

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Запорізька державна інженерна академія**

**Б.П. Серeda
С.П. Шейко
О.А. Жеребцов
Ю.В. Бондаренко**

ВИРОБНИЦТВО ТРУБ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ПРОФІЛЕЙ

Навчально-методичний посібник

*для студентів ЗДІА
спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском»*

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Запорізька державна інженерна академія

*Затверджено до друку
рішенням науково-методичної ради ЗДІА
протокол №13 від 14.03.2012 р.*

ВИРОБНИЦТВО ТРУБ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ПРОФІЛЕЙ

Навчально-методичний посібник

*для студентів ЗДІА
спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском»*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МОМ
протокол № 1 від 30.08.2011р.*

Запоріжжя
ЗДІА
2012

*Б.П. Серета, д.т.н., професор
С.П. Шейко, к.т.н., доцент
О.А. Жеребцов, асистент
Ю.В. Бондаренко, асистент*

Відповідальний за випуск: *зав. кафедри МОМ,
д.т.н. професор Б.П. Серета*

Рецензенти:

Данченко В.М., д.т.н., професор, завідувач кафедри обробки металів тиском Національної металургійної академії України;

Грицай В.П., к.т.н., професор кафедри металургійного обладнання Запорізької державної інженерної академії.

Серета Б.П.

Дослідження і вдосконалення процесів обробки металів тиском: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104, «Обробка металів тиском» / Б.П. Серета, С.П. Шейко, О.А. Жеребцов, Ю.В. Бондаренко. – Запоріжжя, ЗДІА, 2012. – 126 с.

Навчально-методичний посібник призначений для студентів спеціальності «Обробка металів тиском», який містить відомості про виробництво труб та спеціальних профілей. Розглянуто основні технології виробництва гарячекатаних, холоднодеформованих та зварних труб, матеріали, які найбільш використовуються при трубному виробництві та методи їхньої підготовки. Представлені технології виробництва гнутих і періодичних профілей та їх сортамент.

ЗМІСТ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТРУБОПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО. | 7 |
| 1.1. Класифікація й призначення труб | 7 |
| 1.2. Загальні відомості про заготовку труб | 8 |
| 1.3. Нагрівальні пристрої трубних цехів і їх характеристика | 11 |
| 1.4. Печі для нагрівання заготовки..... | 15 |
| 1.5. Печі для нагрівання труб..... | 18 |
| 1.6. Печі для нагрівання штрипсів..... | 20 |
| 1.7. Печі для термічної обробки труб..... | 23 |
| 2. ВИРОБНИЦТВО БЕЗШОВНИХ ТРУБ | 26 |
| 2.1. Підготовка металу до прокатки . Вихідний метал для безшовних труб | 26 |
| 2.2. Прокатка труб на безперервному стані. | 29 |
| 2.3 Розкочування гільзи на стані поперечно-гвинтової прокатки | 35 |
| 2. 4 Прокатка труб на автомат-стані | 41 |
| 2.5 Прошивка заготовки на пресі | 49 |
| 2.6. Редукування труб | 56 |
| 3. ВИРОБНИЦТВО ЗВАРЮВАЛЬНИХ ТРУБ | 65 |
| 3.1. Теоретичні основи процесів зварювання труб..... | 65 |
| 3.2 Особливості процесів зварювання труб плавленням | 66 |
| 3.3 Особливості процесів зварювання труб тиском | 68 |
| 3.4. Електрозварювання..... | 69 |
| 3.5. Гаряча прокатка труб..... | 71 |
| 4. СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОФІЛІВ І ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ | 76 |
| 4.1 Холодне волочіння..... | 76 |
| 4.2 Холодна прокатка..... | 86 |
| 4.3 Поєднання холодної прокатки і холодного волочіння..... | 89 |
| 5. ВИРОБНИЦТВО ГНУТИХ ПРОФІЛЕЙ | 90 |
| 5.1 Загальні відомості | 90 |
| 5.2 Технологія виробництва гнутих профілей | 91 |
| 5.3 Сортамент гнутих профілей..... | 105 |
| 6. ВИРОБНИЦТВО ПЕРІОДИЧНИХ ПРОФІЛЕЙ | 110 |
| 6.1 Загальні відомості | 111 |
| 6.2 Отримання періодичних профілей прокаткою | 112 |
| 6.3 Сортамент періодичного прокату..... | 117 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 129 |

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТРУБОПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО.

1.1. Класифікація й призначення труб

Основні види виробництва труб можна характеризувати по:

- 1) способу виробництва;
- 2) матеріалу;
- 3) способу з'єднання;
- 4) призначенню;
- 5) профілю перетину (поперечному й поздовжньому).

За способом виробництва труби розділяються на: безшовні, зварені, паяні, литі й одержувані методом гальванопластики.

Безшовні труби виготовляються: качані в гарячому й холодному стані; волочені в гарячому й холодному стані; пресовані (видавлюванням), штамповані.

Труби зварені виготовляються: пічним зварюванням, встик і внакладку; газовим зварюванням водяним і ацетиленовим газом; електрозварюванням – опором, оплавленням, дуговим, індукційним і газоелектричним зварюванням.

У цей час для виготовлення труб застосовуються різноманітні матеріали, у тому числі такі, як дерево, цемент, пластмаси й інші.

Труби по матеріалу слід розділити на дві основні групи:

- 1) неметалеві, 2) металеві: із чорних металів, з кольорових металів.

Труби із чорних металів бувають чавунні й сталеві, з вуглецевої і легованої сталей.

Сталі, що застосовуються для виготовлення труб, досить різноманітні. За останні роки освоєне виробництво труб з ряду легованих і високолегованих сталей: хромомолібденових, хромонікелевих, марганцовистих, корозійностійких, жароміцних та інших.

З'єднання сталевих труб у конструкціях бувають: зварені, муфтові, ніпельні, разтрубні й фланцеві.

За призначенням труби можна об'єднати в п'ять основних груп:

- 1) продуктопровідні;
- 2) теплопровідні;
- 3) нафтові;
- 4) конструкційні;
- 5) спеціальних призначень (переділу).

Продуктопроводі труби безшовні й зварені різних діаметрів служать для передачі по трубопроводах рідин, густих розчинів, газів.

До них відносяться: водогазонафтопровідні, аміачні, бензинні – і газопровідні й інші.

Теплопровідні труби служать провідниками тепла. Велику питому вагу в цій групі займають труби для парових казанів: кип'ятильні, димогарні, пароперегрівні, жарові, для рекуператорів, хлібопекарські.

Труби для нафтової промисловості – найпоширеніша категорія труб. Вони виготовляються як нафтопровідні, обсадні, бурильні, насосно – компресорні, геологорозвідувальні. Ці труби служать для буравлення й експлуатації нафтових свердловин (виготовляються з нарізкою й з'єднуються між собою в колони за допомогою муфт і замків; кінці бурильних труб перед нарізкою для збільшення міцності висаджуються – товщають). Для нафтопроводів застосовують труби із зовнішнім діаметром до 750 мм.

Товщина стінки деяких труб нафтового сортаменту може досягати 50–60 мм.

Конструкційні труби служать заготовкою для деталей різних машин, приладів, інструментів, внаслідок чого їх сортамент досить великий. До них ставляться труби: авіаційні, автотракторні, велосипедні, шарикопідшипникові й ін.

Труби спеціального призначення (для переділу) – балонні, муфтові й ін.

По профілю перетину розрізняють труби:

а) по поперечному перерізу: круглі, овальні, прямокутні, краплеподібний, багатогранні, зіркоподібні, «В» – образні, гофровані, шпонкові, замкові, тригранні, сегментні, із внутрішніми перегородками й різних інших профілів;

б) по поздовжньому перетину: східчасті, конічні, з висадженими кінцями й ін.

В окремій групі перебувають труби, що мають різні внутрішній і зовнішній профілі (рисунок 1.1), а так само труби бішарові, тришарові, біметалічні, триметалічні.

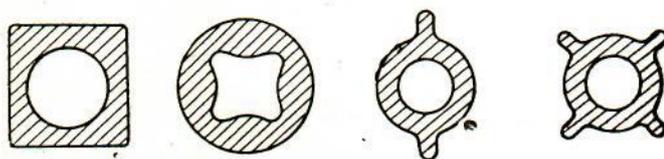


Рисунок 1.1 — Профілі труб, які мають різні перетини

Труби бішарові, тришарові складаються із двох – трьох шарів різного металу. Контактні поверхні окремих шарів таких труб з'єднані між собою тільки механічно.

Труби біметалічні й триметалічні складаються із двох і трьох шарів, міцно зв'язаних між собою зварюванням – сплавкою.

1.2. Загальні відомості про заготовку труб

Залежно від способу виробництва й призначення труб заготовка має різний хімічний склад металу, профіль, розміри, а так само методи підготовки її до прокатки.

При прокатці безшовних труб використовується заготовка лита, катана й у деяких випадках кована; при виробництві зварених труб у накладку й встик – штрипсова й листова заготовка катана. При холодним волочінні труб

заготовкою служать безшовні або електрозварні труби, а при гарячому – безшовні.

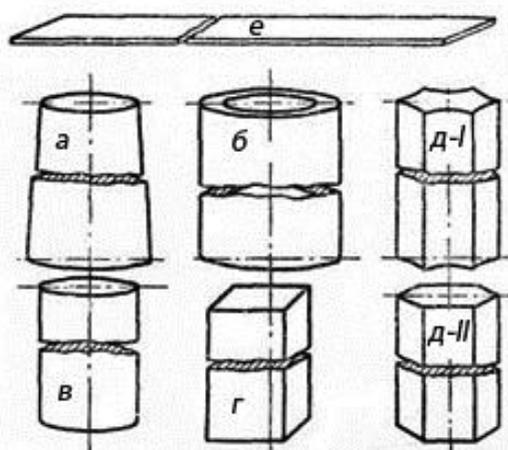


Рисунок 1.2 — Типи заготівель для виробництва труб.

Литі заготовки або злитки мають профіль усіченого конуса або порожнього циліндра (рисунок 1.2 а, б), причому порожні циліндричні злитки виходять звичайним або відцентровим литтям.

Застосовуються так само в дослідному порядку багатогранні злитки (рисунок 1.2 д-I, д-II) і злитки циліндричні суцільного перетину, що відливаються в бішарові виливниці.

Катана заготовка суцільного перетину застосовується кругла або квадратна (рисунок 1.2 в, г).

Ковані заготовки застосовуються звичайно порожні, циліндричного профілю (рисунок 1.2 б) для виготовлення порожніх циліндрів, труб великого діаметра для казанів високого тиску й інших відповідальних призначень.

Суцільні куті заготовки циліндричного профілю (рисунок 1.2 в) вживають так само при прокатці труб відповідального призначення з легуваних сталей. Проковування злитка ущільнює метал, підвищує його міцність і пластичність, робить структуру дрібнозернистою, зменшує можливість виникнення при прокатці таких дефектів, як тріщини, розриви, розшарування.

Для виробництва зварених труб служать катані смуги листового металу, названі штрипсами (рисунок 1.2 е). Штрипси поставляються у вигляді стрічки, згорнутої в рулон, або мірної довжини.

Широкий листовий метал застосовується: при виробництві труб великого діаметру зварюванням на молотах, на розкочуючих зварювальних станах, на електрозварних станах для дугового зварювання труб під шаром флюсу, на станах атомно – водневого зварювання, зварювання оплавленням і інших способах. Широкий листовий метал поставляється як окремими листами, так і згорнутим у рулони.

Злитки застосовуються при виготовленні труб діаметром 500 мм і більше. При виробництві труб кінцевий профіль злитка незручний, тому що

погіршує умови задання злитка у валки прошивного стану й затрудняє перекочування й кантування їх у нагрівальній печі.

Порожня циліндрична заготовка (рисунок 1.2 б) застосовується при виготовленні товстостінних труб великого діаметру (до 2000 мм), і так само діаметром 170–350 мм, якщо вони прокочуються з легованих сталей, що важко прошиваються, тому що одержати таку заготовку зі злитка суцільного перетину на прошивних станах неможливо. Лита порожня заготовка для прокатки труб діаметром до 350 мм виходить шляхом свердління суцільних злитків конічної форми або відцентровим виливком.

Лита порожня заготовка циліндричної форми має властиві злиткам недоліки: крупнокристалічну будову, ліквіацію, газові міхури, місцеву усадочну рихлість при недостатньому прибутку, жужільні включення. У заготовці, відлитій відцентровим способом, цих недоліків значно менше.

Кругла катана заготовка суцільного перетину застосовується при виробництві труб на трубопрокатних установках з безперервними автоматичними станами, пілігримовими (на малих станах) і на інших станах, описаних нижче.

Застосування для пілігримових установок катаної круглої заготовки обмежується підвищеною її вартістю в порівнянні з литою, а так само труднощами виготовлення на прокатних станах круглої заготівлі більш 270–300 мм. На пілігримових установках з литих зливків виходять труби, що задовольняють вимогам нафтової й інших галузей промисловості.

Катана заготовка має наступні переваги в порівнянні з литою:

- 1) точні розміри;
- 2) відсутня усадочна раковина, рихлість і інші недоліки, властиві литому злитку;
- 3) більш рівномірно прогрівається по перетину й довжині;
- 4) більш легко пересувається в нагрівальних печах;
- 5) краще захоплюється валками прошивного стану;
- 6) має більшу щільність і чисту зовнішню поверхню.

Чистота зовнішньої поверхні заготовки визначає в основному якість поверхні труби.

Катана квадратна заготовка (рисунок 1.2 з) застосовується при виробництві труб на установках: прошивний прес – напівавтоматичний стан; прошивний прес – рейковий стан. Найпоширенішим матеріалом для труб є вуглецева сталь із різним змістом вуглецю. Широке поширення одержали так само леговані сталі, з яких виготовляються труби конструкційні, жаротривкі, нержавіючі, кислототривкі й інших відповідальних призначень.

Вуглецеві сталі, широко використовуються для виготовлення труб містять вуглецю до 0,6 – 0,7%.

Хімічний склад металу для труб визначається умовами їх служби й характером самого процесу виготовлення їх.

Так, зварені труби встик і внакладку (грубого зварювання) для забезпечення зварюваності не повинні мати в металі кремнію (Si) більш 0,05%, вуглецю (C) більш 0,13%.

Найменування легованої сталі визначається звичайно тим спеціальним елементом, який вводять у сталь для поліпшення її властивостей. Залежно від цього леговані сталі називають хромистими, марганцовистими, кремністими, нікелевими й іншими.

У випадку добавки декількох спеціальних елементів легована сталь носить подвійну й потрійну назву – хромонікелева, хромомолібденова, хромонікельмолібденова. Леговані сталі іноді називають по тим властивостям, які вони здобувають від додавань спеціальних елементів, як, наприклад: нержавіючі, кислототривкі, жаротривкі.

Основні складові елементи вуглецевої і легованої сталі позначаються умовно буквами: марганець – Г, кремній – С, хром – Х, нікель – Н, молібден – М, вольфрам – В, ванадій – Ф, алюміній – Ю, титан – Т.

При позначенні марки сталі за ДСТ цифри з лівої сторони букв указують середній зміст вуглецю в сотих частках відсотка, а цифри, що розташовані після букв, указують зразковий процентний вміст відповідних елементів, якщо воно вище 1%.

Буква А наприкінці позначення вказує на те, що сталь високоякісна. Якщо виробництво сталі перебуває в стадії освоєння, її нумерують послідовним номером, а ліворуч буквами вказується спосіб виготовлення й що ця сталь досліджується.

Нижче для прикладу розшифровано кілька позначень сталі за ДСТ.

Сталь марки 15М має середній зміст вуглецю 0,15% і молібдену менш 1%.

Сталь 30ХГСА має середній зміст вуглецю 0,30%, хром, марганець, кремній - кожного менш 1%, причому сталь високоякісна.

Марка EI257– електросталь, порядковий номер 257, сталь досліджується.

1.3. Нагрівальні пристрої трубних цехів і їх характеристика

Нагрівальні пристрої трубопрокатних цехів можна характеризувати по наступних ознаках:

По виду горіння: а) печі полум'яні й безполум'яні; б) електричні печі, де нагрівання проводиться електроенергією.

По роду палива, що спалюється: печі, що працюють на твердому, рідкому, газоподібному і пилоподібному паливі й електронагрівальні.

По методу нагрівання: а) печі методичні; б) камерні; в) методичні зі зрівняльними камерами.

По способу утилізації тепла: а) печі рекуператорні, б) регенеративні; в) без підігріву повітря й палива.

По типу станів: печі прошивних, редуційних, каліброваних, трубозварювальних і інших станів.

По розташуванню: печі вертикальні й горизонтальні.

По способу завантаження: печі з періодичним і безперервним завантаженням, у яких метал безупинно рухається по поду за рахунок власної ваги заготовки (рольові печі), за допомогою штовхача або рухливого поду.

За типом нагрівання: нагрівальні для нагрівання заготовок, злитків, труб і штрипсів; підігрівальні; термічні (гартівні, відпалюванні, нормалізаційні) і сушильні.

По розташуванню осередків горіння: печі з лобовими, бічними, сводовими, подовими пальниками або форсунками і їх комбінацією.

Прикладом методичної рольової печі є піч, що зображена на рисунку - 1.3. Це звичайна рольова методична піч для нагрівання круглих заготовок, що працює на нафті. Повітря подається через отвір у зводі печі в камеру 1 для спалювання нафти. Продукти горіння через потоковий або полум'яний поріг 2 попадають у зварювальну камеру 3, де частково догорають горючі складові грубних газів. Тут заготовка нагрівається до встановленої температури й потім подається у вікно видачі 4.

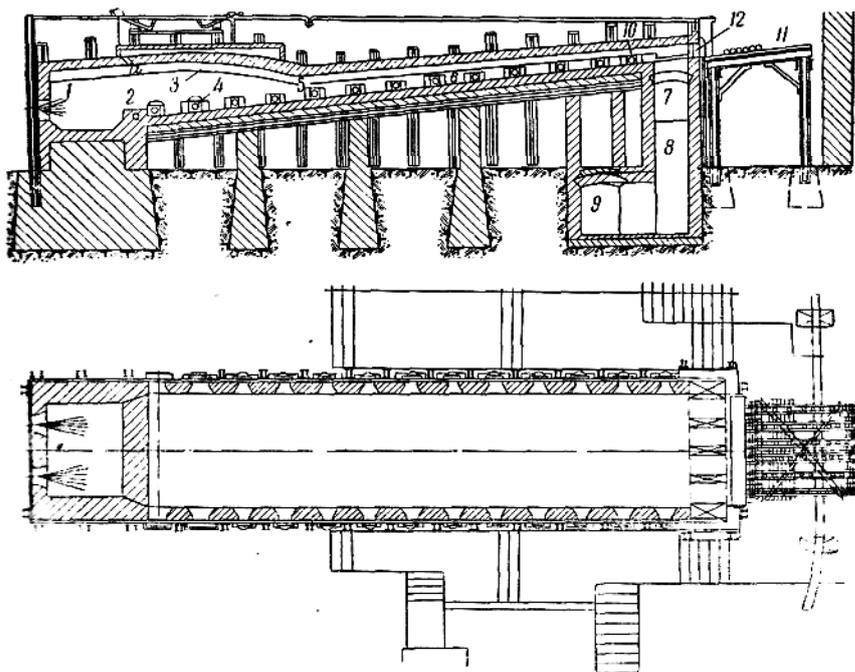


Рисунок 1.3 — Методична піч для нагріву круглих заготівель

Температура газів у цій камері звичайно $1400\text{--}1500^{\circ}\text{C}$, в окремих випадках при підігріві повітря може досягати $1600\text{--}1650^{\circ}\text{C}$ заготовка видається з $T=1100\text{--}1320^{\circ}\text{C}$.

З камери 3, минаючи пережим 5 (звужена частина печі), продукти горіння попадають спочатку в методичну частину печі 6— камеру низьких температур, потім через димові вікна 7— у збірники продуктів горіння 8 і до димаря через кабана 9.

На поду печі від вікна видачі 4 до першого оглядового вікна 10 перебувають в один або два ряди круглі заготовки, що надходять із завантажувального стола 11.

Рух заготовки протилежно напрямку руху продуктів горіння. У димових вікон 7 продукти горіння прохолоджуються до температури 600, а в більш довгих печах до 400– 500° С. Швидкість руху газів у зварювальній камері ~ 1– 5 м/с, а в методичній частині 5– 10 м/с. Менша швидкість у зварювальній камері дозволяє краще передати тепло, головним чином за рахунок випромінювання.

Підвищена швидкість у методичній камері обумовлюється тим, що на цій ділянці тепло злиткам передається переважно конвекцією, що залежить в основному від швидкості руху газу.

Печі мають дві характерні зони нагрівання й називаються двозонними. Методичною вона називається тому, що нагрівання відбувається поступово, методично. Спочатку холодна заготовка попадає в завантажувальні вікна 12 у зону температур 400– 700° С, потім у міру просування заготовки температура газів поступово підвищується й заготовка методично нагрівається.

Леговані сталі, особливо чутливі внаслідок поганої теплопровідності до впливу температури, нагрівається переважно в методичних печах.

У камерній печі немає методичної частини, і холодний метал попадає відразу в зону високої температури.

У таких печах нагріваються заготовки й вироби зі сталі з початку завантаження, що допускає вплив високої температури. Характеристика печей по типу стану пояснюється конструктивною їхньою відмінністю.

У печах каліброваних і редуційних нагріваються труби після прокатки 7–12 м, і тому ширина печі повинна бути не менш 8– 13 м. При такій ширині звід печі може бути тільки підвісний.

Піч для нагрівання злитків висотою 1800 мм, що прошиваються на пілігримових установках, повинна мати при дворядному завантаженні мінімальну ширину 4,5 м. Зводи таких печей можуть бути аркові суцільні або підвісні.

У трубозварювальних печах, що працюють при температурі 1500– 1600° С часто прогоряє звід. Щоб не зупиняти печі, зводи таких печей укладаються окремими секціями із цеглинами, набраними в залізні скоби, які легко й швидко можна перемінити.

Под печі для каліброваних, редуційних і прошивних станів має ухил убік просування й видачі заготовки. Є цілий ряд інших конструктивних ознак, що відрізняють печі залежно від типу станів.

У методичних печах із продуктами горіння йде до 25–35% тепла, а в камерних – до 50%. Це тепло частково можна утилізувати під казанами для нагрівання води, опалення підігрівальних і термічних печей і в самій печі – для підігріву повітря й палива, що подаватимуться в піч.

Підігрів повітря проводиться в регенераторах і рекуператорах.

Принцип роботи металевого трубчастого рекуператора показаний на схемі (рисунок 1.4). У топлення А надходить повітря, що пройшло через отвори V між рядом металевих труб Р, у яких проходять, що вбираються через подові отвори Н грубі газ. Металеві труби рекуператора, розігріваються із зовнішньої сторони, частина тепла віддають минаючому через них повітрю, яке попадає нагрітим у топлення А.

Рекуператори виготовляються з вуглецевої або легованої сталі, чавунні, керамічні й бувають різних конструкцій: трубчасті, пластинчасті, голчасті.

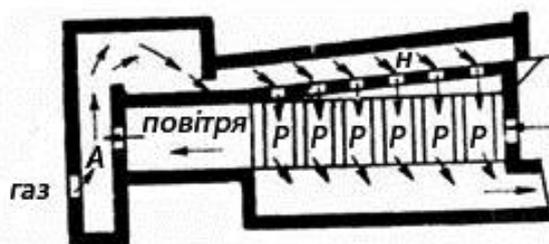


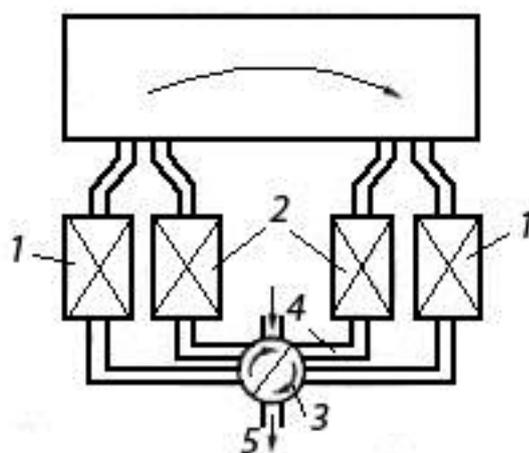
Рисунок 1.4 — Металевий трубчатий рекуператор

Застосування сталевих легованих рекуператорів заощаджує паливо на 20– 30%, а в окремих випадках на 40% при нагріванні повітря від 250 до 750°С.

Рекуператор є пристроєм безперервної дії, тому що продукти горіння й холодне повітря проходять через нього безупинно. Регенератори – пристрої перериваної дії.

На схемі рис.1.5 показано два газові регенератори й два повітряні. За допомогою перемикаючого клапана 3 регенератори 1 і 2 можна з'єднати попарно із джерелом і газом 4, з димарем 5.

Таким чином, регенератори працюють поперемінно й періодично.



1- повітряні генератори; 2- газові регенератори; 3- перемикаючий клапан; 4- канали газу і повітря; 5- димова труба

Рисунок 1.5 — Схема роботи регенеративної печі

Регенератор звичайно робить конструкцію печі громіздкої, тому в нагрівальних печах частіше обмежуються застосуванням рекуператорів. Регенератори встановлюються якщо є потреба досягти високої температури нагрівання при малокалорійнім паливі.

У цей час, як правило, обов'язкове використання тепла продуктів горіння, що відходять, і переважна більшість нагрівальних печей мають рекуператори.

Є так само печі горизонтальні, підняті над рівнем заводської підлоги.

З метою холодного волочіння труб застосовуються вертикальні шахтні термічні печі.

1.4. Печі для нагрівання заготовки

Температура нагрівання заготовки в цих печах залежно від марки сталі 1150–1320° С.

Найбільше застосування в трубній промисловості одержали методичні рольові печі з похилим подом. У таких печах нагрівають катану круглу заготовку й злитки діаметром від 80 до 650 мм і більш.

На рисунку 1.6 показана сучасна методична рольова тризонна піч конструкції Гипромеца. Вона складається із трьох камер: методичної камери (I зона), камери форсованого нагрівання, або зварювальної (II зона) і томильної, або зрівняльної камери (III зона).

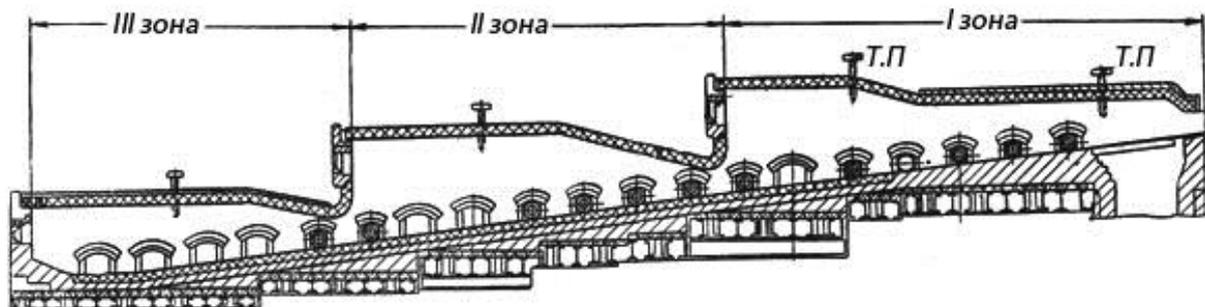


Рисунок 1.6 — Методична рольова трьохзонна піч

Температура продуктів горіння в камері форсованого нагрівання на 20–25° С вище кінцевої температури нагрівання металу, завдяки чому здійснюється швидке його нагрівання.

У томильній або зрівняльній камері температура лише на 40–60° С вище температури заготовки, що забезпечує гарний прогрів металу по перетину до необхідної температури й без перегріву.

Тризонна рольова піч служить для нагрівання круглої катаної заготовки діаметром від 140 до 300 мм. Заготовки довжиною до 2500 мм укладаються у два ряди, а більш довгі – в один ряд.

Печі опалюються мазутом. Для спалювання мазуту на печі встановлено 14 форсунок. Розпилення мазуту здійснюється повітрям. З лобової сторони

печі встановлено 6 форсунок. У першій й другій зонах форсунки розташовуються у зводі по чотири в кожній зоні. Таке розташування форсунок дозволяє вести самостійне регулювання температури в кожній зоні.

Контроль температури в II і III зонах здійснюється по засобах радіаційних пірометрів «Радіоматік» з електронними потенціометрами, що реєструють. В I зоні температура контролюється сводовими термопарами.

Подача металу на завантажувальний майданчик проводиться краном. Великий ухил печі (10,5– 12°) дозволяє перекичування заготовки по поду печі здійснювати вручну.

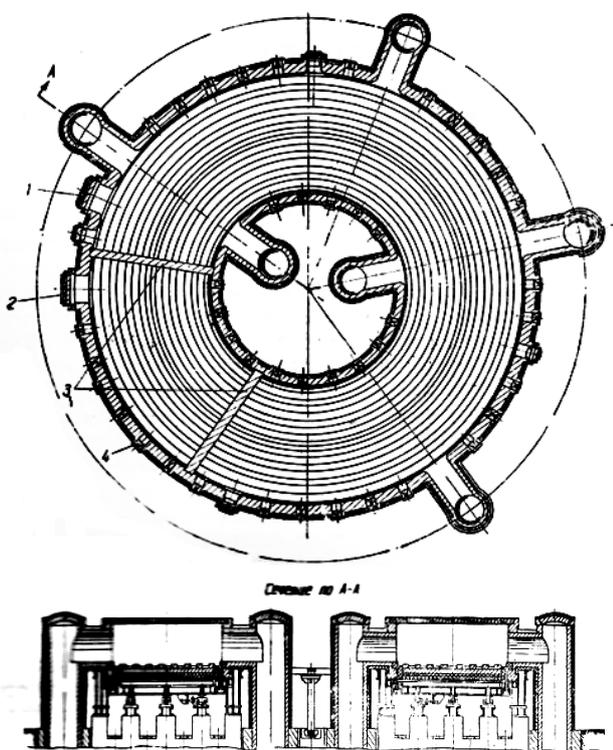
Под печідо 15-го кантувального вікна вистелений хромомагнетитовою цеглою, а так само шамотом. Звід печі підвісний, набраний з фасонної шамотної цегли.

Продуктивність печі до 50 т/год.

У цей час кільцеві печі поступово витісняють методичні рольові.

Вони механізовані, автоматизовані, дають гарне рівномірне й більш швидке нагрівання металу при малому чаді, має більш високу продуктивність, і в них усунута важка праця кантувальника.

Робочий простір печі (рисунок 1.7) має замкнену кільцеподібну форму й складається зі стаціонарної частини (внутрішньої й зовнішньої стінки й зводу) і обертового кільцевого поду. Швидкість обертання поду підбирається так, щоб за час одного оберту нагрівалася одна заготовка.



1 - вікно завантаження; 2 - вікно розвантаження; 3 - розділові стінки; 4 – форсунки

Рисунок — 1.7 Кільцева піч

Заготовка для нагрівання через вікно завантаження 1 укладається на обертовий кільцевий под печі й разом з ним у міру нагрівання просувається в зони усе більш високих температур, аж до вікна вивантаження 2. Таким чином, нагрівання металу здійснюється методично. Відповідно із цим у печі розрізняють так само три зони – методичну, зварювальну й зрівняльну або томильну.

Між подиною й стінками є зазори для можливості вільного обертання поду.

Запобігання засмоктування через зазори повітря в робочий простір печі забезпечується пісковими затворами.

Кільцеві печі опалюються газом і мазутом. Для використання продуктів горіння на печах встановлюється голчастий рекуператор, що служить для підігріву вентиляторного повітря до 160– 200° С. Обертання подини періодичне, здійснюється в міру видачі заготовки.

Кільцеві печі працюють на сухих шлаках. Рідкі шлаки, потрапляючи в пісковий затвор, застигаючи, може викликати аварію печі.

Угар металу при нагріванні в цих печах становить приблизно 1,55 і менш – до 0,5%.

Завантаження й вивантаження металу здійснюються спеціальними завантажувальними й розвантажувальними машинами, робота яких повністю автоматизована.

Кантування заготовок усунуте, тому що нерухлива заготовка, піднята над подом добре обмивається газами й пересувається разом з подом у зони високих температур.

Теплова потужність теплових печей досить висока й дозволяє вести форсоване нагрівання заготовки.

На рисунку 1.7 показана кільцева піч конструкції Гипромеца для нагрівання круглих заготовок з вуглецевих і легованих марок сталі діаметром від 70 до 140 мм і довжиною 750– 4200 мм.

Усередині печі встановлено дві розділові стінки 3 з водоохолоджувачими опорними балками. Одна з них, що перебуває між вікнами завантаження й вивантаження, перешкоджає передачі тепла випромінюванням від нагрітого холодному металу.

Інша стінка відокремлює вікно вивантаження від робочого простору печі й зменшує підсмоктування повітря.

Піч обладнано 26 форсунками 4 низького тиску для спалювання мазуту. На печі встановлений голчастий рекуператор.

Тривалість одного оберту подини при безперервному обертанні – 33 хвилини.

Продуктивність печі при зазначеному сортаменті заготовок доходить до 40 т/год.

Кільцеві печі в трубній промисловості доцільно застосовувати так само для нагрівання великих заготовок і злитків.

1.5. Печі для нагрівання труб

Ці печі служать для нагрівання труб до температури 900– 1100° С перед прокаткою в редуційних і каліброваних станах. До цього ж типу ставляться печі, призначені для підігріву гільз перед прокаткою труб. Температура нагрівання гільз 1200– 1250° С.

Печі для нагрівання труб працюють як з холодного, так і з гарячого посаду.

По температурно – тепловому режимі ці печі бувають двох видів: методичні й багатокамерні – секційні, безперервного швидкісного нагрівання.

У методичних печах для нагрівання труб температура робочого простору печі перевищує температуру нагрівання металу на 50– 100° С. Печі для нагрівання труб перед редуційним станом мають ширину робочого простору залежно від довжини труб, що нагріваються, 10– 15 м. Довжина, обумовлена заданою продуктивністю, становить 2,5– 6 м, висота 1,5– 2 м.

Труби завантажуються в піч через торцеві вікна, розташовані проти каналів, що відводять продукти горіння.

Завантаження й вивантаження труб здійснюється за допомогою ряду приводних роликів, розташованих у робочому просторі печі проти вікон завантаження й видачі. У деяких печах труби завантажуються з майданчика по ширині печі. Видача труб з печі здійснюється виштовхувачем.

Печі опалюються рідким або газоподібним паливом.

Форсунки або пальники розташовуються з однієї сторони по ширині робочого простору. Просування труб по довжині печі від вікна завантаження до вікна видачі проводиться кантуванням вручну.

Питома тривалість нагрівання в печах при холодному посаді становить 2– 3 хв на 1 мм товщини стінки труби.

До недоліків печей відносяться: значне окаліноутворення, пов'язане з відносно тривалим перебуванням у печі й великою поверхнею нагрівання; труднощі рівномірного нагрівання, особливо по довжині труби; обмежені можливості форсування нагрівання, більші габарити й труднощі обслуговування – застосування ручної праці кантувальників.

