

**Міністерство освіти та науки України**  
**Запорізька державна інженерна академія**

Д.О. Кругляк

**ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНИХ ЦЕХІВ**

Методичні вказівки  
до практичних занять та контрольних робіт

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

Запоріжжя  
2017

Міністерство освіти та науки України  
Запорізька державна інженерна академія

Д.О. Кругляк

## **ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНИХ ЦЕХІВ**

Методичні вказівки  
до практичних занять та контрольних робіт

*для студентів ЗДІА  
спеціальності «Обробка металів тиском»*

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри ОМТ,  
протокол № 12 від 09.04. 2017 р.*

Запоріжжя  
2017

**Обладнання прокатних цехів.** Методичні вказівки до практичних занять та контрольних робіт для студентів ЗДІА спеціальності «Обробка металів тиском» / Укладач: Д.О. Кругляк - Запоріжжя: Видав-во ЗДІА, 2017. - 49с.

Укладач: Д.О. Кругляк - канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: зав. кафедрою ОМТ, докт. техн. наук,  
професор Ніколаєв В.О.

## Зміст

Вступ	4
1. Конструкції агрегатів для правки, змотування і порізу прокату	5
1.1. Типи листоправильних машин	5
1.2. Конструкція і параметри листоправильних машин	7
1.3. Енергосилові параметри правки	10
1.4. Розтяжні і комбіновані правильні машини	12
1.5. Правильні преси	16
1.6. Роликові сортоправильні машини	19
1.7. Моталки для змотування гарячих штаб	21
1.8. Моталки і розмотувачі холодних штаб	24
1.9. Сортові моталки та агрегати утворення витків і бунтів	29
2. Практична частина	33
Література	45
Додатки	46

## ВСТУП

Цехи ОМТ крім основного обладнання, а саме прокатних клітей, молотів, пресів і волочильних станів для деформації металів і сплавів оснащені устаткуванням для порізу, зварювання, транспортування правки, розмотування і змотування бунтів і рулонів, кантування металу і т. ін.

Устаткування монтується в лініях прокатних станів і в окремо розташованих технологічних лініях для завершальних операцій.

Устаткування має відповідати основній вимозі безперервних процесів ОМТ та закінчування обробки – забезпечувати надійну і синхронну роботу агрегатів технологічних ліній за потокового характеру виробничих процесів. При цьому із застосуванням зварювання створюються умови для реалізації повністю безперервних (endless) процесів як деформації металів, так і закінчення металовиробів.

Не зважаючи на різноманітність технологічного призначення устаткування цехів ОМТ можливо класифікувати таким чином:

- ріжучі і зварювальні машини
- правильні преси і машини
- технологічні машини і агрегати (транспортні засоби, роботи для кантування, штовхання, утримування, підйому, повороту т. ін.

## 1. Конструкції агрегатів для правки, змотування і порізу прокату

### 1.1 Типи листоправних машин

Листоправні роликові машини призначені для правки листів товщиною до 50 мм і шириною до 5000 мм. Тонкі листи виправляються у холодному, а товсті в гарячому і напівголодному стані при температурах 400 – 800° С. Листоправильні машини (рис. 1) ділять на наступні типи:

А – з паралельними роликами для правки товстих листів товщиною більше 12 мм у гарячому стані.

Б – з похило розташованими роликами або з навкісною вершиною траверзою для правки тонких листів і штаб у холодному стані.

В – з індивідуальним настроюванням роликів.

Г – зі змінним кроком поміж роликами.

Д – комбінація похило та паралельно розташованими рядами роликів.

Машини з паралельними рядами роликів (рис. 1, а) типа А застосовують для правки товстих листів товщинами 4 - 50 мм, кількість роликів 7 або 9, діаметр роликів від 180 до 520 мм, швидкість правки 0,10 – 0,25 м/с. Машини з похилими роликами застосовують для правки тонких листів і штаб товщиною < 4 мм. При цьому лист максимально прогинається поміж першими роликами, а по мірі зменшення дефектів форми прогин зменшується від 4 – 5-го роликів до останнього. По висоті ролики регулюється переміщенням по вертикалі всієї верхньої траверси. Діаметр робочих роликів 100 – 180 мм з кроком поміж ними 110 – 120 мм, кількість роликів 9 або 17, швидкість правки 0,10 – 0,60 м/с. У машин зі змінним кроком роликів лист правиться поміж ядрами робочих роликів змінною діаметра (рис.1, в). крок роликів збільшується від середини до крайніх роликів, що забезпечує найбільші пластичні деформації середніми, а найменші – крайніми роликами на вході і виході метала із машини. Такі машини мають можливість правити листи і штаби товщинами 0,50 – 1 мм. Діаметри робочих роликів 38 – 75 мм, кількість роликів 17, 23, 29 із кроком поміж ними 40 – 80 мм, швидкість правки 0,10 – 2,0 м/с.

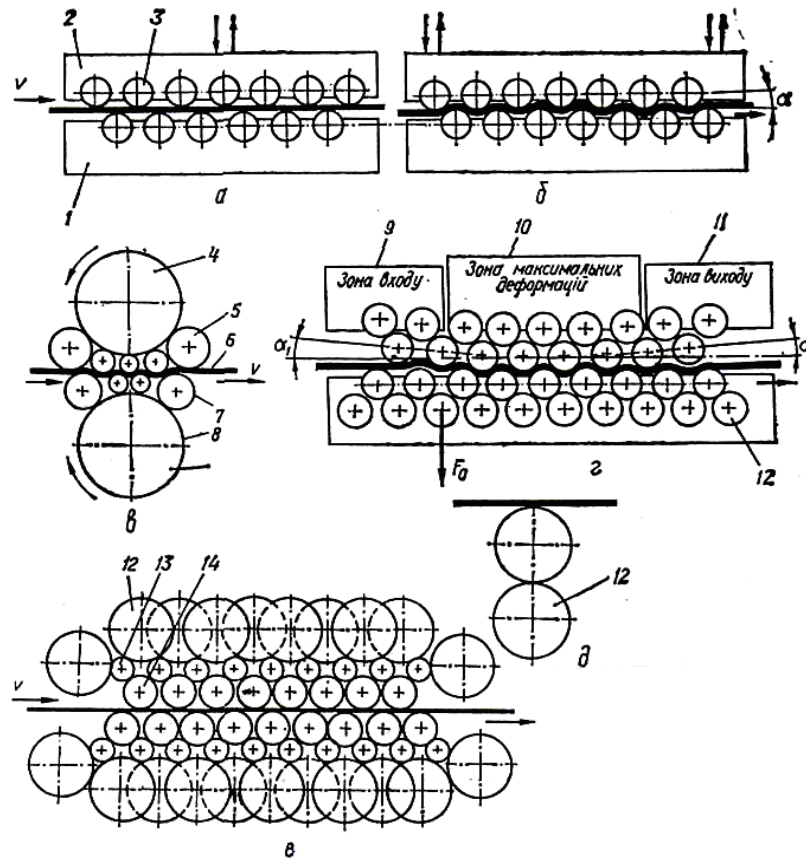


Рисунок 1 - Типи листопркатних машин:

а – з паралельними рядами роликів; б – з похилими рядами роликів;  
 в – зі змінним кроком роликів; г – з похило-паралельними рядами роликів;

д – машини фірми Бронкс з шестирядними роликами

Машини з похило-правильними роликами (рис. 1, г) розроблені формою Саттон (США) і призначені для призеційної правки найтонших листів і стрічок товщиною 0,20 – 0,25 мм. Робочі ролики (рис. 1, г) утворюють три зони з регульовальними верхніми траверсами – двома крайніми кутами і середніми-паралельними. Полярне розшматування робочих і опорних роликів (рис. 1, д) приймають для машин гарячої правки. Цим запобігають накопиченню окалини на роликах. Правильні машини фірми Бронкс (Англія) з шестирядними роликами (рис. 1, г) мають більш високу жорсткість роликової системи і забезпечують високу якість правки.

## 1.2 Конструкція і параметри листоправильних машин

Конструкцію та устрій розглянемо на прикладі сімнадцяти роликової правильної машини, призначеної для правки тонких холоднокатаних листів товщиною 0,5 – 1,0 мм в лінії поперечного різання на швидкості 5 м/с.

Діаметр робочих і опорних валків 68 мм, крок 70 мм, довжина бочок роликів робочих – 1200 мм, опорних – 600 мм.

Машина (рис. 2) заготовлена в станині, яка складається із нижньої 1, верхньої 2 частин, з'єднаних чотирма стягуючими болтами 3 зафіксованих шпонками 4.

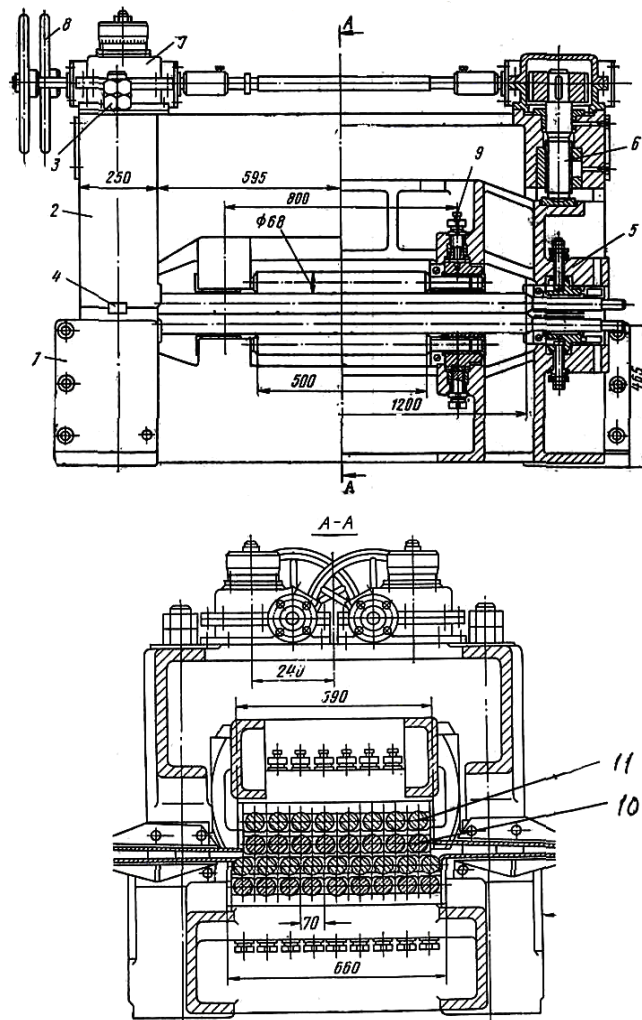


Рисунок 2 - 17 - роликова правильна машина з верхньою нахилу траверзою: 1, - станина нижня, 2 - станина верхня, 3 – болт, 4 - шпонка, 5 – траверза, 6 – натискний гвинт, 7 – натискний устрій, 8 – штурвал, 10 – робочий ролик, 11- опорний ролик.



Робочі 10 і опорні ролики 11 змонтовані в голкових підшипниках кочення. верхні робочі і опорні ролики змонтовані в верхній траверсі 5. Для підвищення якості правки в машині передбачено 2 пристрої для нахилу верхньої траверси та поперечного прогину робочих роликів. Регулювання нахилу верхньої траверси досягається за допомогою чотирьох натискних гвинтів 6, які приводяться в рух натискним устроєм 7 з ручним приводом штурвала 8. верхня траверза зрівноважена пружинами, розташованих на стоячих болтах, змонтованих у середині станини. Попередній прогин робочих роликів опорними використовується регулюванням притиску останніх за допомогою гвинтів, розташованих і верхній і нижній траверсі в місцях опор роликів.

Листопркатні машини інших типів відрізняються від розглянутої конструкції тільки особливостями регулювання притиску роликів та нахилу верхньої траверси.

