

1 Розрахунок режиму деформації при прокатуванні листів

Нині товсті листи з товщиною більше 4 мм (до 60 мм) і шириною $B=1000\ldots3400$ мм прокатують на станах з довжиною бочки $L=2250\ldots3600$ мм [1-5]. Працюють також товстолистові стани з довжиною бочки $L=4500\ldots5000$ мм, на яких, окрім листів, прокатують плити завтовшки до 300 мм. Максимальна ширина листа, що прокатується на товстолистовому стані складає $B=(0,85\ldots0,9) L$.

Завданням розробки режимів деформації листів і енергосилових параметрів прокатки (ЕСП) для прокатного стану є визначення таких умов плющення, які забезпечать максимальне виробництво прокату (максимальні швидкості плющення і величини обтиснень, що допускаються), високу якість поверхні листа (відсутність дефектів), висока якість поперечного і подовжного профілів листа, висока якість форми (значення хвилястості і жолобчасті, що допускаються), раціональні величини сили і потужності плющення і т. п. Розглянемо методику розрахунку режиму деформації для товстолистового стану (ТЛС).

При заданих розмірах листа (h , b , $L_{\text{л}}$) виконують розрахунок маси зливка (сляба) з використанням формули :

$$G = h \cdot b \cdot L_{\text{л}} \cdot \gamma \cdot k_{\text{ф}}, \quad (1.1)$$

де $L_{\text{л}}$ - довжина готового листа після обрізання кінців; $k_{\text{ф}}$ - коефіцієнт витрат металу в обрізь: для слябів - $k_{\text{ф}} = 1,1\ldots1,25$; для зливків $k_{\text{ф}} = 1,25\ldots1,4$ (кипляча і напівспокійна сталі); для зливків спокійної сталі - $k_{\text{ф}} = 1,37\ldots1,7$; (γ - питома маса металу (для сталі $\gamma = 7,85$ т/м³).

При розрахунках коефіцієнта фабрикації витрат металу на обрізь ширину кромки листа (дві кромки) приймають рівним від 60 до 160 мм (5...10%)[1] (мається на увазі різниця ширини листа в середині довжини і на кінцях).

Торцова (кінцева) обрізь на листах, передбачає вирівнювання кінців (усунення «язиків», кінцевих накатів, усадкової рихлості і т. п.). Абсолютна довжина обрізи залежить від форми кінців і складає 400...1000 мм на обидва кінці і більше. Відносна величина кінцевої обрізи листів із слябів визначається у тому числі і завдовжки листа і складає 4...10% маси заготовки. Головна обрізь на листах із зливків киплячої сталі складає 8...15%, а спокійною - 15...25% від маси зливка. Донна обрізь для усіх зливків 2...4%. Витрати металу на в колодязях і нагрівальних печах рівні 2.3% від маси зливка. Зі збільшенням товщини коефіцієнт фабрикації металу підвищується. У відмінності від коефіцієнта фабрикації, коефіцієнт витрати металу враховує не лише неминучі технологічні витрати металу, але і брак усіх видів при усіх операціях виробництва листів (рис.1.1).

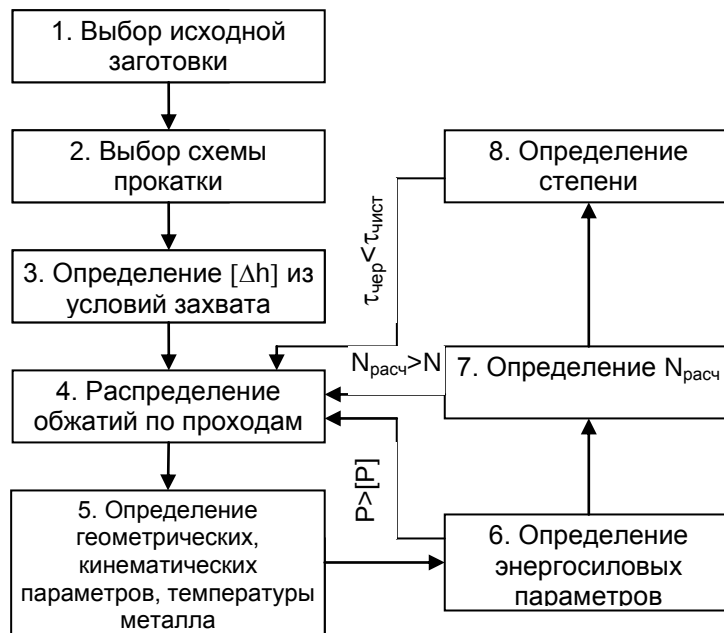


Рис. 1.1. Блок-схема алгоритму розрахунку режиму деформації листів на ТЛС.