На рисунку 1.8 показана двокамерна піч безперервного швидкісного нагрівання конструкції ВНІТІ.

Швидкісне нагрівання здійснюється шляхом інтенсивного підведення тепла до металу, що нагрівається, за рахунок підтримки в печі максимально можливої температури. Так, при нагріванні труб 70×3,5 до температури 900° С температура печі підтримується 1450° С.

Висока температура печі досягається в результаті швидкого й повного спалювання великої кількості газу в мінімальному обсязі печі.

Температура нагрівання металу регулюється часом перебування труби в печі шляхом зміни швидкості просування труби через піч.

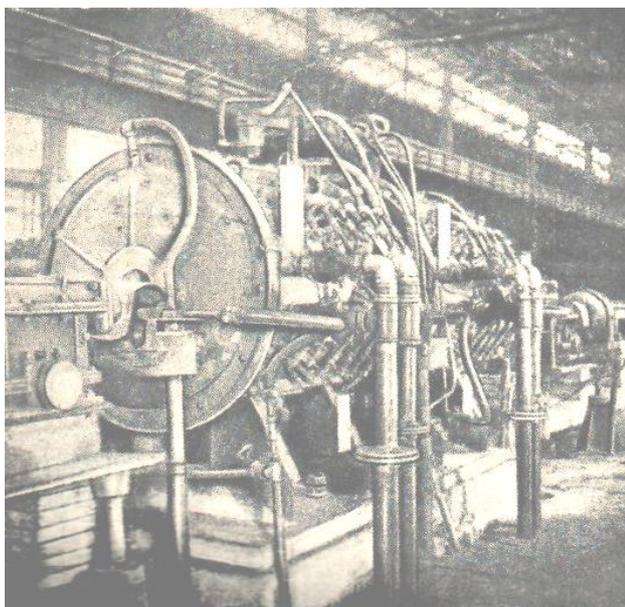


Рисунок 1.8 — Піч безперервного швидкісного нагріву

Піч призначена для нагрівання труб діаметром від 51 до 133 мм. Габаритні розміри кожної камери: довжина 1180 мм, ширина 1260 мм, висота від рівня поду 1800 мм.

Грубна камера оснащена 20 випромінюючими короткополум'яними пальниками, розташованими в п'ять рядів по довжині печі.

Пальник (рисунок 1.9) складається з корпусу 1, сопла 2, центральної трубки 3. Кожне сопло з жаротривкої сталі або керамічне складається з корпусу, ґрати й капелюшка.

Коксовий газ і повітря в спеціальному інжекційному змішувачі утворює гарячу суміш, яка надходить до пальників. Горюча суміш проходить через кругову щілину, товщиною 1,5–2 мм утворену капелюшком і корпусом сопла.

Завантаження, просування й видача труб проводиться по засобах рольгангів, установлених спереду й за піччю, і приводним роликком, розташованим між камерами.

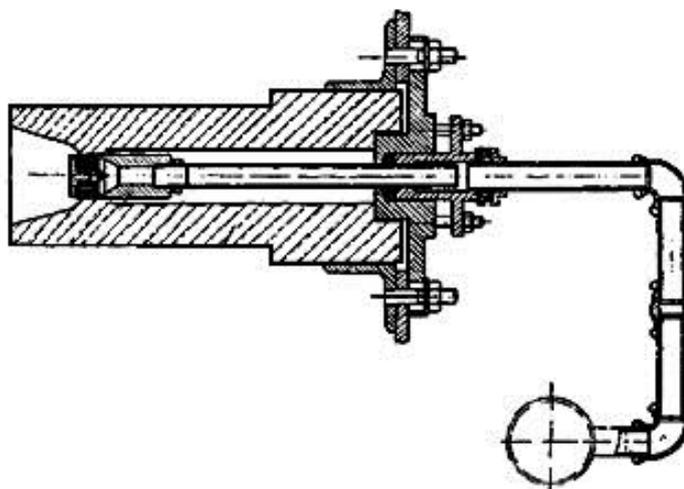


Рисунок 1.9 — Пальник печі швидкісного нагріву

Описана піч застосовується для відпалу електрозварних труб. При збільшенні числа камер вона застосовується для підігріву труб перед редукуванням, калібруванням і в інших випадках. Відомо, наприклад, застосування такої печі для нагрівання перед прошиванням круглої заготовки діаметром 90–100 мм і довжиною до 18 м. Піч складається з 27 камер.

В 19 камерах заготовка нагрівається до необхідної температури, а в інших 8 камерах витримується для одержання рівномірного нагрівання.

Застосування печей швидкісного нагрівання в трубних цехах спрощує планування цехів і створює потоковість процесу. Відходи металу на окалину незначні, зменшується безвуглецювання поверхневих шарів металу, що досить важливо при прокатці труб з металу з високим змістом вуглецю.

Прискорене нагрівання поліпшує якість поверхні труб і сприятливо позначається на пластичних властивостях металу.

Такі печі застосовуються не тільки для нагрівання труб перед калібруванням або редукуванням, але й з метою термообробки, нагрівання штрипсів для зварювання труб і нагрівання заготовки.

1.6. Печі для нагрівання штрипсів

Зварювальні печі призначають для нагрівання до зварювальної температури 1300–1350° С прямокутних смуг – штрипсів з м'якого заліза зі змістом вуглецю звичайно не більш 0,15%, які є заготовкою для зварених труб.

Зварювальні печі бувають періодичної й безперервної дії.

Печі періодичної дії застосовуються для старих трубозварювальних установок з нерухливими ланцюговими станами. Вони опалюються вугіллями і рідше – мазутом.

На рисунку 1.10 показана опалювальна вугіллям піч, що обслуговує два ланцюги волочильного стану. Кожна половина печі завантажується з торця незалежно одна від іншої. Топлення влаштоване із двох сторін печі.

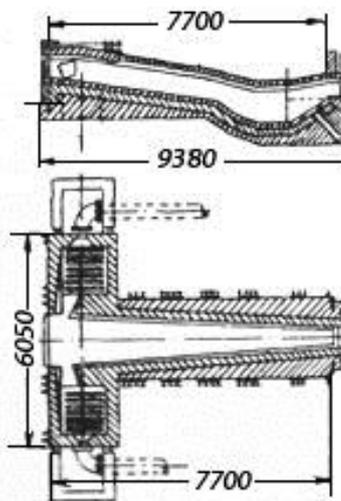


Рисунок 1.10 — Зварювальна піч з вугільною топкою

Гарячі гази з топок направляються до переднього торця печі й рухаються уздовж робочого простору, нагріваючи лежачі на поду штрипси.

Однаковому нагріванню штрипсів по довжині сприяє профіль перетину робочого простору печі, який звужується по напрямкові руху газів.

Такий профіль збільшує швидкість руху газів і підсилює тепловіддачу.

Для зручності завантаження тонких і довгих смуг, а так само для полегшення видалення шлаків Под печіробиться похилим униз від початку до кінця. Под печівикладають шамотом, магнезитом, тальком або хромистим залізняком.

Недоліком таких печей є низьке їхнє використання тепла продуктів горіння для нагрівання. Витрата палива досягає 35% і більш від загальної ваги, що нагрівається металу.

Більш досконалі газові регенеративні печі, опалювальні регенераторним газом (рисунок 1.11), застосовуються в установках для одержання стикових зварених труб з рухливими ланцюговими станами.

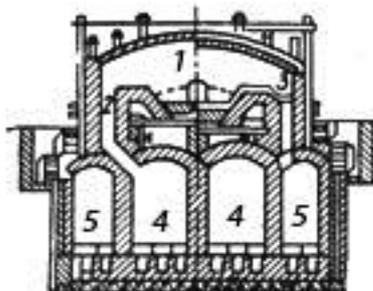


Рисунок 1.11— Регенеративна зварювальна піч для стикової зварки труб

Холодний газ і повітря перед згорянням проходять через регенератори 4–5, попередньо нагрітих продуктами горіння, що відходять. Газ і повітря, нагріті в регенераторах до 800°C попадають у робочий простір печі 1 через велику кількість каналів 2, розташованих рівномірно по довжині печі. Наслідок цього в робочому просторі печі розвивається висока температура, що забезпечує високе й швидке нагрівання штрипсів гарячі гази приділяються із протилежної сторони печі по каналу 3 і, проходячи через два інших генератора, віддають їм тепло й ідуть у димар. Перекиданням клапанів змінюють напрямок руху газів і повітря так, що через остиглі регенератори направляються гарячі продукти горіння, а через регенератори, які нагрілися продуктами, що відходять, горіння, – газ і повітря для підігріву.

Витрата палива в таких печах становить близько 10% від ваги, що нагрівається металу .

Подача штрипса в піч відбувається із заднього торця печі спеціальним транспортуючим пристроєм; видача – із протилежного кінця печі.

Зварювальна піч для безперервного нагрівання штрипсів є основним агрегатом трубозварювальної установки для безперервного зварювання труб встик.

Сучасні печі безперервного нагрівання штрипсів довжиною близько 45 м мають камеру попереднього нагрівання й властиво нагрівальну камеру. Камера нагрівального нагрівання (довжиною близько 9м) обігривається продуктами, що відходять, горіння.

Нагрівальна камера, що має три зони, опалюється по засобах газових або нафтових пальників. Паливом служать натуральний або коксовий газ, суміш коксового й доменного газу, мазут і мазут з коксовим або натуральним газом.

Усі пальники розташовуються по обидва боки нагрівальної камери на відстані приблизно 230 мм друг від друга й утворюють при роботі дві суцільні стрічки полум'я, спрямовані на крайки штрипса, що рухається.

При роботі на мазуті розпилення проводиться перегрітою парою в спеціальних змішувальних установках.

Для зручності обслуговування й регулювання пальники об'єднані в 26 груп. Чотири групи, установлені по кінцях печі, мають по 8 пальників, усі інші – по 11. Кожна група пальників має загальний повітряний колектор. Корпус пальників чавунний. Усередині нього укріплена трубка $\frac{3}{4}$ " , по якій подається газ. У кільцевий проміжок між корпусом пальника й трубкою надходить підігрітий у рекуператорах повітря, необхідний для горіння. Кожний пальник має повітряну засувку й вентиль для регулювання газу, що забезпечує індивідуальне регулювання пальників.

Для газо – мазутного опалення застосовується пальник, конструкція якої показана на рисунку 1.12. Газ і повітря змішуються в камері пальника й у сопла пальника згоряють разом з мазутом, який підводить по окремій трубці.

Нагрівальні печі звичайно забезпечуються голчастими металевими рекуператорами, що забезпечують підігрів повітря до температури 450– 550° С.

У випадку припинення подачі електроенергії або падіння тиску газу провідної до печі магістралі газ автоматично вимикається.

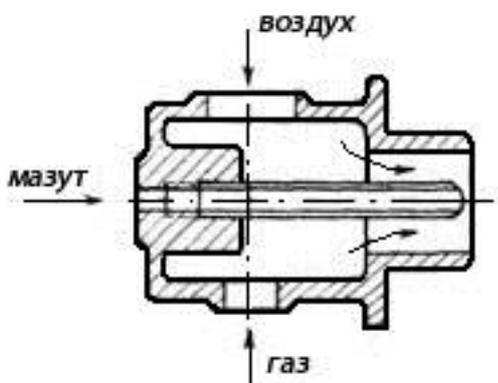


Рисунок 1.12 — Газо- муфельний пальник

Звід печі складається з окремих знімних чавунних секцій, футерованих вогнетривкою цеглою.

Перед завантажувальним вікном яке при роботі мабуть, по можливості, закритим, установлений ролик, що направляє штрипс у піч. Через нагрівальну камеру печі штрипс проходить по охолоджуваним водою глісажним трубкам. Зверху в глісажних труб наварений круглий стрижень із жаротривкої сталі для запобігання труб від стирання. Проти кожної із цих труб передбачені отвори, які дозволяють якщо буде потреба замінити трубу без зупинки печі. Під час роботи печі ці отвори закриваються заслінками із хромистого чавуну.

У камері попереднього нагрівання для підтримки штрипса встановлені карборундові труби.

Для виміру газу й повітря в кожній зоні встановлене по одному двоконтактний манометру, що вказує, а для виміру тиску усередині печі – п'ятиконтактний манометр, який вимірює тиск у димовій труби, у камері попереднього нагрівання й у рекуператора кожної зони.

Регулювання кількості газу проводиться по зонах з пульта керування, а повітря – автоматично.

У камері попереднього нагрівання штрипс нагрівається до 500°C , а після проходження всієї печі – до $1280\text{--}1320^{\circ}\text{C}$.

Середина штрипса має температуру на $40\text{--}80^{\circ}\text{C}$ нижче крайок; така нерівномірність нагрівання робиться з метою зберегти механічну міцність штрипса для запобігання розриву його від зусиль при протягуванні через піч.

Підвищення температури крайок штрипса на $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$ відбувається за рахунок тепла, що виділяється внаслідок окиснення металу при обдуванні стисненим повітрям у виходу печі. Додаткове обдування в стану доводить температуру крайок штрипса до оплавлення. При обдуванні крайки очищаються від окалини й шлаків.

1.7. Печі для термічної обробки труб

Основна вимога, пропоноване до нагрівання металу при термічної обробки – рівномірність нагрівання по перетину й довжині з мінімальним окисненням.

Температура нагрівання труб при термообробці коливається в межах $650\text{--}950^{\circ}\text{C}$, і тільки в деяких випадках труби зі сталей аустенітного класу нагріваються по загартування до температури 1100°C .

Різні види й режими термообробки привели до великої різноманітності конструкцій термічних печей.

У трубній промисловості найбільше поширення одержали термічні камерні горизонтальні печі з нерухливим подом і періодичним завантаженням і вивантаженням для відпалу й остаточної термообробки холоднокатаних і холодноотягнених труб, а так само гарячекатаних і електрозварних.

Вони складаються з однієї або двох самостійних робочих камер.

Печі опалюються мазутом або газом. Спалювання палива проводиться в спеціально влаштованих топках печі або пальниками, які вводяться в робочий простір печі.

Звичайні розміри печі: довга 9– 12 м, ширина 2– 2,5 м і висота 1,2– 1,5 м. У таких печах коша труб діаметром 35– 50 мм із товщиною стінки 2,5– 4 мм нагрівається до температури 800° С протягом 40– 60 хв. Продуктивність печі при цьому становить до 200 труб у годину.

Термічна обробка труб у камерних печах з нерухливим подом здебільшого проводиться відкритим способом – пакетами – кошами.

Тонкостінні труби малого діаметра з метою запобігання поверхні їх від окиснення зазнають остаточному відпалу в балонах (муфелях). Відпал у балонах, запобігаючи покриття труб окалиною, у теж час не охороняє їх від легкого окиснення.

На рисунку 1.13 зображений у плані розріз термічної зведеної камерної печі, застосовуваної в цехах холодного волочіння для попередньої, проміжної й остаточної термообробки труб. По конструкції ця піч являє собою дві окремі самостійні печі 1, розділені лише перегородкою.

Завантаження труб у кожен піч відбувається через її торець. Напрямок руху грубних газів з полум'яних вікон 2 перпендикулярно осі печі. Продукти горіння йдуть із печі в димові вікна 3. Труби подаються в піч за допомогою двох візків 4, на яких перебуває платформа, завантажена трубами.

Істотним недоліком камерних печей є нерівномірність нагрівання в поперечному перерізі робочого простору внаслідок розташування пристроїв для спалювання палива тільки з одного боку, а димових каналів – із протилежної.

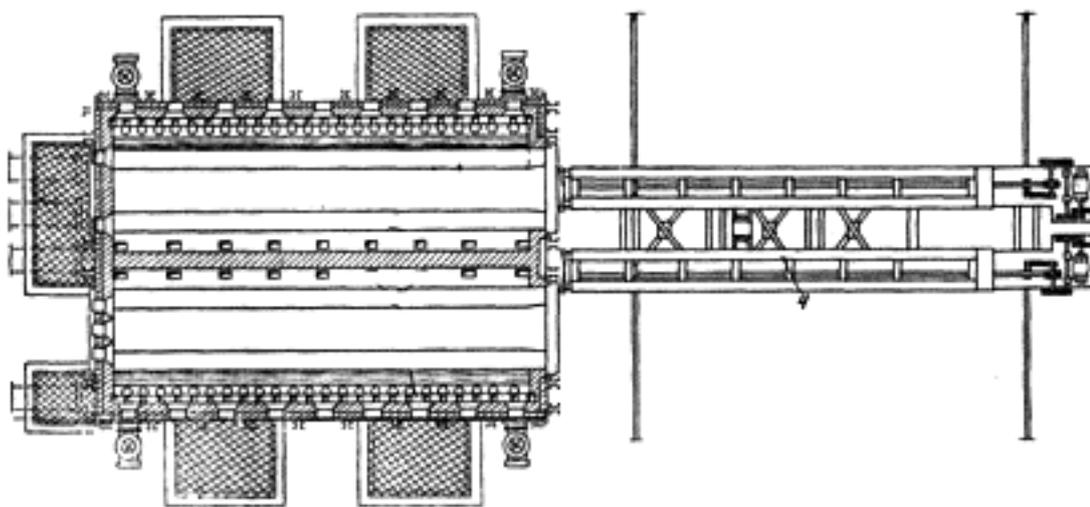


Рисунок 1.14 — Зведена термічна піч

У нових рециркуляційних печах конструкції Гипромеца з метою створенні великої рівномірності нагрівання під подом печі влаштовані спеціальні камери згоряння. Спалювання палива в підподових топках сприяє

підігріву металу знизу через под і виключає можливість контакту палаючого факела з металом, що усуває небезпеку перегріву.

Печі швидкісного нагрівання, описані раніше, служать так само для термічної обробки труб з вуглецевих і легованих сталей. Зокрема, вони знайшли застосування для відпалу електрозварних труб і для нагрівання під загартування труб з нержавіючої сталі. Для загартування труб з нержавіючої сталі печі мають кільцеве бризкало, через яке проходить нагріта труба при виході з останньої камери.

Печі безперервного швидкісного нагрівання застосовуються для термообробки труб діаметром від 9,5 до 29 мм із товщиною стінки від 0,5 до 25 мм.

Для світлого відпалу й нормалізації холоднотягнутих труб і відпалу електрозварних труб застосовуються печі безперервної дії з роликівим подом. Робочий простір печі заповнюється захисним газом, що охороняють труби від окиснення. Печі мають зону нагрівання й зону охолодження.

Шахтні або вертикальні термічні печі застосовуються для нагрівання труб під загартування. Нагрівання труб здійснюється у вертикальним положенні, що охороняє труби від жолоблення. Гартівний бак встановлюється безпосередньо під піччю або поруч. Печі опалюються нафтою або електричними нагрівачами.

Труби з нержавіючої сталі часто нагрівають під загартування електричним струмом, який пропускається безпосередньо по трубі. Кінці холоднокатаних труб з нержавіючої сталі затискуються в контактах, і через труби пропускається електричний струм.

Внаслідок великого омичного опору труба розігрівається до температури (звичайно 850– 1100° С). Нагріта труба звільняється від контактів і падає в гартівний бак з водою. Час нагрівання труби вимірюється секундами.

Крім зазначених, у трубній промисловості застосовуються так само термічні печі інших конструкцій.

Контрольні питання:

1. *За якими характеристиками класифікують виробництво труб?*
2. *Види заготівель при виробництві труб.*
3. *Переваги катаних заготівель.*
4. *Вибір марки сталі для заготівель.*
5. *Класифікація нагрівальних пристроїв.*
6. *Принцип роботи методичної ролевої печі.*
7. *Призначення рекуператорів та регенераторів.*
8. *Принцип дії кільцевої печі.*
9. *Печі для нагрівання труб.*
10. *Печі для нагрівання листових заготівель при виробництві зварних труб.*
11. *Печі для термічної обробки труб.*

2. ВИРОБНИЦТВО БЕЗШОВНИХ ТРУБ

2.1. Підготовка металу до прокатки . Вихідний метал для безшовних труб

Залежно від способу виробництва і призначення труб в якості вихідного металу для їх виготовлення застосовують литі зливки, катані або ковані суцільні заготовки або заготовки, що мають висвердлені канали, а також гільзи, відлиті відцентровим способом.

Хімічний склад сталей, найбільш поширених при виробництві труб, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Хімічний склад сталей.

| Сталь | C | Ma | Si | P,S кожного не більше | Cr | Mo | Ni | Ti |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------|--------------|-----------|-------|--------|
| Ст.5 | 0,28- 0,37 | 0,50- 0,80 | 0,17- 0,35 | 0,055 | - | - | - | - |
| Д | Не нормується | | | 0,045 | - | - | - | - |
| 10 | 0,7- 0,15 | 0,35- 0,65 | 0,17- 0,37 | 0,045 | <0,15 | - | <0,30 | - |
| 20 | 0,17- 0,25 | 0,35- 0,65 | 0,17- 0,37 | 0,045 | <0,30 | - | <0,30 | - |
| 45 | 0,42- 0,50 | 0,50- 0,80 | 0,17- 0,37 | 0,045 | <0,30 | - | <0,30 | - |
| 20Г | 0,17- 0,25 | 0,70- 1,0 | 0,17- 0,37 | 0,045 | <0,30 | - | <0,30 | - |
| 15Х | 0,12- 0,20 | 0,30- 0,60 | 0,17- 0,37 | 0,040 | 0,7-1,0 | - | <0,40 | - |
| 30ХГСА | 0,28- 0,35 | 0,80- 1,10 | 0,9-120 | S<0,03; P<0,035 | 0,8-1,1 | - | <0,40 | - |
| 12Х5МА | <0,15 | <0,50 | <0,50 | 0,030 | 4,0-6,0 | 0,45-0,65 | <0,50 | - |
| 16М | 0,12- 0,20 | 0,40- 0,70 | 0,17- 0,37 | 0,040 | <0,30 | 0,40-0,55 | <0,30 | - |
| 15ХМ | <0,16 | 0,40- 0,70 | 0,17- 0,37 | 0,040 | 0,8- 1,10 | 0,40-0,55 | <0,30 | - |
| Х18Н10Т | <0,12 | <1,50 | <1,00 | S<0,030; P<0,035 | 17-20 | - | 9-11 | 0,8 |
| ШХ15 | 0,95- 1,1 | 0,20- 0,40 | 0,15- 0,35 | S<0,02; P<0,027 | 1,30- 165 | - | <0,30 | - |
| Х17Н13М2Т | <0,10 | <1,5 | <0,9 | S<0,03; P<0,035 | 16-19 | 1,75-3,0 | 11-14 | 0,7 |
| Х25Т | <0,15 | <0,8 | <1,0 | S<0,03; P<0,035 | 23-27 | - | <0,6 | до 0,8 |

При холодній прокатці або волочінні заготівлею зазвичай служать гарячекатані труби. Литі зливки у формі усіченого конуса або піраміди відповідно круглого і багатогранного перерізів застосовують при виробництві труб діаметром від 150 мм і вище на установках з пілігримовим станом. Катані або ковані заготовки використовують на установках з автоматичним, безперервним і тривалкових станами, а також для виготовлення труб способом пресування і на установках з малими пілігримовими станами. Крім того, такі ж заготовки застосовують на середніх і великих пілігримових установках при виробництві труб спеціального призначення. Катані заготовки квадратного або багатогранного перетину йдуть для виробництва труб на установках з рейковими станами, з малими пілігримовими станами та на пресах.

Ковані заготовки, що мають висвердлений канал, і гільзи, відлиті відцентровим способом, звичайно використовують для отримання труб з важкодеформуючих сплавів і високолегованих сталей. Через труднощі виготовлення на сортопрокатних станах круглої заготовки діаметром понад 270-300 мм для отримання труб великих діаметрів на установках з пілігримовими станами доводиться використовувати литі злитки, котрі мають такі недоліки: крупнокристалічна будова, усадочна раковина або рихлість, шлакові включення, газові бульбашки, нерівномірний розподіл хімічних елементів по перетину (ліквація), дендритну структуру. Міцнісні і пластичні властивості злиwkів нижче, ніж у катаного металу.

Лита порожниста заготовка циліндричної форми, відлита відцентровим способом, має більш високі властивості в порівнянні зі звичайними злитками. Таку заготівлю після відливання можна піддавати обточуванню по зовнішній і внутрішній поверхнях. Аналогічну обробку проходять катані або ковані заготовки з високолегованих сталей і сплавів.

Дефекти на зливках і заготовках

Стан вихідного металу є одним з основних чинників, від яких залежить якість труб. Заготовка всіх видів повинна задовольняти необхідним вимогам за станом поверхні, геометричних розмірів, а також макро- і мікроструктури. Стан поверхні заготовки визначає якість зовнішньої поверхні труб, тому що дефекти заготовки значно збільшуються і змінюють свою форму при прокатці. Тому поверхневі вади на заготовках і злитках, видимі неозброєним оком, видаляють. Дефекти у вигляді полон, тріщин, заходів, волосовин, раковин, заливин та ін. видаляють вирубуванням пневматичними зубилами, шліфуванням наждаковим каменем, вогневою зачисткою і обдиранням на верстатах. Вирубку виробляють на глибину не більше 5% від діаметра заготовки; відношення глибини вирубки до ширини повинне бути не більше 1/6. Ділянка вирубки повинна бути пологою, з плоским дном і без різких переходів від дна усуваємо дефекти до поверхні заготовки або злитка. Метал з дефектами, що розташовуються на глибині, більшій, ніж це передбачено

діючими стандартами або технічними умовами, до подальшого переділу не допускається.

Найбільш широке застосування знаходить вогнева зачистка дефектів, здійснювана пальниками або спеціальними машинами. Цей спосіб є найбільш продуктивним. Шліфування наждаковим каменем використовується для зачистки високолегованих сталей, що не піддаються обробці зубилом. У цьому випадку метал перед шліфуванням піддають травленню.

Поверхня злитків і заготовок з високолегованих сталей, призначених для виготовлення труб відповідального призначення, обдирають на верстатах. Іноді перевіряють метал додатково шляхом осадки під пресом зразків в нагрітому стані на одну третину їх висоти. При виявленні тріщин на осадженому зразку заготівлю бракують.

У трубоволоочильний цех заготовки надходять зв'язаними в пакети, які складають з труб однієї марки сталі і однієї плавки.

При виявленні дефектів на зовнішній та внутрішній поверхні труб-заготовок їх бракують або піддають ремонту. Перевірку марки сталі виконують дослідженням на іскру, а також на спеціальному приладі для визначення хімічного складу сталі - стилоскопах.

При виробництві труб відповідального призначення перед холодною прокаткою поверхню заготовки піддають шліфуванню та поліруванню.

Обладнання для підготовки вихідного металу

Розкрій заготовки на необхідні довжини виробляють різними способами. Основними з них є: розрізання прес-ножицями, ломка на гідравлічному пресі, розрізання пилами в гарячому і холодному стані (рисунок 2.1). Прес-ножиці застосовують при розрізанні заготовки з вуглецевих і легованих сталей діаметром не більше 140 мм і з межею міцності до 600 МН/м^2 (60 кг/мм^2). Для цього використовують змінні ножі з профільованої ріжучої частиною. Ножі повинні щільно прилягати одне до одного, так як зазори між ними приводять до отримання на заготовках нерівних торців, зминання залишку і появи задирок.

Заготовки великих діаметрів, а також із сталей з межею міцності вище 600 МН/м^2 (60 кг/мм^2) зазвичай ламають (у площині надрізу) на гідравлічних пресах. Ломка на пресі забезпечує кращу якість торця заготовки (за винятком заготовок діаметром менше 120 мм з низьковуглецевих сталей). Іноді для ломки заготовок зі сталей з високою межею міцності (ШХ15, 30ХГСА та ін.) використовують ножі у вигляді призм.

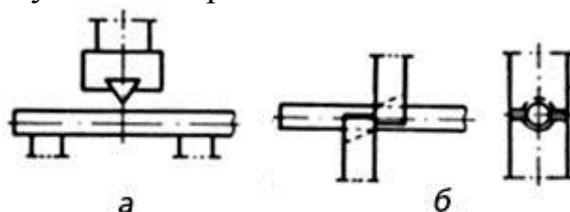


Рисунок 2.1 — Схема ломки на пресі (а) і різки заготовки ножицями (б).

Максимальне зусилля механічних прес-ножиць для різання заготовок діаметром 80-230 мм і довжиною 700-800 мм - 6-10 МН (600-1000 Т). Максимальне зусилля горизонтальних гідравлічних пресів для ломки заготовок 6 МН (600 Т).

Зазвичай для розрізання квадратних заготовок в гарячому стані і заготовок з високовуглецевої і легваної сталі в холодному стані застосовують пилки.

У зв'язку з поплавковим контролем якості труб заготівлі і злитки зберігають поплавково. Торці їх фарбують фарбою різного кольору згідно з маркою сталі. Немірні залишки штанг, що виходять при розкроюванні, сортують по діаметру і довжині і також зафарбовують фарбою.

На поставлених споживачеві заготовках або штангах з високолегованих сталей замість забарвлення вибивають клеймо, відповідне позначення марки сталі, наприклад Х18Н10Т, 10Х18Н12Т, а також номер плавки.

Для зменшення різностінності переднього кінця гільзи і поліпшення умов захоплення її валками прошивного стану роблять центровку заготовки шляхом висвердлювання в холодному і гарячому стані і вдавлювання бойка в торець заготовки в гарячому стані. Центрування висвердлюванням в холодному стані використовується тільки для заготовок з високолегованих сталей.

2.2. Прокатка труб на безперервному стані.

Безперервна прокатка труби на безперервному багатоклітьовому стані, схема якої показана на рисунку 2.2, отримала в останні роки широке поширення і є найбільш перспективним способом виробництва труб з високою продуктивністю. Прокатка здійснюється на довгій циліндричній оправці, що дозволяє отримувати l_2 труби великої довжини (у два з гаком рази більшою, ніж, наприклад, при прокатці на автомат-стані, де довжина труби обмежується малою величиною деформації).

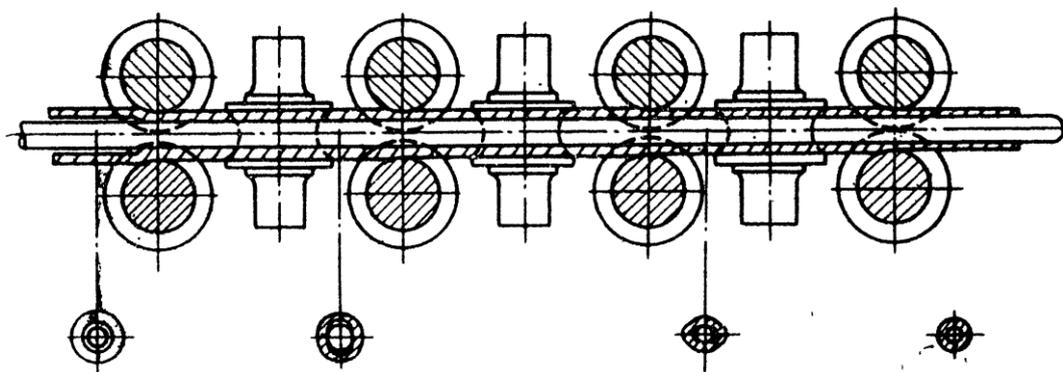


Рисунок 2.2 — Схема безперервної прокатки труби

Деформація металу в кожній клітці дуо, якщо розглядати цей процес незалежно від сусідніх клітей, багато в чому аналогічна прокатці на автомат-стані. Осередок деформації в клітках безперервного стану також можна

умовно розділити на дві зони - зону редукування і зону обтиснення стінки (рисунок 2.3). Протяжність l_2 зони обтиску стінки визначається для i -тої кліті за наступною формулою:

$$l_2 = \sqrt{(S_{i-1} - S_i)(2R_{\min} + S_{i-1} + S_i)}, \text{ мм} \quad (2.1)$$

де S_{i-1}, S_i - товщини стінки труби до і після прокатки в i -тій кліті, мм.

Протяжність всього l_0 осередку деформації, в першій кліті безперервного стану і на автомат-стані при різних товщинах стінки до і після прокатки мало різниться. Тим часом довжина l_2 зони обтиску на безперервному стані помітно більше. Це визначає, що осередок деформації в першій кліті безперервного стану характеризується відносно меншою протяжністю l_1 зони редукування в порівнянні з автомат-станом. Щоб не погіршувати умов втягування металу в кільцевий зазор, утворений струмками валків першої кліті і оправленням, які визначаються виникненням в зоні редукування силами тертя, обтиснення стінки в першій кліті безперервного стану обмежуються меншими величинами, ніж на автомат-стані, так що коефіцієнт витяжки зазвичай не перевищує 1,30-1,35. У наступних клітях безперервного стану по всій довжині осередку деформації відбувається обтиснення стінки.

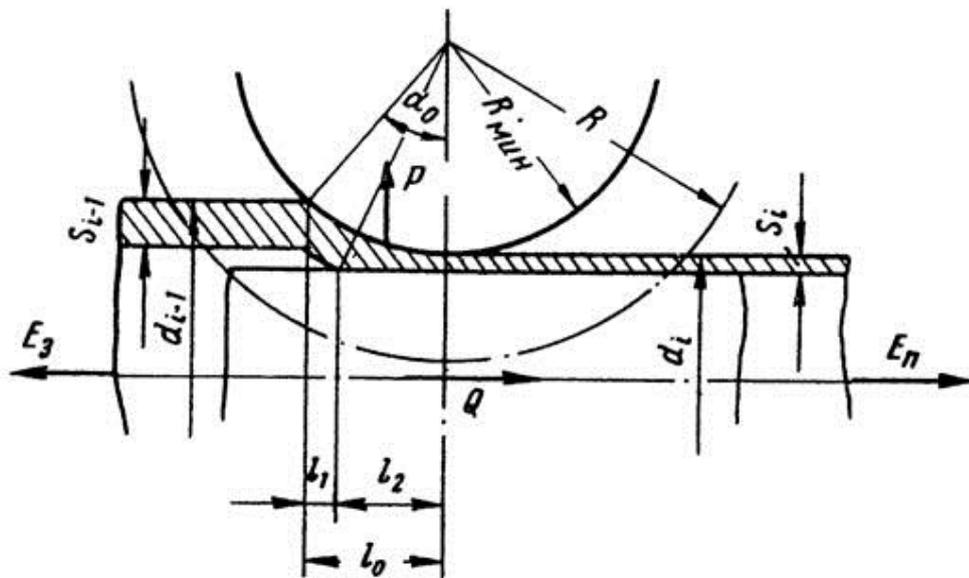


Рисунок 2.3 — Осередок деформації в кліті безперервного стану

Безперервність процесу прокатки і одночасне перебування оброблюваного металу в декількох клітях ускладнює процес деформації, тим більше що сусідні кліті можуть якісно і кількісно по-різному впливати на прокатку в розглянутій кліті в залежності від того, чи протікає процес з натягом або підпором і яка величина натягу або підпору. Натяг або підпір при безперервній прокатці виникає тоді, коли дві сусідні кліті в одиницю часу можуть пропустити за розрахунком різний обсяг металу. Якщо послідуєча кліть може пропустити в одиницю часу більший обсяг металу, ніж попередня, то, будучи пов'язаними між собою трубою яка деформується, ці кліті взаємодіють одна за одною: у попередній кліті прокатка ведеться з

переднім натягом, а в наступній - з заднім .У випадку, коли попередня кліть може пропустити в одиницю часу більший обсяг металу, ніж наступна, прокатка ведеться з підпором: переднім - для попередньої кліті і заднім - для наступної. Таким чином, у будь-якій кліті безперервного стану (крім першої та останньої) прокатка може протікати з переднім або заднім натягом або підпором в різних поєднаннях. У першій кліті може бути тільки передне натяг або підпір, а в останній - тільки задній натяг або підпір. За законом сталості секундних об'ємів:

$$F_i v_i = \text{const}, \quad (2.2)$$

де F_i - площа перерізу труби при виході з валків i -тої кліті, мм;
 v_i - вихідна швидкість труби в цій кліті, м/с.