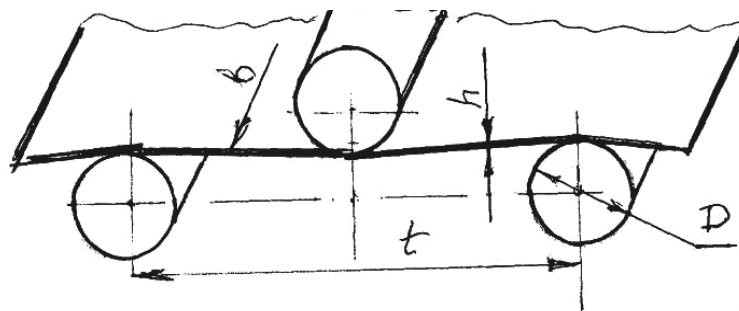


Рисунок 3 - Параметри листопркатних машин

Головними параметрами листопркатних машин (рис. 3) є:

- діаметр бочок роликів  $D$ ;
- крок роликів  $t$ ;
- довжина бочок роликів  $L$  і співвідношення  $L/e$ ,  
де  $e$  – максимальна ширина листів;
- товщина листів, допустима для правки;
- $n$  - кількість роликів.

Параметри  $D$  і  $t$  замовляють якість правки та величину зусиль напруг, діючих на ролики. Значні величини  $D$  і  $t$  не забезпечують необхідної точності правки, а занижені – збільшують сили, діючі на ролики та ускладнюють конструкцію машин. Теорія визначення оптимальних величин діаметра і кроків роликів розроблена недостатньо. За звичай це співвідношення приймають по практичним даним  $t = 1,1D$ .

Кількість роликів і швидкість правки також значною мірою впливають на якість і точність правки. Чим більша кількість роликів, тим точність правки вище. Для правки листів товщина ми більше 4 мм достатньо 9 або 11 роликів, для тонких листів 13 або 17 роликів, для особливо тонких листів і стрічок використовують 19, 21 або 23 – роликові машини.

Швидкість правки знаходиться в межах для листів  $h = 0,5$  мм,  $V = 4$  м/с. Для товстих листів  $h = 6 - 30$  мм,  $V = 0,5 - 0,1$  м/с за холодної і  $V = 0,3 - 0,1$  м/с за гарячої правки.

Якість правки в значній мірі залежить від якості поверхні та зносу бочок роликів. За холодної правки знос роликів визначається константами напруги, величину яких необхідно обмежувати. Контактні напруги для випадку, коли пружно-деформуємий ролик радіусом взаємодіє із стискаємою штабою та навантажений силою  $P$ , можна визначити за формулою Герца:

$$\sigma_k = 0,418 \sqrt{\frac{PE}{\epsilon R}} < 2\sigma_T \quad (1)$$

де  $\sigma_k$  – контактна напруга;

$\epsilon$  – ширина листа;

$\sigma_T$  – границя текучості матеріалу листа;

$E$  – приведений модуль пружності.

$$E = \frac{2E_p E_{жс}}{E_p + E_{жс}} \quad (2)$$

де  $E_p$ ,  $E_{жс}$  – модулі пружності відповідно матеріалів ролика і штаби.

Ролики виготовляють із сталей 9Х, ШХ15, 12ХН2А, які після поверхневого загартування повинні мати твердість бочок 55 – 65 год НРС.

### 1.3 Енергосилові параметри правки

При визначенні сил, діючих на ролики з боку листа, що правиться приймають на перших 4 роликах діє сила пластичного згину (рис. 1, в), на проміжних роликах схема пружно-пластичного згину (рис.1, е). таким чином найбільші сили діють на перших 4 роликах, що ілюструються на рис. 4.

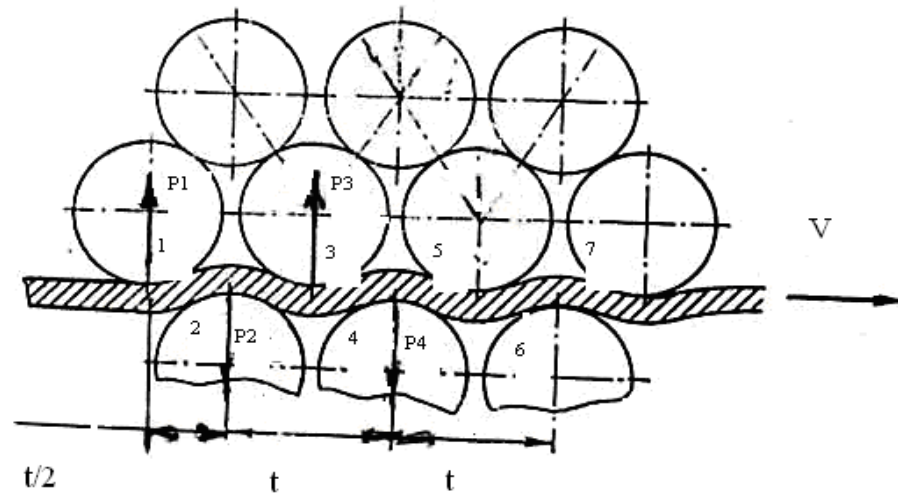


Рисунок 4 - До розрахунку сил, діючих на ролики листа правильних машин.

Сила, діюча на ролик 1, визначається моментом  $M_2$ , який є необхідним для згину (правки) листа другим роликом, тобто:

$$P_1 \cdot \frac{t}{2} = -M_2 \quad (3)$$

Звідси

$$P_2 = \frac{2M_2}{t} \quad (4)$$

де  $M_2 = \sigma_m \epsilon h^2 / 4$

Підставивши визначення  $M_2$  в (4) отримуємо,

$$P_1 = \frac{2\sigma_m \epsilon h^2}{4t} = \frac{1}{2} \sigma_m \frac{\epsilon h^2}{4} \quad (5)$$

Сила, діюча на ролик 2, визначається моментом для згину листа другим роликом, тобто:

$$P_2 \frac{t}{2} = M_3 + 2M_2 \quad (6)$$

$$\text{де } M_3 = M_2 = \sigma_T \frac{\epsilon h^2}{y}$$

З урахуванням цього із (6) матимемо:

$$P_2 = 6 \frac{M_{н.зг}}{t} = 6 \frac{\sigma_m \epsilon h^2}{4t} \quad (7)$$

або в кінцевому вигляді:

$$P_2 = \frac{3}{2} = \frac{\epsilon h^2}{4} \quad (8)$$

Сила  $P_3$  визначається із суми моментів необхідних для згину листа четвертим роликом, тобто:

$$P_3 \frac{t}{2} = 3M_2 - 2(M_3 - 2M_2) - M_4 \quad (9)$$

Приймаючи до уваги, що  $M_2 = M_3 = M_{зг.пл}$ , запишемо:

$$P_3 \frac{t}{2} = 4M_{з.пл} = 4\sigma_m \frac{\epsilon h^2}{4} \quad (10)$$

Або в кінцевому вигляді:

$$P_3 = 2\sigma_m \frac{\epsilon h^2}{t} \quad (11)$$

Порівнявши сили, діючі на ролики 1, 2, 3, тобто вирази (3), (6), (11), робимо висновок, що про ролик 3 діє максимальна сила, визначаємо по (11).

Крутний момент і потужність деформації правка всіма роликами ( $n - 2$ ), включно крім першого і останнього, визначаємо по формулі:

$$M_{кр} = \frac{\sigma_n^2}{E} \epsilon h D K_0 \quad (12)$$

де  $\sigma_T$  – границя текучесті матеріала листа;

$\epsilon$  і  $h$  – ширина і товщина листа;

$D$  – діаметр роликів;

$E$  – модуль пружності матеріалу листа.

Потужність деформації  $N_d$  при швидкості правки визначаємо за формулою:

$$N_d = \frac{\sigma^2}{E} v h V K_d \quad (13)$$

де  $K_d$  – результуючий підсумковий коефіцієнт пластичної деформації усіма роликами ( $n - 2$ )

$$K_d = K_2^2 \left[ \frac{1}{1 - K_2} + K_2(n - 3) \right] \quad (14)$$

де  $K_2 = 0,6 - 0,8$  – коефіцієнт пластичної деформації при згині листа другим роликом;

$n$  – кількість роликів машини.

#### *1.4 Розтяжні і комбіновані правильні машини.*

На правильно-розтяжних машинах виправляють дефекти форми тонких широких листів, які майже не піддаються правці на роликових машинах.

Наприклад, розтягуванням виправляють листи із дюралюмінію товщинами від 0,5 до 35 мм і шириною 1500 – 2500 мм. Лист 3 (рис. 5) закріплюють затискачами в картках 2 і 4.

Передня каретка 2 обладнана гідроприводом 1, що розтягує лист 3, задня каретка 4 пересувається по станині 5 і фіксується на ній залежно від довжини листа, який травиться. Суть правки полягає в розтягуванні листа до напруги границі текучості  $\sigma_T$ . Із схема (рис. 5, б) очевидно, що сила розтягання  $P_p$  дорівнює:

$$P_p = \sigma_T v h \quad (15)$$

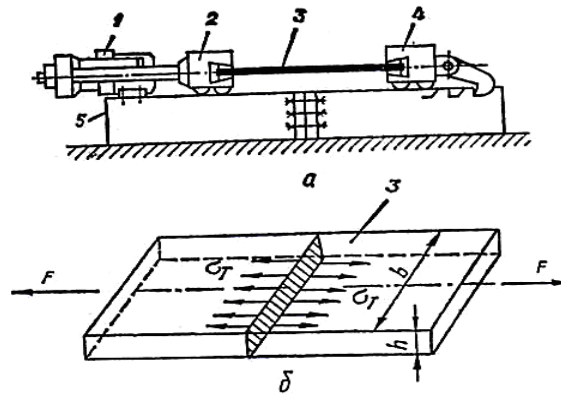


Рисунок 5 - Схема правки розтягуванням:

а – схема машин, б – до визначення сили правки (інші позначення по тексту)

За цією силою визначають параметри гідро циліндра. Правильні машини розтягуванням мають обмежене використання із-за своїх недоліків: мала продуктивність, пошкодження поверхні листів клиновими губками затискачів, що призводить до втрат частин метала в обрізь.

Комбіновані способи застосовують для правки стрічки, яка проходить через піч для відпускання. При нагріванні в печі зменшується границя текучості, що створює сприятливі умови для правки. Натяг створюється на вході в піч гальмовим пристроєм розмотувача або роботою розмотувача в генераторному режимі, а на виході із печі – тягнучими роликками. В обладнання установки фірми Сандвінен (Швеція) входить перед піччю розмотувач, ножиці, стикозварювальна машина і накопичувач запасу стрічки, на виході із печі – ножиці і моталка. Зусилля правки визначають за формулою (15), де границя текучості вираховується з достатньою точністю з використанням температурного фактору  $\psi$ :

$$\sigma_{ТГ} = \psi \sigma_{Т} \quad (16)$$

де  $\sigma_{ТГ}$  – границя текучості гарячого метала;

$\sigma_{Т}$  – границя текучості холодного метала.

Для сталей марок 10, 15, 20, 30, 45, Ст3, Ст5, Ст6  $\psi$  визначається за даними фірми Сандвінен (рис. 6). В зарубіжній практиці застосовується також правка розтягом із згином. Штаба розтягується переднім і заднім натягом метала, який утворюється натяжними устроями, розмотувачем і моталкою. Одночасно в поточній лінії забезпечується правка багатоправним згином в правильній роликовій машині (рис. 6).

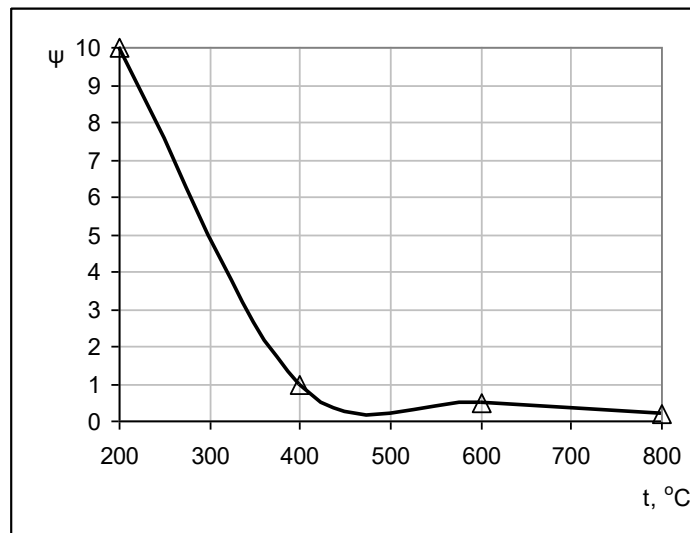


Рисунок 6 - Залежність температурного коефіцієнта  $\psi$  від температури нагріву сталей.

