

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

В.О. НІКОЛАЄВ
В.Л. МАЗУР

ВИРОБНИЦТВО ПЛОСКОГО ПРОКАТУ

*Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник*

для студентів вищих навчальних закладів,

які навчаються за спеціальністю

«Обробка металів тиском»

Запоріжжя
2010

621.771.23(075)

Н632

УДК 621.771.(0.75.8)

10

В.О. Ніколась, В.Л. Мазур. Виробництво плоского прокату.
Підручник / Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2010. – 320 с.

ISBN 978-966-8462-27-6

Рецензенти:

В.В. Чигиринський, д.т.н., професор, зав. каф. ОМТ Запорізького національного технічного університету;

В.Т. Тілік, д.т.н., начальник прокатної лабораторії ЦЛМК ВАТ «Запоріжсталь»;

Г.В. Левченко, д.т.н., професор, завідувач кафедри ОМТ Дніпродзержинського державного технічного університету;

О.В. Садовой, д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Дніпродзержинського державного технічного університету

Рекомендовано до друку:
рішенням вченої ради Запорізької державної інженерної академії (протокол № 1 від 03.09.2009 р.)

У підручнику викладені технологічні процеси виробництва плоских заготовок, товстих і тонких листів (штаб), технологія на станах різної конструкції з урахуванням останніх досягнень в цій області. Представлені відомості про методи і пристрої, що забезпечують підвищення точності і площинності штаб. Запропоновані методи розрахунку режимів деформації та енергосилових параметрів прокатки штабової сталі.

Підручник призначений для студентів, які навчаються за спеціальностями «Обробка металів тиском», «Металургія чорних металів», «Механічне устаткування», а також для інженерно-технічних фахівців підприємств металургійної промисловості.

Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю «Обробка металів тиском». Гриф № 1/11-1416 від 09.03.2010 р.

346386

Запорізька державна
інженерна академія
БІБЛІОТЕКА

ISBN 978-966-8462-27-6

© Ніколась В.О., Мазур В.Л., 2010

ВСТУП

За останні роки відбулися суттєві зміни в технології та обладнанні листопрокатного виробництва, спрямовані головним чином на скорочення витрат металу, підвищення якості продукції. В галузі виробництва слябів практично повністю відмовляються від виробництва їх на слябінгах і блюмінгах-слябінгах, а застосовують машини неперервного лиття заготовок (МНЛЗ). Проектують та створюють великі товстолистові стани із довжиною бочки 3600...5500 мм при виробництві листів для багатотоннажного флоту і труб великого діаметра.

Для прокатки тонколистової сталі у гарячому стані застосовують стани з новими конструкціями клітей, які забезпечують безпрограмний процес виробництва штаб, пристрої та системи контролю і регулювання точності поперечного та поздовжнього профілів перерізів. З'явилися литейно-прокатні комплекси (ЛПК) для отримання тонкої штаби із тонких слябів та рідкого металу. Подальший розвиток отримало виробництво холоднокатаних штаб. З'явилися принципово нові рішення забезпечення прокатки високоточних і планшетних штаб на станах порулонної і безперервної прокатки. Впроваджуються суміщені лінії: травлення – прокатка, відпал – дресирування – обробка та інші. У сучасному цеху увесь процес від початку і до кінця керується обчислювальними машинами (КОМ), у які включені локальні системи керування окремими операціями.

Споживання листової продукції тим вище, чим значніший рівень індустріалізації та економічного розвитку країни. Наприклад, у США, Японії, ФРН доля листової продукції у загальному об'ємі виробництва прокату складає 55...67%. Найбільш висока доля споживання листового металу в електротехнічній промисловості (більш 80% від загального споживання прокату), машинобудуванні для легкої та харчової промисловості (більш 65%), у автомобілебудуванні і у сільгоспмашинобудуванні і у суднобудуванні.

В різних галузях промисловості розширилось застосування тонких листів із спеціальними покриттями для виготовлення корозійно-стійких деталей (оцинковані, освинцьовані, алюміновані листи), листову сталь з покриттям із полівінілхлориду, поліетилену та ін. органічних матеріалів. Із листової сталі в широких масштабах виготовляють зварні труби, гнуті профілі, предмети побутової техніки. Листову і штабову сталь отримують на станах гарячої та холодної прокатки, розмір яких характеризує довжина бочки валків. При цьому максимальна ширина листів (штаб) складає 0,85...0,9 від довжини бочки валків. Умовно листову продукцію розподіляють за товщиною (мм) на декілька груп: плити - > 50 ; товсті листи (штаби) - 4...50; тонколистова сталь - 0,5...3,9; жерсть - 0,08...0,36; фольга - $< 0,07^*$.

Товсті листи прокатують із зливків і слябів у гарячому стані на реверсивних станах з послідовним розташуванням 2-3-х клітей. Довжина бочок валків таких станів - $L = 2000...5500$ мм. На цих же станах прокатують і плити товщиною $h = 50...200$ мм. Товстолистову сталь з товщиною $h = 4...16$ мм і шириною до 2300 мм прокатують із слябів на станах з послідовним розташуванням клітей; на неперервних станах при температурах гарячої деформації ($1200...850^{\circ}\text{C}$). Тонколистову сталь з товщиною $h = 1,2...3,9$ мм у гарячому стані прокатують на неперервних широкоштабових станах, на реверсивних станах з пічними моталками і на планетарних станах. Тонколистову маловуглецеву сталь з $h = 0,5...2$ мм прокатують у холодному стані із гарячекатаних штаб у рулонах на неперервних (безперервних) і реверсивних станах з чотирьохвалковими клітями. Штаби із легованої сталі - на реверсивних багатовалкових станах.

*)Сосковец О.Н. Специализация прокатного производства / Сосковец О.Н., Нестеров Д.К., Мазур В.Л., Калужный В.В. и др.-М.:Машиностроение, 1995.-Т.1748с.;Т2-312с.;Т3-506с.

Жерсть з $h = 0,08...0,36$ мм прокатують у холодному стані із маловуглецевої сталі на неперервних 4-6 – клітьових станах, а фольгу ($h = 0,001...0,07$ мм) – на багатовалкових реверсивних станах.

Ширина штаб (листів) зумовлена їх товщиною і розміром стана. При цьому, чим менша товщина штаби, тим менша допустима максимальна її ширина. Наприклад, штаби товщиною $h = 0,45...0,5$ мм прокатують на реверсивних і на неперервних станах з чотирьохвалковими клітьми з максимальною шириною $B = 1020$ мм.

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 $H = 650...850$ мм; ширина $B = 1000...2500$ мм; маса $G = 10...45$ т. Із цих злиwkів прокатують сляби із розмірами: товщина $h = 150...300$ мм, ширина $b = 900...2200$ мм, довжина $L = 10...15$ м. В Україні працюють два слябінга в містах Запоріжжя і Маріуполь і один блюмінг – слябінг в м. Алчевськ, які прокатують сляби шириною $900...1500$ 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 ~ 97% злиwkів завантажують у колодязі у гарячому стані при $t = 600...900^{\circ}\text{C}$. Максимальну температуру посадки в останній час збільшують до ~ 1000°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

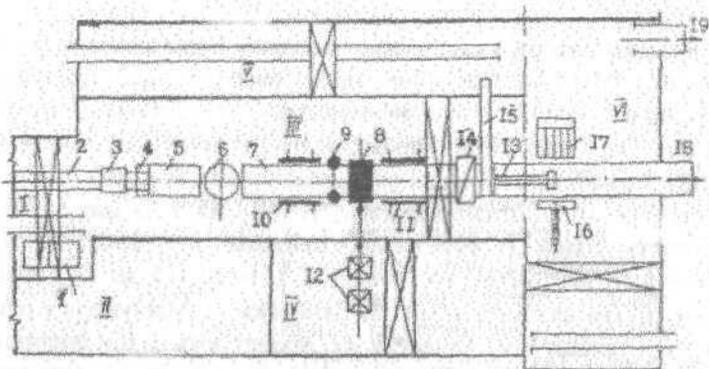


Рис.1.1. Схема розташування обладнання слябінга: I-проліт нагрівальних колодязів; II-проліт контрольно-вимірювальної апаратури; III-проліт стана; IV-машинний зал; V-скрапний проліт; 1-нагрівальні колодязі; 2-плях зливковозу; 3-зливковозний візок; 4-перекидач; 5-приймальний рольганг; 6-поворотний стіл; 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-конвейєр обрізків; 16-зштовхувач; 17-штабелювальний пристрій; 18-рольганг до неперервного стана ШСГТ; 19-рольганг до печей ШСГТ

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 ($\sim 1450^{\circ}\text{C}$). Температура камери при томлінні дорівнює $1300\text{...}1390^{\circ}\text{C}$. При нагріванні зливків конструкційної низьколегованої сталі (12ГС, 09Г2Д, 10ХНДП і т.п.) температуру камери знижують порівняно з приведеною вище на $30\text{...}50^{\circ}\text{C}$. При холодній посадці цих зливків температуру камери знижують до 700°C , а після посадки швидкість підйому температури камери не більш як $70\text{...}80^{\circ}\text{C}/\text{год}$ 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 $1200\text{...}1220^{\circ}\text{C}$. 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 $1200\text{...}1220^{\circ}\text{C}$, а вуглецеві ($0,45\text{...}0,65\%$ С) і леговані сталі з сумарним складом Si, Mn, Cr та інших елементів ($>2\text{...}3\%$) – при температурах $1140\text{...}1160^{\circ}\text{C}$ [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 рольгангу 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 обрезає 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 рольганге 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 рівний

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

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.

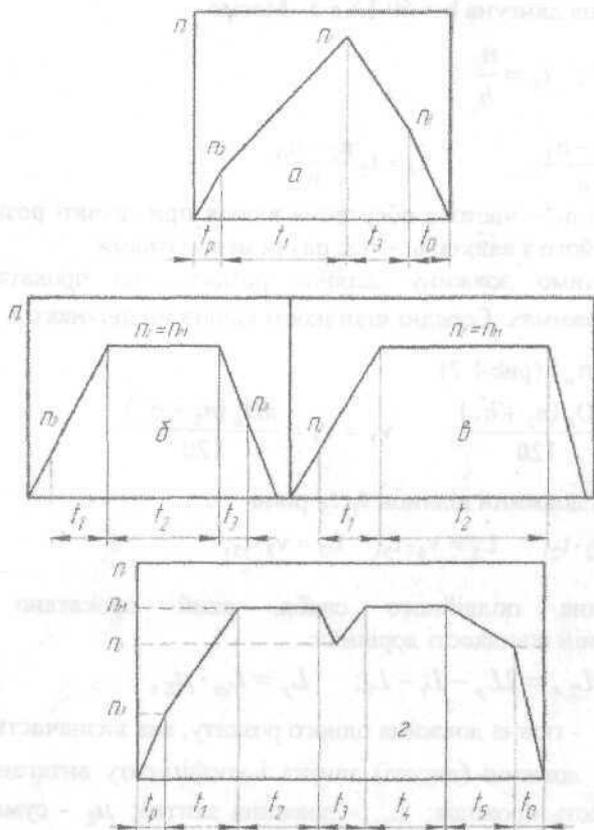


Рис.1.2. Схеми швидкісних режимів роботи слябінгу при прокатуванні одного (а-в) і двох (г) розкатів.

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

$$t_1 = \frac{n_3}{a_1}; \quad t_0 = \frac{n_B}{b_0};$$

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

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] $t_{ПС} = 1,5 \dots 2,5$ з, а між парами злитків – $t_{ПС} = 4 \dots 7$ с. Сумарний час прокатки злитків (темп прокатки) визначається для всіх проходів таким чином:

$$T = \sum t_M + \sum t_{П};$$

$$\sum t_{П} = t_2 + t_3 + t_4 + t_5; \quad \sum t_{П} = t_{ПР} + t_{ПС} \quad (1.3)$$

де $t_{П}$ - 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 $\alpha_1, \alpha_2 - \alpha_i$ - 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 обрєзь

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.

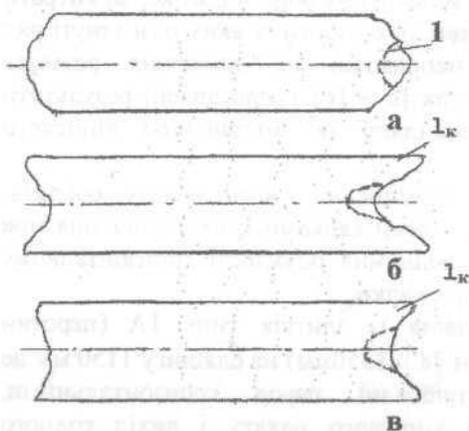


Рис. 1.3. Форми кінцевих ділянок сляба після прокатки: у горизонтальних валках (а), у вертикальних валках (б) і при сумісному прокатуванні в горизонтальних і вертикальних валках (в) (1 – усадочна раковина).

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

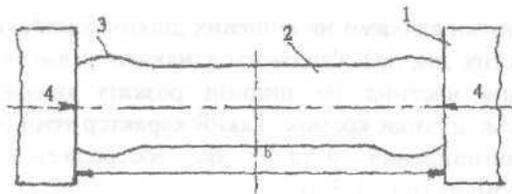


Рис. 1.4. Схема обгиснення розкату (сляба) вертикальними валками: 1 – вертикальні валки; 2 – розкат (сляб); 3 – красний наплав по висоті розкату; 4 – напрямки обгиснення розкату.

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 (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.

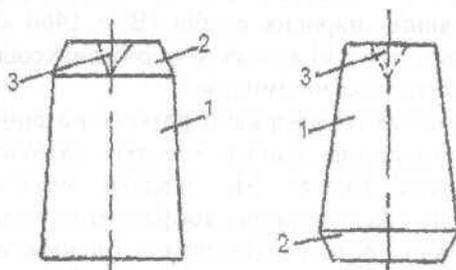


Рис 1.5. Форма злитка : 1 – злиток; 2 – конусність; 3 – усадочна рихлість

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.

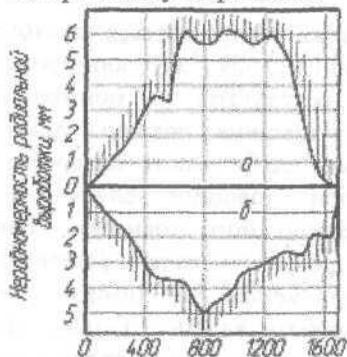


Рис.1.6. Нерівномірність вироблення горизонтальних валків слябінга:
а – верхній валок ($G = 488200$ т);
б – нижній валок ($G = 546200$ т)

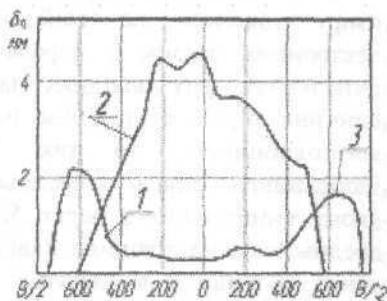


Рис.1.7. Поперечна різновтовщинність слябів: 1 - 160x1400 мм (нові валки); 2 - 120x1200 (зношені валки); 3 - напливи на поверхні сляба від обтиснення вертикальними валками

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

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

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 стана 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

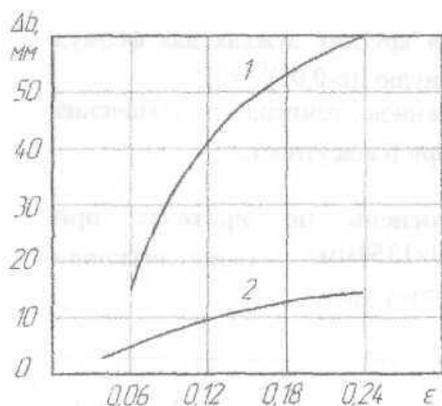


Рис.1.8 Зміна розширення металу при деформації в горизонтальних валках слябінгу 1150: 1 - непарні проходи; 2 - парні проходи

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 разу 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 160x1350мм

№ 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:

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

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

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

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)

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

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

2 ВИРОБНИЦТВО ТОВСТИХ ЛИСТІВ

2.1 Конструкції листових клітей

Устаткування толстолістових станів включає різноманітні агрегати і пристрої, але основним агрегатом, що здійснює пластичну деформацію злитка (сляба) в лист, є прокатна кліть [12-15, 18, 19, 65]. На першому етапі застосовували двохвалкові і тривалкові кліті Лауга (рис. 2.1). Двохвалкові кліті не забезпечували отримання листів з невеликою поперечною різнотовщинністю. Тому вони були замінені тривалковими клітьми тріо – Лауга, які мали приводні верхній I і нижній 3

валки з діаметром 600...1000 мм і середній холостий валок з діаметром на 200...350 мм менше. Для історичної довідки стисло наведемо спосіб прокатки на цьому стані. При задаванні розкату 9 у валки (непарний прохід) столи 4 і 6 знаходяться в нижньому положенні, а середній валок 2 – у верхньому, притиснутим до верхнього опорного валка 1. Після обтиснення розкату у валках столи за допомогою приводних штанг 7 піднімають вгору, а середній валок за допомогою штанг 8 опускають вниз і він спирається на нижній опорний валок 3. Верхній валок 1 опускають за допомогою електромеханічних нажимних пристроїв, встановлюючи при цьому необхідний зазор. Після цього розкат задають у валки на верхньому рівні (парний прохід). У наступному непарному проході розкат задають у валки в нижньому горизонті і так повторюють до отримання необхідної товщини листа. На станах тріо – Лаута ширина сляба (злитка) завжди менше ширини готового листа. Тому листи необхідної ширини одержували методом розбиття сляба (злитка) "на кут" (рис. 2.2). При прокатуванні «на кут» відбувається витягання як ширини так і довжини сляба, а величина витягання залежить від кута α . З метою швидкого розбиття ширини кут завдання приймають рівним 20...30°.

Істотна перевага такого способу прокатки полягає в тому, що задавання сляба (розкату) «на кут» забезпечує плавне збільшення навантаження на двигун приводу і деталі кліті, що дуже важливо при прокатуванні на тривалкових станах, де швидкість валків складає $v = 2...2,5$ м/с і вона незмінна. До недоліків прокатки "на кут" відносять: трудність установки кута, який задано для завдання розкату, що не забезпечує точність розмірів при розбитті ширини, і спотворення прямокутної форми початкової заготовки. Необхідність контролю ширини розкату приводить до збільшення циклу прокатки, що знижує продуктивність кліті. Спотворення прямокутної форми розкату після першого пропуску усувають завданням розкату у валки іншим кутом, тобто на іншу діагональ.

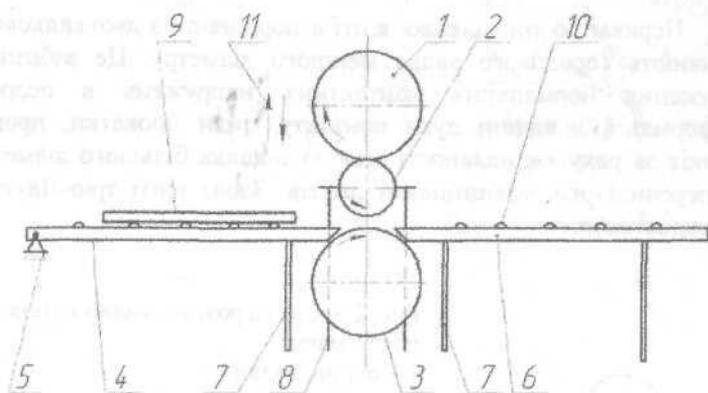


Рис. 2.1. Схема тривалкового стану Лаута: 1, 3 – приводні валки великого діаметру; 2 – середній холостий валок; 4 – підіймно-коливальний стіл; 5 – опора; 6 – паралельно-підіймний стіл; 7 – штанги підйому столів; 8 – штанга підйому і опускання середнього валка; 9 – розкат; 10 – ролики; 11 – напрям переміщення верхнього валка для зміни зазора між валками

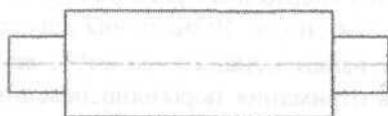


Рис. 2.2. Схема прокатки сляба "на угол"



При цьому кут задавання повинен бути приблизно таким же, інакше спотворення форми не буде виправлено. На практиці кути встановлювали з деякою погрішністю,

тому отримання правильної форми розкату і точності розмірів багато в чому залежить від досвіду вальцівників і операторів. Крім того, на точність істотно впливає нестабільність розмірів початкової заготівки, коливання технологічних параметрів процесу прокатки і ряд інших чинників.

Перевагою тривалкової кліти в порівнянні з двохвалковою є наявність середнього валка меншого діаметру. Це забезпечує зниження нормальних контактних напружень в осередку деформації, довжини дуги контакту, сили прокатки, прогину валків за рахунок наявності опорного валка більшого діаметру і поперечної різновтовщинності листів. Зараз кліти тріо-Лауга не використовують.

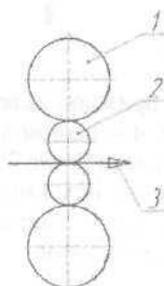


Рис. 2.3. Схема розташування валків в кліті кварто:

- 1 – опорні валки;
- 2 – робочі приводні валки;
- 3 – лист

Наступним кроком у вдосконаленні конструкції листових клітей було створення чотиривалкової (реверсивної) кліти (кліти кварто) (рис. 2.3).

У кліті кварто два приводних робочих валка мають менший діаметр, ніж опорні. Відношення діаметрів складає $D_{\text{ОП}}/D_{\text{РАБ}} \approx 2...3$. Робочі валки меншого діаметру, як і в кліті тріо-Лауга, забезпечують отримання порівняно невеликих величин сили прокатки, а опорні валки створюють високу жорсткість системи і зменшують прогин робочих валків, дозволяють прокатувати листи товщиною менше 4 мм і невелику різновтовщинність листів. Прокатка в цій кліті відбувається в реверсивному режимі і після кожного проходу зменшують зазор між валками за рахунок опускання верхньої пари валків. Перед і після кліти лист переміщається по рольгангам. Перед кліттю передбачені пристрої для кантовки (у площині рольганга) і центрування розкату. В даний час у складі толстолистових станів є одна кліть з вертикальним розташуванням валків і дві кліти кварто.

2.2 Характеристика толстолистового металу

Вимоги споживачів товстого листа до його якості полягають в поліпшенні зварюваності, підвищенні напруження течії і ударної в'язкості при низьких температурах, зменшення допусків на розміри і форму листів, а також на ряд інших параметрів, які регламентуються стандартами і технічними умовами на постачання.

Останнім часом помітна тенденція збільшення виробництва листів з низьколегованих високоміцних сталей, величини напруження течії ряду з них дані нижче [15]:

Марка сталі	Напруження течії, Н/мм ²
16Г2АФ	440
18Г2АФПС	440
17Г2СФБ	490
17ХГ2САФ	540
14Х2ГМ	588
14ГНМ2	784

Напруження течії і вигину для вуглецевих і низьколегованих сталей у вітчизняних і зарубіжних стандартах однакові. У стандартах низки країн західної Європи (ФРН, Франція і ін.) визначені три групи листової сталі по товщині: до 3 мм - тонкі, від 3 до 4,75 мм - середні, більше 4,75 мм - товсті. У діючій класифікації України умовно прийнято розділяти листи на тонкі (менше 4 мм) і товсті (більше 4 мм).

Передбачаються також допуски по товщині листів залежно від їх товщини і ширини. При цьому, чим більші ширини і товщини, тим більше абсолютні значення допуску. У частковому відношенні максимальний допуск на товщину для листів шириною 1500...1700 складає:

$h=5,5...12\text{мм}$:

+2,5...4,5%;

-6,5...11%;

$h=40...50\text{мм}$:

+1,2...1,5%;

-2,4...3%;

$h=25...30\text{мм}$:

+1...1,2%;

-3...3,6%;

$h=120...160\text{мм}$:

+1,2...1,4%;

-2,7...3,2%;

Більший мінусовий допуск по товщині передбачає можливість економії металу при виробництві листів і виготовленні з них виробів.

Граничні відхилення по ширині складає для листів товщиною:

$h=12-60\text{ мм}$ - 25 мм;

$h=60-100\text{ м}$ - 50 мм;

$h=100-160\text{ мм}$ - 75 мм.

Стандарти передбачають жорсткі вимоги, що пред'являються до площинності листів залежно від товщини і ширини (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Максимальні відхилення на метр довжини амплітуди площинності (А) гарячекатаних листів для сталей з межею міцності до 700Н/мм^2

Група площинності	"А" при ширині листів, мм	
	1000...1500	≥ 1800
Особливо висока (ПО)	5	8
Висока (ПВ)	8	10
Поліпшена (ПУ)	12	15
Нормальна (ПН)	15	20

2.3 Технологія прокатки на стані 3000 Алчевського металургійного комбінату

На Алчевському меткомбінаті з 1955р. працював толстолистовий стан (ТЛС) 2800. В 2004-2006рр. цей стан реконструювали у стан 3000 зі зміною класифікації його сортаменту (рис.2.4) [86].

Стан призначений для прокатки листів із вуглецевих і низьколегованих сталей товщиною 6...50 мм, шириною 1500...2800 мм і довжиною до 24 м. Початковими заготовками служать сляби товщиною 200-250-300мм, шириною 1000-1500мм, 1500-2300мм і масою до 7,5т, які получують на машинах безперервного ліття заготовкой (МБЛЗ). Марочний сортамент стана 3000 включає такі групи марок сталей:

- сталь листовая для зварних труб товщиною до 20мм;
- сталь листовая для суднобудування;
- сталь листовая конструкційна;
- сталь листовая низьколегована;
- сталь листовая котельна.

Вимоги при точності геометричних розмірів листів:

- допуск по товщині, мм:

при ширині листів $B \leq 2100$ мм - 0,1;

при ширині листів $B > 2100$ мм - 0,15 мм;

- допуск по ширині, мм - 0...20;

- допуск по довжині, мм - 0...50;

- різновтовщинність, мм:

при ширині $B \leq 2100$ мм - 0,1

$B > 2100$ мм - 0,15.

На стані встановлено таке обладнання:

- сучасна чорнова і чистова кліті кварто с довжиною бочки робочих валків 3000мм. Кліті мають гидронатискні устроїства, гидравлічні механізми урівноваження валків, механізми зміни робочих і опорних валків, які приводять в обертання два електродвигуна, потужністю по 4600кВт ("Alstom", Німеччина);
- устаткування дільниці для контрольованого охолодження підката (байпаса), який розтошовано між

чорною і чистою клітями. В його склад входять передавальні пристрої, охолоджувач і обвідний рольганг;

- устаткування контрольованого охолодження (УКО);
- листоправильна машина для горячої правки;
- устаткування дільниці стелажа-охолоджувача №1;
- кромкокрошильні ножиці лівого та правого потоку;
- системи гідравлічного видалення окалини, охолодження валків.

Технологічний процес прокатки здійснюється таким чином [2,12-16,18,19,22].

Сляби, які поступають на склад, оглядають і піддають вогневому зачищенню для усунення поверхневих дефектів. Потім сляби поступають у нагрівальні печі для нагрівання. В залежності від марки сталі температура нагрівання металу знаходиться у межах 1200...1230⁰С. Нагріті сляби подають у першу кліть, де здійснюють обтиск у межах 15...50 мм для руйнування окалини; потім обтиск у цій кліті можна здійснювати у відповідності з прийнятою схемою прокатки. Для усунення окалини застосовують гідрозбив після першої кліті. Тиск води при цьому 14...16 МПа.

У чорновий реверсивній кліті кварто розкат прокатують по спеціальному режиму до отримання необхідної ширини(див. нижче). Прокатка в чорновій кліті ведеться за 5 – 11 проходів (чим тонший лист, тим більше проходів). Після досягнення необхідних чорнових розмірів розкат рольгангом транспортують в чистову кліть, в якій за 5 – 9 проходів прокатують до необхідної товщини листа. У чистовій кліті режими обтискнень визначають, виходячи з умов отримання потрібних кінцевого профілю і механічних властивостей металу. Чистова кліть кварто також є реверсивною і в ній здійснюється тільки поздовжня прокатка.

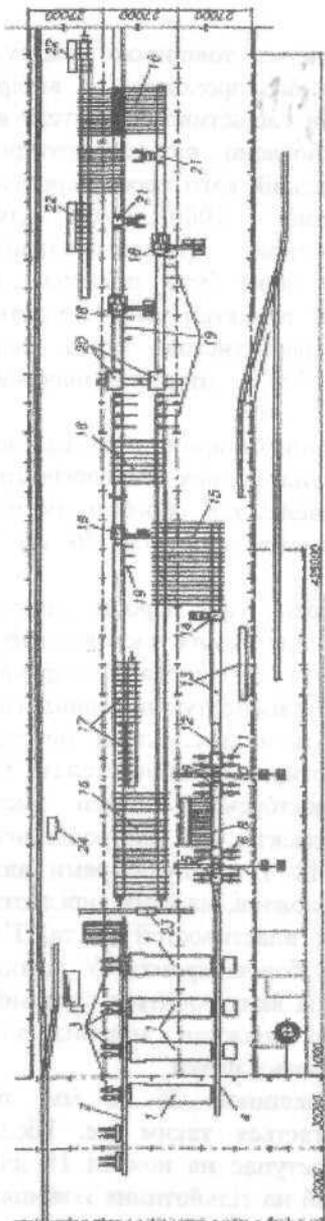


Рис. 2.4. Схема розташування обладнання трьохкільцевого стана 3000: 1- нагрівальні печі; 2-рольганг завантажувальний; 3-товкачі; 4-транспартувальний рольганг; 5-робочий рольганг; 6-маніпулятор; 7-чорнова кліть кварто; 8-охолоджувач; 9-робочий рольганг; 10-чистова кліть кварто; 11-маніпулятор; 12-рольганг розкатний; 13-присрій контрольованого охолодження розкату; 14-лістоправильна машина горячої правки; 15-стелаж-охолоджувач; 16-шлепер-охолоджувач; 17-контувач листів і передавальний пристрій; 18-ножиці з нахилними ножами; 19-маніпулятор; 20-дисккові ножиці; 21-лістоправильна машина; 22-лістоукладач; 23-передавальний візок; 24-ваги.

Температура прокатки визначається товщиною розкату, який видається із кожної кліті (кожного проходу), і її вибір заснований на дослідженнях пластичних властивостей металу в кінцевому профілі. Практикою встановлено, що температура початку прокатки у чистовій універсальній кліті перед першим проходом повинна бути не менше 1000°C , але для товстолистої сталі з обмеженою (максимальною) температурою кінця прокатки вона може бути знижена до 950°C . Мінімальна температура кінця прокатки тонких листів повинна бути не нижче 720°C (товстолистова сталь, яка прокатана при температурі нижче 700°C , отримує значний наклеп).

Готовий профіль певної товщини і ширини поступає до обробки на обладнанні, яке розташовано на двох технологічних лініях потоку. Перша лінія призначена для обробки листів товщиною 6...25 мм, друга – для листів товщиною 26 мм і більше.

Розглянемо технологічні операції при обробці листів товщиною від 6 до 25 мм. Готовий лист після чистової кліті поступає до правильної машини 14, яка призначена для гарячої правки листів. Потім за допомогою транспортуючих ланцюгів роликів типу 15 листи поступають на другу лінію потоку металу. Далі лист передається на чотирьохсекційні стелажі 6. Кантувачами листів 17 на інспекторському столі лист повертають на 180° для виявлення дефектів. На лінії рольганга встановлений, гільйотинні ножиці 18 з маніпуляторами для поперечного різання листа і скрапні ножиці, на яких вирізають проби для дослідження механічних властивостей листа. На дискових ножицях 20, де обрізують бокові кромки. У потоці встановлені гільйотинні ножиці 18, на яких робиться кінцевий поперечний розріз листів на мірні довжини, машина для правлення листів і потім листи складують у пачки.

Якщо постачається лист товщиною 26...50 мм, то технологічний потік металу зберігається таким же. Після гільйотинних ножиць 18, 20 лист поступає на ножиці 18 для обрізання бокових кромки. Розрізаний на гільйотинних ножицях 18, 20 лист передають у проліт готової продукції.

Нижче приводиться коротка характеристика обладнання.

Нагрівальні печі – методичні, чотиризонні, двохранні, з нижнім підігрівом, торцевим поданням і виданням слябів. Корисна площа поду 6,15x30,275 м (186 м²). Печі працюють на суміші коксового і доменного газів з теплоото горіння 6,3 МДж/м³; повітря підігривається до 500⁰С в керамічних рекуператорах. Глісажні труби охолоджуються водою, яка на виході має температуру не вище 40⁰С.

Чорнова чотирьохвалкова кліть – реверсивна. Кожний валок приводиться до обертання від електродвигуна потужністю 2170 кВт з числом обертів 0-30-60 за хвилину. Діаметр робочих валків – 1000 мм, опорних – 1650 мм. Валки виготовляють із сталі 60ХН. Натискний пристрій верхнього валка має індивідуальний електродвигун на кожний натискний винт. Максимальна швидкість руху верхнього валка – 50 мм/с. Для відтискування натискних гвинтів під навантаженням кліть обладнана гідравлічним відтискуючим пристроєм. З обох сторін кліті установлені лінійки маніпулятора.

Чистова чотирьохвалкова кліть. Горизонтальні валки приводяться до обертання від двох електродвигунів потужністю по 4600 кВт і числом обертів 0-60-120 в хвилину. Діаметр робочих валків – 900 мм, опорних валків – 1650 мм. Довжина бочки опорних валків – 2800мм, і робочих валків – 3000 мм. Матеріал опорних валків – сталь 60 ХН або 60 ХГ, робочих – чавун з відбіленим поверхневим шаром товщиною ~ 20 мм на радіус.

Натискний пристрій.	Кліті	ТЛС	мають
електромеханічні (ЕМНП) і гідравлічні (ГНП) пристрої, а також віджимні пристрої (ОП) [65, 87]			натискні
характеристиками:	ГНП	ЕМНП	
Сила прокатки, МН.....	48-50	30-60	
Швидкість переміщення, мм/с.....	5-40	1-1,5.	

Більша швидкість переміщення ГНП дозволяє оперативно змінювати міжвалковий зазор для впливу на товщину листа з метою підвищення її точності. Сучасні чотирьохвалкові кліті обладнують установками гідравлічного

противигину робочих валків для регулювання площинності листів.

Гільйотині ножиці поперечного різання призначені для листів товщиною до 50 мм, зусилля різання – 6,0 МН, швидкість різання - 13 ходів за хвилину. Дискові ножиці застосовують для обрізання дефектних бокових кромки при товщині листів 6...30 мм із швидкістю 0,415...0,883 м/с. Приблизно 80...90% товстих листів піддають термічній обробці з метою поліпшення структури і механічних властивостей металу (нормалізація, відпал, відпуск, загартування, загартування з відпуском).

Правильні машини розраховані на правку товстих листів товщиною від 6 до 50 мм. Швидкість правки машини 0,4...0,95 м/с. Окрім робочих, правильні машини мають і опорні ролики.

2.4. Технологія прокатки на товстолистовому стані 3600

Сучасні товстолистові стани характеризуються широким сортаментом листів, високою продуктивністю і точністю їх прокатки. Будівництво товстолистових станів зумовлено попитом на великогабаритні листи, основними споживачами яких є:

- судобудівна промисловість, яка виробляє танкери водотоннажністю більше 100 тис. т;
- мостобудування, яке потребує для довгопролітних мостів великогабаритні листи із високоміцної сталі з границею текучості 600...800 Н/мм²;
- енергетика, яка застосовує високоміцний лист для кожухів ядерних реакторів і низьколегований лист для котлів реакторів;
- виробництво нафто- і газопровідних труб великого діаметра;
- виробництво цистерн, ємкостей і т.п.

Товстолистовий стан 3600 (рис.2.5) (металургійний комбінат «Азовсталь»), має одну вертикальну і дві чотирьохвалкових кліті з горизонтальними валками (табл. 2.2). Стан прокатує листи і плити розміром $h = 5...200$, $b = 2000...3400$

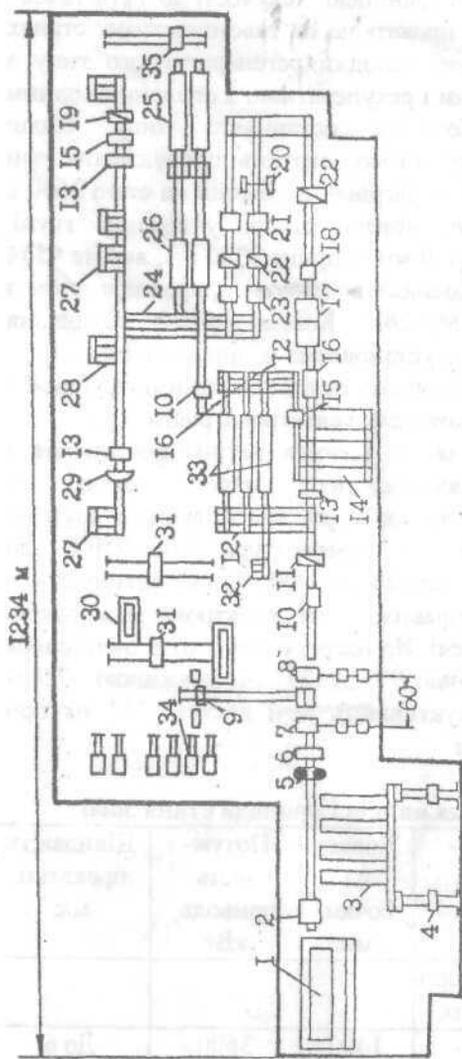


Рис. 2.5. Схема розташування обладнання стана 3600 металургійного комбінату «Азовсталь»: 1-нагрівальні колодязі; 2-стаціонарний перекидач; 3-методичні печі; 4-візки для слябів; 5-кільце з вертикальними валками; 6-камера гідрозбиву; 7-чорнова кліть; 8-чистова кліть; 9-візки для плит; 10-роликів машина для гартування; 11-ножиці гарячого різання; 12, 24-шлепер передаточні; 13; 15-правильні машини; 14-холодильник; 16-установки прискореного охолодження; 17-інфекційний стелаж з кантувачем; 18-дефектоскопи; 19-ножиці для відбору проб; 20-ножиці дискові; 21-ножиці кромкообрізи підвоєні; 22-ножиці дилільні; 23-маркирувальний пристрій; 25; 26-термічні печі; 27-кармани; 28-завантажувальний пристрій; 29-ножиці з "Гусиним" полем; 30-установки газового різання; 31-правильний прес; 32-стелаж; 33-печі для нормалізації; 34-камерні печі; 35-візки передаточні.

мм, довжиною до 28 м із литих або катаних слябів $H = 110...350$ мм, $B = 1110...1900$ мм, довжиною 2300...3400 мм і масою 2,2...37 т із сталей з границею текучості до 1170 Н/мм². Для нагріву злитків перед прокаткою на товстолистових станах використовують нагрівальні колодязі регенеративного типу з опаленням із центру подини і рекуперативні з опаленням одним верхнім пальником. Колодязі останнього типу більш продуктивні і мають саму низьку вартість спорудження при великій місткості камер. Для нагрівання злитків на стані 3600 є чотири групи колодязів по чотири камери у кожній групі. Довжина камери по осі 9850 мм, ширина 3330 мм, висота 4564 мм, площа поду 32,5 м². Колодязі опалюють природним газом з теплою горіння 34,4 МДж/м³. Кожна камера обладнана інжекційною горілкою, яка установлена в торцевій стіні. Для нагріву слябів використовують печі з глісажними трубами, з крокуючими балками, а також печі з електронагрівом.

Одним із прогресивних методів нагрівання злитків і слябів, особливо високоміцних марок сталі, є електронагрівання. Часто електронагрів застосовують у другому періоді нагрівання слябів з температури 900...950⁰С до 1220...1250⁰С. Нагрівання слябів до 900...950⁰С виконують в методичних печах. Як правило, для електронагріву слябів застосовують індукційні печі. На нагрів одного холодного сляба товщиною 305 мм, шириною 905...1525 мм, довжиною 7,9 м витрачається 53 хв. Продуктивність печі досягає 550 т/г при темпі видання слябів – 3 хв.

2.2. Характеристика валків і привода стана 3600

Кліть	Діаметр валків, мм		Довжина бочки, мм	Потужність привода, кВт	Швидкість прокатки, м/с
	робочих	опорних			
Вертикальна	900	-	1400	3600	До 6
Чорнова	1130	1800	3600	2x6290	До 6
Чистова	1030	1800	3600	2x8800	До 8

Перевага печей електронагріва порівняно з печами звичайного типу заключається в зниженні угару металу до 0,8% (замість ~ 1,5% в газових печах), зменшенні товщини безвуглецевого шару на слябі, зниженні витрат енергії на нагрів.

Печами з крокуючими балками (рис. 2.6) обладнано ТЛС 3000 меткомбината м. Маріуполя. Печі з крокуючими балками мають в порівнянні з печами з глисажними трубами наступні переваги: вищу продуктивність, відсутність на слябах холодних ділянок («глисажних міток») і пошкоджених ділянок на поверхні внаслідок тертя о глисажні труби, можливість легкого розвантаження печі внаслідок її пошкодження або зупинки стана.

Проте, при однакових порівняльних параметрах штовхальної печі і печі з крокуючими балками продуктивністю 300 т/ч встановлено [13]: на печах з крокуючими балками витрата палива на 11%, а води на 80% більше, збільшення інвестицій на будівництво склало 15%. Піч з крокуючими балками на ТЛС 3000 має довжину 48,7 м, ширину 6,61 м і призначена для нагріву слябів 100...315×1100-1900 мм і довжиною 2,5...5,8 м. Максимальна маса сляба 13 т, а садка печі 680 т, продуктивність 210 т/ч (вуглецеві марки сталі) і 170 т/ч (низьколеговані). Завантаження печі дворядне. Транспортування слябів в печі здійснюється крокуючими балками. Рухомі і нерухомі балки виготовляють з товстостінних труб. Охолодження труб випарне. Для нагрівання слябів перед прокаткою на ТЛС застосовують методичні п'яти- і шестизонні печі продуктивністю 240...250 т/г. П'ятизонна піч меткомбінату «Азовсталь», яка встановлена на стані 3600, забезпечує нагрівання до температури $\leq 1260^{\circ}\text{C}$ слябів товщиною 130...350 мм, шириною 1100...1950 мм і довжиною 2000...3400 мм. Основні параметри печі: ширина печі 7,9 м, довжина печі за кладкою ~ 31,5 м, продуктивність при холодній посадці слябів - до 130 т/г.

Злитки масою до 37 т для прокатки плит товщиною $h \leq 200$ мм нагрівають в чотирьох групах нагрівальних колодязів з розмірами камер 9850×3300×4500 мм, а сляби в чотирьох методичних чотирьохзонних, дворядних печах з крокуючими

балками шириною 7,9 м, завдовжки 31,5 м і продуктивністю до 125 т/ч кожної.

Стан 3600 прокатує листи розміром $h = 5...50$ мм, $b = 2000...3300$ мм, довжиною до 28 м з литих або катаних слябів $H = 110...250$ мм, $B = 1110...1900$ мм, довжиною 2300...3400 мм і масою 2,2...37 т із сталей з границею міцності до 1180 Н/мм².

Нагріті до температур 1200...1250⁰С злитки або сляби прокатують у вертикальній кліті з обтиском 20...60 мм, якщо необхідно лише зламати окалину, і з більшими обтисками, якщо потрібно зменшити ширину початкового сляба. В чорновій кліті режим деформації і схему прокатки зумовлено необхідністю розбивки сляба (зливка) на ширину листа, який потрібен.

При цьому граничні величини обтисків визначаються умовами захвату розкату валками, міцністю валків і потужністю головного приводу.

Виходячи із умов захвату у перших проходах частота обертів валків 10...15 об/хв, а після захвату розкату відбувається прискорення двигуна до максимально можливої швидкості. Максимальний обтиск обмежує також існуюча міцність валків і потужність головного приводу. Виходячи із практичних даних максимальні обтиснення в чорнових клітях товстолистових станів старої побудови складають 28...30 мм (стані 2250 і 2800 Алчевського металургійного комбінату), а на нових станах (стан 3600 металургійного комбінату «Азовсталь») – 30...40 мм і більше за прохід (табл. 2.3-2.5).

Режим прокатки розділяється таким чином, щоб час прокатки в чистовій кліті був декілька менший, ніж в чорновій. У цьому випадку розкат просувається по рольгангам стана без затримання.

Стан 3600 випускає листи з різною термічною обробкою. Так, листи (плити) товщиною 60...200 мм після виходу із чорнової кліті 7 укладають на візок 9 і передають в камерні печі 34 з висувним подом, в яких роблять відпал листів. Після відпалу листи візками 31 передають на пристрій газового різання для поділу на мірні розміри і потім відправляють на склад готової продукції. Листи товщиною менше 50 мм піддають різним видам термообробки після виходу із чистової кліті 8. Після загартування на установці 10 на ножицях 11

обрізають кінці, піддають листи правленню на машині 13 і охолоджують на роликовому трьохсекційному холодильнику 14, через який проходить рольганг.

Листи, які піддають нормалізації після прокатки та відрізування кінців на ножицях 11 по передаточним стелажам 12 передають в прохідні печі 33, а після виходу із них листи по зворотним передаточним стелажам 12 попадають для правлення у машину 15 і на роликові холодильники 14. Із холодильника 14 листи передають на рольганг перед установкою повітряного охолодження 16, далі через інспекційний стіл 17 із кантувачем для розмічення дефектів, на установку 18 для дефектоскопії внутрішніх дефектів і далі за технологією.

Поперечний поділ листів виконують на ножицях 22, а відрізування кромки на дискових ножицях 20 ($h \leq 25$ мм) і на гільйотинних ножицях 21 для обрізування кромки. Маркировку листів виконують на установці 23, після чого готові листи по передаточним решіткам 12 спрямовують на пристрої 27, 28 для передачі на склад.

Листи після прокатки, правлення і різання передають по передаточним стелажам 12 до термічних печей, а після термообробки передаточним візком 35 пачки листів відправляють до складу готової продукції. Річне виробництво стана (проектне) складає 1,75 млн.т.

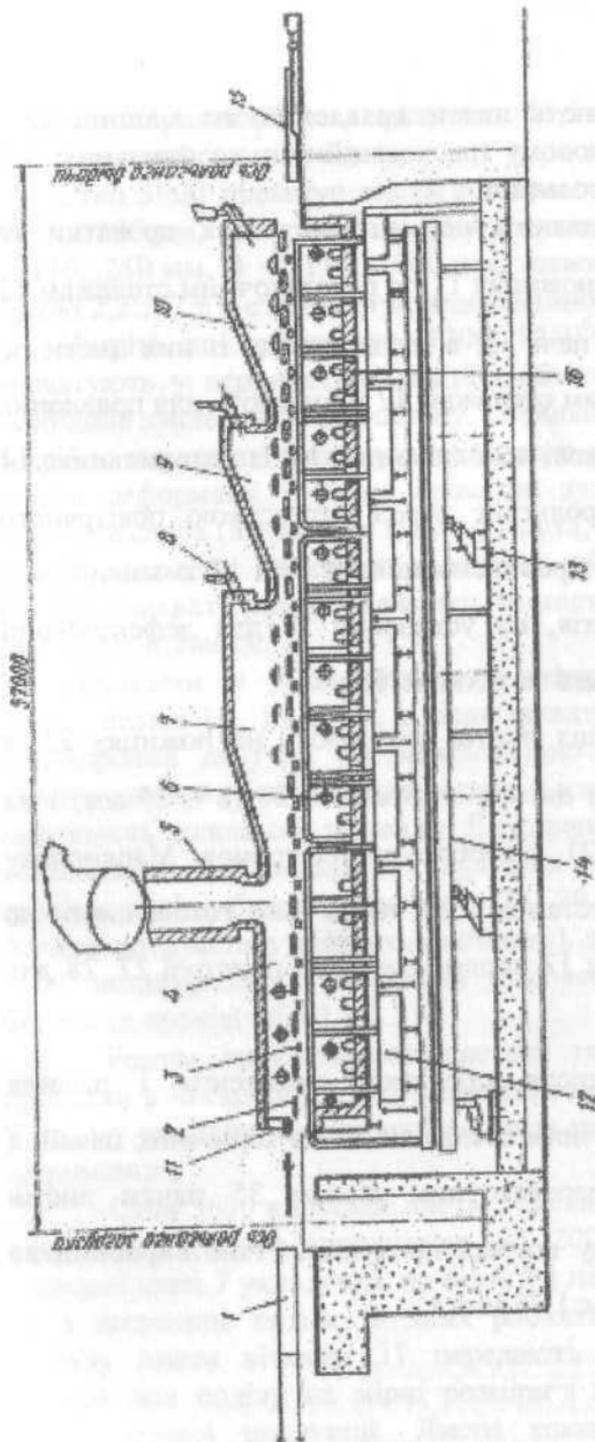


Рис. 2.6. Схема нагрівальної печі з крокуючими балками :

1 - штовхач слябів; 2 - нерухомих балок; 3 - рухомі балки; 4 - методична зона; 5 - димовідвід; 6 - бічний пальник; 7 - друга зварювальна зона; 8 - торцевий пальник; 9 - перша зварювальна зона; 10 - томильна зона; 11 - парова завіса; 12 - водяний затвор; 13 - механізм підйому крокуючих балок; 14 - пісочний затвор; 15 - механізм ненаголошеної видачі слябів; 16 - оглядове вікно.

Таблиця 2.4. Енергосилові і температурно-деформаційні параметри прокатки листів 19,8x2120 із сталі 08сп із слябів 240x1550x2300-2600 мм (температура кінця прокатки в чорновій клітці 1025-1040 °С, в чистовій клітці – 1010-1020 °С)

№ проходу	Чорнова кліть				Чистова кліть				
	Обтиснення, мм	Сила, МН	Момент кручення, МН·м	Частота обертання, об/хв	№ проходу	Обтиснення, мм	Сила, МН	Момент кручення, МН·м	Частота обертання, об/хв
1	15	24,0-27,0	3,0-4,0	29-33	1	14,6-16,6	26,0-27,0	2,10-2,50	75-82
2ж	15-35	26,0-30,0	3,7-4,4	28-36	2	11,8-12,0	27,0-28,0	1,80-2,40	80-82
3	17-25	23,0-30,0	2,6-3,1	31-38	3	8,1-8,5	24,0-26,0	1,20-1,40	85
4	33-34	27,0-28,0	4,0-4,4	34-36	4	4,7-5,2	20,0-21,0	0,95-1,05	85-87
5	30-32	28,0-30,0	3,45-3,9	23-37	5	2,2-2,4	16,0-17,5	0,65-0,75	87
6	28-30	31,5-33,5	3,9-4,2	36-37					
7	26-28	33,0-36,0	3,7-4,0	35-37					

Примітка: ширина розкату у проходах 1-3 чорнової клітці 2600мм, в решті проходів чорнової клітці і в чистовій клітці 2120мм

Таблиця 2.5. Енергосилові і температурно-деформаційні параметри прокатки листів 26,8×2920 мм сталі 09Г2С із слябів 200×1400×2300-2900 (температура кінця прокатки в чорновій кліті 1040-1070⁰С)

Чорнова кліть				
Номер проходу	Обтиснення, мм	Сила прокатки, МН	Момент кручення, МН·м	Частота обертання, об/хв
1	2	3	4	5
1	24-25	22,50-27,50	2,50-3,40	57
2	26-31	23,00-33,00	3,40-5,10	51
3	27-32	31,50-35,00	3,80-4,30	53
4к	20-22	27,50-31,00	3,15-3,50	55
5	25-26	39,00-42,00	3,40-3,60	50
6	17-19	36,00-41,50	3,50-3,50	53
Чистова кліть				
Номер проходу	Обтиснення, мм	Сила прокатки, МН	Момент кручення, МН·м	Частота обертання, об/хв
1	2	3	4	5
1	12,8-13,8	25,9-32,0	1,90-2,20	73
2	10	25,0-28,0	1,90-2,10	72
3	7	29,0-31,0	1,95-1,55	75
4	2,2	19,0-21,0	0,80-0,94	75
Примітка: Ширина розкату в проходах 1-3 чорнової кліті 2300-2290мм, в решті проходів чорнової кліті і у всіх проходах чистової кліті 2920мм				

2.5. Товстолистовий стан 5500

Найбільш потужні товстолистові стани з довжиною бочки 5500 установлені у Японії. Технічна характеристика подібних станів така [15,65]:

Максимальні розміри слябів (мм):	Параметри
товщина	100...300
ширина	2200...2400
довжина	2600...5600
Максимальна вага сляба, т	27...37,5
Розміри готових листів, мм	
товщина	5...200
довжина	< 60000
Продуктивність, млн.т/рік	1,8...3,60
Чотирьохвалкові кліті, діаметри валків, мм:	
робочі	1200...1230
опорні	2200...2400
Вага станини, т	365...380
Модуль жорсткості кліті, МН/мм	10...12
Потужність головного привода, кВт	2x6400; 2x8000
Швидкість прокатки, м/с	3...6,5
Стандартний допуск за товщиною, мм	0,1...0,15
Час зміни валків, хв	10...15

Схема розташування основного обладнання стана 5500 заводу в Мідзусімі приведена на рис. 2.7. Нагрівання слябів здійснюється у двох шестизонних печах з крокуючим подом, продуктивністю 220 т/год кожна. Корисна довжина печі 38 м, підігрівальної зони – 10 м. Печі – дворядні, опалюються газом і важким мазутом.