Коефіцієнтом кінематичного натягу будемо називати відношення секундних об'ємів двох суміжних клітей:

$$\begin{aligned} \text{Оскільки} \quad C_i &= \frac{F_{i+1} v_{i+1}}{F_i v_i} \\ \mu_{i+1} &= \frac{F_i}{F_{i+1}} \\ v_i &= \frac{\pi D_i n_i}{60}, \text{ м/с} \end{aligned} \quad (2.3)$$

то:

$$C_i = \frac{D_{i+1} n_{i+1}}{D_i n_i \mu_{i+1}} \quad (2.4)$$

де D_i і D_{i+1} - катаючі діаметри валків відповідних клітей стану, мм;

n_i і n_{i+1} - число обертів валків в хвилину;

μ_{i+x} - коефіцієнт витяжки в $(i + 1)$ -тій кліті.

Якщо коефіцієнт кінематичного натягу $C > 1,0$, то прокатка протікає з натягом, а при $C < 1,0$ є підпір. Коефіцієнт кінематичного натягу є розрахунковою величиною, що визначає міру відхилення процесу від вільної прокатки, коли розрахункові секундні обсяги металу у всіх клітях однакові. В дійсності, якщо навіть коефіцієнт кінематичного натягу не дорівнює одиниці, сталість секундних обсягів зберігається. Порівняння секундних обсягів металу відбувається завдяки впливу однієї кліті на іншу через метал який деформується і зміна катаючих діаметрів валків. При надмірно великому натягу, коли таке вирівнювання не може бути здійснено, відбувається розрив труби, а при більшій величині підпору труба збирається в «гармошку». Наявність підпору або натягу навіть при порівняно невеликих їх величинах вносить значну зміну в процесі прокатки. Встановлено, що при передньому чи задньому натязі змінюється середній діаметр труби, що виходить з валків. Ця зміна пов'язана з більшим чи меншим розширенням металу і заповненням калібру. Особливо значний вплив оказує задній натяг або задній підпір. Задній натяг зменшує розширення і перешкоджає заповненню калібру, а при великих натяг викликає навіть утяжку металу (зменшення

товщини стінки труби в місцях випусків калібру). Задній підпір різко збільшує розширення гільзи-труби і навіть при невеликих величинах забезпечує повне заповнення калібру, а при збільшенні заднього підпору метал легко переповнює калібр і затікає в зазори між валками. Передній натяг або підпір в цьому відношенні мають значно менше значення. Таким чином, якщо розглядати дві суміжні кліті, що працюють з натягом, то вплив цього натягу в основному поширюється на слідуєчу кліть, деформація в якій відбувається із заднім натягом. Зменшення середнього діаметру труби при виході з валків при прокатці з натягом означає неповне заповнення калібру і, отже, зменшений зазор між трубою і оправленням в місцях випусків калібру. Цей зазор зазвичай бажаний, тому що при відповідній профілізації валків безперервного стану забезпечує відставання металу від оправки, що значно полегшує подальше витягання оправки з труби. Тому, щоб зберегти зазор між трубою і оправленням в місцях випусків калібру на достатньому рівні, процес ведуть з дуже незначним відхиленням від вільної прокатки, тобто натяг або підпір не повинні перевищувати $C = 0,99 - 1,02$. У старих станах, коли натяг не піддається регулюванню і досягає значних величин, відставання металу від оправки по всьому периметру не досягалось і витяг оправки вимагало значних зусиль. Сучасні стани мають індивідуальний привід кожній кліті з тонкою регулюванням швидкостей, що забезпечує необхідний режим натяжений. Розрахунок тиску металу на валки на безперервному стані може здійснюватися за тією ж методикою, що наведена для визначення зусиль на автомат-стані. Оскільки при безперервній прокатці зона редукування відносно менше, а прокочують в основному тонкостінні труби, коли зусилля в цій зоні невеликі, можна для наближених розрахунків користуватися формулою

$$P = pF, \quad (2.5)$$

де F - горизонтальна проекція повної контактної поверхні, яка може визначатися аналогічно наведеному вище розрахунку для автомат-стана, мм^2 ;

p - питомий тиск, прийняте рівним питомій тиску в зоні обтиснення стінки, яке визначається за методикою А. І. Целікова, Па.

При прокатці з натягом питомий тиск помітно зменшується і, навпаки, при прокатці з підпором - збільшується. Однак внаслідок того, що застосовуються величини натягу незначні, ці зміни звичайно не враховують. Розрахункові величини тиску добре збігаються з даними експериментальних робіт, які підтвердили зміну величини питомого тиску в залежності від ступеня деформації, температури прокатки, натягнення або підпору та хімічного складу металу. При малих величинах деформації питомий тиск знаходиться на рівні $98-117 \text{ МН/м}^2$ ($10-12 \text{ кг/мм}^2$); при великих коефіцієнтах витяжки ($\mu=1,3$) питомий тиск досягає $196-245 \text{ МН/м}^2$ ($20-25 \text{ кг/мм}^2$). Питомий тиск при вході труби в валки зазвичай трохи нижче, ніж при виході, що пояснюється деяким зниженням температури труби до кінця прокатки. Розподіл тисків по клітях стана характеризується великою нерівномірністю. Зазвичай найбільш високі тиски відзначаються в середніх клітях стану.

Найменш навантаженими є дві останні кліті, де деформація по стінці не проводиться, а зміна діаметра невелика. Тиск металу на валки при прокатці труб з вуглецевих сталей розміром 108x4-6 мм в середньому становить у перших клітях 0,6-1,0 МН (60-100 Т), а для більш навантажених клітей 1,0-1,6 МН (100-160 Т). Визначення крутних моментів і потужності прокатки для кожної кліті безперервного стану викликає певні труднощі. Сумарний момент обертання (див. рисунок - 2.3), прикладений до одного валку будь-якої кліті стана, складається з моментів сил тиску в зонах редукування і обтиснення стінки, моменту від осьових зусиль, викликаних натягом або підпором, і, нарешті, моменту сил тертя, що діють на поверхні контакту труби і оправки. Оскільки зона редукування відносно невелика, можна вважати, що рівнодіюча сил тиску прикладена в середині дуги захоплення, і тоді:

$$M = PR_{\min} \sin \frac{\alpha_0}{2} \pm (E_3 - E_{II})R \pm QR, \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (2.6)$$

де E_{II} і E_3 - зусилля переднього і заднього натягу або підпору, що враховується знаком плюс або мінус, Н;

Q - осьове зусилля, що виникає в розглянутій кліті внаслідок руху оправки щодо труби;

R - катаючий радіус валка, мм;

R_{\min} - радіус валка по дну калібру, мм;

α_0 - кут захоплення, рад.

Якщо при прокатці полого тіла на довгій оправці в двовалкової кліті швидкість виходу металу позначити v_i то швидкість входу буде менше і дорівнює v_i/μ_i , тобто по довжині осередку деформації швидкість металу змінюється. Оправка, що рухається завдяки виникаючим фрикційним силам, в очевидь, отримає швидкість, дещо меншу максимальної швидкості металу. Таким чином, поверхня контакту металу з оправленням можна розділити на дві зони: зона, де спочатку метал відстає від оправки, а потім зона, де він випереджає оправлення. Якщо ж прокатка ведеться одночасно у двох або більшому числі клітей, то завдяки взаємному впливу швидкість оправки буде відрізнятися від швидкості металу в кожній кліті ще більшою мірою. В результаті в деяких клітях метал по всій контактній поверхні буде випереджати оправлення, а в інших клітях, навпаки, відставати від оправки. В залежності від цього силу Q , що входить в рівність (2.6), потрібно приймати зі знаком плюс чи мінус. За абсолютною величиною ця сила (в розрахунку на один валок):

$$Q = kfP, \text{ Н} \quad (2.7)$$

де $f = 0,08-0,10$ - коефіцієнт тертя між трубою і оправкою, що залежить від застосовуваного технологічного мастила;

$k = 0,75 - 0,80$ - коефіцієнт, що враховує нещільне прилягання труби до оправки.

Таке визначення сили Q є досить наближеним, так як воно абсолютно не враховує впливу тертя між оправленням і металом в межклітєвому

просторі. Потрібно мати на увазі, що при роботі стану з відсутністю кінематичного натягу ($C = 1$) внаслідок різних швидкостей металу і оправки і впливу виникають при цьому сил тертя фактично процес протікає з деякими натягом або підпором. Наприклад, в останніх клітках оправлення, що має меншу швидкість, ніж труба при вході і виході з клітки, надає гальмівну дію і викликає додатковий передній підпір і заднє натяг; в перших клітках характерно зворотнє співвідношення швидкостей металу і оправки, завдяки чому виникають передній натяг і задній підпір. Як показали дослідження, наявність натягу і вплив оправки можуть змінювати величину моменту на 30-50%. Різні швидкості металу і оправки і значне випередження труби в останніх клітках призводять до того, що на безперервному стані передній кінець труби обганяє оправку і сповзає з неї на величину y .

Якщо позначити (рисунок 2.4):

r - відстань між осями валків двох суміжних клітей, мм;

n - число робочих клітей стану;

a - величина висунення оправки з гільзи, мм;

L - довжина труби після прокатки на стані, то за час прокатки τ передній торець труби пройде шлях, рівний $z(n - 1) + L$, а передній торець оправки - шлях $z(n - 1) + L - (y + a)$. Тоді відношення середніх швидкостей труби і оправки буде:

$$C_i = \frac{z(n-1)+L}{z(n-1)+L-(y+a)} \quad (2.8)$$

Сума $y + a$, що показує, наскільки шлях оправки менше шляху труби, не залежить від фактичного висунення оправки з гільзи перед прокаткою. Очевидно, за інших рівних умов сповзання труби будуть найбільшим у разі мінімального висунення оправки з гільзи. Це мінімальне висунення можна визначити, якщо порахувати, що передній торець труби і передній торець оправки підійдуть до останньої пари валків одночасно.

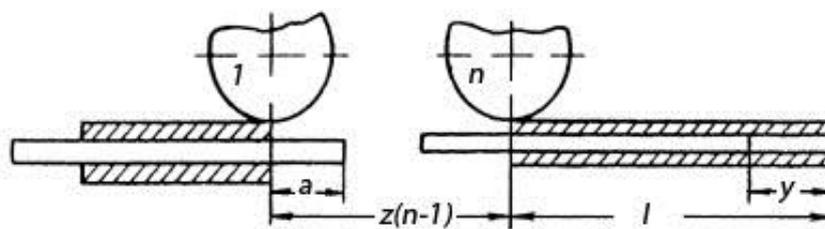


Рисунок 2.4 — Схема для визначення величини сповзання труби з оправки

Позначимо час від початку прокатки до підходу труби до останньої пари валків τ' . Очевидно, що:

$$C_i = \frac{z(n-1)}{v_T \tau'} \quad , \quad c \quad (2.9)$$

де v_T' - середня швидкість труби в період заповнення стану металом, м/с.

Разом з тим:

$$\tau' = \frac{(n-1)z - a}{v_0'} , \text{ с} \quad (2.10)$$

де v_0' - середня швидкість оправки за час заповнення стану м/с.

Прирівнюючи вирази (2.9 і 2.10), отримуємо після перетворення мінімальну величину висування оправки:

$$a_{\min} = z(n-1) \left(1 - \frac{v_0'}{v_T'} \right) , \text{ мм} \quad (2.11)$$

Якщо позначити відношення швидкостей труби і оправки в період заповнення стану через v' , то:

$$a_{\min} = z(n-1) \left(1 - \frac{1}{v'} \right) , \text{ мм} \quad (2.12)$$

Відношення швидкостей металу і оправки при сталому (v) і при несталому (v') процесі неоднаково. Однак різниця ця невелика і можна вважати, що, $v = v'$. Тоді, вирішуючи спільно рівняння (2.8 і 2.12), можна знайти максимальну величину сповзання, яка буде:

$$y_{\max} = L \left(1 - \frac{1}{v} \right) , \text{ мм} \quad (2.13)$$

Як показали дослідження М. Ф. Столетного і А. С. Глейберга, коефіцієнт v залежить від величини витяжки, довжини труби яка прокочується і від коефіцієнта тертя між трубою і оправленням, обумовленого типом застосовуваної змащення і станом поверхні оправки і труби. Практично коефіцієнт v знаходиться в межах 1,45-1,55. Порівняно невеликі коливання цього коефіцієнта дозволяють досить точно визначити оптимальні значення висунення оправки і сповзання труби. Крім того, знаючи швидкість виходу труби з останньої кліті й всіх інших клітей стану.

Розрахувавши середню швидкість оправки, можна визначити, в яких клітях стана оправлення випереджає трубу, а в яких труба випереджає оправлення. Тим самим може бути визначений знак сили Q для рішення рівняння (2.6).

2.3 Розкочування гільзи на стані поперечно-гвинтової прокатки

Поперечно-гвинтову прокатку в практиці трубопрокатного виробництва застосовують не тільки для прошивки суцільної заготовки, а й для деформації порожнистої гільзи-труби. Розкочування ведуть на двох або трьохвалкових станах на довгій рухомій оправці або на короткій (нерухомій) оправці. В залежності від призначення розкочування, здійснення цього процесу відбувається різним схемам. Крім того, поперечно-гвинтову прокатку використовують для калібрування товстостінних труб по зовнішньому діаметру. В цьому випадку прокатку ведуть без внутрішньої опори - оправки.

Іноді процес поперечно-гвинтової прокатки застосовують для збільшення діаметра прокатаних труб, застосовуючи так звані стани-

розширювачі.

На трьохвалковому розкатному стані розгортають гільзи на довгій оправці в товстостінну трубу із заданою товщиною стінки. Такий стан є одним з основних агрегатів, визначають технологічний процес, оскільки на даному стані відбувається досить значна деформація (витяжка при цьому характеризується коефіцієнтом $\mu = 1,3/3,0$). Основною перевагою способу прокатки на трьохвалковому розкатному стані є можливість отримання труб з мінімальною різницею в порівнянні зі способами гарячої прокатки труб в круглих калібрах.

Аналогічний процес іноді застосовують для розкочування товстостінних склянок (мають дещо меншою товщиною стінки і з зменшеною різностінністю). Прокатку в цьому випадку здійснюють в двовалкової або трьохвалкова станах, званих елонгаторами.

Для зменшення різностінності і поліпшення поверхні тонкостінних труб застосовують розкочування в спеціальних двовалкових станах - ріллінгах. В цьому процесі деформація стінки незначна, і в основному відбувається збільшення діаметра труби за рахунок деякого скорочення довжини труби, так що коефіцієнт витягування вельми близький до одиниці.

Кінематика процесу. Двовалкові стани поперечно-гвинтової прокатки за своєю кінематикою повністю відповідають прошивним станам.

На трьохвалковому стані валки, рівновіддалені один від іншого і від осі прокатки, обертаються в один бік і надають гільзі обертальний рух (рисунок 2.5). Внаслідок перекосу валків на кут подачі β гільза отримує додатково поступальний рух. Осі валків нахилені до осі прокатки і утворюють кут φ , який називають *кутом розкочування*.

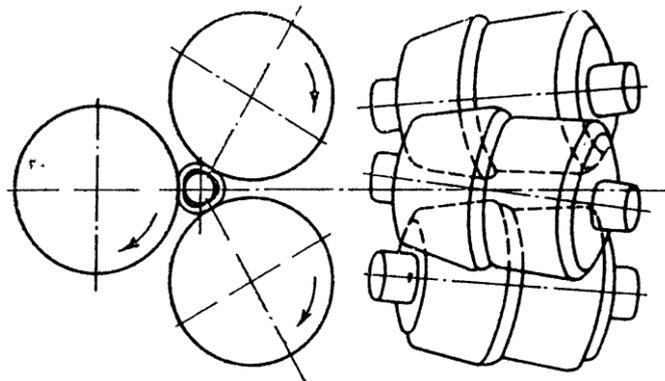


Рисунок 2.5 — Схема прокатки на трьохвалковому стані

В різних конструкціях трьохвалкова станів кут розкочування може мати позитивне чи негативне значення. Нахил валків до осі прокатки на кут φ викликаний перш за все конструктивними міркуваннями - можливістю розміщення шарнірних муфт для з'єднання валів з шпинделями. При позитивному значенні кута φ (рисунок 2.6, *a*) відстань від осей валків до осі прокатки в напрямку руху деформованого металу безперервно зростає, а при негативному (рисунок 2.6, *б*) зменшується.

Абсолютне значення кута розкочування зазвичай невелике (до 7°), і

тому складові швидкості прокатки з достатньою точністю можна визначати за залежностями (2.6 і 2.7), застосовується в разі розрахунку швидкостей валків прошивних станів поперечно-гвинтової прокатки. Дійсні швидкості прокатки в розкатних станах визначаються, як і при прошивці, з урахуванням осьового і тангенціального ковзань.

Коефіцієнт тангенціального ковзання, згідно експериментальних даних, дуже близький до одиниці. Що стосується осьового ковзання, то в даному випадку внаслідок того, що в процесі розкочування деформується порожнє тіло, циліндричне оправлення створює менший опір просуванню металу і інтенсивна деформація відбувається на порівняно короткій ділянці її осередка; осьове ковзання помітно менше, ніж при прошивці. Найчастіше на виході труби зі стану спостерігається деяке випередження металу щодо валків. Зазвичай коефіцієнт осьового ковзання $\eta = 0,8/1,2$.

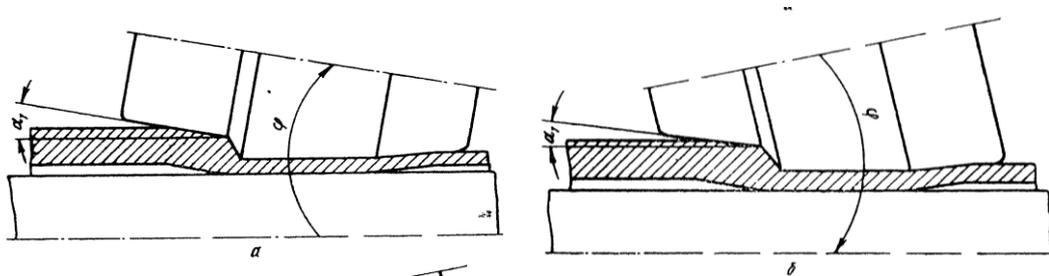


Рисунок 2.6 — Кут розкочування в трьохвалковому раскатному стані

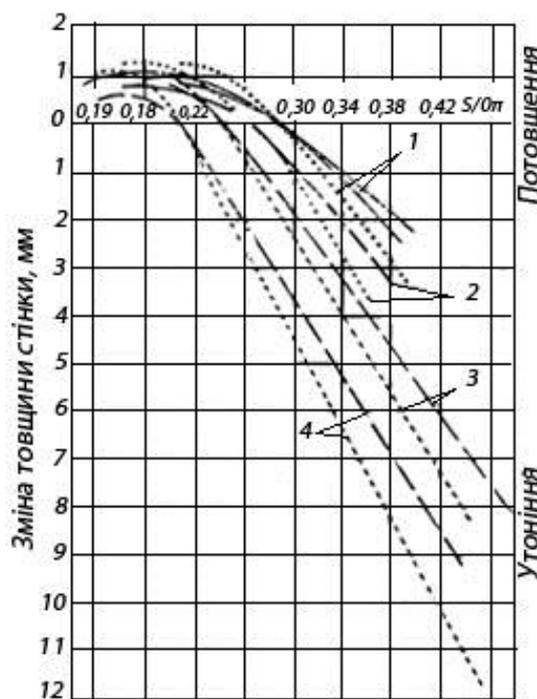
Осьове ковзання залежить від ряду технологічних факторів: температури гільзи, ступеня і швидкості деформації, від співвідношення діаметра і товщини стінки труби, яка прокочується. Збільшення швидкості деформації шляхом підвищення числа обертів валків призводить до зростання осьового ковзання. Зазвичай при прокатці труб з відношенням $D_T/S > 8$ і окружної швидкості валків більше 4-5 м/с коефіцієнт ковзання виявляється менше одиниці (для розрахунків можна приймати 0,9-1,0), а при прокатці більш товстостінних труб і меншою окружної швидкості валків він становить 1,1 -1,2.

Валки звичайного трьохвалкового раскатного стану і стану-елонгатора складаються з чотирьох основних ділянок: конуса захоплення 1, гребеня 2, раскатного або калібруючого конуса 3 та вихідного конуса 4 (рисунок 2.6).

Після захоплення гільзи відбувається її редукування - зменшення по діаметру. Коли гільза отримує обтиснення по діаметру, яке відповідає подвійній товщині зазору, редукування припиняється і при подальшому просуванні металу відбувається обтиснення стінки гільзи. Основна деформація стінки здійснюється гребенем валків. На наступних ділянках осередку деформації відбуваються вирівнювання товщини стінки, а потім зменшення овалізації і скруглення профілю, в результаті чого збільшується внутрішній діаметр. Збільшення внутрішнього діаметра призводить до утворення деякого зазору між трубою і оправкою. Хоча утворюється зазор невеликий, наявність його значно полегшує зняття труби з оправки.

Розглянемо *напружений стан* металу при прокатці гільзи на раскатному стані. Для цього необхідно виділити дві зони деформації. Перша - зона редукування, в якій здійснюється поперечно-гвинтова прокатка полого тіла без оправки, а друга - зона поперечно-гвинтової прокатки на оправці, принципово нічим не відрізняється від відповідної ділянки осередку деформації при прошивці. При незначному внутрішньому діаметрі прошитого каналу в гільзі, умови деформації і схема напруженого стану в зоні редукування також наближаються до відповідних умов і схем при прошивці суцільної заготовки поперечно-гвинтовою прокаткою. Таку аналогію можна допускати, як встановлено дослідженнями, при прокатці товстостінних гільз зі ставленням діаметра і товщини стінки $d_r/S_r < 5,0/6,0$ (велике значення для трьохвалкових станів).

Виникаючі при скороченні товстостінних гільз значні за величиною розтягуючі напруги призводять до зменшення товщини стінки труби. А. С. Глейбергом в лабораторних умовах встановлено, що зменшення товщини стінки відбувається тим інтенсивніше, чим більш товстостінною є вихідна гільза, а також зі зменшенням кута подачі і збільшенням ступеня редукування (рисунок 2.7).



1 - При $9^{\circ}15'$; 2 - $7^{\circ}30'$; 3 - 4° ; 4 - $1^{\circ}30'$; при стисненні 12%; 16%; 20%
Рисунок 2.7 — Зміна товщини стінки труби при її поперечно-гвинтовій прокатки без оправки при різних обтиску і кутах подачі

При прокатці більшості тонкостінних гільз схема напруженого стану змінюється і в основному характеризується пластичним вигином; при поперечно-гвинтовій прокатці тонкостінних гільз товщина стінки зменшується незначно.

Значні розтягуючі напруги, що виникають в зоні редукування, і

напруги, що створюються при подальшій інтенсивній деформації стінки гребенем валка, можуть привести до порушення суцільності металу, що проявляється у вигляді розшарувань або тріщин на внутрішній поверхні труби. Для зниження розтягуючих напружень доцільно зменшувати ступінь редукування гільзи в захватном конусі валків і прокатку вести при можливо великих кутах подачі.

Прокатка тонкостінних труб в роллінг-станах характеризується схемою напруженого стану, при якій превалюють є стискаючі напруги. Внаслідок того, що редукування незначно, товщина стінки практично на цьому ділянці не змінюється, хоча спеціальними експериментами встановлена тенденція до збільшення товщини стінки. В зоні деформації труби на оправці відбувається зменшення товщини стінки, але по абсолютній величині воно невелике (до 0,2-0,3 мм), в результаті більш сприятливої схеми напруженого стану при деформації в роллінг-станах практично не спостерігається розтріскування труб.

Як і в прошивних станах, в даному випадку теж слід мати на увазі первинні та вторинні умови захоплення. Умови первинного захоплення в цьому випадку математично виражаються тими ж залежностями, що і при прошивці. Основними факторами, що визначають ці умови, також є коефіцієнт тертя, кут подачі β і кут нахилу твірної α захоплюючого конуса до осі прокатки. Первинний захоплення при застосовуваних кутах подачі $\beta = 5-8^\circ$ і куті нахилу твірної $\alpha = 2-4^\circ$ забезпечуються досить надійно.

Умови вторинного захоплення полягають в створенні на захоплюючому конусі тягнучих зусиль, достатніх для подолання опору гребеня. У зв'язку з цим ще на захватному конусі повинна проводитися деформація стінки гільзи, оскільки тягнучих зусиль, що виникають у зоні редукування діаметру, виявляється недостатньо. Величина обтиснення стінки перед гребенем валка повинна бути не менше 18-25% від висоти гребеня. Це забезпечує стійке вторинне захоплення гільзи.

При виборі висоти гребеня валків зазвичай керуються ставленням діаметру труби до товщини її стінки. При $D_T/S > 6,0$ висоту приймають до 10 мм, а при $D_T/S < 6,0$ приймають 12,5 або навіть 16,0 мм. При прокатці труб невеликого діаметра (до 90 мм, висоту гребеня приймають зазвичай 8 мм або навіть 6,0 мм), щоб обтиснення по стінці при розкочування не перевищувало 50-55%.

В трьохвалкових станах можна прокатувати тільки товстостінні труби, при чому критичне значення відношення D_T/S знаходиться в межах 10-12. Це обмеження викликано тим, що при виробництві більш тонкостінних труб зростає ступінь відносної деформації, і особливо інтенсивно-поперечної, оскільки знижується жорсткість профілю труби. В результаті на кінцях розкату (особливо на задньому) утворюються трикутні розтруби (рисунок 2.8), які призводять до затискання труби в валках. Конструкцію розкочувальних станів, в яких прийнято використовувати негативний кут розкочування, в цьому відношенні слід вважати менш вдалою, оскільки в

цьому випадку осьова швидкість валків по ходу прокатки зменшується, а швидкість руху металу безупинно наростає. Така невідповідність призводить до підвищеного осьовому ковзанню і більш інтенсивної поперечної деформації, що і викликає появу кінцевих розтрубів на більш товстостінних трубах. Тому на стані з негативним кутом розкочування ставлення D_T/S не може бути більше 10 - 10,5, тоді як на стані з позитивним кутом розкочування можливо $D_T/S = 11/12$.

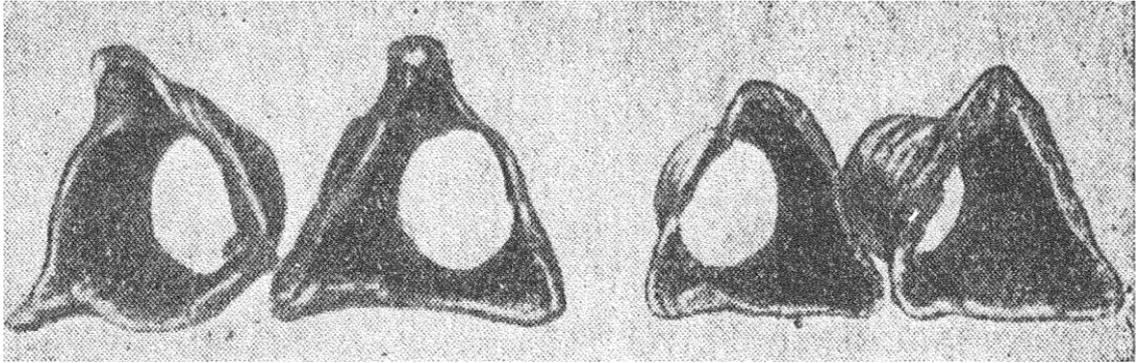


Рисунок 2.8 — Розтруби на кінцях труб

При визначенні зусиль на валки розкочувальних станів користуються тією ж методикою, що й при прошивці на станах поперечно-гвинтової прокатки.

При цьому величину обтиснення слід розраховувати за 1/3 обороту труби для трьохвалкового стані, і за 1/2 обороту - для двовалкової, а коефіцієнт овалізації приймати рівним 1,03/1,05. За даними експериментальних досліджень (розкочування ведуть при 1000-1100° С), фактично середній питомий тиск знаходиться в межах 98,1 -147 МН/м² (10-15 кг/мм²) і лише при прокатці тонкостінних труб в ріллінг- станах воно досягає 196-245 МН/м² (20-25 кг/мм²), при чому температура прокатки на цьому стані помітно нижче - близько 900-950° С.

Загальне зусилля на валки при прокатці труб діаметром до 200 мм на трьохвалкових розкочувальних станах знаходиться в широкому діапазоні [196-496 кН (20-50 Т)] і залежить в основному від температури прокатки, марки сталі, розміру прокатуваних труб і величини кута подачі. Зі збільшенням кута подачі та розміру труб зусилля зростають. Зростання кута подачі призводить до підвищення часткового обтиску за одну третину обороту труби, що в свою чергу підвищує ширину контактної поверхні, а це приводить в кінцевому рахунку до збільшення зусиль на валки. Для орієнтовних розрахунків зусилля на валки можна прийняти:

$$P=3D_T , Н \quad (2.14)$$

де D_T - діаметр труби, мм.

2. 4 Прокатка труб на автомат-стані

Поздовжня прокатка гільзи на автомат-стані є одним з найбільш поширених способів отримання труби із заданою товщиною стінки. Автомат-стан являє собою звичайну прокатну нереверсивну кліть дуо з валками, з круглими калібрами. Схема процесу (рисунок 2.9) полягає в тому, що в цьому випадку гільзу піддають поздовжній прокатці в круглому калібрі за два проходи на нерухомій короткій оправці, яку встановлено між валками.

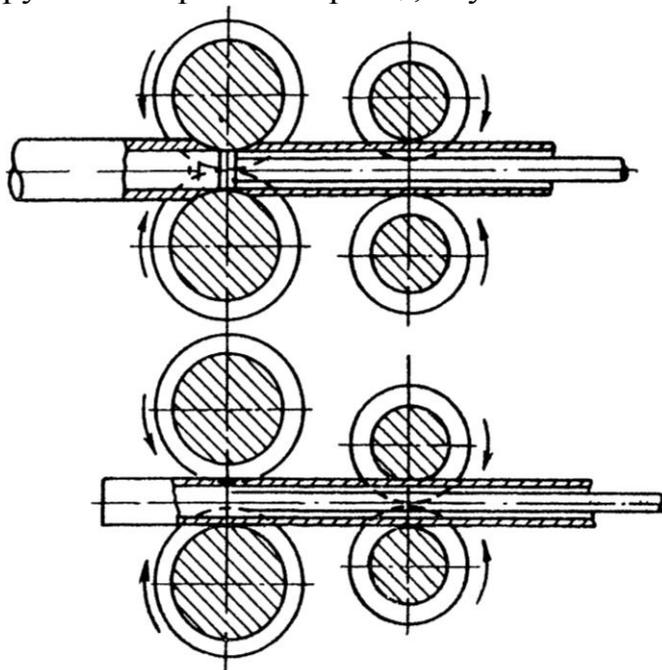


Рисунок 2.9 — Схема прокатки на автомат-стані

Після кожного проходу розкату гільзу передають на передню сторону кліті за допомогою пари фрикційних роликів зворотної подачі, змонтованих на задній стороні кліті і обертових у протилежну сторону. Оправлення після прокатки знімають і знову встановлюють перед подачею гільзи на наступний прохід. Найчастіше оправки першого і другого проходів неоднакові по діаметру, проте іноді прокатку ведуть і на оправках одного розміру.

Перед кожним проходом трубу кантують приблизно на 90° . Попередником автомат-стана був так званий «Шведський» дуо-стан, на якому гільзу прокатували в декількох круглих калібрах. Повернення труби на передню сторону виробляли тут вручну. Послідуюча установка роликів зворотної подачі і деякий полегшення умов роботи на даному стані були причиною перейменування його в автомат-стан, хоча процес прокатки на ньому і не відбувається автоматично. Кінематичні особливості прокатки в круглому калібрі автомат-стана полягають в тому, що в цьому випадку окружна швидкість валків неоднакова по ширині струмка: у вершині калібру вона має найменше значення, а в місцях роз'єму валків - найбільше. Різниця швидкостей може досягати 20-30%. Розглянемо епюру зміни окружної швидкості валка по ширині калібру (рисунок 2.10).

Для спрощення будемо вважати, що калібр виконаний у вигляді правильного кола з радіусом r_k . Окружна швидкість валка в будь-якій точці калібру може бути записана як:

$$M = \frac{\Pi n}{60} (D_i - 2\sqrt{r_k^2 - x^2}) \quad \text{м/с} \quad (2.15)$$

Площа епюри:

$$F = 2 \int_{x=0}^{x=r_k} v_x dx \quad , \text{мм}^2 \quad (2.16)$$

Середня окружна швидкість валка може бути визначена як відношення площі зони епюри до ширини калібру:

$$v_{cp} = \frac{F}{2r_k} \quad \text{м/с}$$

Інтегруючи і вирішуючи отримані рівняння, маємо:

$$v_{cp} = \frac{\Pi n}{60} \left(D_i - \frac{\Pi}{2} r_k \right) \quad , \text{м/с}$$

Діаметр валка, відповідний середній швидкості:

$$v_{cp} = \left(D_i - \frac{\Pi}{4} d_k \right) \quad , \text{мм/с} \quad (2.17)$$

де D_i - ідеальний діаметр валка, мм.

