

Тема 1. Основні методи обробки металів і сплавів тиском. Базові положення з теорії поздовжньої прокатки.

Основними видами обробки металів тиском є прокатка, волочіння, пресування, кування та штампування. Розглянемо схеми та особливості цих процесів.

1.1 Прокатка

Процес прокатки металів здійснюється між двома або декількома обертовими приводними валками. При цьому площа поперечного перерізу заготовки зменшується, довжина та ширина збільшуються, може змінюватися форма. Залежно від напрямку обертання валків і напрямку руху злитка (заготівлі, розкочування) щодо осей валків розрізняють три основні способи прокатки: поздовжній, поперечний, поперечно-гвинтовий.

Поздовжня прокатка (рис.1.1.). Основні ознаки:

1) Прокатку здійснюють між двома приводними валками, що обертаються назустріч один одному. Іноді до двох горизонтальних додають два вертикальні, осі яких розташовані в одній вертикальній площині.

2) Рух заготовки поступальний, її вісь перпендикулярна до осей валків.

3) Довжина розкату (метри, кілометри) багаторазово перевищує розміри поперечного перерізу (міліметри).

Способом поздовжньої прокатки отримують листи, смуги, сортові профілі, безшовні труби та катанку, постійного та змінного (періодичного) перерізу. Саме цим способом виготовляють основну масу прокатної продукції з чорних і кольорових металів.

Поперечна прокатка (рис.1.2). основні ознаки :

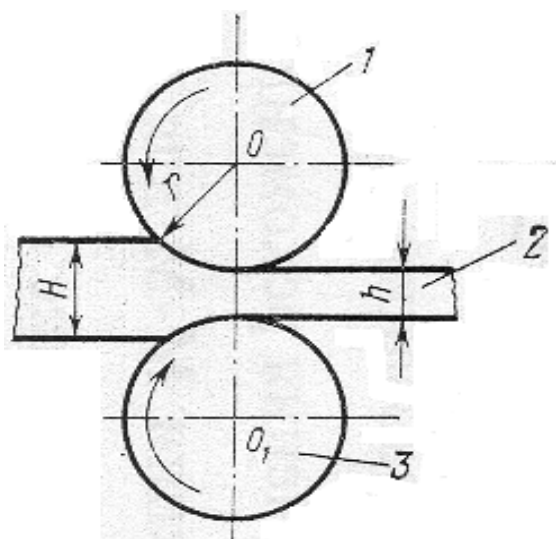


Рисунок 1.1 – Схема продольної прокатки: 1 – верхній валок; 2 –штаба; 3 – нижній валок.

1) Прокатку здійснюють між двома приводними валками, що обертаються в тому самому напрямку.

2) Рух заготівлі обертально-поступальний, її вісь паралельна осям валків.

3) розміри поперечного перерізу виробів співмірні або менше довжини.

Спосіб поперечної прокатки отримують тіла обертання, в основному спеціального призначення - кулі, шестерні, осі, вали і т.п., які, по суті, є готовими деталями. Тому такі стани називаються ще деталепрокатними.

Прокатку здійснюють переважно у гарячому стані та використовують у машинобудуванні, металообробці та у меншій мірі – у металургії.

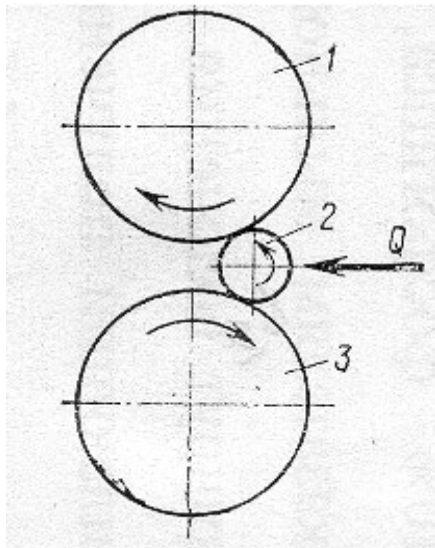


Рисунок 1.2 - Схема поперечної прокатки: 1 – верхній валок; 2 – прокатний виріб; 3 – нижній валок

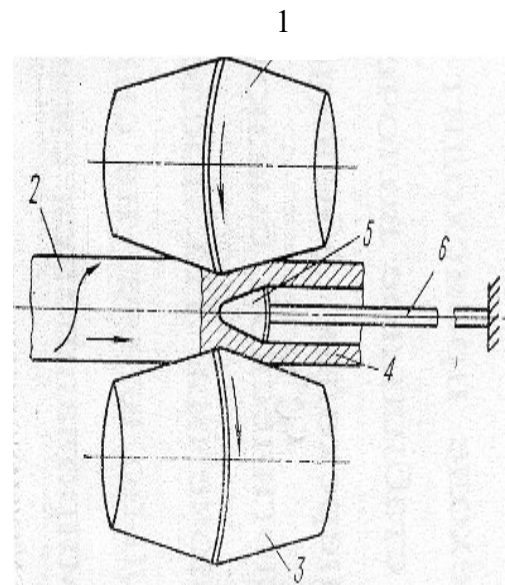


Рисунок 1.3 - Схема поперечно-гвинтової прокатки (вид сверху): 1 – лівий валок; 2 – заготовка; 3 – правий валок; 4 – гільза; 5 – оправка; 6 – штанга.

Поперечно-гвинтова (коса) прокатка. У станах поперечно-гвинтової прокатки використовують переважно бочкоподібні валки (рис.1.3.). Осі валків у плані – паралельні, але у вигляді збоку – нахилені до горизонту під кутом $4..15^\circ$.

Основні ознаки:

1) валки приводні обертаються в одному напрямку;

2) рух заготівлі поступально-обертальний, її вісь паралельна осям валків;

3) довжина розкату істотно перевищує розміри поперечного перерізу.

Завдяки нахилу та наявності скосів на валках заготівля силами контактного тертя втягується в зів валків і просувається вздовж їх осей. Зверху та знизу заготовка утримується на осі прокатки дисковими проводками або лінійками.

Внаслідок поверхневої деформації внутрішні шари заготовки розпушуються, утворюючи порожнину. Для надання їй правильної геометричної форми всередину порожнини (в осередок деформації) на звороті вводиться оправка на жорстко закріпленій штанзі. Оправлення прошиває розпушену центральну область заготівлі, в результаті з неї одержують порожнисту гільзу.

Процес використовують в основному в металургії для отримання порожнистих виробів круглої форми із чорних та кольорових металів.