По схемі *a* задній натяг металу створюється розмотувачем 1, який працює в генераторному режимі, передній – моталкою 4. Штаба 1 одночасно правиться в ролико - правильній машині 3.

Роликовий натяжний пристрій фірми Кафл (Франція) показано на рис. 7, в. Початковий натяг металу створюється притискними роликами 5, потім штаба обгинаючи групи роликів на вході 6 і на виході 7 із правильної машини розтягується за рахунок більшої швидкості на виході, тобто при  $v > v_{\text{п}}$ . Схема правки – це комбінація схем *a* і *б*. Схеми *a* і *б* виконують правку в по рулонному режимі з зупинкою агрегату для насадки рулонів на барабан розмотувача і зняття рулонів із барабана моталки. Схема *в* виконується в нескінченному режимі при зварюванні кінців рулонів в безперервну стрічку на вході в агрегат порізу штаби на листи.

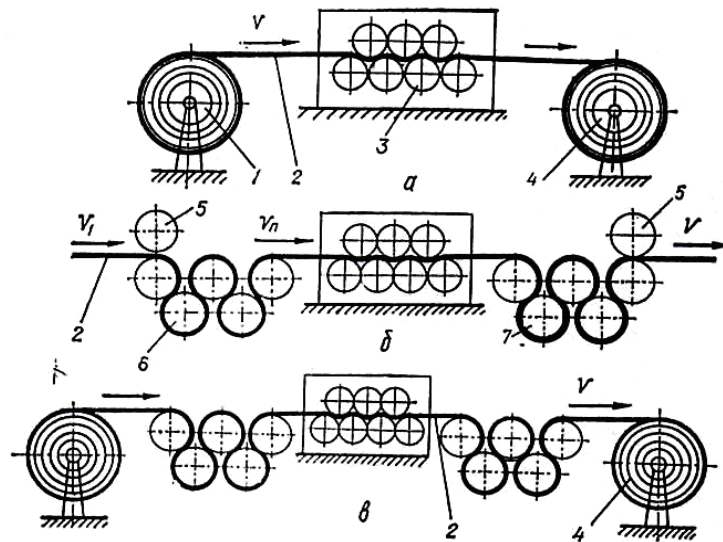


Рисунок 7 - Схема правки комбінованим способом:

*a* – з розмотувачем і моталкою, *б* – роликівими на тяговими устроями,  
*в* – з розмотувачем, моталкою і роликами

### 1.5 Правильні преси

Сортові профілі правлять в роликівих машинах в площині мінімальної жорсткості на згин. Холодна правка крупно сортних несиметричних профілів в площині максимальної жорсткості поперечного перерізу на згин виконується на пресах. Крім того, на пресах вибірково виправляють місцеві скривлення кінців крупно сортних профілів, фасонних перерізів, наприклад рейок і балок. Із практики виробництва рейок відомо, що по закінченню прокатки підшва рейок охолоджується з більшою швидкістю ніж головка, де зосереджена основна маса металу. Виникаюча при цьому нерівномірність температур по перерізу несиметричність профілю призводить до згину. Такому згину запобігають попереднім згином, наприклад, рейки згинають на підшву. При охолодженні рейки випрямляються. За конструкцією правильні преси поділяють на вертикальні і горизонтальні.

Вертикальні преси (рис. 8) змонтовані на станині С-подібної форми 1.



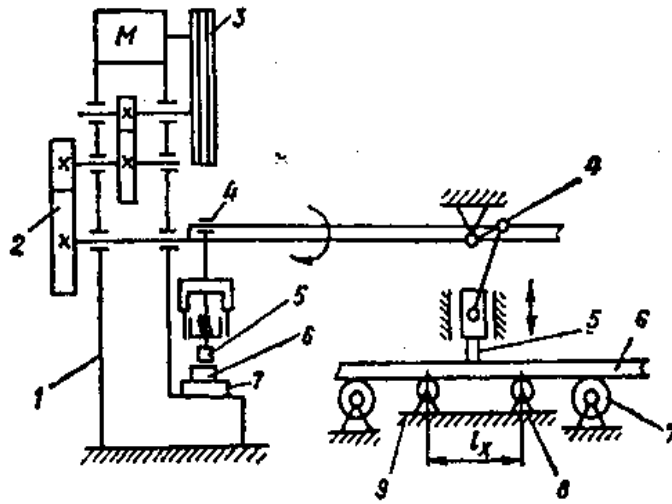


Рисунок 8 - Схема вертикального правильного пресу

Привод робочих органів преса виконується електродвигуном М через клинопазову 3 і зубчату 2 передачі. Робочі органи преса складаються із кривошипно-повзункового механізму 4, штемпеля 5 і опорних роликів 7, змонтованих на столі 9. Профіль 6 подається в прес роликами 8. При опусканні штемпеля 5 профіль виправляється згином на роликах 7. Сила правки складає 0,2-3,5 МН, її величина вибирається пропорційно поперечному перерізу профілю. Відстань між опорними роликами (подушками) 8 вибирається рівною довжині скривленого кінця профілю. Правка виконується за кілька робочих ходів штемпеля, кількість ходів до 25 за хвилину.

Горизонтальні преси можуть суміщати в потоковій технологічній лінії з роликів - правильними машинами. Правка кінців рейок, балок, швелерів, кутників та інших фланцевих профілів виконується після правильної машини по ходу руху прокату. Тобто прес виконує функцію до правки кінців профілю, при цьому правка балки і швелера виконується тільки в горизонтальній площині. Схема горизонтального преса наведена на рис. 38.

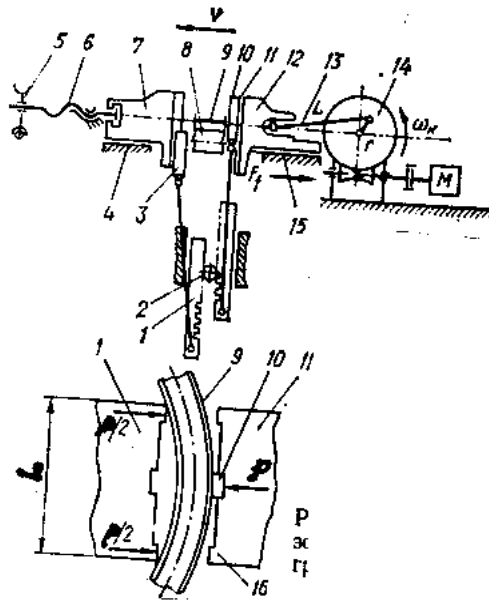


Рисунок 9 - Схема горизонтального правильного пресу (позначення пояснено по тексту) та схема правки серповидного профілю 9.

Ліва допоміжна лінійка 7 встановлюється гвинтом 6 від привода з черв'ячним редуктором 5 залежно від розміру поперечного перерізу балки 8, що знаходиться на рольгангу 8. Права лінійка 12 від кривошипного механізму 13, що приводиться в дію від черв'ячного редуктора 14, робить безперервно зворотно-поступальний рух з невеликим ходом. Лінійка 12 переміщується по напрямних 4 і 15. В залежності від напрямку кривизни профілю піднімаються ліва 3 чи права 11 призми за допомогою рейкових механізмів 1 чи 2. Призми притискають профіль до виступів 16 на кінцях лінійок і виправляють балку. Призми при підйомі використовують для кантування профілю за допомогою виступу 10.

Основним параметром преса є сила правки  $P$ , яку визначимо, користуючись схемою правки на рис. 9 та приймаючи для дуже скривленого профілю згин пластичним. Для прийнятих умов момент внутрішніх сил  $M_{пл}$  дорівнює:

$$M_{пл} = \sigma_T W_{пл} \quad (17)$$

де  $\sigma_T$  – границя плинності металу профілю;

$W_{\text{пл}}$  – момент опору пластичному згину перерізу профілю.

Для прямокутного перерізу товщиною  $h$  і шириною  $b$ :

$$W_{\text{пл}} = bh^2/4 \quad (18)$$

З іншої сторони момент згину  $M_{\text{зг}}$  дорівнює:

$$M_{\text{зг}} = PL/4 \quad (19)$$

Правка можлива, якщо  $M_{\text{пл}} = M_{\text{зг}}$ .

Виходячи із цього і користуючись (175), (176) і (177) запишемо, що:

$$P = \frac{4\sigma_r}{L} \cdot \frac{bh^2}{4} \quad (20)$$

або в кінцевому вигляді:

$$P = \sigma_r \frac{bh^2}{L} \quad (21)$$

Розміри  $b$  і  $h$  для фланцевих профілів визначають, користуючись умовою рівновеликого прямокутника.

### *1.6 Роликові сортоправильні машини.*

Роликові сортоправильні машини використовують для холодної правки сортових профілів майже всіх форм перерізів. За конструкцією сортоправильні машини поділяють на три типи:

- консольні;
- закритого типу;
- з навскіс розташованими роликами.

Машини відкритого типу (рис. 10, а) мають консольні ваги 7 з надітими на них профільованими бандажами-роликами 1. Пара верхній-нижній ролик створюють калібр по формі перерізу профілю. Проміжок між роликами по висоті регулюють за допомогою ексцентрикових касет 2. Вали і касети змонтовані в станині 3 і обертаються від електродвигуна М через шестерінчасту кліть 6 і шпинделі 5

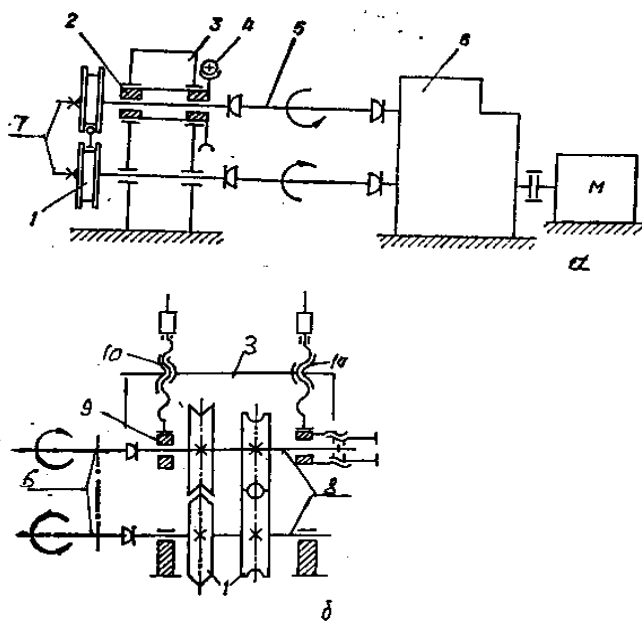


Рисунок 10 - Кінематичні схеми роликів сортоправильних машин:  
а – відкритого; б – закритого типів (поз. пояснені в тексті).

Машини прості в настройці, дозволяють спостерігати за поведінкою профілю в процесі правки наочно, дозволяють швидко замінювати бандажі на консольних валах, але не мають достатньої жорсткості.

На відміну машини закритого типу (рис. 10, б) мають більшу жорсткість за рахунок двоопорних валів 8. Вали 8 змонтовані в підшипниках кочення 9. В цих машинах на валах 8 є можливість монтувати декілька пар бандажів-роликів 1. Верхні ролики регулюють ся по висоті натискними устроями типу гвинт-гайка 10.

Слід відмітити тенденцію впровадження приводів тільки одного ряду роликів – верхнього або нижнього. Так, в сортоправильних машинах фірми Генріх Рау (Німеччина) по висоті настраюються тільки нижні ролики. Налаштування кожного ролика – індивідуальна. Впровадження однорядного приводу роликів дає змогу спростити систему зубчастих передач, створити умови для синхронізації швидкостей в парі роликів низ-верх і зменшити їх знос.

Після широкого впровадження виробництва тонкостінних фланцевих профілів, які в процесі прокатки набувають просторову кривизну (скручування

по гвинтовій лінії), були розроблені сортоправильні машини з горизонтальними і вертикальними роликами, розташованими в окремих секціях (рис. 11, а) і машини правки стисненим крученням (рис. 11, б).

