

1. ВИРОБНИЦТВО СЛЯБІВ

1.1. Виробництво слябів на обтискному стані

Сляби виготовляють на машинах неперервного лиття заготовок (МНЛЗ) і слябінгах. На відміну від блюмінга, початковим продуктом для якого є зливки майже квадратного перерізу, на слябінгах прокатують злитки прямокутного перерізу. Розміри злиwkів для слябінгів: висота $H = 650 \dots 850$ мм; ширина $B = 1000 \dots 2500$ мм; маса $G = 10 \dots 45$ т. Із цих злиwkів прокатують сляби із розмірами: товщина $h = 150 \dots 300$ мм, ширина $b = 900 \dots 2200$ мм, довжина $L = 10 \dots 15$ м. В Україні працюють два слябінга в містах Запоріжжя і Маріуполь і один блюмінг – слябінг в м. Алчевськ, які прокатують сляби шириною $900 \dots 1500$ мм. Цех слябінг (рис.1.1) має декілька основних ділянок: нагрівальні колодязі, ділянка зливкоподачі, відділення прокатки, склад слябів ВАТ “Запоріжсталь” [2, 12, 14, 22 та інші].

Нагрівання злиwkів. На існуючих станах $\sim 97\%$ злиwkів завантажують у колодязі у гарячому стані при $t = 600 \dots 900^{\circ}\text{C}$. Максимальну температуру посадки в останній час збільшують до $\sim 1000^{\circ}\text{C}$, коли серцевина злиwка має ще рідку фазу, наявність якої дає змогу скоротити витрати палива на нагрівання металу.

Такий спосіб нагрівання злитків широко застосовують при транзитній передачі слябів до тонколистового неперервного стана для прокатки тонких штаб ($h \geq 1,5\text{мм}$). Для нагрівання злитків застосовують регенеративні і рекуперативні колодязі, які розташовані в один ряд. Час нагрівання злитків в камерах колодязів залежить від температури посаду, поперечного перерізу зливка, марки сталі, кількості злитків в камері. Так, при нагріванні злитків 780x1330 мм із кіплячої сталі, маємо:

Кількість злитків	t°, C	Час, год-хв.
4	915	2-35
6	915	3-05
4	740	4-30
6	740	5-00

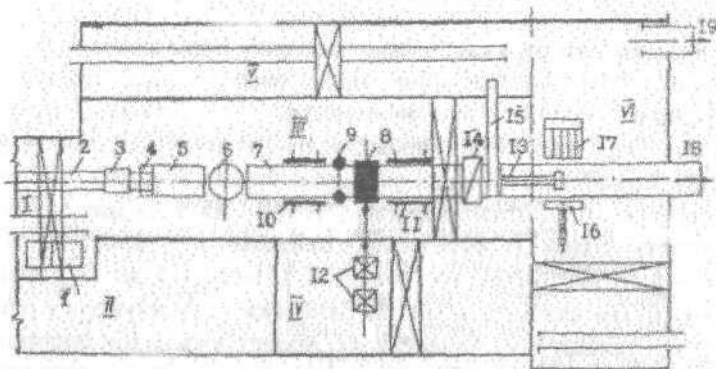


Рис.1.1. Схема розташування обладнання слябінга: I-проліт нагрівальних колодязів, II-проліт контрольно-вимірювальної апаратури, III-проліт стана, IV-машинний зал, V-скрапний проліт; 1-нагрівальні колодязі; 2-плях зливковозу, 3-зливковозний візок, 4-перекидач, 5-приймальний рольганг, 6-поворотний стіл, 7-підвідний і робочий рольганги, 8-кліть з горизонтальними валками, 9-кліть з вертикальними валками, 10-маніпулятор, 11-маніпулятор, 12-головний привод, 13-пересувний упор, 14-ножиці, 15-конвейер обрізків, 16-зштовхувач, 17-штабелювальний пристрій, 18-рольганг до неперервного стана ШСГТІ, 19-рольганг до печей ШСГТІ

При нагріванні злитків із низьколегованих сталей (10ХСНД, 14ХГСН, 25Г2С, 12ХГН і т.п.) максимальний час нагрівання збільшують до ~ 6 год. Підвищення тривалості нагрівання легованих сталей зумовлено необхідністю запобігання появи термічних тріщин у тілі злитка.

Температурний режим роботи камер, зумовлено маркою сталі і температурою зливків при посадці. Злитки із низьковуглецевих сталей (08пс, 15пс, 08ю, 25пс і т.п.) при холодній та гарячій посадці розташовують в камерах при максимальній їх температурі під кришкою (~ 1450⁰С). Температура камери при томлінні дорівнює 1300...1390⁰С. При нагріванні зливків конструкційної низьколегованої сталі (12ГС, 09Г2Д, 10ХНДП і т.п.) температуру камери знижують порівняно з приведеною вище на 30...50⁰С. При холодній посадці цих зливків температуру камери знижують до 700⁰С, а після посадки швидкість підйому температури камери не більш як 70...80⁰С/год до температури $t = 950^{\circ}\text{C}$, а далі швидкість підйому температури до максимальної ($t = 1320^{\circ}\text{C}$) не обмежується.

Зливки маловуглецевих киплячої і напівспокійної сталей нагрівають в камерах до температур 1200...1220⁰С. Збільшення складу вуглецю і ряду легуючих добавок змінює пластичні властивості металу при деформації і тому температуру нагрівання установлюють за даними досліджень на пластичні властивості. Так, злитки із пластичної сталі (1Х18Н9Т, Х15Н60 та інші) починають прокатувати при температурах 1200...1220⁰С, а вуглецеві (0,45...0,65% С) і леговані сталі з сумарним складом Si, Mn, Cr та інших елементів (>2...3%) – при температурах 1140...1160⁰С [12].

В проліт нагрівальних колодязів злитки гарячого або холодного посаду подають по залізниці візками, на яких вони розташовані вертикально у виливницях (злитки спокійних або легованих марок сталі) або без виливниць (злитки розширені до низу киплячих і напівспокійних сталей). Посадку злитків у колодязі 1 (рис.1.1) і видачу їх із колодязів роблять кранами з кліщевими захватами, які також можуть доставляти нагріті зливки із ближніх камер до кантувача 4 у приймального рольганга 5 стана. Із віддалених камер нагріті злитки подають

злитковозом 3 по рейковому шляху 2 (злиткоподача човникового типу). В залежності від умов нагрівання, роботи обладнання, марки сталі до стана одночасно подають 1-2 злитки.

Обтискні традиційні стани, обладнані кільцевою злиткоподачею з трьома візками, які одночасно переміщують до стана 2 злитка. Ця схема злиткоподачі забезпечує стан нагрітим металом і має істотно вищу продуктивність в порівнянні із злиткоподачею човникового типу, де один або два слитковоза переміщуються уздовж фронту нагрівальних колодязів.

При транзитному (прямому) прокатуванні сляб від слябінгу відразу ж по ролгангу 18 (рис. 1.1.) передають на широкоштабовий стан гарячої прокатки (ШСГП). Нагрів злитків для прямої прокатки виконують за спеціальною технологією. Посадку злитків в колодязі проводять за наявності рідкої фази металу в центральній частині злитка ($t \geq 1000^{\circ}\text{C}$), а температуру камери колодязя знижують за рахунок зменшення подачі газу. В цьому випадку зовнішні шари злитка нагріваються шляхом відбору тепла від рідкої серцевини. Час нагріву злитка зменшується, а після нагріву злитки киплячої (напівспокійної) сталі задають у валки донною товщою частиною, але без дефектів усадкової раковини. Такий спосіб прокатки злитків запобігає забурюванню розкатів на ШСГП унаслідок можливого розкриття порожнини усадкової рихлості. Температура готового сляба нерівномірна, центральні шари мають температуру на $100...150^{\circ}\text{C}$ вище, ніж поверхневі, але середня температура перед чорною групою ШСГП повинна бути не нижче \sim за 1180°C .

Універсальний слябінг має в своєму складі горизонтальні і вертикальні валки. Вертикальні валки встановлюють перед або за горизонтальними валками. Горизонтальні нові валки даного стана діаметром $D = 1150$ мм і довжиною бочці $L = 2100$ мм приводяться в обертання двома двигунами сумарною потужністю $N = 13200$ кВт, кутова швидкість прокатки $n = 0.53-80$ 1/хв. Вертикальні валки мають $D_B = 700$ мм і $L_B = 1150$ мм і приводяться від двох двигунів загальною потужністю $N_B = 4600$ кВт з моментом кручення $M = 1,2$ МНм. Стан обладнаний маніпуляторами для орієнтування злитка (розкату) по осі стану.

На існуючих станах часто одночасно прокатують 2 злитки (послідовно один за іншим). Прокатку в два злитки виконують в перших проходах, коли довжина розкатів невелика. У останніх проходах довгі розкати прокатують роздільно. На початку повністю прокатують перший розкат, а потім - другий. Така прокатка забезпечує максимальне використання стана і скорочує час пауз. Захват злитків (розкатів) валками проводять при швидкості $v_3 = 20 - 40$ об/мин ($v_3 = 1,1 - 2,2$ м/с). Злитки прокатують в сляби за 11 - 17 проходів з обтисканням в горизонтальних і вертикальних валках по 20 - 70 мм (табл. 1.1). Величина обтиску в горизонтальних валках обумовлена їх міцністю і потужністю двигунів, розмірами сляба.

З табл. 1.1 виходить, що в першому проході обтискують конусність злитка по висоті і ширині. У першому і другому проходах розкат одержує розширення, рівне в сумі $\Sigma b \cong 24$ мм. Розширення віддаляється вертикальними валками в другому (парному) проході. Це має місце в кожній парі подальших проходів (непарний - парний). У ряді проходів положення вертикальних валків не змінюють в порівнянні з попереднім проходом. У останньому одинадцятому проході проводять лише проглажування слябів горизонтальними валками з метою зменшення бічних висотних напливів від обтискання вертикальними валками. На інших станах і при прокатуванні слябів іншої ширини режим роботи вертикальних валків може бути іншим. Сумарне обтискання сляба по ширині складає 300...400мм. При цьому 50 - 230мм доводиться на зменшення різниці між шириною злитка і сляба ($V_{сл} > b$) і 150...200 мм на усушення розширення металу, що виникає при прокатуванні. Достатнє обтискання по ширині запобігає утворенню поперечних тріщин на бічних поверхнях і ребрах сляба за рахунок вирівнювання інтенсивності течії металу в різних поздовжніх перетинах розкату. Так, із злитка типу 2А з розмірами 720×1320мм прокатують сляби шириною $V=1120...1280$ мм. Отже, сумарне обтискання донної (нижньої) частини злитка до ширини сляба складає

$$\Delta b = V_{сл} - b = 1350 - (1280 / 1120) = 70 \div 230 \text{ мм}$$

Спільна робота горизонтальних і вертикальних валків обумовлена кінематичним зв'язком через розкат (неперервна прокатка в двох клітках), тому їх деформаційно-швидкісний режим прокатки повинен бути пов'язаний постійністю секундних об'ємів металу (див. нижче). При цьому, коли необхідно знизити навантаження електроприводу вертикальних валків у парних проходах доцільно максимальне обтискання розкату по ширині проводити при виході його з горизонтальних валків. В цьому випадку з боку горизонтальних валків створюється сила підпору розкату, що знижує момент прокатки і витрати потужності приводу вертикальних валків.

