac{D_u}{k^2} \quad b_n = \frac{D_u}{k^n} \quad (3.3)$$

де  $b_1, b_2, b_n$  - висота профілю по малій осі у відповідних клітках, мм;  
 $k$ -коефіцієнт осаджування, рівний 1,08-1,15;

$D_u$  - діаметр вихідної труби, мм.

Якщо  $n$  вийде дробовим, то його округляють в більшу чи меншу сторону.

До отриманого числа робочих клітей для прокатки прямокутного профілю при калібрах ящикового типу необхідно додати ще число проміжних клітей, деформуючих трубу в напрямку великої осі профілю, яке дорівнює - 1. Величина діаметра вихідної труби  $D_u$  входить до формулу (3.3), визначається з урахуванням витяжки труби в процесі прокатки. Коефіцієнт витяжки визначається як відношення площі поперечного перерізу вихідної труби до площі готового профілю. Але оскільки завдання деформації труби зводиться в основному до заповнення форми калібру, то тут, як і у випадку холодного волочіння, більш правильним буде користуватися коефіцієнтом обтиснення, висловлюваним відношенням периметра вихідної труби до периметру готового профілю. Як і при холодному волочінні, для заповнення калібру необхідно прийняти діаметр вихідної труби таким, щоб забезпечити процес прокатки труби. Видома при гарячій прокатці прямокутних труб витяжка перевищує витяжку при холодному волочінні аналогічних профілів приблизно в два рази і коливається від 1,05 до 1,16. Вкажемо на деякі фактори, що впливають на величину натяжки. Збільшення діаметра валків зменшує витяжку; збільшення відносної і абсолютної величини осаджування при тому ж діаметрі валків, збільшення відношення більшої сторони до меншої, збільшення відношення товщини стінки до радіусу заокруглення і збільшення товщини стінки підвищують витяжку.

Коефіцієнт обтиснення для прямокутних труб буде більше, ніж для квадратних, при інших рівних умовах, так як сумарна величина осаджування тут буде зростати зі збільшенням відносини більшої сторони профілю до меншої, відповідно з цим і обтиснення труб зростатиме. Оскільки квадратні труби мають найменший коефіцієнт обтиснення, то, природно, цей коефіцієнт слід було б прийняти за вихідний для визначення коефіцієнта обтиснення прямокутних труб. Можна запропонувати наступну емпіричну залежність між величинами обтиснення квадратних, і прямокутних труб:

$$\mu = \mu_0^m \quad (3.4)$$

де  $\mu_0$  - коефіцієнт мінімально необхідного обтиснення для квадратної труби;

$\mu$  - те ж для прямокутної труби з тією ж товщиною стінки;

$m$  - показник ступеня, рівний відношенню великої сторони прямокутника до малої.

Коефіцієнт обтиснення для прямокутних труб можна знайти і з іншого вираження, яке дає результат, відмінний від результату за формулою (3.4) всього лише на декілька десятих часток відсотка:

$$\mu = \mu_0(m-1) + 1 \quad (3.5)$$

Зазначена вище величина коефіцієнта обтиснення характеризує собою сумарне обтиснення труби у всіх профілювальних клітках редуційного стану. Це обтиснення складається із окремих обтисків в кожній клітці. Обтиснення у кожній наступній клітці повинне бути менше обтиснення у даній клітці. Ця вимога для прямолінійних профілів виконується природним шляхом, з одного боку, у зв'язку зі зменшенням різниці між довжиною дуги та її хорди в міру зменшення кривизни дуги і, з іншого боку, завдяки зменшенню абсолютної величини осаджування профілю при одній і тій же величині коефіцієнта осаджування. В останніх двох чистових клітках обтиснення труби неприпустимо, тому що зусилля, необхідне для створення обтискання, призведе до втрати стійкості стінки труби і до прогину її всередину. Прокатана труба з обтисненням супроводжується підвищеною швидкістю труби на виході з калібру. У редуційних станах, як відомо, швидкість виходу труби зростає після кожної клітки. Таке збільшення швидкості спостерігається і при прокатці профільних труб, хоча і в меншій мірі, ніж при звичайному редукуванні круглих труб, у зв'язку з меншим коефіцієнтом обтиснення. Різниця в швидкостях окремих ділянок труби викликає необхідність відповідної різниці в лінійних швидкостях катаючих кіл робочих валків редуційного стану.

Відповідність між швидкостями труби і окружною швидкістю валків може бути досягнуто двома шляхами. У редуційних станах з індивідуальним регульованим приводом така відповідність досягається найбільш простим шляхом налаштуванням двигунів на необхідну для кожної клітки швидкість. У станах з груповим приводом і двохопорному кріпленню валків з сталою лінійною швидкістю валків досягається зміною діаметрів бочок валків, а отже, і діаметра катаючих кіл.

Розрахунок чисел оборотів валків або величини діаметрів катаючих кіл передує розрахунок коефіцієнтів обтиснення по клітках.

*Контрольні питання:*

1. Метод зварювання труб плавленням.
2. Метод зварювання труб тиском.
3. Метод електрозварювання.
4. Виробництво профільних труб гарячою прокаткою.