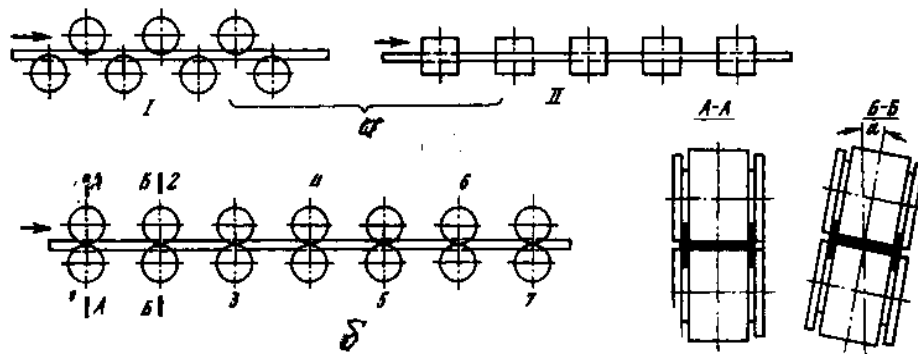


Рисунок 11 - Схема правки тонкостінних фасонних профілів: а – правка в послідовно розташованих секціях з горизонтальними I і вертикальними II роликами; б – правка скошеним згином (стисканням крученням),

де 1, 3, 5 і 7 – стаціонарні ролики; 2, 4, 6 – поворотні ролики.

В двосекційних машинах правка профілів виконується послідовно – в першій секції горизонтальними роликами – по вертикалі, в секції II – вертикальними роликами – в горизонтальній площині.

Сутність правки скошеним згином (рис. 11, б) полягає в тому, що в парах стаціонарних роликів (1, 3, ...) профілі правлять в горизонтальній і вертикальній площинах, а в поворотних парах роликів (2, 4, 6) до профілю прикладається крутний момент, протилежно направлений круту кручення профілю. Конструктивно машини виконані так, що горизонтальні ролики змонтовані в стаціонарних станинах, а поворотні – консольно. Консоль разом зі станиною може обертатись відносно вертикалі зубчатим сегментом – рейкою. Таким чином, до профілю, що переміщується через ролики, надається поздовжній згин на необхідний кут поміж стаціонарними і повернутими роликами.

Основними параметрами сортоправильних машин є:

- кількість роликів  $n = 5 - 13$ ;
- діаметр роликів  $D = 160 - 930$  мм;
- крок роликів  $t = (5 - 10)h$ ,

де  $h$  – висота виправляє мого профілю, при цьому  $D \approx 0,9t$ .

### *1.7 Моталки для змотування гарячих штаб.*

Призначення моталок – змотування гарячекатаних штаб в рулони в потоці неперервних широкоштабових станів. Моталки розташовують після відповідного рольгангу стана двома групами – ближні для змотування відносно товстих і дальні – для змотування в рулони відносно тонких і довгих штаб. В кожній групі, як правило, установлюють не менше трьох моталок.

Конструкція моталок має забезпечувати відповідність вимогам технологічного і експлуатаційного характеру:

1. Рулони повинні бути щільно намотаними без телескопічності витків;
2. Під час захвату переднього кінця і в процесі намотування рулону моталка не повинна створювати складки і петлі метала на відповідному рольгангу перед тягнучими роликами;
3. Моталки повинні мати жорстку та зносостійку конструкцію в умовах неперервної роботи за високих температур ( $500-700^{\circ}\text{C}$ ) і охолодження водою, за наявності окалини та динамічного характеру навантажень на окремі вузли;
4. Враховуючи великі габарити і маси обертових деталей моталки, горизонтальні осі і твірні мають бути суворо горизонтальними і паралельними;
5. Ремонт моталок повинен виконуватись за мінімальний час, тобто має бути зручний та швидкий доступ до усіх швидкозношуваним і ламким деталям і вузлам;
6. Приймочно-передатні устрої повинні забезпечити збереження форм штаб і рулонів.

При виконанні вище означених вимог моталки забезпечують стабільну роботу стану.

Змотування гарячих штаб в щільні рулони можливе двома способами:

- барабаном моталки, утворюючим натяг штаби без притиску до металу по зовнішньому кільцю рулону формуючих роликів;

- формуючими роликами, щільно притиснутими до штаби на барабані моталки без натягу металу.

Практика експлуатації моталок на сучасних неперервних станах гарячої прокатки показала, що при намотуванні важких рулонів масою 20 - 50т при роботі станів з прискоренням і гальмуванням завжди має місце ексцентриситет намотуваного рулону. Компенсувати ці явища можливо тільки при роботі моталки з натягом змотуваної штаби.

Моталки розташовують нижче рівня рольганга на 2400 мм (рис. 12). Із цього ж рис. зрозумілим є і принцип та порядок змотування. Передній кінець штаби роликами рольганга (на рис. непоказані) подається в тягнуче-подаючі ролики. Для покращення захвату і згину кінця вниз верхній ролик має більший діаметр порівняно з нижчим роликом. З цією ж метою верхній ролик зміщено відносно нижнього вперед по ходу руху штаби. Зігнутий кінець штаби роликами подається в направляючі проводки і поміж ними – на барабан моталки. Відстань поміж лінійками проводок в залежності від товщини штаб регулюється направляючими роликами. Під час намотки перших витків штаби на барабан моталки формуючі ролики і ковзаючі проводки формують витки рулону.

Після утворення декількох витків проводки і ролики поступово відводяться за допомогою ричажно-шарнірної системи. Безтелескопічність намотки витків забезпечується боковими направляючими лінійками та натягом штаби, утворюваним барабаном. Швидкість заправки і намотки перших витків – 10м/с, робоча швидкість після прискорення до 40м/с. Всі механізми приводів моталки і роликів – без редукторні. Завдяки відсутності зубчатих передач і монтажу механізмів моталки в станині, моталка має високу жорсткість.

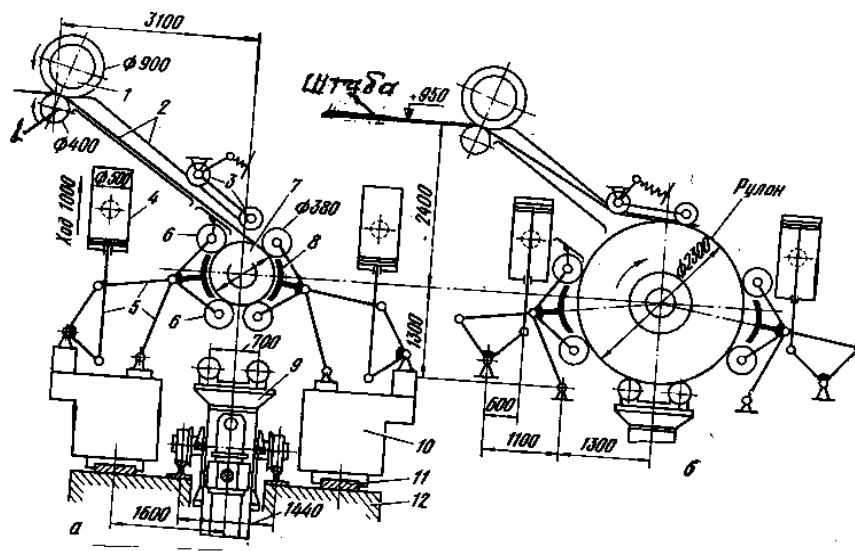


Рисунок 12 - Моталка для змотування гарячої штаби БСГП 2000: а – початок змотування, б – кінець змотування, 1 – подаючі ролики, 2 – направляючі проводки, 3 – направляючі ролики, 4 – шарнірні пневматичні циліндри, 5 – ричажно-шарнірна система, 6 – формуючі приводні ролики, 7 – приводний центральний барабан моталки, 8 – проводки ковзаючі, 9 – візок для знімання рулону з барабана, 10 – станина, 11 – направляючі планки висування моталки для ремонту, 12 – плитована фундаментна.

По закінченню намотки (рис. 12, б) барабан моталки зменшується по діаметру (складається) і рулон в осьовому напрямку візком-знімачем і ним же транспортується на конвеєр рулонів. Для спрощення конструкції моталок НС ГП доцільно використовувати моталки двох типів:

1. При змотуванні штаб товщина ми < 4мм достатньо двох-трьох формуючих роликів з сегментними проводками поміж ними. Після намотки двох-трьох витків і ролики і проводки відводяться. Стабільність змотування при відведеній арматурі забезпечується натягом штаби, який утворюється барабаном моталки.

2. Для змотування штаб товщиною 4 – 16 мм на моталці монтують 2 - 3 пари притискних роликів жорсткої конструкції. Ролики і сегментні проводки мають бути увесь час притиснуті в процесі намотки.



### 1.8 Моталки і розмотувачі холодних штаб і стрічок без натягу

Процеси прокатки і дресировки холодних штаб і стрічок без натягу металу неможливі. Тому стани холодної прокатки і дресировки обладнані моталками і розмотувачами (рис. 13).

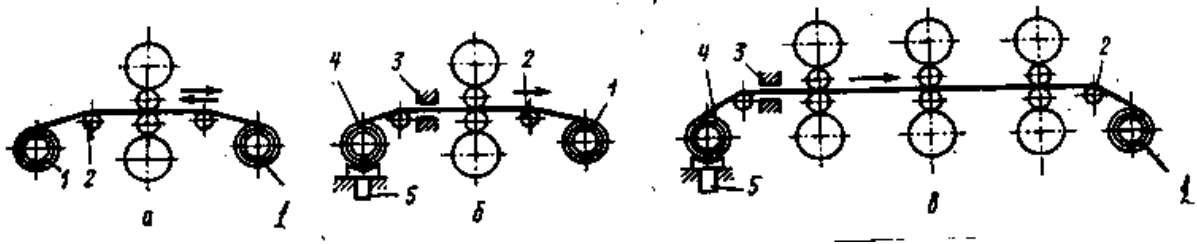


Рисунок 13 - Схема розташування моталок на станах холодної прокатки:

- а – одноклітьовий реверсивний; б – дресировочний нереверсивний;
- в – неперервний, 1 – моталки, 2 – опорні ролики, 3 – прес-проводки,
- 4 – розмотувачі, 5 – візок-завантажувач рулонів.

На реверсивних одноклітьових станах (рис. 13, а) задня моталка працює в генераторному режимі в якості розмотувача, передня – в якості моталки. При реверсах моталки змінюють своє призначення, тобто міняються місцями.

На дресировальних станах і БС ХП установлені розмотувач і моталка (рис. 13, відповідно б і в).

Стани нескінченної без паузної холодної прокатки обладнані двома-трьома розмотувачами і двома моталками відповідно на вхідній і вихідній за технологією стороні стану. Розмотувачі і моталки установлюють також на вході і виході ліній нанесення покриття (агрегатах цинкування, лудіння і т. ін.). розмотувачі рулонів барабанного типу установлюють на лініях порізу рулонів на листи (АПР) і лініях розпуску рулонів на більш вузькі стрічки.

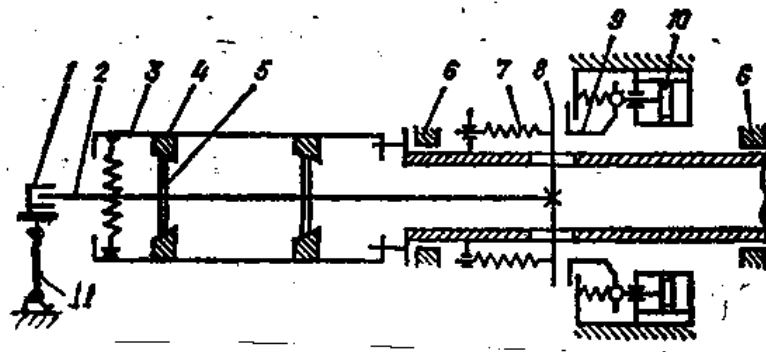


Рисунок 14 - Схема барабана безредукторної моталки (пояснені по тексту).