Сляби вивантажують з печі на рольганг за допомогою екстрактора. Перед прокаткою на стані метал проходить крізь пристрій для гідрозбивання окалини, сопла якого (35 шт.) розташовані у два ряди зверху і знизу. Тиск води складає 15...17 МПа. Станина зроблена опуклою угорі, величина прогину перерізу стійок прийнята рівною 30 мм (проте цей прогин фактично відсутній внаслідок наявності подушок опорних валків). Суцільнолиті станини мають масу 365...380 т кожна і модуль жорсткості кліті до 12 МН/мм, що в поєднанні із опорними валками діаметром 2400 мм, забезпечує мінімальну пружну деформацію. Опорні валки вагою 240 т кожний установлені у подушках рідинного тертя (ПРТ), а робочі – у подушках кочення.

На станах подібного типу установлюють електромеханічні і гідравлічні натискні пристрої. Натискні пристрої мають дві швидкості: при встановленні валків в паузах між проходами $v = 13...32$ мм/с і для регулювання товщини листа під час прокатки $v_H \approx 1...1,7$ мм/с [15]. Гідравлічний натискний пристрій працює при максимальній силі прокатки 100 МН. Отримання ширини листа (плити) забезпечується шляхом однієї із двох схем, які розглянуті на рис. 2.9. Зниження поздовжньої різнотовщинності досягається застосуванням гідравлічних систем автоматичного регулювання товщини, які мають в 10 раз більшу швидкість руху порівняно із електричною системою, що дає змогу регулювання відхилень, які виникають із-за ексцентриситету валків. Наявність автоматичної системи керівництва технологічним процесом та режимом обтисків, наявність необхідних вимірювальних пристроїв забезпечує максимальне відхилення за товщиною у партії листів не вище 0,05 мм, а поперечну різнотовщинність 0,03 мм. Листи, що прокатані, охолоджують на холодильниках з крокуючими балками загальною площею 5000...6800 м².

Товстолистові стани 5500 прокатують листи шириною до 5300 мм, однак кількість замовлень на такий широкий лист незначна. Одержання вузьких листів із подвійних широких економічно вигідно, так як не знижує продуктивність стана і зменшує коефіцієнт витрат металу. Для поздовжнього різання товстих листів агрегати обладнані дисковими або важільно-

коливальними ножицями. Особливістю сучасних роликотправильних машин для правки товстих листів є точне регулювання навантаження на ролики верхнього ряду, яке здійснюється за допомогою ЕОМ. Навантаження на ролики встановлюється автоматично за показниками товщиноміра. Існує незалежне регулювання навантажень на входних і вихідних роликах машин, регулювання кута нахилу верхніх роликів з метою усунення однібічної хвилястості. На станах установлюють машини для гарячої і холодної правки листів товщиною 4...60 мм.

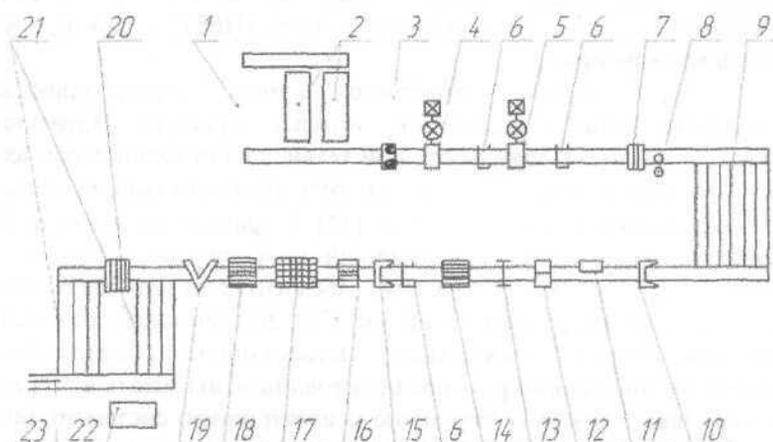


Рис. 2.7. Схема розташування основного обладнання стана 5500 заводу у Міндзусімі: 1-склад слябів; 2-нагрівальні печі; 3-окалиноламач; 4-чорнова кліть; 5-чистова кліть; 6-товщиномір; 7-машина гарячої правки; 8-пристрій для маркіровки; 9-холодильник; 10-ножиці для відрізання кінців; 11-пристрій для клеймування зразків; 12-пристрій для маркіровки; 13-ножиці для відрізання кромки; 14-агрегат поздовжнього різання; 15-ножиці для відрізання кінців; 16-пристрій для клеймування готових листів; 17-інспекторський стіл; 18-машина для наклеювання ярликів; 19-листоукладальник; 20-листопрямильна машина холодної правки; 21-шлеперна решітка; 22-ультразвуковий дефектоскоп; 23-склад готової продукції.

Математична модель управління процесом прокатки, враховує зміни профілю валків, пружні деформації кліті, теплове розширення, знос і інші чинники.

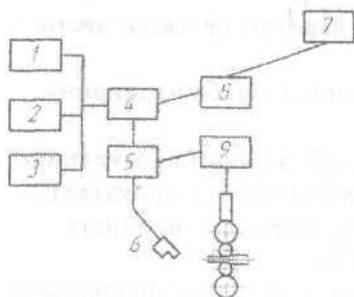


Рис. 2.8. Блок-схема регулювання профілю товстого листа:
 1 – математична модель профілю; 2 – програма розрахунку теплового розширення валків; 3 – програма розрахунку зносу валків; 4 – модель регулювання профілю; 5 – програма накопичення статистичних даних; 6 – вимірник поперечної різнововщинності; 7 – система видачі інформації; 8 – програма розрахунку режиму прокатки; 9 – програма визначення обгискання

На рис. 2,8 показана блок-схема регулювання профілю товстого листа. Паралельний пучок світла від щілинного джерела прямує на поверхню по всій його ширині. Зображення поверхні сприймається телекамерою. По одержаному зображенню безпосередньо визначається профіль листа за допомогою спеціального вимірника 6.

Товстолістові стани 5500 прокатують лист шириною до 5200мм, проте кількість замовлень на такий широкий лист незначна. Отримання вузьких листів з широких економічно вигідно, оскільки не знижує продуктивності стана і зменшує коефіцієнт витрат металу. Для поздовжньої різки товстих листів агрегати обладнані ножицями. Особливістю сучасних роликотправильних машин для правки товстих листів є точне регулювання навантаження на ролики верхнього ряду. Навантаження на ролики встановлюється автоматично за показниками товщиноміра. Існує незалежне регулювання навантажень на входних і вихідних роликах машин, регулювання кута нахилу верхніх роликів з метою усунення односторонньої

хвилястості. На станах встановлюють машини для гарячої і холодної правки листів товщиною 45 – 60 мм.

2.6 Способи розбиття ширини листа

У чорновій кліті можливі три варіанти прокатки листів із слябів: (рис. 2.9):

- поздовжня без розбиття ширини сляба на ширину листа ($b_{л}=B_{сл}$);
- при недостатній ширині сляба з одним кантуванням при розбитті ширини листа (поперечна прокатка);
- з двома кантуваннями при розбитті ширини листа (поздовжня прокатка)(рис.2.9).

Перший варіант використовують тоді, коли ширина листа і сляба співпадає за розмірами. Цей варіант найбільш продуктивний і забезпечує належну якість листів. Проте при великій різноманітності сортаменту листів по ширині, обмеженнях по довжині сляба і готового листа вимушені прокатувати листи з розбиттям їх ширини з сляба. Крім того, якщо лист прокатують із злитка, розбиття ширини обов'язкова.

При розбитті ширини листа з одним кантуванням сляб прокатують в два проходи уздовж довжини. Для отримання ширини листа, а потім проводять кантівку на 90° передньої сторони стана. Кантування розкату здійснюють поворотним столом або рольгангом з конічними роликками.

Причому, парні і непарні роликки цього рольганга обертаються при кантуванні в різні боки. Після кантування на 90° виконують прокатку до отримання заданої товщини в чорновій кліті. Такий спосіб називають поперечною схемою прокатки листа, оскільки ширина листа утворюється з довжини сляба (поз.1-5).

При розбитті ширини листа з двома кантуваннями (рис.2.9) в перших 2-х проходах сляб прокатують по довжині до отримання розміру $L_p \approx 0,85 L$ (L - довжина бочки валка) (протяжка) (поз.1-3). Потім розкат кантують на 90° і прокатують з допустимими обтисненнями і витяганням до отримання довжини розкату, яка дорівнює ширині майбутнього

листа b_d з припуском на кромки, що обрізаються (поз.4,5), знову кантують на 90° і прокатують в чорновій кліті до заданої товщини (поз.4,6).

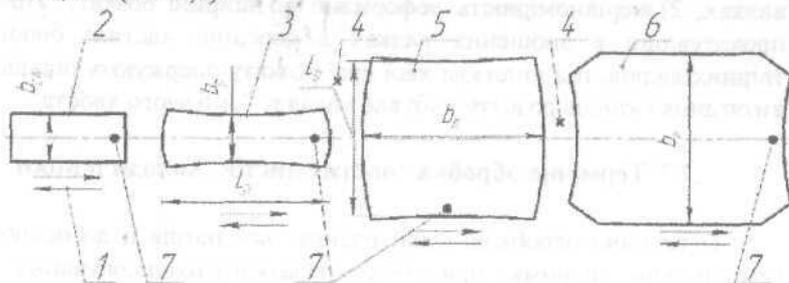


Рис. 2.9. Схема розбиття ширини листа з двома кантуваннями (поздовжня прокатка): 1 – напрям прокатки; 2 – сляб; 3 –розкат після витягання; 4 – кантування на 90° ; 5 – розкат після розбиття ширини листа b_d ; 6 – поздовжня прокатка на необхідну товщину розкату після другої кантовки на 90° ; 7 – головна частина сляба (усадкова рихлість)

На ряді станів перше кантування сляба виконують перед вертикальними валками в період прокатки попереднього розкату в чорновій кліті. Цей спосіб прокатки підвищує продуктивність стана на 10% в порівнянні із способом на рис. 2.9. Спосіб по рис. 2.9 одержав назву поздовжньої схеми прокатки, оскільки довжина листа виходить з довжини сляба.

Спосіб із одним кантуванням економічний меншою витратою часу на прокатку в чорновій кліті, оскільки є всього одне кантування, але дефекти, що залишаються в головній частині сляба виявляються на кромці і можуть залягати по ширині на глибину, яка більше ширини кромки, яку відрізають. Це приводить до збільшення відрізки по ширині і переведення листа в беззаказну продукцію. У варіанті 3 (поз.6) по рис. 2.9 дефектна ділянка розташовується на кінці листа і це забезпечує зниження додаткового відрізу. Не дивлячись на меншу продуктивність ця схема використовується при розбивки ширини листа. Розкати, які прокатані з одним кантуванням (поперечна схема), мають розширені кінці, а по поздовжній схемі звужені.

Форму торців розкату визначає два основні чинники: 1) закон найменшого опору, під впливом якого кінець розкату набуває опуклої форми ("язик") при прокатуванні на нових валках; 2) нерівномірність деформації по ширині розкату. При прокатуванні в зношених валках в середній частині бочок твірних валків, під впливом якої краї розкату одержують більше витягання і кінець розкату набуває вигляду "риб'ячого хвоста".

2.7 Термічна обробка товстих листів. Холодильники

Термічною обробкою сталі називається нагрів її до певної температури, витримка при цій температурі і охолодження з певною швидкістю. При цьому в сталі відбуваються структурні перетворення або знімаються напруження, що виникли при прокатуванні. Термічна обробка застосовується для додавання виробам необхідної структури, необхідних механічних і технологічних властивостей і поліпшення оброблюваності [13,15,16].

Термічно оброблена сталь має значно вищі властивості і експлуатаційні якості, чим звичайна гарячекатана. Тому бажано піддавати термічній обробці всю гарячекатану сталь. Більшу частку термічно оброблених листів часто складають листи, для яких термічна обробка не передбачена умовами постачання, але проводиться для виправлення механічних і технологічних властивостей.

Відповідно до вимог стандартів і технічних умов, а також на підставі заводської практики толстолистовая сталь піддається відпалу, нормалізації, високому відпуску і гарту з відпуском.

Повний відпал передбачає нагрів на 30 - 50°C вище за точку A_{c3} . Для товстих листів його застосовують рідко, унаслідок великої тривалості і підвищеного окалиноутворення. Повний відпал проводять тільки на вимогу замовника або при необхідності максимально зм'якшити метал, що має великий ступінь наклепання.

Неповний відпал здійснюється шляхом нагріву до температури між точками A_{c3} і A_{c1} . Застосовується цей відпал також для зняття наклепання і виправлення механічних властивостей. Температура і час витримки залежать від марки

стали, наявних і необхідних механічних властивостей, товщини (іноді і ширина) стопи. Після відпалу границя текучості знижується на 40...60 Н/мм², границя міцності - на 50 - 80 Н/мм², відносне подовження підвищується на 3...8% (абсолютних) і поліпшується проба на холодний загин; ударна в'язкість, як правило, погіршується із-за росту зерна.

Ізотермічний відпал проводиться шляхом нагріву металу вище за точку A_{c3} ($t = 940^{\circ}\text{C}$), потім швидкого охолодження до температури нижче за точку A_{c1} , при якій проводиться витримка і після чого охолодження на повітрі. По своїх результатах ізотермічний відпал аналогічний повному, але має значно меншу тривалість.

Дифузійний відпал іноді називають його таким, що також гомогенізує, здійснюється шляхом нагріву на 150...250⁰C вище за точку A_{c3} тривалої витримки при цій температурі і подальшого повільного охолодження. Основне призначення цього відпалу - вирівнювання хімічної і структурної неоднорідності металу, розчинення карбідів і усунення смужчатої структури товстих плит.

Низькотемпературний відпал здійснюється шляхом нагріву до 500...700⁰C, витримки при цій температурі і подальшого повільного охолодження. Низькотемпературному відпалу відповідає сповільнене охолодження листів в штабелі.

Відпуск найбільш поширений вид термічної обробки, полягає в нагріві до температури нижче за точку A_{c1} , витримки при цій температурі і подальшому швидкому або повільному охолодженні.

Основна перевага відпуску при $t = 450...700^{\circ}\text{C}$ перед іншими видами обробки полягає в тому, що після нього, при відносно невеликому зниженні міцності (15...30 Н/мм²), значно підвищуються пластичні властивості (подовження зростає на 2 - 6%, поліпшується проба на загин). Високий відпуск також використовується як обов'язкова завершальна операція після гарту і нормалізації високовуглецевої і легованої сталі. Основним видом термічної обробки товстих листів є нормалізація і гартування з відпуском (поліпшення).

Нормалізація полягає в нагріві листів до температури вище A_{c3} на 40...50⁰C з витримкою для завершення фазових

перетворень і подальшим охолодженням на повітрі. Нормалізація забезпечує подрібнення феррито-перлітної структури і тим самим підвищення пластичності і ударної в'язкості при нормальних і знижених температурах. Нормалізація підвищує також рівномірність і однорідність структури і властивостей металу в порівнянні з гарячекатаним.

Нормалізації доцільно піддавати листи товщиною до 15...20 мм, оскільки для листів з $h > 20$ мм ефект виявляється незначним із-за сповільненого їх охолодження на повітрі без спеціальних заходів по прискореному охолодженню.

Температура печі звичайно на 20...30 вище $^{\circ}\text{C}$ температур металу. Практично температуру нагріву встановлюють залежно від хімічного складу в межах марочного змісту елементів, керуючись емпіричними формулами для визначення вуглецевого еквівалента або суми змісту окремих елементів. Тривалість нагріву визначається необхідністю прогрівання металу до заданої температури і повного завершення процесів структуроутворення.

Технологічною характеристикою тривалості нагріву в практиці термообробки товстого листа прийнято питомий час нагріву, який звичайно виражається в хвилинах на один мм товщини листа. Для прогрівання листів достатньо питомий час 0,8...1 хв/мм, причому верхня межа рекомендується для тонших листів. Практично питомий час досягає 2 хв/мм і верхню межу застосовують для листів більшої ширини і товщини.

Швидкість охолодження визначає ступінь подрібнення і характер структур стали. Як правило, листи при нормалізації охолоджують на повітрі при переміщенні їх на рольганге або на холодильниках. Експериментальні виміри швидкості охолодження в інтервалі температур 800...400 $^{\circ}\text{C}$ в умовах стана 3600 меткомбінату «Азовсталь» дозволяють оцінити середню швидкість охолодження листів товщиною 10...40 мм відповідно 1,10...0,28 $^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Нормалізація з використанням тепла прокатного нагріву є ефективним технологічним процесом у вітчизняній практиці і вперше в промислових масштабах була передбачена на стані 3600 меткомбінату «Азовсталь». Листи безпосередньо після

гарячої прокатки поступають до прохідних роликкових печей, які розташовані в іншому відділенні цеху і завантажуються в піч в гарячому стані. Це забезпечує підвищення пропускної спроможності прохідних роликкових печей на 30...50% в порівнянні з нагрівом холодного металу і скорочує питомий час нагріву до 0,5...0,7 хв/мм.

Гартування з високим відпуском (поліпшення) полягає в нагріві листів до температури вище A_{c3} необхідною витримкою і швидким охолодженням у воді з подальшим відпуском при температурах нижче A_{c1} . Цей вид термообробки забезпечує отримання дрібнозернистості структури і супроводжується підвищенням як міцності, так і в'язких властивостей стали одночасно. Відносно подовження при цьому знижується.

Зміцнення при загартуванні з відпуском досягає 15...60%, тому цей вид обробки оцінюється як найбільш ефективна зміцнююча обробка, що забезпечує економію металу в народному господарстві до 25%.

Температура нагріву під загартування складає $A_{c3} + (30...50)^\circ C$, при відпустці $A_{c1} - (20...100)^\circ C$. Питомий час нагріву під гартування дещо вищий, ніж нормалізації, і знаходиться в межах 1...2,5 хв/мм, а при відпустці 3...6 хв/мм. При ускладненні хімічного складу і збільшенні розмірів листа питомий час приймають ближче до верхньої межі.

Гартування з відпуском як вид термообробки є технологічно і технічно складнішим процесом, ніж нормалізація. Гартування здійснюють шляхом охолодження листів водою в гартівних баках, пресах або ролик-гартівних машинах.

При відпуску відбувається зняття напружень і розпад продуктів загартування, що супроводжується підвищенням пластичності і ударної в'язкості стали. Температура відпуску знаходиться в межах $600...700^\circ C$, яка обмежується, з одного боку, положенням критичної точки A_{c1} , а з іншого боку, можливістю стійкої роботи газових печей (нижня межа температур). Окрім цього, температурний інтервал відпуску обумовлено необхідністю збереження властивостей при

переробці металу у споживача, яка часто пов'язана з нагрівом до 600...700 °С. Закономірністю зміни властивостей при відпуску є зниження характеристик міцності і підвищення пластичності, а також ударної в'язкості з підвищенням температури відпуску.

Гартівні преси однотипні і передбачають загартування листів після нагріву в прохідній роликівій печі в затиснутому стані. Нагрітий лист видають на транспортній швидкості з печі, встановлюють в пресі, затискають між притискачами – бризгалами, піднімають над рольгангом і охолоджують водою, що поступає через отвори в бризгалах на поверхню листа зверху і знизу (рис. 2.10).

Технічні параметри діючих пресів : витрата води від 1000 до 2500м³/г , тиск 294...785 кПа, зусилля затиску листів в притискачах від 785 до 1275 кН, час підйому рами преса і затиск листів від 4 до 8 с. Воду подають через отвори в бризгалах – притискачах діаметром 3...5 мм, іноді до 8 мм. Габаритні розміри преса визначаються розміром на даному стані листів: довжина визначається максимальною довжиною листа і складає до 17 м, ширина – до 2,5...3 м. Передбачається можливість загартування листів товщиною від 4 до 40 мм.

Ролико-гартівні машини (РГМ) є найбільш сучасним гартівним агрегатом (рис.2.10, б)[15]. РГМ передбачають охолодження листів при безперервному або зворотно-поступальному переміщенні їх між двома рядами роликів, які встановлено із зазором між ними рівним товщині листа або на 2...3 мм вище. РГМ заводу «Амурсталь» складається з двох зон: інтенсивного і малоінтенсивного охолодження, що забезпечує двохстадійне охолодження листів при загартуванні.

Система охолодження машини спрејерная і з рядом колекторів, які розташовано між роликками зверху і знизу, з отворами діаметром 5 мм. Автономна система водопостачання і водоочистки забезпечує очищення води, що подається, до змісту суспензій і маслопродуктов не більше 20...30 і 6 мг/л відповідно, що гарантує стійку роботу охолоджуючих систем. Машина забезпечена пристроями для регулювання витрати води роздільно по секціях, а також зверху і знизу.

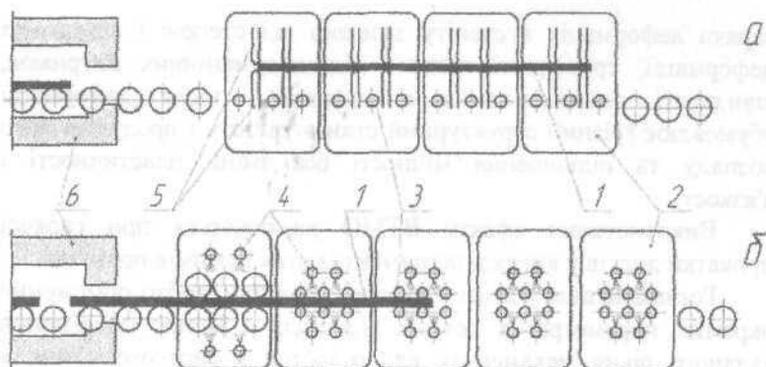


Рис 2.10 Схема гартівних агрегатів: а – гартівний прес; б – ролик-гартівна машина заводу «Амурсталь» (Росія): 1 – лист; 2 – секція агрегату; 3 – ролики; 4 – колектори; 5 – притискачі-бризгала; 6 – піч

Машина розташована на відстані 1,5 м від прохідної нагрівальної печі. Перед видачею листів з печі залежно від товщини встановлюють необхідний зазор між роликками машини, необхідні витрати води і швидкість переміщення листів. Лист видають із печі після встановлення стаціонарного режиму роботи охолоджуючих систем і він поступає в задаючі ролики перед першою секцією машини і далі проходить зону інтенсивного охолодження (перша секція), а потім зону малоінтенсивного охолодження (друга секція). Передбачена можливість відключення частини секцій зони малоінтенсивного охолодження для тонких листів або охолодження листів в ній в режимі похитування для великої товщини листів.

Досвід експлуатації РГМ заводу «Амурсталь» (Росія) показав, що досягаються швидкості охолодження поверхні листів в зоні інтенсивного охолодження $60...100^{\circ}\text{C}/\text{с}$. При цьому перепад температур по перетину залежно від товщини листа досягає $200...400^{\circ}\text{C}$. При середній щільності зрошування $60...70\text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ твердість листів завтовшки 8...20 мм була відповідно 360-217 НВ.

У практиці виробництва толстолистового прокату найбільш реальним є використання ефекту високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО). Основний етап ВТМО –

гаряча деформація аустеніту залежно від степені і швидкості деформації, тривалості після і міждеформаційних витримок, швидкості охолодження в процесі і після деформації обумовлює різний структурний стан аустеніту і продуктів його розпаду та підвищення міцності без зміни пластичності і в'язкості.

Використання ефекту ВТМО реалізується при гарячій прокатки листів у вигляді регламентованих режимів прокатки.

Регламентация режимів гарячої прокатки, тобто обмеження окремих параметрів в певних границях з метою досягнення заданого рівня механічних властивостей в гарячому стані, в практиці виробництва товстолистого прокату відома і застосовується давно. Суть процесу регламентованої прокатки як процесу термомеханічної обробки в повному об'ємі полягає в обмеженні температурно-деформаційних умов деформації і швидкості охолодження в процесі і після деформації з метою максимального подрібнення аустенітного зерна, збільшення щільності дефектів його кристалічної будови для досягнення мелкодисперсної феррито-перлітної структури. Збільшення степені деформації за інших рівних умов забезпечує збільшення ефекту ВТМО, причому збільшення степені деформації від 10 до 20% приводить до зростання ефекту майже в два рази.

В умовах стану 3600 меткомбината «Азовсталь» проведені досвідчено-промислові прокатки листів сталей 09Г2, 10Г2С1 і 10ХСНД з регламентацією режимів прокатки і швидкості охолодження. Прокатку розкатів закінчували при температурі 850-880°C з обтисканням 20% в останньому проході, далі слідувало охолодження до температур 580-600°C з середньою швидкістю 2,5-3°C/c (режим 1). Для порівняння проводили прокатку листів за звичайною технологією: завершення прокатки при 1000°C, обтискання в останньому проході 5-7%, охолодження на повітрі (режим 2). Результати механічних випробувань (таблиця 2.6) показали, що прокатка з регламентацією забезпечує значне збільшення ударної в'язкості при деякому підвищенні міцності і пластичності. Для досягнення такого рівня властивостей в звичайних умовах виробництва застосовують нормалізацію [15].

Таблиця 2.6. Механічні властивості сталей після прокатки з регламентацією режимів (чисельник) порівняно із звичайною прокаткою (знаменник)

Сталь	σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ² , при температурі, °С			
					+20	0	-20	-40
10Г2С1	545	400	26,5	60,0	1,01	0,83	0,78	0,69
	520	335	24,0	58,0	0,79	0,70	0,55	0,32
09Г2	500	345	32,0	62,5	1,14	0,97	0,88	0,79
	470	345	31,0	60,5	1,12	0,93	0,50	0,25
10ХСНД	624	430	24,0	59,0	0,99	0,88	0,81	0,61
	590	405	23,0	55,0	0,90	0,77	0,43	0,17

На існуючих толстолистових станах охолодження листів проводять на холодильниках з несучими решітками крокуючого типу і роликового типу. Холодильники крокуючого типу є пристроєм з рухомими і нерухомими несучими балками і передавальних пристроїв. Схема дії холодильника подано на рис. 2.11. Пристрій даного типу на ТЛС дозволяє охолоджувати листи без викривлення до 50...100°С.

Холодильники роликового типу є системою із сталевими дисками. Такі холодильники встановлені на стані 3600 меткомбінату «Азовсталь», ряді зарубіжних ТЛС. Крок роликів холодильника в зоні високих температур листів зменшується для попередження деформації листів. Холодильник ТЛС 4725 (Канада) має площу 6000 м.²

У його склад входять інспекційна ділянка і ділянка виборної зачистки. Холодильники роликового типу менш металоємні, чим холодильники крокуючого типу. При терті кочення листа по роликах зменшується число пошкоджень нижньої поверхні, а при постійній зміні точки контакту листів з дисками роликів забезпечується достатньо рівномірне охолодження листів. Інтенсифікація процесу охолодження листів досягається при установці дуттьових вентиляторів в зоні видачі листів і забезпечення повітрообміну через спеціальні короби, що вмонтовуються між рядами колон будівлі цеху.

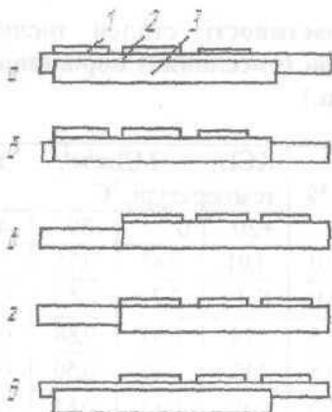


Рис. 2.11. Схема
холодильника крокуючого
типу:
1 – листи, 2 – нерухомі
балки, 3 – рухомі балки, а - д
– послідовні положення
балки і листів при роботі

2.8 Контроль якості листів

Для виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів на деяких станах застосовують різні типи автоматичної ультразвукової апаратури з метою оцінки якості листа. Швидкість контролю до 1 м/с. Передача прокату з рольганга до агрегату ультразвукового контролю проводиться за допомогою кранів, які пересуваються перпендикулярно транспортному рольгангу. На рис. 2.12 зображена схема автоматичної системи ультразвукової дефектоскопії на стані 5500 в м.Мідзусима (Японія). У схему включені 52 розшукові головки, що розміщуються з кроком 100 мм над поверхнею контрольованого листа, і два блоки пошукових головок, які розташовані з боку верхньої і нижньої поверхонь листа і призначених для контролю зони листа шириною 60 мм поблизу кромки. Ультразвукові коливання проходять через водяну плівку завтовшки 0,6 мм і проникають в метал; відбиті від дефектів імпульси сприймаються приймальними пристроями дефектоскопа, який періодично видає сигнали трьох видів в секунду контролю: сигнали про крупні дефекти, про невеликі дефекти і про наявність або відсутність акустичного зв'язку.

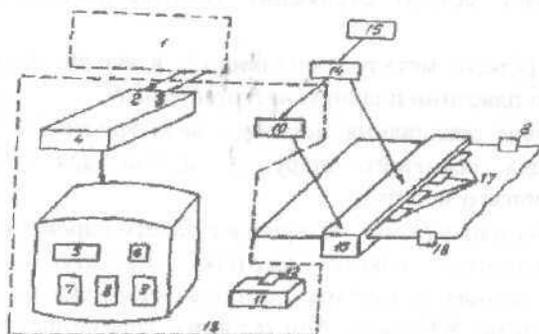


Рис.2.12. Схема автоматичної системи ультразвукової дефектоскопії:
 1 - інформаційна система; 2 - початкові дані; 3 - оцінка придатності листа; 4 - міні-ЕОМ; 5 - інформація про акустичний зв'язок; 6 - оцінка якості; 7 - індикація невеликих дефектів; 8 - індикація кручних дефектів; 9 - інформація про акустичний зв'язок; 10 - блок попередньої обробки даних; 11 - пристрій, що друкує; 12 - результати дефектоскопії; 13 - система обробки сигналів; 14 - блок управління дефектоскопом; 15 - система ручного управління з пульта; 16 - дефектоскоп; 17 - головки для контролю поверхні; 18 - головки для контролю кромок.

Одержані сигнали аналізуються і періодично передаються в міні-ЕОМ. Результат порівнюється з гранично допустимою величиною і після обробки виводиться на екрані пристрою, відеоконтроля. За результатами контролю готові листи спрямовують на склад готової продукції або на дороблення.

2.9 Виробництво біметалічних листів

Одним з шляхів економії дорогих матеріалів (неіржавіюча сталь, мідь, олово, алюміній, нікель, титан і т.п.) є застосування в техніці і промисловості біметалічних листів з одностороннім або двостороннім покриттям. При цьому як основний шар використовують низковуглецеву або низьколеговану сталь, а в якості плакуючого шару легований матеріал. Товсті біметалічні листи застосовують при виготовленні резервуарів, ванн, що працюють в агресивних середовищах.

Існують різні методи отримання товстих біметалічних заготовок:

- заливка рідкого металу у виливницю, в яку заздалегідь поміщені пластини плакуючого матеріалу;
- безперервне розливання металів з двох кристалізаторів (один для основного шару, а другий для подачі плакуючого металу);
- механічна збірка різних матеріалів в пакети і прокатка.

Після отримання пакету заготовки прокатують на толстолистових станах в гарячому стані в листи необхідних розмірів. Приблизно 80% всіх біметалічних корозійностійких листів - основного виду біметалічного листового прокату - виготовляють пакетним способом. Підготовку і збірку пакетів проводять в спеціалізованих відділеннях. Пакети (рис.2.13) виготовляють так, щоб забезпечити 50...70 – кратну висотну деформацію. Тому, при товщині двошарових листів 4...5 мм початкова товщина чотиришарового пакету складає 200...350 мм при товщині струганих слябів основного шару 80...150 мм. При виробництві двуслойних товстих листів на стані 2300/1700 (Челябінський металургійний комбінат, Росія) використовують пакети, розміри яких представлені в табл.2.7. Заготовками для плакуючого шару служать пластини з неіржавіючих і жароміцних сталей марок X17, X25, X18N10T X17N13M2T і інших. Перед зборкою елементи пакету проходять спеціальну підготовку (зачистку).

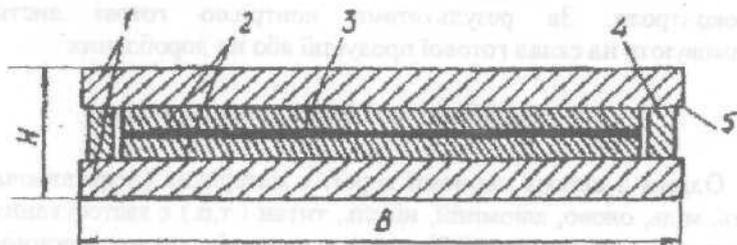


Рис.2.13. Складений симетричний пакет: 1 - основний шар; 2 - плакуючий шар; 3 - шар ізоляції; 4 - прокладки; 5 - зварной шов

Таблиця 2.7. Розміри двошарових листів і елементів пакетів

Параметр	Двошаровий лист	Сляб основного шару	Плакуючий шар
Товщина, мм	4...14	90...120	15...20
Ширина, мм	1700	700...1200	500...1000
Довжина, мм	6000	1700...2000	1600...1900
Маса, кг	-	840...2260	88...320

Сляби основного металу після стругання, знежирення, просушування зберігають в спеціальних камерах. Для запобігання окисленню на одну поверхню плакуючої пластини наносять шар ізоляції для запобігання схоплюванню (рис.2.13), а на другу поверхню після дробеструйної обробки наносять нікелеве покриття способом газової металізації. Цей шар забезпечує хороше схоплювання основного і плакуючого шарів при подальшій прокатки. Зібраний пакет встановлюють в горизонтальному положенні, здавлюють на пресі з силою 200 кН (20 тс) і потім зварюють по периметру на зварювальному автоматі.

Прокатку пакетів виконують за технологією, прийнятою для вуглецевих сталей з кантовкою коли ширина пакету нерівна необхідній ширині листа. Після обрізання кінців і кромки пакет розділяють на двошарові листи, проводять зачистку, правку, термічну обробку, травлення і т.п. Витратний коефіцієнт металу значний і складає 1,7...2,3.

2.10. Особливості контрольованої прокатки товстих листів

Суттєвість контрольованої прокатки товстих листів із низьколегованих марок сталей полягає у застосуванні інтенсивної деформації при заданих (низьких) температурах металу на завершній стадії прокатки ($t = 850...650^{\circ}\text{C}$) [12, 13]. При інших рівних умовах, низьколегована сталь після контрольованої прокатки, має більш вищі значення границі міцності (на 40...100 Н/мм²) і границі текучості (до 150 Н/мм²)

порівняно з аналогічними показниками після нормалізації листів. Під час прокатки, яку контролюють, є можливість отримання високоміцних сталей в гарячокатаному стані з високою ударною вязкістю, що забезпечується дрібнозернистою структурою металу.

Хімічний склад листової сталі для контрольованої прокатки зумовлено її призначенням, а основними мікролегуючими домішками є ніобій, ванадій, молібден, титан, марганець. Найбільш часто використовують для будівництва магістральних трубопроводів сталь, яка має такий хімічний склад, %: 0,03...0,09 C; 1,3...2,2 Mn; 0,2...0,4 Si; 0,03...0,10 Nb; 0,05...0,10 V; 0,002...0,01 Ti; 0,2...0,4 Mo.

З урахуванням структурних змін в процесі зниження температури металу під час прокатки листів із розмірами 17x2190x12000 мм (сталь 09Г2ФБ) на стані 3600 був прийнят такий температурний режим контрольованої прокатки. Неперервноліті сляби з розмірами 240x1500 мм нагрівають в методичних печах з штовхачами до $t \approx 1150^{\circ}\text{C}$ і прокатують у чорновій клітці стана за дев'ять проходів до отримання розкату товщиною 48...50 мм. Температура кінця прокатки в чорновій клітці стана дорівнює $980...1000^{\circ}\text{C}$.

На рольгангові між клітками (рис. 2.6) розкат охолоджують на повітрі на протязі ~ 200 с до температури $840...850^{\circ}\text{C}$ при зворотно-поступальному русі з метою запобігання місцевого охолодження розкату від роликів рольганга. Після цього розкат прокатують в чистовій клітці за вісім проходів і закінчують прокатку при температурі $740...750^{\circ}\text{C}$. Готові листи, які прокатані за указаним режимом, мають такі показники механічних властивостей: границя міцності $\sigma_a \geq 600$ Н/мм²; границя текучості $\sigma_T \geq 470$ Н/мм²; відносне подовження $\delta_5 \geq 23\%$, ударна в'язкість при температурах -15°C і -60°C відповідно дорівнює $a_n^{-15} \geq 0,9$ МДж/м² і $a_n^{-60} \geq 0,65$ МДж/м².

Контрольована прокатка застосовується також при виробництві листів із вуглецево-марганцевистих марок сталі. Подальше поліпшення властивостей товстих листів після контрольованої прокатки досягається наступною термічною обробкою. Під час контрольованої прокатки, внаслідок

застосування інтенсивних деформацій при низьких температурах (що зумовлено необхідністю отримання структури, яку вимагають), виникають великі навантаження на валки і головний привід. Це необхідно ураховувати при розробці режимів прокатки.

2.11. Валки слябінгів і клітей листових станів

На прокатних станах застосовують валки із сталей марок 50XH, 60XГ і інших (табл. 2.8) з поверхневим наплавленням твердим сплавом. Твердість сталевих валків без наплавлення не більше 260...290 НВ або 40...45 HSD(од. за Шором). Твердість наплавленого шару 430...550 НВ (62...80 HSD) і стійкість у 3...4 рази вища ніж без наплавлення валків. Наплавлення валків роблять на автоматичних пристроях порошковим дротом ПП – 3Х2В8 у поєднанні із спеціальним флюсом, який забезпечує високу якість шару. Для наплавлення застосовують також дріт із легованих марок сталі (30ХГСА). Наплавлення бочки валка робиться послідовним наплавленням шарів металу по гвинтовій лінії. Перед наплавленням валок піддають індукційному нагріву до 350...400⁰С, щоб запобігти утворенню тріщин, а після наплавлення валки повільно охолоджують. Товщина наплавленого шару 10...15 мм. Многократні наплавлення (після зняття зношеного шару) підвищують загальну стійкість валків.

Поверхня валка працює у виключно важких умовах нагріву до 500...600⁰С в осередку деформації і наступного інтенсивного охолодження. Внаслідок цього поверхневий шар валка піддається зруйнуванню термічними напруженнями із утворенням сітки розгару і зношенню за рахунок зносу поверхні і схоплення металу із валком. Причому верхній валок, який працює у більш важких умовах із-за більшого попадання води і окалини, отримує більший знос, ніж нижній (рис. 2.14). Тривалість роботи валків в кліті 20...30 діб [22, 63].

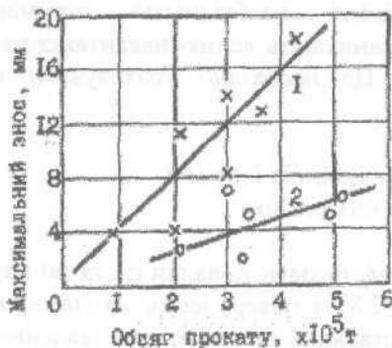


Рис. 2.14. Максимальний знос у середині верхнього (1) і нижнього (2) циліндричних валків слябінга 1150 при різному об'ємі прокату.

Основним і розмірами валка товстолистого стану є діаметри бочки і шийки, а також їх довжина.

Довжина бочки валків чистових клітей більша максимального розміру листа (розкату) і складає $L_3 = B_p / (0,85 \dots 0,9)$ (B_p – ширина розкату). Діаметр бочки валків визначається типом стану і величиною сили прокатки. Діаметр шийки $d_{ш}$ залежить від діаметра бочки, а довжина $l_{ш}$ шийки звичайно дорівнює її діаметру. Практикою встановлено такі співвідношення між параметрами валка:

Валки	D, мм	$d_{ш}/D$	$l_{ш}/d_{ш}$
Товстолисті стани дуо	800...1250	0,60...0,75	0,8...1,0
Робочі валки клітей кварто	600...1200	0,55...0,6	0,8...1,2
Опорні валки клітей кварто	1200...1600	0,6...0,8	0,8...1,0

В чорнових клітях ТЛСТ застосовують сталеві робочі валки (ст. 50ХН, 60ХГ, 9ХФ), а в чистових клітях – чавунні з відбіленим шаром (табл. 2.8). Чавунні валки виготовляють відливанням. М'які валки відливають у земляну форму (опоку), а напівтверді і тверді у металеву (чавунну) форму (кокіль). При відливанні валків у кокіль отримують відбілений поверхневий шар із твердою цементито-перлитною структурою, товщиною 15...20 мм на радіус. Між відбіленим шаром і м'якою серцевиною валка знаходиться перехідна зона товщиною 60...70 мм. Модифікування чавунних валків магнієм та іншими модифікаторами (силікокальцієм і феросиліцієм) збільшує міцність і пластичність валків.

2.8. Хімічний склад матеріалу листових валків гарячої прокатки

Марка сталі	Хімічний склад, %										Твердість бочки за HSD	Примітка
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo				
-	до 3,4	1,2...2,2	0,5...1,0	не більше 0,02	0,08	0,4...0,8	0,8...1,6	-	-	-	41...55	Робочі валки чорнових клітей двокільових станів
-	2,7...3,7	0,4...0,7	0,2...0,5	0,02	0,05	-	-	0,2...0,4	-	-	58...65	Робочі валки чистових клітей ЛІСТ
-	2,8...3,4	0,3...0,8	до 0,9	0,02	0,05	-	-	-	-	-	58...68	Робочі валки ШСТП (з відбіленням шаром
-	2,9...3,4	до 1,05	до 0,9	0,02	0,05	-	1,2...2	-	-	-	70...85	- // -
50XH	0,45...0,55	0,17...0,37	0,5...0,8	-	-	0,45...0,75	1...1,5	-	-	-	32...41	Валки слобінга, робочі валки чорнових клітей
60XH	0,55...0,65	0,17...0,37	0,7...1,0	-	-	0,8...1,2	0,3	-	-	-	32...41	- // -

У такому чавуні включення графіту ізольовані один від одного, в той час, як у м'яких чавунних валках вони розташовуються у вигляді пластин, які з'єднані між собою, що різко знижує його міцність і зносостійкість. Магнієві валки, особливо нікельмагнієві, мають більш вищі значення міцності і зносостійкості поверхні.

Листові сталеві валки, особливо великих розмірів, мають значні остаточні внутрішні напруження, які виникають при відливці або куванні та наступним охолодженням. Для зняття цих напружень валки необхідно витримати на протязі 2...5 міс. Цю витримку валків можна замінити відпуском (нагрів до $400...500^{\circ}\text{C}$ із наступним повільним охолодженням), але це потребує додаткових енергетичних витрат.

Перед установкою у кліть холодні робочі валки (чавунні і сталеві) треба спочатку підігрівати в індукторах до температур $50...70^{\circ}\text{C}$, що підвищує їх стійкість в процесі експлуатації. В процесі прокатки робочі і опорні валки піддають інтенсивному охолодженню водою, яку подають із колекторів з форсунками. Під час роботи середина довжини бочки робочих валків має температуру $60...80^{\circ}\text{C}$, а на краях, де відсутній контакт з металом, температура валка знижується до $30...50^{\circ}\text{C}$ в залежності від інтенсивності його розігрівання.

Знос робочих валків під час гарячої прокатки відбувається внаслідок істираючої, механічної дії штаби, що прокатують (у тому числі і окалиною), та термічної стомленості поверхневого шару валків, як результат багаторазових нагріву і наступного різкого охолодження водою, утворення сітки розгару. В результаті зносу після перешліфування зменшується діаметр валка. Найбільший знос спостерігається у середині довжини бочки валка, а характер кривої зносу зумовлений сортаментом листів по ширині. При зменшенні ширини листа від початку до кінця роботи валків крива зносу має параболічний характер, а якщо прокатують листи однакової ширини, то крива зносу поверхні має вид півтрапеції. Абсолютна величина зносу зумовлена твердістю валків, сортаментом і температурою металу, станом окалини на поверхні розкату.

Практичні величини максимального зносу робочих валків наведені нижче:

Валки	h, мм	G, т ^{*)}	δ_n , мм
Стальні ковани 50ХН, 60ХГ для чорнової кліті	підкат для листів 8...25 мм	9000	3,0
Магнієві чавунні для чорнової кліті	підкат для листів 4...25	13400	2,0
Чавунні відбілені чистої кліті	лист 8...25	3170	0,75
Теж саме	4...6	1085	0,75

*) G – об'єм проката; δ_n – максимальний знос на діаметр.

Як йдеться із табл., магнієві чавунні робочі валки, які використовують в чорновій кліті, мають більш високу зносостійкість порівняно із стальними валками. В чистої кліті зменшення товщини листів приводить до зниження стійкості валків майже у три рази. Зношені робочі і опорні валки передають на перешліфування, в процесі якого виконують зняття пошкодженого шару валка на 20...30% більше величини максимального зносу (до усунення сітки розгару). Крім того, твірній лінії бочки валка надають потрібний профіль, який визначається конкретними умовами роботи кліті. На існуючих станах профіль робочих валків виконують циліндричним, вигнутим, опуклим і циліндричним з краєвими скосами. Величину опуклості (угнутості) валка зумовлено прогином валкового вузла, різницею діаметрів у середині і на краю бочки внаслідок різних температур (температурна опуклість валка), зносом опорного валка. Загалом величина профілювання може бути розрахована із формули

$$f_p = W_b + \delta_{но} - f_T,$$

де W_b – сумарний прогин робочого і опорного валків; $\delta_{но}$ – знос опорних валків; f_T – теплова опуклість валків.

Із рівняння маємо, що збільшення прогину валків W_b і міри зносу опорних валків $\delta_{но}$ приводить до необхідності збільшення опуклості робочих валків f_p , а збільшення теплової опуклості f_t – до зменшення f_p . Якщо має місце рівність $(W_b + \delta_{но}) = f_t$, то початковий профіль робочих валків виконують циліндричними ($f_p = 0$). Опорні валки виконують з різним типом твірних ліній (опуклі, циліндричні, циліндричні із кінцевими скосами або урізом довжиною 100...300 мм і глибиною 2...3 мм. Сумарне профілювання валкового вузла даної кліті повинно забезпечувати отримання листа з опуклим поперечним профілем (з допустимою поперечною опуклою різновтовщинністю). Така форма міжвалкового зазора забезпечує необхідну стійкість валка і запобігає зміщенню розкату на станину.

2.12. Розрахунок режиму деформації під час гарячої прокатки листів

Завданням розробки режимів деформації для будь-якого прокатного стана є знаходження тих умов прокатки, які забезпечують максимальне виробництво стана (максимально допустимі швидкості прокатки і величини обтисків), високу якість поверхні (відсутність дефектів), високу якість поперечного і поздовжнього профілів листа, високу якість форми (допустимі величини хвилястості і коробоватості), раціональні величини сили і потужності прокатки і т.п. Розглянемо методику розрахунку режиму деформації для товстолістового стана (ТЛСТ).

Алгоритм розрахунку режиму деформації на ТЛСТ в зручній для аналізу формі [2] представлено на рис. 2.15.

1. При заданих розмірах листа (h , b , L_n) роблять розрахунок ваги злитку (сляба) з використанням формули

$$G = h \cdot b \cdot L_n \cdot \gamma \cdot k_f; \quad (2.1)$$

де L_n – довжина готового листа після обрізи кінців; k_f – фабрикаційний коефіцієнт (коефіцієнт витрати металу в обрізь –

для слябів - $k_{\phi} = 1,10 \dots 1,25$; для зливків киплячої сталі - $k_{\phi} = 1,25 \dots 1,40$; для зливків спокійної сталі - $k_{\phi} = 1,37 \dots 1,70$; γ - питома вага металу - $\gamma = 7,85 \text{ т/м}^3$.

При розрахунках фабрикаційного коефіцієнта витрати металу ширину обрізі кромки приймають на обидві кромки рівної від 60 до 160 мм або 5...10% [13, 14] в залежності від форми листа в плані (мається на увазі різниця ширини листа в середині і на кінцях). Торцева (кінцева) обрізь на листах, які прокатані із слябів, передбачає вирівнювання кінців, усунення "язиків", вузьких кінців, накатів, усадочної рихлості і т.п. Абсолютна довжина обрізі залежить від форми кінців і складає 400...1000 мм на обидва кінця. Відносна величина обрізі листів із слябів визначається довжиною розкату і складає 4...10% ваги заготовки. Головна обрізь на листах із зливків киплячої сталі 8...15%, а спокійної - 1,5...2% від ваги злитку. Донна обрізь для всіх зливків 2...4%. Втрати металу на угар в колодязях і нагрівальних печах складають 2...3% від ваги зливку. Із збільшенням товщини фабрикаційний коефіцієнт металу зростає. На відміну від фабрикаційного коефіцієнта, коефіцієнт витрат враховує не тільки неминучі технологічні втрати металу, але і брак всіх видів при виробництві листів.

Приклад. Розрахувати режим деформації листа 8x1500x6000 мм під час прокатки на двоклітьовому стані 2300. Розміри валків двовалкової чорнової кліті: $D_6 = 1100 \text{ мм}$, $L_6 = 2300 \text{ мм}$ з приводом потужністю $N = 2900 \text{ кВт}$ і частотою обертання валків 0-25-50 об/хв; в чистовій універсальній кліті: $D_6 = 750 \text{ мм}$; $D_{\text{от}} = 1400 \text{ мм}$, $L_6 = 2300 \text{ мм}$ з приводом потужністю $N = 4500 \text{ кВт}$ і частотою обертання валків 0-70-120 об/хв. Валки чорнової кліті і опорні чистової виготовлені із сталі 50XH, а робочі валки чистової кліті із легованого чавуну з відбіленою поверхнею.

1. Зафабрикувати лист з розмірами 8x1500x6000 мм.

Теоретична вага готового листа

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

На стані можлива прокатка листів загальною довжиною до 20 м. Виходячи із можливості стана вибираємо двократний

розкрій, тоді вага сляба для двох листів при фабрикаційному коефіцієнті $k_f = 1,19$ буде:

$$G_{\text{сл}} = 2 \cdot k_f \cdot G_r = 2,38 \cdot 565 = 1340 \text{ кг.}$$

Приймаємо розміри сляба: $B = 1000 \text{ мм}$ і $L = 0,7 \cdot L_6 = 0,7 \cdot 2300 = 1620 \text{ мм}$, а ширина дворядної пічі $B_{\text{п}} \approx 4,2 \text{ м}$, ($2 \cdot L = 3,240 \text{ м}$). Товщину сляба визначимо із формули

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

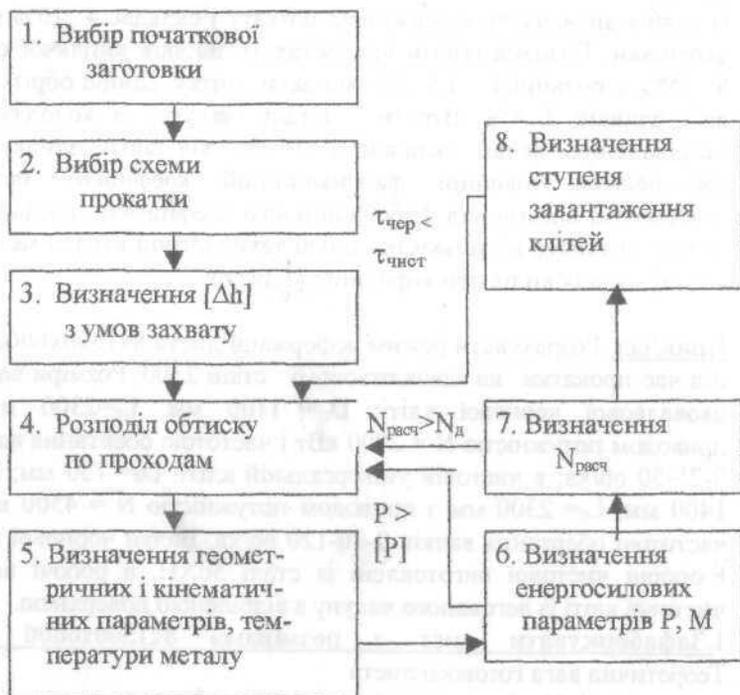


Рис. 2.15. Блок-схема алгоритму розрахунку режиму деформації на ТЛСТ

Довжину сляба визначають з умови розміщення його в дворядній нагрівальній печі, довжини бочки валка і отримання максимального витягання. Активна довжина бочки валка дорівнює $L_a = (0,85-0,9)L_G$ и коефіцієнт витягання $\mu_B = 1,25 \dots 1,3$.
 Приймаємо $L_a = 0,9 \cdot L_G = 0,9 \cdot 2300 = 2070 \text{ мм}$, а $\mu_B = 1,275$.