Приклад. Розрахувати режим деформації листа 8x1500x6000 мм при прокатуванні на стані 2300. Розміри валків в чорновій двохвалковій кліті $D_B = 1100$ мм, $L_B = 2300$ мм з приводом потужністю $N_{ДВ} = 2900$ кВт і частотою обертання валків 0 - 70 - 120 в хв. Валки чорнової і кліті і опорні в чистовій кліті виготовлені із сталі марки 50 ХН, робочі валки чистової кліті - з легованого чавуну з вибіленим шаром.

1.1 Зафабрикувати лист з розмірами 8x1500x6000 мм. Теоретична маса готового листа дорівнює

$$G = h \cdot b \cdot L_{\text{л}} \cdot \gamma = 8 \cdot 1500 \cdot 6000 \cdot 7,85 / 10^6 = 565 \text{ кг}$$

На стані можна прокатувати листи загальною довжиною до 20 м. Виходячи з можливості стана вибираємо двократний розкрій розкату. Тоді маса сляба для двох листів при коефіцієнті фабрикації $k_{\phi} = 1,19$ буде рівна.

$$G_{\text{сл}} = 2 \cdot k_{\phi} \cdot G = 2,38 \cdot 565 = 1340 \text{ кг}$$

Довжину сляба визначають з умови розміщення його в дворядній нагрівальній печі, робочої довжини бочки валка і отримання максимального витягання. Ширина печі $B_{\text{П}} = 4,2$ м, активна довжина бочки валка рівна $L_a = (0,85 \dots 0,9) L_B$ і коефіцієнт витягання $\mu_B = 1,25 \dots 1,3$. Приймаємо активну довжину бочки валка $L_a = 0,9 L_B = 0,9 \cdot 2300 = 2070$ мм, а $\mu_B = 1,275$. Тоді можлива довжина одного сляба рівна.

$$L = L_a / \mu = 2070 / 1,275 = 1620 \text{ мм.}$$

Ширина сляба обумовлена можливостями встановленого обтискного стана (слябінг, блюмінг-слябінг), витяжними здібностями ТЛС, завтовшки листа і необхідного висотного обтиснення листа. З урахуванням практичних даних приймаємо ширину сляба $B=1000\text{мм}$.

Товщину сляба визначаємо з формули

$$H = G_{\text{сл}} \cdot 10^6 / B \cdot \gamma \cdot L ; \quad (1.2)$$

$$H = 1340 \cdot 10^6 / 1000 \cdot 1620 \cdot 7,85 = 105 \text{ мм}.$$

1.2 .Вибір схеми прокатки. Відповідно до технології товсті листи прокатують з попереднім **розбиттям їх ширини**. Як правило розбиття виконують за схемою з двома кантуваннями (подовжнє прокатування сляба) (рис 1.2). Розрахунок розмірів розкату при розбитті ширини листа виконують в наступній послідовності.

Товщина розкату після витягання (h_B) без урахування розширення буде рівна

$$h_B = H / \mu_B = 105 / 1,275 = 82 \text{ мм}.$$

Сумарне обтиснення при витяганні в двох проходах (кантування розкату виконують з переднього боку кліті) дорівнює:

$$\sum \Delta h_B = H - h_B = 105 - 82 = 23 \text{ мм}.$$

Перша операція (рис. 1.2) - **розбиття ширини** листа після кантування розкату на 90° в горизонтальній площині (таблиці. 1.1). Необхідна ширина розкату (b_p) з урахуванням припуску на обрізання кромки ($\Delta b_{\text{кр}} = 120 \text{ мм}$) рівна.