Після прокатки від сляба відрізують дефектні кінцеві ділянки на ножицях з силою розрізання 15...20 МН, а потім передають на склад або транзитом до неперервного штабового стану гарячої прокатки.

Транзитна (пряма) прокатка забезпечує зниження енергетичних витрат у зв'язку з виключенням додаткового нагріву слябів в нагрівальних печах. Проте транзитна прокатка можлива в тому випадку, якщо температура сляба, що виходить з обтискного стану виявляється достатньо високою.

У поверхневому шарі сляба, як правило, є дефекти металургійного (неметалічні включення, плени) і прокатного (тріщини) виробництва, які на ряду станів видаляють на машині вогняної зачистки. На машині знімають кисневим струменем шар металу товщиною близько 2 мм з кожної сторони сляба. Швидкість зачистки 0,8...0,9 м/с. Кінцеві ділянки сляба видаляють на ножицях. При цьому на розкатах з киплячої і напівспокійної сталі від донної дефектної ділянки відрізують 2 – 3% металу, а від головної ділянки видрізують усадкову рихлість у розмірі 4 – 6% довжини розкату. Обрезь розкатів з прибуткової частини (задній кінець) складає 10 – 14%, на передньому кінці обреш 2 – 3%. У разі відправки на склад розкат (довжина 10...16 м) ріжуть на мірні куски, а на неперервний широкоштабовий стан - без ділення або з діленням на дві частини.

Таблиця 1.1. Режим обтискань злитків вуглецевої сталі перетином 640×1340 мм на сляби перетином 160×1195 мм

№ проходу	Горизонтальні валки			Вертикальні валки	
	Товщина h, мм	Обтискання Δh, мм	Розширення, Δb, мм	Ширина b, мм	Обтискання Δh, мм
1	530	110	15	1280	60
2	480	50	9	1280	24
3	430	50	31	1280	20
4	380	50	12	1260	43
5	330	50	46	1235	25
6	280	50	12	1235	58
7	230	50	50	1205	30
8	200	30	7	1205	10
9	180	20	19	1195	10
10	162	20	4	1195	23
11	160	-	-	1195	~2

Річне виробництво слябів на стані залежно від середневзвешених розмірів ширини і висоти складає 3,5...6,0 млн.т. Останнім часом на різних металургійних комбінатах використовують транзитну передачу слябів від слябінгу до неперервного широкоштабового стану гарячої прокатки. При такому прокатуванні до якості виробництва слябів на слябінгу пред'являються особливі вимоги.

1.2 Швидкісний режим прокатки злитків

Слябінг є реверсивним станом і його швидкісний режим змінюється в часі і залежить від величини обтискання і довжини

розкату. У загальному випадку, швидкість обертання валків при захваті розкату мінімальна, що виключає пробуксовку валків по металу і значні динамічні навантаження деталей головної лінії стану (валки, шпінделі, муфти). У цих умовах частота обертання валків при захваті розкату складає $n_3 = 15..25$ 1/хв, а при виході $n_B \approx n_3$ (n_B - частота обертання валків при виході розкату з валків).

При підході до кліті розкат захватується валками при частоті обертання валків n_3 . Після цього відбувається прискорення валків до максимальної швидкості n_2 , яка обумовлена довжиною розкату і необхідністю виходу розкату при $n_3 < n_2$. Виход розкату відбувається при порівняно невеликій швидкості для того, щоб розкат залишився на ролганге поблизу валків. При прокатуванні довгого розкату (рис. 1.2,б-г) максимальна частота обертання валків n_2 досягає максимально можливої швидкості обертання головного двигуна приводу валків (50...60 1/хв). При прокатуванні в останньому проході вихід розкату виконується при максимальній швидкості валків (двигуна) (рис. 1.2,б).

Починаючи з 1957 р. на блюмінгах і слябінгах застосовують двошлиткову (а зараз іноді і трислиткову) прокатку. Цю технологію виконують таким чином. До валків слябінгу підводять два злитки. У кожному проході другий злиток (розкат) слідує безпосередньо за першим. На відміну від одношлиткової, при двошлитковом прокатуванні колова швидкість при захваті першого злитка може знаходитися в межах $n_3 = 20..40$ 1/хв і величини обтискань можуть бути дещо менше. Змінюється і тахограма прокатки розкатів (рис. 1.2).

Тахограми (рис. 1.2) придатні для аналізу будь-якого режиму прокатки на обтискному стані. Час t'_3 характеризує паузу між прокаткою двох розкатів і захваті другого розкату при швидкості $\approx n_2$. Максимальний час прокатки двох розкатів в цьому випадку рівний

$$t_M = t_1 + t_2 + t'_3 + t_4 + t_5. \quad (1.1)$$

При прокатуванні одного розкату (рис.1.26) сумарний максимальний час ривний

$$t_M = t_1 + t_2 + t_3 \quad (1.2)$$

При розрахунку $t_M = t_2$ для випадків прокатування по рис. 1.2,а виключається параметр t_2 . Максимальна кутова швидкість валків n_m складає практично $n_m = 40-55$ 1/хв і вона вище в останньому проході.

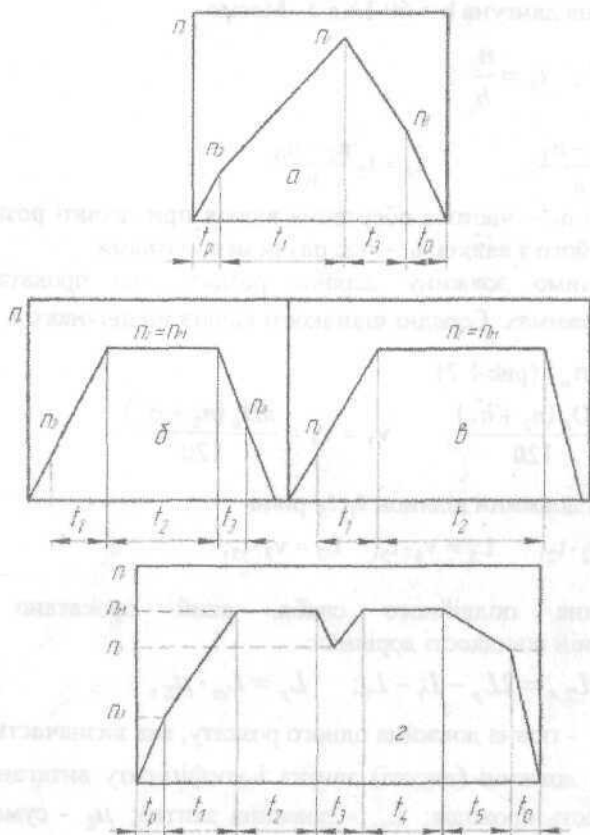


Рис.1.2. Схеми швидкісних режимів роботи слябінгу при прокатуванні одного (а-в) і двох (г) розкатів.

У вказаних формулах і на рис.1.2 маємо :

t_p - час розгону валків без розкату; t_1 - розгін (прискорення) валків з розкатом; t_2 і t_4 - час прокатки розкату на максимальній швидкості; t_3 і t_5 - уповільнення швидкості валків з розкатом; t_0 - час уповільнення валків без розкату.

Визначимо складові циклу двохслиткової прокатки для випадку $t_{II} = 0$. Приймаємо прискорення двигунів $a = 40$ 1/хв·с, уповільнення двигуна $b = 60$ 1/хв·с. Маємо

$$t_1 = \frac{n_3}{a}; \quad t_0 = \frac{n_B}{b};$$

$$t_1 = \frac{n_2 - n_3}{a}; \quad t_3 = t_5 = \frac{n_2 - n_B}{b}$$

де n_3 і n_B - частота обертання валків при захваті розкату і при виході його з валків; t_{II} - час паузи між слітками.

Визначимо довжину ділянок розкату, які прокатані в несталих режимах. Середні швидкості валків на ділянках t_1 і t_5 рівні ($n_2 = n_m$) (рис 1.2):

$$v_1 = \frac{\pi D_K (n_2 + n_3)}{120}; \quad v_3 = v_5 = \frac{\pi D_K (n_2 + n_B)}{120}.$$

Звідки довжини ділянок t_1, t_5 рівні

$$L_2 = v_2 \cdot t_2; \quad L_5 = v_5 \cdot t_5; \quad L_3 = v_3 \cdot t_3;$$

Довжина подвійного сляба, який прокатано при максимальній швидкості дорівнює

$$L_M = L_{2,4} = 2L_p - L_1 - L_5; \quad L_p = L_{cl} \cdot \mu_{\Sigma},$$

де L_p - повна довжина одного розкату, яка визначається по початковій довжині (висоті) злитка і коефіцієнту витягання за дану кількість проходів; L_{cl} - довжина злитка; μ_{Σ} - сумарний коефіцієнт витягання за і-у кількість проходів.

Тоді час прокатки на максимальній швидкості визначиться таким чином

$$L_M / v_M = t_2 + t_4 = 120 \cdot L_M / \pi \cdot D_K \cdot n_2.$$

Знаючи складові, t_1 - t_5 неважко визначити повний машинний час в будь-якому режимі прокатки. Паузи між проходами складають [4] $t_{PC} = 1,5 \dots 2,5$ з, а між парами злитків - $t_{PC} = 4 \dots 7$ с. Сумарний час прокатки злитків (темп прокатки) визначається для всіх проходів таким чином:

$$T = \sum t_M + \sum t_{II};$$

$$\sum t_{II} = t_2 + t_3 + t_4 + t_5; \quad \sum t_{II} = t_{PP} + t_{PC} \quad (1.3)$$

де t_{II} - повний час пауз між проходами.

Між горизонтальними і вертикальними валками існує повна синхронізація швидкісного режиму відповідно до закону постійності секундних об'ємів металу. Тобто, в кожную секунду через горизонтальні і вертикальні валки проходить однаковий об'єм металу:

$$v_G \cdot h_G \cdot b_G \cdot (1 + S_G) = v_B \cdot h_B \cdot b_B \cdot (1 + S_B), \quad (1.4)$$

де v_i , h_i і b_i - окружна швидкість, товщина і ширина розкату; S_i - випередження металу (індекси «Г» і «В» - відповідно для горизонтальних і вертикальних валків).

З співвідношення (1.4) визначають окружну швидкість v_B вертикальних валків:

$$v_B = v_G \frac{h_G \cdot b_G \cdot (1 + S_G)}{h_B \cdot b_B \cdot (1 + S_B)}. \quad (1.5)$$

При порушенні умови (1.4) у бік підпору або натягання відбувається інтенсивний знос валків і деталей головних ліній стана, особливо вертикальної кліті.