Тоді довжина одного сляба

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

Ширина сляба обумовлена можливостями обтискного стану (слябінг, блюмінг-слябінг), потужністю ТЛСТ, товщиною листа і необхідному висотному обтиску листа по висоті. З урахуванням практичних даних приймаємо ширину сляба $B = 1000 \text{ мм}$.

Товщину сляба визначаємо з формули

$$H = G_{\text{ол}} \cdot 10^6 / B \cdot \gamma \cdot L; \quad (2.2)$$

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

Вибір схеми прокатки. У відповідності з п.2.6 і рис.2.9 товсті листи прокатують із попередньою розбивкою їх ширини. Як правило розбивку виконують за схемою з двома кантуваннями (поздовжня прокатка). Розрахунок розмірів розкату під час розбивки ширини роблять у наступній послідовності:

1. Товщина розкату (h_B) після витягання без урахування розширення складає

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

2. Сумарний обтиск при витяганні у двох проходах (кантовку розкату виконують з передньої сторони кліті) складає:

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

3. Наступна операція (рис. 2.15) – розбивка ширини листа після кантування розкату на 90° в горизонтальній площині. Потрібна ширина (b_p) розкату з урахуванням припуску на відріз

кромки ($\Delta b_{кр} = 120$ мм) дорівнює $b_p = b + b_{кр} = 1620$ мм, а сумарний коефіцієнт витягання під час розбивки ширини буде

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

4. Без урахування розширення, кінцева товщина (h_p) розкату після розбивки ширини складає

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

а сумарний обтиск ($\Sigma\Delta h_p$) під час розбивки ширини за n_p проходів буде

$$\Sigma\Delta h_p = h_b - h_p = 82 - 50 = 32 \text{ мм}.$$

Так як кантування розкату виконують з передньої сторони стана, цей обтиск може бути розподілено на два проходи, а загальна кількість проходів (n) під час попередньої прокатки складає (чорнова кліть)

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

де n_b – число проходів при витяганні.

5. Приймемо, що сумарний обтиск ($\Sigma\Delta h_q$) в чистовій кліті складає 15...20% від загального обтиску на стані:

$$\Sigma\Delta h_q = 0,15(H-h) = 0,15(105-8) \approx 14 \text{ мм}.$$

Товщина розкату, яка входить в чистову кліть H_q (яка виходить із чорнової кліті - $h_{чер}$) буде рівна

$$h_{чер} = H_q = h + \Sigma\Delta h_q = 8 + 14 = 22 \text{ мм}.$$

Сумарний обтиск ($\Sigma\Delta h_p$) під час поздовжньої прокатки в чорновій кліті складає

$$\Sigma\Delta h_{пр} = h_p - H_q = 50 - 22 = 28,0 \text{ мм}.$$

6. Визначаємо для чорнової кліті допустимий обтиск, виходячи із умов захвату розкату. Для розрахунку $[\Delta h]$ використовуємо формули п. 1.10 (гл. 1). Допустимий тиск і номінальний крутний момент приймаємо із технічних даних стана. Перед визначенням $[\Delta h]$ спочатку призначаємо швидкісний режим захвату і прокатки зливків (слябів) (гл.1). Захват сляба (зливка), як правило, роблять при частоті обертання валків 10...15 об/хв. При визначенні числа проходів призначають мінімальне із отриманих $[\Delta h]$. При призначенні числа проходів для розбивки ширини листа і розподілення обтисків (рис. 2.15, поз. 4) звичайно приймають величини обтисків декілька менш допустимих: $\Delta h = (0,90...0,95) [\Delta h]$, що запобігає порушенню технологічного процесу внаслідок появи яких-небудь випадкових факторів.

7. Визначаємо коефіцієнт тертя при захваті, використовуючи формули (1.22)-(1.26) Валки виготовлені із ст. 50XH з твердістю 45 HSD, поверхня після обточки ($k_b = 1$), кількість обертів при захваті $n_3 = 15$ об/хв, матеріал листа - сталь марки ст. 08кп. При діаметрі валків $D = 1100$ мм їх колова швидкість буде рівна

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

Коефіцієнт тертя знаходимо при початковій температурі прокатки $t = 1200^\circ\text{C}$ ($k_b = 1$; $k_\varepsilon = 1$; $k_{cm} = 1$; $k_3 = 1,35$):

$$f = f_0 \cdot k_t \cdot k_0 \cdot k_\varepsilon \cdot k_{cm} ; \quad (2.2)$$

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{t}{400} - 2 \right)^2 = 0,27 - 0,1(3-2)^2 = 0,17;$$

$$k_t = 1 + 0,43(1 - \text{HSD}/65)^2 = 1 + 0,43(1 - 45/65)^2 = 1,02;$$

$$k_0 = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot v)^2 = 0,76 + 0,82(1 - 0,087)^2 = 1,44;$$

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

Коефіцієнт тертя при захваті буде

$$f_3 = f \cdot R_3 = 0,237 \cdot 1,35 = 0,32.$$

Допустимий обтиск, виходячи із умов захвату

$$(D = 0,92 \cdot D_6 = 0,92 \cdot 1100 = 1025 \text{ мм});$$

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

Як ідеться із попередніх розрахунків, фактичні одиничні обтиски менше допустимих, а отже перерахунок режиму деформації не потрібен.

Допустима сила прокатки, виходячи із міцності бочки валка чорнової кліті, визначається за формулами:

для бочки

$$[P] = 0,4 \cdot D^3 [\sigma_{из}] / (L_6 - l_{ш} - 0,5B); \quad (2.3)$$

для шийки

$$[P] = 0,4 \cdot d_{ш}^3 [\sigma_{из}] / l_{ш}. \quad (2.4)$$

Діаметр валка після переточування (перешліфувань) дорівнює $D = 0,92 \cdot D_6 = 0,92 \cdot 1100 = 1025 \text{ мм}$, допустиме напруження на вигин валків із низьколегованої сталі $[\sigma_{из}] = 130 \text{ Н/мм}^2$, діаметр та довжина шийки для підшипників кочення: $d_{ш} = 0,55 \cdot 1100 = 600 \text{ мм}$, довжина шийки $l_{ш} = d_{ш} = 600 \text{ мм}$. Маємо:

для бочки:

$$[P] = 0,4 \cdot D^3 \cdot [\sigma_{из}] / (L_6 + l_{ш} - 0,5B) = 0,4 \cdot 1,025^3 \cdot 130 / (2,3 + 0,60 - 0,75) = 26,0 \text{ МН};$$

для шийки

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

Величина номінального моменту на валу двигуна за формулою

$$M_{ном} = 0,975 \cdot N_{ном} \cdot \eta \cdot 10^{-2} / n_{дв}, \quad (2.5)$$

де $N_{ном}$ - номінальна потужність двигуна, кВт; $n_{дв}$ - номінальне число обертів двигуна; η - ККД передачі ($\eta = 0,95$) (ККД - коефіцієнт корисної дії).

Для нашого прикладу $M_{ном}$ складає

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

Якщо коефіцієнт перевантаження двигуна за моментом буде

$$k_{дв} = M_{дв} / M_{ном} > 1, \quad (2.6.)$$

то необхідна перевірка двигуна на нагрів. Умова відсутності перегріву двигуна має такий вигляд

$$M_{екв} < k_{дв} \cdot M_{ном},$$

де $M_{екв}$ – еквівалентний момент на валу двигуна; $k_{дв} = 2 \dots 2,5$ – для реверсивних станів; $M_{дв}$ – крутний момент на валу двигуна (момент прокатки)

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{\sum M_{за}^2 \tau_M + \sum M_{хх}^2 \tau_{II}}{\tau_M + \tau_{II}}}, \quad (2.7.)$$

де τ_M і τ_{II} – машинний час і час пауз, с.

8. Для чистової кліті допустиму силу визначаємо виходячи із міцності шийки і бочки опорного валка при $d_{ш} \approx 0,65 \cdot D_{оп} = 0,65 \cdot 1400 \approx 900$ мм, $l_{ш} = 0,7 \cdot D_{оп} \approx 1000$ мм. Матеріал валків 50ХН з $\sigma_{ш} = 130$ Н/мм². При розрахунку [P] по міцності бочки приймаємо мінімальний діаметр валка після перешліфування: $D = 0,93 \cdot D_0 = 0,93 \cdot 1400 = 1300$ мм (відповідно для бочки шийки):

$$[P] = 0,4 \cdot d_{ш}^3 \cdot [\sigma_{ш}] / l_{ш} = 0,4 \cdot 0,9^3 \cdot 130 / 1,3 = 37,7 \text{ МН};$$

$$[P] = 0,8 \cdot D^3 \cdot [\sigma_{ш}] / (2 \cdot a - b) = 0,8 \cdot 1,3^3 \cdot 130 / (6,6 - 1,5) = 44,2 \text{ МН.}$$

Номінальний момент на валу двигуна за формулою (2.5.):

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta \cdot 10^{-2} / n_{\text{дв}} = 0,975 \cdot 4500 \cdot 0,95 \cdot 10^{-2} / 70 \approx 0,6 \text{ МН.}$$

9. Робимо розподіл обтисків по проходах з урахуванням результатів попередніх розрахунків (табл. 2.9):
- витягання - сумарний обтиск $\Sigma \Delta h_n = 23$ мм розподілемо таким чином: 1^й прохід - $\Delta h_1 = 13$ мм; 2й прохід - $\Delta h_2 = 10$ мм (у першому проході метал має більшу температуру і пластичність);
 - розбивка ширини - сумарний обтиск розподілемо таким чином, щоб коефіцієнти витягань по проходах були приблизно однаковими, тоді 3^й та 4^й проходи - $\Delta h_3 = 18$ мм і $\Delta h_4 = 14$ мм;
 - поздовжню прокатку в чорновій кліті здійснюють за непарну кількість проходів. При цьому допустимі коефіцієнти витягань - $\mu_{\text{пр}} \leq 1,35$ і $\varepsilon \leq 30\%$. Тоді кількість проходів визначимо із формул попередньо прийнявши число проходів $n = 3$:

$$\Sigma \mu_{\text{пр}} = h_p / h_{\text{чер}} = 50 / 22 = 2,27;$$

$$\mu_{\text{пр}} = \sqrt[n]{\Sigma \mu} = \sqrt[3]{2,27} = 1,315 < 1,35.$$

Таким чином, $n = 3$ (n - число непарне) і визначимо товщину розкату по проходах:

$$h_5 = H / \mu_{\text{пр}} = 50 / 1,315 = 38 \text{ мм (5^й прохід);} \quad (2.8)$$

$$h_6 = 38 / 1,315 = 29,0 \text{ мм (6^й прохід);}$$

$$h_7 = 29,0 / 1,315 = 22 \text{ мм (7^й прохід).}$$

Величини обтисків в чорновій кліті виявилися меншими, ніж за умов захвату металу валками.

Раніше отримали, що сумарний обтиск в чистовій кліті складає $\Sigma \Delta h_n = 14$ мм. В останньому проході виконують прогладжуючий прохід для зменшення поперечної різнотовщинності і неплоскостності листа. Для здійснення прогладжування зазор між валками залишають таким же як і в предчистовому проході або декілька збільшують. В

передостанньому проході відносний обтиск не перевищує $\varepsilon = 15\%$. Для прикладу, який розглядаємо, приймаємо в передчистовому проході $\varepsilon_{пт} \approx 11\%$. Тоді в залишившихся проходах сумарний коефіцієнт витягання буде

$$\Sigma\mu_{\tau} = h_{\tau}(1-\varepsilon_{пт})/h = 22 \cdot 0,89/8 = 2,45,$$

де h_{τ} – товщина розкату в передостанньому проході у чорновій кліті.

Якщо прокатувати лист за три проходи, то середній коефіцієнт витягання не буде перевищувати 1,35:

$$\mu_{\tau} = \sqrt[3]{\Sigma\mu_{\tau}} = \sqrt[3]{2,45} = 1,348.$$

Таким чином, загальна кількість проходів в чистовій кліті буде складати п'ять (табл. 2.9). При цьому, в першому проході, коли температура металу максимальна, призначаємо максимальний обтиск, зменшуючи його в наступних проходах. На основі практичних даних призначаємо середні швидкості прокатки у кожному проході (табл. 2.9). Швидкості збільшують за мірою зменшення товщини листа. За формулою

$$\tau_{\text{м}} = L/v$$

визначаємо машинний час прокатки в кожному проході. Час пауз між проходами приймаємо рівним $\tau_{\text{п}} = 3$ с, з кантуванням розкату – 6 с, а транспортування від кліті 1 до кліті 2-10 с.

10. Далі розраховуємо температуру металу за проходами. Для першого проходу приймаємо температуру початку прокатки рівною $t_{\text{н}} = 1200^{\circ}\text{C}$. Час прокатки в першому проході буде ($v = 1$ м/с)

$$\tau_{\text{м}} = L/v = 1,850/1 = 1,85 \approx 2 \text{ с.}$$

Загальний час між проходами 1 і 2 буде

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

Втрати температури перед другим проходом складають (для штаб) (М.Крейдлін) [22]:

$$\Delta t_i = 0,0021 \left(\frac{t_{i-1} + 273}{100} \right)^4 \frac{\tau_{i-1}}{h_{i-1}}, \quad (2.9)$$

$$\Delta t_{i-2} = 0,0021 \left(\frac{1200 + 273}{100} \right)^4 \frac{5}{92} = 5^\circ\text{C};$$

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

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

$$\tau_{m2} = 2,070/1 \approx 2 \text{ с}; \quad \tau_{i-1} = 2+6 = 8 \text{ с};$$

$$\Delta t_3 = 0,0021 \left(\frac{1195 + 273}{100} \right)^4 \frac{8}{82} = 9^\circ\text{C};$$

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

Із табл. 2.9 випливає, що в процесі прокатки в чорновій кліті температура металу знижується на 61°C , а в чистовій кліті – на 146°C . Падіння температури на 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. 2.15).

11. Визначаємо геометричні і кінематичні параметри прокатки, необхідні для розрахунку енергосилових параметрів. Дані розрахунку заносимо в табл. 2.9. Як приклад визначимо усі параметри для п'ятого проходу (див. гл. 1): довжина дуги контакту і фактор форми осередку деформації:

$$l_d = \sqrt{R\Delta h} = \sqrt{550 \cdot 12} = 81 \text{ мм};$$

$$l_d/h_{cp} = 81/0,5(50+38) = 1,84.$$

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 хімічним складом (%): (0,05 – 0,11); 0,03 Si; (0,25 – 0,5) Mn; 0,1 Cr; 0,25 Ni. Вуглецевий еквівалент для максимальних значень елементів рівний [20,21]

$$N_i = 0,11 + 0,03 + 0,5 + 0,1 + 0,25 = 0,99 \%$$

Базове напруження течії з формули (1.28) дорівнює

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

Визначимо коефіцієнти k_t , k_ϵ , k_u по формулах (1.29) [20, 21]:

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

$$k_\epsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,024)^2 \right] = 1,25;$$

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

Для іншої марки сталі коефіцієнти k_t , k_ϵ , k_u мають інші значення.

Опір металу деформації рівний

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

Визначаємо коефіцієнт і показник тертя (1.22):

$$f_0 = 0,27 - 0,1(v/400 - 2)^2 = 0,27 - 0,1(1166/400 - 2)^2 = 0,187;$$

$$k_T = 1 + 0,43(1 - \text{HSD}/65)^2 = 1 + 0,43(1 - 40/65)^2 = 1,07;$$

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

Приймаємо такі умови роботи кліті: валки сталеві зношені ($k_B = 1,2$); відносний обтиск $\epsilon = 24\%$ ($k_\epsilon = 0,9$), матеріал штаби – ст.08кп ($k_M = 0,95$) і валки охолоджуються водою без застосування мастила ($k_{CM} = 1,0$).

Тоді

$$f = f_0 \cdot k_B \cdot k_T \cdot k_v \cdot k_\epsilon \cdot k_M \cdot k_{CM} = 0,187 \cdot 1,2 \cdot 1,07 \cdot 1,35 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,277.$$

Показник тертя дорівнює

$$f_{\Pi} = 1,6 \cdot f = 0,018 \quad (2.10)$$

$$f_{\Pi} = 1,6 \cdot 0,277 \cdot 0,018 = 0,425.$$

Оскільки $l_d/h_{cp} > 1,1$, а розширенням зневажаємо, то середнє нормальне контактне напруження розраховуємо за формулою

$$p_{cp} = \sigma_{\phi} (1 + 0,48 \cdot f_{\Pi} \cdot l_d/h_{cp}); \quad (2.11)$$

$$p_{cp} = 63 (1 + 0,48 \cdot 0,425 \cdot 1,84) = 86 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки складає [формула (1.31)]

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

що менше допустимого (див. вище).

Визначимо крутний момент прокатки на одному валку за формулою (1.33)

$$M = \psi \cdot l_d \cdot P.$$

Коефіцієнт положення рівнодіючої сил ψ для слябінга і товстолистового стана визначаємо за формулою (Е.С. Рокотян)

$$\psi = 0,38 + 0,12 \cdot h_{cp}/l_d. \quad (2.12.)$$

Тоді

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

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

Крутний момент власне прокатки на двох валках, який приведено до валу двигуна, буде ($i = 1$):

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

Момент тертя в шийках валків ($M_{тр1}$) і в лінії стану ($M_{тр2}$) (привод через шестеренну кліть без редуктора) визначимо із формул ($i = 1$):

$$M'_{тр1} = P \cdot f_{ш} \cdot d_{ш} / i = 11,3 \cdot 0,02 \cdot 0,6 = 0,135 \text{ МН}\cdot\text{м};$$

$$M'_{тр2} = 0,1(2M' + M'_{тр1}) = 0,1(0,82 + 0,135) \approx 0,16 \text{ МН}\cdot\text{м}. \quad (2.13)$$

Момент холостого ходу буде із формули

$$M'_{хх} = 0,1 \cdot M' = 0,05 \cdot 1,07 \approx 0,060 \text{ МН}\cdot\text{м}.$$

Сумарний статичний момент, приведенний до валу двигуна – ($i = 1$):

$$M_{дв} = 2M' + M'_{тр1} + M'_{тр2} = 0,82 + 0,135 + 0,16 = 1,11 \text{ МН}\cdot\text{м},$$

що дещо більше номінального із формули (2.1)

($M_{ном} = 1,07 \text{ МН}\cdot\text{м}$). Перевантаження двигуна за моментом складає

$$M_{дв} / M_{ном} = 1,11 / 1,07 = 1,035 \text{ рази},$$

що допустимо.

Потужність двигуна по статичному моменту:

$$N_{дв} = 960 \cdot M_{дв} \cdot v / R \cdot \eta = 960 \cdot 1,11 \cdot 1,5 / 0,55 \cdot 0,95 = 3030 \text{ кВт},$$

що декілька більше устанавленого двигуна ($N_{дв} = 2900 \text{ кВт}$). З урахуванням динамічного моменту при прискоренні валків з розкатом, розрахунковий момент прокатки зростає до $M_{дв,р} \approx 1,53 \text{ МН}\cdot\text{м}$, а потужність двигуна до $N_{дв} = 4180 \text{ кВт}$.

Допустимий динамічний момент для кліті 1 складає $M_{дин} = 0,42 \text{ МН}\cdot\text{м}$, а для кліті 2 – $M_{дин} = 0,40 \text{ МН}\cdot\text{м}$. Однак це перевантаження двигуна короткочасне, діє тільки в момент розгону валків. Коефіцієнт перевантаження двигуна складає

$$k_{дв} = N_{дв,р} / N_{дв} = 4180 / 2900 = 1,44.$$

Таблиця 2.9. Режим обтисків на ТЛСТ 2300 під час прокатки листів 8x1500x6000 мм із сляба 105x1000x1620 мм, сталь марки Ст. 20

№№ про-ході в	H, мм	h, мм	Δh, мм	B, мм	L, мм	v, м/с	t, °C	ε, %
Чорнова кліть, витягання								
1	105	92	13	1000	1850	1,0	1200	12,4
2	92	82	10	1000	2070	1,0	1195	10,9
Кантування на 90° (розбивка ширини)								
3	82	64	18	2070	1280	1,0	1186	22,0
4	64	50	14	2070	1620	1,0	1180	21,9
Кантування на 90° (поздовжня 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	-

Для реверсивних станів допустимий коефіцієнт перевантаження двигуна приймають $k_{дв} = 2...2,5$. При цьому двигун кліті перевіряють на нагрів за виразом. Використовуючи розрахункові дані табл. 7.6 визначили, що для кліті 1 - $M_{екв} = 0,51$ МН·м, а для кліті 2 - $M_{екв} = 0,4$ МН·м і це менше номінальних крутних моментів. Отже, за еквівалентним навантаженням двигунів режим деформації для отримання листа 8x1500x6000 мм може бути реалізований практично.

Таблиця 2.10. Енергосілові параметри прокатки листа 8×1500мм

№ проходу	l_d мм	$\frac{l_d}{h_p}$	$\sigma_{фв}$ Н/мм ²	f	$R_{ср}$ Н/мм ²	R, МН	ψ	Статичне навантаження		Динамічне навантаження	
								$M_{св}$ МН·м	$N_{св}$ кВт	$M_{дв}$ МН·м	$N_{дв}$ кВт
Витягання											
1	84	0,85	43,7	-	53,2	4,45	0,52	0,523	970	0,943	1660
2	74	0,85	41,2	-	50,3	3,75	0,52	0,395	723	0,815	1680
Розбиття ширини											
3	99	1,35	56,0	0,267	68,0	13,9	0,47	1,6	2920	2,02	3690
4	88	1,55	56,0	0,267	72,5	13,2	0,46	1,3	2390	1,72	3070
Поздовжня прокатка											
5	81	1,84	63,5	0,277	86,1	11,3	0,445	1,11	3000	1,53	4180
6	70	2,08	70,5	0,281	101,0	11,45	0,438	0,99	2690	1,41	3870
7	62	2,44	75,0	0,293	113,5	11,3	0,43	0,808	2510	1,228	3800
Прокатка в чистовій клітці											
8	49	2,62	108	0,268	162	12,8	0,426	0,676	4880	1,076	7670
9	38,6	2,86	126,5	0,267	195	12,2	0,422	0,517	4130	0,917	7300
10	30,6	3,0	133	0,257	206	10,4	0,42	0,380	3540	0,78	7250
11	19,4	2,28	127	0,245	176	5,5	0,433	0,147	1600	0,547	5920
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Проглядування

3. ГАРЯЧА ПРОКАТКА НА ШИРОКОШТАБОВИХ СТАНАХ

Основне виробництво гарячекатаної штабової сталі зосереджено на неперервних широкоштабових станах. Частина продукції широкоштабових станів споживається цехами, які випускають холоднокатані штаби, гнуті профілі, зварні труби (рис. 3.1). Друга частина гарячекатаного металу – товарний продукт – спрямовується безпосередньо на машинобудівні заводи, в будівництво та інші галузі народного господарства. Підкатом для станів холодної прокатки служить гарячекатана сталь товщиною 1,8...6 мм. На виготовлення зварних труб йде метал товщиною 2...16 мм і більше із вуглецевих і низьколегованих марок сталей. Для виробництва гнутих профілів використовують штабову і листову сталь товщиною 2...10 мм.

Широкоштабову сталь в гарячому стані прокатують на станах різного типу (із слябів від слябінгу і машин неперервного лиття заготовок – МНЛЗ):

- неперервних широкоштабових станах гарячої прокатки (ШСГП);

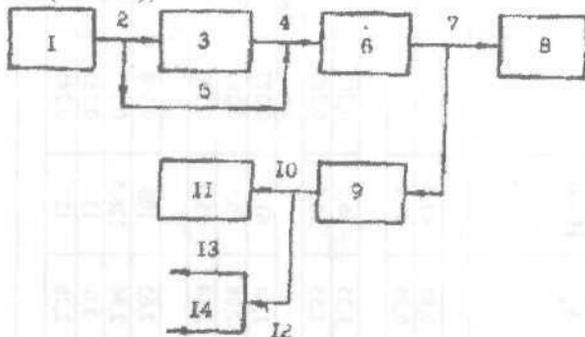


Рис. 3.1. Схема вантажопотоку металу листового циклу прокатки: 1-слябінг або МНЛЗ; 2-сляби; 3-складування і зачистка слябів; 4-зачищені сляби; 5-транзитна подача слябів; 6-неперервний широкоштабовий стан (ШСГП); 7-рулони гарячекатаної штаби; 8-цех холодної прокатки (ШСХП); 9-обробка (травлення); 10-рулони гарячекатаної штаби; 11-цех гнутих профілів; 12-товарна продукція; 13-листи; 14-рулони

- напівнеперервних широкоштабових станах;
- неперервних станах поєднаних із МНЛЗ (прокатка із тонких слябів);
- реверсивних станів типу Стеккеля з пічними моталками;
- планетарних станах.

На широкоштабових станах (ШСГП) прокатують штаби товщиною від 0,8 до 20 мм із слябів вагою 5...40 т. Матеріал штаб: низьковуглецева, низьколегована, легована, електротехнічна сталі та ін. Не дивлячись на різницю конструкцій станів, характерними для них є такі основні технологічні операції:

- нагрів слябів у методичних печах;
- прокатка на стані з інтенсивним деформуванням металу;
- охолодження прокатої штаби, у тому числі і в душируючих пристроях, для поліпшення механічних властивостей і зниження окалиноутворення;
- змотка штаби у рулон;
- охолодження рулонів;
- дресування і обробка (поперечна і поздовжня);
- упакування листів, відвантаження споживачу, у цех холодної прокатки.

Листовий прокат є найважливішим конструкційним матеріалом, застосування якого у всьому світі постійно збільшується. Ця тенденція буде зберігатися ще багато років, оскільки інші матеріали в осяжному майбутньому не зможуть з ним конкурувати за вартістю, показниками якості або об'ємами виробництва.

В даний час йде інтенсивне технічне переозброєння підприємств, що випускають листовий прокат, з переходом на енергозбережні технології, що призводить до зниження собівартості продукції, що випускається, і підвищенню її якості [60,62,65,66].

Історію розвитку широкоштабових станів гарячої прокатки прийнято ділити на п'ять етапів, а самі стани, відповідно до цього, на п'ять поколінь. Основні характеристики станів різних поколінь приведені табл. 3.1 [60].

Широкоштабову сталь прокатують в Україні на двох металургійних комбінатах – ВАТ «Запоріжсталь» (широкоштабовий стан гарячої прокатки 1680, і стани холодної прокатки 1200 і 1680 і ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат» (широкоштабовий стан гарячої прокатки 1700, який введено в експлуатацію в 1960 р. і неперервний стан холодної прокатки 1700, який введено в експлуатацію в 1963 р.). На станах удосконалюється технологія прокатки і устаткування.

На ШСГП 1680 освоюється виробництво гарячекатаних штаб товщиною 1,5 мм, упроваджена технологія прокатки по схемі «слиток-сляб-рулон», проведена заміна двигунів головних приводів клітей чорнової і чистової груп, вдосконалена система прискороного охолодження штаб на відвідному рольгангі, встановлений койлбокс та ін. Реконструкція стана продовжується і зараз.

На ШСГП 1700 в 1994-1996г.г. спільно з французькою фірмою «Clisim» виконано реконструкцію чистової групи клітей. Введено в експлуатацію гідравлічні нажимні пристрої, протівозгиб валків і системи осьового їх зсуву системи автоматичного управління процесом прокатки (АСУТП). Реалізація даних заходів дозволила значно поліпшити точність геометричних розмірів штаб [60,70].

Якість штаб на вітчизняних станах гарячої прокатки визначається рівнем і станом устаткування та систем автоматизації, які переважно відповідають сучасному рівню.

Застосування гідравлічних нажимних пристроїв, ефективного протівозгиба валків, осьового їх зсуву дозволяє істотно понизити поперечну різнововщинність штаб. Так, реалізація цих заходів на ШСГП 2000 ВАТ «НЛМК» (Новоліпецький металургійний комбінат, Росія) дозволила понизити поперечну різнововщинність штаб до 0,02-0,05 мм. Оснащення системою SVC широкоштабового стана дозволило забезпечити практично на всьому сортаменті відхилення профілю поперечного перетину штаб від заданого значення в межах 15 мкм, при цьому відхилення від площинності штаб не перевищує 10-12 ед. $I_v(6-7\text{ мм/м})$.

Таблиця 3.1 Розвиток станів гарячої прокатки

Параметри	Покоління станів гарячої прокатки				
	I	II	III	IV	V
Період пуску станів, рік	1926-1960.	1960-1970.	1970-1980.	1980.	1990.
Продуктивність, млн.т/р	1,5-2,5	3-4	5-6	5-6	1,5-2,5
Відносна маса рулонів, кг/мм ширини	4-10	16-25	27-35,7	18-25	18-25
Маса рулонів, т	10-15	20-40	39,5-45	20-30	20-30
Максимальна швидкість, м/с	10-12	16-22	27-34,3	20	20
Товщина штаб, мм	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 0,8$	$\geq 1,2$	$\geq 0,8$
Ширина штаб, мм	1100-500	1600-2200	до 2300	600-2000	до 1800
Допуск на товщину, мм	0,15	0,15	0,15	0,07	$\leq 0,05$
Допуск на ширину, мм	20	20	20	12	10
Число чистових клітей	6	6	7-9	7	5-7
Сляб	Катаний	Катаний	Катаний і непереривноли той	Непереривно литой	Непереривно литой тонкий сляб

Одним з найбільш ефективних технічних рішень, яке дозволяє стабілізувати температурні і енергосилові параметри прокатки, є оснащення широкоштабових станів проміжними пристроями перемотувань (Coilbox). Такі пристрої встановлені

на 46 станах гарячої прокатки. Підвищення стабільності температурного режиму прокатки і відсутність необхідності вести прокатку з прискоренням дозволило зменшити відхилення по товщині штаби приблизно від ± 25 мкм (прокатка без системи Coilbox) до ± 10 мкм (прокатка з системою Coilbox).

Останніми роками має місце зростання виробництва гарячекатаних штаб за рахунок введення компактних ливарно-прокатних модулів (ЛПМ) з використанням тонких слябів (50-75 мм). Застосування новітніх досягнень науки і техніки дозволило досягти високих показників якості прокату. Наприклад, відхилення по товщині складає $\pm 10 - \pm 5$ мкм. Така технологія із застосуванням сучасних способів виплавки, позапічної обробки і розливання сталі дозволяє гарантовано забезпечити вищі і стабільніші експлуатаційні властивості прокату в порівнянні прокаткою штаб з неперервнолитих слябів, або із злитків, які розлиті у виливниці [26-28, 60, 62, 65, 66].

Обидва широкоштабові стани України до теперішнього часу, як заготовку використовують сляби, зі слябінгу. Широкоштабовий прокат вітчизняного виробництва декілька поступається зарубіжному по точності геометричних розмірів і стабільності механічних властивостей, хоч і відповідає вимогам стандартів, у тому числі і деяких міжнародних. Дані з якості прокату приведені в таблиці 3.2 [60].

Корінного підвищення якості гарячекатаних штаб можна досягти наступними шляхами.

Рівень і стабільність механічних властивостей:

- перехід на використання неперервнолитої заготовки із застосуванням сучасних способів виплавки, позапічної обробки і розливання сталі;
- оснащення прокатного стану засобами стабілізації і управління температурним режимом прокатки і охолодження (екрани, сучасні пристрої перемотувань, охолодження штаб перед змотуванням в рулони і ін.);
- введення систем автоматичного управління температурою прокатки і охолодженням штаб;
- оснащення пристроями для регульованого охолодження рулонів.

Таблиця 3.2. Показники якості гарячекатаних штаб

Найменування показників якості	Продукція старих станів	Продукція сучасних станів
Поздовжня різнововщинність, мм (до)	$\pm 0,16-0,25$	0,01-0,05
Поперечна різнововщинність, мм (до)	0,06-0,15	0,01-0,05
Відхилення від площинності, мм/м (до)	10-15	6-10
Відхилення від ширини, мм	+15-30	$\pm 8-10$
Точність забезпечення температур кінця прокатки і змотування °С	$\pm 20-50$	$\pm 5-10$
Розкид значень прочностних властивостей*, Н/мм ²	$\pm 30-75$	± 20

Точність геометричних розмірів і якість поверхні:

- оснащення гідравлічними натискними пристроями вертикальних валків чорнової групи клітей і клітей чистової групи;
- оснащення сучасними системами автоматичного управління процесом прокатки і регулювання технологічних параметрів з одночасним застосуванням сучасних засобів вимірювання поперечної різнововщинності, площинності штаб;
- застосування ефективних систем охолодження і управління температурним режимом прокатних валків і сучасних зносостійких матеріалів робочих валків;
- використання сучасного обробного устаткування (ізгибно-растяжних пристроїв, дресирувальних клітей і ін.).

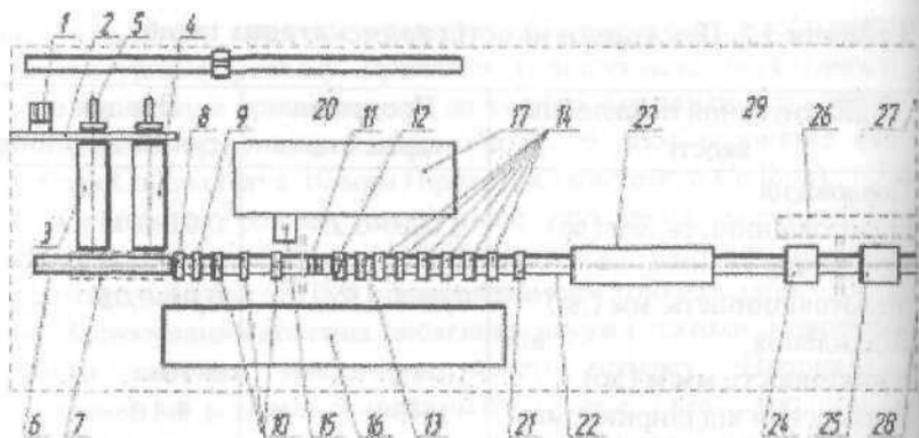


Рис.3.2. Схема розташування устаткування ПСГП 1680: 1 – завантажувальний стіл для слябів; 2 – завантажувальний рольганг, 3,4 – нагрівальні печі; 5 – штовхачі слябів; 6 – транзитний рольганг від слябінгу; 7 – теплові екрани; 8 – двошвалковий окалиноламач; 9 – перша чорнова кліть кварто; 10 – чорнові кліті з вертикальними валками; 11 – ППУ; 12 – летючі ножиці; 13 – чистовий окалиноламач; 14 – шість клітей кварто (№№ 5-10) чистової групи; 15 – індукційна установка для підігріву робочих валків перед установкою в кліть; 16 – машинний зал; 17 – вальцешлифовальна майстерня; 18 – рельсовий шлях від слябінгу; 19 – візок; 20 – ділянка верстатів для зачистки поверхонь слябів з якісних марок сталей; 21 – вимірник розмірів штаби; 22 – відповідний рольганг; 23 – душирююча установка; 24,25 – моталки; 26 – конвейер прибирання рулонів; 27,28 – конвейери рулонів; 29 – ділянка оброблення рулонів.

3.1. Прокатка штаб на ПСГП 1680 ВАТ меткомбінат «Запоріжсталь»

В Україні встановлено два неперервних широкоштабових стана (стан 1680 в м. Запоріжжі і стан 1700 в м. Маріуполі), на яких постійно удосконалюється технологія прокатки, забезпечується одержання штабової сталі з високою якістю поперечного профілю і механічних властивостей штаб.

Неперервний стан 1680 гарячої прокатки штаб – перший стан, побудований в Україні в 30-і роки. На цьому стані прокатують штаби товщиною 2...8 мм і шириною 1000...1450 мм із низьковуглецевих, нержавіючих, низьколегованих і легованих

сталей. Заготовкою для стана є сляби товщиною 120...165 мм довжиною $L_{сл} \approx 4,5; 9,0$ м і вагою 5,5...15,0 т. На стані встановлено п'ять методичних чотирьохзонних печей (рис. 3.2) із торцевою посадкою і виданням слябів. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового і природного газів калорійністю 1070...1350 ккал/м³. Довжина печей 31,54 м, а ширина 5,22 м. Сляби поступають із складу на стіл 1 (холодний посад) і по рольгангу 2 – у гарячому стані. Посадка слябів у печі 3, 4 робиться штовхачами 5. Одночасно із печей видають нагріті сляби на рольганг 6. З 1995р. використовують транзитну (пряму) прокатку слябів на штаби, а 1-2 днів за місяць працюють 1,2 пічі. На поверхні сляба завжди є товстий (4...6 мм) шар окалини, зламування якої робиться в окалиноломачі 8 при обтисненні сляба на 15...25 мм. Після окалиноломача встановлений гідросбив, який подає на поверхню воду з тиском 0,9...1,2 МПа. У чорновій групі встановлено чотири кліті: кліть 1 з діаметрами робочих і опорних валків, рівними відповідно 940 і 1320 мм; кліть 2 – з діаметрами 810/1240 мм; кліті 3, 4 – з діаметрами – 600/1240 мм. Усі опорні валки клітей і робочі валки клітей 1 та 2 виготовлені із кованої сталі 9ХФ. В клітях 3 і 4 робочі валки виготовлені із чавуну з відбіленою поверхнею. Валки вертикальних клітей діаметром 810 мм виготовлені із кованої сталі марок ст. 50 і ст. 55. Потужності двигунів клітей з горизонтальними валками рівні (кВт): 1 – 5400; 2-4 – 4000, а колова швидкість приводних робочих валків у кліті 4 - $v_4 = 2,21$ м/с. У чорновій групі клітей розкат прокатується в напівнеперервному режимі (одночасна прокатка: окалиноломач-кліть №1, кліті №2-№3, кліті №3-4). При вході у кліть окалиноломача сляб має температуру 1180...1200°C; по мірі прокатки температура розкату зменшується і за клітю 4 складає 1080...1100°C, тобто втрати температури розкату у чорновій групі складають ~ 100°C).

Величини обтиснень у кожній кліті застосовують з урахуванням допустимих кутів захвату металу валками, міцності валків і потужності двигунів [див. розділи 1, 2]. У відповідності з цими умовами в клітях чорнової групи

допустимі обтиснення для вуглецевих і низьколегованих сталей дорівнюють (мм):

Кліті	Δh	Кліті	Δh
1	35...37	3	37...40
2	37...40	4	37...40

Менші величини Δh відносяться до штаб із шириною $B > 1250$ мм. Кліті з вертикальними валками усувають лише розширення металу у попередній кліті.

Розкат, який вийшов із кліті 4 по проміжному рольгангу довжиною ~ 60 м проходить летучі ножиці 12, де відрізають передній дефектний кінець, чистовий окалиноломач 13 для попереднього зламування повторної окалини і захватується робочими валками кліті 5 чистової групи 14.

У чистову групу поступають розкати товщиною і $H_p = 20-28$ мм. При роботі проміжного перемотувального пристрою (ППУ-койлбокс) 11 розкат змотують в рулон а потім задній кінець рулону задають в першу кліть чистової групи. В цьому випадку перед чистовим окалиноломачем температура розкату складає $1000-1050^\circ\text{C}$, а заднього кінця – $930-970^\circ\text{C}$. Після окалиноломача температура розкату знижується на $15-20^\circ\text{C}$.

У чистовій групі установлені шість однотипних чотирьохвалкових клітей (№№5-10) з діаметрами робочих валків 600-620 мм (двошарові чавунні валки з вибіленою поверхнею марок ЛПХН_д – (70-73) (литі прокатні хромонікельові з твердістю 70...73 HSD – за Шором). Опорні валки із кованої сталі марки 9ХФ з твердістю поверхні 40...42 HSD. Між клітями установлені ролики петлетримачів. Робочі валки кожної кліті приводяться через редуктор і шестеренну кліть електродвигуном потужністю 7000 кВт, а колова швидкість робочих валків зумовлена розміром штаби, яку прокатують. Максимальна практична швидкість прокатки у кліті 10 буде $v_{10} \approx 9$ м/с. В попередніх клітях окружні швидкості відповідно до закону постійності секундних об'ємів металу визначають за формулами

$$v_9 = v_{10} h_{10} / h_9; \quad v_8 = v_{10} h_{10} / h_8; \quad v_7 = v_{10} h_{10} / h_7 \text{ і т.д.}$$

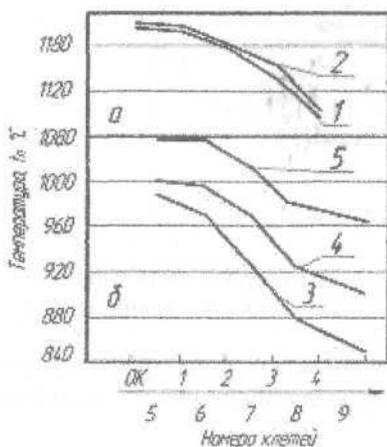


Рис.3.3. Розподіл температур штаби по клітках чорнової (а) і чистової (б) груп ШСГП 1680. Розміри штаби після кліті 4: 1 - 20x1200 мм (сляб Н=150 мм); 2 - 23x1250 мм (сляб Н = 160 мм). Розмір штаби після кліті 10: 3 - 2x1170 мм (h = 20 мм); 4 - 3x1250 мм (h = 23 мм); 5 - 4x1400мм (h = 25 мм). Криві 1, 3, 4, 5 - дані М.М. Сафьяна; 2 - авторів [22] (нагрів слябів в печях)

Після захвату валками кліті №5 штаба входить в наступні кліті, а після виходу заднього кінця із кліті №5 штаба послідовно виходить із кожної кліті стана. Таким чином, кінцеві ділянки штаби на виході із кожної кліті прокатуються без натягання, тоді як у сталому процесі штаба прокатується із невеликим натяганням ($\sigma_n = 10...30 \text{ Н/мм}^2$), що менше напруження течії низьковуглецевого металу при відповідних температурах. На рис.3.4 подано зміна товщини по довжині штаби.

Для зменшення товщини заднього кінця в клітках №№5-9 необхідно виконувати додаткове обтиснення кінцевої ділянки в межах 0,05-0,5 мм (більше обтискання в кліті 5).

На рис.3.4 подано зміна товщини по її довжині на ділянках 2 зміна товщини (високочастотна різнотовщинність) виникає унаслідок биття робочих і опорних валків, що мають діаметральний ексцентриситет, а на ділянках 3 (глісажні мітки) – виникає унаслідок охолодження сляба на глісажних трубах методичних печей, якщо сляби піддають в них нагріву. Різнотовщинність на ділянках штаби (проти номінальної товщини) складає ($\delta h, \text{ мм}$): 1 - 0,05 - 0,08; 2 - 0,03; 3 - 0,04 - 0,05; 4 - 0,1 - 0,2. При транзитній (прямій) прокатки і слябів із слябінгу ділянки 3 різнотовщинності відсутні, а за наявності коїлбокса товщина переднього і заднього кінців штаби істотно зменшуються.

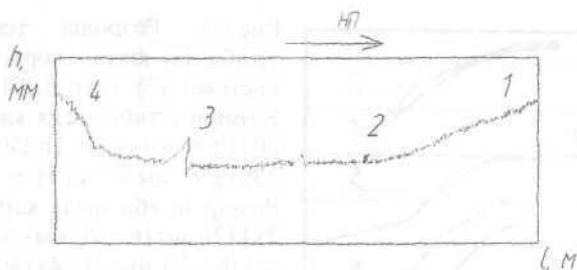


Рис. 3.4. Товщина штаби по довжині L при нагріві слябів у пічах: 1 – передній кінець; 2 – мінімальна; 3 – глісажні мітки; 4 – задній кінець

Частина рулонів по підземному конвейєру спрямовують у цех холодної прокатки, а другу частину - для поділу на листи, вузькі штаби у цеху гарячої прокатки.

Виконані роботи по удосконаленню технології гарячої прокатки штаб, які спрямовані на скорочення енерговитрат і підвищення якості поперечного профілю штаб. Як визначали у розділі 1, на слябінзі 1150 меткомбінату «Запоріжсталь» посадку злитків низьковуглецевих марок сталей роблять з рідкою серцевиною, що дає змогу у перші 1,5...2 ч після посадки злитків не опалювати осередки газом (відбувається вирівнювання температури по перерізу зливка). Потім в осередок подають газ на протязі 1...1,5 год. і нагрівають злитки перед виданням на стан слябінг.

Злитки низьковуглецевої сталі на слябінзі прокатують донною частиною уперед, що виключає забурювання розкату в клітках ШСГП 1680 під час транзитної прокатки слябів подвійної довжини. Крім того, завдяки застосування такого способу прокатки слябів декілька зменшилась довжина кінцевих накатів («риб'ячий хвіст»).

На самому ШСГП 1680 здійснення транзитної прокатки слябів виключило необхідність використання нагрівальних печей, які вмикають один раз у місяць для нагріву і наступної прокатки слябів, непрокатаних раніше транзитом. Така технологія транзитної прокатки дає змогу суттєво скоротити витрати газу на меткомбінаті. Крім цього у черновій групі кліті роботають в змінно-неперервному режимі (окаліноломач – кліть №1; кліть №2-№3; кліть №3-№4).

3.3. Режим деформації штаби 3x1250 мм із сляба 160x1250 мм (ШСПП 1680)

№№ клітей	H, мм	h, мм	Δh , мм	ϵ , %	v, м/с	t_n , °C	P_{cp} , Н/мм ²	P, МН	M, МН·м	N, кВт
Чорнова група										
OK	160	135	25	15,7	1,0	1180	-	-	-	-
1	135	95	40	29,8	1,05	1176	86,7	15,5	1,69	3330
2	95	57	38	40	1,45	1159	97,2	15,5	1,84	5750
3	57	36	21	36,7	1,59	1140	115	11,6	0,835	3870
4	36	23	13	36	2,21	1096	138	12,6	0,73	4670
Чистова група										
5	23	14,5	8,5	36,9	1,9	972	265	16,7	0,745	4160
6	14,5	9,53	4,97	34,3	2,87	961	317	15,3	0,528	4400
7	9,53	6,27	3,26	34,4	4,3	952	371	14,95	0,403	5080
8	6,24	4,57	1,7	27,1	5,8	938	409	11,7	0,236	4000
9	4,57	3,65	0,92	20,1	7,22	924	402	8,33	0,131	2780
10	3,65	3,0	0,65	17,8	8,8	908	402	7,10	0,096	2450

Після виходу з кліті №10 штаба охолоджується на душируючому пристрої для зменшення температури до 500-660°C з метою отримання необхідної мікроструктури, змотується моталкою в рулон, а потім конвейерами транспортується до складу і в цех холодної прокатки штаб (ЦХП). Штаби деяких марок сталей змотують на моталки без охолодження.

3.2. Технологічний процес прокатки на неперервному широкоштабовому стані 2030

Широкоштабові стани гарячої прокатки, які установлені після 1970 р., характеризуються високою продуктивністю (до 6 млн. т/рік), швидкістю прокатки до 30 м/с і вагою рулонів до 45 т. Крім неперервних станів з'явилися 3/4 - неперервні стани, у яких останні дві-три кліті чорнової групи об'єднані у неперервну групу. Таке розташування клітей дає змогу задавати у чистову групу більш тонкий розкат з більш високою

температурою і, отже, прокатувати більш тонку штабу. Сучасні широкоштабові стани мають у складі 4-6 клітей кварто у чорновій групі і 6-7 клітей у чистовій групі. Прокатують штаби товщиною 0,8...30 мм, шириною 600...2300 мм із слябів з розмірами (130...300)х(600...2300) мм і довжиною 9...15 м (табл.3.4).

Характерні особливості неперервних станів [12,24,65]:

- широке застосування нагрівальних печей з крокуючими балками; упровадження 3/4 – неперервних станів; збільшення кількості чорнових (до 5-6) і чистових (до семи) клітей; установа окремих моталок для тонких і товстих штаб; широке втілення системи автоматичного регулювання товщини штаби і пристроїв регулювання прогину валків; застосування методу прискорення прокатки у чистовій групі клітей з метою регулювання температури за довжиною штаби; механізація зміни робочих валків; повне освоєння управління технологічним процесом за допомогою ЕОМ.

В Україні і Росії встановлено декілька неперервних (безперервних) широкоштабових станів, у тому числі і НІСГП 2030 на Череповецькому металургійному комбінаті (рис.3.5, табл.3.4).

Останні потребують і великих капітальних витрат на будівництво. Сучасні штовхальні п'ятизонні печі опалюються із 200-214 горілок, які розташовані у торцевих, бічних ділянках пічі і на своді, у тому числі 76 пальників у томільній зоні. Як паливо застосовують природний і доменний газ, суміш газів, мазут.

Коливання товщини штаб викликаються пониженням температури слябів на ділянках їх контакту з глісажними трубами. З метою зменшення утворення ділянок з пониженою температурою передбачають спеціальну конструкцію подових труб, особливість якої складається в наявності жаростійких рейтерів (опорних брусів), які виготовлені із кобальтового сплаву. У печах з крокуючими балками виключено утворення темних ділянок і подряпин на поверхнях слябів через відсутність глісажних труб. Томільна зона в сучасних печах часто розділена на дві зони регулювання температури, що дає змогу задній кінець сляба (відносно

прокатки) нагрівати декілька більше, ніж передній. Цим компенсується перепад температури по довжині розкату при проходженні його через стан.

Із складу сляби подають візками 4 до печей 1, у яких, в залежності від хімічного складу, сляби нагрівають до температури 1180...1250°C і видають штовхачами 2 на приймальні пристрої 26 і рольганг 28. Першою операцією усунення окалини із сляба є зламання її у вертикальному окалиноломачі 25. Діаметр валків окалиноломача дорівнює $D = 1200$ мм (обтиск за шириною 50...100 мм) і дає змогу руйнувати суцільний шар окалини по всій ширині сляба. Крім того, інтенсивний обтиск по ширині запобігає утворенню розривин на кромках штаб. У горизонтальному окалиноломачі 24 з діаметром валків 1200 мм, зламання окалини відбувається із обтиском 15...40 мм. Після зламання окалину усувають з поверхні гідрозбивачем з тиском струменя води на виході із форсунок у межах 15...20 МПа.

У чорнових клітках сляби товщиною 200...305 мм обтискують до товщини 25...80 мм (коефіцієнт витягання до $\mu=12$). Обтиски в клітках визначаються виходячи із граничних умов [формули (1.8)-(1.11)] і технологічною особливістю прокатки у чорновій і чистовій групах клітей. Максимальні обтиски у чорновій групі, як правило, не перевищують 60 мм і складають, в залежності від товщини розкату, 15...50% (табл. 3.5).

Сучасні широкоштабові стани обслуговуються п'ятизонними (шестизонними) печами з продуктивністю до 300 т/г і печами з крокуючими балками продуктивністю 350 т/г і більше. Витрати на нагрів металу у штовхальних печах на 10...15% менше, ніж у печах із крокуючими балками. Із складу сляби подають візками 4 до печей 1, у яких, в залежності від хімічного складу, сляби нагрівають до температури 1180...1250°C і видають штовхачами 2 на приймальні пристрої 26 і рольганг 28. Першою операцією усунення окалини із сляба є зламання її у вертикальному окалиноломачі 25.

Діаметр валків окалиноломача дорівнює $D = 1200$ мм (обтиск за шириною 50...100 мм) і дає змогу руйнувати суцільний шар окалини по всій ширині сляба. Крім того, інтенсивний обтиск по ширині запобігає утворенню розривин на кромках штаб. У горизонтальному окалиноломачі 24 з діаметром валків 1200 мм, зламування окалини відбувається із обтиском 15...40 мм. Після зламування окалину усувають з поверхні гідрозбивачем з тиском струменя води на виході із форсунок у межах 15...20 МПа.