1.2. Волочіння

Процес волочіння (рис.1.4.) полягає у протягуванні заготовки (прутка, дроту) через волочильне очко (волоку), поперечний переріз якого менше перерізу заготовки. Попередньо передній кінець заготовки загострюють, вводять в отвір волоки та захоплюють кліщовим пристроєм. Спосіб волочіння отримують прутки, дріт суцільного і порожнього перерізу різної форми і розмірів з високою точністю і якістю поверхні.

Завдяки простоті, процес волочіння використовують у багатьох галузях народного господарства, але головним чином у металургії, машинобудуванні та металообробці.

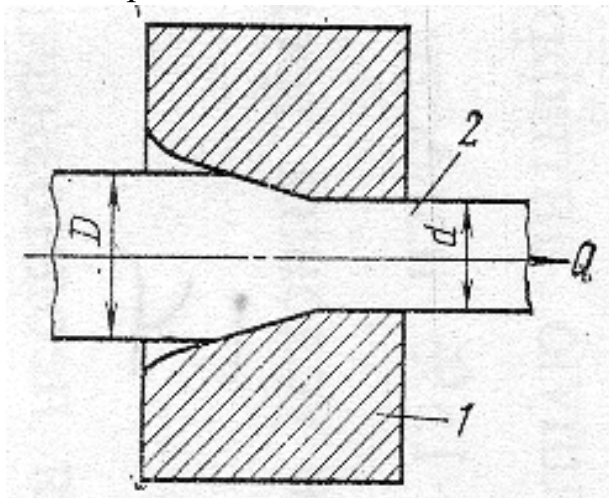


Рисунок 1.4. – Схема процесу волочіння: 1 – волока; 2 – пруток.

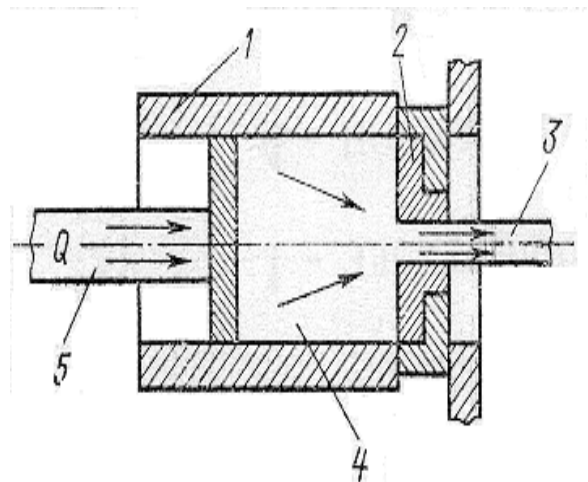


Рисунок 1.5. – Схема процесу пресування: 1 – контейнер; 2 – матриця; 3 – виріб; 4 – злиток 5 – пуансон.

1.3. Пресування

Процес пресування полягає у видавлюванні металу (круглої заготовки) із контейнера через матрицю з отвором (рис.1.5). Шляхом пресування отримують профілі суцільного та порожнього перерізу найрізноманітнішої форми залежно від форми окуляри матриці.

Процес здійснюють у гарячому чи холодному станах, використовують переважно у машинобудуванні і металургії.

1.4. Кування

Процес кування – один із найдавніших видів ОМТ (рис.1.6.). Вільне кування здійснюють між двома бойками, один з яких (нижній) нерухомий, другий (верхній) здійснює зворотно-поступальні рухи вгору-вниз. При ході вниз здійснюється пластична деформація заготовки (робочий хід), при ході вгору (холостий хід) просувають заготівлю на ширину бойка. При цьому, якщо необхідно обтискати заготовку за висотою та шириною, її кантують по черзі на 90°.

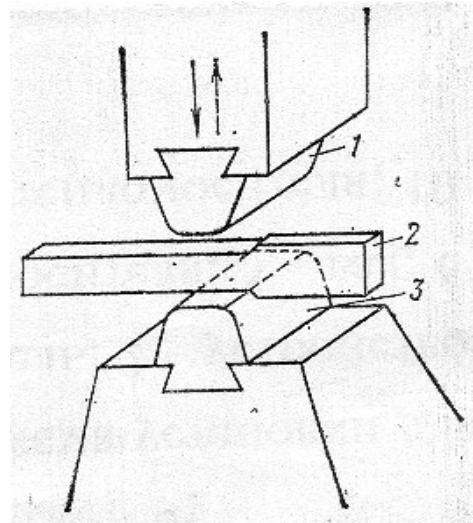


Рисунок 1.6 – Схема процесу вільної ковки: 1 – верхній бойок; 2 – заготовка; 3 – нижній бойок.

Процес здійснюється переважно у гарячому стані, використовують для отримання великих поковок із чорних металів для подальшої механообробки в машинобудуванні та механічних цехах металургійних заводів.

1.5. Штампування

Штампування поділяють на об'ємне (рис.1.7.) та листове штампування (рис.1.8.)

Процес об'ємного штампування схожий на кування, тільки замість бойків використовують штампи, що складаються з двох половин. У кожній з них виконують порожнини, за формою відповідні формі виробів, що штампуються.

На відміну від вільного кування протягом металу тут обмежують порожнини штампу, а надлишок металу йде в задилок (облій). Це забезпечує досить високу точність виробу.

Штампи працюють у важких умовах – високі температури, часті тепломіни, великі тиски. Тому їх виготовляють із дорогих теплостійких, зносостійких сталей. Сам процес виготовлення штамів дуже трудомісткий. Внаслідок цього об'ємне штампування застосовують при необхідності виготовлення обмеженого асортименту виробів великими серіями.

При листовому штампуванні основним інструментом є матриця та притиск із центральним отвором, рівним зовнішньому діаметру виробу, і пуансон діаметром, рівним внутрішньому діаметру виробу (рис.1.8.).

Круглу заготовку з листів товщиною 0,5...4,0 мм пластичних металів і сплавів (мідь, алюміній, вуглецева та легвана сталі тощо) укладають на матрицю, притискають притиском і пуансоном деформують заготовку. В результаті одержують вироби у вигляді ковпачків. Цим способом отримують практично весь кухонний посуд - кухлі, миски, каструлі та ін.