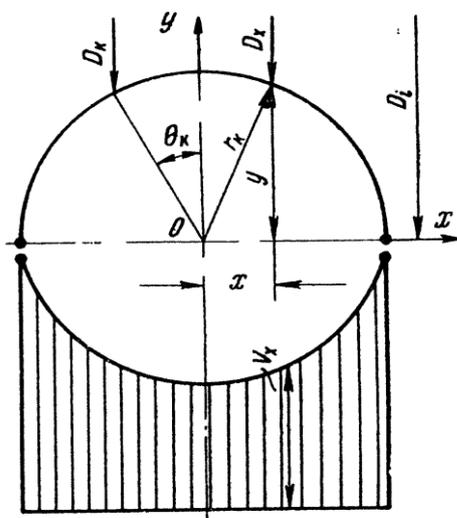


Рисунок 2.10 — Епюра зміни окружної швидкості валка по ширині калібру

Труба при виході з валків отримує деяку швидкість, рівну:

$$v_k = \frac{\Pi D_k n}{60} \quad , \text{м/с} \quad (2.18)$$

Діаметр валка D_k , відповідний швидкості виходу труби, називають катаючим. Згідно рисунку 2.10, він може бути виражений як:

$$D_k = D_i - \cos\theta_k d_k \quad , \text{мм} \quad (2.19)$$

Дослідженнями Я. Л. Ваткіна встановлено, що практично катаючий діаметр валка вельми близький значенням до середнього діаметру. Тому в практичних розрахунках користуються формулою:

Загальна довжина l_0 осередку деформації по вершині калібру, виходячи з геометричних міркувань, визначається залежністю:

$$l_0 = \frac{d_r - d_k}{2} \sqrt{\frac{4R_{\min}}{d_r - d_k} - 1} \quad , \text{ мм} \quad (2.23)$$

або приблизно:

$$l_0 = \sqrt{(d_r - d_k)R_{\min}} \quad , \text{ мм} \quad (2.24)$$

а довжина ділянки обтиснення стінки:

$$l_2 = \cos \varphi \sqrt{(R_{\min} + S_k)^2 - (R_{\min} + S_k - l_u \operatorname{tg} \varphi)^2 \cos^2 \varphi - 0,5(R_{\min} + S_k - l_u \operatorname{tg} \varphi) \sin 2\varphi} \quad , \text{ мм} \quad (2.25)$$

де R_{\min} - радіус валка, відповідний вершині калібру, мм;

φ - кут нахилу твірної оправки до її осі, рад;

l_u - довжина ділянки паска оправки, яка виступає за лінію центрів валків, мм;

S_k - товщина стінки гільзи-труби після здійснення проходу, мм.

Довжина ділянки редукування може бути знайдена по різниці:

$$l_1 = l_0 - l_2 \quad , \text{ мм} \quad (2.26)$$

Як встановлено дослідженнями В. П. Анісіфорова, зона випередження зазвичай не виходить за межі ділянки обтиску стінки і лише при прокатці дуже товстостінних труб поширюється частково на ділянку редукування.

Співвідношення довжин ділянок редукування і обтиснення стінки в значній мірі залежить від прийнятої схеми прокатки. Для першого проходу можливі дві схеми: перша полягає в прокатці гільзи, внутрішній діаметр якої трохи менше діаметра оправки, друга передбачає прокатку гільзи, внутрішній діаметр якої на 3-6 мм більше діаметра оправки.

У першій схемі довжина ділянки редукування має відносно меншу протяжність. Так як на ділянці редукування виникають контактні сили тертя, що долають опір оправки, то, очевидно, зменшення протяжності цієї ділянки має неминуче ускладнювати захоплення. Тому першу схему прокатки, що вимагає ретельної настройки стана, застосовують вкрай рідко. Правда, у другій схемі доводиться застосовувати калібр із трохи більшою овальністю, і це збільшує нерівномірність деформації.

Що стосується другого проходу, то в зв'язку з більш стабільними розмірами розкату в цьому випадку можна застосовувати першу схему, тобто прокатку вести на оправці, діаметр якої більше внутрішнього діаметра гільзи.

Умова подолання опору оправки просуванню гільзи обумовлює певне співвідношення ділянок редукування і обтиснення стінки. Так як співвідношення довжин цих ділянок може змінюватися в незначних межах, то і абсолютне зменшення товщини стінки при прокатці труб на автомат-стані може коливатися досить незначно. Практично обтиснення стінки $\Delta S = S_r - S_k = 3 \div 7$ мм, причому більшу величину обтиснення приймають для труб з більш товстою стінкою. Таке незначне редагування абсолютного обтиску при широкому діапазоні товщини стінки призводить через те, що відносна деформація коливається у великих межах. Так, при прокатці

тонкостінних труб (товщина стінки 3-3,5 мм) відносна деформація стінки може досягати 50-55%, в той час як при прокатці товстостінних труб (товщина стінки 40-50 мм) відносна деформація стінки знижується до 15-17%.

Коефіцієнт витяжки за один прохід на автомат-стані не перевищує 1,5-1,6. При гранично можливої деформації можна припустити, що зона випередження на стані відсутня. Це дозволяє розрахувати потужність сил тертя в зоні редукування і в зоні обтиснення стінки. Припустивши, що в даному випадку потужність зовнішніх сил тертя дорівнює потужності внутрішнього опору деформації, В. Л. Колмогоров визначив залежність граничного відношення S_r/S_k для прокатки труб з різною товщиною стінки і різного діаметру. Теоретичний аналіз показав, що граничні величини обтиснення, які використовуються на автомат-стані дуже близькі до застосовуваних на практиці і лише при прокатці товстостінних труб є деякий резерв підвищення витяжки.

Умови деформації при першому і другому проходах неоднакові. При першому проході в калібр задається кругла гільза, а перше зіткнення гільзи з валками відбувається поблизу реборд калібру і лише потім метал зустрічається з вершиною струмка. Наявність випуску калібру призводить до того, що товщина стінки змінюється за прохід нерівномірно: найбільше зменшення стінки відбувається в вершині калібру, а в зоні випусків товщина стінки зменшується лише внаслідок впливу жорстких решт труби, а проте це зменшення відносно невелике.

У другому проході захоплення овальної гільзи-труби відбувається вершиною калібру, і нерівномірність обтиснення стінки ще більше зростає, так як, окрім спотворення кільцевого зазору між валком і оправленням, викликаного випусками калібру, додається ще нерівномірність товщини стінки гільзи- труби, отримана в першому проході.

Напружений стан металу при прокатці в автомат-стані, що характеризується в основному радіальними і тангенціальними стискаючими напруженнями, в осьовому напрямку має неоднаковий знак для металу, оброблюваного в вершині і випуску калібру. Метал, що прокочується у вершині калібру, отримує осьові стискаючі напруги; в зоні випусків калібру в ньому виникають осьові розтягуючі напруги, які особливо значні при другому проході, коли нерівномірність деформації виявляється більшою.

При визначенні зусиль, що діють на валки автомат- стану, розрахунок ведуть окремо для ділянки редукування і для ділянки обтиснення стінки труби. Повний тиск металу на валки:

$$P = p_1 F_1 + p_2 F_2 \quad , \quad H \quad (2.27)$$

де p_1 і p_2 - питомі тиски відповідно на ділянках редукування і обтиснення стінки, Па;

F_1 і F_2 - горизонтальні проекції площ контактних поверхонь на цих же ділянках, мм².

F_1 Так як ширина контактної поверхні на ділянці редукування приблизно дорівнює ширині контактної поверхні на ділянці обтиснення стінки, можна записати:

$$P=b(p_1l_1+p_2l_2) \quad (2.28)$$

де b -середня ширина контактної поверхні, приблизно рівна ширині калібру, в якому здійснюється прокатка, мм;

l_1 і l_2 - відповідно довжини ділянок редукування і обтиснення стінки у вершині калібру, мм.

Для визначення l_1 і l_2 можна скористатися формулами (2.25 і 2.26). Оскільки в цьому випадку визначаються довжини ділянок осередку деформації по вершині калібру, то отримані значення виявляються трохи заниженими і слід вводити поправочний коефіцієнт, що дорівнює 1,05-1,10.

Так як точне аналітичне визначення площі контактної поверхні вимагає дуже складних і громіздких розрахунків, а викладена методика наближених рішень забезпечує недостатню точність, іноді користуються графічним методом знаходження площі зіткнення металу з валком.

На підставі сучасних поглядів на механіку пластичної деформації різними авторами запропоновані формули для визначення питомого тиску в обох ділянках осередку деформації. Ці формули дуже громіздкі і незручні для практичного використання, тому найчастіше використовують просту формулу В. П. Анісіфорова для визначення питомої тиску в зоні редукування і методику А. І. Целікова для розрахунку зони обтиснення стінки.

Формула В. П. Анісіфорова має вигляд:

$$p_1 = \eta k_f \frac{2S_r}{d_{cp}} \quad (2.29)$$

k_f - опір деформації при температурі прокатки;

d_{cp} - середній діаметр гільзи-труби на ділянці редукування по висоті калібру, мм;

η - коефіцієнт, що враховує збільшення середньої питомої тиску внаслідок впливу зовнішніх зон. Величина цього коефіцієнта:

$$\eta = 1 + 0,9 \frac{d_{cp}}{l_1} \sqrt{\frac{S_r}{d_{cp}}} \quad (2.30)$$

Опір деформації k_f може бути визначено за кривими рисунку 2.12. Швидкість деформації (див. рисунок 2.11) обчислюється за формулою:

$$u_1 = \frac{2\pi D_{мин} n}{60 d_{cp}} \sin \frac{\alpha_0}{2} \quad , \text{ м/с} \quad (2.31)$$

де $D_{мин}$ - діаметр валка по дну калібру, мм;

n - число оборотів валків на хвилину.

$\alpha_0 = \arcsin \frac{l_1}{K_{мин}}$ кут захоплення по дну калібру, рад.

Середнє питомий тиск P_2 в зоні обтиснення стінки можна визначити по кривих А. І. Целікова (рисунок 2.13). Величина δ , від якої воно залежить, визначається з виразу:

$$\delta = \frac{2fl_2}{\Delta S}$$

а відносне обтиснення:

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S_r} 100\%$$

$$k = 1,15k_f$$

де f - коефіцієнт тертя між металом і валком (його можна приймати 0,3-0,4).

Опір деформації k_f з урахуванням швидкості може бути знайдено по кривих на рисунку 2.12. При цьому швидкість деформації u враховується по ділянці обтиснення стінки u_2 і її необхідно підраховувати за формулою:

$$u_2 = \frac{2\pi D_{\text{мин}} n}{60(S_r + S_k)} \alpha_0' \quad (2.32)$$

де α_0' - кут захоплення на ділянці обтиснення стінки, рад, (рисунок 2.11).

Зусилля (тиску металу на валки і оправлення) на автомат-стані (за В. П. Анісіфоровим):

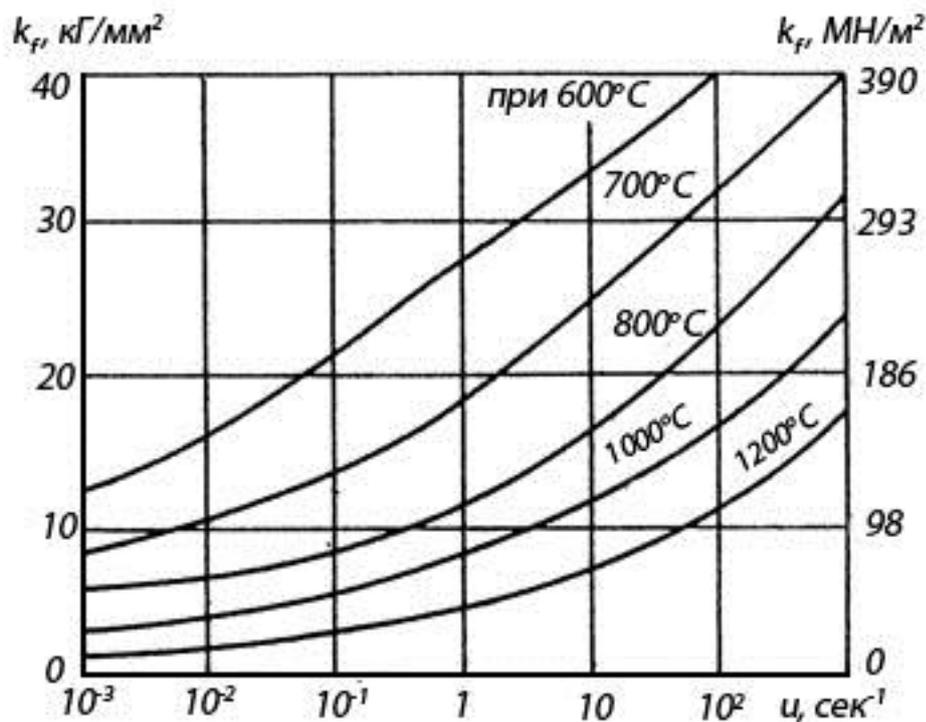


Рисунок 2.12 — Залежність опору деформації k_f від швидкості деформації u

У зв'язку з таким характером зміни зусиль редукування загальне зусилля прокатки труб в залежності від товщини стінки змінюється порівняно незначно. Це дозволило В. П. Анісіфорову запропонувати для наближеної оцінки тиску металу на валки прості емпіричні залежності:

для труб з товщиною стінки 5-10 мм:

$$P=0,4d_k \quad ,\text{Па} \quad (2.33)$$

для труб з товщиною стінки 19-30 мм:

$$P=0,42d_k \quad ,\text{Па} \quad (2.34)$$

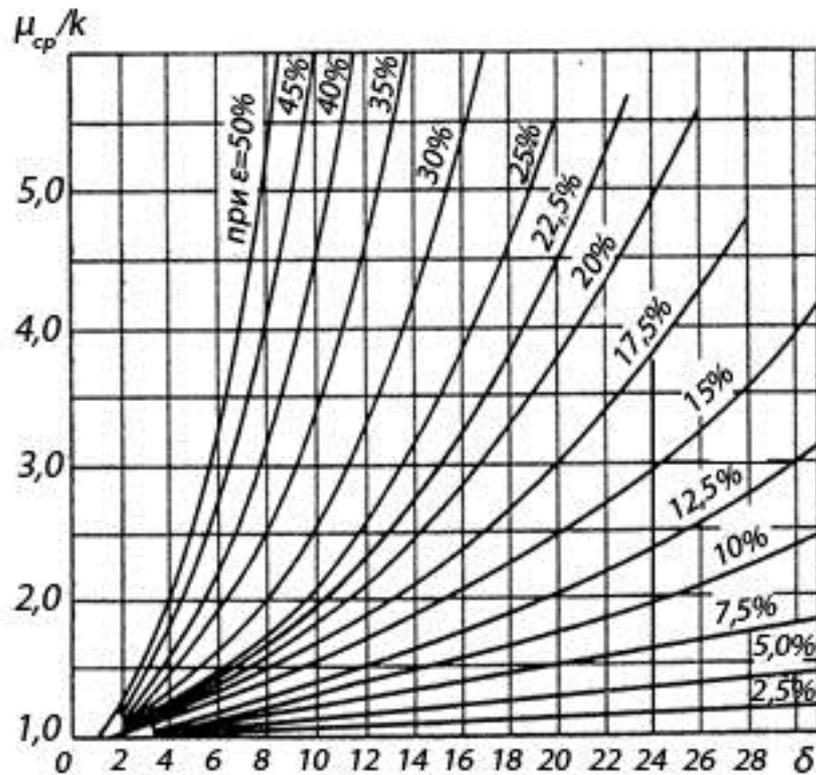


Рисунок 2.13 — Номограма питомих тисків

Осьовий тиск Q металу на оправку автомат-стана В. П. Анісіфоров рекомендує визначати за співвідношенням:

$$Q=\pi q \Delta_a [(f_l + \text{tg} \varphi) l_2 - l_u \text{tg} \varphi] \quad , \text{Па} \quad (2.35)$$

де Δ_a - діаметр оправки автомат-стана, мм;

φ - кут конусності оправки, рад;

f_l - коефіцієнт тертя металу по оправці;

l_u - довжина циліндричної частини оправки, мм;

q - середнє питомий тиск на оправку, прийняте рівним опору деформації k_f для ділянки обтиснення стінки, Па.

Аналіз цієї формули та експериментальні дані показують, що осьові зусилля при прокатці на автомат-стані значною мірою залежать від кута конусності оправки і коефіцієнта тертя між металом і оправленням. Для зниження тертя прокатку ведуть з мастилом, закидаючи її в гільзу перед подачею останньої в валки. В якості мастила використовують кухонну сіль (іноді з добавкою графіту). Тоді коефіцієнт тертя можна приймати рівним 0,20-0,25. За отриманими даними осьовий тиск для тонкостінних труб можна вважати рівним:

$$Q=(0,4 \div 0,5)P \quad , \text{Па} \quad (2.36)$$

При прокатці товстостінних труб відносна деформація стінки, середнє питоме тиск і зусилля на стрижень менше, тому в цьому випадку:

$$Q=(0,15\div 0,20)P \quad , \text{ Па} \quad (2.37)$$

Момент прокатки може бути визначений, якщо припустити, що знайдена рівнодіюча зусиль на ділянці редукування і обтиснення включені в середині дуг захоплення кожної ділянки. Тоді, згідно рисунку 2.11, крутний момент для одного валка з урахуванням осьового зусилля буде:

$$M = P_1 R_{\min} \sin \left(\frac{\alpha_0 - \alpha_0'}{2} + \alpha_0' \right) + P_2 R_{\min} \sin \frac{\alpha_0'}{2} + 0,5 \left(R_{\min} + \frac{d_k}{2} \right) \quad , \text{ Н}\cdot\text{мм} \quad (2.38)$$

Аналіз наведеної залежності показує, що на величину крутного моменту при прокатці на автомат-стані найбільший вплив робить осьове зусилля. оскільки осьові зусилля вище при прокатці тонкостінних труб, то і момент прокатки, а отже, і потрібна потужність при прокатці тонкостінних труб виявляється більш значною.

2.5 Прошивка заготовки на пресі

В даний час при виробництві безшовних труб по деяким технологічним схемам замінюють прошивку на станах поперечно-гвинтової прокатки прошивкою на пресах.

При виробництві труб використовують три види прошивки на пресах:

1. Прошивка пуансоном (голкою) при виробництві труб по методу Ергардта (заповнює прошивка).
2. Прошивка на глухій матриці (закрита або наростаюча прошивка).
3. Прошивка в контейнері з матрицею.

Останній вид прошивки застосовують при пресуванні труб. За методом Ергардта (заповнює прошивка) багатогранний злиток або квадратну заготовку прошивають в круглому контейнері. Схема прошивки показана на рисунку 2.14.

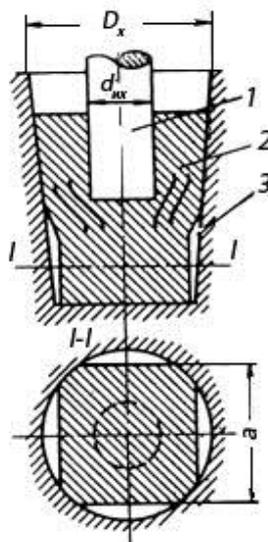


Рисунок 2.14 — Схема прошивки по методу Едгарда

Площа пуансона 1 (Голки) дорівнює площі зазору між злитком 2 і контейнером 3, тому метал тече радіально і висота злитку практично незмінна. Зазвичай прошивку ведуть з деякими переповерхненням, (на 5-10%) для кращого заповнення контейнера. Для заповнюючої прошивки справедливо співвідношення:

$$\frac{d_k^2 \Pi}{4} = a^2 + \frac{d_{гол}^2 \Pi}{4} \quad (2.39)$$

де D_k - діаметр контейнера, мм;

$d_{гол}$ - діаметр голки, мм;

a - довжина сторони перерізу квадратної заготовки без врахування закруглення кутів, мм.

Виходячи з рівняння (2.39), визначають співвідношення між діаметром пуансона (голки) і діаметром контейнера при заданому відношенні D_k/a . Так, при $D_k/a = 1,18$ маємо $d_r/D_k = 0,605$. При заповнюючій прошивці процес проходить так, що знаходиться перед торцевою поверхнею голки «мертвий» конус матеріалу проникає в метал як вістря голки і прошиває заготовку. Це наочно можна простежити за зміною координатної сітки, показаної на рисунку 2.15.

Виходячи з представленої схеми прошивки, основне зусилля витрачається на подолання тертя між «мертвою» зоною металу і іншим металом. Сила цього тертя (опір зрушенню):

$$\tau_{кр} = 0,58\sigma_s \quad , \text{ Н} \quad (2.40)$$

де σ_s - опір деформації при розтягуванні з урахуванням швидкості і температури деформації.

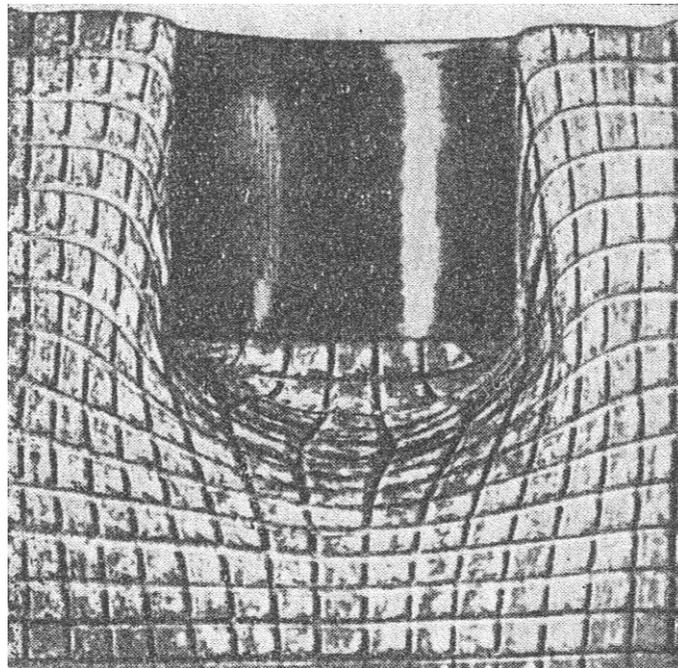


Рисунок 2.15 — Зміна координатної сітки при прошивці (ясно помітний затемнений «мертвий» конус під голкою)

Зусилля, необхідне для заповнює прошивки, визначається за формулою Ш. Гелей:

$$P_{пр} = 3,3\sigma_s d_{гол}^2, \text{ Н} \quad (2.41)$$

При закритій прошивці метал, витиснений голкою, може текти тільки назустріч руху голки.

Схема прошивки показана на рисунку 2.16. Для наростаючої прошивки застосовують круглу заготовку або зливок з хвилястою бічною поверхнею. Для того щоб вільно вкласти заготівлю в контейнер 2, її діаметр повинен бути дещо менше діаметра контейнера (на 5-10 мм). Висота злитку збільшується на величину витісненого голкою 3 об'єму металу. Перед прошивкою відбувається розпресування злитку: зменшення висоти і збільшення діаметра зливка до повного зіткнення зі стінками контейнера. Це усуває ексцентричну прошивку і тим самим зменшує різностінність гільзи.

При наростаючій прошивці зусилля витрачається як на подолання тертя між «мертвим» конусом і прошиваемим металом, так і на подолання сил тертя між металом і стінками контейнера. Сили тертя між металом і голкою (пуансоном) незначні, якщо остання виконана з циліндричним калібрувальним паском. Тому їх впливом на зусилля при прошивці можна знехтувати.

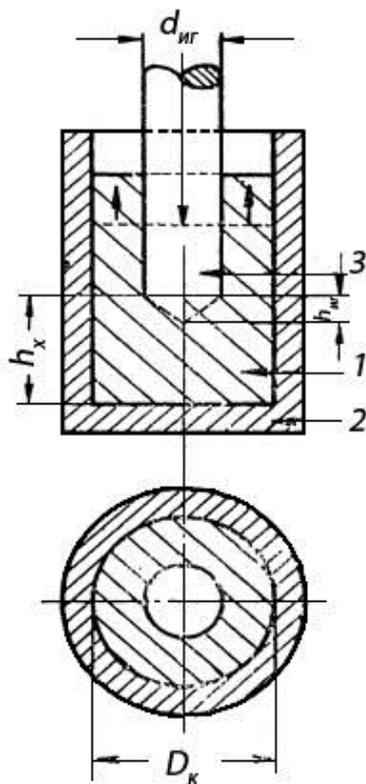


Рисунок 2.16. — Схема закритої (наростаючої) прошивки

При наростаючій прошивці зусилля P визначається для двох стадій процесу:

1) коли висота h_x непрошитої частини зливку більше висоти h_m «мертвої» зони. Для цієї стадії процесу характерно сталість зусиль на голку.

Відношення питомого тиску на голку до істинному опору деформування визначається рівнянням (по І. Я. Тарновському):

$$\frac{P}{\sigma_s} = 3 + 2 \frac{1 - 0,85 \frac{d_{гол}}{D_k}}{1 - \left(\frac{d_{гол}}{D_k}\right)^2} \quad (2.42)$$

2) коли висота h_x непрошитої частини зливка менше висоти h_m «мертвої» зони. На цій стадії процесу зусилля прошивки різко зростає через зміну характеру деформації (додатково витрачається сила на подолання тертя металу об днище контейнера). Зусилля досягає свого максимального значення в кінці прошивки. Відношення P/σ_s визначається рівнянням:

$$\frac{P}{\sigma_s} = 3 + 0,22 \frac{D_k}{h_c} \quad (2.43)$$

де h_c - товщина денця прошитої заготовки, мм.

У всіх випадках, коли товщина денця гільзи (склянки) $h_c > h_m$, зусилля прошивки визначається за формулою (43). Нижче наведені значення висоти «мертвої» зони залежно від ставлення d_r/D_k при коефіцієнті тертя $f = 0,3-0,5$ (за І. Я. Тарновським), якими рекомендується користуватися при розрахунку зусилля прошивки.

$$\frac{d_{гол}}{D_k} \quad 0,1 \quad 0,3 \quad 0,5 \quad 0,7 \quad 0,9$$

$$\frac{h_m}{d_{гол}} \quad 1,67 \quad 0,8 \quad 0,49 \quad 0,3 \quad 0,14$$

Для практичних розрахунків висота «мертвої» зони може бути прийнята рівною:

$$h_m = (0,3 \div 0,4) d_{гол} \quad , \text{мм}$$

Залежність зусилля прошивки від d_r/D_k має екстремальний характер; мінімальне зусилля відповідає величині $d_r/D_k = 0,6-0,7$.

Менше зусилля при прошивці є істотною перевагою заповнюючої прошивки (метод Ергардта) порівняно з наростаючою прошивкою. Коли використовують квадратну заготовку, то виготовлення її для отримання гільз за методом Ергардта технологічно простіше і дешевше порівняно з виготовленням круглої заготовки для отримання гільз наростаючою прошивкою. Однак забезпечити точне центрування заготовки за методом Ергардта значно важче. Це є причиною підвищеної різностінності гільз. Для зменшення останньої додатково вводять калібрування діагоналей і надання конусності заготівлі. В цьому випадку для полегшення видачі гільзи з контейнера втулку контейнера роблять конусною.

Додаткова установка преса або прокатного стану для цієї мети ускладнює технологічний процес. При наростаючій прошивці попереднє калібрування заготовки не потрібне. Однак через можливість використовувати при отриманні склянки (гільзи) квадратну заготовку (блюм)

або зливок віддають перевагу заповнюючій прошивці.

При заповнюючій прошивці на бічній поверхні заготовки виникають тангенціальні розтягуючі напруги, які можуть привести до виникнення тріщин і розкриття дефектів. Використання при заповнюючій прошивці багатогранного зливка з увігнутими гранями виключає розкриття дефектів на бічній поверхні зливка. Завдяки увігнутим граням на бічній поверхні під час прошивки виникають стискаючі напруги, що перешкоджають розкриттю дефектів, так як периметр поперечного перерізу зливка більше периметра перетину склянки (гільзи) і процес прошивки супроводжується зменшенням вихідного периметра поперечного перерізу.

Прошивку заготовки (зливка) здійснюють на горизонтальних пресах зусиллям 7,8-11,8 МН (800-1200 т). Раніше використовували вертикальні преси зусиллям 6,9 МН (700 т). Останнім час перевагу віддають горизонтальним пресам (менша висота будівлі, простіше установка зливка в контейнер і його видача, легше обслуговування).

Отримання гільзи (склянки) на пресах має суттєвий недолік - найбільше відношення довжини склянки до його діаметру практично знаходиться в межах 4-7 (менше значення для більшого діаметру склянки). При більшій довжині склянки і відповідно при більшій довжині пуансона (голки) опір останнього подовжньому вигину різко зменшується. Це призводить до значного збільшення разностенності одержуваного склянки.

На рисунку 2.17 показано загальний вигляд горизонтального гідравлічного преса.

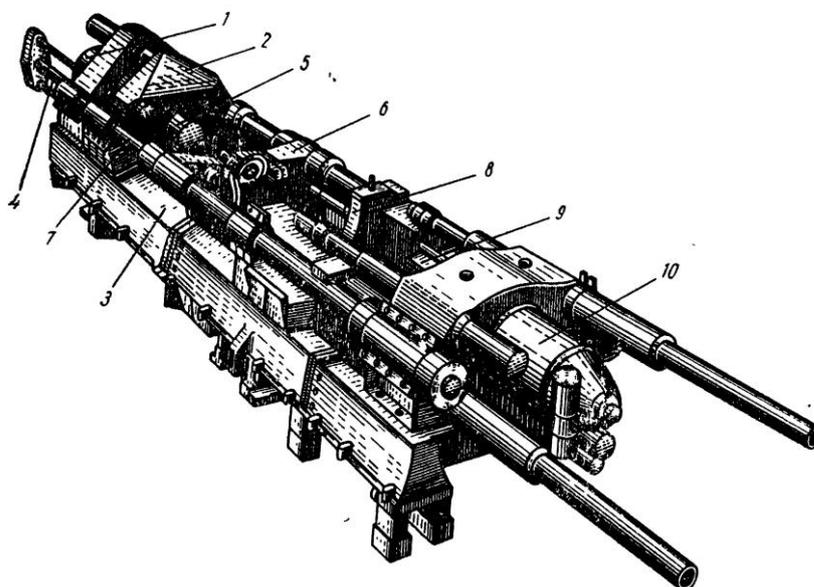
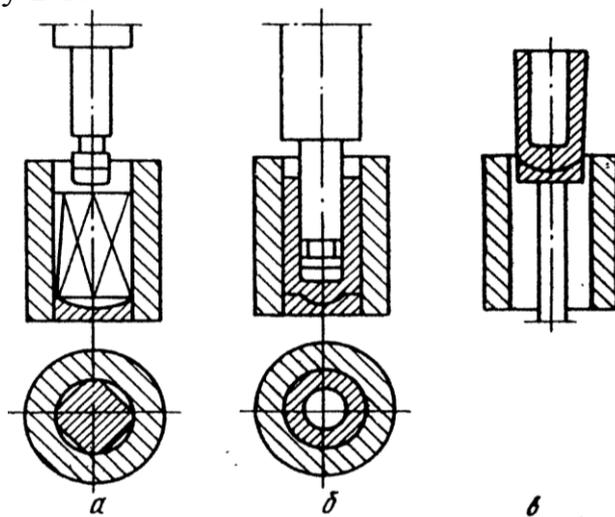


Рисунок 2.17 — Горизонтальний гідравлічний прес

Зусилля прошивки від головного циліндра 1 передається рухомій траверсі 2 через головний плунжер. Переміщення траверси відбувається по напрямних станини 3, які мають пластини зносу. Зворотний хід траверси здійснюється двома гідравлічними циліндрами 4 зворотнього ходу, які пов'язані з траверсою тягами. В траверсі вмонтований тримач 5, в який

закручується пуансон. З цією траверсою пов'язана інша траверса 6, в якій монтується центруюча втулка. Переміщення цієї траверси проходить по напрямних штокам 7. Контейнеротримач 8 жорстко закріплений на станині преса. Виштовхувач гільзи сполучений з траверсою 9, переміщення якої по напрямних здійснюється плунжером циліндра виштовхувача 10. Двома іншими циліндрами здійснюється зворотний хід траверси виштовхувача.

За першу половину ходу головного плунжера пуансон заштовхує заготовку в контейнер. При цьому виштовхувач і денце (глуха матриця) переміщуються у вихідне положення. Центруюча втулка входить в контейнер. За другу половину ходу плунжера здійснюється прошивка заготовки. Після прошивки включаються циліндри зворотнього ходу, що переміщують траверсу, і пуансон витягується з прошитого склянки. Стакан утримується в контейнері центруючої втулки. Коли траверса головного плунжера досягає певного положення, починається рух траверси з вмонтованою центруючою втулкою. Після того як втулка вийде з контейнера, виштовхувач разом з денцем видає стакан з контейнера. Схема прошивки показана на рисунку 2.18.



а - початок прошивки; *б* - кінець прошивки; *в* - витяг склянки.

Рисунок 2.18 — Схема прошивки заготовки

Калібрування робочого інструмента. Форма і розміри пуансонів визначаються конструктивними особливостями процесів, а також заданою висотою склянки і діаметром прошитого в ньому отвору. Пуансони зазвичай виготовляють із змінною прошивною головкою. Найбільш часто застосовують пуансони з плоскою головкою. На рисунку 2.19 показано загальний вигляд таких пуансонів (а) та із плоскою змінною головкою (б).

Як показали дослідження, відмінності в зусиллі прошивки пуансона з плоскою і напівкруглої головками незначні. Головку пуансона виготовляють з кованої сталі, що містить 0,3% С; 0,3% Мn, 1,0% Si; 1,3% С; 4,2% W; 0,25% V. Після механічної обробки головку пуансона гартують в маслі з 1000-1050°С і відпускають при 600 - 650 ° С. Твердість головки після відпуску 230 НВ.

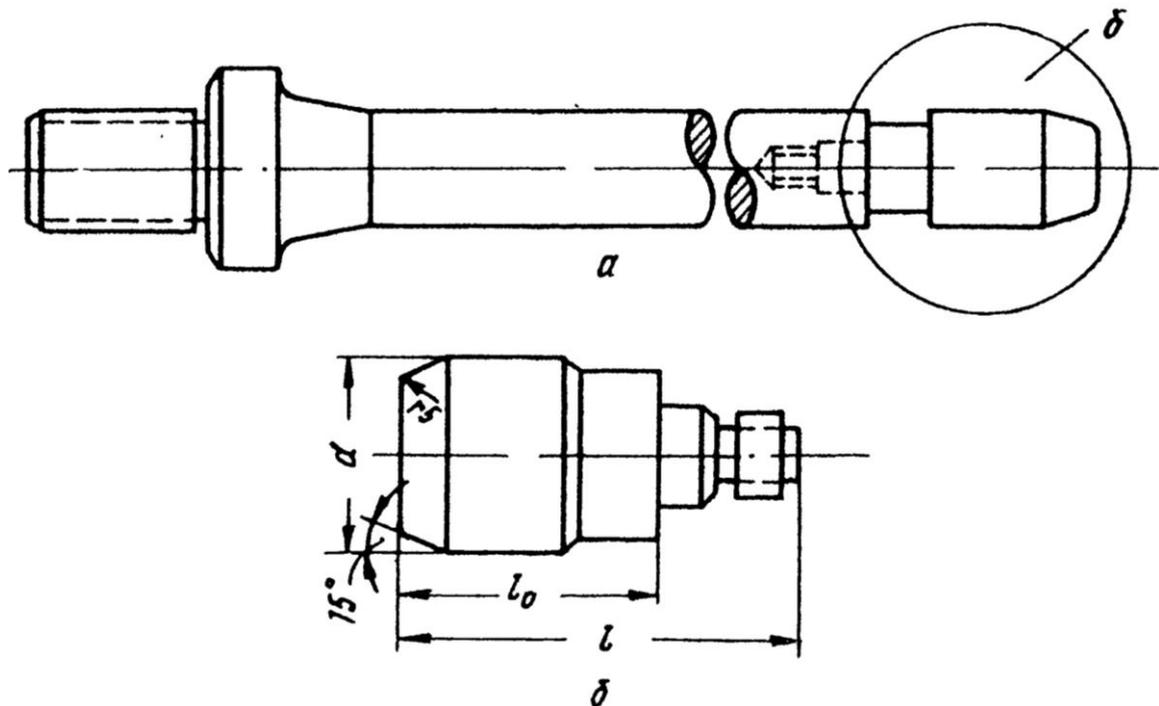


Рисунок 2.19 — Пуансон

Тіло пуансона виготовляється куванням зі сталі з 0,55% С; 0,70% Мп, 0,4% Si; 0,70% Cr; 1,60% Ni; 0,40% Мо; 0,16% V. Поковки піддаються пом'якшувальному відпалу при 650-680 °С. Термічна обробка тіла пуансона після механічної обробки включає загартування в маслі з 820-860 °С, і наступний відпуск при 520-600° С до досягнення твердості 240 НВ. Застосування більш міцної сталі для тіла пуансона пояснюється необхідністю мати в ньому великий опір подовжньому вигину. Тому й термічну обробку тіла пуансона виробляють на велику твердість. Термін служби пуансона становить 3500-5000 прошивок, а змінної головки 2500-3000. Розміри змінних головок пуансона визначаються розмірами виготовлених труб, мм:

| D_T | d | l_0 | l |
|---------|---------|---------|---------|
| 80-90 | 80-100 | 85-100 | 140-470 |
| 100-120 | 105-125 | 105-125 | 180-210 |

Втулки (рисунок 2.20) контейнера мають зовні невелику конусність, завдяки чому досягається найбільш щільне кріплення їх в обоймі. Ділянка втулки, що примикає до робочого конусу, виконаний циліндричним з метою забезпечення кращого захоплення склянки валками елонгатора.