У чорнових клітках сляби товщиною 200...305 мм обтискують до товщини 25...80 мм (коефіцієнт витягання до 12). Обтиски в клітках визначаються виходячи із граничних умов (розд.1) і технологічною особливістю прокатки у чорновій і чистовій групах клітей. Максимальні обтиски у чорновій групі, як правило, не перевищують 60 мм і складають, в залежності від товщини розкату, 15...50% (табл. 3.5).

3.4. Технічна характеристика неперервних широкоштабових станів

Показники	Стани		
	2030 Чер МК	2285 Японія	2285 Франція
1	2	3	4
Розмір готової штаби, мм:			
товщина	1...16	1,2...16	1...16
ширина	1000...1800	600...2100	600...2135
Розміри слябів, мм:			
товщина	200...250	150...300	180...220
ширина	1000...1800	600...2200	600...2135
довжина	≤ 10,5	4...13	≤ 14,5
Максимальна вага слябів, т	36	45	38
Вага рулонів на 1 м його ширини, т	20	28,6	26,8

Продовження табл.3.4

Чорнова група			
1	2	3	4
Кількість клітей	6	5	6
Діаметр валків у вертикальному окалиноломачі, мм	1200	1200	1220
Діаметр валків горизонтального окалиноломача, мм	1200	1270	1270
Діаметри валків чорнових клітей, мм:			
робочі	1200	1270	1170
опорні	1600	1630	1625
Швидкість в останній чорновій кліті, м/с	5,0	4,17	4,7
Потужність двигунів, кВт:			
горизонтальний			
окалиноломач	5000	4500	3680
наступні кліті	800010000	10000... ...12500	7320...9820

Чистова група			
1	2	3	4
Число клітей	7	7	7
Діаметр валків, мм:			
робочих	800	815...765	760
опорних	1600	1630	1625
Максимальна швидкість прокатки, м/с	21	27,2	27
Потужність двигунів, кВт	7x12000	5x12000 1x9000 1x6750	7x9750

Таблиця 3.5. Відносні обтиснення у клітках стана

Номер кліті	Чорнова група	Чистова група	
	ε , %	ε в шестикліт- твовій групі, %	ε в семиклі- твовій групі, %
1	15...23	40...50	40...48
2	22...30	40...45	40...46
3	26...35	34...40	35...41
4	27...40	30...35	32...39
5	30...50	25	25...35
6	33...35	15...20	20...28
7	-	-	12...25

Для прокатки штаб різної товщини у чистовій групі застосовують відповідні розміри підкатів (розкатів) і слябів (табл. 3.6).

У чорновій групі чотирихвалкові кліті 22 універсального типу. Вертикальні валки цих клітей калібрують ширину розкату за рахунок обтиску металу (до 25 мм у кожній кліті), яке відповідає розширенню у попередній кліті. Особливістю цього стана є наявність трьохклітвової неперервної групи, у якій розкат прокатують із невеликим натяганням ($\leq 10...15$ Н/мм²). Для дотримання цієї умови крефіцієнт неузгодження швидкостей сусідніх клітей $k \geq 1,005...1,01$. Колова швидкість у першій кліті $v_1 \approx 1,2$ м/с, а в останній кліті чорнової групи $v_5 \leq 5,0$ м/с.

Таблиця 3.6. Рекомендовані розміри слябів, розкатів і штаб

Товщина сляба, мм	Товщина розкату, мм	Товщина штаби у чистовій групі, мм	
		6 клітей	7 клітей
305	38	-	2,0
255	32	-	1,3...3,0
205	25	1,7...2,7	1,0

Після чорнової групи розкат з температурою 1080...1120⁰С видають на проміжний рольганг довжиною 115...140 м, по якому він переміщується до чистової групи клітей 18. У випадку раптової зупинки клітей чистової групи, розкат із проміжного рольганга скидувачем 7 передають у карман 21 для недокатів і товстих штаб. Перед входом у першу кліть чистової групи передній кінець відрізають на летучих ножицях 20 барабанного типу. За мірою руху розкату (підката) по рольгангу відбувається втрата тепла і температура його заднього кінця, який входить у першу кліть чистової групи, буде на 70...90⁰С нижче, ніж переднього.

Наявність перепаду температур по довжині розкату обумовлює появу поздовжньої різнотовщинності на готовій штабі з більшою товщиною на задньому кінці (див. рис. 3.4). Для компенсації впливу температурного клину прокатку в чистовій групі виконують з прискоренням $v = 0,05 - 0,1 \text{ м/с}^2$ після захвату моталкою переднього кінця штаби. При такому способі прокатки поздовжня різнотовщинність штаби виявляється мінімальною за рахунок зменшення градієнта температур, напруження течії, зусилля прокатки і зменшення вертикальних деформацій деталей кліті і, отже, товщини штаби.

Останніми роками набувають поширення проміжні пристрої перемотувань (ППУ-Coilbox), що встановлюються перед чистовою групою клітей (перед кінцевими ножицями). На ППУ змотується в рулон розкат, що виходить з чорнової групи. Рулон потім кантують і задній кінець штаби подається в першу кліть чистової групи. Тепер задній кінець розкату входить до чистової групи першим, а охолодженню внутрішніх витків рулону перешкоджає великий запас теплоти. Використання ППУ практично виключає відмінність температури по довжині розкату. Крім того, ППУ дозволяє зменшити довжину проміжного рольганга до 45 – 90 м. На випадок затримок в стані передбачена піч що підігріває рулон. Сучасні ППУ призначені для змотування розкату з швидкістю до 5,1 м/с масою 4,5 – 31 т при ширині 510 – 1930 мм.

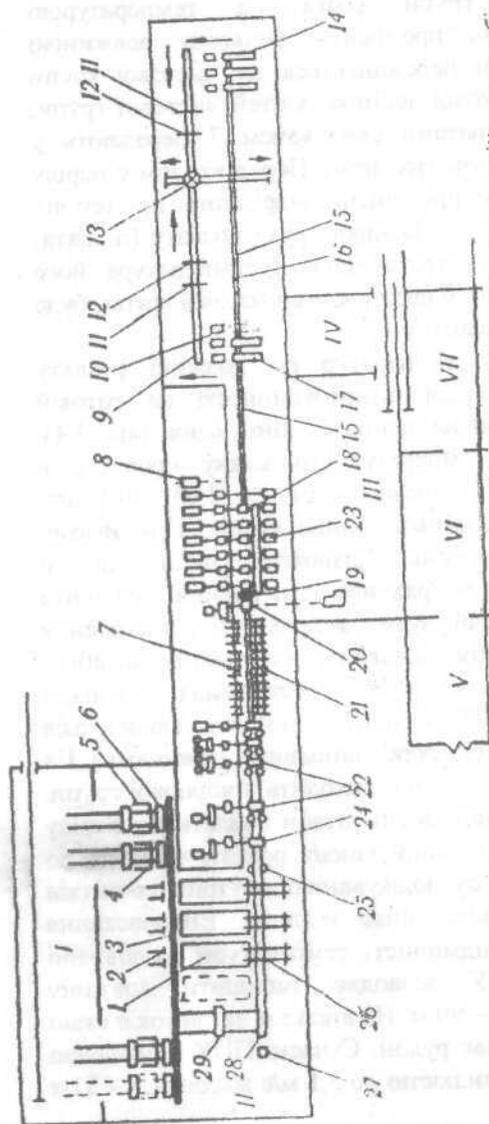


Рис. 3.5. Схема розташування обладнання стана 2030 Череповецького металургійного комбінату: I- склад лябів; II-проріг стана; III-ділянка підгрівання валків; IV-насосна станція; V-майстерня ревізії підшипників кочення; VI-вальцешпінфвальна майстерня; VII-склад валків: 1-нагрівальна піч; 2- штовхач лябів у піч; 3-завантажувальний рольганг; 4-візок для лябів; 5-штовхач лябів у стана; 6- штовхач лябів у піч; 7-зкидувач недокатів; 8-чистова кліт'я №8 (штриховими лініями показана підйомний стіл; 9-чистова робоча кліт'я №8, намічені до установки); 9-конвейер рулонів; 10-кантувач нагрівальна піч і чистова робоча кліт'я №8; 11-маршрувальник рулонів; 12-рулоно-в'язальна машина; 13-підйомно-поворотний стіл; 14- друга група моталок; 15-система охолодження штаб на відвідних рольгангах; 16-відвідні рольганги; 17-перша група моталок; 18-чистова група кліт'ей; 19-чистовий роликів окалиноломач; 20-летучі ножиці; 21-карман для недокатів і товстих штаб; 22-торнова кліт'я; 23-вертикальна кліт'я; 24-карман для зміни валків; 25-вертикальна кліт'я; 26-приймач лябів; 27- стаціонарний упор; 28-підйомний рольганг для лябів; 29-передаточний візок для лябів.

Перед чистовою групою клітей установлений окалиноломач 19 роликів типу, який забезпечує зламвання повторної окалини на поверхні розкату.

У чистовій групі, так само як і у чорновій, установлені чотирьохвалкові кліті (два робочих валків діаметром 800 мм і два опорних валка діаметром 1600 із довжиною бочок 2030 мм), які дають змогу отримувати поперечний профіль готових штаб належної якості. Як відомо, опорні валки, які мають великий діаметр і відповідну високу жорсткість, знижують прогин робочих валків. Менший діаметр робочих валків забезпечує деформацію металу із порівняно невеликими нормальними контактними напруженнями. Чотирьохвалкові кліті мають більш високу ефективність зниження поперечної різнотовщинності штаб порівняно із двовалковими і трьохвалковими клітями, які мають меншу жорсткість.

Режим деформації штаб у клітях чистової групи обумовлено кількістю клітей, товщиною і хімічним складом штаби (табл. 3.5). При розробці технології прокатки штаб основною задачею є установлення раціонального режиму обтисків у чистовій групі стана, який повинен забезпечувати наступне:

1. Температуру кінця прокатки, яку потрібно.
2. Сила прокатки не повинна перевищувати допустиму за міцністю валків.
3. Потужність, яка затрачується на прокатку, не повинна перевищувати потужність встановленого головного привода, який встановлено.
4. Поперечна різнотовщинність і площинність готової штаби повинна відповідати стандарту і технічним умовам (ТУ).

На сучасних станах застосовують режим з максимальним відносним обтиском у першій кліті чистової групи ($\epsilon = 40...50\%$) і мінімальне – у чистовій кліті ($\epsilon = 15...20\%$). Вказані обтиски у чистовій групі у сукупності із заданою температурою штаби забезпечують отримання необхідної мікроструктури металу і механічних властивостей.

Регулювання міжвалкового зазору в процесі прокатки штаби виконують електромеханічними і гідравлічними натискними пристроями, а центрування штаби по осі стана здійснюють керованими бічними лінійками. З метою контролю

натягання штаби між клітями застосовують роликові петлерегулятори з гідравлічним або пневматичним приводом. Ці пристрої вмикаються у роботу після захвату переднього кінця штаби наступною кліттю. Нормальним є процес прокатки при відсутності або при мінімальному натягуванні, що забезпечує отримання штаби з мінімальним відхиленням товщини на її кінцевих ділянках. Під час прокатки штаб на сучасному стані досягається наступна різнотовщинність на 99% усій довжині, мм:

при товщині штаби менше 12,7 мм $\pm 0,025$;
при товщині штаби 12,7 і більше $\pm 0,05$;
по ширині ± 10 .

Сучасні широкоштабові стани працюють з обчислювальними машинами (ЕОМ), які керують усіма основними операціями технологічного процесу:

реєстрація і облік; стеження за металом;
регулювання і оптимізація: режим нагріву; темп прокатки; температура кінця прокатки; температура змотування; профіля і форми штаби; товщини штаби; ширини штаби;
керування: посадкою і виданням слябів із печі; міжвалковими зазорами у чорновій і чистовій групах; транспортними засобами; ножицями і моталками.

У процесі прокатки штаб робочі і опорні валки інтенсивно охолоджують водою через спеціальні колектори з форсунками. Не дивлячись на охолодження, температура робочих валків у середині довжини досягає $70...80^{\circ}\text{C}$ із зменшенням до країв до $30...40^{\circ}\text{C}$. Експлуатація робочих валків з такими температурами сприяє збільшенню зносу їх поверхонь. З метою зниження зносу валків у ряді станів у перших трьох клітках чистової групи застосовують технологічне мастило [25], яке подають на поверхню робочих або опорних валків разом із водою або індивідуально із форсунок. Застосування мастила (мініральні масла) забезпечує збільшення стійкості валків на 20...50%, зниження енерговитрат на 5...10%, зменшення сили прокатки на 10...15%, підвищення продуктивності стана на 3...10%, підвищення швидкості травлення до 15%. Для одержання після прокатки рівноосного зерна фериту у штабі,

дрібнодисперсну структуру і необхідні механічні властивості металу штаби прокатують у чистовій кліті із певними значеннями температури, швидкості і ступеня деформації. Так, для стана 2030 під час прокатки штаб із сталі 08пс, 10пс температура кінця прокатки повинна дорівнювати 860...900°C, а обтиск в останній кліті стана при $v = 20$ м/с складає 15...20%. Після виходу із кліті штаба піддається душированню із пристрою на відводному рольгангу 15. При цьому температура на початку душирування 770...800°C, а температура змотування штаби у рулон на моталці – 550...600°C. Такий режим прокатки і душирування забезпечує високу міру штампування металу, та прискорює процес травлення окалини. Продуктивність сучасного ШСГП досягає 6,0 млн. т.

3.3. Неперервна розливка – пряма прокатка слябів

Неперервна розливка рідкої сталі – прогресивний і високоефективний процес виробництва литих слябів. Переваги отримання напівпродукту потрібних розмірів по перерізу із рідкої сталі, минаючи звичайні обтискні агрегати, важко переоцінити. При цьому не тільки вельми значно скорочується увесь процес виробництва металу і зменшуються капітальні витрати, але і різко підвищується якість заготовок і знижується витрата металу, наприклад, при методі “плавка на плавку” в обріз потрапляє лише незначна частина заправного кінця на початку розливки. Підбираючи відповідним чином умови кристалізації, на МНЛЗ можна розливати сляби усіх сортів і марок починаючи від низьковуглецевої і закінчуючи високолегованою [65].

На Новоліпеському металургійному комбінаті (Росія) утворено комплекс кисневих конвертерів з МНЛЗ, який забезпечує високу якість і однорідність заготовок, що зумовлено неперервністю процесу, його механізацією і автоматизацією. Першими МНЛЗ, які отримали промислове застосування, були машина вертикального типу, а зараз установлюють МНЛЗ радіального типу, які мають меншу висоту і добре поєднуються з прокатним станом в одному комплексі.

На рис. 3.6 показані основні елементи обладнання і технології, які забезпечують процес неперервна розливка-пряма прокатка (НР – ПП) [26-28,65].

Коротка характеристика комплексу:

Конвертери (кількість; місткість, т)	3x179
Вакууматор (тип)	Дві камери на рухомій платформі із механізмом підйому ковша
МНЛЗ:	Криволінійна (радіальна)
Тип	з випрямленням у чотирьох точках
Кількість рівчаків	2
Розміри слябів, мм	250x600...1300x4300...9200
Повторне охолодження	Водоповітряне
Широкоштабовий стан 1420 гарячої прокатки неперервний:	
Розмір штаб, мм	1,2...16x600...1300
Маса рулону, т	14...20

Ефективність процесу НР – ПП при виробництві гарячекатаних рулонів визначають три основних фактора:

- застосування технології, яка забезпечує високу якість металу, дає змогу виключити проміжну обробку слябів і прокатують їх одразу після затвердіння металу;

- заходи по збереженню температури металу, які необхідні для використання прямої прокатки без застосування нагрівальної пічі;

- повна відповідність програм виплавлення і прокатки металу, що досягається шляхом правильного складання графіків виплавлення, розливки і прокатки, контролювання усіх операцій кожного переду.

До заходів, які гарантують високу якість штаби і забезпечують виробництво бездефектних слябів, відносяться вакуумування металу, захист струменя металу від повторного окислення на ділянках між розливним і проміжним ковшами, а також проміжним ковшем і кристалізатором; розливка із високою постійною швидкістю шляхом використання

проміжного ковша великої місткості, у якого є затвор і пристрій для механічного усунення шлаку; автоматизація процесу розливки і регулювання рівня металу у кристалізаторі; рівномірне повільне охолодження в результаті застосування водоповітряної суміші.

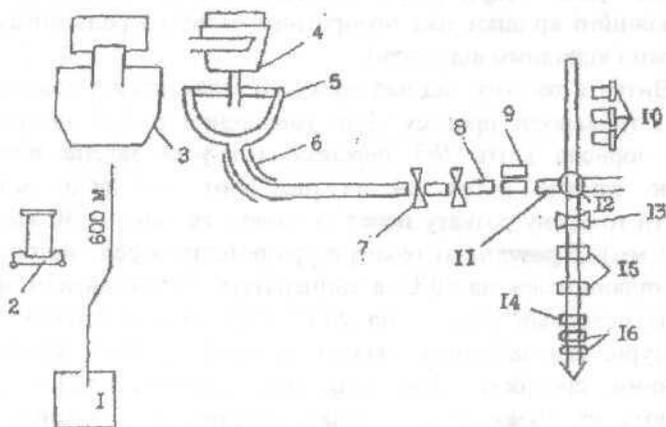


Рис. 3.6. Головні елементи обладнання і технології, які забезпечують необхідні умови для процесу НР – ПП: 1-сталеплавильний цех з трьома конвертерами; 2-транспортування рідкого металу на візку; 3-позапична обробка металу (вакуумування); 4-розливка із захистом струменя металу; 5-проміжний ковш; 6-кристалізатор із регулюванням ширини сляба; 7-високошвидкісний різак; 8-вогнева зачистка поверхні у потоці; 9-індукційний підігрів кромки; 10-нагрівальні печі; 11-ділянка безпосереднього з'єднання неперервної розливки з прокаткою; 12-поворотний стіл; 13-вертикальна кліть; 14-установка чорнової кліть №3 перед чистою групою клітей (кліть М); 15-чорнова група клітей; 16-чистова група клітей.

Для попередження утворення внутрішніх дефектів у метали скорочують крок роликів з метою зменшення випинування сляба, застосовують випрямлення у чотирьох точках і розливку з піджимом. В результаті упровадження цих засобів прокатка без попередньої обробки слябів досягла 95%.

Для збереження високої температури сляба довжина зони примусового охолодження повинна бути мінімальною. При

цьому серцевина сляба на виході із зони охолодження не встигає затвердіти і в результаті теплота серцевини металу використовується на відновлювання температури поверхні сляба. В результаті рівномірного розпилення тонкого шару води на поверхню, температура сляба на виході із МНЛЗ вище звичайної. Для збереження теплоти сляба застосовують теплоізоляційні кришки над поворотним столом і рольгангами (підвідним і відвідним від столу).

Витрата теплоти під час прокатки залежить від поверхні металу і тривалості процесу. Для зменшення площі поверхні розкату чорнова кліть №3 перенесена і установлена перед чистою групою (кліть 14 на рис. 3.6), що дало змогу збільшити товщину розкату перед чистою групою на 30 мм (з 28 до 58 мм). В результаті температура розкату перед чистою групою підвищилась на 40°C , а температура готової штаби при виході із останньої кліті – на 24°C . Підігрівання кромки до температури, яка забезпечує якісну прокатку слябів, ведеться індукційним способом. Для того, щоб ширина слябів, які поступають на прокатку, відповідала ширині штаб, змінюють ширину кристалізатора із швидкістю регулювання 32 мм/хв. (на одну сторону) при розливі на МНЛЗ із постійною швидкістю 1,6 м/хв. Рідку сталь розливають на сляби розмірами 120...250x900...1850 мм із швидкістю 0,7...2 м/хв.

Процес безперервної розливки сталі у сляби порівняно з розливкою у виливницю і наступною прокаткою на обтискних станах має такі переваги:

- збільшується вихід придатного на $\sim 10\%$ при виробництві слябів із вуглецевої сталі і $\sim 15\%$ - із легованої сталі;

- виключаються операції по підготуванню виливниць, "роздяганню" зливків, нагріву зливків в колодязях і прокатки їх на обтискних станах;

- для цеху МНЛЗ скорочуються на $\sim 50\%$ виробнича площа і на $\sim 40\%$ капітальні витрати порівняно із звичайним сталеплавильним цехом, де виробляється розливка сталі у виливницю.

3.4 Прокатка штаб з тонких слябів

Слябовая технологія виробництва штаб (рис. 3.6) має ряд недоліків, в числі яких:

- невелика швидкість лиття заготовки;
- необхідність установки великої кількості клітей для пластичної деформації металу в кінцеву штабу;
- значна витрата електроенергії на здійснення пластичної деформації;
- порівняно великі витрати металу у вторинну окалину впродовж всього ланцюжка перетворення сляба в штабу.

Прагнення до усунення цих недоліків привело до створення ливарно-прокатних комплексів (ЛПК), для виробництва з тонких слябів (завтовшки 25 – 80 мм) [27, 28, 62, 65].

Успіхи в створенні сучасних МНЛЗ з високим рівнем автоматизації і управління дозволили, з урахуванням досягнень у виплавці чистої сталі, попереджати її забруднення при безперервному розливанні і пошкодженні металу при кристалізації, направляти литі заготовки без огляду в неперервний стан (пряма прокатка), зберігаючи тепло лиття.

Процес безперервного лиття дозволив одержувати не тільки сляби, блюми і заготовки, але і тонкі штаби і заготовки з перетином, ближчим до готового. Із зменшенням товщини сляба зростає швидкість лиття (рис.3.7). Ідея поєднання безперервного розливання і гарячої прокатки вперше реалізована в промисловості в 1989 г.на заводі фірми Nucor (США).

Можливість відливання тонких слябів, зниження загальної гарячої деформації і отримання готової гарячекатаної листової сталі в єдиній технологічній лінії означала появу нової стадії розвитку металургії – епохи ЛПК із застосуванням для прокатки штаб, головним чином, клітей з системою CVC [71].

При переході до сучасних МНЛЗ, криволінійного (радіального) типу, значно ускладнилася технологія розливання і конструкція машин. При створенні ЛПК вирішували основні проблеми: безпека безперервного розливання, висока зовнішня і внутрішня якість штаб, узгодження роботи устаткування в умовах низької швидкості лиття і високої швидкості прокатки і ін. Вирішальну роль в подоланні основних проблем зіграли:

отримання чистої сталі завдяки досягненням в сталеплавильному виробництві; створення нових машин і пристроїв; здійснення концепції автоматизації всієї технологічної лінії і комп'ютерного управління процесами.

Створення пакетів програмного управління на базі математичного моделювання процесів забезпечило при безперервному розливанні сталі: попередження проривів рідкого металу при кристалізації штаби, виключення утворення тріщин в металі, ущільнення серцевини штаб, а також отримання листів з високою точністю розмірів і планшетністю.

Модель динамічного твердіння металу при його обтисканні і додатковому охолодженні в роликівих провідках МНЛЗ після виходу з кристалізатора дозволяє контролювати температурний профіль поперечного перетину тонкого сляба (рис. 3.8). Завдяки ефективному управлінню і збереженню стабільних умов лиття сляби можна направляти в прокат без огляду або обробки.

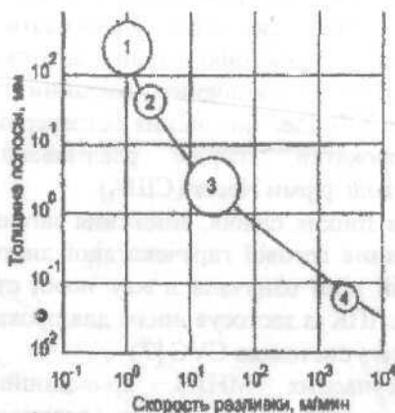


Рис. 3.7. Залежність товщини штаби від швидкості безперервного розливання (1 – сляби; 2 – тонкі сляби; 3 – штаба; 4 – штаба металу з аморфною структурою)



Рис. 3.8. Температурний профіль плоскої штаби при розливанні сталі в радіальній МНЛЗ

За даними фірми MDM, висока однорідність механічних властивостей, поліпшення якості структури, зменшення сегрегації (ликвації) свідчило про отримання якості литих штаб вищого, ніж у штаб, які одержани традиційним способом. Цьому сприяло застосування підігріву проміжних ковшів, використання теплообмінних сталеразливальних стаканів, інтенсивне вторинне охолодження металу після виходу з кристалізатора, а також застосування м'якого (невеликого приватного) обтискання неперервнолитого злитка в роликівих провідках. Точний контроль рівня рідкої фази виявився одним з головних чинників в отриманні високої якості продукції.

Обтискання тонкого злитка (штаби) з рідкою серцевиною в роликівих провідках досягає 70 %, сприяє швидкому сходженню фронтів кристалізації, зниженню відстані між осями дендритів і підвищенню однорідності відливання.

Відливання тонких перетинів надає сприятливу дію на внутрішню якість у зв'язку із зменшенням відстані між осями дендритів (рис. 3.8). За свідченням результатів роботи заводу NUCOR з двома 2-х рівчаківими установками виробництва гарячекатаних штаб завтовшки 1,5 - 12,7 мм (спосіб CSP), якість листів вище, ніж у одержаних за традиційною технологією. На багатьох ЛПК освоєно виробництво різних

сталей: вуглецевих, конструкційних, корозіоностійких, електротехнічних, підшипникових, інструментальних.

Принципова схема ЛПК показана на рис. 3.9. Основними вузлами комплексу є МНЛЗ типу CSP («Комплексне виробництво штаби»), піч для вирівнювання температури, прокатний стан, ділянка охолодження і змотування, яка розташована нижче за рівень цеху [27, 28, 65].

Рідка сталь із двох електропічей піддається позапічній обробці у печі-ковші. Вага плавки – 112 т, цикл випуску плавки – 50 хв. Печі працюють на шихті із 100% лому. Виплавляються сталі для наступної гарячої та холодної прокатки і рядові конструкційні сталі з максимальним складом вуглецю 0,15%, і складом марганцю 0,60%. Вертикальна однорівчачова МНЛЗ з вигнутим кристалізатором характеризується такими основними параметрами:

Товщина безперервно-ливої заготовки, мм	50
Ширина, мм	1100...1350
Максимальна довжина, м	47
Швидкість розливки, м/хв.	2,5...6,0
Довжина кристалізатора, мм	1100
Металургійна довжина МНЛЗ, мм	5800
Радіус згину, мм	3000

На МНЛЗ застосовано жорстку затравку, яка вводиться у кристалізатор знизу; заготовку розрізують на мірні довжини на механічних ножицях.

Піч відпалу 3 обладнано газовими пальниками, які працюють на природному газі. При виборі розмірів печі, в доповнення до камер нагріву і витримки, додали накопичувач довжиною 38 м, так що сумарна довжина печі складає 158 м. Ножиці 4 аварійного різання перед чистовою групою клітей, які повинні забезпечити можливість роботи печі при зупинці прокатного стану, виконано механічними і за конструкцією відповідають ножицям 2 для різання неперервно-литих заготовок. Виконується гідрозбив водою високого тиску.

На чотирьохклітьовому широкоштабовому стані гарячої прокатки 6 у всіх клітках є гідравлічні натискні механізми, системи осьового переміщення валків (CVC) і системи протизгину робочих валків.

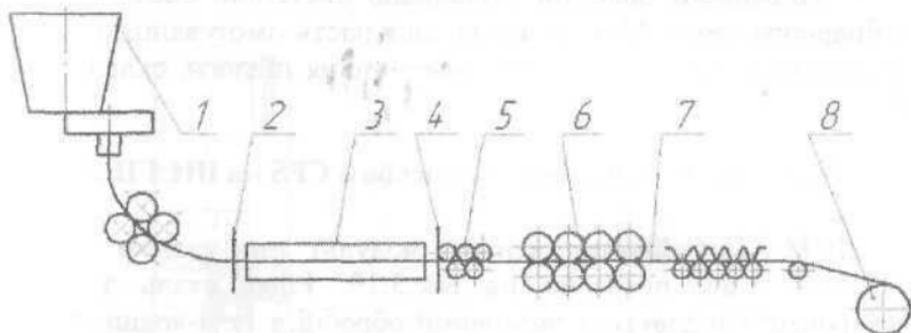


Рис. 3.9. Однорівчаковий ЛПК типу CSP: 1 – МНЛЗ; 2 – ножиці; 3 – піч вирівнювання температури; 4 – ножиці; 5 – окалиноламач; 6 – прокатний стан (чистова група); 7 – ділянка охолодження штаб; 8 – моталка.

Комплексні системи регулювання товщини і форми профілю (планшетності) забезпечують дотримання геометричних параметрів якості. Привідні електродвигуни прийнято однаковими у всіх клітках (потужність 7000 кВт, основна частота обертання 108 об/хв.).

Стан характеризується наступними основними параметрами:

Товщина штаби на виході, мм	2,5...12,7
Максимальна ширина штаби, мм	1350
Зовнішній діаметр рулонів, мм	1000...1950
Внутрішній діаметр рулонів, мм	760
Вага рулонів, т	24
Питома вага рулонів, кг/мм ширини	18
Діаметр робочих валків, мм	780
Довжина бочки робочих валків (із системою SVC)	1700
Діаметр опорних валків, мм	1350
Довжина бочки опорних валків, мм	1500
Максимальне зусилля прокатки, МН	30
Потужність електродвигуна кожної кліті, кВт	7000

Підводний рольганг обладнано системою охолодження ламінарного типу. Максимальна швидкість змотування штаби моталками 8, які розташовано нижче рівня підлоги, складає 12 м/с.

3.5 Технологічний процес за способом CPS на ШСГП 2000

ЛПМ (литейно-прокатний модуль) зі станом 2000 сучасного типу показано на рис.3.10. Рідка сталь з двох електропечей піддається позапічній обробці в печі-ковші. Маса плавки – 160 т, цикл випуску плавки – 50 хв. Печі працюють на шихті з 100% лому. Виплавляються вуглецеві сталі для подальшої холодної прокатки і рядові конструкційні сталі з максимальним змістом вуглецю 0,15% і змістом марганцю 0,06% (рис. 3.10).

Вертикальна двовалкова МНЛЗ 1 характеризується наступними основними параметрами:

Товщина безперервно литої заготовки, мм	30
Ширина, мм	1000-1800
Швидкість розливання, м/хв	6,0-12,0
Довжина кристалізатора МНЛЗ, мм	1100
Металургійна довжина МНЛЗ, мм	5800
Радіус вигину, мм	3000
Річна продуктивність МНЛЗ млн. т в рік.	2

На МНЛЗ застосована жорстка затравка, що вводиться в кристалізатор знизу. Після відливання тонкого сляба, у разі послябової прокатки його розрізають на мірні довжини на механічних ножицях 2.

Піч з роликівим черенем 3 обладнана газовими пальниками, що працюють на природному газі, довга печі складає 180 м.

Температура тонких слябів після печі 1100-1150°C, що вище за досягну температуру прокату при старих процесах. Через це швидкість прокатки в чистовій групі, особливо у разі прокатки тонких штаб, є меншою, ніж на традиційних станах гарячої прокатки смуги. Графік розподілу температури в процесі CPS показаний на рис.3.11.

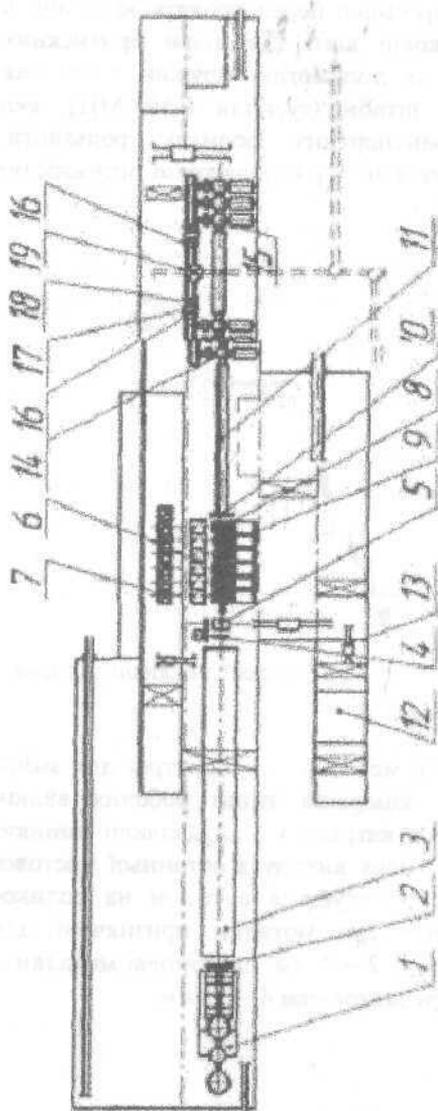


Рис. 3.10 Схема розташування устаткування в цеху із станом 2000

1 – МНЛЗ; 2 – аварійні ножиці, 3 – піч з роликівкою подиною, 4 – летючі ножиці для різання слябів, 5 – чистовий роликівий окатиноламач, 6 – шестеренні кліті ($A=900\text{мм}$), 7 – головні електродвигуни клітей, 8 – робочі кліті, 9 – пристрій для зміни валків, 10 – вимірники ширини і товщини штаби, 11 – рольганг, з ламінарним охолодженням штаби, 12 – насосно-аккумуляторна станція Гидросбива окалини, 13 – передавальні візки, 14 – моталки №1 – 3 для змотування штаби завтовшки до 4 мм, 15 – моталка №3 – 6 для змотування штаби 4 – 10 мм, 16 – машина для обв'язування ролонів, 17 – весні, 18 – машина для маркіровки ролонів, 19 – поворотний

Чистовий окалиноламач роликів типу призначені для руйнування вторинної (повітряної) окалини і подальшого її видалення за допомогою гидросбива перед прокаткою штаби в першій чистовій чотиривалковій клітці. Дві пари притискних роликів діаметром 500 мм за допомогою пружин і важелів системи притискаються до штаби (зусилля 0,50 МН), яка рухається по нижніх транспортних роликах рольганга. Притискні ролики мають привід від електродвигуна потужністю 95 кВт через редуктор ($i=5,7$).

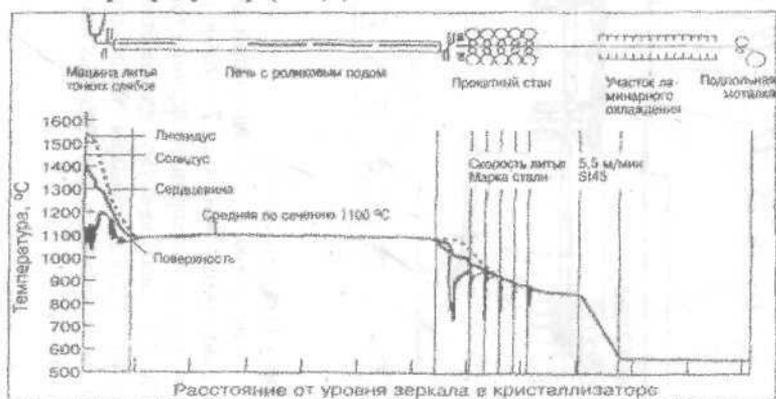


Рис. 3.11. Розподіл температури в процесі поєднання лиття і прокатки CSP

Всі робочі клітці мають механізовані пристрої для зміни робочих і опорних валків. Операція зміни робочих валків здійснюється за 8-10 хв. Між клітцями є направляючі лінійки, проводки і петледержателі. Після виходу з останньої чистової клітці штаба охолоджується і змотується в рулон на роликотарабанних моталках. Перші три моталки призначені для змотування штаби завтовшки 1, 2 – 4 мм; дві кінцеві моталки – для змотування в рулон штаби завтовшки 4 – 12 мм.

Після зламування окалину усувають з поверхні гідрозбивачем з тиском струменя води на виході із форсунок у межах 15...20 МПа.

При виході з печі з роликової подиною температура тонкого сляба по всій його ширині і довжині постійна, тому зниження температури на кромках штаби по відношенню до температури кінця прокатки за останньою кліттю значно менше, чим на звичайних станах. Завдяки меншому температурному перепаду від середини штаби до її кромки вимоги до аустенітного процесу прокатки за останньою кліттю повністю виконуються, навіть якщо температура кінця прокатки у сталей з низьким змістом вуглецю складає 850-860°C.

Постійність температури по довжині тонкого сляба дає можливість на подальших етапах процесу – при прокатуванні і охолодженні – застосовувати однакові швидкості.

Ножиці 4 аварійного реза перед чистою групою клітей, які повинні забезпечувати можливість роботи печі в холосту при неполадках на прокатному стані, виконані механічними і по конструкції відповідають ножицям 2 для різки безперервно литих заготовок. Перед станом встановлений окалиноламач з високим тиском води.

Всі шість чотиривалкових клітей чистої неперервної групи розташовані на відстані 6 м одна від одної. Діаметри валків: опорних 1600 мм, робочих 800 (830) мм; опорні валки встановлені в ПЖТ, а робочі – на підшипниках кочення. Всі кліті мають безредукторний привід від двоякірних електродвигунів постійного струму потужністю 12000 кВт через шестеренні кліті. Максимальні зусилля металу на валки при прокатуванні 32 МН, максимальні моменти прокатки 0,4-2,3 МН·м. Швидкість переміщення нажимних пристроїв 0,5-1 мм/с. Литі сталеві станини мають прямокутні стійки, перетин стійки близько 8600 см². Робоча кліть – чотиривалкова, при максимальному зусиллі металу на валки при прокатуванні має підвищену жорсткість 8,5 МН/мм. З метою підвищення якості поверхні штаби і зменшення її різнотовщинності в останніх трьох клітях застосовується противоізгиб робочих валків за

допомогою гідравлічних пристроїв. Перед першою чистовою чотиривалковою кліттю встановлений чистовий окалиноламах. Моталки мають чотири формуючі ролики діаметром 380 мм з індивідуальним приводом, центральний приводний барабан діаметром 850 мм. Ролики, що тянуть, різного діаметру (900 і 400 мм), мають індивідуальний привід від електродвигунів. Відвідний рольганг довжиною 100 м складається з пустотілих водоохолоджувальних роликів, які встановлені з перекосом в горизонтальній і вертикальній площинах, дякуючи чому забезпечується стійке положення штаби (що набуває коритоподібну форму) при її транспортуванні з великою швидкістю до моталок. По всій довжині рольганга встановлені душируючі пристрої для охолодження штаби перед змотуванням її в рулон (витрата води близько 2 м^3). Рулон візком-знімачем і після кантовки у вертикальне положення встановлюється на ланцюговий транспортер; рулони об'язуються по діаметру вузькою стрічкою на в'язальній машині, маркуються термостійкою фарбою на спеціальній машині-маркірувальнику, зважуються на автоматичних вагах і прямують в цех холодної прокатки або у відділення резки на листи.

Для контролю і регулювання технологічного процесу на стані встановлені наступні прилади і пристрої: месдозы для вимірювання сили на валки у всіх клітках; безконтактні товщиноміри для вимірювання товщини прокату перед чистовою кліттю і товщини штаби, що виходить з останньої чистової кліті; безконтактні шириномери для вимірювання ширини підкату на проміжному рольганге і ширини штаби за останньою чистовою кліттю; пірометри для реєстрації температури: сляба перед чорновим окалиноламахом, підкату на проміжному рольганге, штаби, що виходить з останньої чистової кліті; штаби перед моталкою; прилади для вимірювання натягання штаби між клітками чистової групи.

На стані передбачено широке застосування локальних систем автоматизації, роботи пристроїв для гидросбива окалини, режиму обтискань в чистовій групі клітей, режиму охолодження штаби на відвідному рольганге, швидкості моталок і транспортерів з рулонами. Для оперативного обліку

всіх даних від локальних систем автоматизації в цеху є електронна обчислювальна машина, що управляє (УЭВМ). Перші кліті чистої групи обладнані системою технологічного мастила.

Стан характеризується наступними основними параметрами:

Товщина штаби на виході, мм	1,0-10,0
Ширина штаби, мм	1000-1800
Зовнішній діаметр рулонів, мм	1000-1950
Внутрішній діаметр рулонів, мм	760
Маса рулонів, т	36
Питома маса рулону, кг/мм	18
Діаметр робочих валків, мм	800
Довжина бочки робочих валків, мм	2000
Діаметр опорних валків, мм	1600
Довжина бочки опорних валків, мм	2000
Максимальне зусилля прокатки, МН	32
Потужність електродвигуна кожної кліті, кВт	12000

3.6 Установки ЛПМ для виробництва тонких штаб

Окрім розглянутого, для виробництва штаб використовують і інші ЛПМ, у складі яких застосовують стан Стеккеля з моталками в печах, планетарний стан Платцена з клітьями кварто для отримання штаб товщиною 1,8 мм або двохклітвий стан, для отримання штаб 4,5 – 6 мм. Технологія прямого відливання використовується для отримання штаб завтовшки 1 – 3 мм (г) [28, 65].

Головним стимулом розвитку ЛПМ з відливанням тонких перетинів і доведенням до мінімуму рівня гарячої деформації в прокатному стані є поліпшення економічних показників. Безперервне відливання рідкої сталі на заготовки з поперечним перетином, який ближче за розмірами до готової продукції, є головним засобом підвищення якості металопродукції в новому столітті. На рис.3.12 подано схему розташування ЛПМ фірми “Даніелі” [28].

Особливий інтерес представляє пряме виливання плоскої штаби і, перш за все, технологія валкового розливання сталевих штаб.

В 1865 р. Г. Бессемер запропонував безсліткову прокатку при розливанні рідкого металу в охолоджувані валки, що обертаються. Проте певні успіхи одержали лише через 100 років [62] (рис. 3.13-3.15). Хоча продукція, що одержується цим способом, застосовується лише в окремих областях, його економічна ефективність сприятиме подальшому розвитку нових технологій. Сьогодні є промислові установки для розливання плоских сталевих штаб (рис.3.15). На заводах низки країн вже одержують у такий спосіб сталевий лист завтовшки 2 – 8 мм і шириною 1000 мм.

Сляб, який виходить з МБЛЗ, попадає у піч 5 на ~30хв і виходить з температурою 1100-1150⁰С. Після обрєзи на ножицях сляб подають кліті 9 через ППУ, в чистову групу клітей 12. Із другої лінії нагрітий сляб паромом (тунельна піч) подають к термостату 7 довжиною 48м, де сляб витримують з температурою 1100-1150⁰С. Печі індукційного нагріву. Сляб має товщину 90мм, а після обтиснення у ролікових проводках МБЛЗ-70мм. В чотирьохвалкової кліті товщина сляба зменьшується до h=18-35мм і раскат прокатують у чистової групі клітей до товщини h=0,8-16мм, шириною B=800-1600мм. Сучасні ВЛПМ подано на рис.3.14, 3.15. ВЛПМ "Кастрін" (рис.3.14) розміщено на ділянці довжиною 155м і шириною 135м. Власна довжина ЛПМ від поворотного стенда 2 до моталок-60м.

ВЛПМ має розливальні валки діаметром D=500мм (на інших ЛПМ до D=1500мм) (матеріал валків -медь). На ЛПМ розливають низьковуглецеві і нержавеючі сталі. Його вартість 100млн.долларів і 500млн.долларів витрати на його розробку [28]. Властивість горячекатаних штаб з ВЛПМ практично однакові зі властивостями холоднокатаних штаб.

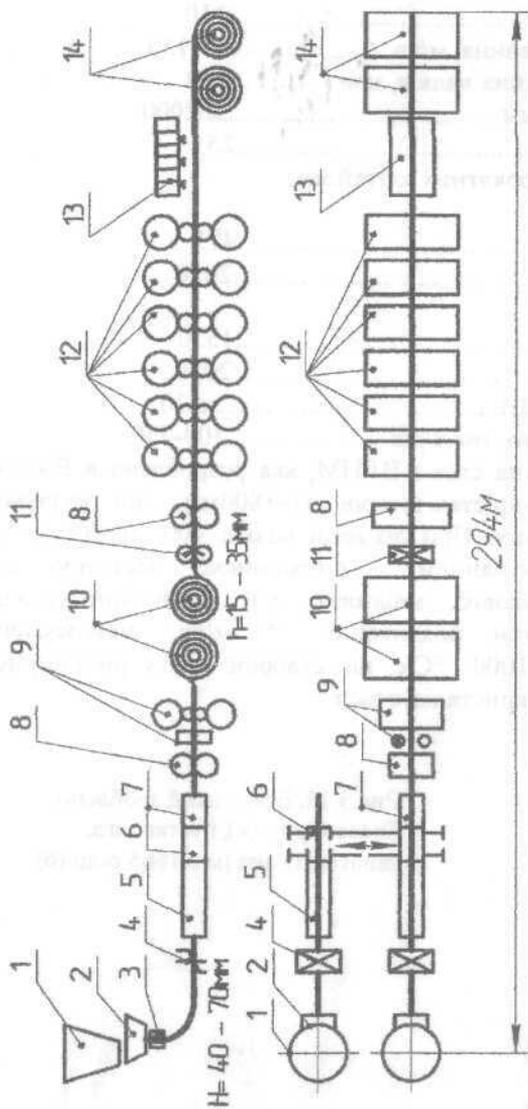


Рис.3.12. Схема розташування основного обладнання ЛПМ фірми "Данісл" [28]: 1 - розливний ковч, 2 - проміжний ковч, 3- кристалізатор, 4 - ножиці, 5 - тунельна п'ч, 6 - паром, 7 - п'ч витримання (теростат), 8 - окислювач, 9 - чорнова універсальна кліть, 10 - ІПЧ, 11 - легючі ножиці, 12 - чистова груша клітей, 13 - душируюча установка, 14 - моталки.

Технічна характеристика ВЛПМ "Castrip"

Маса плавки, т.....	110
Швидкість розливання, м/хв.....	80-150
Діаметр розливочних валків, мм.....	500
Товщина штаби, мм.....	до 2000
Маса рулона, т.....	25
Розмери валків прокатних клітей, мм:	
робочих:	
діаметр.....	475
довжина бочки.....	2050
опорних:	
діаметр.....	1550
довжина бочки.....	2050
Сила прокати, МН.....	до 30
Річне виробництво, тис. т/рік.....	300-750

На рис.3.15 надана схема ВЛПМ, яка розроблена в Росії і має діаметр валків-кристалізаторів $D=1800$ мм, що суттєво більше, ніж на відомих. При діаметрі валків 400...1000 мм з внутрішнім охолодженням і синхронною частотою їх обертання в двовалкових машинах при розливанні сталі досягають швидкостей розливання 35 м/хв, швидкостей охолодження 100...1000 °С/с, що створює тонку рівномірну структуру металу, що кристалізується.

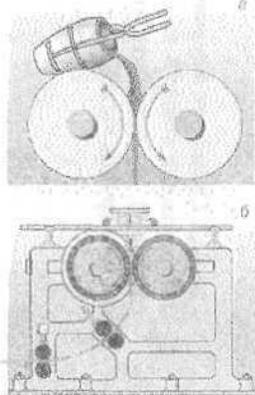


Рис.3.13. Ескіз, який зроблено Бессемером (а), і установка, запатентована їм в 1865 році (б)

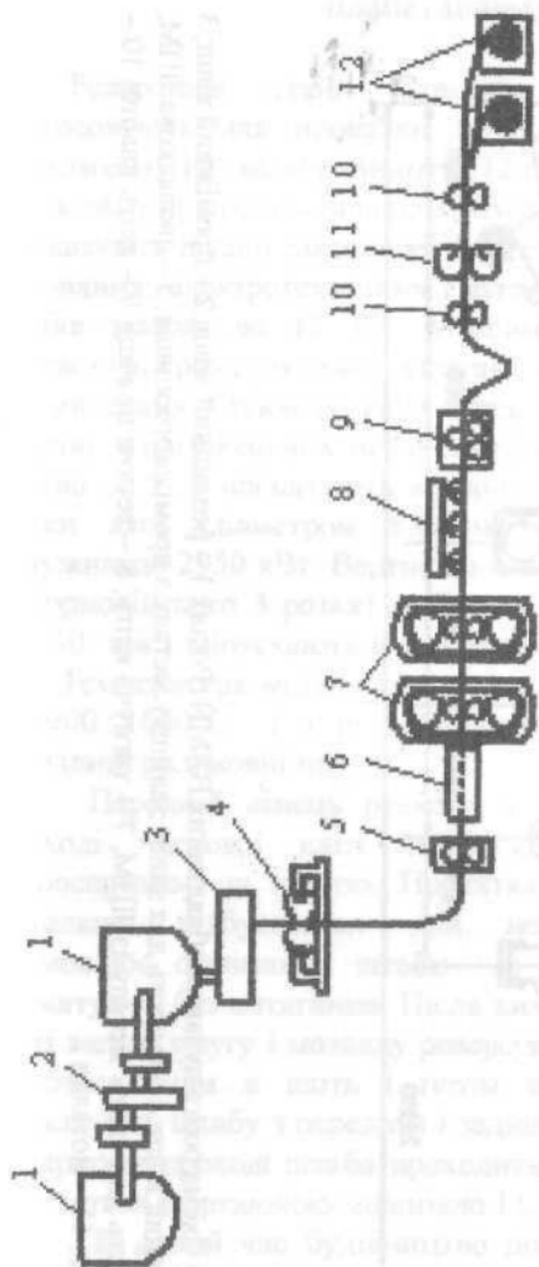


Рис. 3.14. Схема розташування обладнання ВЛПМ в г. Крофордвіле (США) [28]: 1 – розливний ковш, 2 – поворотний стелд, 3 – проміжний ковш, 4 – ливарно – прокатна машина, 5 – тягнутий ролик, 6 – індукційний нагрівач, 7 – прокатні кліти, 8 – дільниця ламінарного охолодження, 9 – правильно – тягнутий пристрій, 10 – тягучі ролики, 11 – летючі ножиці, 12 – моталка

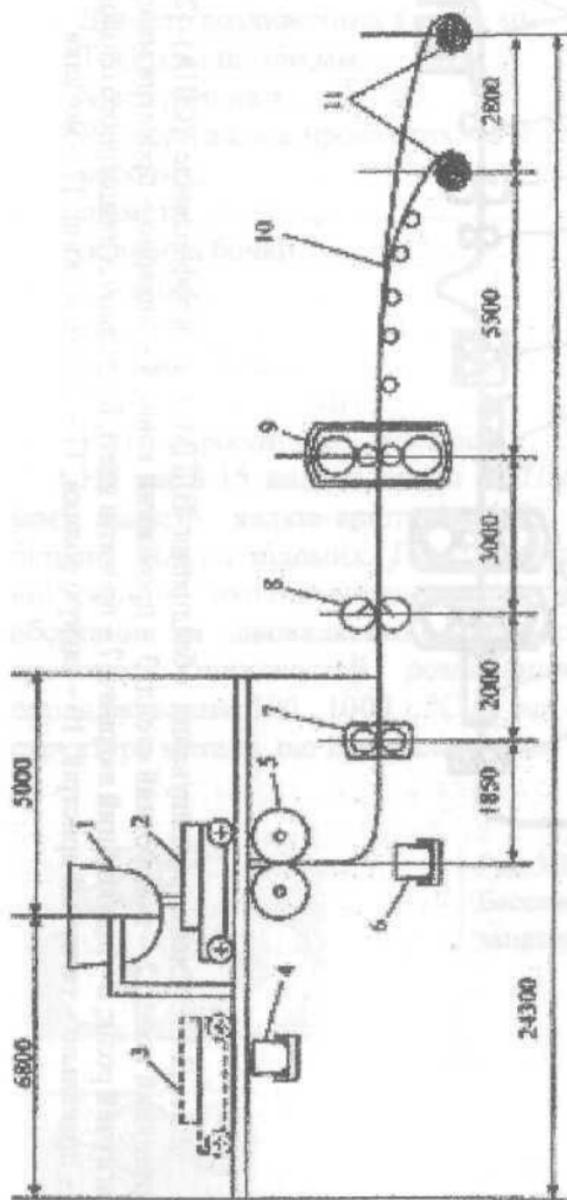


Рис. 3.15 Схема розташування обладнання ВЛМП (Росія): 1 – розливний ківш, 2 – проміжний ківш, 3 – проміжний ківш, 4 – ємкість для зливу залишку металу з проміжного ковша; 5 – двовалкова ЛПМ; 6 – ємкість для зливу металу із ЛПМ; 7 – тягуча клінь, 8 – летюча клінь, 9 – клінь кварто, 10 – рольганг, 11 – моталки

3.7 Технологія прокатки на стані Стеккеля і на планетарному стані

Реверсивні стани Стеккеля з моталками в печах застосовують для прокатки штаб широкого сортаменту при невеликому об'ємі виробництва (200...400 тис.т.в рік). В даний час в світі працюють більше 20-ти таких станів. Стани Стеккеля прокатують штаби завтовшки 1,5...5 мм і шириною до 1525 мм з легованих, електротехнічних і вуглецевих сталей, як правило із слябів масою до 12 т. Максимальна швидкість прокатки залежно від розмірів стану досягає 6...10 м/с [12,65].