$$b_p = b + \Delta b_{\text{кр}} = 1500 + 120 = 1620 \text{ мм},$$

а сумарний коефіцієнт витягання при розбитті ширини буде

$$\mu_p = b_p / B = 1620 / 1000 = 1,62$$

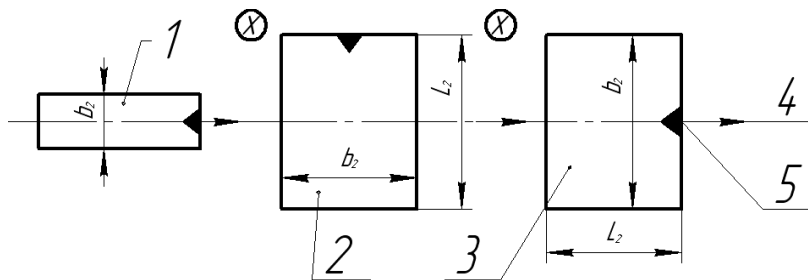


Рис 1.2. Схема розбиття сляба на ширину листа : 1-розкат після операції **протягання**; 2-раскат після **розбиття ширини** листа; 3-подовжня **прокатка** після кантовки розкату; 4-передача розкату до чистової кліті; 5-усадкова рихлість. х - кантівка на 90° в площині.

Без урахування розширення, кінцева товщина (h_p) розкату після розбиття ширини, складає

$$h_p = h_B / \mu_p = 82 / 1,62 = 50 \text{ мм}$$

а сумарне обтиснення ($\sum \Delta h_p$) при розбитті ширини за n_p проходів складе

$$\sum \Delta h_p = h_B - h_p = 82 - 50 = 32 \text{ мм.}$$

Оскільки кантування розкату виконують з переднього боку кліті це обтиснення розподілимо на два проходи (парне число), а загальна кількість проходів (n) під час попереднього прокатування складе в чорновій кліті

$$n = n_B + n_p = 2 + 2 = 4,$$

де n_B - число проходів при витяганні.

Приймаємо сумарне обтиснення в **чистовій кліті** 10...20% від загального обтиснення металу на стані

$$\sum \Delta h_{\text{ч}} = 0,15(H - h) = 0,15(105 - 8) = 14 \text{ мм}$$

де $\sum \Delta h_{\text{ч}}$ - сумарне обтиснення в **чистовій кліті**.

Товщина $H_{\text{ч}}$ розкату, який входить в **чистову кліть** (після прокатки в **чорновій кліті** - $h_{\text{чЕР}}$) буде рівна

$$H_{\text{ч}} = h_{\text{чЕР}} = h + \sum \Delta h_{\text{ч}} = 8 + 14 = 22 \text{ мм.}$$

Сумарне обтиснення ($\sum \Delta h_{\text{ПР}}$) при подовжньому прокатуванні в **чорновій кліті** рівне

$$\sum \Delta h_{\text{ПР}} = h_p - h_{\text{чЕР}} = 50 - 22 = 28 \text{ мм.}$$

Визначимо для чорнової кліті обтиснення $[\Delta h]$ виходячи з умов захвату розкату валками, що допускається. Для розрахунку $[\Delta h]$ використовуваний формули з робіт [1-5]. Захват сляба (зливка), як правило, виконують при частоті обертання валків 1-15 об/хв. При призначенні числа оборотів валків для розбиття ширини листа і розподілу обтиснень зазвичай приймають величини обтиснень дещо менше за тих, що допускаються.

$\Delta h = (0,9...0,95)[\Delta h]$, що запобігає порушенню технологічного процесу внаслідок появи яких-небудь випадкових чинників (буксування).

Визначимо коефіцієнт тертя при захваті, використовуючи формули [3-5]. Валки виготовлені із сталі марки Ст. 50ХН з твердістю 45 HSD (поверхня валків після обточування ($k_B = 1$), число оборотів валків при захваті $n_3 = 15$ в мін, матеріал листа - сталь марки Ст. 08кп ($k_M = 1$), охолодження (мащення) валків водою ($k_{\text{СМ}} = 1$), вплив обтиснення враховуємо ($k_{\text{е}} = 0,95$). Коефіцієнт, що враховує умови завдання розкату у валки - $k_3 = 1,35$, коефіцієнт k_T - враховує твердість валків.