1.3 Розрахунок річного виробництва прокатного стана

Річне виробництво прокату на слябінгу або на іншому стані визначають по відомій формулі

$$A_G = A \cdot T_\phi, \quad (1.6)$$

де A - годинне виробництво, т/час; T_ϕ - фактичний час роботи в рік.

Годинна технічно можлива продуктивність стану дорівнює (у злитках)

$$A = 3600 \cdot G/T, \quad (1.7)$$

де G - маса злитка або заготовки, т.

Оскільки протягом року прокатують злитки, блями, заготовки різного перетину і маси, то розраховують годинну продуктивність для всього сортаменту і визначають середневзвешеную (т/ч)

$$A_{\text{ср}} = \frac{100}{\frac{\alpha_1}{A_1} + \frac{\alpha_2}{A_2} + \dots + \frac{\alpha_i}{A_i}}, \quad (1.8)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ - питома вага різних профілів (злитків), заготовок, що прокатують за рік, %.

Фактичний річний час роботи стану рівний

$$T_{\phi} = (24 - 1,5)n_u (k_{\Gamma} - k_{\text{пр}} - k_{\text{кр}}), \quad (1.9)$$

де n_u - коефіцієнт використання устаткування стану ($n_u = 0,92 \dots 0,95$); k_{Γ} - кількість календарних днів в році; $k_{\text{пр}}$ і $k_{\text{кр}}$ - кількість днів відповідно на планово-запобіжні ремонти і на капітальний ремонт (простої, що враховуються); 24 і 1,5 - число годин в добі на змінний профілактичний ремонт стану в добу.

Коефіцієнт використання стану n_u відображає час роботи стану без урахування простоїв величиною менше ~ 5 хв, які не враховуються в книзі рапортів начальника зміни.

Оскільки $k_{\Gamma} = 365$ і якщо $k_{\text{пр}} = 12$, $k_{\text{кр}} = 7$, то

$$T_{\phi} = 22,5 \cdot 0,91(365 - 12 - 7) = 7100 \text{ г.}$$

За відсутності капітального ремонту фактичний час збільшується до $T_{\phi} = 7230$ г.

1.4. Особливості деформації розкату і зниження витрат металу в обрєз

Обтисковой стан слябінг має горизонтальні і вертикальні валки, які розташовані до або після горизонтальної кліті. Дослідження [5] показують, що при деформації тільки

горизонтальними валками на кінцевих ділянках плоских розкатів (слябів, товстих листів) з'являються накати у вигляді "язика", тобто середня частина по ширині розкату одержує більше витягання, ніж ділянки кромки. Такий характер течії обумовлено наявністю розширення металу, яке зосереджено, головним чином, на кромках (рис. 1.3,а).

При обтисканні розкату тільки вертикальними валками кінцевий накат має вид "риб'ячого хвоста" по термінології [6]. Причиною такої схеми течії металу є наявність переважно витягання металу по кромках розкату (рис.1.3, б). При цьому в порівнянні з рис.1.3,а, усадочна раковина переміщується в тіло сляба, що збільшує витрату металу в обрєз.

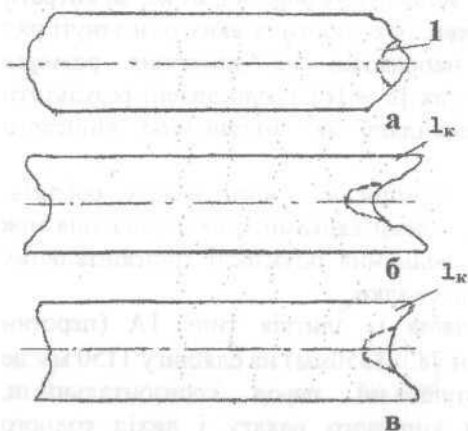


Рис. 1.3. Форми кінцевих ділянок сляба після прокатки: у горизонтальних валках (а), у вертикальних валках (б) і при сумісному прокатуванні в горизонтальних і вертикальних валках (в) (1 – усадочна раковина).

поздовжньому напрямку з одночасним утворенням бічних найлівів по висоті розкату (рис.1.4).

Сумісна (по черзі) деформація плоского розкату в горизонтальних та вертикальних валках сприяє, як правило, появи наката [5,6] у вигляді "риб'ячого хвоста". Тобто в цьому разі більше витягання мають кромочні ділянки розкату. Поява "риб'ячого хвоста" обумовлена тим, що пластична течія металу зосереджено у приконтактних шарах сляба (розкату) з боку вертикальних валків де метал переміщується переважно у

346386

Дніпропетровська державна інженерна академія

17 БІБЛІОТЕКА

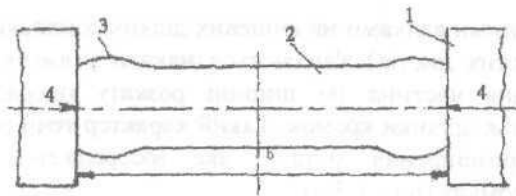


Рис. 1.4. Схема обгиснення розкату (сляба) вертикальними валками: 1 – вертикальні валки; 2 – розкат (сляб); 3 – красивий напшив по висоті розкату; 4 – напрямки обгиснення розкату.

Наявність "риб'ячого хвоста" на передньому і задньому кінцях сляба приводить до збільшення обриси і, отже, до витрати металу. У зв'язку з цим з'явилися роботи, в яких розглянуті ряд технічних рішень, які направлені на зниження розмірів "риб'ячого хвоста". У роботах [5 – 16] представлені результати досліджень і деякі рекомендації по зменшенню кінцевого накату.

Помітний вплив на розміри кінцевого накату роблять: режим деформації вертикальними валками, співвідношення між шириною злитка і сляба, величина опуклості горизонтальних валків і діаметр вертикальних валків.

При прокатуванні слябів із злитків типу 1А (перетин 780×1170 мм) і 2А (перетин 780×1350мм) на слябінгу 1150 мм де вертикальні валки розташовані перед горизонтальними, встановлено, що розміри кінцевого накату і вихід годного залежать від розмірів слябів, які одержано з одного і того ж злитка. Найбільш доцільною є ширина злитка, коли обгиснення вертикальними валками (без урахування обгиснення металу, що розширився) складає 90...100 мм. Для цього випадку відношення $V/V_{сл} \approx 0,92$ ($V_{сл}$ - максимальна ширина злитка; V - ширина сляба). В цьому випадку довжина кінцевого накату на передньому кінці сляба складає всього 35...55 мм. Якщо обгиснення вертикальними валками складає $\Delta h = 185...220$ мм, то сляб одержує кінцевий накат в межах $l_n = 320...350$ мм. Усадочна рихлість переміщається углиб сляба, а величина обрїзка збільшується до 8% замість встановлених 5...6% на

напівспокійних сталях. Проте, якщо значно зменшується величина Δh_b (до 35...50 мм), то на передньому кінці сляба виходить накат у вигляді "язика". В цьому випадку бічні кромки не опрацюються вертикальними валками достатньою мірою, внаслідок чого кромка готового листа може виходити з дефектами у вигляді розривин.

Із збільшенням ширини сляба при порівняно однакових обтисненнях вертикальними валками довжина переднього кінцевого накату зменшується унаслідок зменшення відносного обтиснення по ширині сляба і збільшення ступеня впливу обтиснення горизонтальними валками на поздовжню течію металу. Задні кінцеві ділянки (донна частина) при прокатуванні вузьких слябів ($B = 1000$ мм) мають форму близьку до форми "язика", а при прокатуванні широких слябів ($B = 1460$ мм), кінцевий накат описується в плані кривої у формі синусоїди з витягнутими краєвими і середньою частинами.

Зменшення нерівномірності деформації розкату по ширині досягається шляхом застосування одного з валків слябінгу з опуклим профілем бочки [6, 8, 9]. Завдяки опуклості створюючої валка збільшується сумарний коефіцієнт витягання середніх по ширині ділянок розкату. Витягання (подовження) середніх по ширині шарів штаби збільшується у міру збільшення опуклості валків і кількості проходів. Рациональною є опуклість валка в межах 1,5...2,5мм. Доцільно встановлювати опуклий валок при проміжній перевалці одного з горизонтальних валків. В цьому випадку компенсується нерівномірний знос бочки іншого валка і зменшується витрата металу на 0,5...2%.

У роботі [7] з метою зменшення довжини накатів і торцевої обрізи пропонується переривати процес прокатки розкату на середині і міняти орієнтацію головної і кінцевої частин розкату щодо первинного напрямку прокатки, задаючи прокат у валки кінцевою частиною. Проте при здійсненні цього способу зменшується продуктивність стана за рахунок розведення і реверсування валків або при повороті на 180° .

Маючи на увазі, що помітне збільшення «риб'ячого хвоста» на слябі відбувається в другій половині проходів пропонується в перших проходах прокатувати сляб з відносно невеликим

обтисканням в горизонтальних валках, а деформацію по ширині сляба у вертикальних валках проводити з максимально можливим обтиском [2]. У другій половині проходів сляб деформують в горизонтальних валках з обтисненням в 1,5...2,5 рази більшим, ніж в першій половині проходів, а у вертикальних валках обтиснення повинне бути мінімальним (тільки усунення розширення). Пропоновані режими прокатки дозволяють зменшити масу обриси сляба на 16,5...18,5%. Всестороннє вивчення особливостей деформації металу при прокатки слябів виконано в роботі [10], в якій розроблена раціональна форма слябингового злитка, що забезпечує зниження кінцевого накату і обриси.

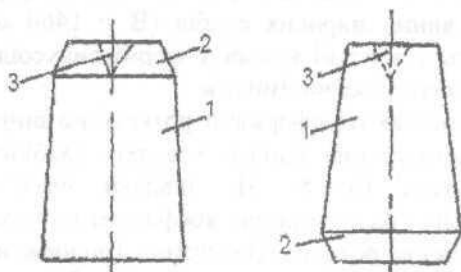


Рис 1.5. Форма злитка : 1 – злиток; 2 – конусність; 3 – усадочна рихлість

Зокрема, з метою зниження величини кінцевої обриси пропонується форма злитка з усіченою торцевою частиною (ВАТ меткомбінат «Запоріжсталь», НВО «Донікс»). Конусність може бути виконана донною або на головній частині злитка (рис. 1.5). Доцільно конусність виконувати на широких гранях злитка. Застосування злитків подібної форми забезпечує зниження довжини кінцевого накату у вигляді «риб'ячого хвоста».

Різні шляхи зменшення довжини кінцевого накату, досвід впровадження технічних рішень на слябінгах і універсальних станах розглянутий в роботі [11]. Встановлено, що в першій половині кампанії горизонтальних валків число опуклих слябів складає 20,3 %, а в другій 67,8%. За даними вимірів поперечних перетинів при прокатуванні на валках 40...83 тис. т металу поперечний перетин слябів має увігнутий профіль, а напливи утворюються на самих кромках слябів. Після прокатки 96...160 тис.т металу сляби мають переважно опуклий профіль із-за

зносу валків. При цьому, більший знос одержує верхній валок [2,10]; нерівномірність (рис. 1.6) зносу збільшується пропорційно збільшенню об'єму прокату (слябінг 1150). Великий знос верхнього валка обумовлено абразивною дією «підної» окалини і руйнуючою дією води, що потрапляє в осередок деформації і сприяючої появі сітки розпапу в поверхневому шарі валка.