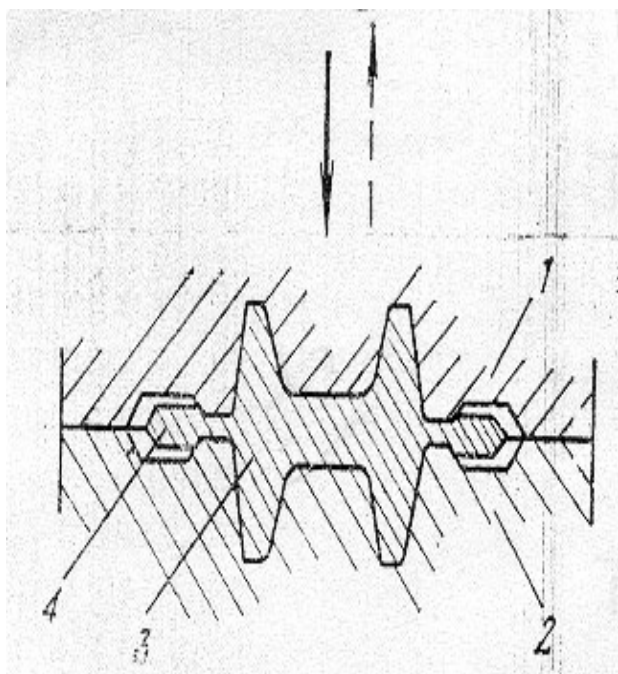


Рисунок 1.7 – Схема об'ємного штампування: 1 – верхня частина штампа; 2 – нижня частина штампа; 3 – виріб; 4 – облой (завусенець).

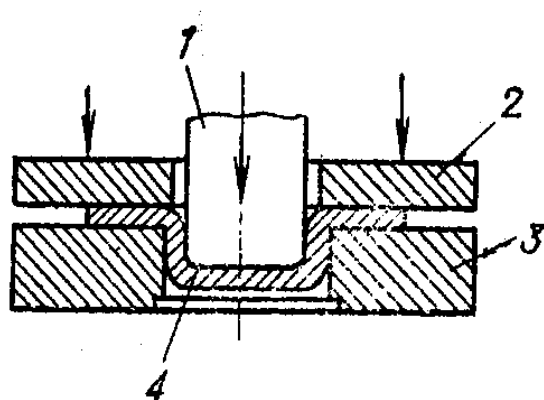


Рисунок 1.8 – Схема листового штампування: 1 – пуансон; 2 – притиск; 3 – матриця; 4 – виріб.

2. Деякі загальні положення теорії прокатки

В основі теорії прокатки лежить загальна теорія ОМТ та теорія пластичності, що вивчаються у спеціальних курсах.

Усі матеріали мають кристалічну будову. Відстань між атомами в кристалах залежить від обраного напрямку, як від цього залежать та його властивості: вони різні різних напрямках, тобто кристали за своєю природою анізотропні.

Реальний метал складається з множини кристалів, довільно орієнтованих у просторі. За такого випадкового розташування кристалів властивості металу (полікристалу) виявляються однаковими в усіх напрямках і визначаються середніми значеннями, хоча кожне зерно залишається анізотропним. Зовні метал поводить як ізотропне тіло. Тому такі тіла прийнято називати псевдоізотропними, або квазіізотропними .

Під впливом зовнішніх сил тверді тіла можуть змінювати свою форму та розміри. Властивості металів змінювати свою форму і розміри без порушення суцільності під впливом прикладених зовнішніх сил називається пластичністю, а сама зміна форми та розмірів твердого тіла називається деформацією.

Виникаючи при цьому напруги визначають як відношення сили, прикладеної до тіла, площі його поперечного перерізу: $\sigma = \frac{P}{F}$ Н/мм², де P - прикладена до тіла сила, Н; F – площа поперечного перерізу, мм².

Розрізняють деформації пружну та пластичну, залишкову. Деформація називається пружною, якщо після припинення дії прикладеної сили тіло набуває початкових розмірів. В іншому випадку деформація називається пластичною, залишковою.

Мірою пластичності металу називають величину відносної деформації (поздовжньої та поперечної) в момент руйнування:

$$\text{відносне подовження } \delta = \frac{L_k - L_n}{L_n} \cdot 100, \%$$

і відносне поперечне звуження
$$\Psi = \frac{F_n - F_k}{F_n} \cdot 100\%,$$

де L_n і F_n - початкові довжина та площа поперечного перерізу зразка, відповідно, $L_{\partial o}$ і $F_{\partial o}$ - те саме, кінцеві.

Міцнісні властивості металу характеризують твердість (Н) і міцність (σ_B).

Пружня деформація завжди передує пластичної. Це видно на діаграмі розтягування зразка (рис.2.1). У стадії розтягування ділянці ОА має місце пружна деформація: напруга σ зростає прямо пропорційно збільшенню відносної деформації δ .

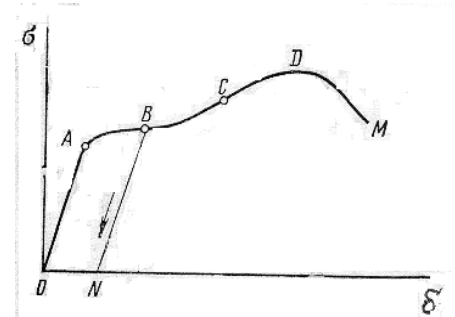


Рисунок 2.1 – Діаграма розтягування сталевго зразка

Залежність між ними підпорядковується закону Гука:

$$\sigma = E \cdot \delta$$

де E - модуль пружності металу .

При подальшому розтягуванні пружна деформація перетворюється на пластичну. Причому для деяких матеріалів такий перехід відбувається стрибкоподібно, метал як би тече при постійній нарузі (майданчик плинності АВ).

Потім внаслідок наклеп напруга зростає, досягаючи максимуму в точці Д. Після чого деформація локалізується в середній частині зразка і, нарешті, в точці М відбувається його розрив на дві частини.

Якщо в точці А зняти прикладену силу розтягування, то розвантаження зразка відбудеться по прямій АТ і він прийме початковий розмір (пружна деформація).

Якщо ж зняти прикладене навантаження в точці, то розміри зразка будуть змінюватися не по кривій ВАО, а по прямій ВN і відрізок ON характеризувати величину відносної пластичної деформації зразка.

Напруження, у якому деформація з пружної перетворюється на пластичну, називаються межею плинності (σ_T), а максимальне напруження, що передуює руйнації зразка – тимчасовим опором (σ_B).

Для більшості металів перехід від пружної до пластичної деформації відбувається поступово та на кривій розтягування чітко не фіксується. Тому для таких металів визначають так звану умовну межу плинності, як напруга при деякій малій величині пластичної деформації, наприклад 0,2%. У такому разі умовну межу плинності позначають $\sigma_{0,2}$.

Найпростіший механізм пластичної деформації монокристала можна представити як ковзання (зсув) атомів відносно один одного в кристалічній решітці. Причому ковзання атомів відбувається не за випадковими, а за цілком певними площинами, які так і називають площинами ковзання. Це площини із найбільш щільною упаковкою атомів. Для об'ємно-центрованих ґрат (α -Fe, W, Cr, Mo, V та ін.) – це діагональна площина куба. У гранецентрованих кубічних ґрат (γ -Fe, Ni, Pb, Cu, Ag, Au та ін.) – це октаедрична площина, що проходить через діагональ грані та протилежну вершину куба і т.д.