При діаметрі валків $D_6 = 1100$ мм, їх окружна швидкість буде рівна

$$v = \pi \cdot D_6 \cdot n_3 / 60 = 3,14 \cdot 1,1 \cdot 15 / 60 = 0,87 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт тертя знаходимо при початковій температурі $t = 1200^\circ\text{C}$ [3-6]:

$$f = 0,27 - 0,1(t/400 - 2)^2 = 0,17;$$

$$k_T = 1 = 0,43(1 - \text{HSD}/65) = 1 + 0,43(1 - 45/65) = 1,02;$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 v) = 0,76 + 0,82(1 - 0,087) = 1,44;$$

$$f = 0,17 \cdot 1,02 \cdot 1,44 \cdot 0,95 = 0,237.$$

Коефіцієнт тертя при захваті рівний

$$f_3 = f \cdot k_3 = 0,237 \cdot 1,35 = 0,32.$$

Обтиснення, що допускається, виходячи з умов захвату валками після усіх переточувань ($D = 0,92 \cdot 1100 = 1025$ мм) рівні

$$[\Delta h] = R \cdot f_3^2 = 512,5 \cdot 0,102 = 52 \text{ мм.}$$

Сила прокатки по міцності бочки валків чорнової кліті, що допускається, визначається формулами:

$$\left. \begin{aligned} [P] &= 0,4 \cdot D^3 \cdot [\sigma_u] / (L_{\sigma} + l_{ш} - 0,5b); \\ \text{для шийки} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

$$[P] = 0,4 \cdot d_{ш}^3 [\sigma_u] / l_{ш},$$

де $d_{ш}$ - діаметр шийки; $l_{ш}$ - довжина шийки; b - ширина листа; σ_u - напруження, що допускається на вигин валка.

Діаметр валка після усіх переточувань рівний $D = 1025$ мм, напруження, що допускається, на вигин валків з низьколегованої сталі $[\sigma_u] = 130 \text{ Н/мм}^2$, діаметр і довжина шийки для підшипників кочення: $d_{ш} = 0,55 \cdot 1100 = 600$ мм, довжина шийки $l_{ш} = d_{ш} = 600$ мм. Маємо; для бочки

$$[P] = 0,4 \cdot 1,025^3 \cdot 130 / (2,3 + 0,6 - 0,75) = 26 \text{ МН};$$

для шийки

$$[P] = 0,4 \cdot 0,6^3 \cdot 130 / 0,6 = 18,5 \text{ МН.}$$

Величина номінального моменту прокатки

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta \cdot 10^{-2} / n_{\text{ном}}, \quad (1.5)$$

де $N_{\text{дв}}$ - потужність двигуна, кВт; $n_{\text{ном}}$ - номінальне число оборотів двигуна в мін; η - ККД передачі ($\eta = 0,95$).

Для нашого прикладу $M_{\text{ном}}$ рівний

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \cdot 2900 \cdot 0,95 \cdot 10^{-2} / 25 = 1,07 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Якщо коефіцієнт перевантаження двигуна по моменту

$$k_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} / M_{\text{ном}} > 1,$$

то потрібна перевірка двигуна на нагрів. Умови відсутності перегрівання двигуна має такий вигляд

$$M_{\text{ЭК}} < M_{\text{ном}}, \quad (1.6)$$

де $M_{\text{ЭКВ}}$ - еквівалентний момент на валу двигуна; $k_{\text{дв}} = 2 \dots 2,5$ - для реверсивних станів; $M_{\text{дв}}$ - розрахунковий момент прокатки

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{\sum M_{\text{дв}}^2 \cdot \tau_{\text{м}} + \sum M_{\text{хх}}^2 \cdot \tau_{\text{п}}}{\tau_{\text{м}} + \tau_{\text{п}}}}, \quad (1.7)$$

де $M_{\text{хх}}$ - момент холостого ходу ($M_{\text{хх}} \approx 0,05 M_{\text{дв}}$); $\tau_{\text{м}}$ и $\tau_{\text{п}}$ - машинний час і час пауз для усіх проходів в кліті, с.

Для чистової кліті кварто силу, що допускається, визначаємо виходячи з міцності шийки бочки опорного валка при $d_{\text{ш}} = 0,65D_{\text{оп}} = 900$ мм; $l_{\text{ш}} = 0,7D_{\text{оп}} = 1000$ мм. Матеріал валків сталь марки СТ. 50 ХН з $[\sigma_{\text{ш}}] = 130$ Н/мм². При розрахунку сили, що допускається $[P]$ по міцності бочки приймаємо мінімальний діаметр після перешліфовувань ($D = 0,93D_{\text{оп}} = 0,93 \cdot 1400 = 1300$ мм). Маємо з формул (для бочки шийки) ($a = L_{\text{б}} + l_{\text{ш}}$):

$$\begin{aligned} [P] &= 0,8 \cdot D^3 \cdot [\sigma_{\text{ш}}] / (2a - b); \\ [P] &= 0,4 \cdot d_{\text{ш}}^3 \cdot [\sigma_{\text{ш}}] / l_{\text{ш}}; \end{aligned} \quad (1.8)$$