Передній кінець рулону заправляється в зів (розхил) поміж сегментами барабана, затискується губками сегментів з одночасним збільшенням діаметра барабана. На заправ очній швидкості на барабан намотується 2 - 3 витка і моталка синхронно з робочою кліттю стана розганяється до робочої швидкості. По закінченні прокатки сегменти барабана складаються зі зменшенням діаметра барабана та розкриттям зіву і рулон візком з частим знімачем знімається з моталки в осьовому напрямі. Схема барабана без редукторної моталки наведена на рис. 14. Сегменти барабана 3 розходяться при переміщенні клинів 5 несучого штока 2 по клинах 4. Шток 2 зв'язаний з чекою 8, яка знаходиться під постійно діючою силою пружини 7. Завдяки цьому, клини 5 переміщуючись, зменшують діаметр барабана.

Керування зміною діаметра барабана проводиться пневмо – або гідро циліндрами 10 через тарель 9, яка при подачі стиснутого повітря або рідини діє на чеку і переміщує шток вліво, зменшуючи діаметр барабана.

Барабан обертається в двох підшипниках 6. Для роботи з натягом відкидна опора 11 підводиться під підшипник 1. Устрій барабанів консольних розмотувачів штаби аналогічний.

На сучасних швидкохідних НС ХП моталки монтують на підошві, яка дає змогу переміщатись барабану в осьовому напрямку на невеликі відстані. Такі плаваючі моталки забезпечують рівну без телескопічну намотку витків в рулонах. Для забезпечення безперешкодного знімання рулонів з моталок їх

барабани обшивають листовою бронзою або латунню, що зменшує тертя поміж внутрішньою поверхнею внутрішнього витка рулону і барабаном.

В процесі змотування штаби в рулон метал по всій ширині зазнає напруг згину, які за значенням більші границі пружності, тобто близькі до границі текучості прокатного зміцненого метала.

Прийнявши апріорі, що штаба при деформуванні у виток зазнає пластичного згину, можна записати, що момент згину  $M_{зг}$  дорівнює:

$$M_{зг} = \sigma_T W_{пл зг} = \sigma_T bh^2/4 \quad (21)$$

де  $b$  і  $h$  – ширина і товщина штаби;

$W_{пл зг}$  – момент опору перерізу штаби пластичному згину.

Одночасно зі згином штаба зазнає натягу силою  $T$ , момент якої дорівнює:

$$M_H = TR = \sigma_H bhR \quad (22)$$

де  $\sigma_H$  – напруга натягу;

$R$  – радіус рулону.

Повний момент, прикладений до вала барабана  $M_б$  складається із суми моментів натягу  $M_H$  і згину  $M_{зг}$ , тобто з урахуванням (21) і (22), запишемо:

$$M_б = \sigma_T \frac{bh^2}{4} + \sigma_H bhR \quad (23)$$

Для попередження поривів штаб напруга натягу лімітується  $\sigma_H = 0,3\sigma_T$  а момент  $M_б$  дорівнюватиме:

$$M_б = \sigma_T \frac{bh^2}{4} + 0,3\sigma_T bhR = \sigma_T bh \left( \frac{h}{4} + 0,3R \right) \quad (24)$$

Потужність привода сучасної безредуктивної моталки  $N_M$ :

$$N_M = M_б \omega = \sigma_T bh \left( \frac{h}{4} + 0,3R \right) \frac{v}{R} \quad (25)$$

$$N_M = \sigma_T bh \frac{hv}{4R} + \sigma_T bh \cdot 0,3v \quad (26)$$

Взявши до уваги, що співвідношення  $h/4R \ll 0,10$ , в кінцевому вигляді отримаємо:

$$N_M = 0,3\sigma_T bhv \quad (27)$$

де  $v$  – швидкість намотки штаби моталкою.

При розмотуванні холодних штаб товщиною менше 0,2 мм використовують розмотувачі барабанного типу, при товщина більше 2мм – розмотувачі на конструкції – двоголовчасті. Розмотувач цього типу розроблено фірмою United (США) і має дві головки у вигляді зрізаних конусів, що полегшує одягання рулону на конуси (рис. 15). Технічна характеристика розмотувача, змонтованого на вхідному боці НС ХП наступна: товщина штаби 1,8 - 6,0мм, ширина 700 -1800мм, діаметри рулону: внутрішній 750мм, зовнішній 3000мм, швидкість розмотування – до 5 м/с, сила натягу до 70 КН.

Як видно зі схеми, рулони в осьовому горизонтальному напрямку корпуса 9 розташовані на основі 8. Корпуси переміщуються гідроциліндрами 1.

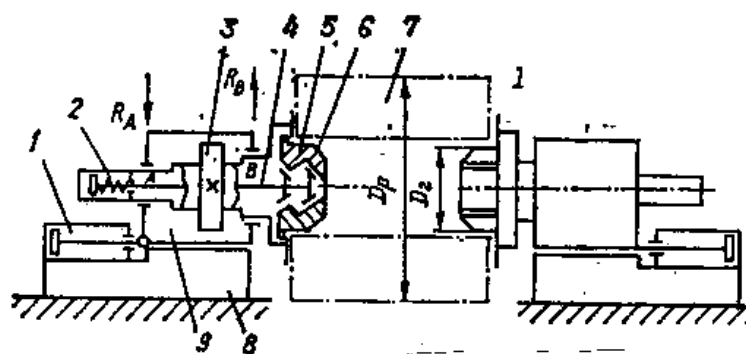


Рисунок 15 - Двоголовчастий розмотувач холодних штаб товщинами 1,8 - 6,0мм (пояснені по тексту)

Сегментні головки 5 приводяться в дію від електродвигуна через зубчасте колесо 3 редуктора. При відгинанні переднього кінця штаби і подачі його до валків прокатної кліти привод корпусів працює в режимі реверсивного електродвигун. Після захвату кінця штаби валками електродвигун працює в генераторному режимі, створюючи натяг металу.

В середині валів конусів проходять штоки 4, зв'язані одним кінцем з плунжерами гідроциліндрів 2, а другим кінцем – з клинами 6. Кожна головка має індивідуальний електро- і гідроприводи. Рулон 7 подається в простір поміж

розсунутими корпусами і конусами, виставляється (центрується) відносно центрів головок, закріплюється на головках при русі корпусів по напрямним і остаточно центрується на головках гідроциліндрів 2 клини 6 розсовують сегменти головки, збільшуючи їх діаметр і закріплюють рулон на головках. Після закінчення розмотки тиск в гідроциліндрах знімають плунжери під дією пружин повертаються у вихідне становище, а діаметр головок зменшується під дією стискання сегментів пружинами, змонтованими всередині конусів. Двоголовчастий розмотувач, як видно з вище означеного, виконує цілу низку операцій, основні із яких наступні: заправка переднього кінця штаби в прокатну кліть, утворення заднього натягу металу. Розмотувачі працюють синхронно з приводами валків клітей і моталок. Синхронізація швидкостей, включаючи прискорення і гальмування - автоматична.

### *1.9 Сортіві моталки та агрегати утворення витків і бунтів*

Для змотування в бунти гарячекатаного дроту - катанки і простих за формою профілів дрібного сортаменту служать моталки. Діаметри катанки 5 - 10мм, профілів до 28мм. Моталки розташовані за останньою кліттю дрових і дрібно сортних станів. В залежності від форми і розмірів поперечного перерізу змотуваних профілів використовують два типи моталок:

- з осьюовою подачею катанки (з нерухомим бунтом);
- з тангенціальною подачею металу (з обертовим бунтом).

Зважаючи на значні обертові та не зрівноважені маси (бунт, барабан і т.д.) моталки другого типу можливо використовувати за невеликих швидкостей змотування, як правило, не більше 10 м/с. Перевагою цих моталок є можливість змотування в бунти не тільки дроту і круглої сталі але й квадратних профілів завдяки відсутності скручування металу по перерізу профілю. Принцип дії такої моталки пояснюється на рис. 16 із якого видно, що дріт із проводки через трубу надходить на барабан моталки і змотується в бунт. Зовнішній діаметр бунта регулюється автоматично за допомогою рухомих пальців.

На неперервних дрових станах при швидкостях змотування 30 - 40м/с використовують моталки першого типу, де відсутні обертові барабан і бунт. Але в такій моталки є достатньо значний і не зрівноважений за масою направляючий конус. При укладанні витків дроту навколо конуса відбувається скручування дроту на 360° на довжині ПД (Д – діаметр бунта) за кожен оберт приводного вала. Це знижує якість дровів із-за появи внутрішніх залишкових напруг і порушення форми поперечного перерізу профілю.

Розробка і втілення в практику виробництва неперервних дрових станів з блоками чистових клітей дозволило досягти швидкостей прокатки 100 м/с і навіть більше. Для таких станів фірмою Steel Moor (США) розроблені системи безмоталочного утворення бунтів в комплексі зі двостадійним прискореним охолодженням катанки.

При значних швидкостях прокатки температура катанки після останньої кліті стану підвищується від 900° до 1050°С, що супроводжується збільшенням окалино утворення до 1,0 -1,5%, знеуглецюванням поверхневого шару металу та погіршенням і нерівномірністю мікроструктури в бунті. З метою попередження та усунення цих недоліків на сучасних швидкохідних станах застосовують регульоване двостадійне охолодження катанки. На першій стадії прискореного охолодження водою в направляючих трубках температура катанки різко знижується до 650 - 800° С, завдяки чому на поверхні дроту утворюється тонкий шар окалини зі зменшенням її кількості до 0,3 - 0,4% від маси бунта.

Труба для охолодження складається із декількох секцій діаметром 30 – 50 мм, в яких тиск, кількість і напрямок подачі (паралельно або противонаправлено) охолоджуючої води регулюється в залежності від марки сталі та необхідного ступеня прискореного охолодження.

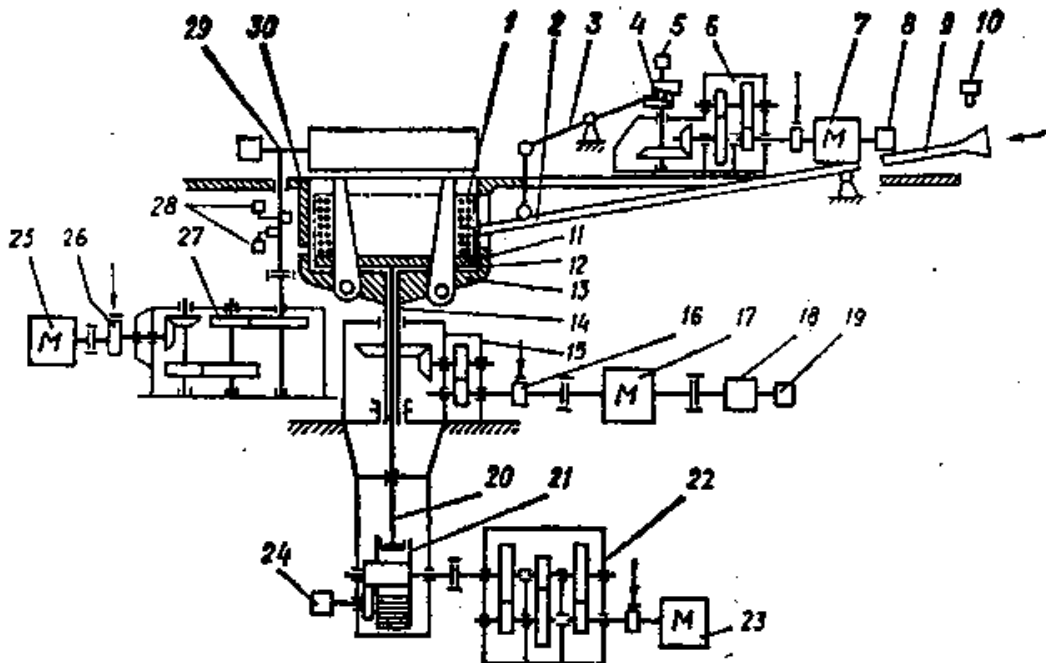


Рисунок 16 - Схема сортової моталки:

- 1 – бунт; 2 – труба подачі; 3 – важіль; 5, 24, 28 – кінцеві вимикачі;  
 6, 15, 27 – конічно–циліндричні редуктори; 7– електродвигун укладача;  
 8, 18 – тахогенератори; 9 – проводка; 10 – фото імпульсатор; 11 – пальці;  
 12 – підйомний стіл; 13 – ведучий диск; 14 – вал; 16, 26 – гальма;  
 17 – електродвигун; 19 – вимикач; 20 – вал; 21– рейкова передача;  
 22 – циліндричний редуктор; 23 – електродвигун підйому; 25 – електродвигун штовхача; 29 – головний вал; 30 – рама.