У полікристалічних тілах зсувні деформації починаються в першу чергу в тих зернах, в яких площина ковзання розташована під кутом 45° напрямку прикладеної сили, де діють максимальні дотичні напруження. Під впливом цих зерен відбувається поворот сусідніх зерен, поки їхня площина ковзання теж повернеться під кутом 45° до спрямування прикладеної сили і почнеться зрушення і т.д. (Рис.3.5). Пластична деформація розвивається лавиноподібно шляхом утворення нових та нових площин ковзання.

У процесі пластичної деформації зерна не тільки змінюють форму та розміри, а й взаємне просторове розташування, витягуючись у напрямку прокатки. Це призводить до утворення рядкової структури або так званої текстури.

Утворення текстури характерне для прокатки в холодному стані та призводить до відмінності властивостей металу у різних напрямках. Така відмінність властивостей називається анізотропією. Вона виражена тим більше, що більший ступінь пластичної деформації. У цьому збільшуються твердість і

міцність металу, знижується його відносне подовження і поперечне звуження, тобто. збільшуються міцнісні та знижуються пластичні властивості металу. Така зміна властивостей у процесі пластичної деформації називається зміцненням (наклепом, нагартовкою) металу.

При нагріванні холоднодеформованого металу до температур 500-600 °С міцності за рахунок зняття внутрішніх напруг знижуються, а пластичні - збільшуються. Таке відновлення властивостей металу при нагріванні без структурних змін називається поверненням або відпочинком.

При нагріванні металу до вищих температур відбувається так звана рекристалізація структури: витягнуті зерна дробляться, округляються, об'єднуються у більші. Це призводить до різкого падіння міцності та зростання пластичних властивостей металу. Рекристалізація металу за своєю дією зворотна по відношенню до холодної деформації.

При гарячій деформації процеси наклепу та рекристалізації протікають одночасно, т.к. гаряча деформація здійснюється за температур, вище температури рекристалізації металу.

Таким чином, межею між холодною та гарячою деформацією є температура рекристалізації металу. Якщо температура прокатки вище температури рекристалізації даного металу, має місце гаряча прокатка, інакше холодна.

Тому прокатка, наприклад, свинцю при кімнатній температурі вважається гарячою, т.к. за цієї температури відбувається його рекристалізація. Тому свинець дуже часто використовують як модельний метал при вивченні різних видів ЗМД.

Деякі закони пластичної деформації.

1. Закон сталості обсягу. Він говорить: у процесі пластичної деформації змінюється форма та розміри тіла, а обсяг залишається незмінним. У символах закон записують так - $H \cdot B \cdot L = h \cdot b \cdot l$, де символи позначають висоту, ширину і довжину тіла, що деформується до і після деформування, відповідно.

Цей закон має деякі винятки. При гарячій деформації литого металу відбувається його ущільнення перших проходах з допомогою пористості. Так,

щільність окропу становить $6,3 \text{ г/см}^3$, спокійної - до $7,0 \text{ г/см}^3$, а деформованої - $7,85 \text{ г/см}^3$.

При холодній прокатці, навпаки, відбувається деяке розуцільнення металу, але воно становить лише $0,1-0,2 \%$ і їх нехтують.

2. ЗАКОН найменшого опору.

Відповідно до цього закону кожна частка вільно деформованого тіла переміщається шляхом найменшого опору своєму переміщенню. Таким шляхом є найкоротший шлях, що проходить через частку до периметру перерізу, тобто. по перпендикуляру щодо нього.

Наприклад, при осаді циліндричного зразка рух частинок відбуватиметься за радіусом, і в кінцевому підсумку вихідна форма кола зберігається. При осаді зразка з квадратною основою (рис.2.2) частинки переміщатимуться

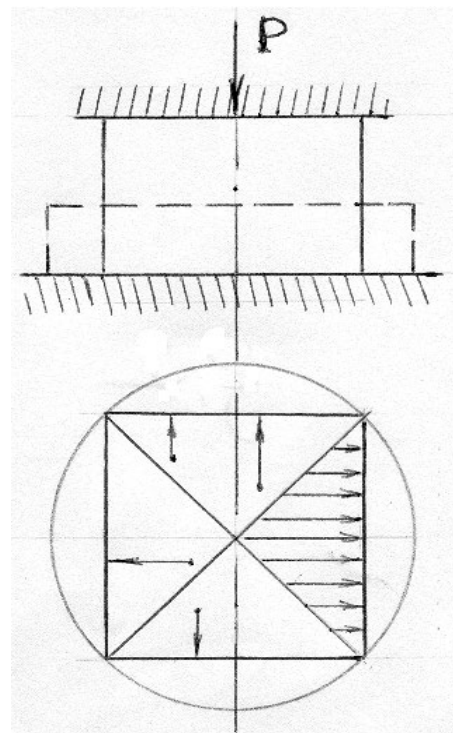


Рисунок 2.2. – Схема осадки зразка з квадратною основою

перпендикуляром до поверхні. Таким чином, його основу діагоналями буде поділено на поля закінчення. Через війну зрештою квадратне підставу перетвориться на кругле, тобто. тіло прагне зменшення периметра за тієї ж площі основания. Тому цей закон ще називають законом найменшого периметра.

В обох випадках, що розглядаються, передбачаються ідентичні умови контактного тертя у всіх напрямках.

Основні поняття та визначення поздовжньої прокатки

Лінійні розміри штаб, що прокатуються, мм (рис 2.3):

H, B, L – відповідно висота, ширина та довжина заготовки;

h, b, l - те ж розкату;

R і D – радіус та діаметр валків;

AA' – точки початкового зіткнення металу з валками;

BB' – точки кінцевого зіткнення металу з валками;

AB – дуга захоплення;

α - кут захоплення; град.;

b_c - середня ширина штаби: $b_c = \frac{B+b}{2}$;

h_c – середня висота штаби $h_c = \frac{H+h}{2}$,

або точніше $h_c = \sqrt{H \cdot h}$,

F – площа контактної поверхні металу із валками, мм².

Площина входу металу у валки – вертикальна площина, що проходить через точки початкового зіткнення металу з валками.

Площина виходу металу із валків – вертикальна площина, що проходить через лінію центрів валків.

Область, обмежена дугами захвату, площинами входу та виходу металу з валків, а також бічними гранями смуги (заштрихована) називається геометричним осередком деформації або зоною, поясом деформації.

l_d - довжина осередка деформації;

l_d/h_c – показник форми осередку деформації. Дуже важливий фактор, що визначає багато параметрів процесу прокатки.