для бочки (при мінімальній ширині листа $b = 1,5$ м)

$$[P] = 0,8 \cdot 1,3^3 \cdot 130 / (6,6 - 1,5) = 44,2 \text{ МН} \cdot \text{МН};$$

для шийки

$$[P] = 0,4 \cdot 0,9^3 \cdot 130 / 1,0 = 37,7 \text{ МН} \cdot \text{МН}.$$

Наявність внутрішніх і зовнішніх дефектів, а також залишкові напруження знижують силу прокатки, що допускається, і тому в практичних умовах прокатки приймають $[P_{\text{ф}}] = (0,75 \dots 0,9) [P]$.

Номінальний момент на валу двигуна визначають по формулі (1.5)

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \cdot 4500 \cdot 0,95 \cdot 10^{-2} / 70 = 0,6 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

1.3 Розподіляємо обтиснення по проходах з урахуванням попередніх результатів (таблиця. 1.1):

– Витягання - сумарне обтиснення сляба рівне $\sum \Delta h_{\text{в}} = 23$ мм розподілимо на два проходи: 1-й прохід - $\Delta h_1 = 13$ мм, 2-й - прохід $\Delta h_2 = 10$ мм (оскільки в першому проході метал має велику температуру і товщину розкату і меншу величину напруження течії).

– Розбиття ширини - сумарне обтиснення ($\sum \Delta h_{\text{р}} = 32$ мм) розподілимо таким чином: 3-й прохід - $\Delta h_3 = 18$ мм, 4-й прохід - $\Delta h_4 = 14$ мм;

- Подовжня прокатка - в чорновій кліті прокатку здійснюють за непарну кількість проходів. При цьому заздалегідь вважаємо, що коефіцієнт витягання $\mu_{\text{пр}} \leq 1,35$ и $\varepsilon \leq 30\%$. Тоді коефіцієнт витягання $\mu_{\text{пр}}$ визначимо з формул заздалегідь прийнявши число проходів $n = 3$ (без урахування розширення) (дивитися вище) :

$$\begin{aligned} \sum \mu_{\text{пр}} &= h_{\text{р}} / h_{\text{чЕР}} = 50 / 22 = 2,27; \\ \mu_{\text{пр}} &= \sqrt[n]{\sum \mu_{\text{пр}}} = \sqrt[3]{2,27} = 1,315 < 1,35. \end{aligned}$$

Таким чином, $n=3$ і визначимо товщину розкату по проходах (5 - 7 - й проходи на подовжню прокатку) :

$$h_5 = H_4 / \mu_{\text{пр}} = 50 / 1,315 = 38 \text{ мм};$$

$$h_6 = 38 / 1,315 = 28,9 \text{ мм};$$

$$h_7 = 28,9 / 1,315 = 22 \text{ мм}.$$

Величини обтиснень в чорновій кліті виявилися меншими, ніж за умовами захвату металу валками. Усі попередні розрахунки заносимо в таблицю 1.1.

Вище отримали, що сумарне обтиснення в чистовій кліті складає ($h_{\text{ч}} = 14$ мм. Для здійснення прогладжування (таблиці 1.1) проміжок між валяннями залишають таким же, як і в передчистовому (передостанньому) проході або дещо збільшують (встановлюють практично). У передостанньому проході відносне обтиснення не перевищує $\varepsilon_{\text{пч}} = 15\%$. Для даного прикладу приймаємо в передостанньому проході $\varepsilon_{\text{пч}} = 11\%$. Тоді, в проходах, що залишилися, в чистовій кліті сумарний коефіцієнт витягання буде рівний

$$\sum \mu_{\text{ч}} = h_{\text{чЕР}} (1 - \varepsilon_{\text{пч}}) / h = 22 \cdot 0,89 / 8 = 2,45,$$

де $h_{\text{чЕР}}$ - товщина листа після прокатки в чорновій кліті. Якщо прокатати лист в чистовій кліті за три робочі проходи, то середній коефіцієнт витягання не перевищить $\mu_{\text{ч}} = 1,35$:

$$\mu_{\text{ч}} = \sqrt[3]{\sum \mu_{\text{ч}}} = \sqrt[3]{2,45} = 1,348,$$

що допустимо для визначення режиму деформації листа.