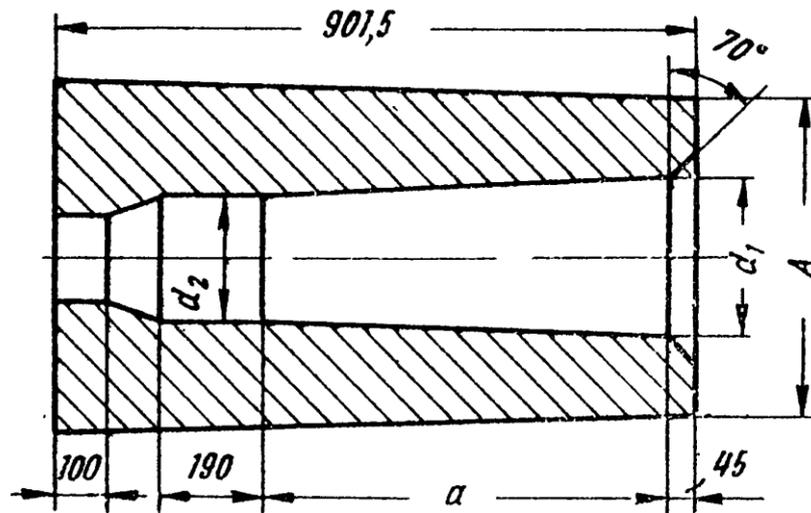


Рисунок 2.20 — Втулка контейнера

Для виготовлення втулок контейнера можуть застосовуватися і чавун, і сталь. Зазвичай застосовують чавун як більш зносостійкий, наступного складу: 3,0% С; 0,70% Mn; 1,5% Si; 6% Ni; 1, 25% Cr; 0,2% P; 0,1% S. Твердість втулки повинна бути в межах 230-270 НВ. Стійкість втулок складає 8-10 тисяч прошивок. Застосовують втулки таких розмірів, мм:

| Сторона квадрата А | d_1 | d_2 | a |
|--------------------|-------|-------|-------|
| 110 | 145,3 | 140 | 531,5 |
| 125 | 174,2 | 169 | 541,5 |

Різностінність склянки є найбільш характерним видом браку при прошивці на пресах. Практично встановлено норму допусків не більше 10%. Різностінність може бути викликана: 1) нахиленим розташуванням осі пуансона щодо осі контейнера, 2) зміщенням осі пуансона паралельно осі контейнера (ексцентрична прошивка). Різностінність першого виду може бути також пов'язана з нерівномірним нагріванням заготовки. Невідповідність розмірів контейнера і заготовки призводить до зміщення останньої до однієї сторони матриці, тобто різностінності другого виду.

2.6. Редукування труб

Прокатку труб з метою зменшення їх діаметра (редукування) досить широко застосовують майже у всіх цехах по виробництву гарячекатаних труб, а також при виготовленні труб зварюванням. Це пояснюється тим, що отримання труб малих розмірів зазвичай пов'язане з відчутними втратами продуктивності трубопрокатних або трубозварювальних агрегатів і, отже, з подорожчанням продукції. Крім того, в деяких випадках, наприклад, прокатка труб діаметром менше 60-70 мм або труб з вельми великою

товщиною стінки і невеликим внутрішнім отвором ускладнена, тому що вимагає застосування оправок занадто малого діаметру.

Редукування здійснюється після додаткового нагріву (або підігріву) труб до 850-1100 °С прокаткою їх на многокліткових безперервних станах (з числом кліток до 24) без застосування внутрішнього інструменту (оправки). В залежності від прийнятої системи роботи цей процес може протікати з збільшенням товщини стінки або з її зменшенням. У першому випадку прокатку ведуть без натягу (або з дуже незначним натягом); а в другому - з великим натягом. Другий випадок, як більш прогресивний, набув поширення в останнє десятиліття, оскільки дозволяє здійснювати значно велику редукцію, а зменшення товщини стінки при цьому розширює сортамент прокатуваних труб більше економічними - тонкостінними трубами.

Можливість стоншування стінки при скороченні дозволяє отримувати на основному трубопрокатному агрегаті труби з дещо більшою товщиною стінки (іноді на 20-30%). Це помітно підвищує продуктивність агрегату.

Разом з тим у багатьох випадках зберіг своє значення і більш старий принцип роботи - вільне редукування без натягу. В основному це відноситься до випадків редукування порівняно товстостінних труб, коли навіть при великому натязі, помітно, зменшити товщину стінки стає важко. Слід зазначити, що в багатьох трубопрокатних цехах встановлені редукційні стани, які розраховані на вільну прокатку. Ці стани ще тривалий час будуть експлуатуватися і, отже, редукування без натягу буде широко застосовуватися.

Розглянемо, як змінюється товщина стінки труби при вільному редукуванні, коли відсутні осьові зусилля натягу або підпору, а схема напруженого стану характеризується стискаючими напруженнями. В. Л. Колмогоров і А. С. Глейберг, виходячи з того, що дійсна зміна стінки відповідає мінімальній роботі деформації, і використовуючи принцип можливих переміщень, дали теоретичне визначення зміни товщини стінки при скороченні. При цьому було зроблено припущення, що нерівномірність деформації істотно не впливає на зміну товщини стінки, а сили зовнішнього тертя не враховували, оскільки вони значно менше внутрішніх опорів. На рисунку 2.21 показані криві зміни товщини стінки від початкової S_0 до заданої S для сталей, які погано зміцнюються, в залежності від ступеня редукування від вихідного діаметра D_{T0} до кінцевого D_T (відношення D_T/D_{T0}) і геометричного фактора-тонкостінних труб (відношення S_0/D_{T0}).

Аналіз цих кривих показує, що тонкостінні труби з відношенням $S_0/D_{T0} < 0,1$ при будь-якому ступені редукування завжди потовщуються, а труби з дуже товстою стінкою при $S_0/D_{T0} > 0,35$ завжди стають більш тонкими. Що стосується труб, тонкостінність яких знаходиться в межах 0,1-0,35, то зміна товщини їх стінки залежить від величини редукування. При цьому, очевидно, є критичний ступінь деформації, при якому товщина стінки завжди зберігається незмінною. При такому ступені редукування опір затіканню

металу всередину труби виявляється настільки значним, що зменшення діаметра дає тільки осьову деформацію (витяжку).

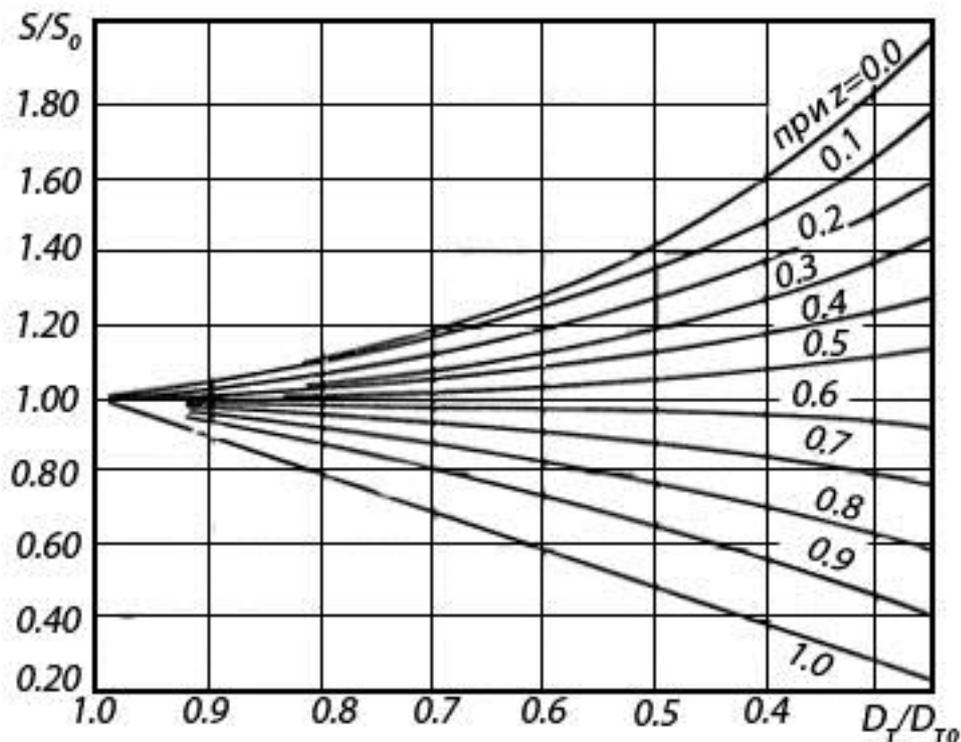


Рисунок 2.21— Криві для визначення зміни товщини стінки $5T$ при скороченні без натягу (по В. Л. Колмогорова і А. С. Глейбергу)

При малих ступенях редукування опір подовжньому затіканню виявляється більше опору затіканню всередину, що викликає потовщення стінки. З ростом величини деформації інтенсивність потовщення стінки зростає. Однак разом з тим зростає і опір затіканню всередину труби. При певній величині редукування потовщення стінки досягає свого максимуму і подальше збільшення ступеня редукування призводить до більш інтенсивного росту опору затіканню всередину і в результаті потовщення починає зменшуватися.

На практиці промислового редукування зазвичай використовують труби з відношенням $S_0/D_{T_0} < 0,1$, а при скороченні більше товстостінних труб з відношенням $S_0/D_{T_0} = 0,1-0,25$ порівняно невелике зменшення діаметра, так що у виробничих умовах при скороченні без натягу відбувається тільки потовщення стінки.

Наведені на рисунку 2.21 криві представляють певні незручності для практичних розрахунків, Так як для їх використання необхідно знати вихідну товщину стінки. Між тим зазвичай відома тільки товщина стінки готової редукованої труби і при використанні цих кривих доводиться задаватися шуканим значенням, тобто користуватися методом послідовного наближення.

У зв'язку з цим великого поширення набули емпіричні формули різних авторів. Так А. С. Глейберг рекомендує користуватися співвідношеннями: для труб з товщиною стінки менше 15 мм:

$$S_0 = S[1 - 0,0044(D_{T0} - D_T)] \quad , \text{ мм} \quad (2.44)$$

для труб з більшою товщиною стінки:

$$S_0 = S - \frac{D_{T0} - D_T}{14,9} \quad , \text{ мм} \quad (2.45)$$

Характер зміни товщини стінки різко змінюється, якщо процес здійснювати з натягом. Як вже зазначалося, наявність і величина осьових напружень характеризуються швидкісними умовами деформації на безперервному стані, показником яких є коефіцієнт кінематичного натягу.

Ступінь натягу металу зазвичай висловлюють через ставлення осьового напруження в металі (напруги натягіння) σ до величини опору деформації k_f , називаючи це відношення коефіцієнтом пластичного натягу:

$$z = \frac{\sigma}{k_f}$$

$$k_f = 1,15\sigma_s$$

де σ_s —межа плинності деформованого металу при температурі прокатки.

Зазвичай вважають, що зміна товщини стінки відбувається в осередку деформації кожної кліти, хоча частково стінка при редукуванні з натягом змінюється і в межклітвівому просторі.

Тому, використавши ті ж допущення, що і при виведення залежності зміни товщини стінки від ступеня редукування при відсутності натягу, В. Л. Колмогоров отримав формулу:

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{D_{T0}}{D_T} \right)^a \quad (2.46)$$

де:

$$a = 0,5 \left(1 - \frac{3z}{\sqrt{4 - 3z^2}} \right)$$

Для спрощення розрахунків на рисунку 2.22 залежність (2.46) наведено графічно. Неважко бачити, що при коефіцієнті пластичного натягу $Z \approx 0,57$ деформація стінки труби не відбувається ($S/S_0=1$).

При менших величинах натягу відбувається потовщення стінки труб ($S/S_0 > 1$). При чому чим інтенсивніше, ніж менше коефіцієнт пластичного натягу. Максимальна потовщення відбувається при роботі без натягу ($Z=0$). В цьому випадку:

$$\frac{S}{S_0} = \sqrt{\frac{D_{T0}}{D_T}} \quad (2.47)$$

що відповідає рисунку 2.22, якщо вважати, що $S_0/D_{T0} < 0,1$ (в більшості випадків ця умова задовольняється). При редукуванні з натягом ($Z > 0,57$) відбувається потоншення стінки. Теоретично максимальна величина коефіцієнта пластичного натягу може дорівнювати одиниці. Це означає, що осьові напруги стають рівними межі текучості. Щоб уникнути розриву труби на практиці не допускають величини коефіцієнта пластичного натягу більше 0,75-0,80. Для підрахунку середнього коефіцієнта пластичного натягу Ной-Манн і Ганке рекомендують формулу:

$$z = \frac{(2 - A_x) \ln \mu_x + (1 + A_x) \ln \frac{D_{Tx} - S_x}{D_{Tx-1} - S_{x-1}}}{(2 - A_x) \left[\ln \mu_x - \ln \frac{D_{Tx} - S_x}{D_{Tx-1} - S_{x-1}} \right]} \quad (2.48)$$

$$A_x = 0,5 \left(\frac{S_{x-1}}{D_{Tx-1}} + \frac{S_x}{D_{Tx}} \right)$$

де:

μ_i - коефіцієнт витяжки в i -тій клітці.

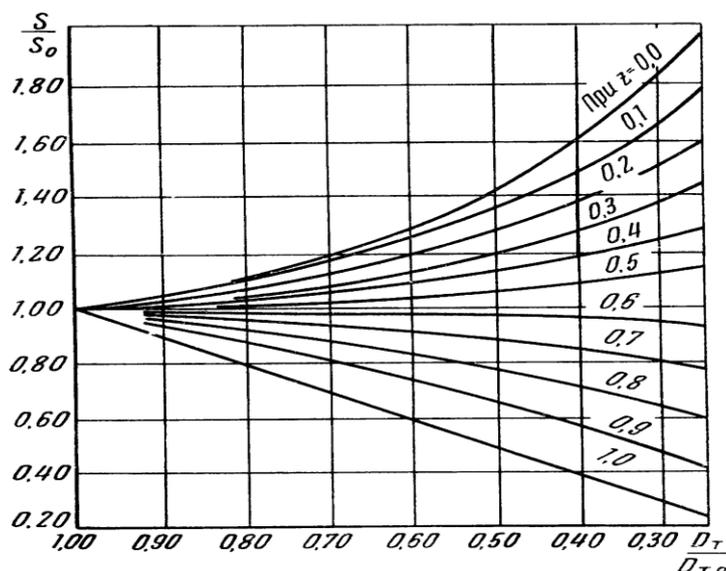


Рисунок 2.22 — Криві для визначення зміни товщини стінки при редукуванні з натягом (по В. Л. Колмогорова)

За цією формулою, знаючи діаметр і товщину стінки до редукування і діаметр труби після редукування, а також задавшись коефіцієнтом пластичного натягу, можна визначити товщину стінки труби після редукування. Такий розрахунок можна робити для кожної клітці або в цілому по всьому стану.

При редукуванні з натягом умови деформації кінців труб відрізняються від умов деформації середини труби, коли процес прокатки вже стабілізувався. В процесі заповнення стану або при виході труби зі стану кінці труби сприймають лише частина натягу, а прокатка, наприклад в першій клітці до моменту заходу труби в другу кліть, взагалі проходить без

натягу. В результаті кінці труб завжди більш товсті, що є недоліком процесу редукування з натягом.

Довжина l_k потовщених кінців залежить в основному від відстані C між клітями стану, ступеня редукування і величини натягу. Ступінь редукування і величина натягу в кінцевому рахунку визначають сумарну витяжку. Довжина l_k потовщених кінців може бути визначена за емпіричними залежностями різних авторів. А. С. Глейберг і А. С. Нікітін рекомендують наступну формулу для визначення сумарного потовщення переднього і заднього кінців труби:

$$l_k = 2,5(\mu + 1)C\sqrt[4]{z} \quad (2.49)$$

Фірма Етна-Стандарт довжину потовщеного кінця рекомендує розраховувати за формулою, яка після перетворення отримує вид:

$$l_k = 2C \frac{D_{T0} - S_0}{D_T - S} \quad (2.50)$$

Характер зміни товщини стінки по довжині труби показаний на рисунку 2.23. Як видно з цього рисунка, на кінцевій ділянці, рівному приблизно одному межклетевому відстані, товщина стінки має однакову максимальну величину, а потім інтенсивно зменшується до величини, стабільної по всій довжині труби.



Рисунок 2.23 — Зміна товщини стінки по довжині труби при редукуванні з натягом

Величина обрізу може бути дещо менше довжини потовщеного кінця через використання плюсового допуску на товщину стінки. Наявність потовщених кінців в значній мірі впливає на економічність процесу редукування, так як ці кінці підлягають обрізці і є витратами виробництва. У зв'язку з цим процес прокатки з натягом застосовують тільки в разі отримання після редукування труб довжиною більше 40-50 м, коли відносні втрати в обріз знижуються до рівня, характерного для будь-якого іншого способу прокатки.

Наведені методи розрахунку зміни товщини стінки дозволяють у кінцевому підсумку визначати коефіцієнт витяжки як для випадку вільного редукування, так і для випадку прокатки з натягом. Відповідно до закону сталості секундних обсягів для чисел оборотів валків і катають діаметрів можна записати:

$$\frac{n_x}{n_{x-1}} = \frac{D_{x-1}}{D_x} \mu_x \quad (2.51)$$

Катаючий діаметр для кліті в разі вільної прокатки визначається за формулою:

$$D_x = D_i - \cos\theta_k D_{Tx}$$

де D_i - ідеальний діаметр валка (з урахуванням зазору).

Причому для двовалкових станів кут приймають рівним, як і при прокатці на оправці, приблизно 40° ($\cos 40^\circ = 0,75$), а для трьохвалкових близько 20° ($\cos 20^\circ = 0,885$). При прокатці з натягом катає діаметр буде іншим, оскільки в цьому випадку спостерігається деяка пробуксовка. Коефіцієнт пробуксовки залежить в основному від величини обтиснення труби в даній кліті і величини натягу. Тоді:

$$\frac{n_x}{n_{x-1}} = \frac{D_{x-1} \mu_x}{D_x \xi_x} \quad (2.52)$$

При обтисненні, рівному 8-10%, і при коефіцієнті пластичного натягу 0,7-0,75 величина пробуксовки характеризується коефіцієнтом = 0,83-0,88. З розгляду формул (2.51 і 2.52) неважко помітити, як точно повинні дотримуватися швидкісні параметри в кожній кліті, щоб прокатка протікала по розрахунковому режиму. Груповий привод валків в редуційних станах старої конструкції має постійне співвідношення числа оборотів валків у всіх клітях, які тільки в частому випадку для труб одного розміру можуть відповідати режиму вільної прокатки. Редукування труб всіх інших розмірів буде відбуватися з іншими витяжками, отже, вільний режим прокатки не буде витримуватися. Практично в таких станах завжди процес протікає з невеликим натягом. Індивідуальний привід валків кожній кліті з тонкою регулюванням їх швидкості дозволяє створювати різні режими натягу, в тому числі і режим вільної прокатки. Питомий тиск при скороченні без натягу можна визначати за наступною формулою (2.8). Коефіцієнт η , що входить в цю формулу:

$$\eta = 1 + 0,5 \frac{D_{Tx}}{l_d} \sqrt{\frac{S_x}{D_{Tx}}}$$

а довжина осередку деформації:

$$l_d = \sqrt{R_{мин} \Delta D_{Tx}}$$

де ΔD_{Tx} – обтиснення труби по діаметру.

Повний тиск прокатки, рівне $P = rF$, можна розрахувати, якщо попередньо знайти площу контактної поверхні. З достатньою для практичних розрахунків точністю можна прийняти:

$$F = (0,9 \div 0,95) l_d D_{T.c.p} \sin \frac{\pi}{a} \quad (2.53)$$

де a – число валків у кліті;

$D_{T.c.p}$ – середній діаметр труби, мм.

В. П. Анісіфоров рекомендує наступну залежність для визначення питомих тисків при скороченні з натягом:

$$p = \eta k_f \frac{2S}{D_{T.сп}} \left[1 - \left(\frac{1}{3} z_{II} + \frac{2}{3} z_3 \right) \right] \quad (2.54)$$

де z_{II} і z_3 – коефіцієнти переднього і заднього натягу.

Питомий тиск при скороченні зі збільшенням натягу істотно зменшується. Як видно з цієї формули, при прокатці з натягом, близькими до максимально можливого, питомий тиск може знизитися майже в 3 рази. Розрахунки на міцність клітей слід проводити на випадок, коли відбувається заповнення стану металом і натяг одно кінцю. За експериментальними даними, отриманими при прокатці труб розміром 46x4 мм, фактичний тиск на валок при сталому процесі з температурою прокатки 950-1000° С становлять 58-118 кН (6-12 т). Момент обертання валків кожної кліті в разі відсутності сил натягу буде визначатися формулою:

$$M = Pl_D \psi \quad (2.55)$$

де ψ - коефіцієнт, що враховує положення точки додатка рівнодіючої (при скороченні без натягу можна прийняти $\psi = 0,5$).

При деформації з натягом, коли з'являються додаткові осьові зусилля натягу, момент прокатки може значно змінюватися. Сумарний обертовий момент в цьому випадку може бути розрахований за формулами В. П. Анісіфорова:

для двовалкових станів:

$$M = PD_{Tx} f \left[\frac{D_i}{D_{Tx}} \left(\frac{\pi}{2} - 2\theta_k \right) - (1 - 2 \sin \theta_k) \right] \quad (2.56)$$

для трьохвалкових станів:

$$M = PD_{Tx} f \sqrt{3} \left[\frac{D_i}{D_{Tx}} \left(\frac{\pi}{3} - 2\theta_k \right) - \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - 2 \sin \theta_k \right) \right] \quad (2.57)$$

де θ_k - кут, що характеризує катаючий діаметр;
 f - коефіцієнт тертя;

D_i - ідеальний діаметр валка, мм.

Оскільки передній і задній натяг створюють моменти, спрямовані в різні боки, то загальний момент обертання валків в кожній кліті може зростати або зменшуватися залежно від співвідношення зусиль переднього і заднього натягу. У цьому відношенні умови, в яких знаходяться початкові і останні 2-3 кліті, неоднакові. Якщо момент прокатки в першій кліті в міру проходження труби в наступних клітях зменшується за рахунок натягу, то момент прокатки в останніх клітях, навпаки, повинен бути вищим, так як ці кліті відчувають в основному заднє натяг. І лише в середніх клітях в зв'язку з близькими значеннями переднього і заднього натягу момент прокатки при сталому режимі мало відрізняється від розрахункового. При розрахунку міцності вузлів приводу стану, який працює з натягом, необхідно мати на увазі, що момент прокатки короткочасно, але вельми різко зростає в період захоплення труби валками, що пояснюється великою різницею в швидкостях

труби і валків. Виникаюче при цьому пікове навантаження, що перевищує усталену іноді в кілька разів (особливо при деформації з великим натягом), може послужити причиною поломок механізму привода. Тому при розрахунках це пікове навантаження враховують введенням відповідного коефіцієнта, що приймається рівним 2 – 3.

Контрольні питання:

- 1. Вихідний метал для бесшовної прокатки труб.*
- 2. Дефекти за зливках і заготовках.*
- 3. Обладнання для підготовки вхідного металу.*
- 4. Прокатка труб на безперервному стані.*
- 5. Основні геометричні характеристики деформації під час прокатки труб.*
- 6. Зусилля, рівнодіюча сил при прокатці труб.*
- 7. Схема прокатки на трьохвалковому розкатному стані.*
- 8. Вплив зміни кута подачі та обтиснення на товщину стінки під час поперечно-гвинтової прокатки.*
- 9. Схема прокатки на автомат-стані.*
- 10. Осередок деформації при прокатці на автомат-стані*
- 11. Схема прошивки за методом Едгарда.*
- 12. Принцип дії горизонтального гідравлічного пресу.*
- 13. Сутність редукування труб.*

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 ацетиленокисневого) 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.

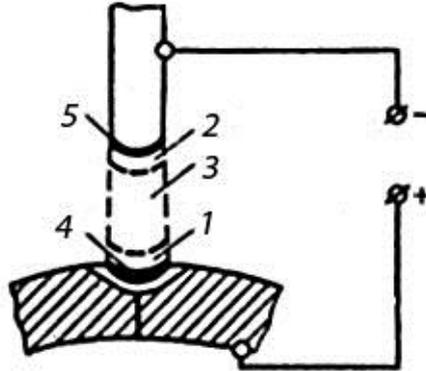


Рисунок 3.1— Схема зварювальної дуги

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 $\eta = 0,8 - 0,95$.

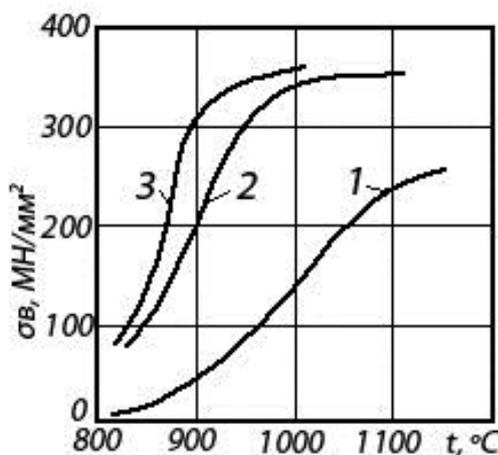
3.3 Особливості процесів зварювання труб тиском

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 МН/м^2 (1 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/м² (кг/мм²)

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 роликками 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 клітями. 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 μ_0 - коефіцієнт мінімально необхідного обтиснення для квадратної труби;

μ - 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 десятків 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.

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).

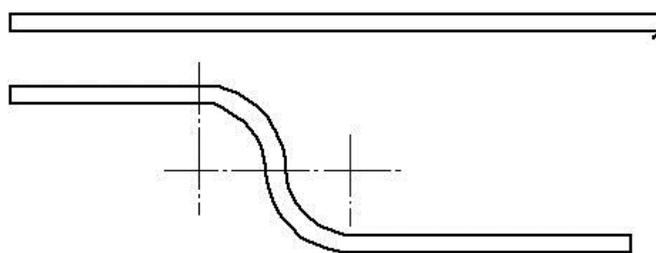


Рисунок 4.1 — Подвійний вигин пластинки

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.

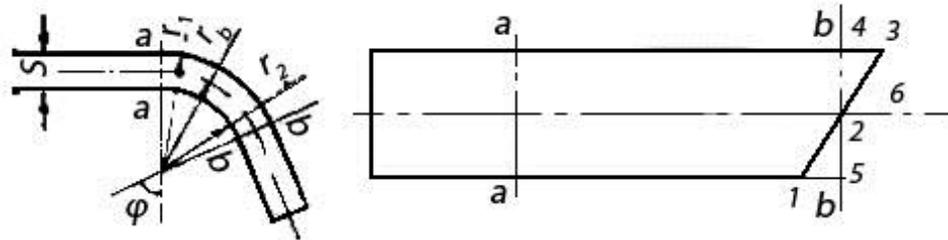


Рисунок 4.2 — Зміна довжини волокон при вигині

Робота деформації на цьому шляху дорівнює:

$$A = \frac{bs^2\pi\varphi\sigma_T}{720} = \frac{bs^2\varphi\sigma_T}{4} \quad (4.1)$$

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 калібруемого 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.

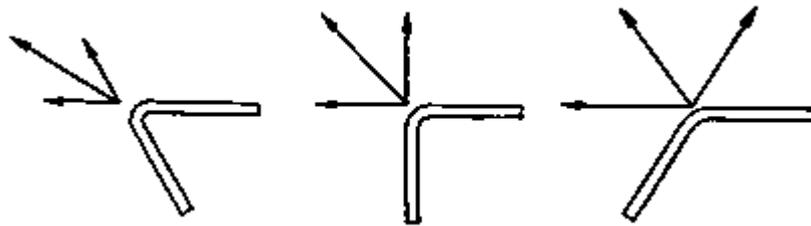


Рисунок 4.3 — Залежність величини тангенціальних сил від кута, утворюваного сторонами профілю при одній і тій же величині рівнодіючих.

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 сходишками. Різниця в товщині стінки двох сусідніх ділянок визначається величиною часткового відведення оправки.

Розглянемо спосіб узгодження відведення оправлення 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-роликовими 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 роликовому стані.*

5. ВИРОБНИЦТВО ГНУТИХ ПРОФІЛЕЙ

5.1 Загальні відомості

Виробництво гнутих профілів методом профілювання смугового, стрічкового й листового металу на профілезгинальних станах і застосування цих профілів у промисловості й будівництві мають ряд таких переваг:

1. Метод гнуття у валках дає можливість одержувати фасонні профілі з найбільш раціональним розподілом металу по перетину й у зв'язку із цим з максимальною твердістю й міцністю їх при мінімальній витраті металу.

2. На профілезгинальних станах можна одержати профілі, які дадуть можливість створювати нові типи конструкцій, а також елементи металевих конструкцій із одного профілю. Це забезпечить економію металу, а в процесі складання різко скоротиться необхідність в операціях зварювання й клепки окремих елементів.

3. Застосування в різних конструкціях гнутих профілів зі звичайною формою перетину косинця, швелера й інших, що мають однакову товщину за всім перетином, полегшує виконання технологічних операцій по складанню й зменшує витрати праці на монтаж цих конструкцій.

4. Виготовлення ряду деталей профілюванням усуває значні витрати на механічну обробку й більші втрати металу при виготовленні їх іншими способами. Коефіцієнт використання металу при профілюванні перебуває в межах 99,5-99,8%; величина шлюбу при профілюванні в 3-5 раз менше, чим при гарячій прокатці на сортових станах.

5. Холодне профілювання металу супроводжується наклепом, у результаті якого границя текучості зростає. При відповідній технології профілювання гнуті профілі на 10-15% міцніше вихідного металу [40]. При застосуванні гнутих профілів ця обставина дає можливість здійснити додаткове полегшення ваги машин і металевих конструкцій.

6. При профілюванні може бути забезпечена значно більш висока точність у розмірах профілів, чому при горячен прокатці. Так, наприклад, профілі малих розмірів можуть виготовлятися в межах другого класу точності. Точність у розмірах профільованих елементів забезпечує їхня взаємозамінність і можливість виготовлення профілів, що з'єднуються між собою замками й іншими типами ковзних з'єднань сполучених елементів.

7. Гнуті профілі, виготовлені на профілезгинальних станах, не вимагають наступного виправлення, тому що при відповіднім налагодженні стану можуть бути усунуті вигини смуг у вертикальній та горизонтальній площині. У свою чергу, вихідні заготовки товщиною до 4,5 мм перед профілюванням не вимагають виправлення.

8. Гнуті профілі з холоднокатаного аркуша й стрічки відрізняються високою якістю поверхні, що допускає полірування й декоративне покриття їх без додаткової обробки.

Крім того, процес профілювання дозволяє формувати профілі із заготовок з попередньо обробленою поверхнею або поверхнею з покриттям без порушення її якості.

Висока якість поверхні, гарний зовнішній вигляд гнутих профілів забезпечили широке застосування їх для різних оздоблювальних і декоративних елементів у будівництві й машинобудуванні.

9. Технологічний процес профілювання може виконуватися в одній безперервній лінії з іншими виробничими процесами, наприклад, автоматичною шовною або точковим зварюванням, пайкою, зшивкою частин, різанням металу на окремі стрічки й мірні довжини, обрізанням і вирівнюванням крайок на заготовках, одержанням різних типів відкритих або закритих крайок на замкнених профілях, попереднім надрізанням смуг перед профілюванням, зрізуванням смуг на конус, штампуванням, пробиванням отворів, вирізкою, тавруванням, рифленням, гофрируванням, виправленням, гнучкої готового профілю по дузі, згортанням у бунти, плакуванням, фарбуванням, травленням, лудінням, цинкуванням, хромуванням і ін. Комбінація профілювання з іншими технологічними процесами сприяє різкому збільшенню продуктивності праці, поліпшенню якості готової продукції, зменшенню витрат допоміжних матеріалів, електроенергії й робочої сили.

10. Устаткування, необхідне для профілювання металу у валках, менш складно, більш легко й просто в обслуговуванні й дешевше у виготовленні, чому прокатне або пресове. Профілювання не вимагає ні нагрівання металу, ні встаткування для термообробки його до або після формування. Капіталовкладення й експлуатаційні витрати при профілюванні значно менше, чим при інших видах обробки.

5.2 Технологія виробництва гнутих профілей

Технологічний процес профілювання на агрегатах безперервної дії.

На всіх профілезгинальних агрегатах незалежно від прийнятої технологічної схеми (безперервного профілювання — з рулону або періодичного поштучного) увесь процес можна розділити на три основні етапи: 1) підготовка смуги до профілювання; 2) формування смуги; 3) обробка готового профілю.

По першій схемі профілювання рулони стрічки залежно від їхнього розміру й ваги подаються краном або вручну в розмотувач. У розмотувач встановлюється один або два рулони. Передній кінець смуги першого рулону вручну пропускається через пару контрольних роликів, установлених на корпусі розмотувача вертикальні ролики, що й направляють, або лінійки перед першою парою робочих валків.