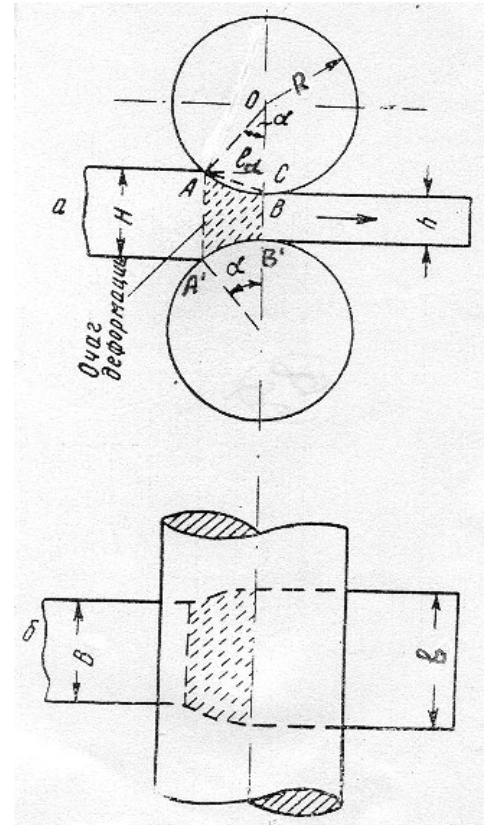


Рисунок 2.3 – Схема осередку деформації

Показники деформації:

1. Абсолютні -

обтиснення $\Delta h = H - h$, мм;

розширення $\Delta b = b - B$, мм;

подовження $\Delta l = l - L$, мм.

2. Відносні -

обтиснення $\varepsilon = \frac{H - h}{H} = \frac{\Delta h}{H}$.

Аналогічно визначають відносні розширення та подовження, але вони практично не використовуються.

Показник розширення $K = \frac{\Delta b}{\Delta h}$ показує, яка частина обтисненого металу витрачалася на розширення.

При поздовжній прокатці метал, що обжимається, зміщується в довжину і ширину, т.зв. зміщений обсяг V_c . Він дорівнює $V_c = (H - h) \cdot B \cdot L$. Відносний

(питомий) зміщений обсяг буде $V_y = \frac{V_c}{V_0} = \frac{(H - h) \cdot B \cdot L}{H \cdot B \cdot L} = \frac{\Delta h}{H} = \varepsilon$, тобто.

питомий зміщений обсяг чисельно дорівнює відносному обтисканню.

3. Коефіцієнти -

$$\text{обтиснення } \eta = \frac{H}{h}$$

$$\text{розширення } \beta = \frac{b}{B},$$

$$\text{подовження (витяжки) } \mu = \frac{l}{L}.$$

За законом сталості обсягу $H \cdot B \cdot L = h \cdot b \cdot l$ звідки $\frac{H}{h} = \frac{b \cdot l}{B \cdot L}$ або $\eta = \beta \cdot \mu$.

Отже, при тому самому обтисканні розширення тим більше, чим менше витяжка, і навпаки.

Прокатку зазвичай здійснюють кілька проходів. У зв'язку з цим розрізняють загальний (сумарний) коефіцієнт витяжки та приватні.

$$\mu_{об} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n = \mu_c^n \text{ звідки } \mu_c = \sqrt[n]{\mu_{об}},$$

де $\mu_{об}$ - загальний коефіцієнт витяжки за n проходів,

μ_1, μ_2, \dots - Приватні коефіцієнти витяжки,

μ_c - середній коефіцієнт витяжки.

Крім того $\mu = \frac{l}{L} = \frac{F_n}{F_k}$, де F_n і F_k - Початкова і кінцева площі поперечного

перерізу смуги.

Залежність між параметрами осередку деформації.

1. Залежність між довжиною осередку деформації, обтисканням, радіусом валків та кутом захвату. З рис.2.3 випливає $AC^2 = OA^2 - OC^2$ або

$$l_d^2 = R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2 = R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}.$$

Нехтуючи другим членом через його децими порівняно з першим, остаточно отримаємо $l_d = \sqrt{R\Delta h}$.

З того ж малюнку $l_d = R \cdot \sin \alpha \cong R \cdot \alpha$.

2. Залежність між обтисканням, кутом захвату та діаметром (радіусом) валків. З рис. 3.8 $CB = OB - OC$ або $\frac{\Delta h}{2} = R - R \cos \alpha$, звідки $\Delta h = D(1 - \cos \alpha)$ - одна з основних залежностей теорії поздовжньої прокатки.

Оскільки $(1 - \cos \alpha) = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ або в радіанах - $\frac{\alpha^2}{2}$ то спрощене вираз для визначення обтиснення буде $\Delta h = R\alpha^2$. Розрахункові дані за повною та спрощеною формулою навіть при великих кутах захоплення не перевищує 1,5%.

Умови захоплення металу валками

Процеси ОМТ здійснюються завдяки тертю, що виникає між інструментом і металом, що обробляється. Це так зване контактне чи зовнішнє тертя. Воно є фізичною основою процесів ОМТ та прокатки, зокрема.

Природу тертя можна пояснити механічною взаємодією шорсткості інструменту і тіла, що деформується. Крім того, на ділянках контакту мікроставів відбувається взаємодія металу та інструменту на молекулярному рівні (адгезія, прилипання). Спочатку контактування поверхонь металу та інструменту здійснюється на деяких мікроділянках, число яких зростає при збільшенні навантаження та шорсткості.

Відповідно до закону Амонтона -Кулона сила тертя дорівнює добутку нормальної сили на коефіцієнт тертя: $T = fN$.

Теоретично ОМТ крім поняття коефіцієнт тертя під час вирішення багатьох завдань використовують поняття кут тертя.

За малих значеннях кута тертя $\beta = f$, тобто. кут тертя в радіанах чисельно дорівнює коефіцієнту тертя.

При природному захопленні металу необхідно, щоб коефіцієнт (кут) тертя дорівнював або перевищував кут захоплення.

Таким чином, чим більший коефіцієнт (кут) тертя, тим більше кут захоплення, тим більша захоплююча здатність валків, а, отже, і обтискання.

Залежно від положення штаби в осередку деформації розрізняють три стадії прокатки: захоплення металу валками, процес, що встановився, і викид металу з валків.

Перша стадія починається з моменту захоплення металу, продовжується в процесі заповнення вогнища деформації і закінчується, як тільки передній кінець смуги вийде за межі площини металу виходу з валків. Це стадія, що не встановилася, оскільки в процесі заповнення вогнища деформації відбувається зміна практично всіх параметрів процесу прокатки.