Таким чином, загальне число проходів в чистовій кліті складатиме п'ять (табл. 1.1). При цьому, в першому проході, коли температура металу максимальна, призначаємо максимальне обтиснення, зменшуючи його в подальших проходах.

1.4 На підставі практичних даних призначимо середні швидкості прокатки в кожному проході (табл.1.1). Швидкість збільшують у міру зменшення товщини листа, а машинний час прокатки в кожному проході визначають по формулі

$$\tau_{\text{м}} = L_i / v_i .$$

Час пауз між проходами приймаємо рівним $\tau_{\text{п}} = 3$ с, з кантуванням розкату в чорновій кліті ($\tau_{\text{п}} = 6$ с), а при транспортуванні розкату від першої кліті до чистової кліті ($\tau_{\text{п}} = 10$ с). Для першого проходку приймаємо температуру початку прокатки рівної $t_{\text{н}} = 1200^\circ\text{C}$. Втрати температури перед подальшим проходом (n_i) складають [3]

$$\Delta t_i = 0,0021 \left(\frac{t_{i-1} + 273}{100} \right)^4 \frac{\tau_{i-1}}{h_{i-1}} . \quad (1.9)$$

Час прокатки в першому проході буде рівний (приймаємо $v = 1$ м/с)

$$\tau_{\text{м}} = L / v = 1,85 / 1 = 1,85 \approx 2 \text{ с}.$$

Загальний час між першим і другим проходами дорівнює

$$\tau_{i-1} = \tau_M + \tau_{II} = 2 + 3 = 5 \text{ с.}$$

Втрати температури перед другим проходом складають

$$\Delta t_{i=2} = 0,0021 \left(\frac{1200 + 273}{100} \right)^4 \frac{5}{95} = 5^\circ \text{C};$$

$$t_{i=2} = t_{i-1} - \Delta t_{i=2} = 1200 - 5 = 1195^\circ \text{C.}$$

Для третього проходу з кантуванням після другого проходу маємо ($i = 3$):

$$\tau_{M2} = 2,07/1 \approx 2 \text{ с}; \quad \tau_{i-1} = 2 + 6 = 8 \text{ с};$$

$$\Delta t_{i=2} = 0,0021 \left(\frac{1195 + 273}{100} \right)^4 \frac{8}{82} = 9^\circ \text{C}.$$

$$t_3 = 1195 - 9 = 1186^\circ \text{C} \quad \text{и т. д.}$$

З табл.1.1 витікає, що при прокатуванні в чорновій кліті температура металу знижується на 61°C , а в чистовій кліті - на 146°C . Падіння температури на проміжному рольганзі складає 48°C . Власний час прокатки в чорновій кліті дорівнює 34,1 с, а в чистовій кліті - 25,2 с, що задовольняє умовам алгоритму (рис.1.1).

Таблиця 1.1. Режим обтиснень і енергосилові параметри прокатки листів $8 \times 1500 \times 6000$ мм із сляба $105 \times 1000 \times 1620$ мм, сталь марки Сталь 08 кп

№№ проходів	H, мм	h, мм	Δh , мм	B, мм	L, мм	v, м/с	t, °C	ε , %
Чорнова кліть, протягання								
1	105	92	13	1000	1850	1,0	1200	12,4
2	92	82	10	1000	2070	1,0	1195	10,9
Кантовка на 90° (розбиття ширини)								
3	82	64	18	2070	1280	1,0	1186	22,0
4	64	50	14	2070	1620	1,0	1180	21,9
Кантовка на 90° (повздожня прокатка)								
5	50	38	12	1620	2720	1,5	1166	24,0
6	38	29	9	1620	3580	1,5	1155	23,7
7	29	22	7	1620	4720	1,7	1139	24,1
Прокатка в чистовій кліті								
8	22	15,5	6,5	1620	6700	2,5	1091	29,5
9	15,5	11,5	4	1620	9030	2,7	1069	25,7
10	11,5	9,0	2,5	1620	11600	3,2	1031	21,7
11	9,0	8	1,0	1620	13100	3,8	986	11,1
12	8	-	Прогладжування			4,0	945	-