Схема стана Стеккеля 1200 представлена на рис. 3.16. Після нагріву в нагрівальних печах до температури $t = 1200^{\circ}\text{C}$ сляби масою 3...5 т прокатують в чорновій універсальній кліті 1200, валки якої (діаметром 850 мм) приводяться від двигуна потужністю 2950 кВт. Вертикальні валки мають діаметр 600 мм. У чорновій кліті 5 розкат за 5 проходів зменшують до товщини 12...30 мм і випускають в останньому проході з швидкістю до 7 м/с. Температура металу після прокатки в цій кліті знижується до $900...1000^{\circ}\text{C}$ і у ряді випадків розкат слід підігрівати в прохідній роликівій печі 8.

Передній кінець розкату після обтискання в першому проході чистової кліті задають в моталку, розташовану безпосередньо за кліттю. Прокатка штаб після захвату кінця моталкою відбувається при невеликому натяганні, що обумовлює отримання штаби з потовщеними кінцями, які прокатують без натягання. Після виходу заднього кінця штаби з кліті валки, смугу і моталку реверсують, задають вільний кінець з обтисканням в кліть і потім в зів передньої моталки і прокатують штабу з переднім і заднім натяганням. У останньому непарному проході штаба проходить під пічною моталкою 20 і змотується згортаючою машиною 11.

В даний час будівництво подібних станів виконують у складі ЛПК, з використанням технології, що забезпечує зниження окалиноутворення на поверхні штаб.

основу роботи планетарного стану покладений принцип циклічної або періодичної деформації металу. В процесі такої обробки робочі валки цикл за циклом деформують метал, що поступає в зону деформації. При цьому кожен перетин заготовки багато разів піддається приватним обтисканням, унаслідок чого сумарне обтискання досягає 90...98% за один прохід. Штабу проглажують в кліті 7 і змотують на моталку. Еджер 3 призначений для коректування ширини штаби і вирівнювання кромки. Характеристика клітей представлена в табл.3.7. На планетарних станах прокатують в гарячому стані штаби товщиною 0,8...6 мм і шириною 200...1300 мм із слябів завтовшки 40...150 мм, довжиною до 12,2 м і масою до 8 т.

На одному із заводів Італії працює планетарний стан для прокатки штаб шириною 1000 мм і завтовшки 0,8...2,5 мм із слябів маловуглецевих сталей розміром 90 x 1000 x 4000 мм. Продуктивність стана 60 т/р. Для зменшення окалиноутворення сляби в печі нагрівають тільки до температури 1100°C, при цьому температура сляба перед входом в планетарні валки складає 1000°C. При деформації в планетарній кліті температура штаби підвищується на 80...120°C. Навколо опорних валків діаметром 1068 мм обертаються по 24 робочих валка діаметром 152 мм.

Таблиця 3.7. Характеристика клітей планетарних станів

Кліть	Діаметр валків, мм		Довжина бочки, мм	Потужність приводу, кВт	Швидкість прокатки, м/с
	робочі	опорні			
Задаюча кліть	450-900	—	450-1450	20-600	0,03-0,05
Планетарна кліть (40-52 валків в сумі)	50-200	450-1500	450-1450	450-6700	1-2

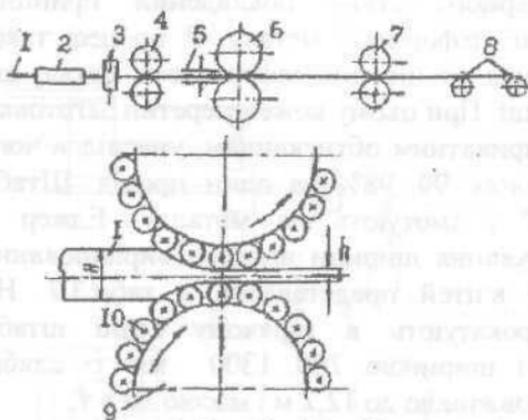


Рис.3.17. Розташування устаткування комплексу з планетарним станом: 1 - штаба; 2 - нагрівальна індукційна піч; 3 - еджер; 4 - задаюча кліть дуо; 5 - проводки; 6 - планетарна кліть; 7 - кліть, що проглажуєть; 8 - моталка; 9 - опорні валки; 10 - робочі валки.

Привід опорних валків здійснюється безпосередньо від двигуна потужністю 2200 кВт при швидкості обертання 200 об/хв. Швидкість прокатки штаби завтовшки 0,8 мм рівна 2 м/с, а допуск по товщині на всій ширині не перевищує 0,05 мм.

Основні переваги планетарних станів наступні [29]:

- висока якість поверхні металу і хороша планшетність, як наслідок сприятливих температурних умов роботи валків і великої жорсткості валкової системи;
- значно менша поздовжня і поперечна різнотовщинність штаб, як наслідок високої жорсткості кліті, безперервності процесу прокатки;
- незначне окалиноутворення і знеуглецювання як наслідок швидкого нагріву сляба і низької температури прокатки;
- можливість прокатки сталей і сплавів з високим опором деформації, як наслідок малої величини контактної поверхні металу з валками в зоні деформації;
- можливість прокатки важкодеформуємих сталей і сплавів, як наслідок вузького температурного інтервалу, в якому знаходиться метал в зоні деформації;
- низькі питомі капітальні і експлуатаційні витрати.

В даний час ці переваги можуть бути якнайповніші використані при будівництві міні-заводів для випуску прокату з об'ємом виробництва до 500 тис т/рік у складі ЛПК.

3.8 Аналіз показників технологічних процесів

Різні концепції станів гарячої прокатки штаб розглянуті вище. Стани Стеккеля, зважаючи на особливості процесу, придатні в першу чергу для виробництва спеціальних сталей при річному об'ємі менше 1 млн. т, а традиційні стани - для всіх марок сталей при об'ємі виробництва до 5 млн. т/рік. При новітніх концепціях на агрегатах CSP при застосуванні двохручьевої МНЛЗ можна одержувати до 2,5 млн. т штаб в рік.

Значну роль високої швидкості кристалізації тонких слябів і тонкої штаби в умовах розливання стали на тонкослябової МНЛЗ і двовалковому ливарно-прокатному агрегаті підтверджують і дані по забрудненості стали неметалічними включеннями (рис. 3.18)[62].

З рис. 3.16 витікає, що ступінь чистоти відносно величини і кількості неметалічних включень вище у штаб, які одержано на сучасних агрегатах. Наявність дрібніших включень в поєднанні з меншим ступенем хімічної і структурної ликвації сприяє отриманню гарячекатаних і холоднокатаних штаб з кращою структурою і вищими властивостями, що значно розширює можливості даної технології для виробництва високоякісних сталей з використанням дешевшого і недефіцитного металолому.

У табл. 3.8 приведені дані енергетичних витрат і кількості викидів CO₂ при різних способах виробництва штаб, з якої виходить, що при використанні двовалкового розливання (Castrip-процес) витрата енергії знижується на 89% в порівнянні з традиційною технологією (литі сляби - прокатка). Витрати на виробництво гарячекатаної штаби складають 65% від традиційної технології. Для крупних металургійних підприємств доцільна технологія CSP, що включає виливання тонких слябів - гаряча прокатка тонких штаб, ефективність якого на 15% вище за традиційну технологію (литі сляби - гаряча прокатка штаб). В порівнянні з технологією, що передбачає виливання злитків - прокатки слябів - гаряча прокатка штаб, ефективність технології CSP в 2,94 разу вище.

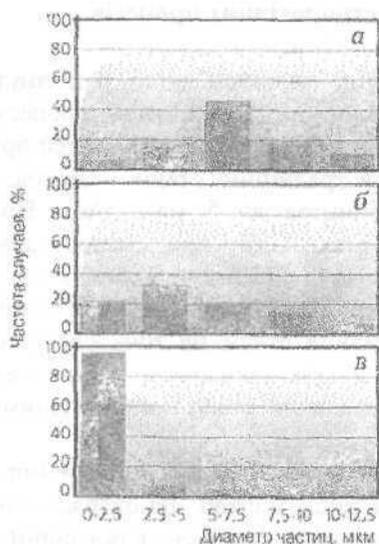


Рис.3.18.Порівняння забрудненості неметалічними включеннями гарячекатаних штаб (коррозионостойкая сталь), які одержано за традиційною технологією (а), при відливанні одного сляба (б) і при відливанні на 2-валковом ливарно-прокатному агрегаті (в)

Наявністю в комплексах CSP печі з роликовою подиною довжиною 150...240 м, створює умови для реалізації процесу способами поштучної

(послябової), напівбезперервної і безперервної прокатки. Поштучна прокатка відрізняється найменшою продуктивністю і найбільшою відносною тривалістю роботи технологічного устаткування в нестационарних умовах, що позначається негативно на точності штаб. При напівбезперервної прокатки довжина слябів відповідає довжині печі з роликовою подиною, що зменшує негативний вплив поштучної прокатки і розширює можливості для отримання точніших штаб. Прокатка довгих слябів можлива тільки при установці високошвидкісних (летючих) ножиць перед моталкою, що перетворює періодичний процес на напівбезперервний.

При безперервної прокатки довжина слябів в межах однієї або декількох плавок неограничена. Прокатка наддовгих слябів відкриває додаткові можливості для розширення сортаменту, стабілізації технологічних параметрів і підвищення ефективності роботи комплексів CSP. Новітні технологічні розробки направлені на збільшення швидкості лиття до рівня швидкості завдання сляба в стан.

Таблиця 3.8. Порівняння енергетичних витрат на виробництво гарячекатаної штаби і кількості викидів CO₂ на стадії реалізації технологічного процесу «розливання стали (сталеплавильний ківш) – гарячекатана штаба»

Технологічний процес	Витрата енергії, ГДж/т стали	Викид CO ₂ /т стали
Виливання слябів традиційної товщини + гаряча прокатка	1,8	0,20
Виливання тонких слябів + гаряча прокатка	1,08	0,14
Виливання тонкої штаби (Castrip - процес)	0,2	0,04
Castrip – процес в порівнянні з відливанням слябів традиційної товщини	-89%	-80%
Castrip – процес в порівнянні з відливанням тонких слябів	-81%	-71%

Це дозволить створити єдиний, повністю безперервний процес виробництва тонких і надтонких гарячекатаних штаб, що охоплюють всі етапи технології – від виплавки рідкої сталі до отримання готової продукції.

Число марок сталей, з яких можна одержувати гарячекатану штабу на агрегатах CSP, безперервно збільшується. Обмеження у виробництві тонких гарячекатаних штаб на традиційних станах гарячої прокатки, на агрегатах CSP розповсюджуються лише частково, оскільки вхідні умови (висока і рівномірна температура тонкого сляба) для прокатки в чистовій групі агрегатів сприятливіші.

У табл. 3.9 узагальнені дані по працюючих в 2002 р. агрегатах п'ятого покоління. Тенденція цього покоління йде у напрямі розвитку щадящего витрачання ресурсів, укорочення ланцюга процесу, усвідомленого відношення до якості продукції і скорочення витрат до мінімуму [62].

Таблиця 3.9. Агрегати п'ятого покоління для виробництва гарячекатаних штаб (часткові данні)

Фірма, завод і місто	Фірма виготовника і вживана технологія	Рік введення в експлуатацію	Виробляє, млн. т/рік	Устаткування агрегату,
1	2	3	4	5
Nucor, Кроуфордсвілл в США	SMS/CSP	1989 і 1994	0,90 0,90	Дворівчачова МНЛЗ, шість клітей CVC, перша промислова установка CSP в світі
Arvedi, Кремона, Італія	Mannesmann Demag/Arvedi ISP	1999	0,80	Три чорнові кліті, дві чистових, індукційний нагрів, Coilbox
Nucor Hickman (штат Арканзас, США)	SMS/CSP	1992 і 1994	2,00	Дворівчачова МНЛЗ, шість клітей CVC
Hysa, Монтеррей, Мексика	SMS/CSP	1995 і 1997	0,75 0,70	Шість клітей CVC, прокатка надтонкої гарячекатаної штаби
Acmco, Мансфілд, штат Огайо, США	Voesst/Con-roll	1995	0,80	Чорнова кліть, шість чистових клітей
Hanbo, Аньсань Бей, Китай	SMS/CSP	1995	1,00 1,00	Дворівчачова МНЛЗ.
Steel Dynamics, Барлер, штат Індіана	SMS/CSP	1995 і 1998	1,20 1,00	Шість клітей CVC. Застосування нейронних мереж в комп'ютері чистової групи, що управляє

3.9. Прокатні валки широкоштабових станів гарячої прокатки

Робочі валки неперервних станів гарячої прокатки виготовляють, як правило, із легованого чавуну з відбіленою поверхнею (табл. 2.5). Ці валки мають високу зносостійкість і забезпечують необхідну якість поверхні штаб. Чавунні валки відливають із спеціального валкового чавуну з твердістю поверхні 60...80 HSD. Товщина відбіленого шару 15...25 мм. Легування чавуну хромом, нікелем і молібденом підвищує його міцність, а також твердість відбіленого шару. Модифікування чавунних валків магнієм збільшує їх міцність і пластичність за рахунок утворення шароподібного, а не пластинчастого графіту, поширеного рівномірно по об'єму.

На неперервних станах першого покоління діаметр робочих валків клітей чорнової групи був 850...940 мм, а у чистовій групі – 575...620 мм. На сучасних ШСГП відповідно наступні діаметри робочих валків: 1100...1270 мм і 800...815 мм. Відношення діаметрів робочого і опорного валків у чистових клітях $D_p/D_{оп} = 0,42...0,64$ (у більшості станів це відношення складає понад 0,5). Робочі валки ШСГП експлуатуються в жорстких умовах (великі контакти напруження, наявність температурних напружень, періодичне розігрівання і охолодження).

За даними [30] тонкий контактний шар валка в осередку деформації розігрівається до температури 500...600°C (при температурі штаби 1000°C). Вимірювання показують, що середня температура поверхні валка складає в середині довжини бочки 65...85°C і зменшується на краях бочок до 30...40°C. Таке нерівномірне розподілення температури по довжині бочки валка зумовлює появу опуклого профілю його утворюючої. Великі навантаження приводять до зруйнування робочих валків. Основні причини виходу робочих валків із ладу: поломка по бочці валка (від перевантаження при значній виробці робочих і опорних валків); відколи поверхні бочки по загартованому шару в результаті дії температурних напружень; поломка шийок і трэфів в результаті дії великих крутих моментів при порушенні технології прокатки. Зниження поломок робочих валків за

рахунок дії температурних напружень досягається попереднім розігріванням валків в індукторах перед установкою їх у кліть.

Опорні валки відливають із легованої сталі або виготовляють складовими (вісь із сталі марки ст. 50ХН, 60ХГ і обойми із легованої сталі). Твердість поверхні бочки опорного валка 40...50 HSD. На станах першого покоління діаметр опорних валків 1240...1400 мм, а на сучасних – 1575...1700 мм. Збільшення діаметра опорних валків знижує інтенсивність їх зносу і прогин, забезпечує отримання точного поперечного профілю штаб, що прокатують. Опорні валки установлюють на підшипниках кочення або підшипниках рідинного тертя (ПРТ), а робочі валки – на підшипниках кочення з конічними роликками.

В процесі експлуатації поверхня валків отримує знос, який викривляє первісну форму і розміри міжвалкового зазору. Як показано на рис. 3.19, нижній циліндричний валок має меншу нерівномірність зносу, ніж опуклий верхній валок. Максимальний знос на діаметр на верхньому валку кліті 10 складає ~ 0,12 мм. В клітях 5-9, де більші обтиски, а в клітях 8, 9 більші і контактні напруження, максимальний знос складає 0,2...0,4 мм на діаметр, а нерівномірність зносу по довжині бочки більш суттєва. Величина максимального зносу валків зменшується при зменшенні об'єму прокату. Так, при зниженні об'єму прокату на валках між перевалками з $G \approx 3000$ т до $G \approx 1000$ т максимальний знос зменшується до 0,1...0,15 мм на діаметр. Характер зносу опорних валків зумовлений профілюванням робочих валків і шириною штаб, що прокатують і утворююча бочки їх може придбати угнуту, опуклу або більш складну форму. У найбільшій мірі зношуються опорні сталеві валки в кліті 1 (2,0...4 мм на діаметр – ШСГП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь»), що зумовлено наявністю окалини на поверхні сляба після пічі та окислювача, яка передається в процесі прокатки на міжвалковий контакт. У наступних клітях величина зносу зменшується до 0,2...0,4 мм на діаметр.

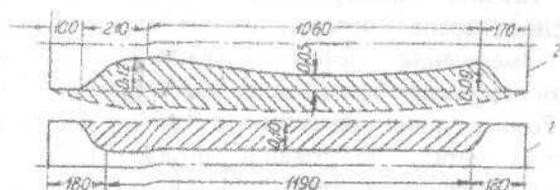


Рис. 3.19. Профілі та характер зносу робочих валків кліті 10 ПСГП 1680: 1-нижній валок; 2-верхній валок; об'єм прокату $G = 2040$ т, ширина штаб $B = 1200 \dots 1250$ мм.

Останнім часом в клітях чистої групи клітей ПСГП почали використовувати робочі валки із спеціальних сталей і сплавів, які мають більш високу стійкість, ніж чавунні валки [57].

3.10. Дефекти поверхні листового металу

Найбільш поширеними у промисловій практиці дефектами поверхні гарячекатаних штаб є поверхневі окалини, і плена, рвана кромка, розшарування, а також механічні пошкодження поверхні [12, 30, 38].

Ливарная плена – дефект поверхні штаб (листа) має вид відшарування металу язикоподібної форми, який найбільш часто зустрічається на ділянках штаб, які відповідають донній частині зливка (від захопів металу при розливанні) і на кромочних ділянках штаб (від накопичень неметалевих включень). Дефект на готовій штабі (листі) виправленню не підлягає, а тому необхідно забезпечити чистоту поверхні злитка і сляба.

Розкатаний пузир також утворює плену на готовій штабі, супроводжується наявністю мазків червоної окалини і надривів на поверхні штаби. Дефект утворюється в результаті розкривання підкоркових пuzирів в процесі нагріву і прокати злитків (слябів) (виправленню не підлягає).

Дефект рвана кромка представляє собою розриви металу по кромкам штаби і виникає при наявності на бічних поверхнях

слябів газових (підкоркових) пузирів, які незварилися, оплавлення (перепал) поверхні злитків та слябів у колодязях або печах. Зменшення дефекту забезпечується інтенсивним обтиском слябів вертикальними валками слябінга.

Розшарування представляє собою несучільність або роздвоєння металу по товщині штаби. Дефект виникає в результаті порушення технології виплавлення і неповного усунення на ножицях слябінга усадочних дефектів. Вкатана окалина один із найбільш поширених дефектів поверхні гарячекатаного листа. Пічна окалина утворюється при нагріві у колодязях і печах, а повторна (повітряна) – після усунення пічної при переміщенні розкату між слябінгом і клітьми ШСГП. Процес окислення представляє собою двосторонню дифузію, при якій кисень дифундує з повітрям до внутрішніх шарів сталі, а залізо з середини – у зовнішні шари окалини. На інтенсивність окислення впливає ряд технологічних факторів: температура і тривалість нагріву, склад (пічної) атмосфери, хімічний склад сталі. Ступінь зчеплення окалини з основним металом визначається її фазовим складом і хімічним складом сталі. Із усіх окислів заліза здатність менш міцного зчеплення з металом (“прилипання”) властива лише вюститу (FeO) внаслідок більшої його пластичності порівняно із магнетитом (Fe_3O_4) і гематитом (Fe_2O_3). Найбільш міцно окалина “прилипає” до металу при температурах $\sim 1000^\circ\text{C}$. Коефіцієнт надлишку повітря у томільній зоні пічі, яка працює на природному газі, повинна бути у межах 1,01...1,02. При більших надлишках повітря настає інтенсивне окислення у зв'язку з чим стає більш міцним її зв'язок з металом і власне окалиною, тому усунення окалини з нагрітих слябів стає важким. Пари води, двоокис вуглецю і сірнистий ангідрид, які є в атмосфері пічі, сприяють закріпленню окалини на поверхні сляба.

Другим поширеним типом дефекту, є вкатана окалина у вигляді крапок, яка утворюється при порушенні режимів нагріву слябів у методичних печах (оплавлення, перегрів, високий коефіцієнт надлишку повітря і т. д.) крім того, причинами її утворення є неповне усунення окалини з розкату при підході його до чистової групи клітей. При невеликій величині дефектів вони можуть бути усунені травленням.

3.11. Розрахунок режиму деформації штаб на ШСГП 2030

Стан 2030 має у своєму складі чорнову групу із п'яти клітей і чистову групу із семи клітей. Перша кліть чорнкової групи двовалкова з $D = 1400$ мм, у наступних чотирьох клітях кварто робочі валки мають діаметр $D_p = 1180$ мм, а опорні – $D_{op} = 1600$ мм. Вертикальні кліті мають валки діаметром 1000 мм. Робочі валки клітей 1 і 2 приводяться від двигунів потужністю $N_{дв} = 5000$ кВт, а в клітях 3, 4 – від двигунів з $N_{дв} = 6300$ кВт. У головних лініях цих клітей установлені редуктори з передавальним відношенням: $i_1 = 21,8$; $i_2 = 15,5$; $i_3 = 7,4$; $i_4 = 4,2$. В решті клітях робочі валки приводяться від індивідуальних двигунів потужністю (кліти, кВт): 5-7 – $N_{дв} = 2 \times 6000$; 8-11 – $N_{дв} = 2 \times 6300$ кВт; 12 – $N_{дв} = 2 \times 4800$.

Робочі валки клітей 1, 2 виготовляють із сталі 55ХН, 60ХГ, 9ХФ з твердістю 40-45 HSD, робочі валки клітей 3-12 – чавунні з легуючими домішками і відбіленим шаром з твердістю 58...68 HSD (чорнова група) і 68...85 HSD у чистовій групі. Опорні валки усіх клітей виготовлені із сталі 55ХН, 60ХГ, 9ХФ. У чорновій групі останні три кліті об'єднані у неперервну підгрупу (рис. 3.5).

Алгоритм розрахунку режиму деформації на ШСГП (рис. 3.20).

1. *Визначення ваги і розмірів сляба.* Вага сляба (вага рулону) для існуючого стану визначається розмірами нагрівальних печей, відстані між клітями і групами клітей, можливостями прокатного обладнання стану (кліті, моталки, мостові крани і т.п.). Тому при виборі розмірів і ваги сляба для існуючого стану необхідно виходити із характеристики моталок або печей. Наприклад, якщо ширина пічі дорівнює 11,5 м, то допустима довжина сляба повинна бути $L \approx 10$ м. Ширина сляба визначається шириною штаби, а товщина сляба і, відповідно, вага сляба (рулону) визначається товщиною готової штаби і відстані між клітями чорнкової групи або довжиною проміжного рольгангу. Наприклад, при максимальній ширині штаби $b = 1850$

мм (стан 2000) вага рулону (сляба) складає $G_p = 36$ т і відповідає допустимій вантажопідйомності моталки. Тоді товщина сляба буде дорівнювати:

$$H = G_p / b \cdot L \cdot \gamma = 36 / 1,85 \cdot 10 \cdot 7,85 = 0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм.}$$

Цій вазі відповідає і максимальний діаметр рулону, який може оброблятися на наступних агрегатах. Виходячи із цього, допустима вага сляба для штаби іншої ширини визначається із умови (при $h = \text{const}$)

$$G_1 = G_p \cdot B_1 / B = 36 \cdot 1,0 / 1,85 = 19,5 \text{ т,}$$

де B_1 – менша ширина штаби ($B_1 = 1000$ мм).

Товщина слябів визначається товщиною готової штаби і режимом деформації.

2. Розрахунок допустимого кута захвату і величини обтиснення в клітках 1 і 2 при мінімальних діаметрах валків.

Кліть №1 в певних умовах може працювати як реверсивна кліть:

$$\text{кліть 1} - D = 0,92 \cdot D_6 = 0,92 \cdot 1400 = 1290 \text{ мм;}$$

$$\text{кліть 2} - D = 0,92 \cdot D_6 = 0,92 \cdot 1180 = 1080,$$

де D_6 – діаметр нових валків; 0,92 – коефіцієнт переточування валків.

Приймаємо орієнтовно температуру розкату в клітках 1 і 2 рівною $t = 1180^\circ\text{C}$, твердість валків 45 HSD, швидкість прокатки відповідно 1,25 і 1,5 м/с. Коефіцієнт тертя розраховуємо за формулою (1.22) ($k_b = 1,2$; $k_0 = 1,0$; $k_m = 1,0$; $k_{cm} = 1,0$ валки зношені, сталь 08ю, охолодження водою):

$$f_0 = 0,27 - 0,1(1180/400 - 2)^2 = 0,18;$$

$$k_r = 1 + 0,43(1 - 45/65)^2 = 1,04;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1 - 0,1 \cdot 1,25)^2 = 1,38;$$

$$f = 0,18 \cdot 1,2 \cdot 1,04 \cdot 1,38 = 0,31.$$

Коефіцієнт тертя при захваті розкату валками при $k_3 = 1,35$ дорівнює

$$f_3 = k_3 \cdot f = 1,35 \cdot 0,31 = 0,418.$$

Допустимий обтиск із формули (1.11) для клітей №1, 2:

$$[\Delta h_1] = R \cdot f_3^2 = 645 \cdot 0,4182 = 113 \text{ мм};$$

$$[\Delta h_2] = 540 \cdot 0,4182 = 73 \text{ мм}.$$

3. Складання попередньої таблиці обтиснень. При рішенні цієї задачі треба приймати до уваги рекомендації табл. 3.5 за вибором величин відносних обтисків в залежності від кількості клітей. Для прокатки штаб з розмірами 2×1500 мм приймають сляб із розмірами 240×1500 мм. Величина розширення металу в чорновій групі усувається при обтиску у вертикальних клітях.

Товщину проміжного розкату приймаємо рівною $h_{пр} = 32$ мм (табл.3.6)

Розподіл обтискань Δh_i по чорнових клітях стана встановимо з умов, що в чорновій групі сумарне обтискання знаходиться в межах $\varepsilon_{\Sigma пр} = (0,86 - 0,875)$ (табл. 3.6). Допустимі максимальні навантаження по клітям стана можна визначити із приведених вище формул або із паспортних даних стана.

У відповідності із паспортними даними [12] маємо:

Чорнова група			Чистова група		
Кліті	P, МН	$M_{кр}$, МН·м	Кліті	P, МН	$M_{кр}$, МН·м
1	24,0	4,8	6	30,5	2,3
2	33,0	4,2	7	33,0	2,3
3	33,0	4,3	8	33,0	1,3
4	33,0	4,3	9	32,0	1,3
5	33,0	3,5	10	31,0	0,80
			11	29,0	0,80
			12	17,0	0,35

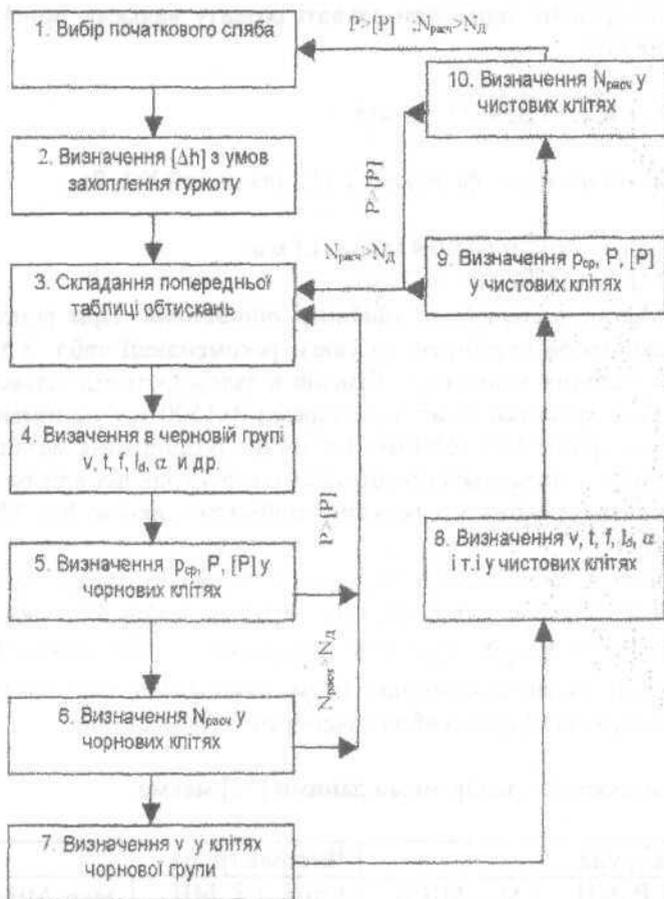


Рис. 3.20. Схема алгоритму розрахунку режиму деформації під час прокатки на ШСГП.

Товщина сляба і сумарне обтиснення в чорновій групі клітей визначаємо з формул:

$$H_{ca} = h_{np} / \varepsilon_{\Sigma np}; \quad \Delta h = H_{ca} - h_{np}; \quad (3.1)$$

де H_{cl} і h_{np} - відповідно товщина сляба і проміжного розкату після чорнової групи кліт ($h_{np} = h_5$ - для п'ятиклітьової групи).

Якщо кліть №1 з горизонтальними валками чорнової групи є робочою, то розподіл обтиснень по клітях чорнової групи стану можна визначати по формулі

$$\Delta h_1 / \Delta h_2 = 0,082 + 0,08(5 - n_1)^{0,68}; \quad (3.2)$$

де n_1 - номер кліт чорнової групи.

Якщо горизонтальна кліть №1 є окалинолачачем, то величину обтиснення по клітях чорнової групи розраховують по формулах:

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{ок} &= (0,15 - 0,23)H_{cl}; \\ \Delta h_2 &= H_{cl} - h_{np} - \Delta h_{ок}; \\ \Delta h_1 / \Delta h_2 &= 0,106 + 0,086(n_{рк} - n_1), \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

де $n_{рк}$ - число робочих клітей.

Якщо $\Delta h_2 < (\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4)$ то слід провести коректування обтиснень по клітях.

Розрахункові геометричні параметри деформації в п'яти робочих клітях чорнової групи представлені табл. 3.10. Величини обтиснень в клітях 1 і 2 не перевищують обтиснення, що допускаються, виходячи з умов захвату розкату валками.

У чистовій групі з семи клітей режим деформації визначаємо таким чином. У чистовій кліт (кліть 12) відносно обтиснення приймаємо рівним $\varepsilon_{12} = 10...18\%$, а в першій кліт чистової групи (кліть №6) приймаємо в межах $\varepsilon_6 = 40...50\%$. В цьому випадку абсолютні обтиснення рівні ($\varepsilon_5 = 0,4...0,5$):

$$\text{кліть 6 } \Delta h_6 = \varepsilon_6 \cdot h_{np} = 0,5 \cdot 32 = 16 \text{ мм};$$

$$\text{кліть 12 } \Delta h_{12} = h \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} - 1 \right) = 2 \left(\frac{1}{1 - 0,15} - 1 \right) = 0,35 \text{ мм}$$

Для станів першого (другого) покоління з 4-мя клітями в чорновій групі і 6-ью клітями в чистовій групі ($\varepsilon_5 = 40...50\%$) маємо

$$\text{кліть 5 - } \Delta h_5 = \varepsilon_5 \cdot h_{np} = (0,4 - 0,5) \cdot h_{np}$$

$$\text{кліть 10 - } \Delta h_{10} = h \cdot \left(\frac{1}{1 - \varepsilon_{10}} - 1 \right),$$

де h – кінцева товщина штаби.

Тоді сумарне обтиснення на п'ять клітей ШСПП 2030, що залишилися, складе (табл. 3.10)

$$\Delta h_{\Sigma} = h_{np} - h - \Delta h_6 - \Delta h_{12} = 32 - 2 - 16 - 0,35 = 13,65 \text{ мм.}$$

Таблиця 3.10. Режим деформації штаби 2×1500 мм із Ст. 08ю (горизонтальні кліті)

№№ клітей	H, мм	h, мм	Δh, мм	ε, %	v, м/с	t, °C
Чорнова група						
1	240	180	60	25	1,25	1165
2	180	127	53	29,5	1,5	1161
3	127	83	44	34,5	0,96	1155
4	83	49	34	40,8	1,63	1151
5	49	32	17	34,6	2,5	1147
Чистова група						
6	32	16	16	50,0	2,03	1075
7	16	9	7	43,2	3,65	1066
8	9	5,6	3,4	37,8	5,85	1053
9	5,6	4,0	1,6	28,6	7,8	1033
10	4,0	3,0	1,0	25,0	10,4	1005
11	3,0	2,35	0,65	20,0	13,6	970
12	2,35	2,0	0,35	15,2	16,0	942

Разові обтиснення в клітях №№7 – 11 орієнтовно можна розрахувати по формулі ($n_i = 7 - 11$) (для семиклітвової групи):

$$\Delta h_i / \Delta h_{\Sigma} = 0,048 + 0,0095(11 - n_i)^{2,8} \quad (3.4)$$

а в шестиклітвової групі ($n_i = 6 - 9$)

$$\Delta h_i / \Delta h_{\Sigma} = 0,085 + 0,089(9 - n_i)^{1,3} \quad (3.5)$$

Розподіл обтиснень по чистових клітках стана 2000 представлено в табл. 3.10. Сума разових обтиснень визначених по формулах (3.2) – (3.5) повинна бути рівна сумі обтиснень $\Delta h_{\Sigma} = H_{ca} - h$ [формула (3.1)].

4. Робимо розрахунок швидкісного режиму і температур металу в клітках. В першу чергу визначимо швидкісний режим прокатки. Перші дві кліті прокатують розкат в періодичному режимі, а три наступні у неперервному режимі (рис. 3.5). В табл. 3.10 колова швидкість в клітках 1, 2 указана у відповідності з характеристикою стана. Задамо швидкість прокатки в кліті 5 - $v = 2,5$ м/с, а в кліті 12-16 м/с (літературні дані). Єдиним неперервним режимом прокатки пов'язані кліті 3-5 і 6-12. На основі закону постійності секундних об'ємів металу (при випередженні $S \approx 0$) визначимо швидкості у попередніх клітках за формулою (при $\Delta b \approx 0$)

$$v_{i-1} = v_i \cdot h_i / h_{i-1},$$

де v_i , h_i – швидкість і товщина штаби у наступній (останній) кліті; v_{i-1} , h_{i-1} – швидкість і товщина штаби у попередній кліті.

Тоді для кліті 4 маємо

$$v_4 = v_5 \cdot h_5 / h_4 = 2,5 \cdot 32 / 49 = 1,63 \text{ м/с};$$

для кліті 11

$$v_{11} = v_{12} \cdot h_{12} / h_{11} = 16 \cdot 2,0 / 2,35 = 13,6 \text{ м/с}.$$

Температуру металу по клітках різних ШСГП можна визначати за теоретичними або емпіричними формулами, які приведені у роботі [12]. Падіння температури по клітках чорнової групи ШСГП залежить від схеми розташування клітей, методу прокатки (із печей або транзитом), розмірів слябів і підкату після чорнової групи. Під час періодичної прокатки в окремо стоячих клітках падіння температури складає (ШСГП 1680): окалиноломач – кліть 1-5, $^{\circ}\text{C}$; кліті – 1-2 – 15, $^{\circ}\text{C}$; кліті 2-3 – 20, $^{\circ}\text{C}$; кліті 3-4 – 40, $^{\circ}\text{C}$. При установці в чорновій групі останніх трьох клітей у вигляді неперервної підгрупи загальне зниження

температури на усій ділянці складає усього 30...50⁰С. Зниження втрат температури відбувається за рахунок зменшення часу переміщення розкату від однієї кліті до другої. Під час транзитної прокатки слябів на ШСГП 1680 температура поверхні сляба перед станом, в основному, складає $t_n = 1160...1200^{\circ}\text{C}$, а після кліті 4-1060...1100⁰С.

На ШСГП 2030 Череповецького меткомбінату з неперервною трьохклітьовою підгрупою клітей при нагріві сляба до 1250⁰С, температура розкату за чорною групою складає 1180...1220⁰С. Для отримання оптимальних температур прокатки у чистовій групі, температура розкату після чорної групи знаходиться у межах $t_5 = 1050...1150^{\circ}\text{C}$. У процесі транспортування розкату від останньої кліті чорної групи до чистової групи температура його знижується в залежності від товщини на $\Delta t_p = 50-85^{\circ}\text{C}$ (без ППУ):

Падіння температури металу по клітям чистової групи під час прокатки штаб з $h = 2...4$ мм ($v = 6,8...9,0$ м/с) (ШСГП 1680) приблизно визначається із формули (за даними М.М. Саф'яна [30]) (рис. 3.3)

$$\Delta t_i = t_5 - 0,011(26 - h_i)^3,$$

де t_5 – температура розкату перед першою кліттю чистової групи, ⁰С; h_i – товщина штаби в клітях чистової групи.

Зниження температури на проміжному рольгангу дорівнює:

товщина підката, мм	зниження температури на проміжному рольганзі, Δt_p , ⁰ С
23 } ШСГП 1680	50...60
27 } ШСГП 1680	40...50
32 } ШСГП 1680	70...85
34 } ШСГП 1680	~ 70
40 } ШСГП 2030	~ 66
45 } ШСГП 2030	~ 50

На сучасних станах часто штаби в чистових групах піддають примусовому охолодженню для отримання температури кінця прокатки, яку вимагають.

Падіння температури в клітках чорнової групи визначаємо по формулі (по М. Крейдліну)

$$\Delta t \approx 0,0021 \left(\frac{t_{i-1} + 273}{100} \right)^4 \frac{\tau_{i-1}}{h_{i-1}}, \quad (3.6)$$

де t_{i-1} – температура металу в попередньому проході, $^{\circ}\text{C}$; τ_{i-1} – машинний час прокатки в попередньому проході і час паузи, с; h_{i-1} – товщина розкату перед кліткою, мм.

Температура металу в подальшому проході рівна

$$t_i = t_{i-1} - \Delta t_i. \quad (3.7)$$

Як приклад розрахуємо температуру розкату для клітей 1 і 2 стана 2030 при температурі металу у вертикальному окалиноламачі $t_{i-1} = 1180^{\circ}\text{C}$ і $h_{i-1} = 240$ мм ($h_{i-1} = H_{ca}$) (табл. 3.10).

Маємо $\tau_{i-1} = L_{i-1}/v_{i-1} = 15/1,2 = 12,5$ с,

де L_{i-1} – відстань між окалиноламачем і кліткою №1; v_{i-1} – окружна швидкість валків вертикального окалиноламача.

З формул (3.6) і (3.7) одержимо

$$\Delta t_1 = 0,0021 \left(\frac{1180 + 273}{100} \right)^4 \frac{12,5}{240} \approx 5^{\circ}\text{C}.$$

В результаті охолодження сляба на гидросбіві, його температура знижується на $t_r \cong 10^{\circ}\text{C}$, тоді

$$t_1 = t_{i-1} - \Delta t_1 - \Delta t_2 = 1180 - 15 = 1165^{\circ}\text{C}.$$

для кліті 2 одержимо:

$$\tau_{i-1} = L_{i-1}/v_{i-1} = 20/1,25 = 16 \text{ C};$$

$$\Delta t_1 = 0,0021 \left(\frac{1169 + 273}{100} \right)^4 \frac{16}{180} \approx 4^{\circ}\text{C};$$

$$t_2 = 1165 - 4 = 1161^{\circ}\text{C}$$

де L_{i-1} – відстань між клітками 1 і 2.

Аналогічним чином розраховуємо температури і для решти клітей чорнової групи.

Втрати температури (Δt_{np}) на проміжному рольганзі визначимо по формулі М.А. Зайкова (після заміни)

$$\Delta t_{np} = \frac{18,5 \cdot \tau}{h_{np}} \left(\frac{t_i + 273}{1000} \right)^4, \quad (3.8)$$

де τ - час охолодження штаби на рольганзі, с; h_{np} - товщина штаби на проміжному рольганзі, мм; t_i - температура металу за останньою кліткою чистової групи, С.°

У разі застосування перед чистовою групою окалиноламача і гидросбива додаткове зниження температури визначається по формулі

$$\Delta t_c = 500/h_{np} \cdot v_i, \quad (3.9)$$

де v_i - швидкість штаби перед першою кліткою чистової групи.

На підставі розрахунків одержали температуру у першій клітці чистової групи рівної $t_6 = 1075^{\circ}\text{C}$.

Температуру в клітках чистової групи можна визначити по емпіричній формулі [30]

$$t_i = t_{пк} - \frac{(t_{пк} - t_k) \left(\frac{h_{пк}}{h_i} - 1 \right)}{\frac{h_{пк}}{h_k} - 1}, \quad (3.10)$$

де $t_{пк}$ - температура підкату перед входом в чистову групу клітей; $h_{пк}$ - товщина підкату перед чистовою групою клітей; t_k і h_k - температура і товщина штаби в останній клітці стану; h_i - товщина штаби в i -ої клітці.

Для розрахунку температури t_k кінця прокатки в чистовій групі клітей відомі теоретичні і емпіричні формулами, які придатні для конкретних станів [19]:

для стану 1700 Маріупольського металургійного комбінату

$$t_k = 311 + 0,649t_{пк} + 1,78h_{10} - 187 \cdot 10^3/h_{10} \cdot v_{10}; \quad (3.11)$$

для стану 1700 Карагандинського металургійного комбінату (Казахстан)

$$t_k = 640 + 0,345t_{пк} + 1,44h_{12} - 265 \cdot 10^3/h_{12} \cdot v_{12};$$

для стану 2030 Новоліпецького металургійного комбінату (Росія)

$$t_k = 682 + 0,35t_{pk} - 241 \cdot 10^3 / h_{12} \cdot v_{12}, \quad (3.12)$$

де h_{10} (h_{12}) – товщина штаби в останній кліті (мм); v_{10} (v_{12}) – окружна швидкість валків в останній кліті, м/хв.

Для ШСГП 2030 температуру в кліті 12 визначимо по формулі (3.12), а в проміжних клітках по формулі (3.10):

$$v_{12} = v_{12} \cdot 60 = 16 \cdot 60 = 960 \text{ м/хв};$$

$$t_k = 682 + 0,35 \cdot 1075 - 241 \cdot 10^3 / 2 \cdot 960 = 942 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_8 = 1075 - \frac{(1075 - 942)}{\frac{32}{9} - 1} \left(\frac{32}{9} - 1 \right) = 1053 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ і т.п.}$$

Дані розрахунку швидкостей і температур по клітках ШСГП 2030 представлені табл. 3.10.

5. Розрахунок енергосилових параметрів прокатки.

Визначимо енергосилові параметри прокатки по формулах розділу 1 формули [(1.22) – (1.34)]. Умови прокатки дані вище в табл. 3.10.

Кліть 1. Величина сумарного обтиснення по формулі (3.2) рівна

$$\Delta h_\Sigma = H_{cl} - h_{np} = 240 - 32 = 208 \text{ мм};$$

$$\Delta h_1 / \Delta h_\Sigma = 0,082 + 0,08(5-1)^{0,68} = 0,288;$$

$$\Delta h_1 = 0,288 \cdot 208 \approx 60 \text{ мм.}$$

Довжина дуги контакту, фактор форми осередку деформації і швидкість деформації рівні [20]:

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h_1} = \sqrt{700 \cdot 60} = 206 \text{ мм};$$

$$h_{cp} = 0,5(180 + 240) = 210 \text{ мм};$$

$$l_d / h_{cp} = 206 / 210 = 0,98$$

$$u = \frac{v \cdot \varepsilon}{l_d} = \frac{1250 \cdot 0,25}{206} = 1,52 \text{ с}^{-1}.$$

Напруження течії металу (сталь марки Ст. 08 ю) визначимо по величині вуглецевого еквівалента [формули (1.27) – (1.29)] залежно від швидкості деформації і групи марки стали по [20, 21]. Хімічний склад сталі %: 0,08C; 0,1 Si; 0,35 Mn; 0,03 Cr; 0,1 Ni; 0,04 Al; 0,15 Cu, а вуглецевий еквівалент дорівнює (%) [20, 21]

$$N_1 = 0,08 + 0,1 + 0,35 + 0,03 + 0,1 + 0,04 + 0,15 = 0,85.$$

Базове напруження течії по формулі (1.28) дорівнює

$$\begin{aligned}\sigma_{T\delta} &= 80 + 25 \left[1 - \left\{ (5 - N_1) / 4,5 \right\}^{1,8} \right] = \\ &= 80 + 25 \left[1 - \left\{ (5 - 0,85) / 4,5 \right\}^{1,8} \right] = 83,5 \text{ Н / мм}^2.\end{aligned}$$

Використовуючи дані табл. 3.8 і формули (1.29) одержимо ($u < 10 \text{ с}^{-1}$) [20, 21]:

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1166}{400} - 2 \right)^{0,7} = 0,61;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[1 - 6,3(0,5 - 0,25)^2 \right] = 1,17;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln 1,52) = 0,755.$$

По (1.27) визначаємо напруження течії

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,61 \cdot 1,17 \cdot 0,755 = 44,2 \text{ Н/мм}^2.$$

При незначному впливі контактного тертя ($l_d/h_{cp} < 1,0$) середнє нормальне напруження визначимо з формули (1.30)

$$p_{cp} = 1,15 \cdot 44,2 \left(1 + 0,145 \cdot 0,98 \right) \left[1 + (1,1 - 0,98)^2 \right] = 59,1 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки по формулі (1.31) дорівнює

$$P = 59,1 \cdot 0,206 \cdot 1,5 = 18,2 \text{ МН}.$$

Коефіцієнт положення рівнодіючої сил можна визначити по формулі [30]

$$\psi = 0,498 - 0,0283 \cdot l_d/h_{cp} \quad (3.13)$$

або по формулах, які одержани на підставі обробки емпіричних нормальних контактних напружень [20]

$$\left. \begin{aligned}\psi &= 0,51(l_d/h_{cp})^{-0,10} - && \text{при } l_d/h_{cp} \leq 3,5; \\ \psi &= 0,5(l_d/h_{cp})^{-0,092} - && \text{при } l_d/h_{cp} > 3,5.\end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

Розраховуємо коефіцієнт ψ по формулі (3.14) для кліті 1.

$$\psi = 0,51 \cdot (0,98)^{-0,10} \approx 0,505.$$

Момент кручення від пластичної деформації при прокатуванні на одному валку по формулі (1.33) дорівнює

$$M = 0,505 \cdot 0,206 \cdot 18,2 = 1,89 \text{ МНм} \quad (2M = 3,78 \text{ МН} \cdot \text{м}),$$

що менше моменту, що допускається.

Момент тертя в шийках валків кліті дуо рівний

$$M_{\text{тр1}} = P \cdot f_T \cdot d_{\text{ш}}, \quad (3.15)$$

де f_T – коефіцієнт тертя в підшипниках (у підшипниках рідинного тертя $f_T = 0,003$); $d_{\text{ш}}$ – діаметр шийки ($d_{\text{ш}} = 1000$ мм).

Маємо

$$M_{\text{тр1}} = 18,2 \cdot 0,003 \cdot 1,0 = 0,055 \text{ МНм}.$$

Момент тертя в деталях головної лінії стану визначимо з формули

$$M_{\text{тр2}} = \left(\frac{1}{\eta_{\Sigma}} - 1 \right) (2M + M_{\text{тр1}}), \quad (3.16)$$

де η_{Σ} – сумарний коефіцієнт корисної дії передачі двигун – валки ($\eta_{\Sigma} = 0,9$).

Маємо

$$M_{\text{тр2}} = 0,11(3,78 + 0,055) = 0,433 \text{ МНм}.$$

Сумарний момент, при прокатуванні розкату дорівнює (на два валки)

$$M_{\text{пр}} = 2M + M_{\text{тр1}} + M_{\text{тр2}} \quad (3.17)$$

або

$$M_{\text{пр}} = 3,78 + 0,055 + 0,433 = 4,263 \text{ МНм},$$

який також менше допускаємого.

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{пр}} / i, \quad (3.18)$$

де i – передавальне відношення передачі двигун – валки ($i = 23,3$ для кліті 1).

З формули (3.18) одержимо

$$M_{\text{дв}} = 4,263 / 23,3 = 0,182 \text{ МНм}.$$

Номинальний момент на валу двигуна визначимо з формули

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \frac{N_{\text{дв}} \cdot \eta_{\Sigma}}{n \cdot 10^2}, \text{ МНм}. \quad (3.19)$$

Число оборотів двигуна з формули

$$n_{\text{об}} = 60 \cdot v_1 \cdot i / \pi \cdot D_3 \quad (3.20)$$

дорівнює

$$n_{\text{об}} = 60 \cdot 1,25 \cdot 23,3 / 3,14 \cdot 1,4 = 395 \text{ об/хв}.$$

Тоді момент $M_{ном}$ з формули (3.19) дорівнює ($\eta_{\Sigma} = 0,9$)

$$M_{ном} = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,9}{395 \cdot 10^2} \approx 0,11 \text{ МНм}$$

Коефіцієнт перевантаження двигуна по моменту складе

$$k_{п} = \frac{M_{дв}}{M_{ном}} = \frac{0,182}{0,12} = 1,52$$

що менше допустимого при короткочасному навантаженні ($[k_{п}] = 2 - 2,5$).

Фактична розрахункова потужність на валу двигуна для двох валків з формули (1.41) рівна

$$N_{дв} = 960 \cdot 4,263 \cdot 1,25 / 0,7 = 7320 \text{ кВт},$$

що більше встановленого, але перевантаження допустиме.

З розрахунку виходить, що прийняте обтиснення в кліті 1 є завищеним і з метою зниження завантаження головного двигуна (при $v = \text{const}$) необхідно зменшити величину обтискання і передбачити кліть 1 в чорновій групі як додатковий окалиноламач.

Продовжимо розрахунок для прийнятого режиму деформації.

Кліть 2. Довжина дуги контакту і фактор форми $l_0/h_{ср}$ осередку деформації вказані табл. 3.10, а швидкість деформації рівна

$$u = 1500 \cdot 0,295 / 177 = 2,5 \text{ с}^{-1}.$$

Коефіцієнт тертя розраховуємо по формулах (1.22), (1.24) – (1.26), а додаткові коефіцієнти приймаємо з роботи [20] ($t = 1168^{\circ}\text{C}$, $v = 1,5 \text{ м/с}$, валки з твердістю 45 HSD):

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{1168}{4} - 2 \right)^2 = 0,184;$$

$$k_T = 1 + 0,43 [1 - 45/65]^2 = 1,03;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82 (1,0 - 0,1 \cdot 1,5)^2 = 1,35.$$

$$f = 0,184 \cdot 1,03 \cdot 1,35 \cdot 1,1 = 0,28$$

Показник тертя з формули (2.10) дорівнює

$$f_{п} = 1,6 \cdot 0,28 - 0,018 = 0,43.$$

Розрахунок напруження течії металу при базовому його значенні $\delta_{T6} = 83,5 \text{ Н/мм}^2$ (див. вище) ($u < 10 \text{ с}^{-1}$):

$$k_t = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1168}{4} - 2 \right)^{0,7} \approx 0,61;$$

$$k_\varepsilon = 1 + 0,43 \left[-6,3(0,5 - 0,295)^2 \right] \approx 1,18;$$

$$k_u = 0,22 + 0,072(7 + \ln 2,5) = 0,79.$$

По (1.27) одержимо

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,61 \cdot 1,18 \cdot 0,79 = 47,4 \text{ Н/мм}^2.$$

Середнє нормальне контактне напруження розраховуємо по формулі (2.11), оскільки $l_d/h_{cp} > 1$, то

$$P_{cp} = 54,4(1 + 0,48 \cdot 0,43 \cdot 1,15) = 67,3 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки з формули (1.31)

$$P = 67,3 \cdot 0,177 \cdot 1,5 = 17,9 \text{ МН}.$$

Коефіцієнт положення рівнодіючої сил з формули (3.14) дорівнює

$$\psi = 0,51(l_d/h_{cp})^{-0,10} = 0,51(1,15)^{-0,10} = 0,504.$$

Момент кручення прокатки на одному валку по формулі (1.33)

$$M = 0,504 \cdot 0,177 \cdot 17,9 = 1,6 \text{ МНм}.$$

Для двох валків матимемо $2M = 3,2 \text{ МНм}$, що менше допустимого.