Друга стадія – процес прокатки, що встановився, починається з моменту утворення переднього кінця деякої довжини за площиною виходу металу з валків і триває до моменту наближення заднього кінця смуги безпосередньо до площини входу металу у валки. У цій стадії значення всіх параметрів прокатки витримуються приблизно одному рівні.

Третя стадія починається з моменту наближення заднього кінця смуги безпосередньо до площини входу металу у валки, триває протягом звільнення вогнища деформації та закінчується, як тільки задній кінець смуги перетне площину виходу металу з валків. Як і перша, це стадія процесу прокатки, що не встановилася.

В процесі, що встановився, умова захоплення металу валками буде мати

вигляд: $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq \frac{T}{N}$ або $\alpha \leq 2\beta$.

Звідси випливає дуже важливий з практичної точки зору висновок. Найбільш важким у сенсі здійснення захвату металу валками є початковий період прокатки. Якщо ж він відбувся, то в умовах процесу з'являється

можливість приблизно дворазово збільшити кут захоплення і відповідно обтиснення.

Залежність коефіцієнта тертя умов прокатки.

1. При прокатці в сталевих валках коефіцієнт тертя на 15...20% більший, ніж при прокатці в чавунних.

2. Чим більша шорсткість поверхні валків та/або смуги, тим вищий коефіцієнт тертя.

3. З підвищенням вмісту вуглецю сталі коефіцієнт тертя знижується. При прокатці легованих сталей він у 1,2...1,6 рази більше, ніж за прокатці вуглецевих сталей.

4. Залежно від температури прокатки коефіцієнт тертя спочатку збільшується, досягаючи максимуму при 500 ... 800 °С. Потім при подальшому збільшенні температури він знижується.

Вважають, що основний вплив на коефіцієнт тертя не власне температура, а окалина на поверхні смуги. Окисний шар, що утворюється при нагріванні, як абразив, сприяє збільшенню коефіцієнт тертя. За підвищених температур він розм'якшується і починає діяти як мастило.

Зі збільшенням швидкості прокатки коефіцієнт тертя знижується. За даними Таффеля, особливо інтенсивно він знижується в інтервалі швидкостей 2...3 м/сек.

Кінематичні умови поздовжньої прокатки.

Випередження та відставання.

Якщо виміряти швидкість штаби на вході і виході з валків (відповідно V_n і V_h) і зіставити її з окружною швидкістю валків V , то виявиться, що вони пов'язані нерівністю $V_n < V < V_h$, тобто. задній кінець відстає, а передній випереджає валки. Ці явища – входу штаби у валки зі швидкістю, меншою за окружну швидкість валків, називають відставанням (S_n), а виходу штаби з валків зі швидкістю, вище за окружну швидкість валків – випередженням (S_h). При поздовжній прокатці валки повідомляють штабі переносну швидкість $V_{ст}$. Крім того, в процесі обтиснення більша частина металу відповідно до закону

найменшого опору зміщуватиметься проти ходу прокатки з деякою швидкістю V' ; а менша частина - по ходу прокатки зі швидкістю V . Тоді швидкість задньої частини штаби буде $(V - V')$, а передній $(V + V')$, що призводить до згаданої вище нерівності.

Таким чином, випередження утворюється за рахунок усунення частинок металу в напрямку прокатки, а відставання - за рахунок усунення частинок металу проти напрямку прокатки.

З практичної точки зору важливіше знати величину S_h , оскільки вона безпосередньо пов'язана з V_h , а це не що інше, як швидкість прокатки - один з найважливіших параметрів поздовжньої прокатки.

З нерівності $V_n < V_v < V_h$ випливає, що в осередку деформації існує такий переріз, де швидкість металу та валків збігається. Цей вертикальний переріз називають нейтральним або критичним, а відповідний центральний кут - нейтральним або критичним кутом α .

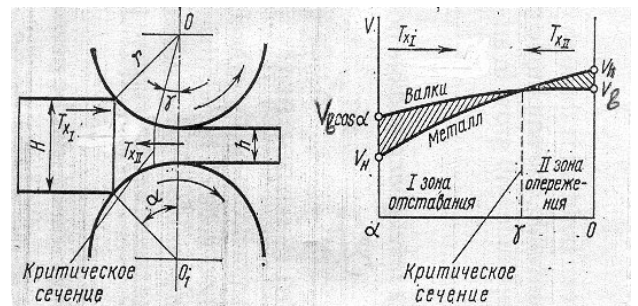


Рисунок 2.4 Визначення швидкостей валків і штаби в осередку деформації

Зона від $\alpha=0$ до α називається зоною відставання, як від α до нуля - зоною випередження (рис. 2.4.).

Таким чином, у зоні відставання валки випереджають метал, а у зоні випередження, навпаки, метал випереджає валки. Тому сили тертя у зоні відставання збігаються з напрямом прокатки, а у зоні випередження - протиспрямовані.

Випередження можна визначити по різниці швидкостей смуги та валків, віднесеної до швидкості валків (зазвичай виражають у відсотках):

$$S_h = \frac{V_h - V_v}{V_v} \cdot 100, \%$$

Але зручніше виражати S_h через величину шляху, пройденого смугою (l_h) і валками (l_v) в одиницю часу: $S_h = \frac{l_h - l_v}{l_v} \cdot 100, \%$.

Значення l_n і l легко визначити, наприклад, методом кернових відбитків (рис.2.4).

Для визначення S_h запропоновано багато формул. Найбільш уживаними є формула Фінка:

$$S_h = \frac{h + D(1 - \cos \gamma)}{h} \cdot \cos \gamma - l$$

формула Головіна-Дрездена: $S_h = \gamma^2 \frac{R}{h}$.

Для обчислення випередження з цих формул необхідно знати величину γ . Для її визначення І.М.Павлов запропонував

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right).$$

станах.

Силкові умови прокатки

Сила прокатки є одним із найважливіших показників процесу прокатки. Вона лежить в основі розрахунку робочої кліті, передавальних пристроїв, потужності електроприводу та ін. По суті вона визначає тип і конструкцію прокатного стану. Під силою прокатки розуміють рівнодіючу P всіх вертикальних складових елементарних сил нормального тиску N і сил тертя T , прикладених до металу з боку валків (рис.2.5). Г горизонтальні складові P_x та T_x взаємно врівноважують одна одну, тобто. $P_x = T_x$, а вертикальні складові P_y і T_y в сумі дають силу прокатки $P = P_y + T_y$.