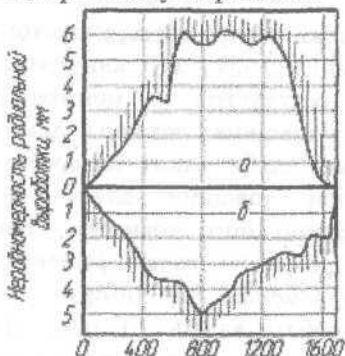


Рис.1.6. Нерівномірність вироблення горизонтальних валків слябінга:
а – верхній валок ($G = 488200$ т);
б – нижній валок ($G = 546200$ т)

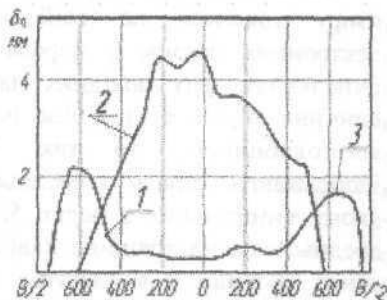


Рис.1.7. Поперечна різновтовщинність слябів: 1 - 160x1400 мм (нові валки); 2 - 120x1200 (зношені валки); 3 - напливи на поверхні сляба від обтиснення вертикальними валками

На поперечний профіль слябів істотний вплив робить знос горизонтальних валків і величина обтиснення вертикальними валками. Знос валків нерівномірний по довжині бочки (рис. 1.6) і максимальний у середині довжини бочки. У міру збільшення об'єму прокату нерівномірність вироблення валків зростає, досягаючи до кінця кампанії 10...15мм на діаметр. Відповідно до збільшення нерівномірності зносу валків збільшується і поперечна різновтовщинність слябів (рис. 1.7). У перший період роботи валків поперечна різновтовщинність обумовлена бічними напливами на горизонтальних поверхнях сляба (крива 1). У цей період роботи валків (5 - 7 діб) профіль поперечного перетину сляба має переважно увігнутий вигляд. До кінця кампанії валків поперечний профіль сляба набуває опуклої форми з поперечною різновтовщинністю $\delta \cong 5$ мм на слябі шириною $b \cong 1200$ мм. Як

впливає з дослідів, при прокатуванні перших 100 тис. т металу поперечна різнотовщинність має негативне значення (товсті кромки), а в подальшому поперечна різнотовщинність позитивна. Після прокатки $G \approx 190$ тис. т металу і заміни одного валка на новий поперечна різнотовщинність слябів стабілізується і з розрахунку на ширину $B = 1000$ мм складає 3,8...4,7 мм.

Точність слябів в процесі прокатки контролюється шляхом виміру товщини по всій ширині сляба за допомогою електронних систем з передачею результатів на монітор з обчисленням всіх похідних даних (товщина, довжина, маса, величина обреси і т.п.). Але оскільки сляби мають поперечну різнотовщинність, то такі виміри товщини слябів не відображають дійсну (середньозважену) його товщину. При такому вимірюванні в перші 5...7 діб роботи валків фактична середньозважена товщина сляба буде менше, яку виміряно на бічних кромках, а в наступні дні роботи валків – більше. Ці особливості впливу зносу валків враховуються відповідною зміною зазора між валками в порівнянні з номінальним розміром. Для зменшення поперечної різнотовщинність слябів доцільно у разі виконання проміжної перевалки валків профіль його створюючої виконувати з опуклістю 1,5...4мм [8].

1.5 Підвищення якості слябів

Розробки устаткування і технологічних процесів в галузі виробництва напівпродукту були направлені перш за все на поліпшення якості поверхні слябів, блюмів, заготовок [12-15]. Зокрема, на ще працюючих слябінгах удосконалюється технологія нагріву злитків, яка передбачає:

- підвищення температури нагріву злитків приблизно на 50°C з метою зниження можливості утворення тріщин;
- оснащення рекуперативних колодязів допоміжним пальником (окрім однієї верхньої) для зменшення різниці температур по висоті і поперечному перетину злитка;

- раціональне завантаження коледязів з метою рівномірного нагріву злитків і зниження витрати палива.

З метою підвищення якості, збільшення виходу годного, а також економії енергії розроблена і здійснена технологія прокатки на обтискних станах злитків без проміжного нагріву (Японія). Злиткі киплячої сталі після розливання і часткового охолодження укладають по три на теплоізоляційну платформу і накривають теплоізоляційним ковпаком. При транспортуванні злитків до слябінгу відбувається часткове вирівнювання температури по перетину злитка. Відразу ж після зняття з платформи ковпака злитки подають на стан для прокатки. Час від розливання до зняття ковпака встановлюється для кожного типу злитків. Застосування цього способу прокатки дозволило збільшити вихід годного на 1% в результаті зменшення витрат на окалину і зниження кінцевого відрізу, а також заощадити енергію 277 МДж/т місяць.

Слябінг прокатує в рік до 6 млн. т злитків, для охолодження яких потрібні значні площі. У зв'язку з цим розроблені різні системи прискореного охолодження слябів із застосуванням води з установкою їх за ножицями для різки слябів. Сляби від ножиць по рольгангу поступають на установку охолодження з температурою 850...1050°C, виходять з камери при 400...600°C. Подальше охолодження до 80°C відбувається на складі.

Прискорене охолодження слябів має наступні достоїнства:

- незначна площа, потрібна для складування гарячого металу;
- рівномірне охолодження слябів з можливістю його регулювання;
- економія металу близько 0,5% за рахунок запобігання утворенню вторинної окалини;
- полегшуються умови дефектоскопії і можливість застосування її в потоці унаслідок того, що поверхня слябів вільна від окалини;
- поліпшується планшетність слябів ;
- спрощується потік слябів;

- досягається економія робочої сили і поліпшуються умови праці.

Прискорене охолодження слябів втрачає сенс за наявності прямої прокатки їх в тонку штабу на ШСГП.

Сляби, які прокатані піддають поверхневій зачистці різними методами: на машинах вогняної зачистки в потоці (загальної або вибіркової); за допомогою струменя рідини, яка змішана з абразивом або піском, на шліфувальних верстатах.

При загальній вогняній зачистці мають місце великі втрати металу (2...4%), тому у ряді випадків зачищають тільки ребра слябів.

Машина вбудована в рольганг і має вісім газових пальників, які розташовані парами по ребрах і має наступні технічні показники роботи:

Глибина зачистки, мм	5...12
Швидкість зачистки, м/мін	3 ...18
Тривалість циклу, мін	1,5...3
Пропускна спроможність, тис.т/год	120...160
Коефіцієнт використання машини	0,9
Витрата на один сляб, м ³ :	
кисню	70
природного газу	4,2
стислого повітря	10
води (високого/низкого тиску)	6,6/4,4

У конструкції передбачені пристрої для екологічного захисту навколишнього середовища.

Використовуються шліфувальні верстати загальної або вибіркової зачистки поверхні слябів, які замінюють машини вогняної зачистки. При цьому пошук дефектів і управління роботою верстата автоматизовано; на сучасних шліфувальних верстатах окружна швидкість абразивного круга складає ~ 80 м/с, поздовжня швидкість подачі столу 20 – 60 м/хв.

Для контролю якості слябів в гарячому і холодному стані (блومів, заготовок) використовують ультразвук, лазер, і електромагнітні акустичні пристрої [16] часто разом з пристроями для видалення поверхневих дефектів, повна характеристика яких дана в роботі [17].

1.6 Визначення обтиснення, що допускається

При прокатуванні металу на слябінгу величини обтиснень горизонтальними валками знаходяться в межах 20...70 мм і визначаються різними чинниками. Найбільші обтиснення характерні для перших одного - трьох проходів, коли видаляють конусність злитка (50...70мм), і температура злитка максимальна ($t \approx 1200...1220^{\circ}\text{C}$). Мінімальні обтиснення відповідають останнім проходом, коли розкат має порівняно невелику товщину і знижену температуру. Інтенсивність зниження температури в кожному проході складає 2...3 $^{\circ}\text{C}$ в першій третині проходів, 3...5 $^{\circ}\text{C}$ – в другій третині проходів і 5...15 $^{\circ}\text{C}$ – в останній третині проходів. Активний режим обтиснення горизонтальними валками виконують до передостаннього проходу. У останньому проході виконують зняття напливів металу на краєвих ділянках ширини сляба та потовщення у середині його ширини (рис. 1.7).

У загальному випадку величина обтиснення на слябінгах обмежується наступними чинниками:

- умовами захвату розкату валками;
- міцністю валків;
- міцністю деталей головної лінії стана;
- пластичними властивостями металу, що прокатують.

Визначення обтиснення, що допускається, з умов захвату металу валками. Природний захват розкату валками відбувається за умови, яка має вигляд [20]:

$$\alpha_3 = f_3 = f \cdot k_3 \quad (1.10)$$

Відомо, що f_3 і α_3 помітно збільшуються при зменшенні окружній швидкості валків і збільшенні шорсткості їх поверхні [20]. У зв'язку з цим захват розкату валками слябінгу виконують при оборотах валків 10...30 в хв (0,75...2,25 м/с). Враховуючи відому залежність, обтиснення Δh_d , що допускається, дорівнює [20]:

$$\alpha = \sqrt{\Delta h / R}; \quad \Delta h_d = R \cdot \alpha_3^2 = R \cdot f_3^2, \quad (1.11)$$

де f і f_3 – коефіцієнт тертя в сталому процесі і при захваті; k_3 – коефіцієнт, що враховує вплив умов задавання розкату у валки ($k_3 = f_3 / f$); α_3 – кут захвату (максимальний); R – робочий радіус валків.

Коефіцієнти f , f_3 і k_3 визначаються з літератури [20]. У разі задавання розкату в горизонтальні валки рольгангом коефіцієнт k_3 слід приймати $k_3 \cong 1,35$. Якщо розкат входить в горизонтальні валки після виходу з вертикальних валків з обтисненням, то коефіцієнт $k_3 = 1,5 - 1,6$.

Визначення обтиснення, що допускається, виходячи з міцності валка

Режим деформації металу повинен передбачати такі обтиснення, при яких валки стана не можуть бути зламані одиничним навантаженням. Відоме рівняння для розрахунку сили прокатки

$$P = p_{cp} \cdot B_{cp} \sqrt{R \cdot \Delta h},$$

де p_{cp} – середнє нормальне контактне напруження; B_{cp} – середня ширина розкату.

Після зведення в квадрат обох частин і рішення щодо Δh_d при силі P_d , що допускається, одержимо

$$\Delta h_d = (P_d / p_{cp} \cdot B_{cp})^2 / R \quad (1.12)$$

де P_d – сила на валки, що допускається; R – радіус валків.