Момент тертя в шийках валків кліті кварто рівний ($d_{ш} = 800 \text{ мм}$)

$$M_{тр1} = P \cdot f_T \cdot d_{ш} (D_p/D_{cn}) \quad (3.21)$$

або

$$M_{тр1} = 17,9 \cdot 0,003 \cdot 1,0 \cdot 0,74 = 0,04 \text{ МНм}.$$

Момент тертя в деталях головної лінії з (3.16) рівний ($\eta_\Sigma = 0,9$)

$$M_{тр2} = 0,11(3,2 + 0,04) = 0,36 \text{ МНм}.$$

Сумарний момент з (3.17) рівний

$$M_{тр} = 3,2 + 0,04 + 0,36 = 3,6 \text{ МНм}$$

Момент, який приведено до валу двигуна при $i = 15,5$ з формули (3.18)

$$M_{\text{дв}} = 3,6/15,5 = 0,231 \text{ МНм.}$$

Номинальний момент з формули (3.19) рівний

$$M_{\text{ном}} = 0,975 \frac{5000 \cdot 0,9}{347 \cdot 10^2} = 0,126 \text{ МНм.}$$

Коефіцієнт перевантаження двигуна рівний

$$k_n = \frac{0,231}{0,126} = 1,83,$$

що допустимо при короткочасному навантаженні.

Фактична потужність на валу двигуна для двох валків складає по формулі (1.41)

$$N_{\text{дв}} = 960 \cdot 3,622 \cdot 1,5/0,59 = 8780 \text{ кВт,}$$

що допустимо при короткочасному навантаженні.

Аналогічно розраховані енергосилові параметри і для клітей 3 – 5 (табл. 3.11). Як впливає з табл. 3.11, розрахункові енергосилові параметри (P і M_{Σ}) менше допускаємих, а раціональний розподіл обтискань по клітях чорнової групи обумовлено близькими між собою потужностями прокатки, які у всіх випадках декілька перевищують потужності двигунів, які встановлені (див. вище). Проте перевантаження двигуна по номінальному моменту і потужності допустиме при короткочасній роботі кліті.

Перевіримо двигун кліті 2 на нагрів. Для цього необхідно знати машинний час прокатки в кліті 2 і час паузи. Машинний час прокатки в кліті 2 дорівнює

$$\tau_2 = L_2/v_2, \quad (3.22)$$

де L_2 – довжина штаби після кліті 2.

При початковій довжині сляба $L_0 = 12$ м і товщині розкату в кліті 2 – $h_2 = 127$ мм, довжина L_2 рівна

$$L_2 = H \cdot L_0/h_2 = 240 \cdot 12/127 = 22,7 \text{ м.} \quad (3.23)$$

Машинний час при $v_2 = 1,5$ м/с з формули (3.22) рівно

$$\tau_2 = 22,7/1,5 = 15,2 \text{ с.}$$

Час прокатки штаби в кліті 6 з (3.22) при $L_6 = 240 \cdot 12/16 = 190$ м буде (табл.3.10)

$$\tau_6 = 190/2,03 = 88,6 \text{ с.}$$

Двигун кліті працюватиме нормально, без перегріву якщо еквівалентний момент буде менше номінального, тобто $M_{\text{екв}} < M_{\text{ном}}$. Еквівалентний момент для кліті 2 визначимо з формули

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{об2}}^2 \cdot \tau_2 + M_{\text{хх}}^2 \cdot \tau_n}{\tau_2 + \tau_n}} \quad (3.24)$$

де $M_{\text{хх}}$ – момент холостого ходу, рівний: $M_{\text{хх}} = 0,05M_{\Sigma}$.
Збираючи всі дані у формулу (3.24) одержимо

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{0,231^2 \cdot 15,2 + 0,011^2 \cdot 14,4}{15,2 + 14,4}} = 0,168 \text{ МНм};$$

що менше номінального моменту ($M_{\text{ном}} = 0,18 \text{ МНм}$).

Таблиця 3.11. Геометричні і енергосилові параметри прокатки штаб 2×1500 мм на стані 2030

№ клітей	l_d , мм	$l_d/h_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{ф}}$, Н/мм ²	f	$\rho_{\text{ср}}$, Н/мм ²	P , МН	ψ	Розрахунок (для двох валків)	
								M_{Σ} , МНм	N , кВт
Чорнова група									
1	206	0,98	50,8	0,31	59,7	18,2	0,505	4,263	7320
2	177	1,75	54,5	0,28	67,3	17,9	0,503	3,582	8780
3	161	1,52	65,0	0,33	89,2	21,4	0,483	3,67	8900
4	141	2,14	73,8	0,31	110	23,3	0,47	3,33	7880
5	99,5	2,55	75,8	0,27	112	17,0	0,474	1,76	7500
Чистова група									
6	80	3,33	127	0,338	235	28,3	0,468	2,2	10730
7	52,8	4,24	134	0,274	243	29,1	0,460	2,206	18700
8	36,8	5,04	150	0,255	279	22,2	0,455	1,115	16800
9	25,3	7,23	163	0,235	355	19,6	0,427	0,663	13000
10	20,2	5,75	180	0,222	336	12,6	0,438	0,30	7800
11	17,1	6,5	217	0,227	441	11,3	0,432	0,19	6450
12	11,8	5,5	227	0,235	435	7,72	0,432	0,10	4000

Кліть 6. Як приклад виконаємо повний розрахунок енергосилових параметрів для кліті 6 чистової групи. В першу чергу визначимо товщину штаби по клітках відповідно до п. 3 і формули (3.4) і після коректування вносимо в табл. 3.11. Розрахунок енергосилових параметрів виконуємо по аналогії з розрахунком для кліті 2. Довжина дуги контакту і фактор форми осередку деформації вказані табл. 3.11, а швидкість деформації рівна

$$u = 2030 \cdot 0,5 / 80 = 12,8 \text{ с}^{-1}.$$

Коефіцієнт тертя при $k_B=1,2$; $k_c=1,0$; до $k_M=1,0$; $k_{cm}=1,0$ і $k_r=1$ [20]:

$$f_0 = 0,27 - 0,1 \left(\frac{1075}{400} - 2 \right)^2 = 0,22;$$

$$k_v = 0,76 + 0,82(1,0 - 0,203)^2 = 1,28;$$

$$f = 0,22 \cdot 1,2 \cdot 1,28 = 0,338;$$

$$f_{II} = 1,6 \cdot 0,338 - 0,018 = 0,522.$$

Розрахунок напруження течії металу виконуємо при базовому його значенні $\sigma_{T6} = 83,5 \text{ Н/мм}^2$. При $u > 10 \text{ с}^{-1}$ коефіцієнт k_u для сталей групи I розраховуємо по формулі [20]

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln u - 2,3)^{1,5}. \quad (3.25)$$

Маємо

$$k_r = 1,66 - 1,1 \left(\frac{1075}{400} - 2 \right)^{0,7} \approx 0,89;$$

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

$$k_u = 1,03 + 0,1(\ln 12 - 2,3)^{1,5} = 1,04.$$

По формулі (1.27) напруження течії дорівнює

$$\sigma_T = 83,5 \cdot 0,89 \cdot 1,43 \cdot 1,04 = 111 \text{ Н/мм}^2.$$

Середнє нормальне напруження по формулі (2.11) дорівнює

$$p_{cp} = 1,15 \cdot 111(1 + 0,48 \cdot 0,522 \cdot 8,33) = 235 \text{ Н/мм}^2.$$

Сили прокатки по формулі (1.31)

$$P = 235 \cdot 0,08 \cdot 1,5 = 28,3 \text{ МН}$$

що допускається.

Коефіцієнт положення рівнодіючої сил з формули (3.14) рівний

$$\psi = 0,5 \cdot 3,33^{-0,092} \approx 0,45.$$

Момент кручення на одному валку з (1.33) рівний

$$M = 0,45 \cdot 0,08 \cdot 28,3 \approx 1,05 \text{ МНм.}$$

Для двох валків одержимо $2M = 2,1 \text{ МНм}$,

Що допускається.

Моменти тертя $M_{\text{тр}1}$ і $M_{\text{тр}2}$ при ($\eta_{\Sigma} = 0,95$) рівні:

$$M_{\text{тр}1} = 28,3 \cdot 0,003 \cdot 1,0 \cdot 0,8 / 1,6 = 0,041 \text{ МНм};$$

$$M_{\text{тр}2} = 0,05(2,1 + 0,041) = 0,108 \text{ МНм.}$$

Сумарний момент прокатки рівний при $i = 1$

$$M_{\Sigma} = M_{\text{об}} = 2,15 + 0,041 + 0,108 \approx 2,25 \text{ МНм.}$$

Потужність двигуна з (1.41)

$$N_{\text{об}} = 960 \cdot 2,25 \cdot 2,03 / 0,4 = 10930 \text{ кВт},$$

що менше потужності встановленого двигуна ($N_{\text{дв}} = 2 \times 6000$ кВт). Аналогічно виконано розрахунок і для інших клітей (табл. 3.11). Як йдеться із табл. 3.11, величини сил і крутних моментів прокатки на валках в усіх клітях менше допустимих (див. вище), але достатньо близькі до них. При цьому, в усіх клітях 1-4 чорнової групи потужності власної прокатки вищі потужності встановлених двигунів (див. вище), проте завдяки наявності редукторів перевантаження двигунів відсутнє. Двигуни клітей 5, 7-9 мають деяке перевантаження і величини обтисків у них треба зменшити за рахунок перенесення обтиску в кліті 1-3. Проте, це приводить до зменшення товщини розкату і зниженню температури металу перед кліттю 6. Другим варіантом є перерозподіл обтисків і колових швидкостей в чистовій групі клітей. Зокрема, треба зменшити величини обтисків в клітях 7, 8 і збільшити – в клітях 6 і 10.

Визначимо для кліті 7 еквівалентний момент прокатки з використанням формули (3.24) при $\tau_{\text{п}} = 10 \text{ с}$ і $M_{\text{ном}} = M_{\text{макс}} = 2,3 \text{ МН}\cdot\text{м}$:

$$M_{\text{ек}} = 0,05 \cdot M_{\text{ном}} = 0,05 \cdot 2,3 = 0,115 \text{ МН}\cdot\text{м};$$

$$\tau_{\text{м}} = L_7 / v_7 = 267 / 3,65 = 73 \text{ с};$$

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{2,206^2 \cdot 73 + 0,115^2 \cdot 10}{73 + 10}} = 2,2 \text{ МН}\cdot\text{м.}$$

Як йдеться із розрахунку $M_{\text{екв}} < M_{\text{ном}}$ ($2,2 < 2,3$) і двигун навіть при цьому навантаженні може працювати без перегрівання. Але при розрахунку режимів деформації необхідно добиватися рівномірного навантаження двигунів не допускаючи перевищення потужності встановленого двигуна.

Довжину дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків в клітях 9-12 розраховують по формулах

$$l_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R\Delta h(1 - c f_n / 2h_{\text{ср}})}}{2(1 - c f_n / 2h_{\text{ср}})}; \quad (3.25)$$

$$c = n_{\text{ср}} \sigma_{\text{ф}} R / 41500; \quad n_{\text{ср}} = 1 - \frac{\sigma_n + \sigma_z}{2\sigma_{\text{ф}}};$$

де σ_n і σ_z - переднє і заднє напруження натягання.

Для гарячої прокатки на неперервному стані приймають $\sigma_n = \sigma_z = 10 - 20 \text{ Н} / \text{мм}^2$.

4. ХОЛОДНА ПРОКАТКА ШТАБ

Холодну прокатку штаб (листів) виконують без якого-небудь спеціального нагріву підкату, але в процесі обробки метал розігрівається до температур $150 \dots 250^\circ\text{C}$. В холодному стані прокатують штаби з товщиною $h \leq 2 \text{ мм}$ і шириною $b \leq 2300 \text{ мм}$. Штаби по товщині умовно можна поділити на такі категорії:

холоднокатана

штаба

$$h = 0,45 \dots 2 \text{ мм};$$

жерсть

$$h = 0,07 \dots 0,3 \text{ мм};$$

фольга

$$h = 0,0015 \dots 0,01 \text{ мм.}$$

Штаби та листи прокатують із вуглецевих, легованих і нержавіючих марок сталі. Холоднокатану штабу, жерсть, фольгу прокатують в рулонах (рулонний спосіб) на реверсивних і неперервних станах. При виробництві холоднокатаної штабової сталі застосовують декілька операцій: усунення окалини із

гарячекатаної штаби, прокатка, термічна обробка в печах з безокислювальною атмосферою, дресування штаб, обробка штаб і упакування листів в пачки.

Найбільша кількість штабової сталі споживається автомобільною промисловістю, сільхозмашинобудуванням і промисловістю по виробництву побутової техніки. Для потреби цих галузей випускають штаби (листи) із низьковуглецевих і низьколегованих марок сталі. В ряді випадків поверхню штаб покривають захисними покриттями (цинк, алюміній, полімерна плівка). Сучасні неперервні (п'ятиклітьові) стани холодної прокатки мають високі технічні характеристики [66]:

Проектна потужність, млн. т/рік	до 2,5
Вага рулону, т	до 45
Швидкість регулювання натискного гідравлічного пристрою, мм/с	до 2,5
Швидкість прокатки, м/с	до 30
Допуски по товщині, %	± 1
Час зміни робочих валків, хв.	10
Чисельність обслуговуючого персоналу, чол.	6

Для прокатки штабової сталі товщиною 0,3...2,0 мм і шириною 900...2200 мм використовують чотирьох- і п'ятиклітьові стани холодної прокатки; жерсть з $h = 0,1...0,3$ мм і шириною менше 1000 мм прокатують, як правило, на п'яти- і шестиклітьових станах. Діаметри робочих валків на сучасних станах знаходяться у межах 550...660 мм, а опорних – 1300...1600 мм. Кожний робочий валок має привод від свого двигуна і сумарну потужність головного привода на одну кліть у межах (кВт):

Стан 1200	$N = 3600...4000$
Стан 1700	$N = 5000...6600$
Стан 2000	$N = 6600...8800$
Стан 2185	$N = 7000...9000$

Крім неперервних працюють стани з безперервним процесом прокатки, у яких перед першою кліттю установлені агрегати для стикового зварювання штаб і петленакопичувач з довжиною штаби 300 м і більше, а за останньою кліттю ділільні летучі ножиці і дві моталки для змотування штаби у рулон.

Зварний шов прокатується на швидкості 5...10 м/с. Сучасні стани обладнані приладами контролю, пристроями для впливання на міжвалковий зазор, ЕОМ і автоматичною системою управління станом. В останні роки холоднокатану штабу почали виробляти на суміщених агрегатах: неперервний травильний агрегат – неперервний прокатний стан; неперервний прокатний стан – агрегат неперервного відпалу; агрегат неперервного відпалу – дресирувальний і обробний агрегати. Із застосуванням станів безконечної прокатки скоротилося кількість і довжина потовщених кінців під час прокатки, наприклад, штаб товщиною 0,8 мм – з ~ 23 до 1,4 м. Гідравлічні швидкодіючі натискні пристрої забезпечують тонке регулювання товщини штаби при високих швидкостях прокатки.

Точність профілю по ширині штаби досягається за рахунок використання гарячекатаної штаби з раціональним потовщенням в середині (до 0,03...0,04 мм). Для зменшення, зтоншення кромek необхідно прокатувати штаби на валках невеликого діаметра і застосовувати шестивалкові кліті, після оснащення їх пристроями для осевого регулювання проміжних опорних валків і противовигину робочих валків. Подібні кліті дають змогу випускати 100% листової продукції з потрібною планшетністю. Планшетність штаби контролюється спеціальними датчиками (тензометрами або емкісними) і повідомляється через ЕОМ у регулюючу систему кліті.

В умовах холодної прокатки штаб ($h \geq 0,5$ мм) як мастило використовують 2...4%-ні емульсії на основі легкого мінерального масла (індустріальне – 20). Перед відпалом штаби очищають від масла електролітичним або іншим способом. В чистовій кліті стана використовують емульсії, які мають в складі поверхнево-активні і хелатні речовини. Застосування цього реагенту охороняє штабу від корозії при зберіганні на складі і від злипання витків при відпалі рулонів у ковпакових печах. В світі працює біля 400 багатовалкових станів типу Сендзимира. Ці стани застосовують для холодної прокатки штаб із чорних і кольорових металів і сплавів. Двадцтивалкові стани порівняно з іншими станами холодної прокатки забезпечують прокатку найтонших штаб (до 0,0015 мм) із низьковуглецевих і

легованих високоміцних сталей. Це здійснюють завдяки застосуванню робочих валків невеликого діаметра.

4.1 Характеристика цеху для холодної прокатки штаб

В Україні є два металургійні комбінати, на яких організовано виробництво холоднокатаних штаб: металургійний комбінат «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя) і металургійний комбінат в м. Маріуполі. На металургійному комбінаті «Запоріжсталь» працюють неперервний широкоштабовий стан (ШСХП) 1680, два реверсивні стани 1680 і 1200 з чотиривалковими клітьми, один 20-валковий стан 1700, два неперервних стана для прокатки жерсті з довжиною бочок 450 і 650 і одноклітьовий стан 2800. На Маріупольському металургійному комбінаті працює неперервний чотирьохклітьовий стан ШСХП 1700.

Технічна характеристика ШСХП 1680 і 1700 представлена в табл. 4.1. Розглянемо докладніше технологічний процес виробництва штаб в цеху холодної прокатки меткомбіната «Запоріжсталь» (рис. 4.1). Гарячекатані рулони з цеху гарячої прокатки тонких штаб по підземному конвейєру 33 поступає на склад до безперервних травильних агрегатів (НТА) 1-3, в яких проводять стикову зварку штаб суміжних рулонів в нескінченну нитку. В процесі руху штаби в НТА послідовно виконується механічний злом окалини і її подальше видалення у ваннах з сірчаноокислотним (солоноокислотним) розчином. Після видалення розчину гарячого і холодною промивкою слідує сушка поверхні штаби і її промаслювання емульсією вискоєфективного синтетичного мастила або емульсію полімерізованої бововняної олії.

Підготовлену до прокатки нескінченну гарячекатану штабу ріжуть на довжини для утворення укрупнених (подвійних) рулонів масою $\sim G=11-15$ т.

Якщо гарячекатані штаби прокатані із слябів подвійної довжини, то на лінії НТА рулони не піддають укрупненню.

З НТА рулони після травлення відправляють для прокатки на неперервний стан 1680, на реверсивні стани 1680 і 1200, або

на реверсивний двадцятивалковий стан 1700 типу Сендзіміра. Стани 1680 призначені для прокатки штаб з низковуглецевих (08КП, 08Ю, 10ПС, 15ПС, 20ПС, 20, 25, Ст.ЗСП і тп.) і низьколегованих сталей (09Г2, 10ХНДП, 10Г2, 16Г2, 08ГСЮФ і тп.) товщиною 0,5-2,0 мм. На стані 1200 прокатують низковуглецеву сталь товщиною 0,5-0,6 мм, а стан 1700 призначений для прокатки штаб товщиною 0,8-1,6 мм з легованих і неіржавіючих сталей (12Х18Н10Т, 10Х14АГ15, 08Х18Т1, 12Х21Н5Т, 09Х16Н4Б і ін.)

В результаті сумарної деформації штаб у межах $\varepsilon = 60 - 70\%$ метал зміцнюється і практично втрачає свої пластичні властивості. Тому рулони холоднокатаних штаб передають в термічне відділення, де проводять відпал, рекристалізацію, в колпакових печах 7.

Таблиця 4.1. Характеристика ШСХП 1680 і 1700

Показники	неперервний ШСХП	
	1680	1700
Кількість клітей, шт.	4	4
Маса рулону (одинарного), т.	5,5-7,5	10-15
Товщина підкату, мм	2-4	1,8-4,0
Товщина штаби, мм	0,5-2,0	0,45-2,0
Ширина штаби, мм	1000-1500	1000-1500
Діаметр валків, мм :		
робочих	510	500
опорні	1300	1300
Потужність головних двигунів кожної кліті, кВт	3300	4800
Швидкість прокатки, м/с	5-10	6-25
Матеріал валків (сталь) :		
робочих	9Х2МФ	-
опорних (бочка)	60Х2МФ	-
опорних (вісь)	9ХФ	-
Твердість поверхні валків (по Шору), HSD:	40ХН2МА	-
робочих	90-96	90-96
опорних	75-85	75-85

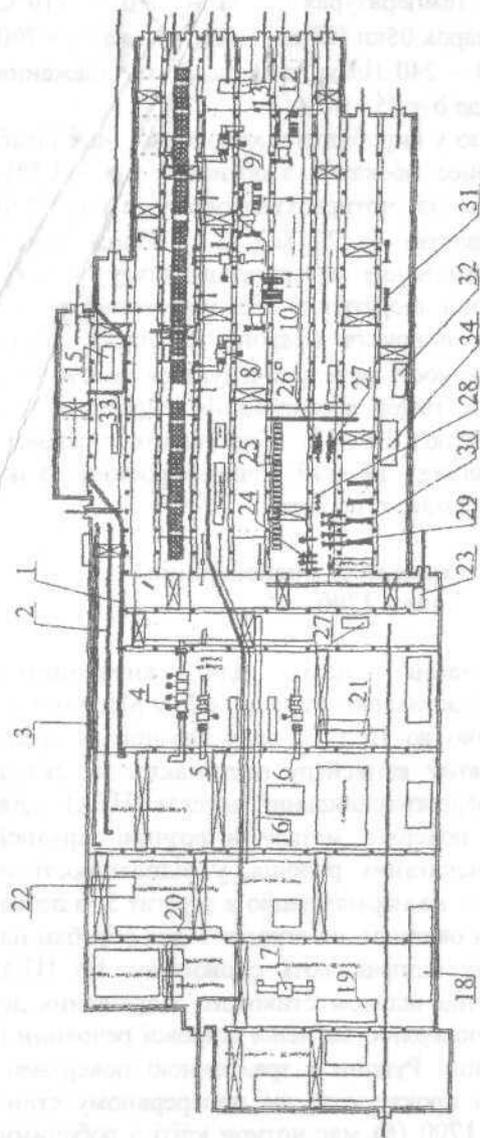


Рис. 4.1 – Схема розміщення устаткування цеху холодної прокатки №1 з неперервним чотирьохкільговим станом 1680:

1 – травильна лінія №1; 2 – травильна лінія №2; 3 – травильна лінія №3; 4 – неперервний стан 1680; 5 – реверсивний стан 1680; 6 – реверсивний стан 1200; 7 – кошаковий печ; 8 – дресирувальний стан 1700 №1; 9 – дресирувальний стан 1700 №2; 10 – агрегат поперечної різки №1; 11 – агрегат поперечної різки №2; 12 – агрегат поперечної різки №3; 13 – агрегат поперечної різки №4; 14 – кліть кварто; 15 – лінія гарту №1; 16 – лінія гарту №2; 17 – 20 – валковий стан; 18 – мехнічна майстерня; 19 – в/ш. майстерня 20-ти валкового стан; 20 – агрегат шіфровки штаби; 21 – в/ш. ділянка; 22 – агрегат різання; 23 – комера; 24 – агрегат миття; 25 – електропеч; 26 – 4-х кільговий стан, 450 ОБЖ; 27 – 4-х кільговий стан 650 ОБЖ; 28 – агрегат розпуску ОБЖ; 29 – стани дуо №1, 2, 3, 4 ОБЖ; 30 – агрегати гарячого лудіння ОБЖ; 31 – агрегат позовжньої різки; 32 – майстерня енергетиків; 33 – підземний конвейер; 34 – склад зачастин механослужби

Після відпалу при температурах $t = 670 - 710^{\circ}\text{C}$ напруження течії стали марок 08кп (08 пс) знижується з $\sigma_T = 700 - 750 \text{ Н/мм}^2$ до $\sigma_T = 220 - 240 \text{ Н/мм}^2$, а відносне поздовження збільшується з $\delta = 1,5\%$ до $\delta = 35 - 40\%$.

Наступною операцією у виробництві холоднокатаних штаб є дресировання - процес прокатки з обтиском 0,8 - 1,5%. Дресировання проводять на чотирьохвалковому стані (500/1300×1700 мм) з швидкістю до 20 м/с (8,9). Призначення дресировання металу - зміцнення поверхневого шару штаби і додання її поверхні певної шорсткості або мікрорельєфу, що забезпечує адгезіювання покриття (фарби) на листі. Після дресировання границя текучості металу знижується до $\sigma_T = 130 - 180 \text{ Н/мм}^2$. Готові рулони після дресировання передають на агрегати поперечної різки (поз. 10 - 13). Сортування і упаковку листів проводять на агрегатах 17 - 19. Річне виробництво на станах цеху складає 1,0-1,2 млн. т. прокату.

4.2. Характеристика цеху з неперервним станом 1700

Схема розташування цеху для виробництва холоднокатаних штаб представлена на рис. 4.2.(м.Маріуполь). Гарячекатані рулони вагою до 15 т із цеху гарячої прокатки тонких штаб по підземному конвейєру поступають на склад рулонів і потім на неперервно-травильний агрегат (НТА) для усунення окалини з поверхні металу в розчині сірчаної кислоти. Частину гарячекатаних рулонів, у відповідності із замовленням, спрямовують на нормалізацію в агрегат 3, а потім на НТА 2 для усунення окалини, на агрегат 5 для обробки на листи і після упакування відправляють споживачу. На НТА роблять укрупнення рулонів шляхом стикового зварювання до ваги 30 т, нанесення на поверхню захисної жирової речовини і змотування штаби в рулон. Рулони з травленою поверхнею різуть на агрегаті 5 або прокатують на неперервному стані 1700. Неперервний стан 1700 (6) має чотири кліті з робочими валками діаметром ~ 500 мм і опорними - 1300 мм. Робочі валки кожної кліті приводяться до обертання від індивідуальних двигунів з сумарною потужністю 4800 кВт. На стані

прокатують штаби товщиною 0,45...2 мм із гарячекатаних штаб товщиною 1,8...5,0 мм і шириною 1000...1500 мм із швидкістю у кліті 4 до 25 м/с (проект).

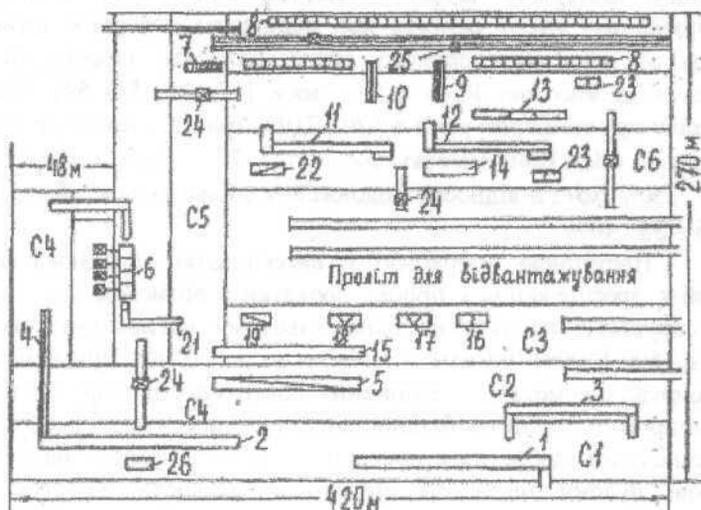


Рис. 4.2. Схема розташування обладнання цеху холодної прокатки із неперервним чотирьохклітьовим станом 1700: 1-підземний конвейер рулонів; 2-неперервно-травильний агрегат; 3-агрегат нормалізації; 4-транспортер; 5-агрегат комбінованого різання; 6-чотирьохклітьовий стан; 7-конвейер; 8-ковпакові печі для світлого відпалу рулонів; 9-конвейер; 10-дресирувальний стан; 11, 12-агрегати поперечного різання; 13-агрегат поздовжнього різання; 14-агрегат сортування листів; 15-агрегат неперервного цинкування штаби; 16-стан з фігурними валками для випуску хвилястих листів; 17, 18-машини для ушакування листів у пачки; 19-ножиці; 21-конвейер; 22-ножиці; 23-ваги; 24, 25-передатні візки; 26-пакетирувальний прес; С1-склад гарячекатаних рулонів і листів; С2-склад гарячекатаних рулонів і листів; С3-склад оцинкованих листів; С4-склад травлених рулонів; С5-склад холоднокатаних рулонів; С6-склад готової продукції.

В результаті деформації з сумарним обтиском 60...80% метал зміцнюється і практично втрачає свої пластичні властивості. Тому рулони холоднокатаних штаб передають в термічне відділення, де роблять рекристалізаційний відпал в

ковпакових печах 8. Відпал рулонів виконують в захисній атмосфері, яка запобігає окисленню поверхні штаб. Тривалість і температурний режим відпалу зумовлено товщиною і хімічним складом матеріалу штаб. З метою запобігання злипання (зварювання) витків рулонів при відпалі на поверхню штаб в чистовій клітці неперервного стана наносять шорсткість із середньою висотою $R_a \approx 1,5...2$ мкм [17, 31, 51, 54]. Після відпалу при температурах $t = 670...710^\circ\text{C}$ границя текучості сталі марок ст. 08кп (08пс) знижується з $\sigma_T = 700...750$ Н/мм² до $\sigma_T = 220...250$ Н/мм², а відносне подовження збільшується з $\delta \approx 1,5\%$ до $\delta = 35...40\%$.

Наступною операцією у виробництві холоднокатаних штаб є дресування - процес прокатки з обтиском 0,8...1,5%. Дресування роблять на однокільовому чотирьохвалковому стані (500/1300x1700 мм) із швидкістю до 20 м/с. Призначення дресування металу - зміцнення поверхневого шару штаби і надання їй поверхні необхідної шорсткості або мікрорельєфу, які забезпечують добре адгезування покриття (фарби) на листі. Готові рулони після дресування передають на агрегати поздовжнього і поперечного різання (поз. 11-13), сортування і упакування 14. Частина холоднокатаних штаб із вуглецевої сталі в рулонах поступають на агрегат неперервного гарячого цинкування 15 з річним виробництвом близько 100 тис.т. Різання рулонів і упакування оцинкованих листів виробляють на агрегатах 17-19.

4.3. Характеристика цеху холодної прокатки штаб із станом 2030

Характерними особливостями сучасного цеху (рис. 4.3) виробництва холоднокатаної широкоштабової сталі є: застосування сучасних технологій та обладнання, автоматизація та механізація виробничих процесів, наявність термічної обробки штаб у потоці, обладнання для нанесення покриття на штабу. До таких цехів відноситься і цех холодної прокатки Новолипецького металургійного комбінату (Росія).

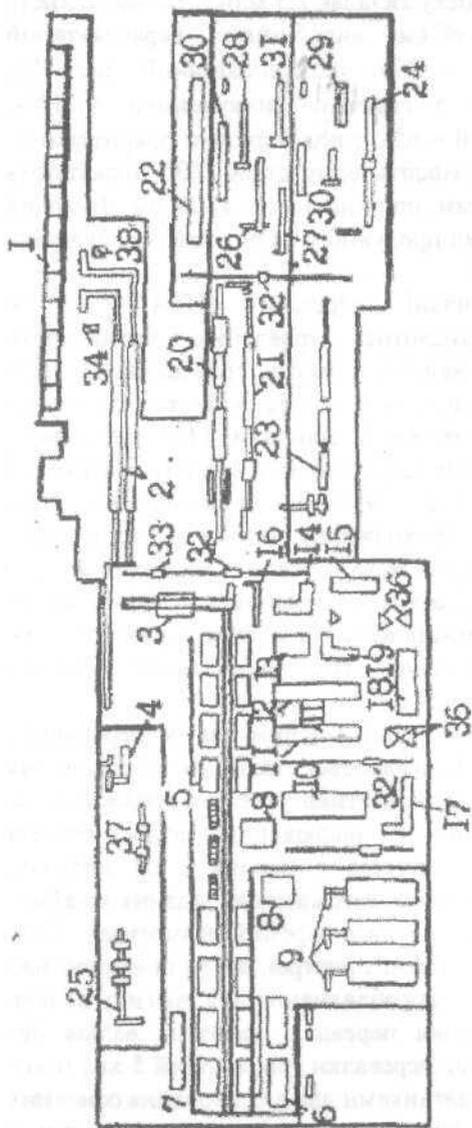


Рис. 4.3. Схема розташування обладнання у цеху холодної прокатки з п'ятикільовим станом 2030: 1-конвейср гарячекатаних рулонів; 2-неперервний гравільний агрегат; 3-п'ятикільовий стан безперервної прокатки; 4-дресирувальний стан травлених гарячочкаганих штаб; 5-ковпакові печі; 6-ковпакові печі для відпаалу розпушених рулонів; 7-агрегат для розпушування рулонів перед відпаалом; 8-однокільовий дресирувальний стан 2030; 9-агрегати поздовжнього різання з лініями упакування; 10, 11, 12, 25, 26, 27-агрегати поперечного різання; 20-агрегат неперервного відпаалу холоднокатаних штаб; 13, 14, 28, 29-агрегат поздовжнього різання; 15, 17, 18, 19, 30, 31-агрегати упакування; 16-агрегат електролітичного очищення; 32, 33, 34-візок вантажодійомістю 80-120 т; 35-ножиці листові; 36-ножиці для вирізання проб; 37-агрегат поздовжнього різання

Об'єм виробництва цього цеху складає 2,5 млн.т. готового листа на рік. У загальному об'ємі виробництва гарячекатаний травлений лист складає ~ 29%, холоднокатаний лист без покриття ~ 49%, листи з гарячим цинкуванням ~ 12%, електролітично цинкований ~ 6%, з полімерними покриттями ~ 4%. На безперервному п'ятиклітьовому стані 2030 прокатують штаби товщиною 0,4...2,5 мм, шириною 900...1800 мм. Загальна схема виробництва листової продукції у цеху, який розглядаємо, виглядає таким чином [31].

Неперервні травильні агрегати (НТА) 2, де використовують солянокислотне травлення, дозволяють отримати високу продуктивність і якість травлення. В НТА використовують мідкі ванни, в яких штаба рухається по дну на кислотній подушці. Передбачений швидкий злив кислотного розчину із ванн у спеціальні циркуляційні ємкості. На вході і виході НТА передбачено петлеві накопичувачі, які забезпечують безперервне проходження штаби в травильній частині агрегату, при зупинках його головної і хвостової частин для здійснення операцій різання, зварювання і т.п. Керування агрегатами ведеться від обчислювальних машин, які визначають оптимальні режими травлення. Всі технологічні операції механізовані і автоматизовані.

П'ятиклітьовий стан 3 призначений для безперервної і порулонної прокатки штаб із вуглецевої сталі. Для забезпечення безперервної прокатки вхідна частина має два розмотувача, обладнання для обрізання і зварювання штаб, петлеві накопичувачі; на вихідній стороні є ножид і дві моталки. Проводкова арматура забезпечує автоматичне задання штаби у моталку. Для порулонної прокатки є окремий розмотувач. Кліті стана мають гідравлічні натискні пристрої, які установлені над подушками верхніх валків, гідрообладнання для прогину валків, обладнання для автоматичної перевалки робочих валків без усунення штаби із стана (час перевалки трьох клітей 5 хв., п'яти – 10 хв.). Стан оснащений датчиками для вимірювання основних технологічних параметрів: товщини, натягання, зусилля і т.п. в усіх клітях або міжклітьових проміжках. Є системи автоматичного регулювання: товщини, натягання, площинності, подання емульсії на валки, сповільнення і прискорення стана в

області ділянки шва та в кінці прокатки. Для координації дій локальних систем автоматичного регулювання, розрахунку уставок для них, слідкування за штабом, розрахунку початкової настройки стана, корекції настройки, динамічної настройки, збирання інформації, адаптації моделей і рішення ряду інших задач використовуються УОМ, яка працює в замкнутому режимі. Стан має продуктивність порядку 2,5 млн.т за рік, максимальна швидкість прокатки досягає 28...30 м/с.

В термічному відділенні цеху установлені ковпакові печі 5 і агрегат безперервного відпалу 20. Відпал рулонів в розпушеному стані (агрегат 7) дає змогу підвищити рівномірність та рівень фізико-механічних властивостей металу. Агрегат неперервного відпалу 20 за рахунок глибокого секціонування дає змогу реалізувати складний температурний режим і забезпечити отримання штаб, які задовольняють за властивостями категоріям високої і особливо високої витяжки, а також отримання низьковуглецевих сталей з границею міцності 500...600 Н/мм². В лінії агрегату безкінечного відпалу установлений дресирувальний стан, так що на виході отримується готова продукція. На вході агрегату є петлевий накопичувач. Керування агрегатом, вибір оптимального режиму термообробки на задані властивості здійснюються за допомогою УОМ.

Відділення покриття штаб включає агрегати гарячого цинкування 21 продуктивністю 500 тис.т, електролітичного цинкування 22 продуктивністю 250 тис.т, покриття полімерною плівкою 23 і пофарбування – 150 тис.т. Дресирувальний стан 2030 має одну кліть 8, яка має моталки, розмотувач, натяжні станції, гідровигин валків, гідронатискні пристрої, систему проводкової апаратури для автоматичної задачі штаби, систему подачі емульсії або технологічного мастила, систему автоматичної стабілізації основних технологічних параметрів, УОМ, яка призначена для керування і контролю процесу дресирування.

Листова продукція поставляється пачками листів довжиною 2500 і 4000 мм або рулонами. Тому в цеху передбачені одинадцять агрегатів різання, включаючи сім агрегатів різання листа без покриття і чотири агрегата – з

покриттям (9-15 та ін.). Всі агрегати автоматизовані і мають системи сортування. Агрегати різання штаб з покриттям мають конструкцію, яка забезпечує якісний різ покритого металу і виключає порушення суцільності між покриттям і основним металом. Упакування продукції у вигляді рулонів і пачок здійснюється на агрегатах упакування 17-19, які установлені поблизу агрегатів різання.

4.4. Очистка поверхні гарячекатаних штаб від окалини

Після гарячої прокатки на поверхні штаби утворюється окалина товщиною 0,1...0,15 мм, яку перед подальшою обробкою необхідно усунути. Усунення окалини роблять хімічним, електрохімічним і механічним (безкислотним) способами. Найбільше застосування знайшов хімічний спосіб травлення окалини у розчинах сірчаної та соляної кислот [17, 31-33]. Більш ефективним є спосіб травлення в соляній кислоті, який широко використовують на сучасних станах [65]. На рис. 4.4. представлена схема сучасного неперервного агрегату травлення в соляній кислоті штаб товщиною 1...6,5 мм. Поданий до НТА рулон установлюють на допоміжному розмотувачі 1 таким чином, щоб передній кінець штаби був готовий для подачі в НТА, і передається підйомним візком для установки на одній із двох розвідних барабанних оправок розмотувача НТА. Задній кінець штаби попереднього рулону (у відповідності з показаннями товщиноміру) обрізають гідравлічними ножицями 3 (його довжина звичайно 3...4,5 м) і прибирається крановим магнітом із столу. Якщо довжина заднього кінця штаби, яку відрізають більша 6 м, використовуються допоміжні гідравлічні ножиці. Інтервал слідування переднього кінця наступного рулону за заднім кінцем попереднього буде, як правило, 5 с. Центрування, зажим і зварювання кінців штаб у зварювальній машині 5 повністю автоматизовані. Тривалість циклу зварювання кінців штаб найбільшої товщини і ширини складає 50...60 с, а загальна тривалість зміни рулонів 90...120 с в залежності від розмірів штаби.

Для механічної ломки окалини застосовуються пристрої 6-8, в яких робиться обтиск і розтягування штаби з невеликим подовженням за допомогою дресирувальної кліті і роликів: при цьому відбувається правка штаби (із зменшенням хвилястості і коробоватості), розтріскування і часткове усунення окалини. Вхідний і вихідний горизонтальні накопичувачі 10, 13 дають змогу регулювати натягання штаби і забезпечують безперервність руху штаби в травильних ваннах 11 під час операції з'єднання рулонів і різання штаби на початку та в кінці НТА. Натягання штаби і її висока планшетність штаби дали змогу використовувати дрібні травильні ванни висотою 200...300 мм. Штаба проходить ванни майже горизонтально на кислотній подушці. В травильних ваннах з великою точністю підтримується оптимальна концентрація соляної кислоти. Відроблений розчин регенерується.

Основна відмінність між глибокою (висота ≈ 2 м) і дрібною ваннами полягає в тому, що в дрібній ванні штаба ковзає по гідродинамічній подушці поблизу дна, за рахунок захоплення травильного штабою і підпору циркуляційним насосом. Завдяки тому, що штаба має високу швидкість (до 6 м/с), а об'єм ванн малий, кислота добре перемішується, що забезпечує якісне травлення. Свіжий розчин в кількості до 15 м³ подається в останню (по ходу штаби) ванну і переливається з ємкості в ємкість за рахунок різниці їх рівнів. Відпрацьований розчин відкачується в такій же кількості з першої ванни на регенерацію.

Особливістю обладнання вхідної частини агрегату є об'єднання послідовно розташованих двовалкової дресирувальної кліті 7 з машиною правки натяганням 6. Причому, профіль бочки валків дресирувальних клітей в залежності від сили деформації і зносу бочки регулюється гідравлічним способом.

З цієї метою бочка валків виконана порожнистою, куди подається мастило під високим регулюючим тиском. Після травлення штаба піддається холодній і гарячій промивці у ваннах 12, 14 і сушінню в пристрої 15. Кромки штаби відрізають на ножицях 17, штабу промаслюють на машині 19 і змотують в рулон на металці 20.

Соборенко С.С.
77-С - 2001. 26.03.

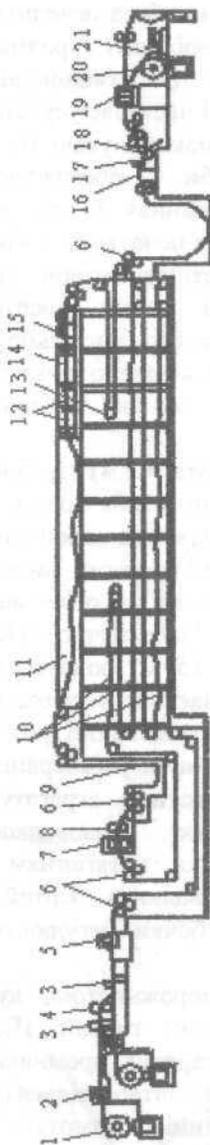


Рис. 4.4. Схема неперервного травильного агрегату: 1-розмотувач з згинальним роликом; 2-подаючі ролики і правильна машина; 3-гільотинні ножиці; 4-подаючі ролики; 5-зварювальна машина; 6-натяжна станція; 7-дресирувальна кліть; 8-згинальні ролики; 9-петльова яма; 10-накопичувач штаби; 11-ванни травлення; 12-ванни холодного промивання; 13-натяжні ролики; 14-ванна гарячого промивання; 15-сушильний пристрій; 16-пристрій для вирубування кромок штаби у зварного шва; 17-дискові ножиці; 18-кромкокришльні ножиці; 19-промаслювальна машина; 20-моталка; 21-захльостувач.

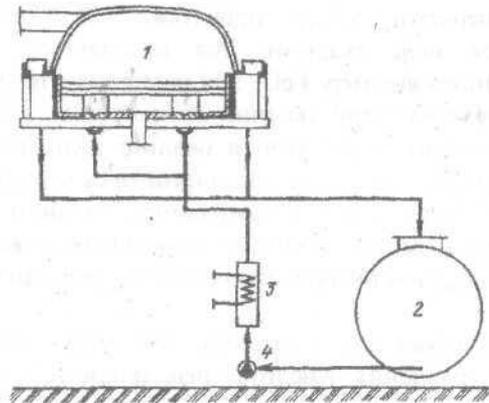


Рис.4.5 Схема циркуляції розчину в дрібній ванні:
 1 – ванна; 2 – смістіть; 3 – теплообмінник;
 4 – циркуляційний насос

Керування агрегатом робиться за допомогою центральної ЕОМ, яка видає завдання незалежним мікропроцесорам, які вираховують необхідні робочі параметри процесу як на самому травильному агрегаті, так і на допоміжних ділянках. Всіма установками НТА можна керувати також і вручну. Інтенсифікація травлення штабової вуглецевої сталі відбувається за наступними напрямками:

- отримання легкотравимої окалини при виробництві гарячекатаної штаби;
 - застосування пристроїв для механічної ломки окалини;
 - підігрів штаби перед входом на ділянку травлення (до температури, рівної температурі кислоти);
 - змінення складу і параметрів травильних розчинів;
- зміна конструкції травильних ванн.

Структура і товщина шару окалини на гарячекатаній штабі залежать від тривалості її перебування на широкоштабовому стані, температури кінця прокатки і змотування в рулон, ваги рулону і режиму його охолодження. Із збільшенням тривалості перебування штаби на рольганзі і температури прокатки товщина шару окалини збільшується за параболічним законом.

При температурі кінця прокатки 750...850⁰С на штабі утворюється шар окалини, яка складається переважно із легкоотравимого вюститу FeO. З підвищенням температури з 860 до 930⁰ товщина шару окалини збільшується з 75 до 150 мкм при одночасному збільшенні в окалині долі Fe₂O₃ (гематит) і Fe₃O₄ (магнетит), які є важкорозчинними складовими окалини. З точки зору отримання легкоотравимої окалини оптимальною температурою змотки штаби із низьковуглецевої сталі (08пк, 08пс, 08ю) в рулон після охолодження на рольганзі являється t = 550...600⁰С.

Механічна ломка окалини дає змогу значно скоротити тривалість травлення. Кислота крізь тріщини, які утворилися в шарах окалини, вільно досягає шару вюститу FeO (закисі заліза), прилеглого до залізної основи, і розчинює переважно цей шар. Водень, який виділяється при розчиненні металевого заліза, сприяє відділенню розташованих вище шарів Fe₃O₄ і Fe₂O₃. Реакції розчинення FeO і Fe течуть наступним чином:

в сірчаній кислоті:



в соляній кислоті:



При травленні в розчинах цих кислот частково розчиняються Fe₂O₃ і Fe₃O₄. Для механічної ломки окалини в НТА застосовують окалиноломачі, згибно-розтяжні машини, дресирувальні кліті звичайного типу і які працюють за схемою прокатка-волочіння (ПВ). Дресирування штаби роблять з обтиском 0,5...2%, яке є достатнім для зламування окалини. Найбільш ефективне руйнування окалини відбувається в згибно-розтяжних машинах, які складаються із системи роликів, розташованих у два ряди в шаховому порядку. До достоїнств таких машин відносять (рис.4.6):

- при розтягуванні з подовженням до 1,0%, крім ломки окалини, забезпечується зменшенням неплоскостності штаби;

- знижується зміцнення металу;
- знижуються витрати на обслуговування машини порівняно з двовалковою дресирувальною кліткою.

Підігрів штаби перед травлінням до температури травильного розчину роблять у ваннах з гарячою водою, в 2...3%-х розчинах кислоти або в печах з газовим обігрівом. Одним із способів інтенсифікації травлення є застосування розчинів соляної кислоти замість сірчаної. При концентрації кислот в розчинах в межах 20% час травлення в розчині соляної кислоти при температурі 80°C у 2,5 рази менший, ніж при травленні в розчині сірчаної кислоти. В практичних умовах оптимальний склад сірчаної кислоти в розчині складає 20...23%, а температура розчину $85...95^{\circ}\text{C}$.

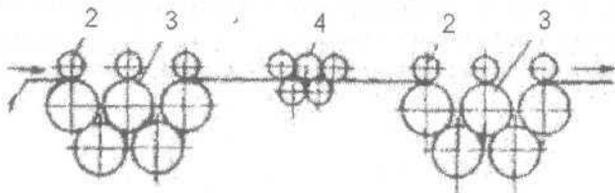


Рис.4.6. Схема згибно-розтяжної машини: 1 - штаба; 2 - притискний ролик; 3 - натяжний ролик; 4 - ролики, що вигинають (правильна машина)

Оптимальний склад соляної кислоти в розчині буде 18...22%. На відміну від сірчаної кислоти соляна кислота розчиняє саму окалину і мало взаємодіє з металом. Для зниження втрат металу при травленні в розчин додають інгібітори, які покривають поверхню металу тонким захисним шаром, який перешкоджає контактуванню металу з кислотою. Застосування солянокислотного травлення, внаслідок його великих летучих властивостей потребує ретельної герметизації травильних і промивних ванн НТА, гумування трубопроводів, емкостей для зберігання і перевезення.

Останнім часом все більше застосування отримує технологія травлення штаби в безперервному потоці розчину в мілких плоских ваннах, висота яких у 8...10 разів менша

існуючих. Основна відмінність між глибокою (висота 2 м) і мілкою ванною полягає в тому, що в мілкій ванні штаба ковзає по гідродинамічній подушці поблизу дна за рахунок збільшення травильного розчину штабою і підпору циркуляційним насосом. Завдяки тому, що штаба має високу швидкість (до 6 м/с), а об'єм ванн малий, кислота добре перемішується, що забезпечує якісне травлення. Свіжий розчин в кількості до 15 м³ подається в останню (за ходом штаби) ванну і переливається із ємкості в ємкість за рахунок різниці рівнів. Відроблений розчин відкачується в такій же кількості із першої ванни на регенерацію.

Обслуговування мілких ванн значно легше і безпечніше, ніж глибоких. Так, наприклад, при необхідності витягання обірваної штаби виключають насос і травильний розчин стікає в розташовану під ванною ємкість на протязі 6 хв., віддаляють пари кислоти і після цього піднімають кришку і поєднують кінці штаб.

4.5. Стикове зварювання штаб в лінії НТА

Значна частина простою стана холодної прокатки пов'язана із здійсненням операцій заправки в стан і випуску із нього кінців штаби під час порулонної прокатки. Укрупнення рулонів зварюванням кінців декількох (2-3) штаб в НТА дає змогу зменшити до 40% часу, який витрачається на допоміжні операції під час прокатки [32]. Проте в ряді випадків якість зварного шва виявляється незадовільним і в процесі прокатки відбуваються обриви штаб по шву. Стикове зварювання штаб роблять на машинах різного типу. Сучасний комплекс типу КСО-1700 призначений для контактного стикового зварювання оплавленням штаб із сталей різних марок перерізом до 12000 мм² (товщиною 1,5...6 мм, шириною 600...1550 мм). Основу комплексу складають шарнірно з'єднанні рухома та нерухома станини. В машині є два трансформатора потужністю 1900 кВ·А при ПВ = 12,5%. Кожний кінець штаби затискується притискним пристроєм від п'яти гідроциліндрів, рівномірно розподілених по ширині. Найбільший хід притискного

пристрою 180 мм, швидкість переміщення 50 мм/с, найбільше зусилля вертикального затиску 0,5 МН, хід рухомої станини 90 мм, сила осадки 2 МН. Привод подачі штаби розвиває швидкість при осадці 70 мм/с. Машина має окремо розташований гратознімач різцового типу. Електроди виготовляють із бронзи марки Бр. НБТ твердістю не менше НВ215. Робочий процес отримання зварного шва в загальному випадку включає наступні операції: подачу кінців штаб з утворенням петлі на вході і виході машини; центровку, затиск і обрізання кінців штаб з наступним транспортуванням для зварювання; затиск штаб і їх зварювання при індукційному нагріві до оплавлення металу кінців, транспортування шва до гратознімача і усунення грата.

Промислові дослідження дають змогу виділити наступні основні умови отримання якісного зварного шва: відсутність дефектів металу в зварному шві, відсутність відмінностей механічних показників (границь текучості і міцності, подовження) металу шва і основного металу, необхідну якість зачистки грата і посилення шва, відсутність різниці товщин стикованих штаб. В умовах виробництва не завжди виявляється можливим виконати всі указані вимоги, що приводить до розривів швів під час прокатки. Основними дефектами самого шва є неметалеві включення, окисли і неповари, які знижують його міцнісні властивості. Різновтовщинність зварних кінців (переднього одного рулону і заднього другого рулону) приводить до виникнення динамічних ударів при вході шва в кліт стана. Різновтовщинність в 0,2...0,3 мм при зварюванні гарячекатаних штаб товщиною $H = 2,5$ мм не забезпечує безобривну прокатку швів на стані. При зачистці грата його остаточна висота над рівнем штаби не повинна бути більше $\Delta = (0,05...0,07) H$ мм. Підвищення надійності зварних швів досягається шляхом застосування двох розвантажувальних півколових вирізів на кромках перед і за лінією шва, які зменшують дію розтягуючих напружень на кромках швів, зміцненням швів шляхом обкатування роликками та ін. [31, 32] (рис.4.7).