Така сама, але протиспрямована сила діє з боку металу на валки. При процесі прокатки, рівнодіюча сила P спрямована перпендикулярно осі смуги. В іншому випадку поздовжня складова сили P викликає або гальмування, або прискорення смуги

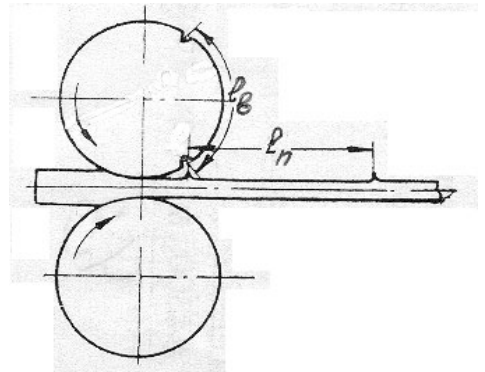


Рисунок 2.4. – Визначення випередження методом кернових відміток

Сила прокатки $P = p_c \cdot F$, де p_c – середня нормальна напруга (тиск), яка була б за умови його рівномірного розподілу площею контактної поверхні, F – горизонтальна проекція площі контактної поверхні.

Контактна напруга залежить від багатьох факторів, врахувати які надзвичайно складно, особливо механічні властивості сталі.

Тому зазвичай використовують або експериментальні способи, або аналітичні, але з урахуванням експериментальних значень механічних властивостей.

Експериментальним шляхом вимірюють силу

прокатки, а вже нею визначають середній тиск: $p_c = \frac{P}{F}$.

Точніше, вимірюють не власне силу, а пружні деформації месдоз або стійок станин кліті при прокатці, а вже за ними з використанням кривих тарувальних обчислюють силу прокатки.

Таким шляхом визначають силу та тиск прокатки на діючих станах. Для проєктованих станів використовують аналітичні методи та емпіричні формули.

З емпіричних формул досить відома формула Екелунда :

$$p_c = (\sigma_T + \eta u) \cdot (1 + m), \text{ кг/мм}^2$$

де $\sigma_T = (14 - 0,01t) (1,4 + C + Mn + 0,3 Cr)$. Тут C , Mn і Cr – зміст цих елементів сталі, %.

η - В'язкість сталі: $\eta = 0,01 (14 - 0,01 t) Do_v$. Тут Do_v – швидкісний коефіцієнт. При $V \leq 6$ м/сек $Do_v = 1$, при $V > 6$ м/сек $Do_v = 0,8$.

u – швидкість деформації.

$$m = \frac{1,6 f \sqrt{R \Delta h} - 1,2 \Delta h}{H + h}$$

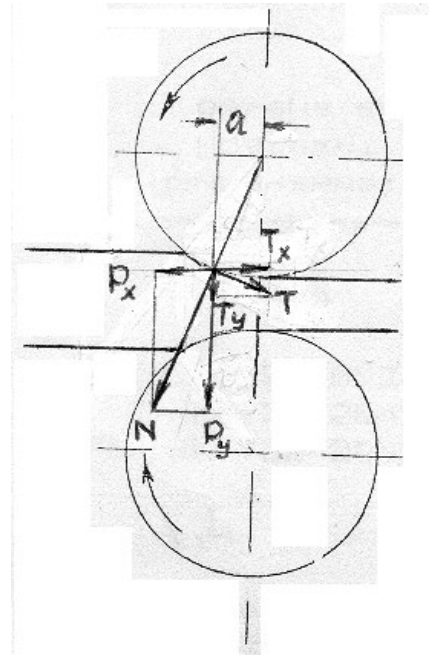


Рисунок 2.5 – Схема дії сил

При аналітичному підході до вирішення цього завдання один із можливих способів запропонував А.І. Ціліків. Контактне напруження залежить від двох груп факторів.

Перша група факторів враховує природні властивості металів, які зазвичай ототожнюються з межею плинності σ_T . Межа текучості має різні значення не тільки для різних металів, але і для одного і того ж металу в залежності від температури прокатки, ступеня і швидкості деформації та ін. $m \cdot n_\sigma$ а в осередку деформації. Тоді $p_c = m \cdot n_\sigma \cdot \sigma_T$.

Проф. В.С. Смирнов, використовуючи положення теорії розмірностей, запропонував визначати m за такими залежностями: $m = 1 + \frac{f}{3} \cdot \frac{b_c}{h_c}$ при

$$0 < \frac{b_c}{h_c} < \frac{0,465}{f} \text{ і } m = 1,15 \text{ за } \frac{b_c}{h_c} \geq \frac{0,465}{f}.$$

Другий член n_σ А.І. Ціліков представив у такому вигляді :

$$n_\sigma = n'_\sigma \cdot n''_\sigma \cdot n'''_\sigma,$$

де n'_σ - Коефіцієнт, що враховує вплив зовнішнього тертя;

n''_σ - Коефіцієнт, що враховує геометричні показники вогнища деформації (фактор форми);

n'''_σ коефіцієнт, що враховує вплив натягу або опору на тиск;

$$n'_\sigma = 1 + K \frac{l_d}{h_c}, \text{ де } K \text{ дорівнює } \frac{1}{6}, \frac{1}{5} \text{ або } \frac{1}{4} \text{ при } \frac{l_d}{h_c} \text{ рівній до } 2, \text{ від } 2 \text{ до } 4 \text{ і}$$

більше 4, відповідно.

$$n''_\sigma = \left(\frac{l_d}{h_c} \right)^{-0,4} \text{ при } \frac{l_d}{h_c} \leq 1,0 \text{ та } n''_\sigma = 1,0 \text{ при } \frac{l_d}{h_c} > 1,0.$$

$$n'''_\sigma = 1 + \frac{\sigma_n + \sigma_3}{p_c}, \text{ де } \sigma_n \text{ напруги } \sigma_3 \text{ в передньому і задньому кінцях смуги,}$$

створювані натягом або підпором.

p_c - тиск за відсутності натягу чи підпору.

При простому випадку прокатки $n'''_\sigma = 1$.

Третій член σ_T проф. В.І. Зюзин запропонував визначати з допомогою базового опору деформації σ_{od} і термомеханічних коефіцієнтів K_t , K_ε і K_u , враховують вплив, відповідно, температури, відносного обтиснення і деформації: $\sigma_T = \sigma_{od} \cdot K_t \cdot K_\varepsilon \cdot K_u$.

Базові значення σ_{od} для різних металів визначають дослідним шляхом при постійних значеннях $t = 1000$ °С, $\varepsilon = 10\%$ і $u = 10$ с⁻¹ і зводять у таблиці.