У формулу (1.12) входить два невідомих Δh_d і p_{cp} . Середнє нормальне напруження невідомо тому, що його може бути визначено тільки при відомому обтисненні Δh_d . Тому рішення рівняння (1.12) виконується ітераційним методом (методом наближень). Маючи на увазі, що сила (зусилля) прокатки практично лінійно залежить від обтиснення запропоновано рівняння, що спрощує розрахунок обтиснення [Δh_d]

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h') (P_d - P') / (P'' - P'), \quad (1.13)$$

де $\Delta h'$ і $\Delta h''$ - абсолютні обтиснення відповідно мінімальне і максимальне, які прийняті для розрахунку; P' і P'' - розрахункові сили прокатки, відповідні обтисненням $\Delta h'$ і $\Delta h''$, можливим на даному стані.

При розрахунку обтиснення, що допускається, задають величини обтиснень $\Delta h'$ і $\Delta h''$, які можливі для даного стану і по відомих формулах розраховують силу прокатки P' і P'' [20]. Наприклад, для слябінгу можливі обтиснення знаходяться в межах 20...70мм. Тому, величини $\Delta h'$ і $\Delta h''$ можна прийняти рівними відповідно $\Delta h' = 20$ мм і $\Delta h'' = 70$ мм. Значення сили прокатки, що допускається, визначають виходячи з міцності бочки і шийки валка на вигин. Для двохвалкової кліті маємо, МН: для бочки

$$P_d = 0,4 \cdot D^3 \cdot [\sigma_{вз}] / (a - 0,5b); \quad (1.14)$$

для шийки валка

$$P_d = 0,4 \cdot d_{ш}^3 \cdot [\sigma_{вз}] / l_{ш}; \quad (1.15)$$

де $[\sigma_{вз}]$ - напруження на вигин, що допускається, Н/мм²; D - діаметр валка в небезпечному перетині, м; a - відстань між осями нажимних гвинтів, м; b - ширина сляба (листа), м; d - діаметр шийки валка, м; $l_{ш}$ - довжина шийки, м.

Визначення обтиснення, що допускається, з міцності деталей головної лінії (з величини моменту кручення).

Після розрахунку сил P' і P'' визначають величини моментів M' і M'' , і по аналогії з формулою (1.13) розраховують обтиснення, що допускається

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h') (M_d - M') / (M'' - M'), \quad (1.16),$$

де M_d - величина моменту кручення, що допускається:

$$M_d = 0,4 \cdot d_{ш}^3 [\tau_{кр}], \quad (1.17),$$

де $[\tau_{кр}]$ - напруження матеріалу валка на кручення, що допускається, Н/мм².

Напруження, що допускаються, $[\sigma_{вз}]$ і $[\tau_{кр}]$ для сталевих валків рівні (Н/мм²):

$$[\sigma_{uz}] = 100 \dots 120; \quad [\tau_{xp}] = 80 \dots 100.$$

Потім, встановлюють обтиснення, що допускається, мінімальне з трьох значень. Для реверсивних станів, що мають в окремих проходах переважання головного приводу, виконують також визначення еквівалентного моменту ($M_{ЭКВ}$), значення якого не повинні перевищувати номінальний момент ($M_{НОМ}$). Величини обтиснень з пластичних властивостей металу встановлюють експериментально.

Приклад. Визначити обтиснення, що допускається, з умов захвату розкату валками з $R = 500$ мм і при $f_3 = 0,412$. З рівняння (1.11) одержимо

$$\Delta h_d = 500 \cdot 0,412^2 = 85 \text{ мм.}$$

Визначити обтиснення, що допускаються, для слябінгу виходячи з міцності валків при $R = 0,5$ м, $a = 3,4$ м, $b = 1,2$ м, $[\sigma_{тв}] = 120$ Н/мм², $l_{III} = 0,9$ м, $d_{III} = 0,72$ м. Одержимо з формул (1.14) і (1.15) по бочці валка

$$P_d = 0,4 \cdot 1,0^3 \cdot 120 / (3,4 - 0,6) = 17,2 \text{ МН};$$

по шийці валка

$$P_d = 0,4 \cdot 0,72^3 \cdot 120 / 0,9 = 19,8 \text{ МН.}$$

Найбільш небезпечним є перетин бочки валка. Тому для розрахунку використовуємо $P_d = 17,2$ МН. Розрахунок по відомих формулах [20] для прийнятих обтискань $\Delta h' = 20$ мм і $\Delta h'' = 60$ мм дає значення P' і P'' рівні: $P' = 8$ МН і $P'' = 17$ МН. З формули (1.13) одержимо:

$$\Delta h_d = 20 + (60 - 20)(17,2 - 8) / (17,0 - 8) \approx 60 \text{ мм.}$$

Для одержаних P' і P'' величини крутних моментів рівні: $M' = 0,8$ МН · м і $M'' = 1,6$ МН · м

Момент, що допускається, з формули (1.17) рівний

$$M_d = 0,4 \cdot 0,72^2 \cdot 100 = 1,48 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

а обтиснення, що допускається, з формули (1.16)

$$\Delta h_d = 20 + (1,48 - 0,8)(60 - 20) / (1,6 - 0,8) = 54 \text{ мм.}$$

З порівняння результатів виходить, що менша величина обтиснення, що допускається, одержана виходячи з міцності

валків ($\Delta h_d = 54 \text{ мм}$), яку і слід брати для розрахунку режиму деформування в горизонтальних валках.

З метою виключення пробуксовок і перевантажень унаслідок впливу випадкових чинників рекомендують зменшувати розрахункове обтиснення, що допускається, на 7...10%, тобто

$$\Delta h'_d = (0,9 - 0,93) \Delta h_d.$$

Режим обтиснення вертикальними валками визначають з потужності головного двигуна, оскільки умови захвату і коротка бочка не обмежують величину обтиснення. Раніше відзначали, що ширина злитка на 50...200 мм більше ширини готового сляба. Цю різницю ширини злитка і сляба у вертикальних валках слід усунути. Крім того, в кожному проході має місце розширення металу, яке також необхідно усунути або в ребрових початкових проходах горизонтальними валками або вертикальними валками. Бажано великі обтиснення вертикальними валками застосовувати в початкових проходах, а горизонтальними - в останніх проходах. Цей режим зменшує довжину "риб'ячого хвоста".

Обтиснення вертикальними валками, що допускається, визначають виходячи з потужності двигуна. Слід мати на увазі, що найбільше навантаження на привід валків доводиться на перші проходи при високому злитку (розкату) і в проходах де відбувається обтиснення подвійного розширення (розширення за два проходи в горизонтальних валках).

1.7 Розрахунок параметрів деформації сляба в горизонтальних валках

Розрахуємо параметри деформації злитка киплячої сталі $\frac{780 \times 1500}{720 \times 1430} \times 2200$ мм на сляб 160×1350 мм (кипляча сталь марки 08кп). Стан слябінг має діаметр нових валків $D = 1150$ мм, довжину бочки $L_6 = 2000$ мм, відстань між осями нажимних гвинтів $\alpha = 2720$ мм, діаметр шийки $d_{ш} = 720$ мм, довжину шийки $l_{ш} = 720$ мм. Потужність головного приводу для кожного

валка по $N_{дв} = 7200$ кВт. Твердість бочки валків ~ 50 HSD (по Шору), середня температура злитка перед кліттю рівна $t = 1220^{\circ}\text{C}$.

1. **Швидкісний режим прокатки.** Для розрахунку енергосилових параметрів необхідно в першу чергу визначити попередній швидкісний режим прокатки. По рекомендації [4] приймаємо наступні частоти обертання валків по етапах прокатки слябів (табл. 1.2).

У табл. 1.2 етап I відповідає початковим проходам, етап II – середнім проходам, етап III передостаннім проходам і етап IV – останньому (випускному) проходу. Максимальна частота обертання валків залежить від величин n_3 і n_B і довжини розкату та визначається по відповідних формулах [4]. Якщо швидкісна діаграма містить ділянки t_1 і t_5 (рис. 1.2,г), то максимальна частота n_{MP} визначається по формулі [$\alpha = 30$ об/(хв·с) $b = 60$ об/(хв·с)]

$$n_{MP} = 49 \sqrt{\frac{L_1 + L_5}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600} + \frac{n_B^2}{7200}} \quad (1.18)$$

де L_1 і L_5 – довжини розкату, відповідні прокатки за час t_1 і t_5 ; n_{MP} – розрахункове максимальне значення оборотів; α – прискорення двигуна за наявності розкату у валках.

Таблиця 1.2. Величини чисел оборотів при захваті, викиді і максимальні (прокатка одного злитка)

Етапи прокатки сляба	При захваті n_3 , об/хв	При виході n_B , об/хв	Максимальне число оборотів n_M , об/хв
I	10 – 15	15 – 20	50 – 60
II	20 – 30	25 – 40	50 – 60
III	30 – 40	40 – 45	50 – 60
IV	30 – 40	40 – 45	50 – 60

Оскільки

$$L_i = L_1 + L_5,$$

то

$$n_{mp} = 49 \sqrt{\frac{L_i}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600} + \frac{n_B^2}{7200}} \quad (1.19)$$

де L_i – довжина подвійного розкату в проході.

Довжина L_i визначається з формули

$$L_i = L_{сл} \cdot \mu_{\Sigma},$$

де $L_{сл}$ – довжина злитка (одного або двох); μ_{Σ} – сумарний коефіцієнт витягання за n -ую кількість проходів.

Формула (1.19) придатна для швидкісного режиму, який має ділянки t_1 і t_2 (прискорення і уповільнення із злитком). Якщо набутого значення n_{mp} по формулі (1.19) менше, яке вказане в табл. 1.2, то в розрахунку середньої швидкості прокатки приймаємо розрахункове значення n_{mp} . Якщо розрахункове значення $n_{mp} > n_M$, то приймаємо для подальших розрахунків значення n_M з табл. 1.2. Для останнього проходу максимальне значення числа оборотів валків визначаємо з формули ($\alpha = 30$ об/(хв · с)).

$$n_{mp} = 60 \sqrt{\frac{L}{\pi \cdot D} + \frac{n_3^2}{3600}}, \quad (1.20)$$

де L – довжина готового розкату (сляба).

Середню швидкість в даному проході орієнтовно визначають по формулі

при $n_{mp} < n_M$ і $n_{mp} > n_M$ відповідно

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{D}{38,3} [n_{mp} + 0,5(n_3 + n_B)]; \\ v &= \frac{D}{38,3} [n_M + 0,5(n_3 + n_B)]; \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

2. Визначення обтиснення, що допускається, з умови захвату металу валками. Для вирішення цієї задачі знайдемо

коефіцієнт тертя в сталому процесі і при захваті. Якнайгірші умови захвату мають місце в початкових проходах, при найбільш високій температурі металу – $t = 1200 - 1220^{\circ}\text{C}$. Коефіцієнт тертя знаходимо по моделі запропонованій в роботах [20, 22]

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_M \cdot k_V \cdot k_{CM} \cdot k_E \quad (1.22)$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя; k_i – коефіцієнти враховують вплив різних чинників: k_B – стан поверхні валків; k_T – твердість поверхні валків; k_M – матеріал сляба (штаби); k_V – окружної швидкості валків; k_{CM} – тип технологічного мастила; k_E – відносного обтиснення.