Можлива індикація зварного шва за допомогою отворів, що наносяться на різних ділянках ширини штаби (рис. 4.7). Л.А.

Ліфшицем (металургійний комбінат «Запоріжсталь») запропоноване наносити круглий отвір на відстані від кромки до 10 мм. Отвір 1 (рис. 4.7, а) відображається фотостежачим пристроєм (освітлювач 2 і фотодатчик 3), сигнал якого подається в систему управління приводами прокатного стану. Отвори, зроблені на відстані до 10 мм від кромки, не приводять до відбраковки цих ділянок штаби, оскільки бічна кромка або обрізається разом з отворами, або не враховується за технічними умовами на відбраковку.

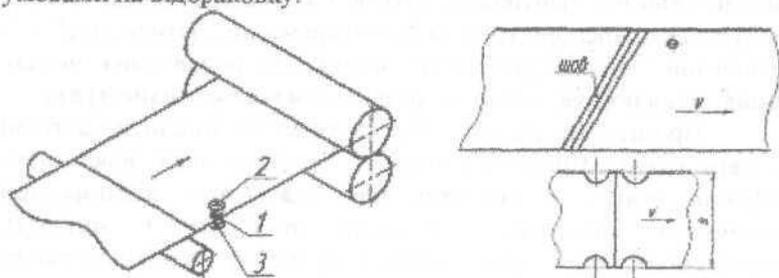


Рис. 4.7. Способи виготовлення отворів для виявлення зварного шва

Проте отвір, будучи концентратором напружень, підвищує небезпеку утворення тріщин (надривів) на цій ділянці і обриву штаби. Ділянки штаби з отвором, пробитим по середині, надалі підлягають вирізці. Використання напівкруглих вирізів з обох боків від шва по краях штаби ((рис.4.7,в) (НЛМК) дозволяє одночасно виявляти шов і підвищувати його надійність. Вирізи вирубують штампом, вбудованим в зварювальну машину або встановленим за зварювальною машиною. Підвищення надійності шва обумовлене тим, що максимальні розтягуючі напруження зосереджується в поперечних перетинах з найменшою площею поза шва.

Суттєве значення має правильний режим зварювання кінців штаб в залежності від хімічного складу сталі. Практика свідчить, що при стиковому зварюванні штаб низьколегованих сталей 10ХНД і 09Г2Д по режимам зварювання штаб низьковуглецевих сталей частка прокатки швів на неперервному стані 1680 без розриву складала в середньому 70%. Металографічні дослідження зразків швів показали, що в зоні зварного шва штаб

указаних сталей є окисли і шлаки, не видавленні із стику при деформації торців осадкої, які являлись причиною руйнування швів під час прокатки. Раціональний вибір швидкості оплавлення і величин напружень при зварюванні практично виключає указані дефекти і забезпечує прокатку зварних швів штаб із низьколегованих сталей до 98...99% [73].

4.6. Холодна прокатка штаб на неперервних станах

Неперервні стани холодної прокатки меткомбінату «Запоріжсталь» (стан 1680, м. Запоріжжя), Маріупольського меткомбінату (стан 1700), Магнітогорського меткомбінату (стан 2500) відносять до станів першого покоління. Швидкість прокатки (фактична) на цих станах не перевищує 15 м/с, а керування процесом прокатки виконується вручну. На станах застосовують порулонний спосіб прокатки при вазі рулону після укрупнення 10...30 т.

На рис. 4.8. представлена схема розташування обладнання чотирьохкільцевого неперервного стана 1700 порулонної прокатки. Укрупненні рулони після травлення подають мостовими кранами на прийомний транспортер 1, з якого вони поступають на стіл розмотувача 2. Розмотувач має два конусних виступи і щоківини для центрування і бічного затиску рулону. Відгинач переднього кінця рулону 3 задає його в натяжний роликівий пристрій 6 і після захвату штаби валками першої кліті 7 починається процес прокатки. На початку передній кінець штаби, поки він не зайде в моталку, прокатують на справній швидкості, рівній 0,5...0,75 м/с, а потім швидкість збільшують до максимальної для цих станів швидкості. В період заправлення штаби в стан її передній кінець прокатують без натягання і зазор між валками зменшують проти номінального з метою необхідного обтиску штаби і отримання потрібної товщини. Проте не дивлячись на це передній кінець штаби завжди перевищує номінальну товщину. Під час прокатки штаби на максимальній швидкості стабільність товщини штаби забезпечується або вручну або регулюється

автоматично (тонке регулювання) в залежності від зміни величин міжклітьових натягувань штаби.

Як правило, величина міжклітьових натягувань коливається в період проходження штаби через стан в усталеному процесі внаслідок наявності поздовжньої різнотовщинності початкового гарячекатаного підкату, биття валків кліті, зміни умов тертя і т. п. При підході до кліті №1 ділянки штаби із зварним швом швидкість валків на виході із чистової кліті автоматично або вручну зменшується до $v_{4ш} = 2...4$ м/с ($v_{4ш}$ – швидкість валків кліті 4).

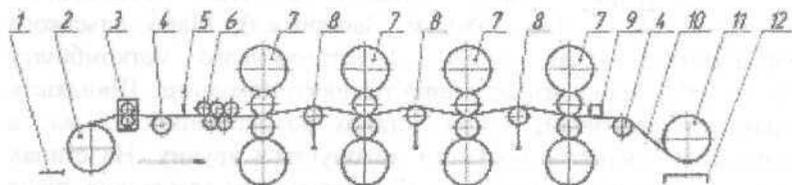


Рис.4.8. Схема розташування устаткування неперервного стану порулонної холодної прокатки: 1 - приймальний транспортер; 2 - розмотувач; 3 - відгинач кінців рулонів; 4 - обвідної ролик; 5 - індикатор шва; 6 - роликовий натягач; 7 - чотирирохвалкові кліті; 8 - ролик тензометрического пристрою; 9 - товщиномір; 10 - готова штаба; 11 - моталка; 12 - прибиральний транспортер.

Зменшення швидкості зумовлено побоюванням пориву шва, забурювання штаби на повній швидкості і пошкодження валків всіх клітей. Прокатка штаби на зменшеній швидкості знижує втрати у випадку пориву шва. Під час прокатки ділянки шва на малій швидкості відбуваються найбільші зміни величин міжклітьових натягувань. При такому режимі прокатки величини натягання штаби на всіх ділянках стану зростають на 10...40% порівняно з прокаткою на максимальній швидкості. Зниження колової швидкості валків приводить до збільшення коефіцієнта тертя [20] і, отже, сили прокатки, зазору між валками і товщини штаби на ділянці шва. З метою зниження товщини штаби на цій ділянці штаби перед входом його у стан міжвалкові зазори перших двох або всіх чотирьох клітей зменшують вручну або автоматично за заданою програмою, що

викликає зміну міжклітьових натягувань. Так, на ШСХП 1680 меткомбінату «Запоріжсталь» застосування додаткового обтиску в клітях 1 і 2 під час прокатки шва на зменшеній швидкості міжклітьове натягання на першій і другій ділянках зростають в 1,18...1,37 рази порівнянно з натягуванням в усталеному процесі. Раціональні додаткові обтиски у всіх чотирьох клітях стану сприяють зниженню міжклітьових натягувань і поздовжньої різнотовщинності штаби на ділянках зварних швів. Зниження міжклітьових натягувань забезпечує також зменшення розривів швів і виходу робочих валків із строю.

Після виходу шва із останньої кліті швидкість валків і зазор між валками збільшують до номінальних параметрів. Часто штаби товщиною більше 1,4 мм з якісним швом прокатують на максимальній швидкості без регулювання міжвалкового зазора, що дає змогу збільшити продуктивність стану, але приводить одночасно до збільшення поздовжньої різнотовщинності готової штаби внаслідок збільшення сили прокатки і пружних деформацій кліті на витовщених ділянках штаби в районі зварного шва.

При підході заднього кінця до кліті 1 колову швидкість валків зменшують до $v_{1к} \approx 0,5$ м/с і одночасно зменшують міжвалковий зазор в двох або у всіх чотирьох клітях. При додатковому обтиску заднього кінця двома клітями у межах $S_1 + S_2 = 1,45$ мм за продуктиметром товщина заднього кінця на тонких штабах завжди перевищує номінальну товщину штаби (S_1 та S_2 – величини переміщення натискних гвинтів)[2, 45, 46]. Після виходу заднього кінця із кліті 1 і втрати натягання міжвалковий зазор в клітях 2-4 зменшують на допустиму величину для зменшення товщини штаби.

На неперервних станах холодної прокатки штаб застосовують чотирьохвалкові і шестивалкові кліті. Чотирьохвалкові кліті мають два робочих і два опорних валка (рис. 4.8). Опорні валки великого діаметра, які забезпечують жорсткість вузла, запобігають значному прогину робочих валків. При деформації металу робочими валками невеликого діаметра утворюється порівняно невеликі підпиральні

напруження σ_3 [20], які обумовлюють менші середні нормальні контактні напруження порівняно з прокаткою в валках більшого діаметра. Це, а також менша довжина дуги контакту, визначають і меншу величину сили прокатки (шестивалкові кліті).

Опорним і робочим валкам при перешліфуванні надають необхідне профілювання утворюючих бочок, яке забезпечує отримання штаб потрібної площинності і стабільність процесу прокатки [41]. Опорні валки мають скоси (урізи) і циліндричні (випуклі) форми бочок, а робочі валки виготовляють із циліндричними і випуклими профілями. Поверхня робочих валків першої, передостанньої і останньої клітей після шліфування піддають насиченню на дробометних або дробострумних машинах для утворення шорсткості із середньою висотою нерівностей в межах 3...6 мкм R_a . Застосування насичених валків в кліті 1 забезпечує надійний захват переднього кінця штаби і запобігає пробуксовуванню валків по полосі, а в останній (чистовій) кліті – забезпечує шорстку поверхню штаби, що запобігає зварюванню витків рулонів при рекристалізаційному відпалі в ковпакових печах. В передостанній кліті використання насичених робочих валків забезпечує збільшення зносостойкості шорсткості валків в чистовій кліті. В процесі експлуатації опорні валки розігріваються до температур 45...55 $^{\circ}$ C, а робочі до температур 60...70 $^{\circ}$ C незважаючи на інтенсивне охолодження мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР) (емульсією) з концентрацією масла 2...4%. Емульсія не тільки охолоджує валки і штабу, але і знижує сили тертя на контактній поверхні осередку деформації. При цьому емульсія не повинна забруднювати штабу.

Режим деформації штаби на штабових станах розроблюють з урахуванням рівномірного завантаження головних приводов, приблизної рівності сили прокатки по клітям. Проте це можливо виконати на п'ятиклітьовому стані і часто не вдається здійснити на старих чотирьохклітьових неперервних станах. На виході із останньої кліті поверхню штаби спеціально захищають від попадання на неї емульсії.

Рулони готової штаби передають в термічне відділення для рекристалізаційного відпалу (див. далі).

На рис.4.9 представлена схема розташування устаткування неперервного п'ятиклітьового стану 1700 Карагандінського металургійного комбінату (КарМК, Казахстан).

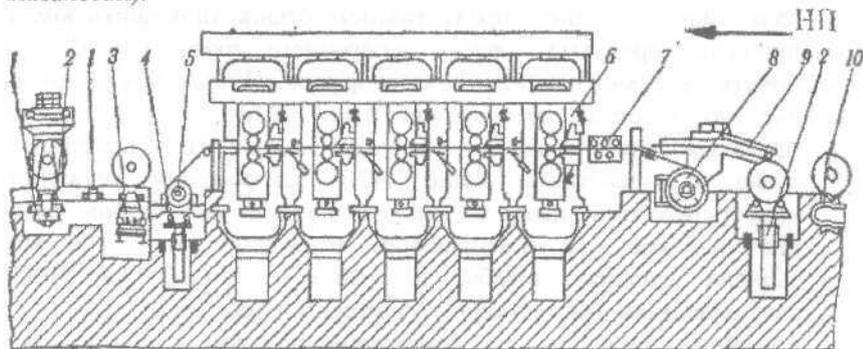


Рис.4.9 Неперервний 5-клітьовий стан 1700: 1 – ланцюгові конвейєри №1,2; 2 – передавальні візки; 3 – ваги; 4 – снімачель рулонів; 5 – моталка; 6 – робоча кліть кварто; 7 –правильно-тягну́ча машина; 8 – розмотувач; 9 – відгинач кінців штаби; 10 – конвейєр

Технічна характеристика цього стану відмінна від характеристики, чотирьохклітьових станів, 1680 і 1700:

Маса рулонів (подвійних), т	-11-23
Товщина підкату, мм	-2-6
Розміри готової штаби, мм	- 0,4-3,5×700-1550
Номінальні розміри валків, мм	- 600/1500×1700
Сумарна потужність головних двигунів у кожній кліті, кВт	-8400
Швидкість прокатки за кліттю №5, м/с	- до 25
Допустиме зусилля прокатки, МН	- 25,
Продуктивність системи подачі емульсії на валки стану, л/хв.	-32000

4.7. Стани безперервної прокатки

Удосконалення станів холодної прокатки йшло за шляхом збільшення кількості клітей, довжини бочки валків, ваги рулонів до 45 т на вході у стан, підвищення рівня автоматизації технологічних операцій. Виконані удосконалення дали змогу збільшити продуктивність станів, підвищити вихід придатної продукції і якість поперечного профілю штаб. На початку в Японії на підприємстві фірми «Ніппон Кокан» було введено в стрій неперервний стан 1420 з безперервною прокаткою штаб. Порівняно з роботою звичайного неперервного стана п'ятиклітьовий стан 1420 безперервної прокатки характеризується високою продуктивністю (в півтора рази вище), більш ніж п'ятикратним зниженням відхилень від заданих розмірів штаби, а також значним (на 50%) скорочуванням обслуговуючого персоналу. Прокатка ведеться із постійною швидкістю і безперервною подачею штаби в стан. Кінці штаби зварюються на машині в безперервну штабу, яку подають на стан через петльовий натяжний пристрій з автоматичним регулюванням петлі.

Продуктивність стана безперервної прокатки вища, ніж на звичайному (порулонної прокатки) завдяки відсутності проблем, пов'язаних з прокаткою кінців штаб і втрат часу на їх заправку. Крім того значно знижується імовірність пошкодження валків. Велике значення для зменшення простоїв стана і поліпшення якості готової штаби має також міцність зварних швів. На стані 1420 середньомісячна доля зруйнованих швів складає менше 0,3%, що зумовлено ефективністю виявлення і ремонту неякісних швів. Після клітей встановлено барабанні летучі ножиці і дві моталки. Ножиці розрізають штабу при швидкості більше 5 м/с по шву на окремі рулони, які змотують на одну із моталок. Передній кінець наступного рулону автоматично передається на другу моталку до досягнення необхідного діаметра рулону і після розрізування штаби рулон забирають на транспортер. Стан 1420 прокатує 100...102 тис.т металу в місяць.

Стани безперервної прокатки 1420 і 2030 мають наступні характеристики:

Показники	Стан	
	1420	2030
Діаметр валків, мм:		
робочих	610	615
опорних	1455	1600
Розміри підката, мм:		
товщина	1,6...4,5	1,8...6,0
ширина	610...1270	900...1850
Діаметр рулону, мм:		
внутрішній	610	-
зовнішній	2340	-
Максимальна вага рулону, т	32	45
Розміри готової штаби, мм:		
товщина	0,15...1,6	0,35...2,0
ширина	610...1270	900...1850
Максимальна швидкість прокатки, м/с	30,5	31,6
Продуктивність, млн т/рік	~1,2	2,5

Стан безперервної прокатки 2030, який встановлено на Новолипецькому металургійному комбінаті (НЛМК, Росія), має характеристики, указані вище. Головні приводи стана 2030 мають наступні параметри [31]:

Потужність, кВт	по 8400
Прискорення при розгоні валків, м/с^2	2,5
Сповільнення, м/с^2	3,6
Швидкість проходження шва, м/с	5
Швидкість летучих ножиць, м/с	5

Спрощену схему стана 2030 безперервної прокатки представлено на рис. 4.10. Крокуючий конвейер (на схемі не показано) забезпечує прийом рулонів (до чотирьох штук), їх центрування по осі конвейера і доставку до завантажувальних візків. Завантажувальні візки 1 транспортують рулони від конвейера до розмотувача 2 зі змінним діаметром барабана (від 710 до 785 мм). Розмотувачі мають притискні ролики 3 для

забезпечення якісної рівної розмотки. За розмотувачами встановлено тягнучі ролики 4 і п'ятироликів правильна машина 5 для правки штаби і протягування її від розмотувача. На столі 6 встановлено товщиномір для вимірювання кінців штаб перед зварюванням. Кінці штаб, які виходять за допуск по товщині (більше 0,3 мм), обрізають і ріжуть на частини гільйотинними ножицями 7. Тягнучі ролики 8 подають чергову штабу до стикозварювальної машини 9, на якій робиться зварювання кінців штаб оплавленням. Для ідентифікації швів на стані пробиваються отвори діаметром ~ 25 мм по центру штаби за 50 м від шва, а також вирубуються півколові сегменти по кромкам штаби до і після шва. Петльовий накопичувач 12 утворює на вході в п'ятикільтовий стан запас штаби, необхідний для виключення зупинок стану під час зварювання штаб і обробки швів (ємність накопичувача 800 м, довжина ходу візків 120 м, число візків 4). Натяжні і напрямні ролики 13-15 забезпечують стабілізацію штаби і центрування її по осі стану.

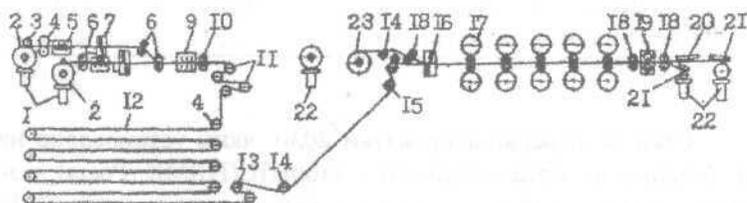


Рис.4.10. Схема розташування обладнання п'ятикільтового стану безперервної прокатки 2030: 1-рулонний візок; 2-розмотувачі; 3-притискувальний ролик; 4,8-тягнучі ролики; 5-правильна машина; 6-стіл; 7-ножиці; 9-зварна машина; 10, 11-натяжні станції; 12-петльовий накопичувач; 14-направляючі ролики; 16-ножиці; 17-кліт; 19-ножиці; 20-магнітний транспортер; 21-моталка; 22-рулонний візок; 23-розмотувач.

Під час рулонної прокатки діють розмотувач 23 і подавні ролики 18. Гільйотинні ножиці 16 служать для різання штаби перед станом при необхідності. Штаби прокатують в чотирьохвалкових клітках стану 17 з гідравлічними натискними пристроями (два циліндра на кліть, діаметр поршня 965 мм, хід

120 мм, швидкість 2,5 мм/с, максимальна сила на валки 30 МН). При перевалках опорних валків натискні циліндри закріплюють за допомогою підшувальних пристроїв. Робочі валки обертаються в конічних чотирьохрядних роликкових підшипниках; опорні валки обертаються в підшипниках рідинного тертя (ПРТ); п'ята кліть обладнана системою комбінованого гідровигину робочих валків, решта – системами противовигину.

Всі кліті обладнані пристроями для перевалки робочих валків без усунення штаби із стана. Кліті мають секційні колектори для подачі емульсії на валки: на першій і другій клітях – трьохсекційні, на третій і четвертій – п'ятисекційні, на п'ятій – десятисекційні; на опорних валках – одnoseкційні.

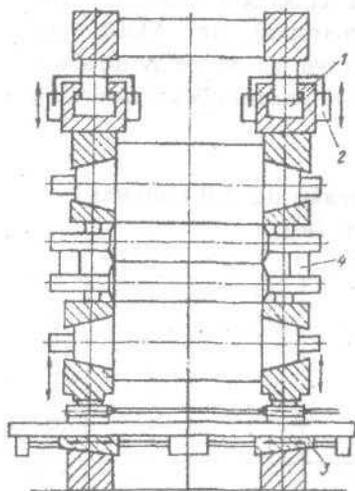


Рис. 4.11 Схема кліті з гидронатискним і клиновим пристроями:

1 – натискний пристрій; 2 – датчик положення; 3 – клиновий пристрій; 4 – пристрій гідроізгиба

Крім емульсії безпосередньо на тонку штабу можуть подавати чисте масло перед входом у кліть. У всіх міжклітьових проміжках і на виході стана установлені товщиноміри, вимірювачі повного натягування, а за п'ятою кліттю – стресометр 18 для вимірювання розподілення натягування по ширині штаби (для контролю площинності штаби). Привод валків здійснюється від двигунів постійного струму через зубчаті шпінделі і зубчаті муфти.

Стан 2030 оснащений чотиривалковими клітями, в яких необхідна якість штаби по геометрії досягається застосуванням швидкодіючих механізмів.

Кліті сучасного штабового стана (рис. 4.11) для отримання якісної штаби і швидкого здійснення перевалок забезпечені гідравлічним приводом нажимного пристрою, що має високу швидкодію (~2мм/с) для зміни товщини штаби, натягання, сили прокатки. Кліті оснащені гідравлічним клиновим пристроєм з автоматичним управлінням рівня лінії прокатки, гідравлічними пристроями для додаткового і противигину робочих валків.

За безперервним принципом прокатують штаби товщиною 0,35...2 мм, порулонним способом 0,35...3,5 мм. Режими прокатки задаються оператором та УОМ, які розраховують відповідну настройку стана ще до входу штаби в першу кліть. В табл. 4.2. представлений режим прокатки штаби 3,5-1,0/1100 мм із сталі марки ст. 2кп.

4.2. Режим прокатки штаби 3,5-1,0/1100 мм із сталі ст. 2кп

кліть	Товщина, мм	Натягання, МН	Обтиск, %		P, МН	M, МНм	Потужність, кВт	Швидкість, м/с
			прив атне	сума рний				
1	2,68	0,242	23,43	23,43	-	-	-	8,17
2	1,9	0,215	29,1	45,71	12,1	0,164	7413	11,53
3	1,4	0,21	26,32	60,0	11,5	0,116	7123	15,64
4	1,12	0,146	20,0	68,0	10,23	0,087	6779	19,55
5	1,0	0,033	10,71	71,43	9,04	0,065	5757	21,9

Настройка стана і керування процесом прокатки здійснюється автоматично. За номером рулону, який супроводжується обчислювальною машиною, визначається програма прокатки; видаються на виконуючі механізми і встановлюються міжвалкові зазори, еталонна швидкість і прирощення до неї по клітям стана для утворення натягувань.

Розрахунок настройки ведеться так, щоб не перевищувались граничні значення для основних параметрів процесу прокатки, на які накладені обмеження. Якщо при розрахунку отримано перевищення яких-небудь обмежуючих параметрів (потужність і сила прокатки, площинність), автоматично знижується швидкість валків стана. Під час прокатки зварних швів швидкість стана знижується до 4,7...5 м/с. Ідентифікація шва, зниження швидкості і наступний розгін стана здійснюється системами стеження за швом і точної зупинки стана. Під час прокатки ділянки штаби із зварним швом регулювання товщини робиться плавно на довжині ~ 4 м в кліті 1. Далі цей отриманий клин розкатується в залежності від витягання до 15...20 м. Максимально різнотовщинність штаби на цій ділянці при роботі з УОМ складає 0,04 мм (для $H = 2,7...3,0$ мм). Під час порулонної прокатки сумарна довжина витовщених кінцевих ділянок штаб знаходиться у межах до 20...30 м.

Регулювання площинності штаби в клітках стана виконується пристроями противовигину робочих валків і секційними колекторами їх охолодження, які змінюють профілювання в процесі роботи валків. Контроль площинності здійснюється роликком-стресометром, установленим за п'ятою кліттю. Його показання використовуються в замкнутій системі регулювання площинності за допомогою УОМ або вручну оператором за показом приборів головного посту керування (див. далі). Ця система забезпечує прокатку штаб з неплоскостістю не більше 2...4 мм/м довжини. На виході стана установлені летучі ножиці 19 для поперечного різання штаб по шву при швидкості руху штаб до 5 м/с. Відхильні ролики спрямовують передній кінець штаби, а магнітний транспортер передає його до першої або другої моталки 21. Далі рулонні візки 22 приймають рулони з моталок і передають їх на транспортер до інспекційного стола.

4.8. Чотирьохвалкові реверсивні стани холодної прокатки штаб

Реверсивні одноклітьові стани використовують для прокатки штаб із вуглецевих і легованих марок сталі. В залежності від сортаменту річне виробництво цих станів складає 50...250 тис.т, а їх вартість в 2...3 рази менша вартості неперервних станів. На реверсивних станах застосовують 4-х-6-ти-валкові, багатовалкові і спеціальної конструкції кліті. Більшість промислових реверсивних станів виготовлені з довжиною бочки 700...2030 мм з діаметрами валків:

Чотирьохвалкові кліті, мм:

робочі	250...500
опорні	1115...1400

Двадцятивалкові, мм:

робочі	25...150
опорні (основні)	150...406

Максимальна вага рулону 4...40 т, швидкість прокатки до 15 м/с, товщина штаб 0,02...4 мм. На двадцятивалкових станах прокатують також вузьку штабу товщиною 0,0015 мм.

Прокатка штаб на реверсивному стані 1200. На цьому стані установлена чотирьохвалкова кліть з діаметром робочих валків 430 мм і опорних 1300 мм (рис. 4.12). Робочі валки приводяться від електродвигуна потужністю 3200 кВт через шестеренну кліть і обертаються з максимальною коловою швидкістю 10 м/с. В процесі прокатки робоча швидкість валків не перевищує 8,5 м/с. На стані прокатують низьковуглецеву сталь 08кп (пс) з розмірами 0,6x1030 мм (підкат для жерсті) і 0,5x1020 мм (автолист). Підкат для жерсті, який відправляється безпосередньо на обробку в цех жерсті (меткомбінат «Запоріжсталь»), прокатують в шліфованих валках, а автолистову сталь, яка іде в рулонах на рекристалізаційний відпал, прокатують в умовах несиметричної деформації.

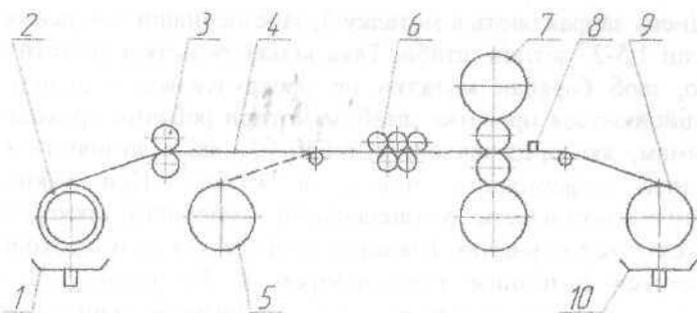


Рис.4.12 Схема реверсивного чотирьохвалкового стана: 1 – стіл; 2 – розмотувач; 3 – тягучі ролики; 4 – штаба; 5 – моталка; 6 – роликівка; 7 – кліть; 8 – вимірник товщини штаби; 9 – моталка; 10 – прибиральний пристрій.

З метою зниження енергосилових параметрів застосовують один із валків (верхній) з висотою шорсткості 4...6 мкм R_a , а другий (нижній) валок з шорсткістю 2...3 мкм R_a . Зниження сумарної шорсткості поверхнь валків забезпечило зниження завантаження головного привода на 10...15%. Однак, застосування різношорстких валків приводить до нерівномірного розподілу крутних моментів між верхнім і нижнім шпінделями (більший момент має місце на верхньому валку). З метою вирівнювання крутних моментів на шпінделях діаметр нижнього шліфованого валка виконують більшим, ніж насиченого і при цьому максимальна допустима різниця діаметрів складає до 2,0 мм. Використовування робочих валків різних діаметрів суттєво полегшує їх комплектацію при перевалках і знижує їх витрати.

Гарячекатані травлені рулони подають на приймальний стіл і затискують конусами розмотувача 2. Тягучі ролики 3 транспортують передній кінець штаби до кліті 7 з розведеними валками і заправляють в моталку 9. В першому проході штабу перемотують на моталку 9 без обтиску, а деяке натягування заднього кінця штаби утворюється роликівкою прес-проводкою 6, яка установлена перед кліттю. Перемотку припиняють коли перед кліттю залишається кінець, довжина якого рівна відстані між осями моталки 5 і кліті 7. Після цього стан реверсують і

задній кінець заправляють в моталку 5, забезпечивши утворення на моталці 1,5-2^{*} витків штаби. Така кількість витків достатня для того, щоб барабан моталки не прокручувався в рулоні. Потім здійснюється прокатка штаб за чотири робочих прохода по режимам, які представлені в табл. 4.3, які відрізняються інтенсивною деформацією металу в валках. При таких деформаціях потужність установленого головного двигуна використовується повністю. Товщина штаби в кожному проході контролюється ізотопним товщиноміром 8. На цьому стані ділянку шва рулону прокатують на зменшеній швидкості (1,5...2 м/с), а в кінці проходу стан сповільнюють, зупиняють без видачі кінця штаби із моталки (5 чи 9) і роблять реверсивну прокатку. Після закінчення прокатки рулону валки піднімають і змотують необтиснений кінець штаби на моталку 9. Готовий рулон обв'язують стрічкою і уборочним пристроєм передають на склад. Таким чином, під час прокатки на реверсивному стані кінцеві ділянки довжиною 8...10 м не піддають обтиску і вони йдуть у відходи, знижуючи техніко-економічні показники роботи стану. Підвищення техніко-економічних показників роботи реверсивного стану і усунення витовщених кінців досягається застосуванням безперервного процесу прокатки штаб [34].

4.3. Режими деформації штаб із ст. 08кп (пс) на реверсивному стані 1200 (B=1020мм)

№ клітей	H, мм	h, мм	Обтиснення		H, мм	h, мм	Обтиснення	
			Δh, мм	ε, %			Δh, мм	ε, %
1	2,0	-	Перемотка		2,3	-	Перемотка	
2	2,0	1,3	0,7	35,0	2,3	1,5	0,8	34,8
3	1,3	0,85	0,45	34,5	1,5	1,0	0,5	33,3
4	0,85	0,6	0,25	29,4	1,0	0,72	0,28	28,0
5	0,6	0,5	0,10	16,7	0,72	0,6	0,12	16,6

4.9. Багатовалкові реверсивні стани

Багатовалкові прокатні стани з'явилися у зв'язку з необхідністю отримувати штаби товщиною 0,0015...0,1 мм. Із багатовалкових (5-ти, 6-ти, 12-ти, 20-валкових) найбільше поширення отримали двадцятивалкові стани типу Сендзіміра. Двадцятивалкові стани використовують для прокатки тонких штаб і особливо тонкої фольги із високоміцних металів і сплавів: титану, цирконію, молібдену, вольфраму, танталу, нікелевих сплавів, берилієвої бронзи і т.д. Діаметр робочих валків при цьому часто не перевищує 10 мм. В чорній металургії двадцятивалкові стани використовують для прокатки електротехнічної, нержавіючої і легованої марок сталі. Двадцятивалковим станам властива висока жорсткість валкового вузла, а робочі валки невеликого діаметра забезпечують низькі значення нормальних контактних напружень в осередку деформації.

Застосування робочих валків малого діаметру для отримання мінімально можливої товщини штаби диктує створення станів з приводом через опорні валки, що дозволяє передати через їх шийки необхідний момент кручення. Застосування приводу через опорні валки має наступні основні переваги:

- 1) порівняно легка і швидка зміна робочих валків, можливість організації «чистових» пропусків на знов відшліфованих валках для отримання поверхні високого класу чистоти;

- 2) гнучкість в підборі робочих валків завдяки можливості одночасного використання робочих валків різних діаметрів;

- 3) застосування індивідуального приводу унаслідок достатньої міжцентрової відстані між осями опорних валків.

Використання робочих валків малого діаметра ставить проблему виключення або значного зменшення їх вигину. Для цього одноклітьові реверсивні стани, холодної прокатки, з приводними опорними валками оснащують додатковими опорними валками [19, 56].

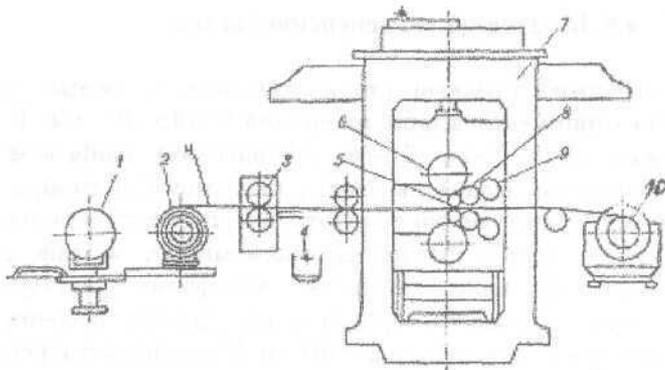


Рис. 4.13. Схема реверсивного стану 250/1320×1400:

1 – приймальний стіл; 2 – розмотувач; 3 –тягнучі ролики; 4 – штаба; 5 – робочі валки; 6 – опорні валки; 7 – робоча кліть; 8 – проміжні підпирні валки; 9 – зовнішні підшипникові опори; 10 – поворотна моталка для створення високих натягань.

Стани МКВ займають проміжне положення між клітьми кварто і багатовалковими станами. Їх изготовитель - фірма Schloeman (ФРН). На рис. 4.13 приведена схема стану 250/1320×1400 типу МКВ. Щоб уникнути вигину робочі валки притискаються до опорних за допомогою проміжних підпирних валків і зовнішніх підшипникових опор(рис. 4.13). Підкатом для стану служать гарячекатані штаби завтовшки 2,5-4,5 мм і шириною до 1250 мм в рулонах з максимальною масою до 15 т. Мінімальна товщина готової продукції 0,1 мм. Швидкість прокатки –до 15 м/с.

Стан МКВ 125/670×660 має проміжні підпирні валки діаметрам 85 мм і зовнішні підшипникові опори діаметром 190 мм, які виконані у вигляді підшипників кочення з товстостінним зовнішнім кільцем.

Обтиснення за пропуск на стані МКВ – до 40%, момент кручення в результаті застосування робочих валків малого діаметра на цьому типі станів в порівнянні із станом кварто зменшується на 50%. При подальшому зменшенні діаметрів робочих валків на станах МКВ застосовують двостороннє

розташування підпрних валків (вертикальна вісь робочих валків співпадає з віссю опорних валків).

Застосування багатовалкових станів у вітчизняній і зарубіжній практиці обумовлено двома головними причинами. Перша причина - стійка тенденція збільшення потреби в тонкому, якнайтоншому і надтонкому холоднокатаному листі з високоміцних металів і сплавів, яких неможливо одержати холодною прокаткою на станах кварто. Друга причина полягає в перевагах прокатки в робочих валках малого діаметру, використання яких в станах кварто приводить до прогину у напрямі прокатки, тобто викликає відхилення профілю поперечного перетину штаби. Використання робочих валків малого діаметра в стані, де кожен попередній валок вільно спирається на два подальших (див. рис. 4.13), зводить прогин валків до мінімуму, істотно зменшує зусилля прокатки, пружно деформацією робочих валків, необхідний для ведення процесу момент кручення, збільшує обтискання за пропуск.

Патент на перший багатовалковий стан був виданий в 1930 р., проте широкого поширення багатовалкові стани набули тільки в 50-х роках, коли збільшилася потреба в листовому прокаті, що важко деформується, і прецизійному [47].

На сучасних 20-валкових станах досягнуто максимального співвідношення між шириною і кінцевою товщиною штаб. Величина параметра B/H_{\min} досягає 40000. Обтискання за пропуск на 20-валкових станах досягають 60%, сумарні обтиснення при прокатки важкодеформуємих сталей і сплавів без проміжного отжига до 90%. Висока жорсткість валкового вузла, наявність спеціальних механізмів локального профілювання по довжині бочки валків в процесі прокатки, застосування високих питомих напружень (до $0,6 \sigma_T$, де σ_T - напруження течії металу) забезпечують високу точність і площинність. Порівняно легка і швидка заміна робочих валків під час прокатки одного рулону дозволяє в останніх пропусках поліпшити якість поверхні штаби, час на перевалку робочих валків при цьому не перевищує 5 мин. Собівартість прокату на 20-валкових станах, в 1,5-2,5 разу нижче за собівартість прокату, що одержується на станах кварто. Металоємкість

технологічного устаткування 20- валкових станів також нижча в порівнянні із станами кварто.

До основних недоліків 20- валкових станів відносяться: порівняно низька продуктивність зважаючи на обмежену швидкість прокатки, викликаних утрудненістю відведення теплоти від валкового вузла; складність настройки і експлуатації стана, зокрема, підбору і компоновки валкової піраміди з наявного парку валків; необхідність забезпечення високої точності підготовки валків; утруднений доступ у валковий вузол; підвищені енерговитрати приводу на подолання тертя кочення в 24 контактах валків (в порівнянні з двома контактами в клітях кварто).

Технологічний процес виробництва холоднокатаних штаб в загальному випадку включає операції: очищення від окалини, усунення дефектів гарячекатаного (холоднокатаного) підкату, холодної прокатки, термічної обробки в захисній атмосфері, дресування, правки, шліфування і полірування, резки і інспекції готової продукції. Попередня пом'якшувальна термообробка гарячекатаних штаб, особливо аустенітних і аустенітно-мартенситних сталей, необхідна для вирівнювання структури металу після гарячої прокатки. При нагріві стали до 1050 – 1150°C відбувається повне розчинення карбідів і з'являється гомогенний розчин аустеніту.

Реверсивний 20-валковий стан холодної прокатки 1700 меткомбінату «Запоріжсталь» має в своєму складі той же перелік обладнання, що і реверсивний стан 1200 (рис. 4.13), але іншої якості, а порядок прокатки відрізняється відсутністю перемотувального проходу. Робоча кліть має два робочих валка і 18 опорних, які і забезпечують необхідну жорсткість системи (рис. 4.14). Всі валки установлені в потужній цільнолитій станині. Стан призначений для прокатки сталей з границею міцності до $\sigma_v = 2000 \text{ Н/мм}^2$. Ширина штаб 775...1250 мм, товщина підката до 6,35 мм, а мінімальна кінцева товщина готової штаби 0,80 мм. Привод валків стана здійснюється від двох двигунів постійного струму загальною потужністю 2x1780 кВт при 275/550 об/хв. через шестеренну кліть. З метою зниження неплоскостності і поперечної різновтовщинності штаби 1 20-валковий стан 1700 оснащений механізмом осьового

переміщення перших проміжних валків і механізмом регулювання профілю верхніх опорних валків "В" та "С". Завдяки індивідуальному приводу кожної опори механізму регулювання профілю забезпечується можливість впливу на неплоскостність штаби в будь-якому місці її ширини. Робочі валки 2 шліфують циліндричними або з випуклістю. Перші проміжні валки 3 можуть мати односторонні або двосторонні конічні скоси. Другі проміжні валки 4 шліфують циліндричними. Приводні валки повинні мати однакові діаметри (крайні проміжні валки). Це має велике значення для однакового завантаження приводних шестерен шестеренної кліти. В табл. 4.4 приведена характеристика валків стана [22].

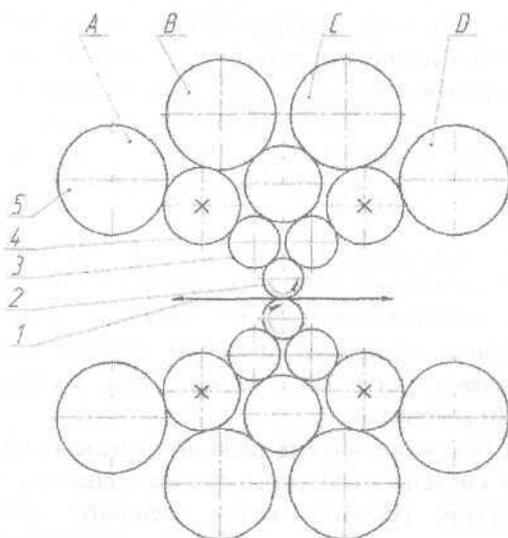


Рис. 4.14. Схема розташування валків 20-ти валкового стана типу Сендзіміра : 1 – штаба; 2 – робочі валки; 3 – перші проміжні опорні валки; 4 – другі проміжні опорні валки; 5 – основні опорні осі; x – приводні валки.

Висока жорсткість валкового вузла і станини робочої кліти, а також система осьового переміщення перших проміжних валків дає змогу виправити геометрію гарячекатаного підката і забезпечити площинність і задану точність поперечного

перерізу штаби. Як ідеться із табл. 4.4, робочі валки мають порівняно великий діаметр ($D_p = 114 \dots 167$ мм), що приводить до виникнення значних сил прокатки і прогинів валків. Для компенсації цих прогинів скоси на проміжних валках виконують з глибиною урізу до $1,3 \dots 1,7$ мм на діаметр, а робочі валки застосовують з вигуклістю до $0,3$ мм. Зменшення діаметра робочих валків з 140 мм до 100 мм зменшує величину вигуклості на $0,1$ мм і кількість проходів з 11 до 10 (штаба $3,8 - 0,8 \times 1000$ мм, ст. $12X18H10T$). На даному стані штаби прокатують із рулонів вагою до $4,2$ т при натяганні до 450 кН і швидкості до $3,4$ м/с. Максимальна швидкість прокатки на існуючих 20-валкових станах складає ~ 10 м/с, що в значній мірі зумовлено типом мастила (легкі мінеральні масла). Під час прокатки тонких штаб із міді і мідних сплавів, де застосовують емульсії, максимальна швидкість прокатки досягає 20 м/с. Так як приводними є проміжні валки, то робочі валки можуть мати різницю діаметрів до 20 мм. При великій різниці діаметрів та обриві штаби в процесі прокатки відбувається суттєвий вигин її переднього кінця в сторону меншого валка і збільшення часу пауз.

Крім двадцятивалкових відомі менш поширені і інші багатовалкові стани, короткий опис яких дано в роботах [19, 24, 66]. Основними особливостями багатовалкових станів – максимально можливе зменшення діаметра робочих валків і застосування системи опорних валків, яка забезпечує мінімальний прогин робочих валків.

У 1968 р. У США був встановлений перший промисловий стан холодної прокатки системи «Тейлор» з п'ятьма валками [19]. На цьому стані другий робочий валок меншого діаметру забезпечений пристроями переміщення в горизонтальній площині, що дозволяє регулювати площинність штаб. Стани системи «Тейлор» працюють з малим рівнем натягання (не більше $0,1\sigma_T$), що істотно при прокатки якнайтонших стрічок, де спостерігається часта їх обривність. За кордоном встановлено декілька станів типу МКВ (рис. 4.13) з діаметром робочих валків $125 - 250$ мм, опорних $670 - 1320$ мм і довжиною бочки $600 - 1400$ мм. Оскільки в станах МКВ приводними є опорні

валки, то робочі валки, зміщені щодо висей опорних валків і підтискаються підпірними валками 2, 3. Така система забезпечує зниження горизонтального прогину робочих валків і можливість регулювання зазору.

4.4. Характеристика валків стана 1700

Назва валків	Марка сталі	Твердість HRC	Шорсткість поверхні, R_a , мкм	Кількість, шт	Діаметр, мм	Довжина бочки, мм
Робочі	15X12МВФ	60...64	0,16...0,02	2	$\frac{167}{114,8}$ ^{х)}	1728
Перші проміжні	9Х2ФМ	54...58	0,32...0,16	4	$\frac{162}{128}$	1792
Другі проміжні	9Х2МФ 7Х2М	58...60	0,32...0,16	2	$\frac{247}{225}$	1714
Холості (середні)						
Другі проміжні	9Х2МФ 7Х2М	58...60	0,32...0,16	4	$\frac{241}{231}$	1714
приводні (крайні)						

^{х)} В чисельнику - максимальний, в знаменнику - мінімальний діаметри валків. Є вісім основних опорних валків з $D = 406$ мм.

Також одержали промислове застосування 6-валковий стани з розташуванням всіх валків в одній вертикальній площині (стани типу НС). Зрозуміло, при такому розташуванні валків забезпечується їх високий опір вигину, тобто підвищується жорсткість системи, проте виникають труднощі в утримуванні валків від бічних зсувів (із зломом лінії центрів). На цих станах проміжні опорні валки мають кінцеві скоси і осьове переміщення щодо робочих валків, що забезпечує регулювання форми міжосьового зазору.

4.10. Тертя і технологічні мастила

З метою зниження сил тертя, а отже, зниження інтенсивності зносу валків і енергосилових параметрів під час гарячої і холодної прокатки застосовують різні технологічні мастила (масла і емульсії). Технологічне мастило захватується валками і нагнітається в осередок деформації при обертанні валків і просування штаби. В умовах прокатки із мастилами в осередку деформації існує так зване змішане (піврідинне) тертя, коли на контакті одночасно існують ділянки сухого, граничного і рідинного тертя [20, 25, 35]. Сухе тертя в звичайному процесі прокатки виникає в локальних точках взаємодіючих поверхонь і воно є основною причиною руйнування нерівностей і зносу поверхні валків. На ділянках граничного тертя поверхні розділені тонким і міцним шаром масляної плівки, яка має у своєму складі поверхнево-активні речовини (ПАР) у вигляді, наприклад, жирних кислот. При граничному терті відсутній безпосередній металевий контакт поверхонь валків і штаби. При рідинному терті поверхні мають розділення відносно товстим шаром мастила, товщина якого перевищує сумарну висоту мікронерівностей поверхонь валка і штаби.

В загальному випадку середнє дотичне контактне напруження може бути представлено таким чином:

$$\tau = a_c \cdot \tau_c + a_g \cdot \tau_r + a_{жк} \cdot \tau_{жк}$$

де τ_c , τ_r , $\tau_{жк}$ – дотичні контактні напруження відповідно сухого, граничного і рідинного тертя; a_c , a_g , $a_{жк}$ – відносні долі площі кантакту з відповідними напруженнями тертя.

Відомо, що між напруженнями тертя існує таке співвідношення: $\tau_c > \tau_r > \tau_{жк}$. Тобто, зміна умов прокатки в сторону збільшення долі рідинного тертя ($a_{жк}$) приводить до загального зниження сили тертя на контакті. Напруження тертя і її складові визначаються умовами прокатки: шорсткістю поверхонь валків і штаби; коловою швидкістю валків, величиною обтиску, типом технологічного мастила і деякими іншими факторами [20, 25, 35, 39].

Під час прокатки із мастилом в насичених валках ($R_a \approx 3 \dots 6$ мм) на більшій ділянці (a_c) загальної площі контакту діють напруження сухого тертя, які і визначають величину середньої питомої сили тертя. При невеликій швидкості прокатки ($v = 0,4 \dots 1$ м/с) коефіцієнт тертя f , який характеризує інтенсивність дії сили тертя, при $R_a \approx 3,8$ мкм досягає величин $0,14 \dots 0,16$ (рис.4.15) [20].

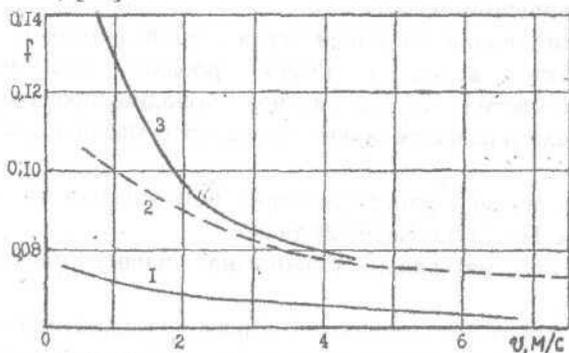


Рис. 4.15 Вплив швидкості валків на коефіцієнт зовнішнього тертя при холодній прокатки штаб сталі ст. 08пс з розмірами $0,83-1,57$ мм на реверсивних станах 1200 і 1680 (шорсткість валків R_a , мкм: 1-0,65; 2-1,8; 3-3,8)

Збільшення колової швидкості валків поліпшує умови захвату мастила в осередок деформації і цим самим сприяє збільшенню ділянок a_2 і $a_{\text{ж}}$ за рахунок зниження долі a_c . Разом з цим коефіцієнт тертя при $v = 4$ м/с знижується до $f = 0,08$ [20]. Під час прокатки із швидкістю $v < 3$ м/с шорсткість поверхні валків суттєво впливає на коефіцієнт тертя. Збільшення шорсткості підвищує долю складової площі a_c (збільшує площу дії сухого тертя) і збільшує параметри τ і f . Проте при швидкості $v > 6$ м/с підвищення товщини шару мастила в осередку деформації нівелює вплив шорсткості валків і зближує значення коефіцієнта тертя при $R_a \approx 0,8$ і $3,8$ мкм. Збільшення шорсткості поверхні початкової штаби викликає збільшення складової a_c і коефіцієнта тертя за рахунок продавлювання мікроступами шару мастила в осередку деформації. Однак, з другого боку,

збільшення шорсткості поверхні штаби обумовлює поліпшення захвату мастила в осередок деформації і зниження величин коефіцієнта тертя. Як правило, під час прокатки штаби з шорсткою поверхнею у валках з насіченою поверхнею коефіцієнт тертя зменшується. Збільшення абсолютного обтиску погіршує захват мастила і зменшує її товщину в осередку деформації, що приводить до зниження долі a_r і $a_{ж}$ на площі контакту і підвищення значень τ і f .

Суттєвий вплив на умови тертя і на величини a_r і $a_{ж}$ площі контакту валка і штаби роблять властивості технологічних мастил. Під час гарячої і холодної прокатки як технологічні мастила застосовують масла, водо-масляні суміші і емульсії [25]:

- мінеральні масла (трансформаторні, індустриальні 12 і 20, циліндрове 11 і 24, прокатне 28 та ін.);
- рослинні олії натуральні (бавовняна, льняна, пальмова, касторова);
- рослинні олії після спеціальної обробки (гідрогенізовані – соняшникова і коріандрова, полімерізована бавовняна олія);
- мастила на основі синтетичних жирних кислот.

Указані масла застосовують під час прокатки в чистому вигляді або з невеликими домішками антикорозійних, миючих, противоокисних та інших присадок. Ефективність масел залежить від їх в'язкості і складу поверхнево-активних речовин (ПАР). Найменшою ефективністю володіють легкі мінеральні масла, яким властива невелика в'язкість. Збільшення в'язкості забезпечує поліпшення умов захвату мастила в осередок деформації і зниження коефіцієнта тертя f [20, 25, 35]:

	В'язкість при 20°C, сСт	f
Трансформаторне	30	0,104
Індустриальне 20	91	0,088
Циліндрове 11	868	0,068
Прокатне 28	3610	0,055

Подібна закономірність спостерігається і при застосуванні рослинних масел, але при одній і тій же в'язкості їх

ефективність вища завдяки наявності в них ПАР, здатних до утворення міцних граничних шарів на контактних поверхнях. Однак в натуральному вигляді застосовується лише пальмова олія для прокатки жерсті на сучасних неперервних станах. Інші ж олії використовують після гідрогенізації (соняшникова – ПКС) для прокатки жерсті або полімерізації (бавовняна – ПБМ) для промаслювання штаб на НТА. В результаті підвищується в'язкість олій і їх ефективність. Так, збільшення в'язкості бавовняної олії таким чином змінює коефіцієнт тертя:

В'язкість при 50 ⁰ С, сСт	<i>f</i>
28,2 (натуральне)	0,067
160	0,047
301	0,040
700	0,035
1300	0,034

Масла (олію) подають на штабу або валки в чистому вигляді або, в вигляді водомасляної механічної суміші з концентрацією 7...10%. Емульсії мінеральних масел, які застосовують під час холодної прокатки сталевих штаб товщиною більше 0,4 мм, представляють собою дисперсні системи, в яких однією фазою (дисперсне середовище) є вода, а другою (дисперсна фаза) – масло (мінеральне). Емульсію готують безпосередньо в системах стана із емульсолу, який отримують із нафтопереробних заводів. Сам емульсол містить 80...90% мінерального масла або суміші масел, емульгатор і різні легуючі присадки, які поліпшують ефективність дії мастила і забезпечують високу чистоту поверхні листа. Широко відомий в промисловості емульсол Т, який має такий склад:

Масло індустріальне 12, %	85
Триетаноламінова сіль олеїнової кислоти, %	12
Вода, %	3
Кислотне число	8

Цей або інші емульсоли вводять у воду, температура якої знаходиться у межах 40...50⁰С, в кількості 2...4%, що і визначає концентрацію емульсії. Як домішки ПАР в емульсолах застосовують синтетичні жирні кислоти (СЖК), яким властиві

високі адгезійні здібності до металу. Нижче приведені деякі дані про застосування технологічних мастил на різних станах:

Стани гарячої прокатки – водо-масляні механічні суміші (легкі мінеральні масла).