Значення термомеханічних коефіцієнтів для різних матеріалів визначають так: при фіксованих значеннях $\varepsilon = 10\%$ і $u = 10$ сек⁻¹ визначають опір деформації σ_i за різних температур. За отриманими значеннями коефіцієнта $K_t = \frac{\sigma_i}{\sigma_{od}}$ будують графік, залежно K_t від температури.

Аналогічним чином визначають значення K_ε при різних обтисненнях і фіксованих значеннях $t = 1000$ °С та $u = 10$ сек⁻¹, а також K_u - при різних швидкостях деформації при фіксованих значеннях $t = 1000$ °С $\varepsilon = 10\%$.

При машинних методах розрахунку зручніше користуватися не графіками, а наступними функціональними залежностями для визначення термомеханічних коефіцієнтів.

$$K_t = A_1 \cdot e^{-m_1 t}, K_\varepsilon = A_2 \cdot \varepsilon^{m_2} \text{ і } K_u = A_3 \cdot u^{m_3},$$

де A_1 , A_2 , A_3 , m_1 , m_2 , m_3 - експериментальні показники для різних металів, e – основа натурального логарифму.

$$\text{Тоді } \sigma_T = \sigma_{od} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot e^{-m_1 t} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot u^{m_3}.$$

Таким чином, визначивши значення m , n та σ_T знаходять тиск прокатки, а по ньому - силу прокатки, по якій виробляють розрахунки міцності робочої кліті, валків, натискних пристроїв і ін.

Момент та потужність прокатки

Момент прокатки можна визначати експериментальним чи аналітичним шляхом.

У першому випадку зазвичай на шпинделі наклеюють дротяні датчики, по пружних деформаціях яких і кривим терировочним визначають крутний момент прокатки на валу приводного двигуна.

У другому випадку момент прокатки M_{II} визначають за знайденими значеннями прокатки.

$$M_{II} = M_{\delta} + M_T + M_x \pm M_{дин}, \text{ де}$$

M_{δ} – момент, що витрачається на пластичну деформацію та подолання контактних сил тертя;

M_T – момент, що витрачається на подолання сил тертя у підшипниках валків, шестерінної кліті та ін;

M_x - момент холодного ходу, що витрачається на роботу головної лінії табору в холостому режимі;

$M_{дин}$ - момент, що витрачається на подолання інерційних сил у період розгону та гальмування двигуна (зі знаком + при розгоні, зі знаком – при гальмуванні). Враховується лише на реверсивних станах.

Момент деформації для двох валків буде $M_{\delta} = 2Pa$, де a – плече застосування рівнодіючої сили (рис. 5.1). Зазвичай плече сили виражають через коефіцієнт $\psi = \frac{a}{l_d}$. Тоді $M_{\delta} = 2P\psi l_d$. Коефіцієнт плеча ψ при гарячій прокатці змінюється не більше 0,4...0,6, а холодної – 0,25...0,35. Для його визначення в конкретних умовах прокатки запропоновано такі формули:

Формула Чекмарьова $\psi = 0,790 - 0,887 \frac{l_d}{h_c} + 0,444 \left(\frac{l_d}{h_c} \right)^2$ – для гарячої прокатки та формула Саф'яна та Мелешка $\psi = 0,498 - 0,0283 \frac{l_d}{h_c}$ – для холодної.

Момент тертя в шийках валків $M_T = 4T \frac{d}{2}$, де d – діаметр шийки робочих

валків (рис. 2.6). Сила тертя $T = \frac{P}{2} \cdot f$, Тоді $M_T = P \cdot f \cdot d$, Де f - Коефіцієнт тертя в підшипниках.

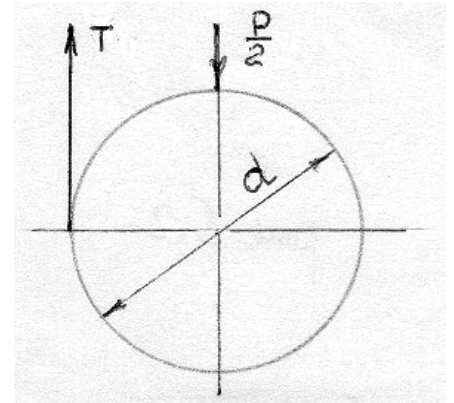


Рисунок 2.6 – Схема до визначення моменту тертя в шийках

Для підшипників ковзання $f = 0,01 \dots 0,03$, для підшипників кочення та рідинного тертя $f = 0,003$.

З урахуванням втрат на тертя в інших вузлах головної лінії табору $M_T = P \cdot f \cdot d \cdot \eta$, де $\eta = 1,0 \dots 2,0$.

Момент холостого ходу можна прийняти не більше 3-5% від суми моментів M_∂ і M_T , тобто $M_x = (0,03 \dots 0,05) (M_\partial + M_T)$.

Динамічний момент $M_{дин} = \frac{GD^2}{375} \cdot c$, де GD^2 - сумарний маховий момент обертових частин головної лінії табору;

c – показник, що характеризує прискорення чи уповільнення двигуна.

При прискоренні = 30...40 об/хв . сек, при уповільненні = 60 ... 70 об / хв. сек.

Маховий момент $GD^2 = GD_\partial^2 + GD_\gamma^2$, де GD_∂^2 - маховий момент робочих валків, шпинделів та ін, GD_γ^2 - маховий момент якоря двигуна. Зазвичай $GD_\partial^2 \approx 0,1 \cdot GD_\gamma^2$. Тоді $GD^2 = 1,1 \cdot GD_\gamma^2$. Значення GD_γ^2 – паспортні дані двигуна.

Потужність прокатки $N_\Pi = M_\Pi \cdot \omega$, де ω - Кутова швидкість обертання валків, $\omega = \frac{V}{R}$. Тоді $N_\Pi = M_\Pi \cdot \frac{V}{R}$ Мнм /сек (М вт).

$$\text{Потужність двигуна } N_\partial = \frac{N_\Pi \cdot K}{C \cdot i}$$

де K - швидкісний коефіцієнт, враховує зниження потужності двигуна внаслідок ослаблення магнітного потоку при частоті обертання валків n вище за номінальну n_n (паспортні дані): $K = \frac{n}{n_n}$. При $n < n_n$, $K = 1,0$;

C – коефіцієнт тимчасового навантаження двигуна. Для нереверсивних двигунів $3 = 2,0$, для реверсивних $3 = 2,5 \dots 3,0$;

i - ККД передачі M_{II} від двигуна до валок. За наявності шестеренної кліти в головній лінії стану $i = 0,9$, за відсутності - $i = 0,95$.

Потужність приводних двигунів змінюється в широких межах для різних станів, від кількох кіловат на лабораторних станах до 6...12 мегават на обтискних станах.