Коефіцієнт тертя при захваті розкату валками дорівнює

$$f_3 = f \cdot k_3, \quad (1.23)$$

де f – коефіцієнт тертя в сталому процесі; k_3 – коефіцієнт, що враховує умови тертя при захваті.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює

$$f = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2, \quad (1.24)$$

де t – температура металу, $^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнти k_T і k_V відповідно дорівнює

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{HSD}{65} \right)^2, \quad (1.25)$$

де HSD – твердість за шкалою Шора (при $HSD > 65$ – коефіцієнт $k_T = 1$);

$$\left. \begin{aligned} k_V &= 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot V)^2 && \text{- при } v < 10 \text{ м/с;} \\ k_V &= 0,76 && \text{- при } v \geq 10 \text{ м/с,} \end{aligned} \right\} \quad (1.26)$$

де v – окружна швидкість валків.

Коефіцієнт k_B для сталевих валків слябінгу слід приймати в межах $k_B = 1,1$, коефіцієнт для маловуглецевої сталі рівний $k_M = 1,0$. Для інших сталей значення k_M дані в роботі [20]. Коефіцієнт k_{CM} для слябінгу, валки якого охолоджуються водою, $k_{CM} = 1,0$. Коефіцієнт k_E для умови захвату приймають в межах $k_E = 0,9 - 1,0$.

Визначимо обтиснення, що допускається, для перших проходів на слябінгу без первинної окалини на злитку (розкату) при $t = 1200^{\circ}\text{C}$, швидкість валків при захваті $v_3 = 0,6$ м/с, твердість валків 50 HSD, діаметри валків після переточувань рівні ($k_M=1,0$)

$$D = 0,9 \cdot D_0 = 0,9 \cdot 1150 = 1040 \text{ мм};$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{1200}{400} - 2 \right)^2 = 0,17;$$

$$k_T = 1 + 0,43 \left(1 - \frac{50}{65} \right)^2 = 1,02;$$

$$k_V = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 0,6)^2 = 1,48;$$

$$f = 0,17 \cdot 1,05 \cdot 1,02 \cdot 1,0 \cdot 1,48 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,29,$$

де 0,9 – коефіцієнт зменшення діаметру за рахунок переточувань валка.

Коефіцієнт k_3 залежить від умов задавання розкату у валки. Якщо розкат заходить у валки при задаванні рольгангом, то коефіцієнт k_3 слід приймати рівним $k_3 = 1,35$ і тоді з формули (1.23) одержимо

$$f_3 = 0,29 \cdot 1,35 \approx 0,39.$$

Обтиснення, що допускається, з формули (1.11) рівне

$$\Delta h_d = 520 \cdot 0,39^2 = 79 \text{ мм}.$$

Оскільки обтиснення, що допускається, декілька перевищує практичні значення, то окружну швидкість при захваті доцільно збільшити до $v_3 = 1,0$ м/с ($n_3 = 18,4$ об/хв). Обтискання, що допускається в цьому випадку, зменшується до $h_d = 75$ мм.

3. Визначення обтиснення, що допускається з умов міцності валків. Сила прокатки, що допускається, визначається з формул (1.14) і (1.15) при напруженні, що допускається, $\sigma_{из} = 100 - 120 \text{ Н/мм}^2$. Валки із сталі (55, 55X і т. п.) і $a = 2,72 \text{ м}$:

по бочці

$$P_d = 0,4 \cdot 1,04^3 \cdot 120 / 2,0 \approx 27,1 \text{ МН};$$

по шийці

$$P_d = 0,4 \cdot 0,72^3 \cdot 120 / 0,72 = 27,3 \text{ МН.}$$

Міцність шийки, що допускається, на вигин менше, ніж по бочці, оскільки у шийці ще діють напруження від моменту, кручення. Менше $[P_d]$ приймаємо для розрахунку обтиснення, що допускається.

Обтиснення, що допускається, виходячи з міцності валка визначають по формуле (1.13) для проміжних проходів (ближче до останніх). Приймаємо наступні умови деформації металу: $D_0 = 1150 \text{ мм}$, $\Delta h' = 30 \text{ мм}$, $\Delta h'' = 60 \text{ мм}$, $h_{cp} = 250 \text{ мм}$, $t = 1150^\circ\text{C}$, сталь 08КП (хим. склад %: 0,11С, 0,03Si, 0,5 Mn, 0,1 Cr, 0,25 Ni), орієнтовна швидкість прокатки $v = 2,5 \text{ м/с}$, ширина $B = 1350 \text{ мм}$.

Напруження течії металу визначимо по моделі [20, 21]

$$\sigma_T = \sigma_{T0} \cdot k_t \cdot k_s \cdot k_u, \quad (1.27)$$

де σ_T - базове напруження течії металу, k_t , k_s , k_u - коефіцієнти, що відповідно враховують температуру металу, відносне обтиснення, швидкість деформації.

Для маловуглецевої сталі

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left[1 - \left\{ (5 - N_1) / 4,5 \right\}^{1,8} \right], \quad (1.28)$$

де N_1 - абсолютна сума хімічних елементів в сталі (без заліза, фосфору і сірки), %.

Для сталі 08кп вуглецевий еквівалент N_1 дорівнює, %:

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

$$N_1 = 0,11 + 0,03 + 0,5 + 0,1 + 0,25 = 0,99.$$

Базове напруження течії металу з формули (1.28) дорівнює

$$\sigma_{T0} = 80 + 25 \left[1 - \left\{ (5 - 0,99) / 4,5 \right\}^{1,8} \right] = 80 + 25 \cdot 0,19 = 84,8 \text{ Н/мм}^2.$$

Параметри деформації l_d / h_{cp} рівні:

$$l'_d = \sqrt{30 \cdot 250} = 125 \text{ мм}; \quad l_d / h_{cp} = 125 / 250 = 0,5;$$

$$l''_d = \sqrt{60 \cdot 520} = 177 \text{ мм}; \quad l_d / h_{cp} = 177 / 250 = 0,71.$$

Відносне обтиснення по формулі

$$\varepsilon = \Delta h_i / (h_{cp} + 0,5 \cdot \Delta h_i')$$

дорівнює:

$$\varepsilon' = 30 / (250 + 15) = 0,113; \quad \varepsilon'' = 60 / (250 + 30) = 0,215.$$

Швидкість деформації металу визначимо по формулі:

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d};$$

$$u' = 2500 \cdot 0,113 / 125 = 2,26 \text{ c}^{-1}; \quad u'' = 2500 \cdot 0,215 / 177 = 3,03 \text{ c}^{-1}.$$

Коефіцієнти k_i рівні [20] (для сталі гр. I):

$$\left. \begin{aligned} k_t &= 1,66 - 1,1 \left(\frac{l}{400} - 2 \right)^{0,7}; \\ k_\varepsilon &= 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - \varepsilon)^2]; \\ k_u &= 0,22 + 0,072(7 + \ln u). \end{aligned} \right\} \quad (1.29)$$

Маємо:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1150}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,79;$$

$$k'_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - 1,113)^2] = 1,02;$$

$$k''_\varepsilon = 1 + 0,43 [1 - 6,3(0,5 - 0,215)^2] = 1,21;$$

$$\left. \begin{aligned} k'_u &= 0,22 + 0,072(7 + \ln 2,26) = 0,77; \\ k''_u &= 0,22 + 0,072(7 + \ln 3,03) = 0,8. \end{aligned} \right\} \quad \text{при } u < 10 \text{ c}^{-1}$$

Збираємо всі одержані дані у формулу (1.27) відповідно для $\Delta h' = 30 \text{ мм}$ і $\Delta h'' = 60 \text{ мм}$:

$$\sigma'_T = 84,8 \cdot 0,79 \cdot 1,02 \cdot 0,77 = 53,8 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma''_T = 84,8 \cdot 0,79 \cdot 1,02 \cdot 0,8 = 58 \text{ Н / мм}^2.$$

Середнє нормальне контактне напруження з урахуванням впливу зовнішніх зон визначаємо з [20] ($f_n = 0,3-0,4$, $l_d/h_{cp} < 1$):

$$p_{cp} = 1,15 \cdot \sigma_T (1 + 0,145 \cdot l_d/h_{cp}) \left[1 + (1,1 - l_d/h_{cp})^2 \right]; \quad (1.30)$$

$$p'_{cp} = 1,15 \cdot 53,8(1 + 0,145 \cdot 0,5) \left[1 + (1,1 - 0,5)^2 \right] = 90 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p''_{cp} = 1,15 \cdot 58(1 + 0,145 \cdot 0,71) \left[1 + (1,1 - 0,71)^2 \right] = 88 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки відповідно дорівнює

$$P = p_{cp} \cdot l_d \cdot B \cdot 10^{-6} \text{ МН}; \quad (1.31)$$

$$P' = 90 \cdot 125 \cdot 1350 \cdot 10^{-6} = 15,2 \text{ МН};$$

$$P'' = 88 \cdot 177 \cdot 1350 \cdot 10^{-6} = 21 \text{ МН}.$$

З формули (1.13) визначимо обтиснення, що допускається, із сили прокатки

$$\Delta h_d = 30 + (60 - 30)(24,6 + 15,2) / (21 - 15,2) = 77 \text{ мм}.$$

Таким чином, обтиснення, що допускається за заданих умов деформації, не повинно перевищувати $\Delta h_d = 77 \text{ мм}$. Збільшення або зменшення ширини сляба відповідно змінює обтиснення, що допускається. Приблизно цей зв'язок можна відобразити співвідношенням

$$\Delta h'_d = \Delta h_d \frac{1350}{B}, \quad (1.32)$$

де B – ширина сляба у новому розрахунку.

4. *Визначення обтиснення, що допускається, з умов моменту кручення.* В першу чергу слід визначити момент прокатки для $\Delta h' = 30 \text{ мм}$ і $\Delta h'' = 60 \text{ мм}$, по формулі

$$M = \psi \cdot l_d \cdot D, \quad (1.33)$$

де ψ – коефіцієнт положення рівнодіючої сил у вогнищі деформації при плющенні високих смуг на слябінгу, рівний [23]

$$\psi = 0,79 - 0,887 \frac{l_d}{h_{cp}} + 0,444 \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^2. \quad (1.34)$$

Для $l_d / h_{cp} = 0,5$ одержимо (для одного валка):

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,5 + 0,444 \cdot 0,25 = 0,457;$$

$$M' = 0,457 \cdot 0,125 \cdot 15,2 = 0,87 \text{ МНм}.$$

Для $l_d / h_{cp} = 0,71$ маємо $\psi = 0,39$ і $M'' = 1,47 \text{ МНм}$ (для одного валка).