Для забезпечення «безперервного» процесу профілювання задній кінець смуги першого рулону зварюється в стик або внахлист(залежно від товщини заготовки) з переднім кінцем смуги другого рулону на стаціонарно

встановлених машинах стикової або крапкового зварювання або вручну за допомогою дротових електродів. Перед зварюванням кінці стрічки рулону обрізуються ручними або механічними ножицями для одержання звареного шва мінімальної ширини. Після зварювання зварений шов розбивається молотком до товщини, рівній товщині вихідної заготовки. Ділянки крайки стрічки в місці зварювання запиліваються напилком вручну.

Зварювання кінців смуг внахлист допускається до товщини не більш 1,2 мм, тому що при більш товстих заготовках можливі випадки поломки робочих валків або вигин валів при проходженні ділянок зі звареним швом.

Більш зручної є зварювання кінців смуг у стик на спеціальній стикозварювальній машині з наступним зачищенням звареного шва. Особливо широке поширення одержали стикозварювальні машини при виробництві замкнених профілів.

За даними закордонної практики, на всіх профілезгинальних станах зварюють кінці смуг товщиною до 3 мм на встановлених безпосередньо в розматувачах електрозварювальних машинах або газовим зварюванням (для нержавіючих сталей). Шви зачищають вручну зубилом і молотком із зупинкою агрегату, а на трубозварювальних станах, щоб не переривати зварювання шва труби, улаштований горизонтальний петлеутворювач довжиною більш 40 м. Петля в петлеутворювачі натягається електролебідкою за допомогою сталевого троса.

Кінці рулонів товщиною 4 -6 мм зварюють дротовим електродом вручну із зупинкою профілезгинальному стану.

На деяких профілезгинальних станах перед профілюванням вихідна заготовка зазнає виправленню на роликотправильній машині. Однак на більшості машинобудівних заводів гнуті профілі виготовляють зі стрічки товщиною від 0,8 до 1,5 мм, для якої немає необхідності в спеціальному виправленні перед профілюванням.

При профілюванні нержавіючих сталей і кольорових металів особлива увага приділяється стану поверхні вихідної заготовки, тому що більшість профілів із цих матеріалів є лицевальними або декоративними. Ці профілі надалі не повинні зазнати додатковим операціям обробки поверхні.

Для видалення з поверхні вихідної заготовки металеві стружки, пилу, механічних забруднень, що рухається стрічку іноді промивають у розчинниках і у всіх випадках протирають за допомогою дрантя. Після протирання стрічка пропускається через просочені машинним маслом «кінці», вату або найчастіше через повстяні протирання для нанесення на поверхню вихідної заготовки тонкого шару масла й зняття механічних забруднень.

Якщо профіль зварюється уздовж осі, то заготовка ретельно очищається від забруднень і не зазнає змащенню, тому що наявність останньої погіршує якість зварювального шва.

У тих випадках, коли необхідно забезпечити різання готового профілю без викривлення його кінців, перед станом слід зробити надрізи у

відповідних місцях стрічки. Наприклад, при формуванні й-образного профілю з більшими полками надрізи робляться по всій ширині полиць із двох сторін стрічки (рисунок 5.1). Це зменшує відходи металу при різанні готового профілю, дає можливість робити безперервне профілювання й одержати якісний готовий профіль без змінання кінців у місцях різь.

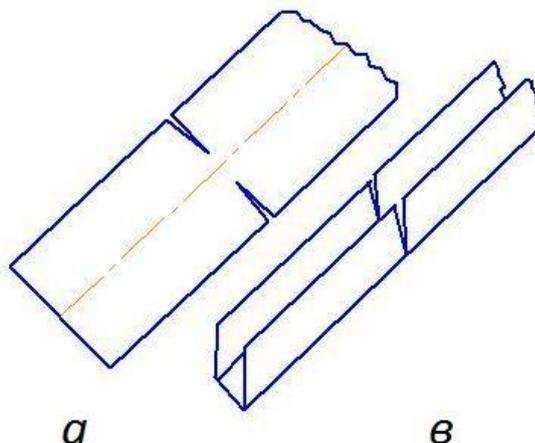


Рисунок - 5.1. Схема надрізу вихідної заготовки перед профілюванням U-Образних профілів: а — на смузі; б — на готовому профілі.

Технологічний процес профілювання на агрегатах періодичної дії.

Сталева смуга в рулонах з обрізаними крайками й кінцями подається зі складу заготовок мостовим електричним краном на транспортер рулонів 1 (рисунок 5.2), звідки рулони поштучно подаються на розмотувач 2.

На розмотувачі в рулоні відгинається передній кінець смуги й задається в ролики правильної машини 3. Як тільки передній кінець потрапив у роликорправильну машину, рулон центрується конусами розмотувача.

Смуга, що розмотується, проходить через правильну машину, зазнає виправленню й по холостому рольгангові 4 подається в, що задають ролики летучих ножиців 5, які створюють постійну швидкість смуги на вході в ножиці.

Летучими ножицями смуга розрізється на частині мірної довжини, а вкорочені кінці спеціальним пристроєм скидаються в короб. Мірні смуги приводним рольгангом 6 транспортуються до машини, що промаслює, 7.

Для зняття некондиційних аркушів або смуг перед профілезгинальним станом установлений скидач із упором, за допомогою якого штаби або смуги скидаються з рольганга в кишені.

Для напрямку смуг у стан ролики рольганга, що подає, постачені ребордами, які встановлюються по довжині бочки роликів залежно від ширини заготовки, і цим самим забезпечують центрування смуг, що задаються у валки профілезгинального стану. Крім того, перед першою кліткою стану встановлені регульовані напрямні — бічні ролики.

Профілювання смуги починається з моменту вступу її в першу пару формуючих валків стану 8. Кількість клітей, що брав участь у процесі

профілювання, залежить від величини й складності профілю. Профілювання смуги проводиться з поливанням вогнища деформації емульсією, яка подається до робочих клітей з маслопідвала.

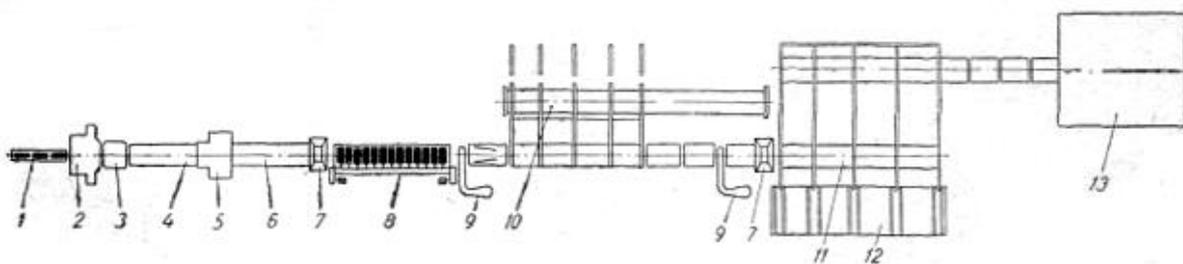


Рисунок - 170. План розташування обладнання прифілезгинального агрегату 2-7 х 80-500

Між горизонтальними клітьми встановлені допоміжні (регульовані по висоті й уздовж осі роботах валків) вертикальні ролики, які втримують профіль у строго певному положенні при переході його від кліті до кліті. Крім того, вони можуть бути використані як робітники при куті підгинання більш 45, а також для одержання кутів перегину, що враховують пружіння металу.

З метою запобігання утвору петель між клітьми основні діаметри валків від кліті до кліті збільшуються на 0,1—0,4%. Співвідношення діаметрів верхніх і нижніх валків становить 2,33. Основний діаметр верхнього валка першої кліті рівний 536,59 мм, нижнього валка — 230,0 мм. Подушки нижніх валків укладаються в станинах на підбивках для того, щоб витримати горизонтальність лінії профілювання.

Отриманий профіль, виходячи зі згинального стану на транспортний рольганг, проходить через сушильний пристрій 9, де підігрітим повітрям здуває емульсія.

Що відводить рольгангом з підвищеною швидкістю готовий профіль транспортується до машини, що промаслює, форсуночного типу, проходячи через яку профіль покривається тонким проспіваємо змащення для запобігання від корозії. Перед, що промаслює машиною встановлений другий сушильний пристрій для остаточного видалення емульсії перед промасленням.

Промаслені смуги подаються рольгангом на інспекторський стіл 10. Після огляду готові профілі надходять на ділянку набору 11, звідки пакетовані профілі передаються на укладальник 13, а профілі, які не штабелюються, скидаються в кишені ваг 12. Після зважування пакети погоджуються й передаються краном на склад готової продукції.

У деяких випадках на агрегатах періодичної дії підготовка вихідної заготовки до профілювання трохи відрізняється від наведеної вище схеми. Рулон стрічки мостовим краном установлюється в односекційний розмотувач

із горизонтальною віссю обертання. Передній кінець рулону відгинається вручну й подається в роликотправильну машину.

Після правильної машини передній кінець смуги обрізується на стаціонарних гільйотинних ножицях. На цих ж ножицях стрічка розрізється на смуги мірної довжини відповідно до довжини готового профілю. Якщо буде потреба одержання заготовок з точними розмірами по ширині після різання на смуги (мірні довжини) крайки їх обрізають на дискових ножицях.

Необхідно відзначити, що при недостатньому для нормального профілювання даного складного профілю кількості робочих валків і допоміжних роликів у деяких випадках профіль все-таки може виготовлятися при скороченні числі проходів. У цих випадках процес профілювання полегшує за рахунок застосування змащення заготовок. Наприклад, при виготовленні профілю для пожежних сходів на Калінінському вагонобудівному заводі профіль був отриманий на наявних восьми клітках тільки завдяки застосуванню змащення.

Застосування змащення при профілюванні у всіх випадках полегшує процес формування, поліпшує якість поверхні готового профілю, зменшує зношування робочих валків і допоміжного оснащення.

У якості змащення можуть бути використані тваринний жир, машинне масло, гас (при виготовленні профілів з алюмінію).

Матеріал вихідної заготовки й запропоновані до нього вимоги.

Більшість матеріалів (близько 98%), використовуваних для формування на профілезгинальних станах, являють собою аркуші, смуги або стрічки з обрізаними крайками. Вихідні заготовки, необхідні для формування гнутих профілів різної ширини й товщини, з катаними крайками одержати дуже важко.

Вихідні заготовки можуть поставлятися на профілезгинальні стани із травленою або нетравленою поверхнею залежно від складності, призначення й розмірів профілю, для якого вони призначені. У тих випадках, коли гнутий профіль після формування зварюється, вихідна заготовка повинна поставлятися без змащення. У всіх інших випадках поставка незмазаних заготовок для профілювання небажана, тому що при зберіганні заготовки зазнають корозії.

Матеріалом для виготовлення гнутих профілів служать сталі, кольорові метали й різні сплави.

Кожної зі звичайних металів — гарячекатана, холоднокатана, легована сталі, алюміній, латунь, бронза, цинк, мідь, а також плаковані або біметалічні матеріали (пофарбовані, луджені, оцинковані й емальовані) можуть бути використані для виготовлення профілів різної форми й розмірів методом формування на профілезгинальних станах.

Також успішно можна профілювати магній, процес формування якого вимагає невеликого підігріву. Такий підігрів вихідних заготовок і валків

здійснюється за допомогою батарей інфрачервоних ламп, звичайно розташованих на столі, що задає, і на верхній частині станин.

Сталеві смуги й аркуші, що зазнають формуванню на профілезгинальних станах, повинні мати мінімальне подовження 10—15% і максимальний опір розриву 70—80 кг/мм².

Матеріал, що йде на виготовлення складних гнутих профілів, не повинен мати структурно вільного цементиту й різко вираженого границі текучості. У першому випадку можлива поява тріщин у місцях вигину смуги, а в другому — рябизни на поверхні готового профілю.

Найпоширенішими сталями для профілювання є сталі марок 08 -Юкп і Ст. 3 не тільки тому, що вони пластичні й легко формуються, але й тому, що мають найбільше застосування. Придатність для профілювання високовуглецевих і легованих сталей визначається їхньою пластичністю й твердістю. Нержавіючі сталі, які застосовуються для виготовлення гнутих профілів, за даними закордонної практики, можна підрозділити на три групи:

- 1) проста хромиста сталь, що містить від 11,5 до 13,5% хрому й не більш 0,15% вуглецю;
- 2) хромонікелева сталь, що містить від 17 до 19% хрому, від 8 до 20% нікелю й не більш 0,2% вуглецю;
- 3) прості хромисті сталі, що містять від 14 до 18% хрому й максимум 0,12% вуглецю.

Профиліюємість нержавіючих сталей першої групи така ж, як і звичайних вуглецевих сталей, зі змістом вуглецю близько 0,3% з відносним подовженням близько 30% і відносним звуженням близько 76% для п'ятикратних зразків.

Сталі другої групи найчастіше застосовуються для декоративних покриттів. Відносне подовження цих сталей повинне становити близько 63%, а відносне звуження- до 73% для п'ятикратних зразків. Зі сталей третьої групи також можуть виготовлятися оздоблювальні профілі, особливо для автомашин, обробки кузовів, радіаторних ґрат, ободків фар і ін. Однак при підвищених вимогах до корозійної стійкості деталей бажане застосовувати сталі другої групи.

Для нержавіючої сталі бажана присадка до 0,4% титану, який поліпшує формування матеріалу на профілезгинальних станах і зберігає якість поверхні готового профілю.

Сталі інших марок, які наближаються по своїй пластичності до холоднокатаної вуглецевої сталі, можуть бути використані при профілюванні, але при меншій швидкості й більшій кількості формуючих валків.

Необхідно відзначити, що нержавіючі сталі слід профілювати з меншою швидкістю, тому що при більших швидкостях можливий утвір задирів на поверхні профілів.

Нікель і нікелеві сплави більш важко зазнають профілюванню, чому нержавіючі сталі. Тому вони повинні формуватися при менших швидкостях, чому нержавіючі сталі.

Цинк і цинкові сплави ставляться до найбільше легко профілюємих матеріалів.

Не всі сталі й сплави можна застосовувати для будь-якої форми профіля. Вибір матеріалу визначається товщиною перетину, формою й призначенням профілю.

Плаковані матеріали можна профілювати, як і сталі звичайних марок, по якість готового профілю багато в чому залежить від технології плакування. Покриття повинне бути досить пластичним для того, щоб обгинати основний метал і формуватися одночасно з ним, і в той же час досить твердим, щоб витримувати тиск робочих валків.

Звичайно для плакованих матеріалів не потрібно додаткового числа формуючих валків, по необхідне більш ретельне настроювання стану, для того щоб можна було забезпечити мінімальний тиск на смугу по всій ширині профілю.

Підготовка заготовок до профілювання

Розмотування. Гарячекатані або холоднокатані рулони смуг, що надходять у цех або па ділянка гнутих профілів, укладаються на складі заготовок електромостовими кранами за допомогою з-образної скоби в спеціальні стелажі.

Наступна подача рулонів зі складу заготовок до профілезгинального агрегату здійснюється кранами відповідно до графіка-завданням ПРБ цеху. На профілезгинальних станах машинобудівних заводів рулони смуг подаються краном або вручну (залежно від розміру й ваги рулонів) у розмотувач із горизонтальною або вертикальною віссю обертання. У розмотувач можна встановлювати один або два рулони. Установка другого рулону смуги в розмотувач дає можливість скоротити час, необхідне для переходу на профілювання смуги з нового рулону.

Після цього передній кінець смуги першого рулону вручну пропускається через пару контрольних роликів, установлених на корпусі розмотувача вертикальні ролики, що й направляють, перед першою парою робочих валків.

На профілезгинальних станах для масового товарного виробництва гнутих профілів рулони порожнє укладаються краном за допомогою скоби на візки ланцюгового транспортера завантажувального пристрою. Одночасно на візки транспортера може бути покладено три рулони. Ланцюговий транспортер поштучно й по черзі подає рулони на підйомно-хитний стіл розмотувача. Після подачі одного рулону транспортер автоматично вимикається. Транспортер подає черговий рулон шляхом включення його двигуна з пульта керування.

На підйомно-хитному столі розмотувача рулон піднімається й за допомогою приводного ролика повертається в положення, зручне для відгинання переднього кінця зовнішнього витка рулону.

Відгинання зовнішнього витка рулону здійснюється скребковим відгибачем, укріпленим у рухливій рамі, що переміщається в напрямних пазах станини розмотувача. Відігнутий зовнішній виток рулону після попереднього виправлення переднього кінця смуги правильними роликами відгибача подається за допомогою розсувних лінійок до роликів, що подають, правильної машини.

Рулон перекочується на піднімальний стіл центровача за рахунок натягу переднього кінця смуги тягнучими роликами правильної машини. Піднімальний стіл центровача разом з рулоном установлюють так, щоб конуси розмотувача могли вільно входити в отвір рулону.

Рулон розмотується після затискача його конусами розмотувача. При цьому піднімальний стіл центровача повинен перебувати в крайньому нижньому положенні. Підготовка чергового рулону до розмотування, т. е. поворот рулону під відгибач, відгинання зовнішнього кінця рулону для подачі в, що подають ролики правильної машини повинні проводитися одночасно з розмотуванням попереднього рулону на конусах розмотувача.

Виправлення. На деяких профілезгинальних станах передній кінець рулону при товщині смуги до 3 мм відгинається вручну й подається в роликорправильну машину. Правильна машина призначена для створення необхідного для розмотування рулону тягнучого зусилля, виправлення смуги і її транспортування до ножиців.

Правильна машина складається з робочої кліті роликів, що подають, правильних роликів і натискного пристрою. Завдяки наявності натискного пристрою її можна набудувати для виправлення смуг різної товщини. Для поліпшення виправлення смуг товщиною до 3 мм рама верхніх правильних роликів стосовно рами нижніх установлюється під невеликим кутом так, що величина зазору між роликами по ходу руху смуги трохи збільшується.

На високомеханізованих і автоматизованих профілезгинальних станах передній кінець смуги від розмотувача подається автоматично в ролики правильної машини.

Необхідно відзначити, що на профілезгинальних станах, призначених для профілювання смуг зі сталі й кольорових металів товщиною до 4 мм, правильні машини відсутні, тому що немає необхідності в їхній установці. На таких станах роль правильної машини виконує перша пара валків, що подають, стану. При цьому краща якість виправлення забезпечується за рахунок невеликої ввігнутості бочки нижнього валка й відповідної до опуклості верхнього.

Різання. Вихідна заготовка розрізеться тільки на станах періодичної дії.

На немеханізованих станах після правильної машини передній кінець смуги обрізається на стаціонарних гільйотинних ножицях, які встановлені в

одній лінії зі станом. На ці ж ножицях смуга розрізеться на частині мірної довжини відповідно до необхідної довжини смуг готового профілю.

На профілезгинальних агрегатах масового виробництва різання рулонної смуги на частині мірної довжини проводиться на летучих ножицях, установлених у потоці за правильною машиною. Довжина смуг, що відрізаються, становить від 3 до 12 м.

Для одержання смуг мірної довжини необхідно, щоб у момент різання смуги окружна швидкість ножів летучих ножиців була дорівнює швидкості виправлення смуги й окружної швидкості роликів, що подають. Порушення цього правила може викликати скривлення смуг і петлеутворення.

Для забезпечення якісного різання смуг необхідно при настроюванні летучих ножиців установлювати зазор між бічними площинами ножів рівним 0,2 мм і максимальне перекриття ножів рівним 1 мм. Величина зазору між ножами повинна періодично контролюватися щупом. Крім того, для запобігання зависання аркуша па ножах не допускається робота на летучих ножицях з неправильно встановленими або тупими ножами.

Після різання смуг на летучих ножицях некондиційні аркуші (короткі, з кінцями неповної ширини, косі, серпоподібні, із рванинами, складками, недотравами й перетравами поверхні й іншими недоліками) не повинні допускатися на профілювання.

Некондиційні аркуші з рольганга перед профілезгинальним станом знімаються пневматичним викидачем у кишеню, розташована поруч із рольгангом.

Промаслення. Промаслення вихідної заготовки перед її формуванням у робочих валках стану необхідно для зменшення тертя між валками й профілюємою смугою, запобігання поверхні смуги від задирів і рисок і полегшення процесу деформації металу.

Змащення наноситься на поверхню вихідної заготовки перед її профілюванням і здійснюється на машині, що промаслює, роликівого типу. машина, що промаслює, призначено для промаслювання по обидва боки по всій довжині й ширині вихідних заготовок.

У якості технологічного змащення застосовується масло індустріальне 20 (за ГОСТ 1707-51).

На деяких заводах при профілюванні дуже складних профілів для поліпшення процесу деформації металу застосовують тваринний жир, який подається вручну безпосередньо у вогнище деформації.

Профілювання смуг на стані

Технологічний процес профілювання заготовок «безперервної» довжини може здійснюватися гнуттям в багатоклітьових профілезгинальних станах із приводними валками, а також протяганням через ряд клітей з холостими профільними валками або через нерухливі фільєри. Профілювання окремими смугами проводиться тільки на профілезгинальних станах із приводними робочими валками.

Спосіб виготовлення гнутих профілів протяганням через ряд клітей з холостими профільними валками або через нерухливі фільєри є застарілим, тому що не забезпечує достатньої продуктивності станів, а тому нами розглядатися не буде.

Нижче розглядаються процеси профілювання шляхом холодної деформації листового металу в струмкових валках методом поступового вигину заготовок «нескінченної» довжини й окремих смуг.

Подача й точний напрямок окремих смуг у валки першої кліті на високомеханізованих і автоматизованих профілезгинальних станах здійснюються за допомогою рольганга й вертикальних роликів, установлених перед першою кліттю стану.

Смуги повинні подаватися в стан з інтервалом, щоб через розчин валків не проходив метал подвійної товщини. Влучення в стан одночасно двох смуг викликає прискорене зношування механізмів, порушує його настроювання, викликає перевантаження встаткування, а в деяких випадках — аварію на стані. Для створення інтервалу між вступниками на формування смугами швидкість їх руху збільшується від $0,75\text{—}2,0\text{ м/сек}$ у правильній машині до $0,85\text{—}2,4\text{ м/сек}$ на рольгангу, що подає, перед профілезгинальним станом.

Точний напрямок і одночасний захват по ширині смуги першою парою формуючих валків стану забезпечується вертикальними роликками, установленими між першої й другою клітцями, і першою, що задає кліттю із циліндричними валками.

Формування металу в основному здійснюється горизонтальними профільними валками з натягом смуги, який необхідно для усунення петлеутворення між клітцями. Для створення натягу профілюємої смуги під час її формування необхідно, щоб середня окружна швидкість на кожній наступній парі валків була не менше, чим на попередній.

Окружні швидкості на кожній наступній парі валків підвищуються шляхом збільшення основних діаметрів валків на $0,1\text{—}0,4\%$. Величина натягу профілюємої смуги між клітцями стану повинна регулюватися незначною зміною зазору між валками.

Напрямок профілюємої смуги з однієї кліті в іншу здійснюється вертикальними роликками й деталями валкової арматур. Додаткове підгинання деяких ділянок профілюємих смуг можна робити за допомогою вертикальних роликів при кутах підгибання більш 45° до горизонтальної осі профілю.

З метою зменшення тертя між профілюємою смугою й валками, а також для їхнього охолодження формування проводиться з одночасним поливанням робочих валків емульсією, що подається з колекторів, установлених на клітках з передньої їхньої сторони. Під час зупинок стану подача емульсії припиняється.

У процесі профілювання перевіряється стан поверхонь валків, вертикальних роликів і деталей арматури з метою виявлення дефектів, які можуть з'явитися на їхній робочій поверхні в процесі роботи й бути

причиною утвору на готовому профілі вм'ятин, подряпин, рисок і інших дефектів. При незначних дефектах стан зупиняється, і виявлений дефект повністю усувається. При грубих дефектах на робочих поверхнях валків, вертикальних роликів або деталях арматури дефектний робочий інструмент замінюється новими.

На процес деформації й стійкість профілюємої смуги впливає швидкість проходження смуги на стані.

Як показує досвід роботи профілезгинальних станів, зі збільшенням швидкості стійкість смуги поліпшується, знижується витрата електроенергії й значно підвищується продуктивність.

Швидкість профілювання може змінюватися від 1,0 до 2,5 м/сек. Як правило, при малих швидкостях відбуваються настроювання стану й визначення місця виникнення якого-небудь дефекту на готовому профілі. Деякі способи настроювання стану наведені в типовій технологічній інструкції профілегибочного стану (див. додаток).

На немеханізованих профілезгинальних станах технологічний процес відрізняється тільки тим, що вихідна заготовка вручну подається в першу робочу кліть стану. Для полегшення й прискорення подачі смуги у вертикальні ролики, установлені перед першою кліттю, а також для усунення необхідності в додатковому напрямку вручну передні кінці смуг обрізаються із двох сторін на конус. На немеханізованих станах також відсутня подача емульсії для зменшення тертя й охолодження валків і швидкість профілювання значно менше.

При безперервному процесі профілюєма смуга більш стійка в робочих валках, тому якість готового профілю по довжині більш стабільно. Крім того, значно зростає продуктивність стану й поліпшуються умови роботи його механізмів.

Обробка готових профілів.

Виправлення профілів. На профілезгинальних станах, що роблять дрібні й середні по розмірах гнуті профілі з тонкої заготовки, зпрофільована смуга при виході з останньої пари валків має тенденцію до скривлення й скручуванню навколо своєї осі. У зв'язку із цим виникає необхідність в установці за профілезгинальним станом спеціальних пристроїв для усунення цих дефектів.

У цей час на заводах існує два способи виправлення гнутих профілів за допомогою: а) спеціально встановлених проводок ковзання й кочення; б) відповідної установки й настроювання валків останньої кліті стану.

Вивідні проводки звичайно виготовляються із чавуну або бронзи установлюються на спеціальній стійці, закріпленої на фундаментній плиті стану. Положення проводки можна регулювати Обертанням її навколо своєї осі, а також зсувом її в горизонтальній або вертикальній площинах за допомогою спеціальних регулювальних болтів. Завдяки такому регулюванню

можна легко забезпечити необхідний напрямок вихідної з останньої пари валків смуги готового профілю.

Спосіб виправлення готового профілю за допомогою проводки відрізняється швидкістю виправлення, яке рівне швидкостей профілювання, коли як на правильних машинах швидкість виправлення занижена.

На якість виправлення готового профілю впливає відстань між вихідним вікном проводки й відрізним штампом або пилкою, тому що найменший зсув рівня різку щодо рівня формування у вертикальній площині викликає вигин смуги, що рухається.

На профілезгинальному стані Калінінського вагонобудівного заводу виправлення готового профілю здійснюється за допомогою відповідного настроювання останніх двох пар валків. Такий спосіб виправлення профілю дуже часто приводить до розвальцьовування однієї з полиць профілю, неправильній установці валків друг щодо друга в горизонтальній площині, передчасному зношуванню підшипників і інших деталей стану.

Необхідно відзначити, що для виправлення тонких і дрібних профілів доцільно встановлювати проводки, а для виправлення більш товстих і великих профілів необхідно встановлювати за станом правильну машину.

Сушіння. Видалення емульсії з поверхні готового профілю, що виходить із останньої кліти профілезгинального стану на рольганг, що відводить, проводиться здуванням її гарячим повітрям. Для забезпечення якісного сушіння профілів температура гарячого повітря повинна бути в межах 70—80°. Тому що швидкість руху зпрофільованої смуги дорівнює 3,6 м/сек. при нормальному темпі профілювання, перший сушильний пристрій не забезпечує повного видалення емульсії з поверхні готового профілю. Тому перед машиною, що промаслює, встановлюють вдруге сушильний пристрій, який забезпечує повне видалення емульсії з поверхні готового профілю. Наявність залишків емульсії на поверхні готового профілю приводить до зниження стійкості проти корозії, яка збільшується на відкритім повітрі.

Після проходження готового профілю через другий сушильний пристрій смуга подається в машину, що промаслює. Для запобігання стікання масла з поверхні смуги після сушіння повинні мати температуру не вище 30—40°. Це досягається регулюванням температури повітря, що подавати сушильним пристроєм.

На профілезгинальних станах машинобудівних заводів сушильні пристрої відсутні, тому що емульсія для охолодження й змачення профілюємих смуг і валків не застосовується. У тих випадках, коли готовий профіль зазнає подальшої обробці, його піддають очищенню вручну за допомогою дрантя.

Різання смуг готового профілю. Смуги готового профілю розріжуться декількома способами із застосуванням різного інструмента й механізмів. Так, наприклад, різання проводиться ножівками, ручними ножицями, стаціонарними й летучими пилками із фрезерними дисками й дисками тертя, прес-автоматами.

Профіль можна різати із зупинкою й без зупинки стану. При зупинках для різання готового профілю продуктивність стану знижується й порушується процес, що встановився, профілювання.

На профілезгинальному стані Ленінградського машинобудівного заводу прийнята найбільш примітивна технологія різання готового профілю за допомогою ножівки. При такому різанні забезпечується гарна поверхня торців готових профільних штанг, а також виключається можливість підвищення витрати металу через поганий різ профілю. Однак цей метод різання зовсім неприйнятне для станів з більшою продуктивністю.

На деяких профілезгинальних станах смуги, що профілюють, з невеликим поперечним перерізом і малою товщиною, різання готових профілів проводиться за допомогою ручних ножиців. Такий спосіб різання забезпечує безперервність процесу профілювання, але якість різу виходить дуже погане, тому що кінці штанг готового профілю деформуються в місці різу.

На стані ленінградського заводу «Металлокомбінат» різання готового профілю після виходу його з останньої кліти стану проводиться за допомогою ручної дискової пилки. Даний спосіб підвищує швидкість різання, але значно погіршує якість торців готового профілю через утворення заусенцев великої довжини внаслідок сплавки металу в місці різу. Тому при виготовленні відповідальних профілів уводиться додаткова операція по запилковке заусенцев кінців штанг вручну за допомогою напилка. Крім того, при наявності невеликої вібрації дисків пилки такий метод різання тонких профілів нерідко приводить до вигину його кінців. Вигнуті частини профілю доводиться піддавати додатковому виправленню або обрізати кінці, що підвищує витрата металу.

На деяких профілезгинальних станах автозаводах, що працюють па, за дисковою ручною пилкою встановлені кривошипні преси, на яких кінці штанг готового профілю обрубуються для видалення місць із задирками й одержання мірної довжини. Обрізку зазнають профілі, з яких виготовляють готові вироби на машинах гнуття. Такий метод поліпшує якість різання, але значно підвищує витрата металу, тому що крім додаткової обрізки частина штанг виходить укороченої й викидається в скрап.

Загальним недоліком усіх перерахованих способів різання готових профілів є необхідність у зупинках станів. Тому особливої уваги заслуговують способи різання готових профілів, що забезпечують безперервну роботу профілезгинальних станів. Такі способи застосовуються на формовочно-зварювальних станах при виробництві труб і на деяких профілезгинальних станах, установлених на автозаводах. На цих станах різання нескінченної труби або профілю проводиться дисковими пилами й ножицями різної конструкції на ходу.

При різанні летучими дисковими пилами швидкості руху смуги й пилки повинні бути рівні. При деякій різниці в цих швидкостях на смугах профілю виходить косий різ. Такі випадки можливі при переході на

формування більш широкої й товстої смуги або сталі з більш високою границею текучості, коли навантаження на двигун стану зростає й швидкість руху профілюємої смуги значно змінюється. Після різання профілю пилюкою необхідна обрізка його кінців на пресах або відрізних верстатах для видалення задирків і одержання штанг готових профілів мірної довжини.

Самим розпоширеним способом слід уважати різання готових профілів на встановленому за останньою кліттю профілезгинального стану прес-автоматі. Застосування преса-автомата забезпечує безперервність процесу профілювання й більш якісне різання профілю без задирків. Крім того, на пресах-автоматах можна забезпечити різання смуги безпосередньо на частині мірної довжини, що дає можливість виключити додаткову операцію різання смуг на кривошипних пресах, зменшує витрата металу, підвищує продуктивність профілезгинальних станів і підвищує якість готових профілів.

Промаслення. Після сушіння готові профілі подаються, що відводить рольгангом до машини, що промаслює, форсуночного типу, у якій перед укладанням у пакети вони промаслюються. Промаслення проводиться за принципом розпилювання.

Для запобігання профілів від корозії вся поверхня профілю повинна бути покрита тонким шаром масла. Найбільше часто застосовується масло індустриальне 50, нагріте електронагрівниками до температури 40—50°.

Однак, як показав досвід, при транспортуванні й зберіганні деяких спеціальних гнутих профілів таке масло не забезпечувало досить надійного запобігання їх від корозії. Необхідно відзначити, що корозії заготовок сприяли неповне видалення з поверхні заготовок емульсії, застосовуваної при профілюванні на стані, а також рідка консистенція змащення марки індустриальне 50. У результаті при пакетуванні й транспортуванні масло стікало, а емульсія сприяла корозії.

Для запобігання корозії заводом «Запорожсталь» була пророблена робота з добору необхідного состава змащення. Із цією метою були випробувані різні состави змащення з масел трьох типів: -веретенне 3, циліндрове 2 і віскозин.

Проведене дослідження показало, що найкращі результати по захисту металу від корозії виходять при змащенні циліндровим маслом 2, підігрітим до температури 50—80°. Змащення профілів цим маслом усунула кородування їх при перевезеннях і зберіганні.

На профілезгинальних станах машинобудівних заводів змащення профілів після профілювання не застосовується.

Пакетування. На невеликих профілезгинальних станах розрізані на частині мірної довжини смуги готових профілів укладаються в кишені, установлені безпосередньо в прийомного стола за ріжучими пристроями стану. Пакет профілів вагою 0,2 т і вище (залежно від розміру перетину профілю) погоджується у двох-трьох місцях смужками металу або дротом і

передається на склад. У деяких випадках пакети транспортуються на ділянку обробки, де смуги зачищаються, шліфуються і т.д.

На високопродуктивних профілезгинальних станах після промаслення готові профілі впаковуються у вигляді зв'язувань або пакетів. Напекатуючі готові профілі за машиною, що промаслює, убираються з рольганга ланцюговим і важільним скидачами й укладаються в кишені платформних ваг, де обв'язуються вручну дротом у двох-трьох місцях і після зважування у вигляді зв'язування передаються на склад готової продукції.

Пакетуючі профілі набираються в ряд за допомогою ланцюгового шлеппера, що переміщає готову продукцію з роликів рольганга за, що промаслює машиною на ролики рольганга кантувача. Кількість профілів у набраному ряді визначається настроюванням спеціального рахункового пристрою шлеппера, яке автоматично набирає необхідне їхнє число. Одночасно на шлеппері може бути розміщено три максимально широкі профілі.

Після вступу зі шлеппера на рольганг кантувача ряд гнутих профілів (при необхідності) кантується кантувачем, а потім рольгангом транспортується до укладальника. Завдяки наявності кантувача, якщо буде потреба, можна одночасно кантувати весь набраний ряд гнутих профілів на 180° . Переміщення набраного ряду профілів з рольганга в кишені укладальника проводиться за допомогою скребкового штовхача. Вага ряду, що штурхається, профілів повинен бути не більш 1 т.