Продовження табл. 1.1

№	l _d , мм	l _d /h _{ср} , мм	σ _ф , Н/мм ²	f	p _{ср} , Н/мм ²	Р, МН	ψ	Статичне навантаження			
								M _Σ , МНм	N _{дв} , кВт		
Витягання											
1	84	0,85	43,7	-	53,2	4,45	0,52	0 , 5 2 3	9 7 0		
2	74	0,85	41,2	-	50,3	3,75	0,52	0 , 3 9 5	7	2	3
Розбиття ширини											
3	99	1,35	56,0	0,267	68,0	13,9	0,47	1,6	2	9	2 0
4	88	1,55	56,0	0,267	72,5	13,2	0,46	1,3	2	3	9 0
Повздовжня прокатка											
5	81	1,84	63,5	0,277	86,1	11,3	0,445	0 , 9 9 5	2	7	0 0
6	70	2,08	70,5	0,281	101,0	11,45	0,438	0 , 9 9 2	6	9	0
7	62	2,44	75,0	0,293	113,5	11,3	0,43	0 , 8 0 8	2	5	1 0
Прокатка в чистовій кліті											
8	49	2,62	108	0,268	162	12,8	0,426	0 , 6 7 6	4	8	8 0
9	38,6	2,86	126,5	0,267	195	12,2	0,422	0 , 5 1 7	4	1	3 0
10	30,6	3,0	133	0,257	206	10,4	0,42	0 , 3 8 3	5	4	0
	19,4	2,28	127	0,245	176	5,5	0,433	0 , 1 4 7	1	6	0 0
	-	Проглаживание									

1.5 Визначимо геометричні і кінематичні параметри прокатки, необхідні для розрахунку енергосилових параметрів. Дані заносимо в табл. 1.1. Для прикладу визначимо усі параметри для п'ятого проходу. Довжина дуги контакту і чинник форми осередку деформації :

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{550 \cdot 12} = 81 \text{ мм}; \quad l_d / h_{cp} = \frac{81}{2} (50 + 38) = 1,84.$$

Швидкість деформації

$$u = v \cdot \varepsilon / l_d = 1500 \cdot 0,24 / 81 = 4,5 \text{ с}^{-1}.$$

Визначимо напруження течії для сталі марки Ст.08 кп з хіміскладом (%): (0,05 . 0,11) С; 0,03 Si; (0,25 . 0,5) Mn; 0,1 Cr; 0,25 Ni. Вуглецевий еквівалент для максимальних значень елементів рівний

$$N_1 = C + Si + Mn + Cr ;$$

де N_- - сума значень хімічних елементів, окрім заліза, сірки і фосфора.

$$N_i = 0,11 + 0,03 + 0,5 + 0,1 + 0,25 = 0,99 \text{ \%}.$$

Базове напруження течії з формули [3-8] рівно

$$\sigma_{T\delta} = 80 + 25 \left\{ 1 - [(5 - 0,99)/4,5]^{1,8} \right\} = 84,8 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначимо коефіцієнти k_t , k_ε , k_u по формулах з робіт [3-6] залежно від хім. складу сталі, температури, відносного обтиснення і швидкості деформації:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1166}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,64;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,24)^2 \right] = 1,25;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + 1,5) = 0,83 \quad (\text{при } u < 10 \text{ с}^{-1}).$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u = 84,8 \cdot 0,64 \cdot 1,25 \cdot 0,83 = 56,8 \text{ Н/мм}^2$$

Опір металу деформації рівний ($\sigma_\phi = 1,15\sigma_T$)[3-6]:-

$$\sigma_\phi = 1,15 \cdot 84,8 \cdot 0,64 \cdot 1,25 \cdot 0,83 = 63,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Визначимо коефіцієнт тертя по формулах:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{1166}{400} - 2 \right)^2 = 0,187;$$

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2 = 1 + 0,43(1 - 0,62)^2 = 1,07;$$

$$k_V = 0,76 + 0,82(1,0 - 0,1 \cdot v)^2 = 0,76 + 0,82(1,0 - 0,15)^2 = 1,35$$

$$k_e = 0,85 + 0,5 \cdot 0,24 = 0,97.$$

Приймаємо такі умови прокатки в кліті: валки сталеві зношені ($k_B = 1,15$); відносне обтискання ($\varepsilon = 24\%$); матеріал листа сталь марки Ст.08 кп ($k_M = 1,0$), валки охолоджуються водою без використання мастила ($k_{CM} = 1,0$). Тоді

$$f = 0,187 \cdot 1,15 \cdot 1,07 \cdot 1,0 \cdot 1,35 \cdot 0,97 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,277.$$

Показник тертя знаходимо з формули

$$f_{II} = f(0,92 + 1,27 \cdot \varepsilon); \quad f_{II} = 0,277(0,92 + 0,315) = 0,34. \quad (1.10)$$