Номинальний момент на валу одного двигуна при номинальному числі оборотів $n_{ном} = 53$ об/хв визначимо з формул (МНм):

$$M_{ном} = \frac{N_{ос} \cdot R \cdot \eta}{960 \cdot v_{ном}}$$

$$v_{ном} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ном}}{60}$$

де η - КПД передачі.

Вирішуючи спільно ці рівняння, одержимо

$$M_{ном} = \frac{N_{ном} \cdot \eta}{100 \cdot n_{ном}} \quad (1.35)$$

або для одного двигуна маємо

$$M_{ном} = \frac{7200 \cdot 0,95}{100 \cdot 53} \approx 1,3 \text{ МНм.}$$

Обтиснення, що допускається, з формули (1.16) рівне

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h') (M_{ном} - M) / (M'' - M'); \quad (1.36)$$

$$\Delta h_d = 30 + (60 - 30)(1,3 - 0,87) / (1,47 - 0,87) = 51,2 \text{ мм.}$$

Таким чином, обтиснення, що допускається, на слябінгу лімітується в перших проходах умовами захвату ($\Delta h_d = 75$ мм), а в останніх етапах прокатки моментом, кручення ($\Delta h_d = 51$ мм).

У табл. 1.3 представлені обтиснення, що допускаються, які розраховані з різних умов.

Таблиця 1.3. Обтиснення, що допускаються

Діаметр валків, мм	Обтискання, що допускається, з умови (мм):		
	захвату розкату валками	міцності валків по силі прокатки	моменту кручення
1040	75	77	51

Отже, обтиснення, що допускається, не повинне перевищувати $\Delta h = 51$ мм якщо $M = M_{ном}$. В тому разі якщо $M < M_{ном}$, можна прийняти обтиснення вище за $h > 51$ мм. У практичних умовах для прокатки конкретних слябів

використовують незмінний режим деформації при валках різного діаметру. В умовах даного прикладу слід проектувати режим деформації для валків діаметром $D = 1040\text{мм}$ (після переточувань) і розповсюдити його для валків іншого діаметру. З метою забезпечення міцності деталей головної лінії стана приймаємо середнє обтиснення, що не перевищує $51...75\text{мм}$. При цьому середнє обтиснення вважаємо рівним

$$\Delta h_{cp} = \frac{51 + 75}{2} \cdot 0,9 \approx 56\text{мм}.$$

5. Визначаємо сумарне обтиснення за всі проходи і кількість проходів. Залежно від способу задавання злитка у валки (донною або головною частиною) обтиснення в першому проході різне. При задаванні злитка у валки тонкою головною частиною величина обтиснення значно більше, чим в подальших проходах:

$$\Delta h_1 = (H_0 - H'_0) + \Delta h_d, \quad (1.37)$$

де H_0 і H'_0 – висота товстого і тонкого кінців; Δh_d – обтиснення, що допускається, з граничних умов при $\Delta h_d = 75\text{мм}$.

Для даного випадку на задньому кінці злитка маємо

$$\Delta h_1 = (780 - 720) + 75 = 135\text{мм}.$$

При задаванні розкату товстою (донною) частиною обтиснення, що допускається, в першому проході дорівнює $\Delta h_1 = \Delta h_d \approx 75\text{мм}$. У разі використання транзитної (прямої) прокатки на широкоштабовому стані злиток задають у валки товстою (донною) частиною і тому $\Delta h_1 = 75\text{мм}$. Крім того, в передостанньому (парному) проході виконують невелике обтиснення з метою зменшення поперечної різнововщинності в межах $\Delta h_q = 10...20\text{мм}$. У останньому (непарному) проході верхній валок піднімають на $5 - 10\text{мм}$ з метою зменшення висоти краєвих висотних нашивів (див. вище). Таким чином, на решту проходів доводиться сумарне обтиснення, яке за формулою (сляб $h = 160\text{мм}$):

$$\sum \Delta h = H_0 - h - \Delta h_1 - \Delta h_q; \quad (1.38)$$

дорівнює

$$\sum \Delta h = 780 - 160 - 75 - 20 = 525 \text{ мм.}$$

Сумарну кількість проходів знаходимо по формулі

$$n = 3 + \sum \Delta h / \Delta h_{cp}; \quad (1.39)$$

$$n = 3 + 525 / 56 = 12,4$$

де 3 - число проходів (перший, передостанній і останній); Δh_{cp} - середнє обтиснення (див. вище).

Змінюємо число 12,4 до цілого у бік збільшення, тобто до $n = 13$. Разом із збільшенням числа проходів зменшується середнє обтиснення до

$$\Delta h = \Delta h_{cp} \frac{12,4}{13} = 56 \cdot 0,96 \approx 54 \text{ мм.}$$

Відповідно до того, що в останніх проходах обтиснення не повинне перевищувати $\Delta h_d = 51$ мм, приймаємо в першій частині проходів $\Delta h = 60$ мм, а в другій $\Delta h = 50$ мм (табл. 1.4).

У табл. 1.4 представлені також дані про довжину одного розкату в кожному проході. Розрахунок коефіцієнта витягання виконано з урахуванням обтиснення вертикальними валками. Величини обертів валків при захваті і виході (n_3 і n_2) прийняті з табл. 1.2.

Величина обтиснення $\sum \Delta h_B$ вертикальними валками обумовлено різницею розмірів ширини злитка (ΔB) і сляба, а також величиною розширення в горизонтальних валках (Δb). Величина ΔB розподіляється на декілька проходів. Так, в першому проході обтиснення Δh_B , залежно від величини ΔB , складає $\Delta h_B = 10 \dots 60$ мм. У другому проході зазор між вертикальними валками залишають b_p без зміни. У цьому проході вертикальні валки обтискають тільки подвійне розширення в горизонтальних валках ($\sum \Delta b_{1,2}$). Як видно з табл. 1.4, наступні установки вертикальних валків виконували в кожному непарному проході.

Сумарне зменшення ширини злитка до ширини сляба складо

$$\Delta B = B_{ca} - b = 1500 - 1350 = 150 \text{ мм}$$

Величина розширення металу в горизонтальних валках залежить від форми поперечного перетину розкату. При прокатуванні розкату в непарних проходах, після виходу його з вертикальних валків поперечний перетин розкату має красиві висотні напливи (мал. 1.4), які сприяють утворенню істотного вимушеного розширення металу. У парних проходах прокатують розкат, що має перетин, близький за формою до плоского і складова вимушеного розширення відсутня. З цієї причини розширення в горизонтальних валках в парних проходах завжди менше, ніж в непарних проходах.

Результати обробки фактичних режимів деформації розкатів на слябінгу ВАТ меткомбінат «Запоріжсталь» показана на рис. 1.8. Залежність $\Delta b = f(\varepsilon)$ описується наступними рівняннями:

непарні проміжні проходи

$$\Delta b = 16 + 100(\varepsilon - 0,05)^{0,48}; \quad (1.40)$$

парні проходи (окрім передостаннього)

$$\Delta b = 5 + 24(\varepsilon - 0,05)^{0,5} \quad (1.41)$$

де ε - відносне обтиснення горизонтальних валків ($\varepsilon = \Delta h / H$); H і Δh - початкова товщина і абсолютне обтиснення в даному проході горизонтальними валками.

Формулу (1.40) використовують в проміжних непарних проходах. У першому проході для всіх випадків приймається $\Delta b = 15 \text{ мм}$. В передостанньому непарному проході можна приймати $\Delta b = \Delta h$ (де - обтиснення в даному проході),

а величину Δh приймають рівною $\Delta h_{\text{нп}} = (0,6-0,7) \Delta h$ ($\Delta h_{\text{нп}}$ - обтиснення в нечетному передостанньому проході; Δh - максимальне обтиснення в проміжних проходах).

Формула (1.40) дійсна для прокатки слябів висотою $h=150-200 \text{ мм}$ із злитків з $H=640-780 \text{ мм}$, $B=1100-1480 \text{ мм}$ з вуглецевої і низковуглецевої сталі. Розрахунок розширення при прокатуванні слябів з високовуглецевих сталей (60С2, 70Х, 65Г) розширення для всіх проходів розраховують по формулі

$$\Delta b = (1,3 - 1,5) \left[5 + 24(\varepsilon - 0,05)^{0,5} \right]. \quad (1.42)$$

Менше значення коефіцієнта у формулі для $-\varepsilon > 0,12$.

Якщо $\varepsilon \leq 0,05$, то параметр в круглих дужках для формул (1.40) – (1.42) приймають рівним нулю $[(\varepsilon - 0,05)^{0,5} = 0]$.
 При прокатуванні з рідкою серцевиною, температура закінчення прокатки на 50-60 °C вище, ніж при її відсутності.

Таблиця 1.4. Розподіл обтиснень по проходах при прокатуванні сляба 160×1350мм (однослитковая прокатка)($n_3=10-30$ 1/хв, $n_6=15-50=1$ /хв)

№ проходу	Горизонтальні валки		Установка вертикальних валків, мм	Δh_b , мм	μ	L, мм	V, м/с	t, °C
	h, мм	Δh , мм						
1	705	75	1450	50	1,15	2,53	1,7	1240
2	640	65	1450	23	1,093	2,76	1,73	1239
3	580	60	1430	20	1,122	3,10	1,95	1238
4	520	60	1430	38	1,116	3,46	2,0	1236
5	460	60	1410	20	1,37	3,96	2,26	1229
6	400	50	1410	45	1,15	4,54	2,26	1221
7	350	50	1390	25	1,16	5,26	2,26	1212
8	300	50	1390	55	1,167	6,13	2,26	1204
9	250	50	1365	35	1,223	7,52	2,26	1178
10	210	40	1365	61	1,193	8,96	2,26	1158
11	175	35	1350	25	1,218	10,9	2,26	1137
12	160	15	1350	52	1,093	11,9	2,26	1129
13	160	-	1350	0	1,01	11,92	2,39	1115

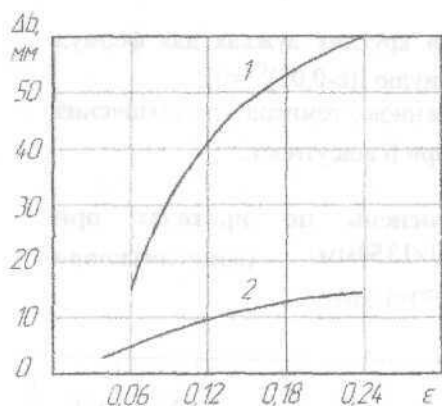


Рис.1.8 Зміна розширення металу при деформації в горизонтальних валках слябінгу 1150: 1 - непарні проходи; 2 - парні проходи

1.8 Алгоритм розрахунку енергосилових параметрів прокатки в горизонтальних і вертикальних валках

Після розрахунку режиму деформації сляба необхідно виконати розрахунок енергосилових параметрів прокатки і порівняти їх із значеннями сили прокатки і моменту кручення, що допускаються. В першу чергу визначимо середні швидкості прокатки, необхідні для розрахунку швидкості деформації металу і напруження течії металу. З метою оцінки максимальних значень енергосилових параметрів розрахунок виконуємо для максимального діаметру валків ($D = 1150$ мм).