Після укладання ряду профілів на піднімальний стіл останній переміщається на необхідну величину в горизонтальній площині, а також опускається на заданий крок, відповідний до висоти профілю.

Ряди профілів укладаються на піднімальний стіл укладальника доти, поки не буде досягнута максимальна висота пакета 850 мм при ширині не більш 1450 мм.

Набраний пакет готових профілів вручну обв'язується у двох-трьох місцях дротом і передається мостовим краном для зважування на окремо варті ваги. вага, що допускається, пакета готових профілів до 10 т.

Маркування. Маркування готових профілів проводиться за допомогою металевих бирок при укладанні їх у пакети. До кожного пакета закріплюється по дві металеві бирки. На бирках вказується: номер плавки, марка сталі, помер і тип профілю, вага пакета (зв'язування), номер бригади, номер контролера ОТК.

Зважені пакети готових профілів після прикріплення до них маркірувальних бирок передаються за допомогою крана на склад готової продукції.

5.3 Сортамент гнутих профілей

Для виготовлення гнутих профілів на заводі МК «Запоріжсталь» встановлено два профілезгинальних агрегати.

Один із профілезгинальних агрегатів призначений для виробництва фасонних профілів з найрізноманітнішою формою поперечного переріза, які можливо сформувати із вихідних заготовель товщиною від 2,0 до 8,0 мм, шириною від 80,0 до 500 мм при максимальній висоті перетину профілю в положенні формування 160 мм.

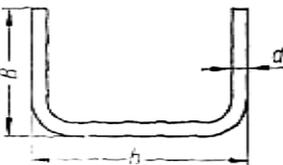
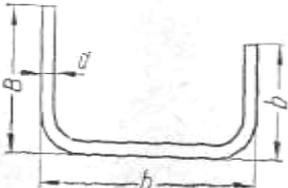
На цьому стані профілі виготовляються з наступних матеріалів: а) углеродистая сталь марок від Ст. 0 до Ст. 3 включно; б) якісна конструкційна й машинобудівна сталь марок 08; 10, 20, 25, 30 (кипляча й спокійна); в) низьколегована сталь із межею міцності 50—60 кг/мм², наприклад сталь марок 10Г2ДС (МК), 14ХГС, НЛ-2, 12ХГН, 14Г2, 09Г2.

На другому профілезгинальному агрегаті можуть виготовлятися більш широкі профілі типу ребристих плит, хвилястих аркушів, різного виду обшивок, настилів, більших розмірів косинців, Z-подібних, коритоподібних і інших профілів. Ці профілі можуть виготовлятися з маловуглецевих марок сталі товщиною від 1,0 до 6,0 мм при ширині вихідної заготовки від 400 до 1500 мм, зі сталі з межею міцності до 50 кг/мм² товщиною від 1,0 до 5,0 мм при ширині вихідної заготовки від 400 до 1000 мм; зі сталі з межею міцності 60 кг/мм² товщиною від 1,0 до 5,0 мм при ширині від 400 до 900 мм. Максимальна висота перетину профілю в положенні формування становить 200,0 мм.

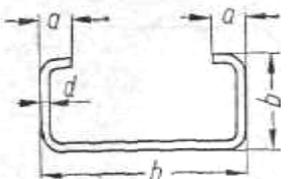
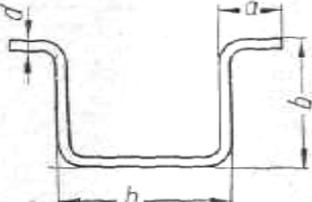
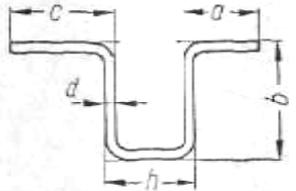
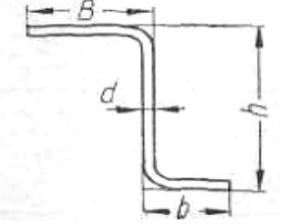
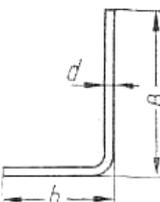
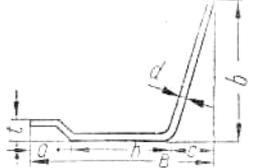
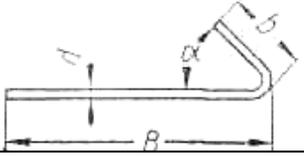
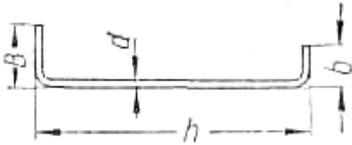
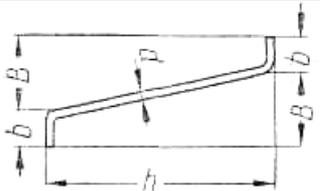
Довжина виготовлених профілів перебуває в межах від 3,0 до 11,0 мм. Замкнені профілі виготовляються не звареними, тому що в цей час відсутні дешеві зварювальні обладнання, які могли б робити зварювання в потоці при більших швидкостях руху металу.

Основні гнуті профілі, що вирабляються в умовах МК «Запоріжсталь» наведені у таблиці 5.1.

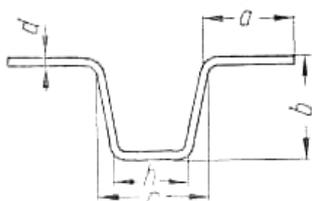
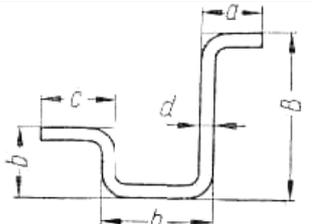
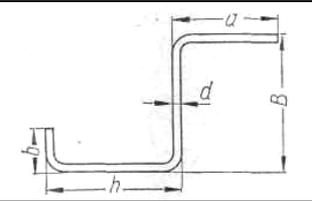
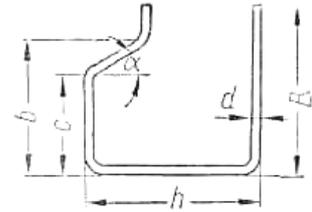
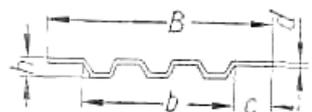
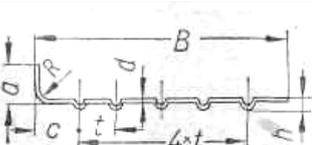
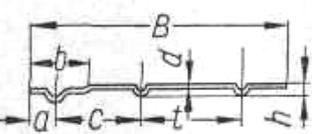
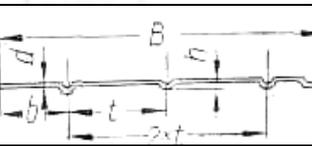
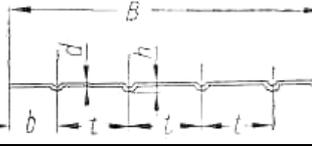
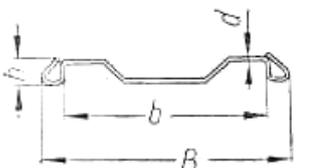
Таблиця 5.1. Профілі, що виготовляють на МК «Запоріжсталь»

| Найменування профілю | Ескиз профілю | Розміри, мм | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|---|---|---|----------|----|
| | | h | B | b | d | a | c | t | α | R |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Кутовик рівнобічний |  | | | 40-120 | 2,5-6,0 | | | | | |
| U-подібний профіль (швеллер) |  | 32-170 | 32-160 | | 2-6 | | | | | |
| Нерівнобічний U-подібний профіль |  | 32 50 100 120 160 | 50 40 100 60 80 | 20 12 60 50 50 | 4 2,5 6 5 5 | | | | | |

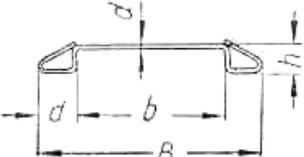
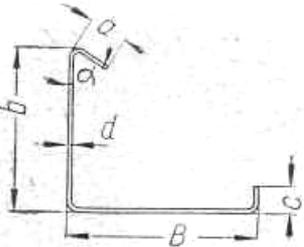
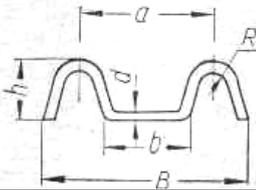
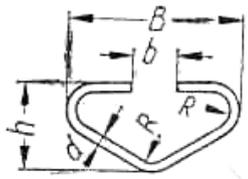
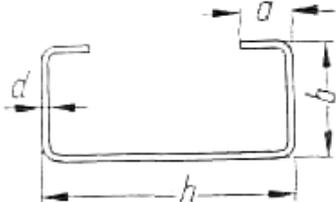
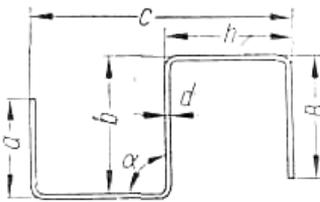
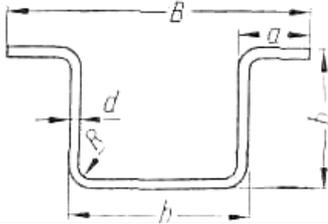
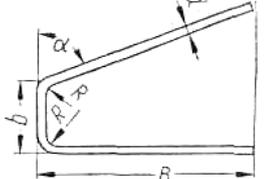
продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|----|----|----|----|
| С-подібний профіль |  | 120 | | 550 | 5 | 18 | | | | |
| Коритоподібний рівнополочний профіль |  | 40 80 100 120 240 | | 32 60 100 100 70 | 3 4 3 6 6 | 32 54 55 61 50 | | | | |
| Коритоподібний профіль з різною величиною відбортовки полк |  | 50 | | 70 | 4 | 45 | 63 | | | |
| Зетподібний профіль |  | 55 55 55 76 76 50 80 100 | 60 50 65 60 84 55 40 40 | 60 40 40 60 60 50 32 30 | 4 3 3 4 4 4 5 2,5 | | | | | |
| Профіль 5а |  | | 50 | 35 | 3,2 | | | | | |
| Профіль 7а |  | 50 | 90 | 65 | 4 | 20 | 20 | 10 | | |
| Профіль 9 |  | | 68 | 20 | 2,5 | | | | 45 | |
| Профіль 10 |  | 93 | 25 | 10 | 2,5 | | | | | |
| Профіль 11 |  | 60 | 20 | 10 | 2,5 | | | | | |

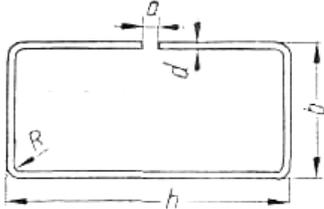
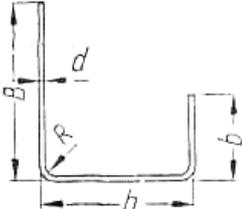
продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|------------|--------|----|-----|------------|----|----|
| Конусний коритоподібний профіль |  | 22 | | 28 | 2,5 | 26 | 32 | | | |
| Коритоподібний нерівнополочний профіль з різною величиною відбортовки полок |  | 32 | 50 | 20 | 4 | 18 | 22 | | | |
| Коритоподібний нерівнополочний профіль з відбортовкою однієї полки |  | 50 | 50 | 17 | 3 | 43 | | | | |
| Напівзакритий профіль для вагонубудування |  | 50 | 50 | 40 | 2 | | 30 | | 30 | |
| Профіль ребристих плит |  | 31 | 565 | 340 | 3 | | 91 | | | |
| Нижній пояс пасажирського вагону |  | 23 | 900 | | 2,5 | 85 | 190 | 120 | | 65 |
| Верхній пояс пасажирського вагону |  | 23 | 552 | 100 | 2 | 32 | 135 | 250 | | |
| Лист бічної стінки вагону |  | 23 | 765 | 195 | 2 | | | 250 | | |
| Лист бічної стінки вагону |  | 23 23 | 1160 985 | 205 165 | 2 2 | | | 250 250 | | |
| Повздовжній борт платформи |  | 50 | 500 | 400 | 3 | | | | | |

продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|---|----|-----|---|----|-----|
| Поперечний борт платформи |  | 50 | 400 | 280 | 4 | 60 | | | | |
| Кутувик з підгнутими полками |  | | 252 | 202 | 4 | 45 | 30 | | 60 | |
| Е-подібний профіль |  | 18 | 58 | | 3 | 38 | | | | 4,5 |
| Напівзакритий профіль |  | 40 | 76 | 20 | 5 | | | | | 8 |
| С-подібний профіль |  | 120 | | 50 | 5 | 25 | | | | |
| Зетподібний профіль з підгнутими полками |  | 70 | 70 | 80 | 2 | 58 | 150 | | 93 | |
| Коритоподібний профіль для вагонів |  | 100 | 190 | 80 | 6 | 51 | | | | 9 |
| Поріг напіввагону |  | 36 | 95 | | 6 | | | | 70 | 15 |

продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|------|-----|---|----|---|---|----|----|
| Замкнутий профіль |  | 160 | | 78 | 7 | 3 | | | | 14 |
| Швеллерний нерівнобічний профіль |  | 144 | 160 | 90 | 6 | | | | | 12 |
| Гафрований лист для резервуарів |  | 40 | 1000 | 800 | 2 | 30 | | | | 6 |

Контрольні питання:

1. Переваги виробництва гнутих профілей методом профілювання.
2. Технологічний процес профілювання на агрегатах безперервної дії.
3. Технологічний процес профілювання на агрегатах періодичної дії.
4. Матеріал вихідної заготовки при профілюванні.
5. Профілювання смуг на стані.
6. Обробка гнутих профілей.
7. Сортамент гнутих профілей.

6. ВИРОБНИЦТВО ПЕРІОДИЧНИХ ПРОФІЛЕЙ

6.1 Загальні відомості

У зв'язку із широким розвитком машинобудування, постійним удосконаленням машин і технічним прогресом у технології виготовлення машин виникає все більша необхідність в одержанні більш економічної заготовки, а також профілів складної форми.

До економічної вихідної заготовки можна віднести ряд періодичних профілів, що представляють собою круглу сталь зі змінним перетином на певній довжині розкату. Так, наприклад, для виготовлення осей і півосей вантажних автомобілів потрібні профілі змінного перетину, які раніше виходили шляхом обточування заготовки круглого перетину на токарських верстатах. При цьому був високий видатковий коефіцієнт металу — багато металу йшло в стружку. До того ж вартість виготовлення осі або півосі автомобіля була набагато більше, ніж у випадку, якщо заздалегідь задається для остаточної обробки заготовка змінного перетину.

У цей час такі профілі, як правило, одержують способом гарячої прокатки на спеціальних станах або на звичайних прокатних станах, але з певним калібруванням прокатних валків. До профілів періодичних перетинів ставляться східчасті й конічні вали й осі, півосі для автомобілів, торсіонні вали, шпинделі текстильних веретен і ін. Якщо ці профілі робити різанням, то витрата металу в стружку може досягати 25%.

У цей час встановлено кілька станів поперечно-гвинтової прокатки (Московський завод малолітражних автомобілів, Конотопський завод «Червоний металіст», Мінський тракторний завод, Челябінський електромашинобудівний завод і ін.).

Розглянуті типи станів класифікуються головним чином по найбільшому діаметру споживаної заготовки, що й прокочується. Прийнята наступна градація: 10, 20, 50, 70, 80, 100, 120, 220 мм. Швидкість прокатки на цих станах 2-6 м/хв, натяг 1--60 тс. У зв'язку із широким діапазоном розмірів діаметрів вихідної заготовки відповідно виходить і різна продуктивність станів — від 0,02 до 33 т/год.

На металургійному заводі ім. Держинського встановлений стан, призначений для одержання періодичних профілів з будь-яким змінним перетином по довжині готового розкату.

Технологічний процес прокатки профілів на цьому стані порівняно простий. У якості вихідної заготовки застосовується сталь кругла певних розмірів по діаметру. Довжина заготовки, як і діаметр її, визначаються виходячи з розмірів кінцевого профілю й загальної витяжки. Попередньо нагріта заготовка в печі надходить на стан, де й здійснюється її прокатка.

Прокатний стан являє собою установку типу токарського верстата, на напрямних станини якої переміщається тягучий візок із захватом для

заготовки. Приводні прокатні валки змонтовані так, що можуть змінювати своє положення, утворюючи просвіт певних розмірів; число валків — три.

Таким чином, у міру зміни просвіту, що утворюється, між валками й протягання заготовки виходить готовий профіль змінного перетину.

Далі розкат може розрізатися на мірні, згідно розкрию, довжини й зазнати обробці на наступних технологічних операціях.

Слід зазначити, що одержання профілів змінного перетину по даній технологічній схемі не є складним. Більшою перевагою є певною мірою незалежність процесу прокатки й розмірів заготовки від кінцевого профілю; переходи з один профилерозміру на іншій не вимагають зупинок стану для перевалок або зміни калібру. Сам процес прокатки на стані може бути безперервним у часі, якщо стан забезпечується необхідною заготовкою.

Новим технічним розв'язком є прокатка періодичних профілів складних перетинів у двухвалковій або багатовалковій кліті. При використанні кожної з названих клітей неодмінною умовою є твердий кінематичний зв'язок валків між собою й точно розраховані діаметри валків, довжина окружності яких визначає виконання профілю по довжині, кратність числа профілів, що відповідає довжині окружності.

Останнім часом широке поширення одержали багатовалкові прокатні кліті, що забезпечують одночасне обтиснення по всім периметру смуги, що прокочується.

Такі кліті можуть бути використані для прокатки періодичних профілів будь-якому ступеня складності. Звичайне число валків — три або чотири. Усі валки також перебувають у твердому кінематичному зв'язку і є приводними, що є гарантією одержання профілю високої точності за формою й розмірам.

Для чотирьохвалкової кліті може бути застосоване оформлення привода тільки двох валків, якщо в сортамент профілів, що прокочуються, входять найпростіші фасонно-періодичні профілі лише з одnobічною періодичністю.

У тривалковому калібрі при прокатці періодичних профілів кінематичний зв'язок усіх валків обов'язкова, тому що в сортаменті немає таких профілів, де б була допущена відома несиметричність в оформленні елементів періодичності.

Техніко-економічні показники роботи станів визначаються виходячи із сортаменту профілів і прийнятих технологічних параметрів для даного стану.

6.2 Отримання періодичних профілей прокаткою

Повздовжньо-періодична прокатка (ППП)

ППП виконують у двох- (а), трьох- (б), чотирьох- (в) валкових станах, а також у стан-пресі (г) (рисунок 6.1).

Періодичні профілі підрозділяють на наступні типи:

1 – з періодичністю профілю лише з боку одного валка;

2 – з періодичністю профілю з боку двох (або декількох валків).

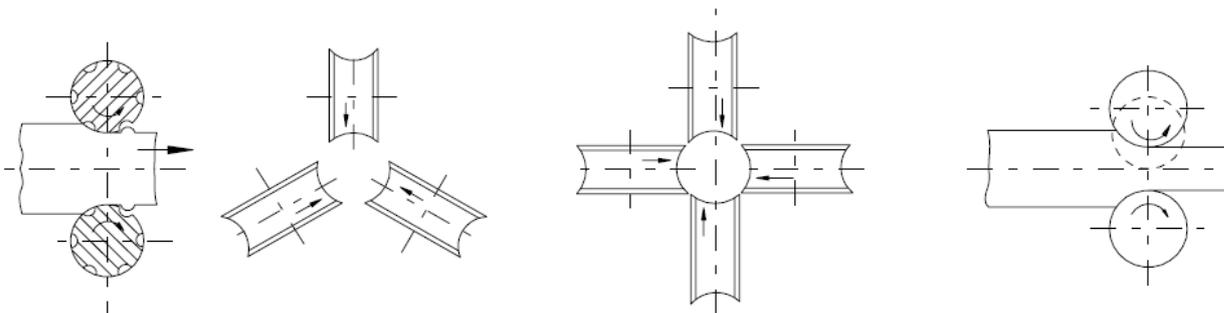


Рисунок - 6.1. Схеми станів ППП

а – двухвалкова; б – тривалкова; в – чотирьохвалкова ; г – стан-прес

Перший тип: калібр одного має змінний профіль, а на другому (або інших) нарізається струмок постійного перетину.

Другий тип: обидва валка (або всі валки) мають змінний профіль струмків; однак по куту повороту відносно один одного валки можуть бути встановлюватися довільно, точного збігу фігур не потрібно.

Профілі першого й другого видів можна прокочувати на сортових прокатних станах або вальцях. Періодичні профілі із плавними переходами можна прокочувати на стані-пресі (рисунок 6.1 г), що має гладкі валки постійного радіуса, що переміщуються в процесі прокатки відносно один одного.

Поперечна, поперечно-клинова, поперечно-гвинтова прокатка

При поперечній прокатці інструмент надає заготовці обертовий рух, у зв'язку із цим поперечна прокатка і її різновиди (поперечно-гвинтова й поперечно-клинова) служать лише для обробки тіл обертання, обробляючи метал у поперечному напрямку.

Продуктивність процесу в порівнянні з обробкою на токарських автоматах збільшується більш ніж в 10 раз, коефіцієнт використання металу (КВМ) більше на 30...60%. Підвищується якість продукції, міцність і зносостійкість.

Поперечна прокатка може здійснюватися у двухвалковому або тривалковому прокатному стані (рисунок 6.2 а-г), валки якого обертаються в одну сторону, надаючи заготовці, що перебуває між ними, обертання у зворотну сторону.

Для забезпечення безперервності процесу при проходженні заготовки через зону деформації окружні швидкості валків двухвалкового прокатного стану мають нерівні величини ($V_1 > V_2$) за рахунок різних робочих діаметрів валків ($D_1 > D_2$).

Для просування заготовки через осередок деформації застосовуються спеціальні пристрої, що проштовхують, тобто прикладається зусилля Q .

Обтиснення заготовки в міру її обертання між валками проводиться зближенням валків у процесі поперечної прокатки (б-г). Таке приймання використовують при прокатці шестірень. У цьому випадку застосовується

примусове синхронне обертання заготовки з метою одержання точних зубів шестірень.

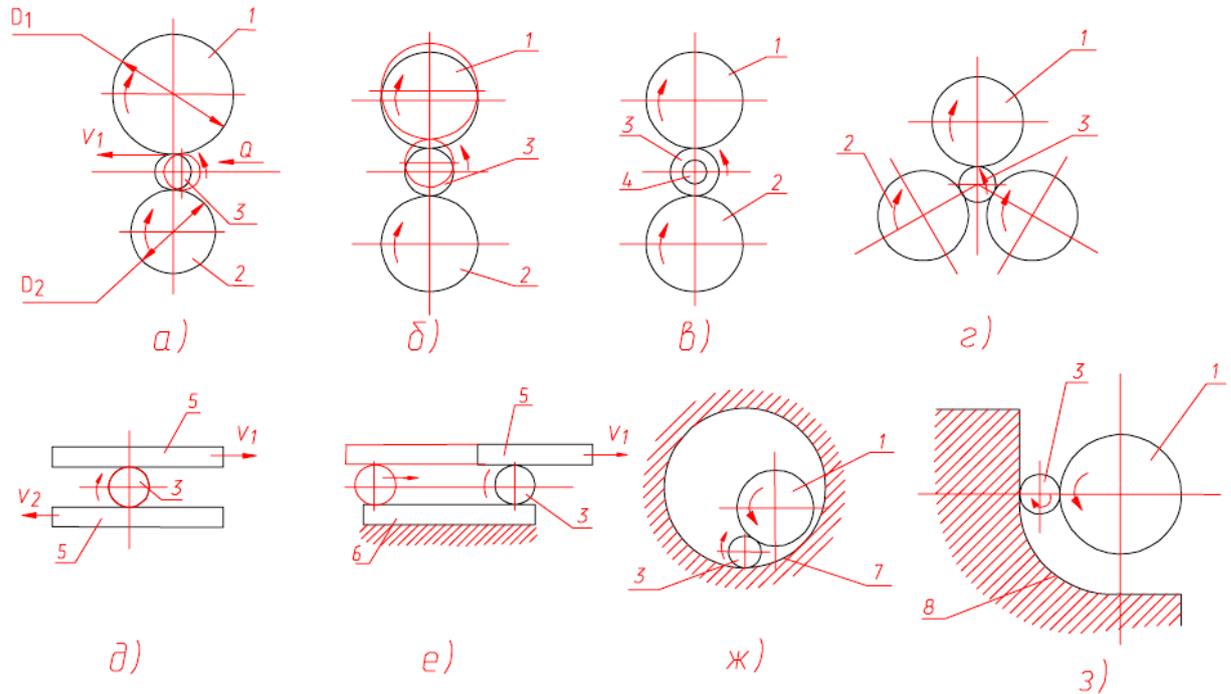


Рисунок - 6.2. Схеми поперечної прокатки:

1,2 — валки; 3 — заготовка; 4 — оправлення; 5 — рухлива плита; 6 — нерухлива плита; 7 — барабан; 8- сегмент.

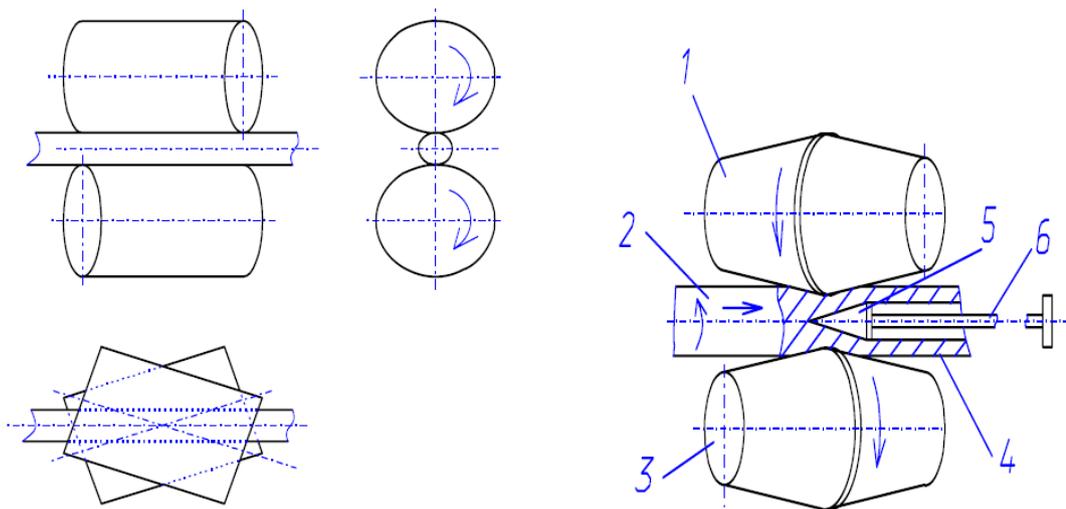


Рис.6.3. Основні схеми поперечно- гвинтової прокатки:

1 — лівий валок; 2 — заготовка; 3 — правий валок; 4 — гільза; 5 — оправлення; 6 — штанга

Поперечну прокатку порожніх виробів виконують на оправленні (в). Поперечну прокатку можна робити в інструменті, що поступально рухається (д, е), як без переміщення осі заготовки ($V_1 = V_{2,д}$), так і при її переміщенні ($V_1 > V_{2,е}$). У такий спосіб роблять накатку різьблення на різьбонакатних

верстатах. Поперечну прокатку здійснюють також у барабанних верстатах (ж), у валково-сегментних верстатах (з).

Поперечно-гвинтова прокатка (коса прокатка) — різновид поперечної прокатки, коли валки двох- і тривалкового стану розташовуються під кутом друг до друга й до осі заготовки, яка одержує не тільки обертовий рух, але й рух уздовж осі заготовки, що сприяє безперервності процесу.

Поперечно-гвинтову прокатку застосовують при виробництві труб і трубних заготовок на двох- і тривалкових станах (рисунок 6.3), втулок різних видів, для підготовки заготовок під штампування.

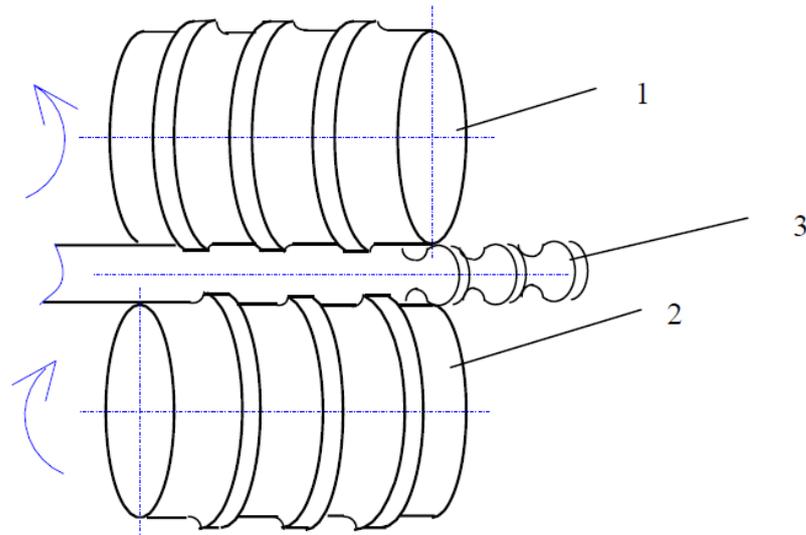


Рисунок - 6.4. Поперечно-гвинтова прокатка в спіральних калібрах
1, 2 — валки; 3 — заготовка

Поперечно-клинову прокатку виконують в інструменті, що має бічні похилі грані, розташовані під кутом до площини обертання.

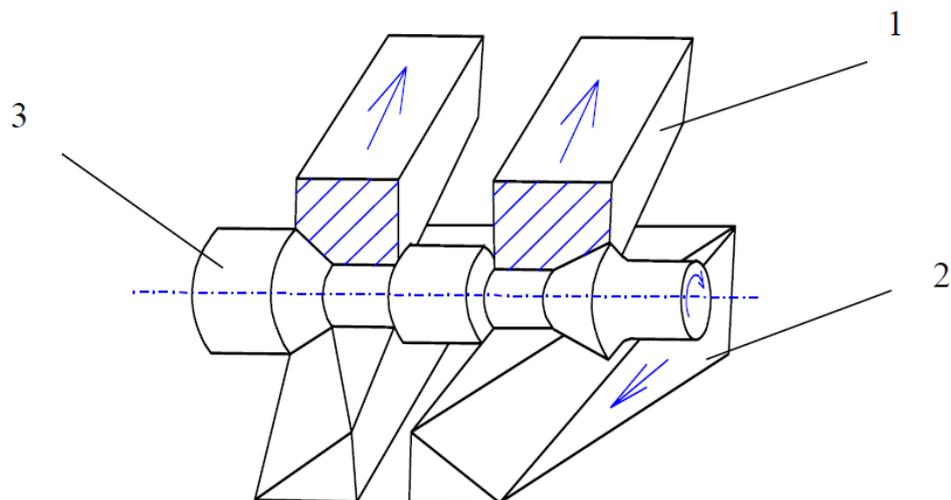


Рисунок - 6.5. Схема поперечно-клинової прокатки
1,2 – інструмент; 3 – заготовка

У процесі прокатки ці грані змушують переміщатися надлишок металу, що виникають при впровадженні інструмента в заготовку, тобто сприяють перерозподілу металу уздовж осі заготовки. частина, що залишився, металу на даній ділянці прокочується між інструментами, здобуваючи їх профіль у поздовжньому перетині тіла обертання (рисунок 6.4).

При русі інструмента обтиснення заготовки в міру її обертання відбувається поступово (у зонах прямого контакту), форма інструмента має вигляд клина.

Поперечно-клиновою прокаткою одержують, як готові вироби, так і заготовки під штампування (рисунок 6.5).

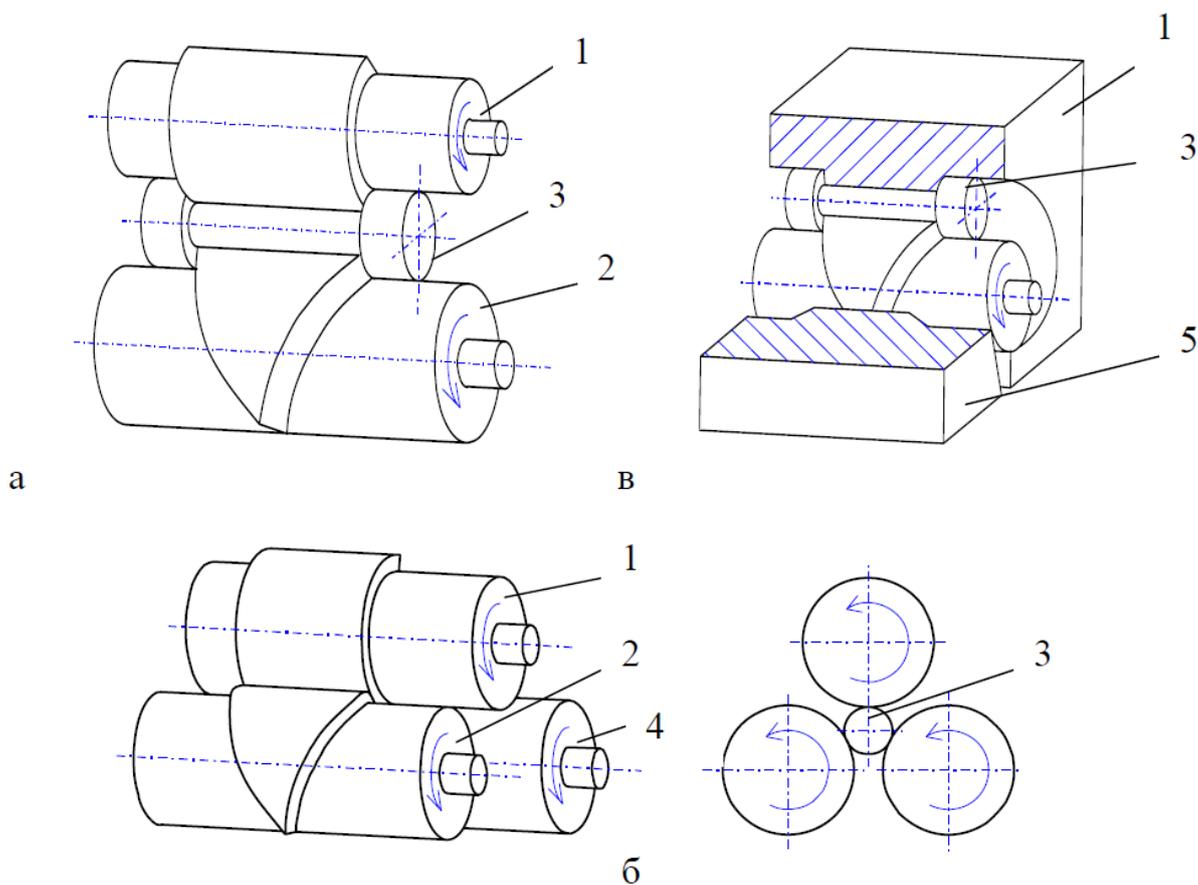


Рисунок - 6.6. Загальні схеми поперечно-клинової прокатки:
 а – двовалковий стан; б – тривалковий стан; в – валково-сегментний стан;
 1,2,4 – валки; 3 – заготовка; 5 – сегмент.