На другій стадії повільного охолодження, рухаючись з великою швидкістю, нитка катанки за допомогою спеціального устрою укладається на горизонтальний або похилий ланцюговий транспортер у вигляді розсіяних витків. На транспортері катанка охолоджується до температури 250 - 350°С просто повітрям або його потоком від вентиляторів. Витки катанки можливо утворювати в горизонтальній і вертикальній площині відповідно а і б на рис. 17.

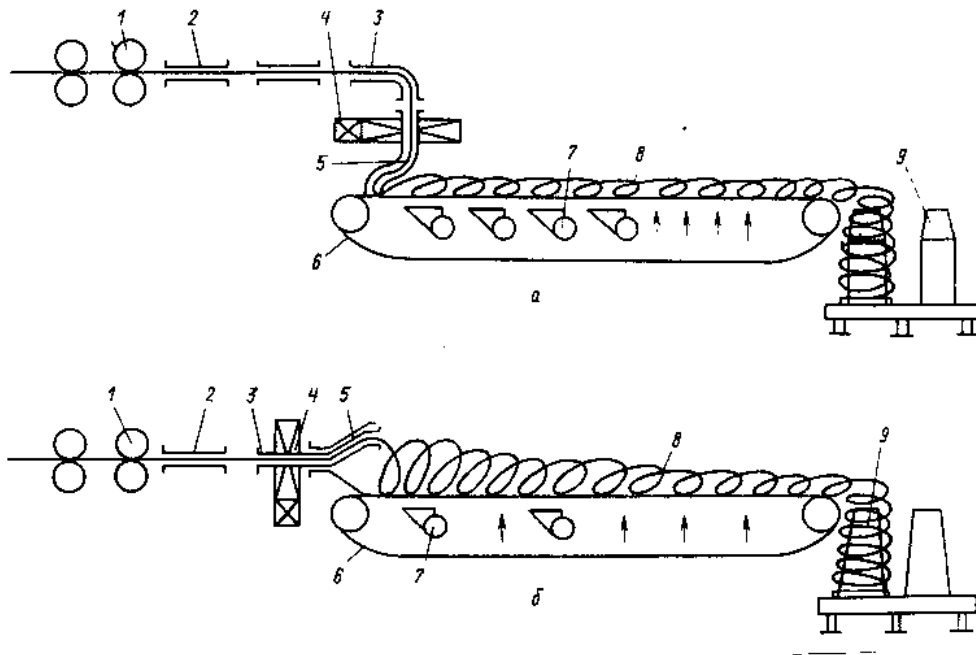


Рисунок 17 - Схеми утворення витків і бунтів катанки систем фірми Steel Moor:

а – горизонтальне утворення витків, б – вертикальне укладання витків;

1 – останні кліті стана; 2 – труба охолодження катанки водою; 3 – направляючі трубки; 4 – привод обертання трубки; 5 – трубка водило; 6 – транспортери;

7 – вентилятори; 8 – розсіяні витки; 9 – конусний дорн.

В конструкції а із майже горизонтальної підводячої трубки із протитечею води охолоджена нитка катанки змінює напрямок руху і через порожнистий вертикальний вал, який обертається електродвигуном, спрямовується на горизонтальний рухомий транспортер, на якому за допомогою обертової колоноподібної трубки катанка укладається у вигляді розсіяних горизонтальних витків. В залежності від швидкості руху транспортера крок витків складає 30-60мм.

Для більш швидкостних станів використовується конструкція б, в якій горизонтальний напрямок руху катанки не змінюється. Катанка надходить в порожнистий вал, який обертається в горизонтальній площині, завдяки розташуванню в конусоподібній обертовій лійці. За допомогою коліноподібної обертової труби утворюються вертикальні витки катанки. В обох конструкціях вентилятори подачі повітря змонтовані під транспортером, а розсіяні витки



катанки спадають вниз на конічний дорн, на якому і утворюється нещільний бунт висотою 1,5 - 2,0м.

Бунтоукладач має два дорна. Після укладки першого бунта бунтоукладач повертається на 180° і наступна нитка катанки у вигляді витків укладається в бунт на другий дорн. В подальшому високі та нещільні бунти обтискаються та ущільнюються на пресі, обв'язуються дротом на обв'язуючих машинах і надходять на крюковий конвеєр.

Що стосується швидкості охолодження, зауважимо наступне. Для катанки із мало вуглецевих сталей (0,08 - 0,35% С) швидкість охолодження майже не впливає на структуру металу, може бути максимальною. За таких умов мікроструктура катанки складається із дрібних зерен перліту та фериту, а шар повітряної окалини мінімальний за товщиною та легко видаляється (FeO – вюстит) за послідуєчого волочіння.

Для канатної та пружинної катанки із середньо - і високо вуглецевих сталей (0,4 - 0,9% С) швидкість охолодження регулюють для отримання мікроструктури у вигляді тонко пластинчатого перліту.

## 2. Практична частина

### Задача 1

Визначити зусилля розрізування гарячого металу (температура 1000 °С) на ножицях з паралельними ножами і для тих же умов (табл. 2.1) під кутами нахилу верхнього ножа  $\alpha$ : 1, 2, 3, 4, 5, 6 град.

Вказівки до виконання завдання 1

Максимальне зусилля в кінці періоду в`мяття ножів в метал дорівнює зусиллю в мить початку розрізування (зсуву) металу в площині розрізування:

$$P_{\max} = \tau_{\max} F_{\text{роз}} = k_1 \sigma_v F_{\text{роз}} \quad (2.1)$$

де  $\tau_{\max}$  – максимальне значення дотичного спротиву розрізуванню (зсуву) металу;

$F_{\text{роз}}$  – переріз штаби в мить початку власне розрізування (зсуву) металу;

$\sigma_b$  – границя міцності металу при температурі розрізування;

$k_1 = \tau_{\max} / \sigma_b$  коефіцієнт (для деяких сталей наведених в табл. 2.1)

В чисельнику данні по варіантам 1...14, в знаменнику – по варіантам 15...28.

В мить закінчення в`мяття ножів (відповідно початку зсуву) висота (товщина) перерізу металу  $h_n$  дорівнює:

$$h_n = h - Z_b = h(1 - \varepsilon_b) \quad (2.2)$$

де  $Z_b$  – глибина вм`яття ножів в метал;

$\varepsilon_b = Z_b / h$  коефіцієнт в`м`яття

$h$  – висота (товщина) штаби.

Таким чином, площа перерізу, яка зазнає напружень зрізування, дорівнює:

$$F_{\text{роз}} = h(1 - \varepsilon_b) b \quad (2.3)$$

де  $b$  – ширина штаби в площі розрізу.

При визначенні розрахункового зусилля розрізу, діючого на ножі, необхідно приймати до уваги затуплення ножів та збільшення розхилу поміж ними за умови тривалого часу роботи ножів. Внаслідок цих причин кінцева формула для визначення зусилля розрізування металу паралельними ножами має вигляд:

$$P_{\text{max}} = k_1 k_2 k_3 \sigma_b b h(1 - \varepsilon_b),$$

де  $k_2$  – коефіцієнт затуплення ножів;

$k_3$  – коефіцієнт збільшення розхилу між ножами.

По практичним даним рекомендується приймати для гарячого розрізування:

$$k_2 = 1,1 \dots 1,2$$

$$k_3 = 1,15 \dots 1,25$$

Для розрахунків прийняти середні значення:

$$k_2 = 1,15$$

$$k_3 = 1,20$$

При нахилі верхнього ножа під невеликим кутом зусилля розрізування зменшується і його визначають за формулою:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 \frac{2 - \varepsilon_n}{2 \operatorname{tg} \alpha} \varepsilon_n h^2 \sigma_B \quad (2.4)$$

де  $k_1, k_2, k_3, \sigma_B, h$  – теж саме, що і у формулі (2.1);

$\alpha$  – кут нахилу верхнього ножа;

$\varepsilon_n = \frac{Z_n}{h}$  - коефіцієнт підрізування,

де, в свою чергу,  $Z_n$  – глибина укорінення ножів в мить закінчення розрізування (початок відламу) металу.

Значення коефіцієнтів вм'яття  $\varepsilon_b$  та підрізування  $\varepsilon_n$  для деяких сталей наведені в додатку 3. Результати розрахунків звести до таблиці і побудувати графіки залежності  $P = f(\alpha)$ , приймаючи до уваги, що при паралельних ножах  $\alpha = 0$ , зробити висновки, пояснити результати розрахунків.

### Розв'язок

#### Варіант 1

В мить закінчення вм'яття ножів (відповідно початку зсуву) висота (товщина) перерізу металу  $h_n$  дорівнює:

$$\varepsilon_b = 0,36$$

$$\varepsilon_n = 0,875$$

$$h_n = h - Zb = h(1 - \varepsilon_b) = 1,5 \cdot (1 - 0,36) = 0,96$$

Площа перерізу, яка зазнає напружень зрізування, дорівнює:

$$F_{\text{роз}} = h(1 - \varepsilon_b) b = 1,5 \cdot (1 - 0,36) \cdot 1000 = 960 \text{ мм}^2$$

Зусилля розрізування металу паралельними ножами дорівнює:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 \sigma_B b h(1 - \varepsilon_b) = 0,58 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot 50 \cdot 1000 \cdot 1,5 \cdot (1 - 0,36) = 38419,2 \text{ Н}$$

При нахилі верхнього ножа під невеликим кутом зусилля розрізування зменшується і його визначають за формулою:

$$P_1 = k_1 k_2 k_3 \frac{2-\varepsilon_n}{2 \operatorname{tg} \alpha} \varepsilon_n h^2 \sigma_B = 0,58 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot \frac{2-0,875}{2 \operatorname{tg} 1} \cdot 0,875 \cdot 1,5^2 \cdot 50 = 2538,89$$

Н

$$P_2 = 0,58 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot \frac{2-0,875}{2 \operatorname{tg} 2} \cdot 0,875 \cdot 1,5^2 \cdot 50 = 1410,067 \text{ Н}$$

$$P_3 = 0,58 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot \frac{2-0,875}{2 \operatorname{tg} 3} \cdot 0,875 \cdot 1,5^2 \cdot 50 = 939,56 \text{ Н}$$

$$P_4 = 0,58 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot \frac{2-0,875}{2 \operatorname{tg} 4} \cdot 0,875 \cdot 1,5^2 \cdot 50 = 704,17 \text{ Н}$$

$$P_5 = 0,58 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot \frac{2-0,875}{2 \operatorname{tg} 5} \cdot 0,875 \cdot 1,5^2 \cdot 50 = 562,82 \text{ Н}$$

$$P_6 = 0,58 \cdot 1,15 \cdot 1,20 \cdot \frac{2-0,875}{2 \operatorname{tg} 6} \cdot 0,875 \cdot 1,5^2 \cdot 50 = 468,492 \text{ Н}$$

Висновок: Зі збільшенням кута  $\alpha$  тиск зменшується.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до задачі 1

Варіант	Марка сталі	Розміри штаби, мм		Межа * міцності, $\sigma_B$ , МПа	Коефіцієнт $k_1 = \tau_{\max} / \sigma_B$
		Товщина, h	Ширина, b		
1/15	Ст. 10	1,5/6,0	1000/1500	50	0,58
2/16	Ст. 20	1,8/5,5	1100/1400	52	0,60
3/17	Ст. 45	2,0/4,0	1200/1300	54	0,63
4/18	Ст. 50	2,3/3,5	1300/1200	55	0,66
5/19	30ХГСА	2,5/3,0	1400/1100	37	0,61
6/20	55С2	3,0/2,5	1500/1000	42	0,68
7/21	12Х13	3,5/2,3	1000/1600	40	0,60
8/22	12Х18Н10Т	4,0/2,0	1100/1500	62	0,70
9/23	ШХ15	5,5/1,8	1200/1600	70	0,75
10/24	Х12М	6,0/1,5	1300/1000	58	0,70
11/25	25Х5СА	7,0/2,0	1500/1400	36	0,60
12/26	09Г2А	6,0/3,0	1400/1300	48	0,59
13/27	12ГС	5,0/4,0	1450/1350	54	0,63
14/28	10ХНДП	3,8/4,8	1500/1600	33	0,56

\* Межа міцності: за експериментальними Приципа М.Г. [2]

## Задача 2

Визначити головні параметри розрізування прокатної штаби в гарячому диску пили по даним табл. 2.2.