1. *Визначимо розрахункове максимальне значення обертання валків в кожному проході і середню швидкість прокатки.* З формули (1.19) для проходу I одержимо

$$n_{mp} = 49 \sqrt{\frac{2,53}{3,14 \cdot 1,15} + \frac{100}{3600} + \frac{225}{7200}} = 42 \text{ хв}^{-1}$$

Середня швидкість валків з формули (1.21) ($n_{mp} < n_M$)

$$v = \frac{1,15}{38,3} (42 + 12,5) = 1,7 \text{ м/с.}$$

Розрахункові значення середньої колової швидкості валків представлені табл. 1.4. Втрати температури за i -у кількість проходів приблизно можна визначити по формулах

$$\left. \begin{aligned} \Delta t_{\Sigma} &= 240(1 - h_i/h_1); \\ t_i &= t_1 - \Delta t_{\Sigma}, \end{aligned} \right\} \quad (1.43)$$

де t_1 - температура металу в поточному проході; t_i - температура розкату після першого проходу; h_1 - товщина розкату після першого проходу; h_i - товщина розкату після i -того проходу; t_{Σ} - сумарне падіння температури при прокатуванні за i -у кількість проходів.

Приймаючи початкову температуру рівною $t_1 = 1240^{\circ}\text{C}$ по формуле (1.43) для першого проходу одержуємо

$$\Delta t_1 = 240(1 - 640/705)^3 \approx 1^{\circ}\text{C}.$$

Температура металу після проходу рівна

$$t_1 = 1240 - 1 = 1239^{\circ}\text{C}.$$

Після шостого проходу

$$\Delta t_6 = 240(1 - 400/705)^3 = 19^{\circ}\text{C}; \quad t_6 = 1221^{\circ}\text{C}.$$

Для решти проходів значення температури металу дані у табл. 1.4. У останньому проході падіння температури прийняте рівним $t = 14^{\circ}\text{C}$.

2. Напруження течії металу визначимо по формулах (1.27) - (1.29).

Базове напруження течії для киплячої сталі $08_{\text{кп}}$ дорівнює $\sigma_{\text{ТБ}} = 84,8 \text{ Н/мм}^2$ (див. вище). Відносно обтискання $\varepsilon_1 > 0,103$, довжина дуги контакту $l_d = 216 \text{ мм}$ $l_d/h_{\text{ср}} = 0,29$; окружна швидкість валків $v = 1,7 \text{ м/с}$, температура металу $t = 1240^{\circ}\text{C}$ (табл. 1.4) (перший прохід).

Визначимо по формулах (1.29) коефіцієнти k_t , до k_{ε} k_u :

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1240}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,48;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,103)^2 \right] = 0,98;$$

$$u = 1700 \cdot 0,103/216 = 0,83 \text{ с}^{-1};$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 - 0,186) = 0,58.$$

По формулі (1.27) набуємо значення напруження течії [20,21]

$$\sigma_T = 84,8 \cdot 0,48 \cdot 0,98 \cdot 0,58 = 23,3 \text{ Н/мм}^2.$$

Середнє нормальне контактне напруження по формулі (1.30) дорівнює

$$P_{cp} = 1,15 \cdot 23,3(1 + 0,145 \cdot 0,29) [1 + (1,1 - 0,29)^2] = 46,2 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки з формули (1.31) дорівнює

$$P = 46,2 \cdot 216 \cdot 1350 \cdot 10^{-6} = 13,5 \text{ МН}.$$

Визначимо коефіцієнт положення рівнодіючої сил ψ та момент прокатки [формули (1.34) (1.33)](на одному валку)[20]:

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,29 + 0,444 \cdot 0,29^2 = 0,57;$$

$$M = 0,57 \cdot 0,216 \cdot 13,5 = 1,66 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Момент кручення без урахування додаткових складових декілька перевищує номінальний по формулі (1.35) ($M_{ном} = 1,3$ МНм), але враховуючи, що дія цього моменту короткочасно, тільки при знятті конусності злитка, залишаємо набутого значення моменту на шийці валка. Потужність двигуна для двох валків визначаємо по формулі:

$$N_{об} = 2 \cdot 960 \cdot M \cdot v / R \cdot \eta; \quad (1.44)$$

$$N_{об} = 2 \cdot 960 \cdot 1,66 \cdot 1,7 / 0,575 \cdot 0,95 = 9940 \text{ кВт},$$

що менше потужності встановленого двигуна і що допускається. Аналогічно розрахуємо енергосилові параметри у всіх проходах, що залишилися (окрім останнього). Зведені дані представлені у табл. 1.5.

Як впливає з розрахунку, в першому і п'ятому проходах момент кручення перевищують значення, що допускаються, який дорівнює 2,6 МНм. Близький до значення $M_{ном}$, що допускається, виникає момент в четвертому проході. Доцільно зменшити в проходах 4 і 5 величини обтиснень на 5 мм з перенесенням їх в 10-й і 11-й проходи. При розрахунку прийнята середня швидкість прокатки, яка дещо менше допускаємої в проході. Це незначно впливає на швидкість деформації і силу прокатки, але робить помітний вплив на потужність прокатки.

Проте при короткочасному збільшенні швидкості допустиме перевантаження двигуна в 2 – 2,5 рази вище, яка встановлена.

Вертикальні валки, які встановлені перед горизонтальними валками, мають діаметр $D_B = 700$ мм і довжину бочки $L_B = 1150$ мм. Валки вертикальної кліті приводяться від двох електродвигунів потужністю по 2300 кВт при частоті обертання 0 – 75 – 120 об/хв. Навантаження на вертикальні валки різне в непарних і парних проходах. У непарних проходах обтиснення Δh_B вертикальними валками невелике (табл. 1.4) і застосовується для зменшення ширини розкату. У парних проходах вертикальні валки обтискають подвійне розширення від обтиснення в горизонтальних валках (у непарному і парному проходах). При обтисненні у вертикальних валках на горизонтальних поверхнях розкату утворюються напливи на краях сляба (рис. 1.5). При подальшому обтисненні в горизонтальних валках величина розширення обумовлена не тільки основними параметрами деформації, але і наявністю напливів. Вплив напливів утрудняє теоретичне визначення розширення металу в горизонтальних валках і тому в даних умовах використовують експериментальні величини (рис 1.8).

3. Визначимо енергосилові параметри прокатки у вертикальній кліті для четвертого проходу. Номінальний момент прокатки з формули (1.35) при $n_{ном} = 75$ об/хв (для одного валка):

$$M_{ном} = \frac{2300 \cdot 0,95}{100 \cdot 75} = 0,29 \text{ МНм.}$$

Геометричні і кінематичні параметри деформації. По формулах (1.40) і (1.41) розраховуємо розширення металу в горизонтальних валках в 3^м і 4^м проходах

$$\Delta b_3 = 16 + 100(0,103 - 0,06)^{0,48} = 38 \text{ мм};$$

$$\Delta b_4 = 5 + 24(0,094 - 0,06)^{0,5} = 9 \text{ мм.}$$

Сумарне обтиснення у вертикальних валках дорівнює $\Sigma_{\Delta} = h_B = 47 \text{ мм.}$

маємо:

$$l_a = \sqrt{R \cdot \Delta h_B} = \sqrt{350 \cdot 47} = 128 \text{ мм;}$$

$$\varepsilon = 47/1430 = 0,033;$$

$$l_d / B_{op} = 128/1430 = 0,09.$$

Таблиця 1.5. Енергосилові параметри прокатки сляба 160×1350мм

№ проходу	σ_T , Н/мм ²	$P_{ср}$, Н/мм ²	P, МН	ψ	2M, МНм	2N _{ДВ} , кВт
1	23,3	46,2	13,5	0,57	3,32	9940
2	22,6	45,2	11,3	0,58	2,44	7440
3	23,5	46,0	11,6	0,56	2,42	8300
4	25,9	49,8	12,4	0,55	2,54	8880
5	34,5	63,5	15,9	0,51	3,02	11970
6	34,6	62,8	14,4	0,51	2,48	9860
7	37,2	65,2	14,9	0,48	2,44	9720
8	37,8	63,5	14,5	0,45	2,20	8840
9	44,8	64,0	14,6	0,42	2,10	8240
10	48,7	73,0	15,0	0,40	1,82	7780
11	53,0	77,0	14,6	0,34	1,40	5580
12	44,0	68,8	8,9	0,42	0,724	2860

Швидкість вертикальних валків з умови закону постійності секундних об'ємів орієнтовно дорівнює

$$v_4 \cdot h_4 \cdot B_4 = v_B \cdot h_4 \cdot b_4, \quad v_B = v_4 B_4 / b_4. \quad (1.45)$$

де B_4 і b_4 - ширина розкату до і після обтиснення у вертикальних валках; v_4 і v_B - окружна швидкість горизонтальних і вертикальних валків.

Оскільки $B_4 \approx b_4$, то і швидкості приблизно рівні. Для розрахунку енергосилових параметрів можна прийняти $v_B \approx v_4$. Тоді швидкість деформації дорівнює [формула (1.21)]

$$u = 2000 \cdot 0,033 / 107 = 0,6 \text{ с}^{-1}.$$

Базове напруження течії для сталі марки Ст. 08кп дорівнює $\sigma_{T8} = 84,8 \text{ Н/мм}^2$ (див. вище). Коефіцієнти k_t , k_ε , k_u з формули (1.29) рівні:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1236}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,5;$$

$$k_e = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,033)^2 \right] = 0,82;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 - 0,633) = 0,7.$$

Напруження течії по формулі (1.27) дорівнює

$$\sigma_T = 84,8 \cdot 0,5 \cdot 0,82 \cdot 0,7 = 24,1 \text{ Н/мм}^2.$$

Середнє нормальне напруження з формули (1.30)

$$p_{\text{ср}} = 1,15 \cdot 24,1 (1 + 0,145 \cdot 0,075) \left[1 + (1,1 - 0,075)^2 \right] = 56,6 \text{ Н/мм}.$$

Сила прокатки з формули (1.31) дорівнює

$$P = 56,6 \cdot 107 \cdot 550 \cdot 10^{-6} = 3,33 \text{ МН}.$$

Момент кручення без урахування додаткових втрат в елементах головної лінії стана з формул (1.33) і (1.34), дорівнює (для одного валка):

$$\psi = 0,79 - 0,887 \cdot 0,075 + 0,444 \cdot 0,075^2 = 0,79;$$

$$M = 0,79 \cdot 0,107 \cdot 3,33 = 0,282 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Це менше номінального моменту. Потужність прокатки по формулі (1.41) рівна (для двох валків)

$$N_{\text{ог}} = 2 \cdot 960 \cdot 0,282 \cdot 2 / 0,35 \cdot 0,95 = 3260 \text{ кВт},$$

що менше, який встановлено. Аналогічно виконують розрахунки і в інших проходах.