У двовалковому стані (рисунок 6.6, а) заготовка втримується в робочій зоні напрямними. Можлива прокатка виробів із прутка, що ефективно при виготовленні коротких деталей. Тривалкові стани (рисунок 6.6, б) знижують імовірність руйнування заготовки в її осьовій зоні. Валково-сегментний стан (рисунок 6.6., в) працює тільки зі штучною заготовкою при відносно невисоких вимогах по точності виробу.

6.3 Сортамент періодичного прокату

До цієї групи профілів відносять:

- періодичні профілі круглого перетину, одержувані методом поперечно-гвинтової прокатки на тривалкових станах поперечно-гвинтової прокатки (заготовки для деталей тракторів і автомобілів, валів електродвигунів, турбокомпресорів, текстильних машин і т.п.);
- періодичні профілі поздовжньої прокатки, що включають профілі для армування залізобетонних конструкцій, що прокочуються на звичайних сортопрокатних станах, і профілі, що прокочуються в спеціальних клітках сортових станів (балки передньої осі автомобілів, осі причепів, лемішні смуги з місцевим стовщенням і т.д.).

На деяких машинобудівних заводах установлені стани поперечно-гвинтової прокатки, на яких одержують різні періодичні профілі в основному для потреб власного виробництва.

Арматура сталевая. Арматурний прокат проводиться відповідно до вимог нормативних документів:

країни СНД:

- ГОСТ 5781. Сталь гарячекатана для армування залізобетонних конструкцій,
- СТО АСЧМ 7-93. Прокат періодичного профілю з арматурної сталі,
- ГОСТ 10884-94. Сталь арматурна термомеханічнозміцнена для залізобетонних конструкцій,
- ГОСТ Р 52544. Прокат арматурний, що зварюється періодичного профілю класів А500С и В500С для армування залізобетонних конструкцій;

Україна:

- ДСТУ 3760-98. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій,
- ДСТУ 10884-94. Сталь арматурна термомеханічнозміцнена для залізобетонних конструкцій;

Єврозона:

- EN 10080. Сталеві вироби для армування бетону. Придатна для зварювання сталевая арматури,
а також технічних умов, розроблених для окремих видів арматурного прокату.

Стандарти СТО АСЧМ 7-93 і ДСТУ 10884-94 орієнтовані на виготовлення гарячекатаної й термомеханічнозміцненої арматури класу А500С європейського зразка. ГОСТ Р 52544-2006 відрізняється від наведених вище стандартів тим, що він уніфікований по основних компонентах з Європейським стандартом EN 10080. Стандарт ДСТУ 3780 уведений в Україні зі скасуванням ГОСТ 5781 і ГОСТ 10884 і регламентує властивості арматурного прокату гладкого й періодичного профілю діаметром від 5,5 до 40 мм.

Європейські норми (EN 10080), на відміну від ДСТ, для арматурного прокату припускають наявність категорій пластичності: А, В, С. Класифікації арматур по класу міцності не припускають.

Арматура для залізобетонних конструкцій за ДСТУ 3760-98 (рис 6.7).

Загальні технічні умови на арматурний прокат регламентуються ДСТУ 3760-98, уведеним в Україні зі скасуванням ГОСТ 5781-82 і ГОСТ 10884-94. Даний стандарт поширюється на прокат арматурний гладкого й періодичного профілю діаметром від 5,5 до 40 мм, призначений для армування звичайних і попередньо напружених залізобетонних конструкцій. ДСТУ 3760-98 допускає за згодою виготовлювача зі споживачем виготовлення прокату з іншими періодичними профілями.



Рисунок - 6.7. Арматура по ДСТУ 3760–98

Відповідно до ДСТУ 3760-98 арматурний прокат (позначається індексом А) підрозділяють на класи. Класи визначаються залежно від нормованого значення умовної границі текучості в МПа.

Прокат підрозділяють на:

- що зварюється (позначається індексом З);
- стійкий проти корозійного розтріскування під напругою (позначається індексом К);
- що незварюється (без індекса З)
- нестійкий проти корозійного розтріскування (без індексу К).

Арматурний прокат виготовляють наступних класів:

- А240С с гладким профілем;
- А300С, А400С, А500С, А600, А600С, А600 ДО, А800, А800 ДО и А1000 з періодичним профілем.

Стандартом передбачене виготовлення арматурного прокату круглого гладкого профілю діаметром від 5,5 до 40 мм і періодичного профілю номінальним діаметром від 6,0 до 40 мм. Арматурний прокат поставляють у прутках і мотках. Арматурний прокат гладкого профілю класу А240 виготовляють за ДСТ 2590 звичайній точності (рисунок 6.8).

Арматурний прокат періодичного профілю повинен мати поперечні виступи серповидної форми, які не повинні з'єднуватися з поздовжніми виступами. Поздовжні виступи не обов'язкові.

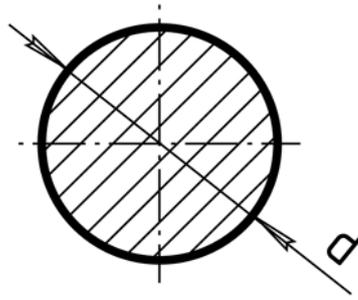


Рисунок - 6.8. Арматурний прокат гладкого профілю класу А240

Стандартом допускається виготовлення прокату проміжних розмірів і з іншим видом періодичного профілю (рисунок 6.9 та 6.10). Овальність гладкого арматурного прокату — за ГОСТ 2590. Овальність прокату періодичного профілю (різниця d_1 і d_2) повинна бути не більш 1,2 мм для прокату діаметром від 6 до 14 мм, не більш 1,6 мм для прокату діаметром від 16 до 25 мм і не більш 2,4 мм для прокату діаметром понад 25 мм.

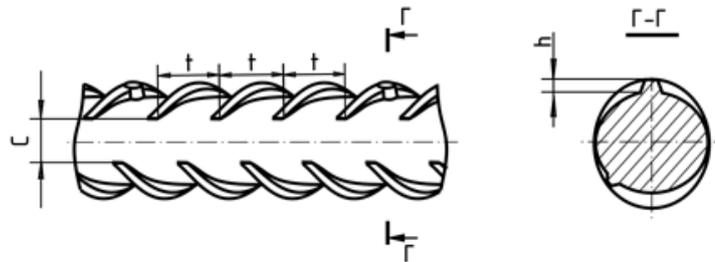


Рисунок - 6.9. Арматурний прокат періодичного профілю без поздовжніх виступів

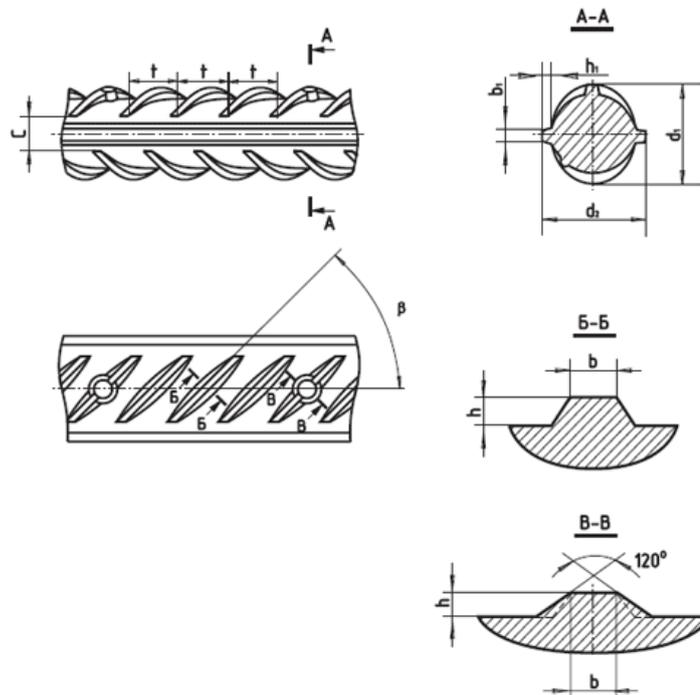


Рисунок - 6.10. Арматурний прокат періодичного профілю з поздовжніми виступами

Маркування, упакування, транспортування

Маркування й упакування — по ДСТУ 3058 (ГОСТ 7566) з наступними доповненням:

- арматурний прокат у прутках упаковують у зв'язування масою не більш 15 т. При поставці арматурного прокату в мотках кожний моток повинен складатися з одного відрізка. Допускається поставка мотків, що полягають із двох відрізків, у кількості не більш 10 % від маси партії. Моток повинен бути щільно перев'язаний;
- арматурний прокат повинен мати прокатне маркування із кроком не більш 1,5 м у вигляді крапок, виступів або інших міток, що позначають (рисунок 6.11):
 - підприємство-виготовлювача (таблиця 6.1);
 - клас арматурного прокату (таблиця 6.2).

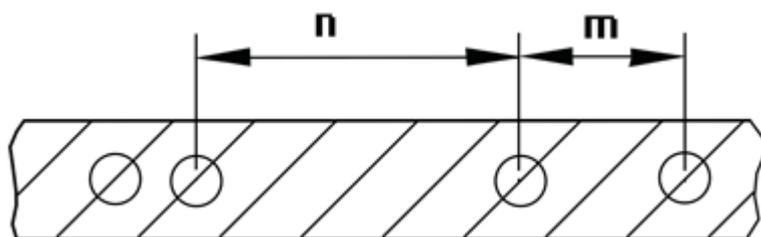


Рисунок - 6.11. Схема прокатного маркування арматурного прокату

На малюнку наведена схема маркування прокату А300С Дніпровським металургійним комбінатом шляхом нанесення міток на поперечні виступи. Підприємство-Виготовлювач і клас прокату визначаються кількістю поперечних виступів між мітками. Початок відліку — мітки на двох суміжних виступах.

Таблиця 6.1. Позначення підприємств-виробників арматури

| Підприємство | Криворіжсталь | Дніпровський МК | Макіївський МК | Єнакіївський МЗ |
|-----------------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Кількість виступів, n | 1 | 3 | 6 | 7 |

Таблиця 6.2. Позначення класів арматури

| Клас прокату | A300C | A400C | A500C | A600C, A600 | A800 K, A800 | A1000 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------------|--------------|-------|
| Кількість виступів, m | 2 | 3 | 1 | 4 | 5 | 6 |

Арматура для залізобетонних конструкцій за ГОСТ5781-82

У цей час ряд вітчизняних виробників металопрокату випускає арматурний прокат відповідно до ГОСТ 5781-82. ГОСТ 5781-82 відмінний на території України із введенням ДСТУ 3760-98. Даний стандарт поширюється на круглу гарячекатану сталь гладкого й періодичного профілю, призначену

для армування звичайних і попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

Залежно від механічних властивостей арматурна сталь по даному стандарту підрозділяється на класи А-I (А240), А-II (А300), А-III (А400), А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А1000).

Арматурна сталь виготовляється в стрижнях або мотках. Арматурну сталь класу А-I (А240) виготовляють гладкою, класів А-II (А300), А-III (А400), А-IV (А600), А-V (А800) і А-VI (А1000) — періодичного профілю. На вимогу споживача сталь класів А-II (А300), А-III (А400), А-IV (А300) і А-V (А800) виготовляють гладкою.

Основні параметри й розміри. Номінальні діаметри періодичних профілів повинні відповідати номінальним діаметрам рівновеликих по площі поперечного переріза гладких профілів. Граничні відхилення діаметра гладких профілів повинні відповідати ГОСТ 2590–88 для звичайної точності прокатки.

Арматурна сталь класів А-II (А300) (рис 6.12) і Ас-II (Ас300) (рисунок 6.13) повинна мати виступи, що йдуть по гвинтових лініях з однаковим заходом на обох сторонах профілю.

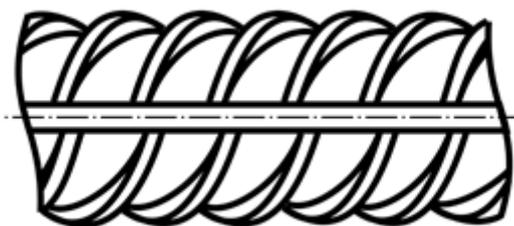


Рисунок - 6.12. Арматурна сталь класу А-II (А300) у звичайному виконанні

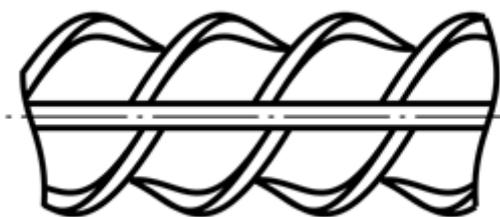


Рисунок - 6.13. Арматурна сталь класу Ас-II (Ас300) спеціального призначення

Сталь класів А-III (А400) (рисунок 6.14), А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А 1000) (рисунок 6.15) як звичайного, так і спеціального виконання повинна мати виступи по гвинтових лініях, що мають із однієї сторони профілю правий, а з іншого — лівий заходи.

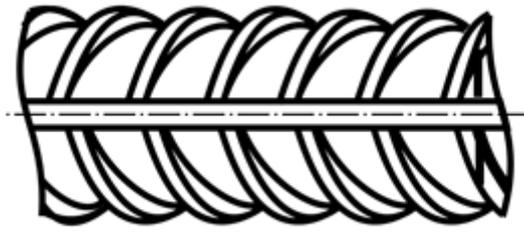


Рисунок - 6.14. Арматурна сталь класу А-III (А400) і класів А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А 1000)

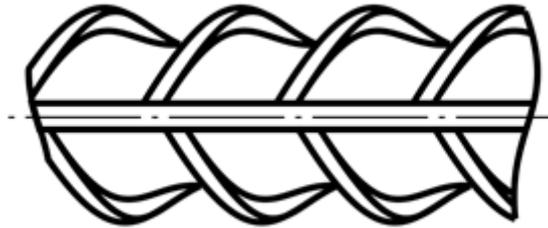


Рисунок - 6.15. Арматурна сталь класів А-IV (А600), А-V (А800), А-VI (А 1000) спеціального призначення

Відносні зсуви гвинтових виступів по сторонах профілю, поділюваних поздовжніми ребрами, не нормуються (рисунок 6.16, рис.6.17).

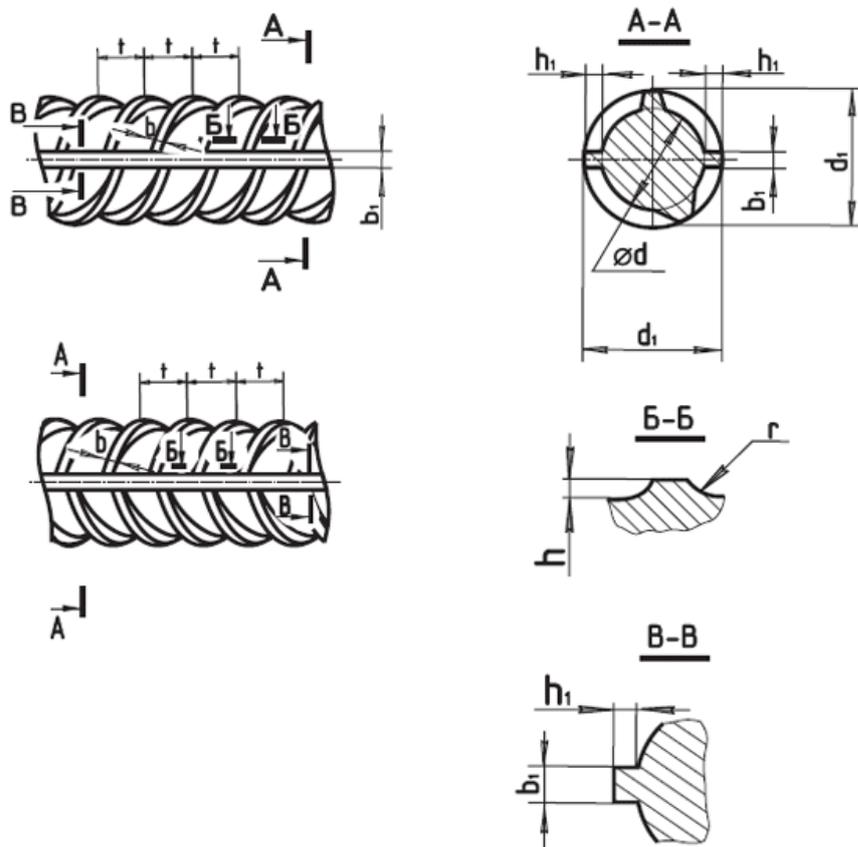


Рисунок - 6.16. Арматури за ГОСТ 5781-82 звичайного виконання

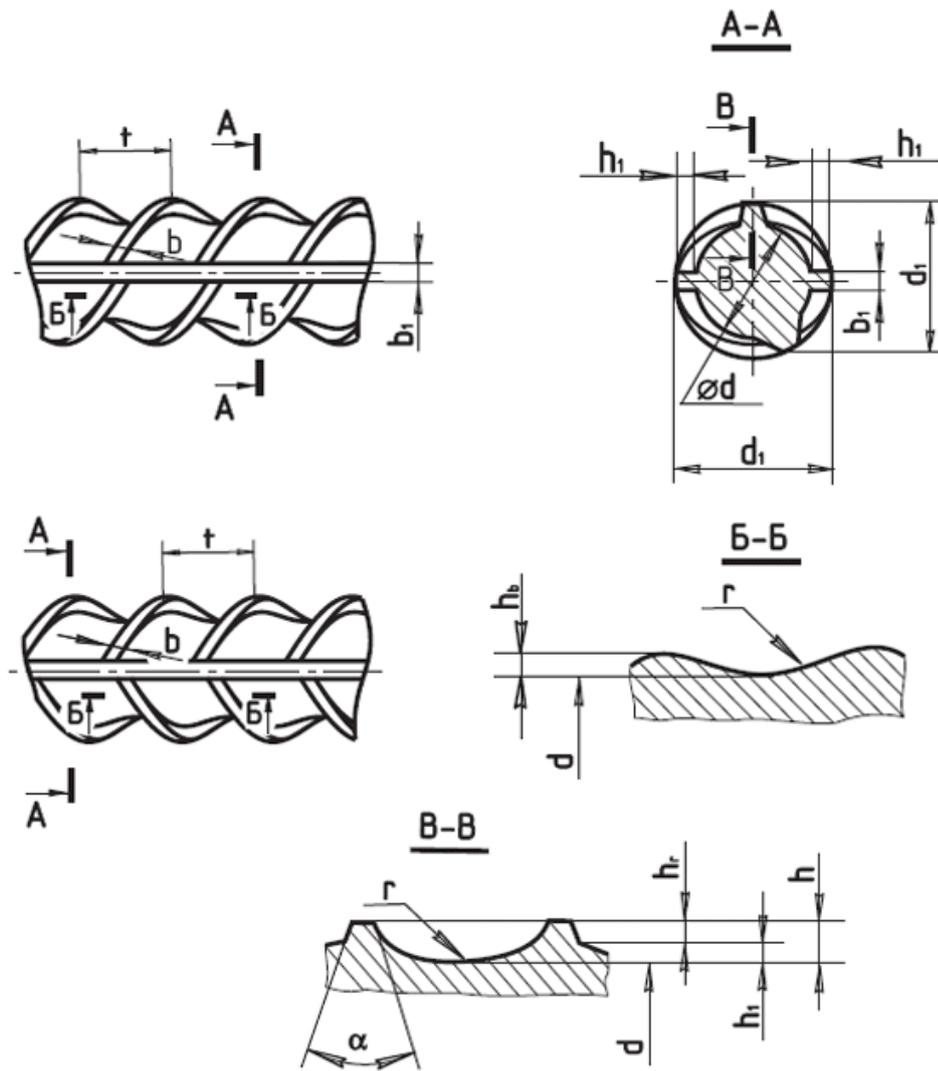


Рисунок - 6.17. Арматури за ГОСТ 5781-82 спеціального виконання

Маркування, упакування, транспортування. За ДСТУ 3058–95 (ГОСТ 7566–94) з доповненнями:

- кінці стрижнів з низьколегованих сталей класу А-IV (А600) повинні бути пофарбовані червоною фарбою, класу А-V — червоної й зеленої, класу А-VI (А1000) — червоної й синьої. Допускається фарбування зв'язувань на відстані 0,5 м від кінців;
- стрижні впаковують у зв'язування масою до 15 т, перев'язані дротом або катанкою. На вимогу споживача стрижні впаковують у зв'язування масою до 3 і 5 т;
- на зв'язування фарба наноситься смугами шириною не менш 20 мм на бічну поверхню по окружності (не менш 1/2 довжини окружності) на відстані не більш 500 мм від торця;
- на мотки фарба наноситься смугами шириною не менш 20 мм поперек витків із зовнішньої сторони мотка;
- на неупаковану продукцію фарба наноситься на торець або на бічну поверхню на відстані не більш 500 мм від торця;

- на ярлику, прикріпленому до кожного зв'язування стрижнів, наносять прийняте позначення класу арматурної сталі (наприклад, А-III) або умовна позначка класу по границі текучості (А400).

Умовні позначки

Арматурна сталь діаметром 20 мм, класу А-II (А300):

20 - А-II ГОСТ 5781-82.

Арматурна сталь діаметром 18 мм, класу А-I (А240):

18 - А-I ГОСТ 5781-82.

У позначенні стрижнів класу А-II (А300) спеціального призначення додається індекс «с»:

Ас-II (Ас300).

Арматура термомеханічнозміцнена для залізобетонних конструкцій за ГОСТ 10884-94.

Технічні умови на термомеханічно зміцнену арматуру регламентуються ГОСТ 10884–94. Даний стандарт поширюється на термомеханічно зміцнену арматурну сталь гладку й періодичного профілю діаметрами 6-40 мм, призначену для армування залізобетонних конструкцій.

Арматурну сталь по даному стандарту підрозділяють на класи в залежності:

- від механічних властивостей — класу міцності (установленого стандартом нормованого значення умовного або фізичної границі текучості);
- від експлуатаційних характеристик — на, що зварюється (індекс З), стійку проти корозійного розтріскування (індекс К).

Арматурну сталь виготовляють класів Ат400С, Ат500С, Ат600, Ат600С, Ат600 ДО, Ат800, Ат800 ДО, Ат1000, Ат1000 ДО и Ат1200 з періодичним профілем згідно з рисунком 6.18 та 6.19 або ГОСТ 5781. За узгодженням виготовлювача зі споживачем арматурну сталь класу міцності Ат800 і вище допускається виготовляти гладкою.

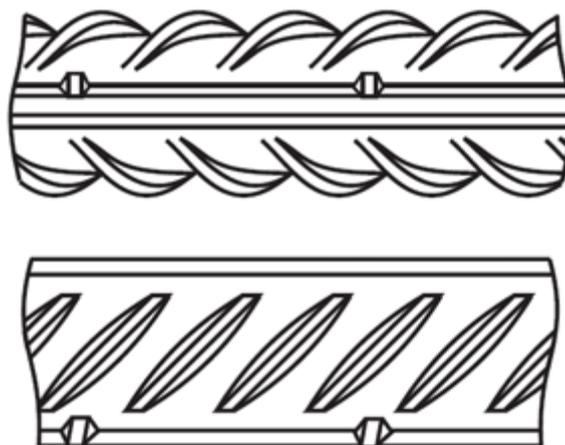


Рисунок - 6.18. Періодичний профіль арматур за ГОСТ 10884-94 з поздовжнім виступом

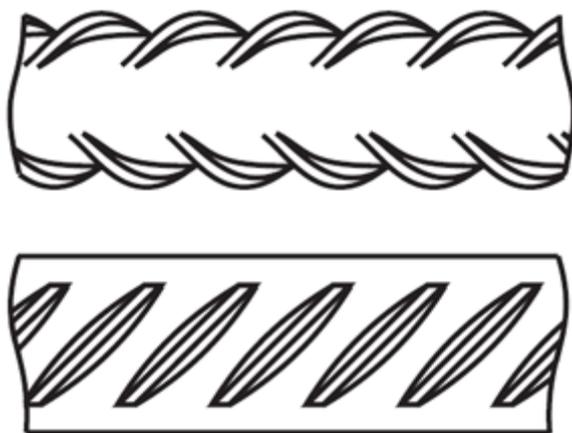


Рисунок - 6.19. Періодичний профіль арматур за ГОСТ 10884-94 без поздовжнього виступу

Основні параметри й розміри (рисунок 6.20).

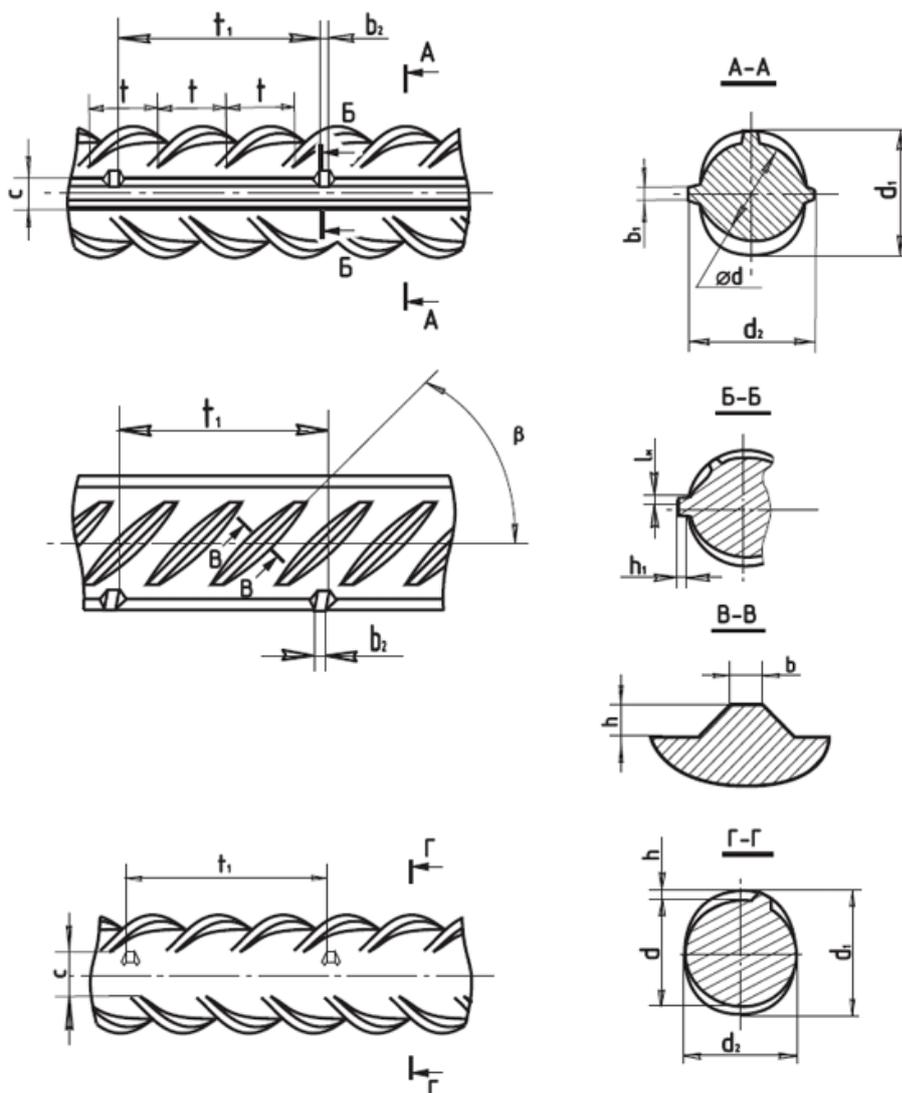


Рисунок - 6.20. Геометричні параметри арматур за ДСТ 10884-94

Кут між поперечними виступами й поздовжньою віссю стрижня β рекомендується ухвалювати рівним 45° . Допускається зазначений кут ухвалювати рівним від 35° до 70° .

Овальність стрижнів (різниця між d_1 і d_2 в одному перетині) не повинна перевищувати суми плюсового й мінусового граничних відхилень по розміру d_1 .

Розміри, на які не встановлені граничні відхилення, наведені для побудови калібру й на готовому прокаті їх не контролюють.

Арматурну сталь діаметром 10 мм і більш виготовляють у вигляді стрижнів, застереженої в замовленні довжиною.

Арматурна сталь діаметрами 6 і 8 мм виготовляється в мотках. Виготовлення арматурної сталі класів Ат400С, Ат500С и Ат600С діаметром 10 мм допускається в мотках.

Стрижні виготовляють мірної довжини від 5,3 до 13,5 м. Допускається виготовлення стрижнів мірною довжиною до 26 м.

Довжина стрижнів — на вимогу споживача.

Арматурну сталь, що зварюється, допускається поставляти у вигляді стрижнів:

- мірної довжини з немірними відрізками довжиною не менш 2 м у кількості не більш 15 % від маси партії;
- немірної довжини від 6 до 12 м. У партії такої арматурної сталі допускається наявність стрижнів довжиною від 3 до 6 м у кількості не більш 7 % від маси партії.

Маркування, упакування, транспортування

Арматурна сталь періодичного профілю має маркування класу міцності й заводу-виготовлювача, що наноситься при її прокатці у вигляді маркірованих коротких поперечних ребер або крапок на поперечних виступах.

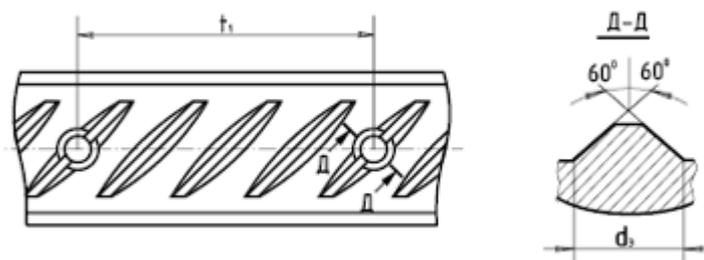


Рисунок - 6.21. Параметри маркірованих знаків арматур за ГОСТ 10884-94

Маркіровані короткі поперечні ребра висотою 0,5 мм, що не виходять за межі габаритного розміру по окружності діаметром d_1 , розташовують на поверхнях, що примикають до поздовжніх ребер (таблиця 6.3).

Маркіровані крапки висотою, рівній висоті поперечного виступу, являють собою конусоподібні стовщення на поперечних виступах.

Клас міцності арматурної сталі позначають числом поперечних виступів згідно з таблицею 6.4 в інтервалі t_1 (див. рисунок - 6.21).

Таблиця 6.3. Розміри маркірованих знаків

| Номінальний діаметр арматурної сталі (номер профілю), мм | Розміри маркувальних знаків, мм | | | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|---|
| | h_1 | l_m | b_2 | d_3 | |
| 6 | 0,4 | 2 | 3 | — | |
| 8 | 0,6 | | | 3 | 4 |
| 10 | 0,8 | 4 | | | 5 |
| 12 | 1 | | | | |
| 14 | 1,1 | | | | |
| 16 | 1,2 | | | | |
| 18 | 1,3 | | | | |
| 20 | 1,4 | | 6 | | |
| 22 | 1,5 | | | | |
| 25 | 1,6 | | | | |
| 28 | 1,8 | | | | |
| 32 | 2 | | | | |
| 36 | 2,3 | | | | |
| 40 | 2,5 | | | | |

Таблиця 6.4. Маркування класу міцності термомеханічно зміцненої арматури

| Клас міцності арматурної сталі | Число поперечних виступів в інтервалі t_1 (див. рисунок 6.21) |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| At400 | 3 |
| At500 | 1 |
| At600 | 4 |
| At800 | 5 |
| At1000 | 6 |
| At1200 | 7 |

* Для арматурної сталі класу At800 К діаметром 18-32 мм.

При відсутності прокатного маркування кінці стрижнів або зв'язування арматурної сталі відповідного класу повинні бути пофарбовані незмивною фарбою наступних квітів:

- At400C — білої; At800 — зеленої;
- At500C — білої й синьої; At800 K — зеленої й червоної;
- At600 — жовтої; At1000 — синьої;
- At600C — жовтої й білої; At1000 K — синьої й червоної;
- At600 K — жовтої й червоної; At1200 — чорної.

Допускається фарбування зв'язувань на відстані 0,5 м від кінців. Стрижні впаковують у зв'язування масою до 10 т, перев'язані дротом. На вимогу споживачів стрижні впаковують у зв'язування масою до 3 т. При поставці в мотках кожний моток повинен складатися з одного відрізка арматурної сталі. Маса мотка — до 3 т. Моток повинен бути рівномірно перев'язаний по окружності не менш чому в чотирьох місцях. Кожна із цих

в'язань повинна мати проміжну стяжку (в'язання), яка розташовується на рівні середньої товщини мотка. До кожного мотка або зв'язування стрижнів повинен бути міцно прикріплений ярлик, на яким указують:

- товарний знак або товарний знак і найменування підприємства-виготовлювача;
- умовна позначка арматурної сталі;
- номер партії;
- клеймо технічного контролю.

При невідповідності механічних властивостей арматурної сталі маркуванню, нанесеної при її прокатці, фактичний клас міцності повинен бути зазначений на ярлику й у документі про якість, а кінці стрижнів повинні бути пофарбовані фарбою відповідно до наведених правил маркування.

Контрольні питання:

1. *Схема повздовжно-періодичної прокатки при виробництві періодичних профілей.*
2. *Схема поперечної прокати.*
3. *Схема поперечно-гвинтової прокатки.*
4. *Поперечно-гвинтова прокатка в спіральних калібрах.*
5. *Схема поперечно-клинової прокатки.*
6. *Сортамент періодичних профілей.*
7. *Маркування періодичних профілей.*

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Серета, Б.П.** Обробка металів тиском [Текст]: навчальний посібник для студентів ВНЗ / Б.П. Серета. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2009. – 344 с. Бібліогр.: с. 342. – 300 прим. ISBN 972-966-8462-11-5 (в пер.).
2. **Серета, Б.П.** Прокатне виробництво [Текст]: навч. посіб. для студ. ВНЗ / Б.П. Серета, М.Г. Прищип. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 312 с. Бібліогр.: с. 310. – 300 прим. ISBN 978-966-7101-96-1. (в пер.).
3. **Емельяненко, П.Т.** Трубопрокатное и трубосварочное производство [Текст]: / П.Т. Емельяненко, А.А. Шевченко, С.И. Борисов. – М.: Металлургиздат, 1954. – 497 с. Библиогр.: с. 496 - 5000 экз. ISBN 5-02-031632-6.
4. **Ваткин, Я.Л.** Трубное производство [Текст]: Учебник / Я.Л. Ваткин, Ю.Я. Ваткин. – М.: Металлургия, 1970. – 512 с. Библиогр.: с.510. – 6000 экз. ISBN 5-02-031632-6.
5. **Осадчий, В.Я.** Технология и оборудование трубного производства [Текст]: Учебник для вузов/ В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец и др. –М.: «Интермет Инжиниринг», 2001 – 608 с. Библиогр.: с. 603. – 500 экз. ISBN 5-89594-048-X.