Головним параметрами порізу металу диском пилки є сили і швидкості, які діють при цьому, розміри штаб і дисків пилок.  $V = 94$  м/с

Спочатку визначають колове зусилля порізу  $T$ :

$$T = p S \frac{U_h}{1000 V}, \text{ кН}$$

(2.5)

де  $p$  – питоме зусилля різання  $1 \text{ мм}^2$  площі розрізу.

$S$  – ширина прорізу щілини, мм;

$h$  – товщина штаби, мм;

$U_h$  – вихідні дані (табл. 2.2), відповідно швидкість подачі диску  $V$  вибрати в залежності від діаметру диску, користуючись додатком 1.

$$S = S_d + \Delta S, \quad (2.6)$$

де  $\Delta S$  – збільшення прорізу в металі у порівнянні з товщиною диску  $S_d$  яку приймають таким чином:

$S_d$ , мм: 5, 6, 7;                      8, 9, 10;                      11, 12, 13, 14, 15;

$\Delta S$ , мм: 2;                                      3;                                      4.

Питоме зусилля порізу залежить від границі міцності сталі  $\sigma_b$ , величина котрого по експериментальним даним автора для високолегованих сталей наведена в табл. 2.2, і дорівнює:

$$p = K_k \sigma_b \quad (2.7)$$

де  $K_k$  - коефіцієнт бічного биття (колювання) диску, який вибирається в залежності від діаметру диску  $D_d$ :

$D_d$ , мм: 900...1500;                      1600...2000;                      2100...2500;

$K_k$ , мм: 40;                                      50;                                      60

Віднайшовши  $V$ ,  $S$  і  $p$  по вищенаведеній методиці, визначають  $T$  для чотирьох значень швидкості подачі диску  $U$ , наведені в табл. 2.2 і будують графік залежності  $T = f(U)$ .

Для мінімального значення сили  $T$  побудувати в масштабі диск, штабу, силу  $T$  і силу  $R \approx 10 T$ , приймаючи  $H$  виходячи з додатку 2, із якого знаходять:

$$H_1 = H - h/2 \quad (2.8)$$

Віднайшовши графічним методом кут  $\alpha$ , знайти зусилля подачі  $Q$  за виразом:

$$Q = R \cos \alpha - T \sin \alpha, \quad (2.9)$$

Результати розрахунків звести в таблицю і зробити висновки.

### Розрахунок

#### Варіант 2

Спочатку визначають колове зусилля порізу  $T$ :

$$T = p S \frac{U h}{1000 v} \quad p = K_k \sigma_b \quad S = S_d + \Delta S$$

$K_k$  залежить від діаметру диску. Приймаємо  $K_k = 40$  мм

$$p = 40 \cdot 70 = 2800 \text{ мм} \cdot \text{МПа}$$

$\Delta S$  залежить від товщини диску  $S_d$ . Приймаємо  $\Delta S = 3$  мм

$$S = 8 + 3 = 11 \text{ мм}$$

$$T_1 = 2800 \cdot 11 \cdot \frac{15 \cdot 90}{1000 \cdot 94000} = 0,44 \text{ кН} \quad T_2 = 2800 \cdot 11 \cdot \frac{30 \cdot 90}{1000 \cdot 94000} = 0,884 \text{ кН}$$

$$T_3 = 2800 \cdot 11 \cdot \frac{75 \cdot 90}{1000 \cdot 94000} = 2,2 \text{ кН} \quad T_4 = 2800 \cdot 11 \cdot \frac{80 \cdot 90}{1000 \cdot 94000} = 2,36 \text{ кН}$$

Приймаємо  $H$  (додаток 2):  $H = 620$ . Тоді:  $H_1 = H - h/2 = 620 - 90/2 = 575$  мм

Використовуючи графічний метод віднайдемо  $\alpha$ :  $\alpha = 54^\circ$

Віднайшовши графічним методом кут  $\alpha$ , знаходимо зусилля подачі  $Q$  за виразом:

$$Q = R \cos \alpha - T \sin \alpha$$

$$R \approx 10T = 10 \cdot 2,36 = 23,6 \text{ кН}$$

$$Q = 2,36 \cdot \cos 54 - 23,6 \cdot \sin 54 = - 5,22 \alpha$$

Таблиця 2.2 – Вихідні данні до виконання завдання 2

Варіант	Марка сталі штаби	Межа міцн, $\sigma_b$ , МПа	Швидкість подачі диску, U, мм/с	Діаметр диску, $D_d$ , мм	Товщи-на диску $S_d$ , мм	Товщина штаби, h, мм
1/15	X17H13M2T	230	10/30;40/60;60/80;100/120	1000/120 0	6/7	100
2/16	08Ч18Ф2П	70	15/25;30/35;75/90;80/140	1400/160 0	8/9	90
3/17	03Ч18Н11	170	20/70;30/90;440/110;50/150	1000/200 0	6/10	80
4/18	ВНС-16	210	10/20;100/120;200/180;300/280	1200/160 0	7/9	70
5/19	УСП-40	180	50/300;100/250;150/200;200/50	900/2000	6/10	110
6/20	АК-32	175	10/300;50/200;100/100;150/10	1600/140 0	9/8	105
7/21	03X17H14M3	215	10/300;100/220;200/120;300/20	1000/200 0	6/10	95
8/22	0X21H6M2T	130	30/300;100/200;200/100;300/50	900/1800	6/9	85
9/23	Э-577	262	10/350;50/300;100/200;300/10	2000/100 0	10/6	75
10/24	ДИ-21	185	300/30;200/100;100/200;40/300	900/2500	6/15	115
11/25	ДИ-20	190	10/300;100/150;200/250;300/50	2300/110 0	12/7	190
12/26	12X18H10T	190	10/50;120/100;250/200;350/300	1200/200 0	7/10	125
13/27	ЭИ-898А	200	20/50;100/150;200/250;300/350	1300/210 0	8/11	190
14/28	2X18H25C2	250	30/10;120/100;220/180; 320/280	1000/200 0	6/10	140

\*експериментальні значення, отримані автором (температура при випробуванні зразків – 800 °С).

Задача 3

Визначити, виходячи із схеми правки (рис. 2.2), сили діючих на перші ролики правильної машини під час правки листової сталі марки, приведеної в табл. 2.6:

1) Визначити  $P_1$ ,  $P_2$  та  $P_3$ , ширина варіюється ( $b = 1000, 1250, 1500$ ) для постійної товщини ( $h = 1,0$  мм);

2) Визначити  $P_1$ ,  $P_2$  та  $P_3$ , ширина варіюється ( $b = 1250$ ) для товщини в діапазоні наведеному в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 - Вихідні дані

Марка сталі	Границя міцності, $\sigma_T$ , МПА	Ширина листів, $b$ , мм	Товщина листів, $h$ , мм
3 пс	260	1000, 1250, 1500	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0

При визначенні сил, діючих на ролики з боку виправляє мого листа приймають на перших 4 роликах діє сила пластичності згину, на проміжних роликах схема пружно-пластичного згину, таким чином найбільші сили діють на перших 4 роликах, що ілюструється на рис. 2.2.

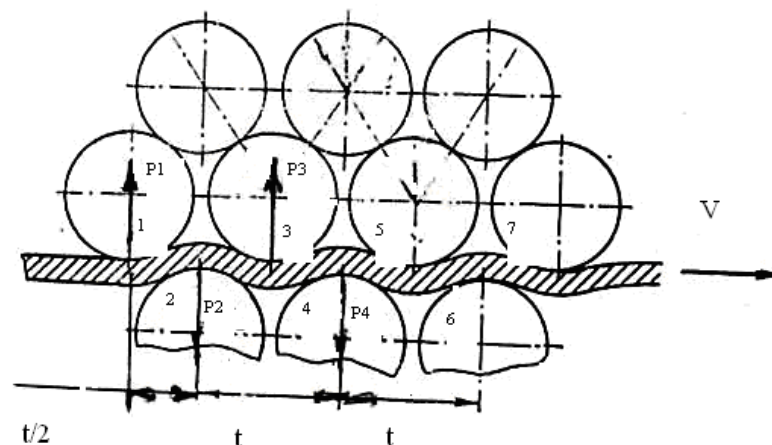


Рисунок 2.2 - До розрахунку сил, діючих на ролики листа правильних машин

Сила, діюча на ролик 1, визначається моментом  $M_2$ , який є необхідним для згину (правки) листа другим роликом, дорівнює:

$$P_1 = 1/2 \cdot \sigma_T \cdot b \cdot h^2 / 4t$$



де  $t$  – крок роликів ( $t = 260$  мм),

Сила, діюча на ролик 2, визначається моментом для згину листа другим роликом, тобто:

$$P_2 = 3/2 \cdot \sigma_T \cdot b \cdot h^2 / 4t$$

Сила  $P_3$  визначається із суми моментів необхідних для згину листа четвертим роликом, тобто:

$$P_3 = 2 \cdot \sigma_T \cdot b \cdot h^2 / 4t$$

Порівнявши сили, діючі на ролики 1, 2, 3 робимо висновок, що на ролик 3 діє максимальна сила. Крутний момент і потужність деформації правки всіма роликами, включно крім першого і останнього, визначаємо по формулі:

$$M_{кр} = \frac{\sigma_n^2}{E} \epsilon h D K_\phi$$

де  $\sigma_T$  – границя текучості матеріалу листа;

$b$  і  $h$  - ширина і товщина листа;

$D$  – діаметр валка ( $D = 250$  мм);

$E$  – модуль потужності матеріалу листа (для сталі  $2 \cdot 10^5$  МН/м<sup>2</sup>).

Потужність деформації  $N_d$  при швидкості правки визначаємо за формулою:

$$N_d = \frac{\sigma^2}{E} \epsilon h v K_\phi$$

де  $K_d$  – результуючий підсумковий коефіцієнт пластичної деформації усіма роликами;

$v$  – швидкість правки ( $v = 4$  м/с).

$$K_d = K_2^2 \left[ \frac{1}{1 - K_2} + K_2(n - 3) \right]$$

де  $K_2 = 0,6 - 0,8$  – коефіцієнт пластичної деформації при згині листа другим роликом;

$n$  – кількість роликів машини ( $n = 5$ ).