Оскільки $l_d/h_{CP} \geq 1,0$, а впливом розширення нехтуємо, то середнє нормальне напруження в осередку деформації розраховуємо по формулах [3-6]

$$p_{cp} = \sigma_\phi \left(1 + 0,48 f_{II} \cdot l_d/h_{cp} \right) \cdot \left(1 - \frac{\sigma_n + \sigma_3}{2\sigma_\phi} \right), \quad (1.11)$$

де σ_{II} и σ_3 - переднє і заднє напруження натягнення для гарячого прокатки на неперервному стані можна приймати $\sigma_{II} = \sigma_3 = (0,15 \dots 0,2) \sigma_T$.

На толстолистовом стане $\sigma_{II} = \sigma_3 = 0$ (отсутствует натяжение концов). Имеем

$$p_{cp} = 63,5(1 + 0,48 \cdot 0,34 \cdot 1,84) \approx 86 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки дорівню

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B_{cp} = 86 \cdot 0,081 \cdot 1,62 = 11,3 \text{ МН}, \quad (1.12)$$

що менше значення сили, що допускається [Р](см вище).

Визначимо момент прокатки, на одному валку і знаходимо коефіцієнт положення рівнодійною по формулах [6]:

$$\left. \begin{aligned} M &= \psi \cdot P \cdot l_{di} \\ \psi &= 0,38 + 0,12 h_{cp} / l_d. \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

Для параметрів прикладу маємо:

$$\psi = 0,38 + 0,12 \cdot 0,54 = 0,445;$$

$$M = 0,445 \cdot 0,081 \cdot 11,3 = 0,41 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Момент для двох валків, приведений до валу двигуна при передатному відношенні $i = 1$ рівний

$$2M = 2M / i = 2 \cdot 0,41 = 0,82 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Момент тертя в шийках валків і в деталях лінії стана (привід через шестерінчасту кліть без редуктора) визначимо з формул ($i=1$)

$$M_{TP1} = P \cdot f_{ш} \cdot d_{ш} / i;$$

$$M_{TP2} = 0,1(2M' + M'_{TP}),$$

де M_{TP1} и M_{TP2} - момент тертя в шийках валків і деталях головної лінії; $f_{ш}$ - коефіцієнт тертя в шийках валків (без урахування сил тертя на між валковому контакті)

$$M_{TP1} = 11,3 \cdot 0,02 \cdot 0,6 = 0,135; \quad \text{МН} \cdot \text{м};$$

$$M_{TP2} = 0,1(0,82 + 0,135) \approx 0,10 \quad \text{МН} \cdot \text{м}.$$

Сумарний момент, приведений до валу двигуна, рівний

$$M_{\Sigma} = 2M + M_{TP1} + M_{TP2} = 0,955 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

що дещо менше за номінальний (см вищий).

Потужність двигуна по моменту рівна:

$$N_{дв} = 960 \cdot M_{\Sigma} \cdot v / R \cdot \eta = 960 \cdot 0,955 \cdot 1,5 / 0,55 \cdot 0,95 = 2700 \text{ кВт},$$

що дещо менше потужності встановленого двигуна ($N_{дв} = 2900 \text{ кВт}$). З урахуванням динамічного моменту при прискоренні валків з розкатом, розрахунковий момент зростає до $M'_{\Sigma} = 1,33 \text{ МН} \cdot \text{м}$, а потужність двигуна - до $N'_{дв} = 3660 \text{ кВт}$. Коефіцієнт перевантаження двигуна при динамічному прокатуванні

$$k_{\partialс} = N'_{\partialс} / N_{\partialс} = 3660 / 2700 = 1,35.$$

Допускається для короткочасного перевантаження реверсивного стана, рівному $k_{дв} = 2 \dots 2,5$. При цьому двигун перевіряють на нагрів за формулою

(1.7). Використовуючи розрахункові данні табл.1.1. встановили, що максимальні еквівалентні моменти рівні: в кліті 1 - $M_{\text{ЭКВ}} = 0,51 \text{ МН}\cdot\text{м}$, а в кліті 2 - $M_{\text{ЭКВ}} = 0,4 \text{ МН}\cdot\text{м}$, що менше номінальних моментів. Таким чином, по еквівалентному моменту двигунів режим деформації для отримання листа $8 \times 1500 \times 6000 \text{ мм}$ може бути реалізований в практиці.