Розв'язок

1)  $P_1 = \underline{1} \cdot \underline{1000} \cdot \underline{1^2} = 125,00$  Н;

$$P_2 = \frac{2}{2} \cdot \frac{4 \cdot 260}{4 \cdot 260} \cdot 1000 \cdot 1^2 = 375,00 \text{ Н};$$

$$P_3 = 2 \cdot 260 \cdot \frac{1000 \cdot 1^2}{4 \cdot 260} = 500,00 \text{ Н};$$

$$K_d = 0,8^2 \left[ \frac{1}{1-0,8} + 0,8_2(5-3) \right] = 4,224;$$

$$M_{кр} = \frac{(260 \cdot 10^6)}{2 \cdot 10^{11}} \cdot 1 \cdot 0,001 \cdot 0,25 \cdot 4,224 = 356,93 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$N_d = \frac{(260 \cdot 10^6)}{2 \cdot 10^{11}} \cdot 1 \cdot 0,001 \cdot 4 \cdot 4,224 = 5,71 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку для постійної товщини металу

h, мм	b, мм	P <sub>1</sub> , Н	P <sub>2</sub> , Н	P <sub>3</sub> , Н	M <sub>кр</sub> , Н·м	N <sub>д</sub> , кВт
1,0	1000	12,55	375,00	500,00	356,93	5,71
1,0	1250	156,25	468,75	625,00	446,16	7,14
1,0	1500	187,50	562,50	750,00	535,39	8,57

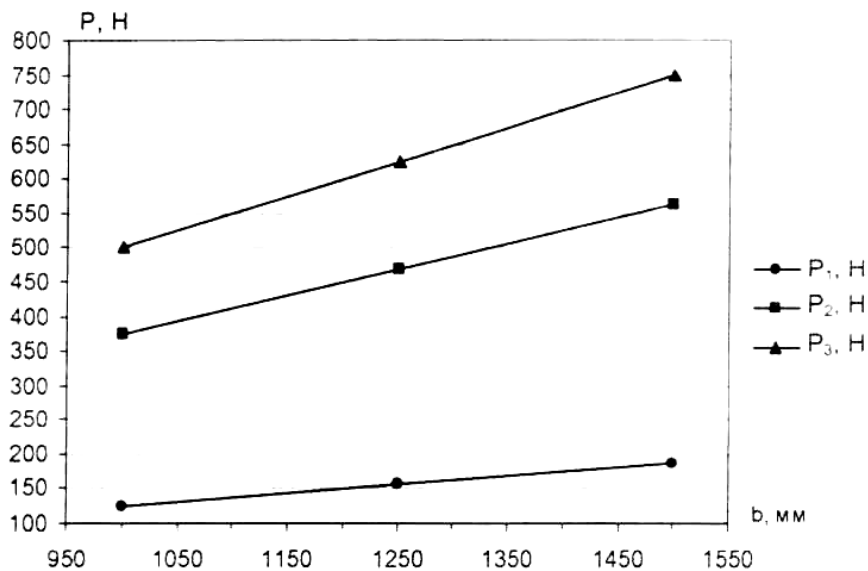


Рисунок 2.2 - Графік залежності зусилля правки від ширини металу

$$2) \quad P_1 = \frac{1}{2} \cdot 260 \cdot \frac{1250 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 260} = 39,06 \text{ Н};$$

$$P_2 = \frac{3}{2} \cdot 260 \cdot \frac{1250 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 260} = 117,19 \text{ Н};$$

$$P_3 = 2 \cdot 260 \cdot \frac{4 \cdot 260}{1250 \cdot 0,5^2} = 156,25 \text{ Н};$$

$$K_d = 0,8^2 \left[ \frac{1}{1-0,8} + 0,8_2(5-3) \right] = 4,224;$$

$$M_{кр} = \frac{(260 \cdot 10^6)}{1,98 \cdot 10^{11}} \cdot 1,25 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 4,224 = 223,08 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$N_d = \frac{(260 \cdot 10^6)}{2 \cdot 10^{11}} \cdot 1,25 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 4,224 = 3,57 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків для постійної ширини металу

h, мм	b, мм	P <sub>1</sub> , Н	P <sub>2</sub> , Н	P <sub>3</sub> , Н	M <sub>кр</sub> , Н·м	N <sub>д</sub> , кВт
0,5	1250	39,06	117,19	156,25	223,08	3,57
1,0	1250	156,25	468,75	625,00	446,16	7,14
1,5	1250	351,56	1054,69	1406,25	669,24	10,71
2,0	1250	625,00	1875,00	2500,00	892,32	14,28
2,5	1250	976,56	2929,69	3906,25	1115,40	17,85
3,0	1250	1406,25	4218,75	5625,00	1338,48	21,42

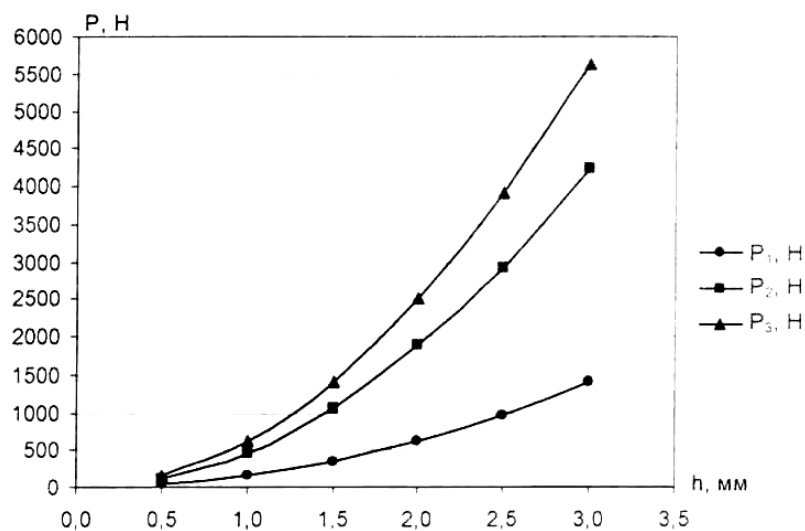


Рисунок 2.3 – Графік залежності зусилля правки від товщини металу

**Висновок:** Приймаючи залежності зусиль правки від ширини штаб (при постійній товщині штаби) на рис. 2.1 і цієї ж залежності від товщини штаб (при постійній ширині) на рис.2.2 можна зробити висновок, що зі збільшенням товщини зусилля правки збільшується на порядок інтенсивніше порівняно з інтенсивністю збільшення зусилля правки при збільшенні ширини. Таким

чином, основним фактором для визначення зусилля, крутного моменту та потужності деформації є товщина штаби.

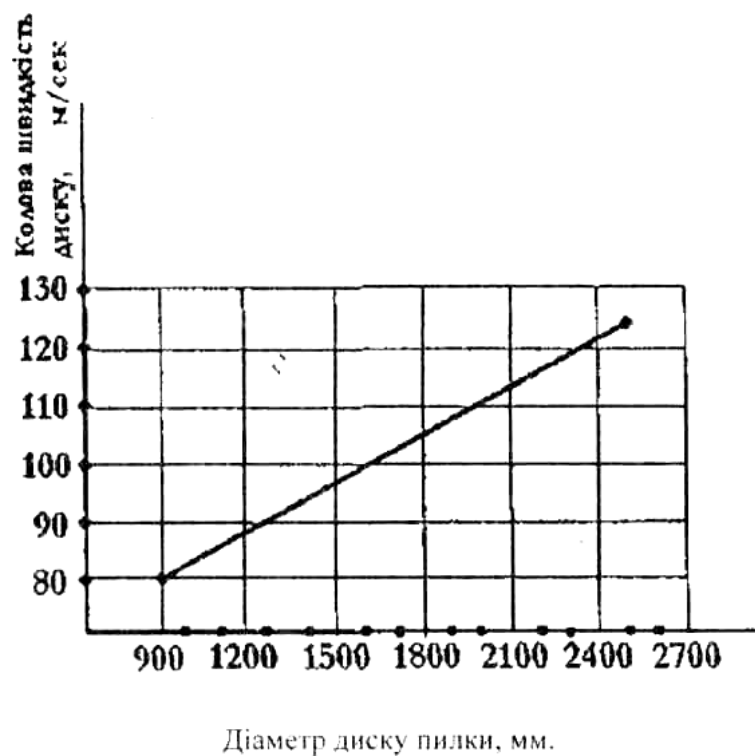
Таблиця 2.6 – Вихідні дані до задачі 3 [6]

№ варіанту	Марка сталі	Границя міцності, $\sigma_B$ , Мн/мм <sup>2</sup>
1	15Х	700
2	45Х	1050
3	20Х3	1110
4	15ХФ	750
5	50ХФА	1300
6	35ХМА	950
7	40Х2Г	1000
8	40ХГМ	1000
9	35СГ	850
10	20ХН	800
11	12Х2А	800
12	20ХН3А	950
13	12Х2Н4А	1110
14	25ХГСА	800
15	35ХГСА	1100
16	25Х2ГНТА	1690
17	09Г2А	270
18	10ХСНД	310

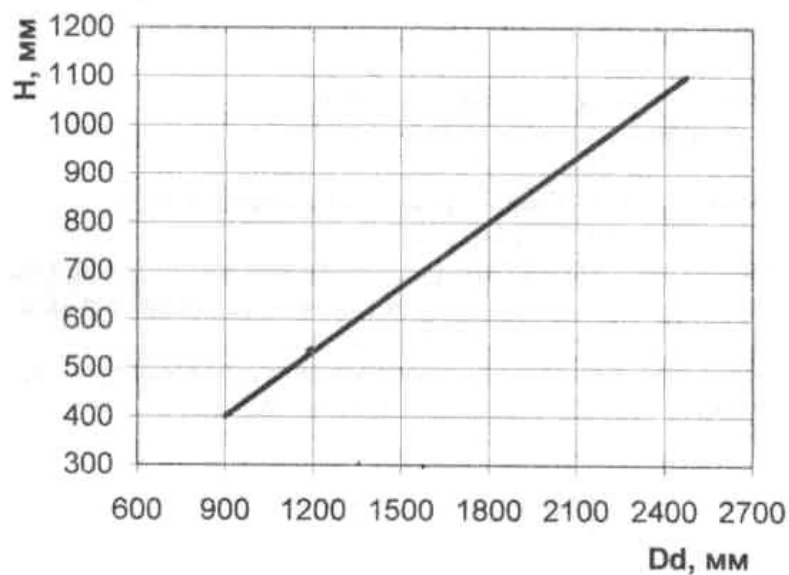
## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

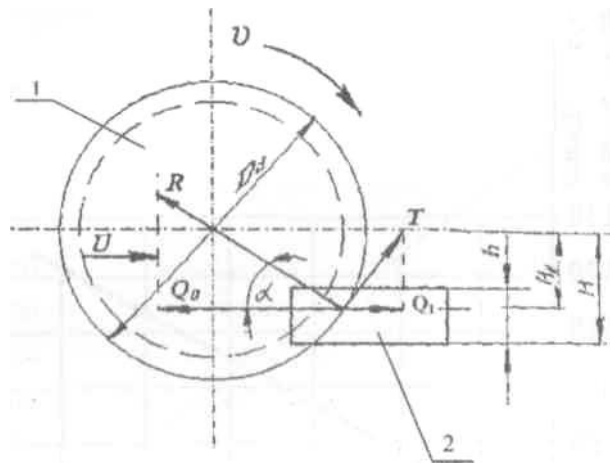
1. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. - М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
2. Прицип М.Г. Механічна обробка та зварювання металів. Нвчальний посібник. Запоріжжя. ЗДІА, 2003. - 124с.
3. Королёв А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. - М.: Металлургия, 1985. – 375 с.
4. Иванченко Ф.К., Гребенік В.Н., Ширяев В.І. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. - К.: Вища школа, 1995. – 454 с.
5. Целиков А.И., Смирнов В.В. Прокатные станы. - М.: Госнаучтехиздат, 1958. – 432 с.
6. А.З. Комановский, Н.А. Трощенко, В.С. Мовшович. Производство легированных холоднокатаных листов. Изд-во «Металлургия», Москва – 1967. – 160с.
7. Проектирование прокатных и трубных цехов / В.М. Друян, А.С. Зинченко, СЕ. Каплан и др. - Киев: Донецк: Вища школа, 1985. - 319 с.
8. Ксендзук Ф.А., Трощенко Н.А., Прицип Н.И. Рулонный способ производства холоднокатаной листовой стали // Metallurg. М.: Металлургия – 1968, №3, – С. 22 – 24.
9. Прицип М.Г. Механічна обробка і зварювання металів. Стисла програма, варіанти контрольних робіт і методичні вказівки та довідкові матеріали по їх виконанню. Запоріжжя. ЗДІА, 2004. - 28с.

Залежність колової швидкості дисків пилок від діаметру диску [6]



Залежність відстані між роликот рольганга  $H$  і центром диску від діаметру диска (див. рис. 1) [9].





1 - диск; 2 - металева штаба товщиною  $h$ ;  $T$  - колове зусилля порізу;  
 $R$  - радіальне зусилля;  $Q_0$  - зусилля спротиву металу порізу;  $Q_1$  - зусилля  
 подачі-притиску диску до штаби;  $V$  - колова швидкість диску;  $U$  - швидкість  
 подачі диску в горизонтальному напрямку

Рисунок 1 – Схема порізу металу диском пилки