Промаслювання штаб на НТА – емульсії на основі ПБМ (ПХМ) і синтетичного продукту АНСК-50.

Стани холодної прокатки штаб з $h > 0,4$ мм із маловуглецевої сталі – емульсії на основі легких мінеральних масел з домішками ПАР (рис.4.16).

Стани холодної прокатки жерсті з $h < 0,3$ мм – водо-масляні суміші на основі пальмового і гідрогенізованої соняшникової олії (ПКС), замінювачі пальмової олії.

Двадцятивалкові стани – суміші мінеральних масел і емульсії мінеральних масел з домішками ПАР.

Емульсію на валки подають з колекторів з боку входу і виходу штаби (п'ята кліть має колектор тільки з боку входу штаби) (рис. 4.16).

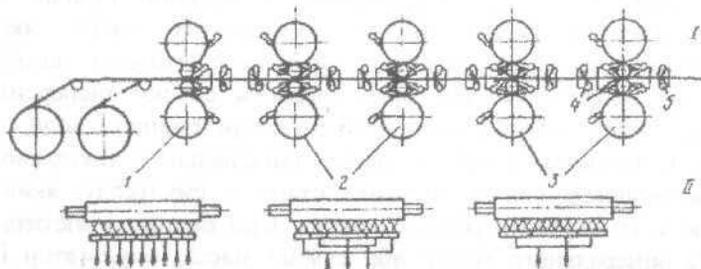


Рис. 4.16. Схема подачі емульсії і мастила на валки і штабу:

I - схема стана; II - схема колекторів; 1 - п'ята кліть; 2 - третя і четверта кліть; 3 - перша і друга кліть; 4 - подача емульсії; 5 - подача масла на штабу

Колектори секціоновані: на першій і другій клітях – трисекційні; третьою і четвертою – п'ятисекційні; на п'ятій кліті – дев'ятисекційні; на опорних валки – односекційні. Для інтенсивного охолодження штаби передбачена подача СОЖ (змащувально – охолоджуючий рідини) (емульсії) безпосередньо на штабу при виході її з валків. Окрім емульсії, безпосередньо на штабу може подаватися чисте масло перед

входом у відповідну кліть Кліті забезпечені відбійниками штаби для запобігання окова валкам, відбійниками емульсії і вихідними провідниками. У п'ятій кліті передбачено пристрій для видалення емульсії зі штаби.

4.11. Несиметричні процеси прокатки штаб

Несиметричний процес характеризується різними умовами деформації верхніх і нижніх шарів штаби і він у тій чи іншій мірі присутній в будь-яких умовах прокатки. Симетричного (ідеального) процесу під час прокатки не існує. Завжди є різні умови деформації верхніх і нижніх шарів штаби, які обумовлені відмінністю [52, 61]:

- діаметрів або колової швидкості валків;
- станом поверхонь верхнього і нижнього валків;
- нагріву і стану верхньої та нижньої поверхонь штаби;
- нахилу штаби на вході у валки та інш.

Перші фундаментальні дослідження кінематичних і силових параметрів несиметричної прокатки виконано А.А. Корольовим, в яких встановлено суттєвий вплив різних діаметрів валків на випередження, середні нормальні контактні напруження, силу і крутний момент прокатки. Автор відзначає, що валок більшого діаметра D_6 (з більшою коловою швидкістю) буде прагнути переміщувати штабу з більшою швидкістю, ніж валок меншого діаметра D_m (з меншою коловою швидкістю). По цій причині валок з D_m буде являтися гальмом по відношенню до валка з D_6 і дія його буде подібною дії заднього натягування. По відношенню до меншого валка з D_m валок з D_6 , який має більшу колову швидкість, буде утворювати в штабі передне натягування. Як відомо із теорії прокатки, задне натягання збільшує крутний момент прокатки, а передне – зменшує. Виходячи із цього, на валку більшого діаметра крутний момент збільшується, а на меншому валку – знижується порівняно з симетричним процесом прокатки. Дія зрівноважених напружень заднього і переднього натягувань викликає деяке зниження підпіраючих поздовжніх напружень i , отже, нормальних напружень під час прокатки в осередку деформації і сили прокатки.

Під час гарячої і холодної прокатки штаб різниці діаметрів верхнього і нижнього робочих валків у межах 0,2 мм дозволена технічними умовами з метою спрощення підбору комплексу. Крім того, профільовані валки мають різницю діаметрів по довжині бочки в межах 0,2...0,5 мм.

В дослідях [74] встановлено, що при гарячому прокатуванні штаб товщиною 2,5 і 6,0 мм у валках з відмінністю колових швидкостей в 1...5% сила прокатки знижується на ~ 5...18%. Однак момент кручення суттєво зростає.

Штаба, яка прокатується на станах, як правило, відхилена до одного із валків. Нахил штаби перед входом у валки утворює неоднакові умови захвату мастила. За даними [25], зі сторони валка, до якого відхилена штаба, товщина шару мастила більша, ніж із сторони другого валка і збільшується по мірі збільшення кута нахилу штаби. В дослідженнях [20, 52, 61] встановлено нерівномірний розподіл обтиску і крутного моменту на валках, нерівномірність зносу верхнього і нижнього робочих валків. Причому, менші величини обтиску і крутного моменту прокатки приходяться на валок, до якого відхилена штаба. В кліті №1 неперервного стану 1680 холодної прокатки нахил штаби до нижнього насіченого валка на кут $0,7...2,0^{\circ}$ після прокатки 200...300 т металу приводить до зменшення шорсткості поверхні з 4...5 мкм до 0,4...0,65 мкм R_a . Шорсткість верхнього валка увесь період його роботи зберігається на рівні 3,5...4 мкм R_a . Усунення перекошення вхідного кінця штаби в цій кліті забезпечує практично однаковий знос поверхонь робочих валків. Аналогічна нерівномірність зносу насічених валків спостерігається і в кліті №4, де більш інтенсивно зношується шорсткість верхнього валка, до якого відхилена штаба.

Штаби низьковуглецевої сталі, які назначають на рекристалізаційний відпал, прокатують в холодному стані на робочих валках з насіченими поверхнями ($R_a \approx 3...6$ мкм). Наявність такої шорсткості зумовлює значні навантаження на валки і головний привод. Зниження навантажень досягається зменшенням сумарної шорсткості валків шляхом заміни одного насіченого валка шліфованим ($R_a \approx 1...1,2$ мкм). Лабораторні

дослідження і промислова експлуатація різношорстких валків на реверсивному стані 1200 свідчать про високу ефективність процесу. Порівняно з прокаткою в насичених валках поліпшується якість штаб, зменшується навантаження на валки і головний привод на 5...10%, підвищується експлуатаційна стійкість валків. Недоліком прокатки в різношорстких валках є нерівномірність розподілення крутних моментів (більший момент на насиченому валку, де більше значення коефіцієнта тертя). Компенсувати цю нерівномірність можна застосуванням валків різного діаметра. При цьому валок з більшим діаметром виготовляють із шліфованою поверхнею.

В деяких випадках (під час прокатки товстих листів) зміною шорсткості одного із валків виявляється можливим регулювати напрям згибу переднього кінця листа. Так, на стані 2500 (Росія) в симетричних умовах тертя під час прокатки розкатів із алюмінію і його сплавів з $H > 80$ мм передні кінці на виході із валків мали вигин на верхній валок, а при $H < 80$ мм вигин переднього кінця відбувався на нижній валок і при транспортуванні по рольгангу відбувались затримки, які збільшували час пауз. Застосування нижнього валка з меншою шорсткістю ($R_a \approx 2,2...2,5$ мкм проти 3...4 мкм на верхньому) забезпечує прокатку розкатів і листів з $H < 80$ мм без вигину на нижній валок [75]. В результаті компенсації однієї несиметрії (нахил розкату на вході до нижнього валка) несиметричний процес перейшов у категорію симетричного за рахунок збільшення обтиснення із сторони нижнього валка. Це привело до вирівнювання крутних моментів на шпінделях і зменшення простоїв стана для заміни бронзових вкладишів шпіндельних пристроїв.

4.12. Валки станів холодної прокатки

Для виготовлення робочих валків холодної прокатки застосовують високоякісні сталі, які містять мінімальну кількість шкідливих домішок (табл. 4.5). Технологія виробництва робочих валків холодної прокатки складається із металургійного та механічного циклів. Основними операціями металургійного циклу є: виплавка і розливка сталі, ковка і

попередня термічна обробка заготовок (гомогенний відпал), кінцева термічна обробка. Цикл механічної обробки включає токарні, сверлильні, фрезерні, розточні, шліфувальні і слюсарні операції. Загартування і низьке відпущення забезпечують високу твердість указаних сталей. Режим поверхневого загартування в індукторі складається із попереднього підігріву бочки до $650...670^{\circ}\text{C}$, наступного нагріву до температури загартування ($890...930^{\circ}\text{C}$) і швидкого охолодження водою, яка подається на поверхню за допомогою розбризкувача (спрейєра) під тиском $0,3...0,7$ МПа. Нагрів і загартування валків роблять у вертикальному положенні при рухомих індукторі і спрейєрі. Після загартування валки піддають низькотемпературному відпущенню, режим якого зумовлений маркою сталі і потрібною твердістю поверхні. Так, для отримання твердості валків із сталі 9X – 93...95 HSD температура відпущення знаходиться у межах $160...170^{\circ}\text{C}$, а для отримання твердості 97...100 HSD (стані для прокатки жерсті) температура відпущення $140...150^{\circ}\text{C}$.

Стійкість робочих валків холодної прокатки залежить від режиму деформації, швидкості прокатки, температури валків, умов охолодження і якості самих валків. Збільшення обтисків викликає підвищення контактних напружень, а збільшення швидкості прокатки, при незмінних умовах охолодження, підвищення температурних напружень. Обидві ці обставини приводять до погіршення умов служби робочих валків. За даними вимірювань температура валків в процесі експлуатації знаходиться у межах $50...70^{\circ}\text{C}$. При цьому в більшій мірі нагрівається середня частина довжини бочки валків, а максимальний градієнт температур між серединою і краєм бочки складає в кліті №1 до $\sim 30^{\circ}\text{C}$, із зменшенням в кліті №4 до 10°C (ШСХП 1680). Вироботка робочих валків також нерівномірна і максимум її розташовується у середній частині довжини. Максимальна нерівномірність зносу (до $\sim 0,2$ мм) також приходиться на кліть №1, де використовують робочі валки з насиченою поверхнею, а мінімальна – в кліті №4, що зумовлено більш частішими перевалками і необхідністю отримання якісного поперечного профілю штаб (рис. 4.17).

Робочі валки станів холодної прокатки виходять повністю із ладу по природному зносу робочого загартованого шару (~ 20мм), але в основному по наварам, порізам, відколам. Навар металу на валки відбувається внаслідок пориву штаби в процесі прокатки. В цьому випадку при втраті натягання і великому місцевому тиску метал наварюється на поверхню валків після чого приходиться усувати пошкоджений загартований шар на 2...4 мм по діаметру. Сильні навари викликають наступні відшарування або глибокі викришування, які приводять до остаточного виходу валка із ладу. Поріз валків відбувається при невідповідності режиму деформації і профілювання валків. В цьому випадку нерівномірність деформації по ширині штаби приводить до утворення складки перед входом у валки і місцевий надав валків. Одним із найбільш поширених дефектів валків холодної прокатки, які пройшли поверхневе загартування, є відшарування загартованого шару. Звичайна глибина місцевих відшарувань і колового відкалування бочки знаходиться у межах 2...25 мм. Відшарування (відколи) часто відбуваються на тих ділянках валків, де раніше відбулися навари, відколи, порізи. Відшарування також є результатом порушень технології загартування і відпуску валка.

На станах холодної прокатки і жерсті використовують складенні опорні валки: вісь виготовлена із сталі 50Х, 50ХН і т.п., а бандаж товщиною 200...300 мм із легованої сталі (9ХФ, 9Х2, 65ХСМФ і т.п.). Бандаж устанавлюється на вісь з гарячою посадкою і натягом при температурі нижче температури нагріву під загартування. Нагріті бандажі охолоджують 50...70 хв. в маслі. Відпуск бандажу роблять при температурах 360...380⁰С, охолоджують з піччю до температури 100⁰С і остаточне охолодження - на повітрі.

Таблиця 4.5. Хімічний склад сталі робочих валків холодної прокатки

Марка сталі	Склад ^{х)} %									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	V	W	
9Х	0,8/0,95	0,2/0,35	0,25/0,45	0,03	0,03	1,4/1,7	-	-	-	-
9Х2СВФ	0,8/0,95	0,2/0,35	1,3/1,6	0,03	0,03	1,7/2,1	-	0,1/0,2	0,3/0,6	-
60Х2СМФ	0,57/0,65	0,2/0,4	1,1/1,3	0,03	0,03	1,8/2,1	0,25/0,35	0,1/0,2	-	-

^{х)} В чисельнику – нижня границя, в знаменнику – верхня границя складу елемента.

При такій термічній обробці твердість бандажу знаходиться у межах 80...85 HSD. Твердість бандажу завжди нижча твердості робочих валків і це виключає перенесення дефектів опорного валка на поверхню робочих валків. Поряд зі зносом основними причинами виходу опорних валків із ладу є: викришування від значних контактних напружень і наклепу, поломки осей і шийок в результаті перевантажень, зміщення бандажу відносно осі, які можуть бути виключені при дотриманні технології виготовлення та експлуатації валків.

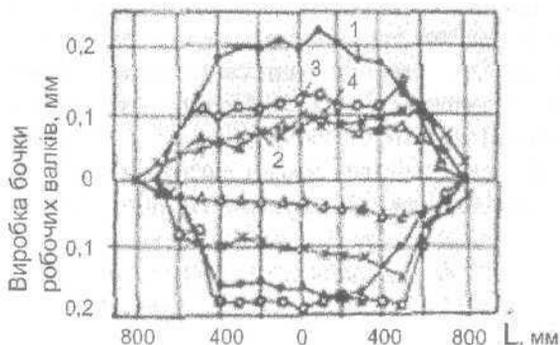


Рис.4.17. Знос за довжиною бочки робочих валків після прокатки: кліть 1-~1500 т, 2-~2000 т, кліть 3-3000 т, кліть 4-~1300 т (а-верхній валок; б-нижній валок).

Знос опорних валків нерівномірний по довжині бочок і, так як вони працюють в клітці без зміни на протязі 10...30 днів, значний. При незмінній середньозваженій ширині штаби нерівномірність розподілу міжвалкового тиску зумовлена спільною взаємодією профілювань опорних та робочих валків. Можливі різні варіанти профілювань та зносу опорних валків. Бочку опорних валків виконують циліндричної або випуклої форми з краєвими скосами (урізами) довжиною 75...300 мм, а робочі валки – циліндричними або випуклими. У випадку використання робочих валків з випуклим профілюванням ($f_p = 0,1...0,5$ мм) опорні валки зношуються, як правило, в середині бочки, приводячи до появи угнутої форми утворюючої. По мірі збільшення нерівномірності зносу опорного валка випуклість робочих валків відповідним чином збільшують. Якщо опорні валки зношуються на випуклість, то величину початкової випуклості робочих валків треба зменшити.

4.13. Термічна обробка, дресування і обробка штаб

В процесі холодної деформації відбувається зміцнення металу, зниження пластичних властивостей і утворення текстури з витягнутими за напрямком прокатки зернами. При цьому напруження течії металу зростає із збільшенням обтиску (рис. 4.18), а відносне видовження зменшується для сталі 08кп з ~ 40% до 1...1,5%, тобто метал практично втрачає свої пластичні властивості. Тому зміцнений метал не можна застосовувати для штампування деталей. Для зниження міцності холоднокатаної сталі застосовують світлий рекристалізаційний відпал, який здійснюють в захисній атмосфері для запобігання окислення металу. Так як звичайно сумарна ступінь обтиску сталі під час холодної прокатки складає 60...75%, то температура відпалу в ковпакових печах знаходиться у межах точки A_{c1} ($t_b \approx 650...710^\circ\text{C}$).

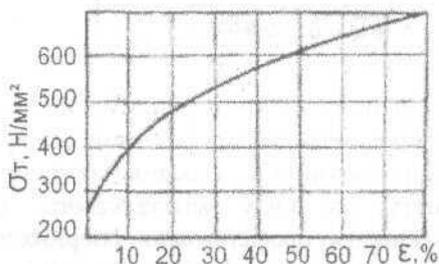


Рис. 4.18. Напруження течії сталі марки ст08кп залежно від сумарного обтиснення при прокатуванні

Дослідженнями [17] показано, що температура відпалу рулонів для отримання необхідних величин напруження течії металу необхідно встановлювати залежно від вмісту вуглецю в сталі і величини відносного обтискання при прокатуванні (рис. 4.18). З рис. 4.20 видно, що для отримання металу ($C=0,06\%$) з напруженням течії $\sigma_T=245\text{Н/мм}^2$ при $t=690^\circ\text{C}$ необхідне попереднє сумарне обтискання, рівне $\epsilon=80\%$. При зменшенні сумарного обтискання і вмісту вуглецю в сталі напруження течії

зменшується. Найменша величина напруження σ_T одержана при $C=0,04\%$ і $\varepsilon = 30\%$,

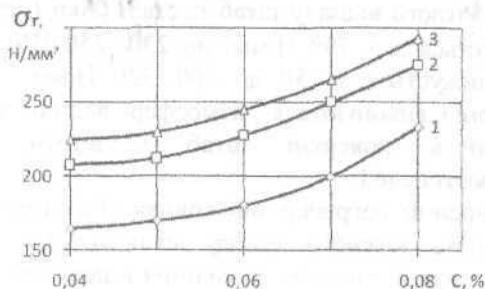


Рис. 4.19. Зміна напруження течії низьковуглецевої сталі після відпалу ($t=690^{\circ}\text{C}$) залежно від змісту вуглецю при різних попередніх обтисках ε , %: 1-30; 2-50; 3-80 [17]

Одностопа колпакова піч світлого відпалу (рис. 4.20) включає: стэнд, на який встановлюються рулони, нагрівальний ковпак, муфель, конвекторні прокладки.

Одностопа ковпакова піч світлого відпалювання (рис. 4.20) включає: стэнд, на який устанавлюються рулони, нагрівальний ковпак, муфель, конвекторні між рулонні прокладки. Нагрівальний ковпак має металевий каркас, футерований вогнетривкою цеглою. Висота ковпака для станів 1700 дорівнює 5800...6000 мм і зовнішній діаметр 3000...4000 мм. Опалення печі робиться газом (природний, коксо-доменна суміш) крізь пальники, які розташовані у нижній частині ковпака. Після устанавки рулонів на стэнд, стопу накривають муфелем, засипають піщаний затвор і роблять холодну і гарячу продувку вентилятором підмуфельного простору захисним газом у вигляді: N_x – газу, в якому є 1,5...2,5% CO ; $\leq 0,5\%$ CO_2 ; 1,7...2,4 H_2 і решта азот; газ із суміші азоту і водню ($N_2 = 95...97\%$ і $H_2 = 3...5\%$). Продувку підмуфельного простору роблять для усунення повітря. Тепловий режим відпалу складається із трьох періодів: підйом температури в печі до заданої; витримка при температурі 650...710⁰C (по стэндовій термопарі) на протязі 14...25 годин в залежності від марки сталі;

оохолодження під муфелем до $t \approx 150^{\circ}\text{C}$ на протязі 40...50 годин (при зніманні муфеля при температурі вище 150°C відбувається окислення поверхні штаби у вигляді кольорів мінливості). В результаті світлого відпалу штаб із сталі 08кп (пс) напруження течії знижується з $\sim 700 \text{ Н/мм}^2$ до $230...250 \text{ Н/мм}^2$, а границя міцності знижується з 750 до $300...320 \text{ Н/мм}^2$. В даний час відпал рулонів виконують в атмосфері водню, що забезпечує високу якість поверхні штаб і істотне підвищення продуктивності печей.

Один переносний нагрівальний ковпак обслуговує 3-4 стенди. Продуктивність кожного стенду складає 0,4-0,5 т/час. На існуючих станах останнього покоління в цеху встановлюють до 300 стендів з ~ 120 нагрівальними ковпаками.

Тонколистову сталь іноді відпалюють в розпушених рулонах з метою поліпшення механічних властивостей, газового легування металу і підвищення продуктивності відпалювальних печей. При перемотуванні рулонів між витками по колу укладають жаростійкий дріт (прокладки), який утворює зазори для вільного доступу газу. Велика тривалість процесу відпалу в ковпакових печах і погіршення якості поверхні при зменшенні товщини штаби до 0,2 мм привели до розробки процесу безконежного відпалу, особливо ефективного при виробництві жерсті. Безперервний відпал штаби дає змогу отримувати велику продуктивність (до 30 т/год.) при швидкостях руху штаби до 10 м/с.

Після відпалу і оохолодження до $t < 40^{\circ}\text{C}$ рулони передають на дресирувальний стан, який складається із однієї кліті (рис. 4.21). Дресирування – це прокатка штаби з невеликим обтиском (0,8...1,5%). Стан вкпочає в себе чотирьохвалкову кліть, розмотувач, натяжний пристрій штаби, моталку, пристрій для гідрорегулювання прогину робочих валків і прилади контролю величини обтиску. Дресирування роблять за один прохід при швидкості 10...20 м/с з метою підвищення пластичних властивостей металу і надання поверхні штаби певної шорсткості. Під час прокатки з обтискненням 0,8...1,5% відбувається зміцнення поверхневого шару штаби і усунення ділянки текучості на кривій напруження – деформація, що

запобігає утворенню ліній зсуву в процесі штампування із листа виробу. Дресування сприяє зменшенню напруження течії (границі текучості) металу, величина якого залежить від змісту вуглецю та попереднього обтиснення ($\sigma_T=150-200 \text{ Н/мм}^2$). Після дресування на протязі часу відбувається старіння металу. В результаті штучного старіння на протязі 4 годин при 100°C (один рік природного старіння) у сталі 08кп (пс) границя текучості зростає з 200 Н/мм^2 до 245 Н/мм^2 , твердість HRB з 43 до 46,5, а при штампуванні з'являються на поверхні виробу лінії зсуву. Механічні властивості нестаріючої сталі 08ю в результаті старіння практично не змінюються.

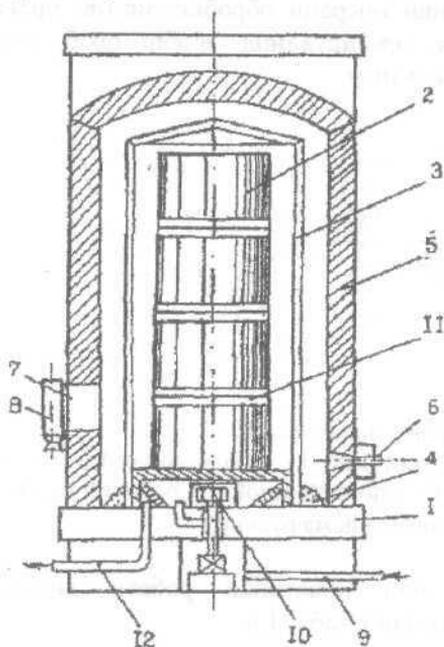


Рис. 4.20. Схема одноступенної ковпакової печі для відпалу рулонів: 1-стенд; 2-стопа рулонів; 3-муфель; 4-пісочний затвор; 5-переносний нагрівальний ковпак; 6-пальник; 7-димове вікно; 8-ежектор; 9-труба для подавання захисного газу; 10-вентилятор; 11-конвекційна прокладка; 12-труба для виходу захисного газу.

Дресування здійснюють в робочих валках з насиченою поверхнею і отримують штаби з шорсткістю $R_a \approx 1,5 \dots 1,8 \text{ мкм}$. Такі листи володіють великими витяжними властивостями при штампуванні, ніж листи з гладкою поверхнею.

При штампуванні виробів із листів з шорсткою поверхнею мастило входить у западини шорсткості, тим самим знижуючи зовнішню тертя і поліпшуючи умови штампування. Крім того, наявність шорсткості на листі забезпечує краще схоплювання покриття з поверхнею виробу. Після дресировання рулони відвантажують споживачеві або ріжуть на листи відповідної довжини на агрегаті поперечного різання (АПР) або на вузькі штаби на агрегаті поздовжнього різання (АПЗР). Агрегати поперечного різання забезпечують отримання обрізаних листів довжиною 2...12 м і товщиною 1,2...4 мм. Швидкість руху штаби в АПР 0,5...2,5 м/с. На цих агрегатах, крім різання на мірні довжини, роблять і всі інші операції обробки листів: правку, обрізання бічних кромek, дресировання, відбір проб, огляд поверхні, сортування і упакування.

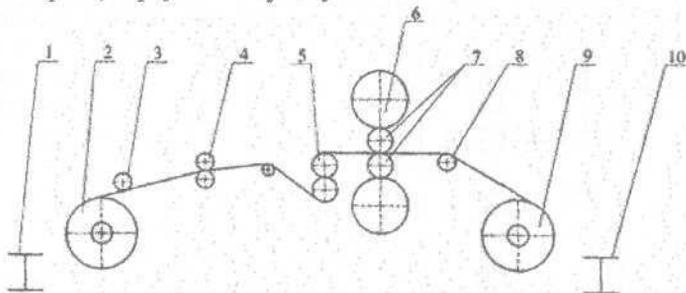


Рис. 4.21. Схема дресировочного стану 1700:

1 – механізм подачі; 2 – розмотувач; 3 – протизломний ролик; 4 – тягучі ролики; 5 – натягач; 6 – опорний валок; 7 – робочий валок; 8 – ролик; 9 – моталка; 10 – механізм з'їому рулону.

Деякі технічні показники роботи листових (штабових) станів представлені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6. Технічні показники станів

Показники	Стани		
	товстолистові	ШСГП	ШСХП
1	2	3	4
Витрата металу, кг/т	1,18...1,27 (сляби) 1,35...1,87 (зливки)	1,03...1,07	1,07...1,13
Витрата електроенергії, кВт·г/т	40...80	60...70	90...120
Витрата тепла на нагрів 1 т металу, МДж/т	2,51...3,54	2,1	0,96...1,0 (відпалювальні печі)
Витрата води, м ³ /т	2100...2600	7000...8000 (на стані)	-
Витрата валків, кг/т	0,8...2,5	0,8...1,5	0,8...1,25
Витрата захисного газу при відпалі рулонів, м ³ /т	-	-	12
Витрата сірчаної кислоти на травлення, кг/т	-	-	10...15

х) ШСГП – неперервний широкоштабовий стан гарячої прокатки;

ШСХП – неперервний широкоштабовий стан холодної прокатки.

4.14. Основи виробництва жерсті

Жерсть є основним матеріалом для виготовлення консервної тари і тароупакувальних виробів, широко застосовується в рибній, хімічній, машинобудівній та інших галузях промисловості. Основна доля випадає на виробництво білої жерсті електролітичного лудіння (~ 70%), освоєні економічні види хромованої жерсті, ще зберігається

виробництво і застосування гарячелудженої жерсті. Біла жерсть, а також чорна жерсть, випускаються в листах чи рулонах. Ширина листів, які випускаються 512...1000 мм. В рулонах жерсть випускається шириною до 1250 мм і вагою до 30 т і товщиною до 0,15...0,36 мм. Виробництво жерсті засереджено на меткомбінаті «Запоріжсталь» (Україна), Магнітогорському і Карагандинському меткомбінатах, а також на Лисьвинському металургійному заводі (Росія). Найбільш сучасним є цех жерсті на КарМК продуктивністю ~ 750 тис. т/рік, де уведено в експлуатацію шестиклітьовий стан безперервної прокатки з максимальною швидкістю прокатки до 40 м/с, двоклітьовий прокатно-дресирувальний стан 1400 для виробництва жерсті подвійної прокатки, два агрегата безперервного відпалу і три агрегата електролітичного лудіння загальною потужністю 375 тис. т/рік [36].

Холодну прокатку жерсті здійснюють на безперервних п'яти- і шестиклітьових станах з клітьми кварто, на яких прокатують штаби з мінімальною товщиною 0,12...0,15 мм, з максимальною швидкістю прокатки 30...40 м/с. У цехі жерсті КарМК встановлено шестиклітьовий стан 1400, який забезпечує отримання жерсті шляхом безперервної прокатки гарячекатаних травлених штаб. Схема сучасного технологічного процесу виробництва жерсті подано на рис. 4.22. В цій схемі передбачено суміщення травлення гарячекатаної штаби і подальша її прокатка на шестиклітьовому стані та неперервний відпал холоднокатаної штаби. Процес безконечної прокатки забезпечується шляхом використання стикозварювальної машини перед НТА після обрізання дефектних кінців на ножицях. Після зварювання штаб усувають грат. Стикозварювальна машина забезпечує зварювання штаб профілерозмірів 1,2...6,0x600...1350 мм. Цикл зварювання штаб товщиною до 3 мм із зняттям грату складає не більше 30 с. Натяжний пристрій забезпечує натягування штаби.

Під час зварювання кінців штаб і зупинки розмотувача відбувається прокатка штаби, яка знаходиться у петльовому пристрої, в якому довжина штаби складає 417 м. Петльовий пристрій містить візок з двома роликками і швидкістю переміщення 1,25 м/с при робочому ході 105 м. Перед станом

установлені натяжні пристрої для утворення заднього натягання штаби, а гільйотинні ножиці використовують для розрізання штаби при перевалках і вирізання зварювальних швів. В лінії стана установлено шість ідентичних чотирьохвалкових клітей з опорними валками діаметром 1400 мм і робочими валками діаметром 600 мм.

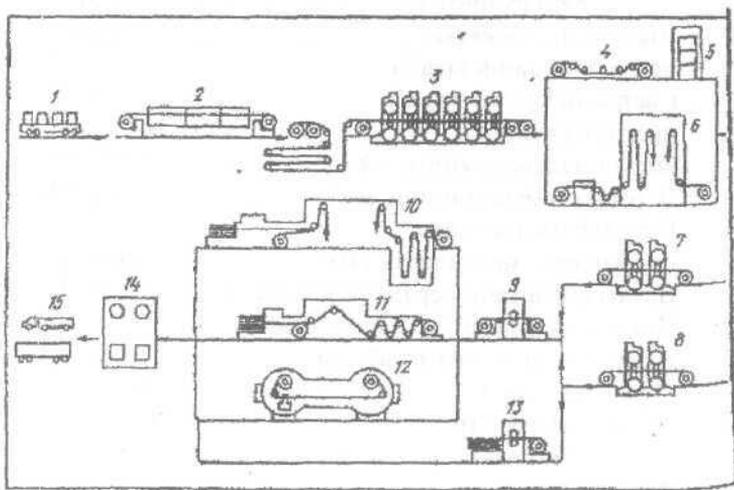


Рис. 4.22. Схема сучасного технологічного процесу виробництва жерсті: 1-рулони; 2-агрегат неперервного травлення штаби; 3-шестиклітьовий стан; 4-агрегат електролітичної очистки поверхні; 5-ковпаківі печі для відпалу; 6-агрегат неперервного відпалу; 7-стан повторної прокатки; 8-дресувальний стан; 9-агрегат для підготовки штаб (обрізання товстих кінців, кромки та ін.); 10-агрегат електролітичного лудіння; 11-агрегат хромування; 12-агрегат алюмування; 13-агрегат для різки на листи; 14-стенд для пакування листів; 15-машина для транспортування продукції.

Кліті стана обладнані електромеханічними і гідравлічними натискними пристроями (ГНП), прес-проводками для випуску заднього кінця з натяганням і запобіганням обковування валків, системою противовигину і додаткового вигину робочих валків, системами автоматичного керування технологічним процесом. Пристрої ГНУ забезпечують необхідну швидкість і точність

регулювання товщини штаби при високих швидкостях прокатки. Нижче приведені основні технічні характеристики стана:

Розміри підката, мм:

товщина	1,8...3,0
ширина	700...1250
вага рулону, т	≤ 30

Швидкість прокатки,

при розрізуванні штаби

і заправці в моталку, м/с

пропуск шва, м/с

випуск заднього кінця, м/с

Переріз стойки станини, мм²

Потужність двигуна

головного привода кліті, кВт

Натягання штаби перед станом, кН

Натягання штаби за 6^{-ю} кліттю, кН

Розміри прокатаних штаб, мм

товщина

Зовнішній діаметр

мінімальний діаметр

Вага рулону, т

Точність прокатки, мм при

товщині штаби, мм

0,22...0,25

0,32...0,36

0,4...0,5

0,5...0,6

Опорні валки шестиклітьового стана 1400 установлені в гідростатичних підшипниках рідинного тертя (ПРТ) з упорним вузлом кочення, які зумовлюють постійний міжвалковий зазор при зміні швидкості прокатки. З метою регулювання площинності штаби всі кліті оснащені пристроями противозгину і додаткового вигину робочих валків. Пристрої противовигину усувають хвилястість, а додаткового вигину - коробоватість штаб.

Вихідна частина стана забезпечує неперервний відпал або різання штаб летучими ножицями, змотку моталками і прибирання рулонів від стана. Правильно вибраний режим деформації забезпечує стійкий режим прокатки і отримання якісної жерсті. Раціональні обтиснення розраховують теоретично і потім уточнюють дослідним шляхом в процесі роботи стана з урахуванням особливостей конструкції клітей, систем автоматики, властивостей підкату і інших факторів. Найбільш зручними для практичного використання є критерії оптимізації, які регламентують міру завантаження клітей стана по силі прокатки, крутному моменту, потужності головних приводів. Аналіз режимів обтиснень показує, що рівномірне завантаження клітей по силі прокатки забезпечує рівномірне розподілення відносних деформацій штаби по клітях стана. Проте таке розподілення під час прокатки тонких штаб приводить до перевантаження останньої кліті стана по потужності прокатування в 1,5...2 рази відносно перших клітей. Ця обставина ураховується при розробці режимів деформації штаб.

Величини обтиснень в першій і останній клітях стана найбільш суттєво впливають на стабільність процесу холодної прокатки і якість одержаної листової сталі. В першій кліті з метою усунення поздовжньої різнотовщинності початкового підкату величина відносного обтиснення повинна бути в межах 25...40% в залежності від міри сумарної деформації штаби і потужності установленого головного привода. Указані обтиснення, разом з раціональною шорткістю поверхонь робочих валків першої кліті ($R_a = 4...5$ мкм), сприяють зменшенню поверхневих дефектів механічного походження (подряпини, потертості, дрібні ум'ятини і т.п.). При виборі величини обтиснення в останній кліті стана треба враховувати, що величина обтиснення суттєво впливає на ефективність роботи системи автоматичного регулювання товщини, форми і напружень натягування по ширині штаби. При цьому збільшення обтиснення сприяє підвищенню ефекту регулювання указаних параметрів. Крім того, застосування значних обтиснень в останній кліті зумовлює більшу товщину штаби

перед кліттю, яка має більший запас пластичності і у меншій мірі піддається розривам під час прокатки. Так, на шестиклітьовому стані 1400 КарМК збільшення товщини штаби перед шостою кліттю від 0,25...0,27 мм до 0,38...0,42 мм під час прокатки жерсті товщиною 0,25 мм зменшує кількість поривів штаб більше, ніж в 2 рази.

На основі виконаних досліджень і особливостей деформації тонкої штаби валками великого діаметра розроблені режими деформації (табл. 4.7), в яких застосовують значні обтиснення в чистій (шостій) клітці - $\epsilon = 35...60\%$. Технологічні мастила, які застосовують для холодної прокатки жерсті повинні ефективно знижувати сили зовнішнього тертя і охолоджувати валки, мати високу стабільність властивостей, мінімально забруднювати поверхню металу і легко з неї усуватися, володіти здібністю до регенерації. Мастило не тільки зменшує коефіцієнт тертя, але також знижує знос валків, запобігає налипанню металу на валки і поліпшує якість поверхні штаби. В теперешній час найбільш ефективним мастилом при виробництві жерсті є пальмове масло.

На більшості станів воно подається на штабу перед входом у валки у вигляді механічної водомасляної суміші з концентрацією масла 10...30%. При цьому витрата пальмового масла складає 2...6 кг/т прокату. Система охолодження валків передбачає секційну подачу МОР на окремі ділянки довжини робочих валків з метою виконання оперативного регулювання їх гарячого профілю.

Температура охолоджувальної води звичайно складає 40...50°C, а валків 50...70°C з перепадом температури по довжині бочки $\sim 10...20^\circ\text{C}$. Після прокатки на поверхні жерсті залишається частина мастила, яка містить вуглець і залізо. Загальне забруднення штаби після холодної прокатки складає 200...800 мг/м². У зв'язку з цим перед рекристалізацією штаби обезжирюють і очищають методом електролітичної очистки із застосуванням лужного розчину.

Таблиця 4.7. Режими обтиснень під час прокатки жерсті з $h \leq 0,23$ мм

№№ клітей	ϵ , %	P, МН	Сила переднього натягування штаби, кН	Струм двигунів головного привода, кА
1	25...30	8...11	250...270	0,2...0,6
2	30...40	8...12	130...150	0,6...1,0
3	30...40	8...11	100...120	0,8...1,2
4	30...40	8...10	70...80	1,2...1,5
5	30...40	8...12	50...60	1,4...1,6
6	35...60	10...13	20...30	1,4...1,8

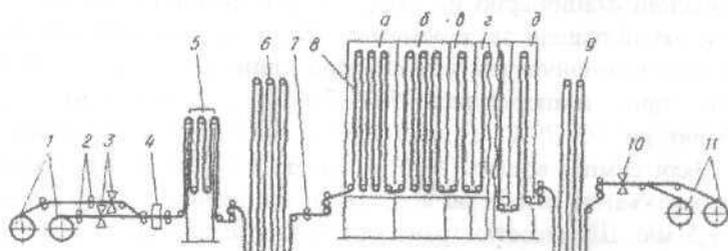


Рис. 4.23. Схема безперервного агрегату відпалу штаби: 1-розмотувач; 2-тягнучі ролики; 3-ножиці; 4-зварювальний агрегат; 5-ванни електролітичного очищення штаби; 6; 9-петльонакоплювачі; 7-дискові ножиці; 8-піч для відпалу (камери: а-витримки, б-сповільненого охолодження; в-прискореного охолодження, г-остаточного охолодження); 10-ножиці; 11-моталка.

Схема агрегату безперервного відпалу (АВВ) жерсті представлена на рис. 4.23. Продуктивність АВВ жерсті досягає 60 т/г. Сучасний АВВ містить головну, середню (пічну) і хвостову частини. Обладнання головної частини забезпечує приймання, розмотування рулонів, обрізання дефектних кінців штаб, зварювання початку наступної і кінця попередньої штаб у накладку, очищення і обезжирювання поверхні штаби, утворення запасу штаби для забезпечення безперервного процесу.

Після зварювання кінців безкінечна штаба за допомогою тягнучих роликів, подається в установку електролітичного очищення, яка має дві ванни обезжирювання вертикального типу. Обезжирюючий розчин має 20...40 г/л NaOH і 20...40 г/л Na_2PO_4 (тринатрій фосфат) і температуру 70...90⁰С. Після хімічного обезжирювання штаба піддається обробці з обох сторін капроновими щітками, які обертаються, притиснуті до штаби з зусиллям ~ 600 Н. Після щітко-миючих машин в першій ванні, штаба подається у блок ванн електролітичного обезжирювання для усунення залишених жирових забруднень за допомогою лужного електроліту ($t = 70...90^0\text{C}$), а потім в другу ванну гарячої промивки штаби і в сушильну камеру для обробки поверхні повітрям з $t \approx 100^0\text{C}$. Просушена штаба подається в накопичувач вертикального типу. Нижні ролики накопичувача установлені стаціонарно на рамі, а верхні ролики укріплені на візках, які підвішені за допомогою тросів на противовантажах. За петльонакопичувачем установлена пічна секція для відпалу жерсті при температурах 580...730⁰С і охолодження до температури 60...70⁰С. Відпал жерсті здійснюють в захисній атмосфері суміші водню (4...6%) і азоту (94...96%). Швидкість транспортування штаби по агрегату може змінюватися у межах 1,7...7,5 м/с. Швидкостю транспортування штаби впливають на механічні властивості штаби.

Дресировання жерсті здійснюють на одноклітьових і двоклітьових станах. На двоклітьових станах робочі валки в першій кліті мають діаметр 400...420 мм, у другій кліті – 570...600 мм, максимальну швидкість 40 м/с і допустиме зусилля на валки 20 МН. Оскільки дресировання жерсті здійснюється безпосередньо перед лудінням, застосування технологічного мастила недопустиме. З метою підвищення якості поверхні штаби приводними є опорні валки. Це виключає ковзання робочих валків по штабі та утворення на її поверхні подряпин. Сумарна величина обтиску у двох клітях складає $\epsilon = 1...6\%$ і при цьому в першій кліті обтиск $\epsilon_1 = (0,7...0,85)\epsilon_{\Sigma}$. В процесі дресировання жерсті зростають показники механічних властивостей (твердість і міцність) і декілька знижуються показники штампівки.

Після дресування поверхню штаби жерсті покривають оловом, хромом, алюмінієм, лаком. В основному виготовляють жерсті з олов'яним покриттям. Відомо два способи лудіння: гаряче і електролітичне (АЕЛ). При гарячому лудінні на кожному поверхню листа (штаби) наноситься шар олова товщиною 1,5...3 мкм при витраті олова 15...20 кг/т. На нових заводах застосовують безконечне електролітичне лудіння, при якому товщина шару олова складає 1,0...1,5 мкм при витраті олова 5...7 кг/т. Проте, електролітична луджена жерсть по корозійній стійкості поступається жерсті гарячого лудіння. Тому білу жерсть, яку отримали на АЕЛ, часто покривають лаком.

Дефекти поверхні гарячекатаних штаб переходять на поверхню холоднокатаних штаб (півка, залишки окалини, надриви і т.п.). Однак в процесі холодної прокатки з'являються нові дефекти [17, 22, 24, 31, 38, 51]. Дефект "рубці" виникає при підвищених місцевих обтисках внаслідок зміщення штаби в валках від втрати стійкості. Листи з таким дефектом переводять в брак.

Дефект "злом" утворюється в процесі дресування штаби після відпалу. Причиною їх появи є злипання – зварювання витків штаби в рулоні при відпалі із-за високих температур і контактних напружень, малої шорсткості поверхні холоднокатаної штаби. Наявність місцевих викривлень поперечного профілю і форми штаби також веде до появи злипання – зварювання витків. В процесі розмотування рулону в місцях злипання відбувається нерівномірна пластична деформація, сліди від якої і створюють дефект "злом". Для запобігання утворення "зломів" штаба повинна мати високу площинність, а напруження натягування штаби при змотуванні її в рулон на стані холодної прокатки не повинно перевищувати 40 Н/мм²; робочі валки чистової кліті стана необхідно виготовляти з шорсткістю в межах 4-6 мкм R_a [51].

Дефект "рябизна" представляє собою світлі штрихи, витягнуті вздовж прокатки від розкатування дрібних поглиблень, від витравленої удавленої окалини і має груповий характер. Дефект "плями забруднень" має вигляд чорних і темних плям, смуг, розводів на відпаленому холоднокатаному металі. Частіше всього це плями сажі, емульсії і масла. Плями

забруднень утворюються за наявності на поверхні штаби після прокатки значної кількості емульсії; високої концентрації; використання прокатної емульсії з низькою миючої здібністю. Для запобігання утворення дефектів треба суворо дотримуватися вимог технологічної інструкції по раціональному виробництву жерсті (штаб, листів).

4.15. Геометричні параметри і матеріал валків для прокатки штаб

Валки листових (штабових станів) виконують основне завдання пластичної деформації металу і тому їх якість визначає не тільки продуктивність прокатного стану, але якість поверхні і геометричного профілю штаби (листа) [30,37,41,52-58].

У багатовалковій кліті валки, що контактують з металом, називаються робочими. Опорні валки сприймають навантаження від металу через робочі валки. Робочі валки мають бочку, шийки і хвостовики. З'єднання робочих валків з приводом здійснюється за допомогою універсальних шпінделів або шпінделів і зубчатих муфт.

Діаметр робочих валків листових станів визначають з умов захвату (чорнові кліті) і достатньої зносостійкості (передчистові і чистові кліті) (табл.4.8). Діаметр робочих валків станів гарячої прокатки 600-1200 мм, а холодної – 200-600 мм, а довжина бочки валків визначається шириною штаби, міцністю і прогином, що допускається. Діаметр опорних валків обумовлений необхідною їх міцністю і прогином що допускається. Максимальні діаметри робочих і опорних валків має листовий стан із довжиною бочки $L=5500$ мм, на якому робочі валки $D_p=1200$ мм, а опорні $D_{оп}=2400$ мм (нові валки).

На станах гарячої прокатки сталіні опорні валки цілісноковані, а на станах холодної прокатки складені (рис.4.24).

Товщина з бандажа із сталі рівна $z/R = 0,35 - 0,25$ (z - товщина бандажа; R - радіус опорного валка). Більше значення

z/R відповідає валку з $L_s = 1200$ мм, а менше - $L_s = 5000$ мм.

Бандаж на вісь встановлюють з натягом $\delta = 0,6-1,55$ мм ($\delta/d=0,0008-0,00137$, де δ - величина натягу; d - діаметр посадочного діаметра опорного валка).

Робочі валки виконують цілісноковані, а для невеликих станів зі внутрішньою порожниною для поліпшення охолодження.

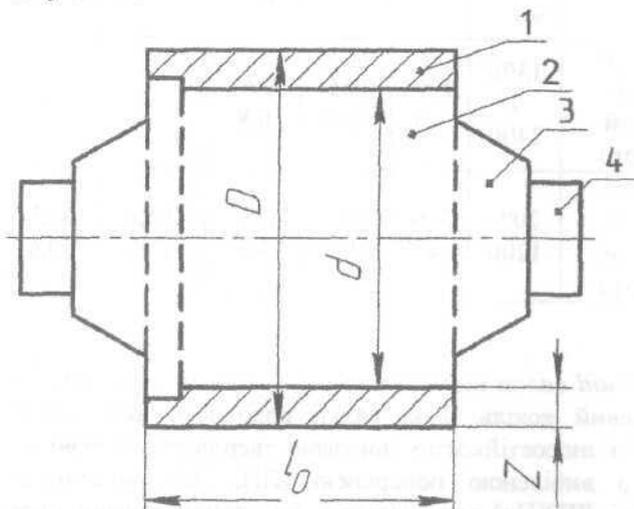


Рис. 4.24. Складений опорний валок стану холодної прокатки штаб: 1 - бандаж; 2 - вісь; 3 - шийка; 4 - хвостовик

Валки листових станів повинні задовольняти наступним основним вимогам:

- всі елементи валка повинні мати високу міцність і мінімальний вигин бочки, що допускається;
- поверхневий робочий шар бочки валка повинен мати високі твердість і зносостійкість;
- поверхневий шар бочки валка гарячої прокатки повинен бути термостійким, тобто володіти протигідією високій температурі металу і різкій зміні температури валка під час паузи;

поверхневий шар бочки валків при холодній прокатки повинен витримувати без руйнування великі контактні напруження.

Таблиця 4.8. Основні співвідношення розмірів елементів валків листових станів

Валки	Бочка		Шийка		Хвостовик	
	D, мм	L/D	$d_{пр}/D$	$l_{пр}/D$	d_1/D	l_1/D
Опорні валки клітей кварто	1300 - 2400	1,8- 3,5	0,55- 0,75	0,6- 0,8	-	-
Робочі валки клітей кварто	200- 1200	2,5- 4	0,6- 0,7	0,8- 1,3	0,55- 0,6	0,5- 0,6

Чавунні валки виготовляють шляхом лиття рідкого чавуну в металевий кокіль. Такі валки володіють високою якістю поверхні і зносостійкістю (високою твердістю). Робочі валки з чавуну з вибіленою поверхнею (ЛП, ЛЩ, никельмагнієві, двошарові ЛПХНд) застосовують на станах гарячої прокатки. Валки з меншою твердістю в чорнових клітках (58-68 HSD), валки з більшою твердістю (62-85 HSD) в чистових клітках.

Легування чавуну хромом, нікелем і молібденом підвищує його міцність, а також твердість вибіленого шару. Модифікування чавунних валків магнієм збільшує їх міцність і пластичність. У модифікованому чавуні включення графіту мають кулясту форму і ізольовані один від одного, тоді як в звичайному чавуні вони розташовуються у вигляді пластин і лусок, часто незв'язаних між собою, що різко знижує його механічні властивості. Міцність чавунних валків істотно менша, ніж сталевих валків.

Сталеві ковани валки на ШСГП застосовують як опорні у всіх клітках стана і як робочі в перших клітках чорнової групи.

На ШСГП опорні і робочі валки цілісноковані і виготовлені із сталі марок 9Х2, 9ХФ і т.п. Поверхню опорних валків піддають гарту до твердості 45-60 НSD, що підвищує їх зносостійкість і опір проти викришивання. Сталеві робочі валки забезпечують захват розкату з кутом 19-20 град.

Недоліком чавунних валків, які встановлені в клітях чистої групи є їх інтенсивний і нерівномірний знос по довжині бочки валка. Чавунні валки замінюють на ефективніші двошарові, в яких вісь виготовляють з кулястого графіту або із сталі, а зовнішній (робочий) з високохромистого чавуну. Такі валки мають стійкість в 1,5-2 рази вище, ніж звичайні валки ЛПХНд, які застосовують в даний час. Окрім цього, в чистовій групі клітей застосовують робочі валки з високоякісної швидкорізальної сталі (марка HVS85) [57,58].

Для станів холодної прокатки, як і для інших станів, основними параметрами, є діаметр і довжина бочки. Діаметр валка вибирають за наслідками розрахунків на міцність і величин контактних напружень. Довжина бочки обумовлена шириною штаби і необхідною жорсткістю проти вигину. Звичайно максимальна ширина штаби, повинна бути рівна $B=(0,85-0,9)L$. Для прокатки стрічки застосовують валки із довжиною бочки $L=200-300$ мм, для вузьких штаб $L \leq 800$ мм, для штаб $L=1200-2500$ мм. Діаметр бочки робочих валків для холодної прокатки штаб товщиною 0,4-2,0 мм складає 500-600 мм.

Робочі валки мають бочку, шийку і хвостовик для приводу і завалки. Розміри елементів валків для клітей кварто дані табл. 4.8. Опорні валки виготовляють складеними з віссю і бандажем (мал. 4.23), що дозволяє економити дорогі марки сталі, а вісь використовувати неодноразово. Зношений бандаж (після доставки опорного валка на машинобудівний завод) знімають з осі часто механічним способом – шляхом різання (нанесення концентратів напружень) і подальшого руйнування піропатронами в спеціальних ямах.

Робочі валки станів холодної прокатки працюють в чотирирядних підшипниках кочення з конічними роликками, а опорні валки – в підшипниках рідинного тертя (ПРТ).

Для виготовлення робочих валків холодної прокатки застосовують високоякісні сталі, що містять мінімальну кількість домішок (9Х, 9Х2, 9ХФ, 9Х2МФ, 9Х2В, 9Х2СВФ, 60Х2СМФ). З приведених марок сталь 60Х2СМФ є доэвтектоидной, а інші – заэвтектоидними. Гарт і відпустка валків забезпечують отримання високої твердості на глибину 15-20 мм на радіус (90-102HSD). Сталі марок 9Х, 9Х2 і 9ХФ, рекомендують застосовувати для виготовлення робочих валків діаметром менше 400 мм. Проте ці сталі застосовують і для виготовлення валків з $D > 400$ мм.

Хромомолібденованадієва сталь 9Х2МФ завдяки підвищеній кількості хрому і наявності молібдену і ванадію володіє значною прогартованістю і в'язкістю, чим стали 9Х, 9Х2, 9ХФ. Сталь марки 9Х2МФ володіє більшою витривалістю і опором викришванню. Практично такими ж технологічними і експлуатаційними властивостями, що і сталь марки 9Х2МФ, володіє хромовольфрамова сталь 9Х2В. Вищі експлуатаційні властивості мають валки з кремніє-вовольфромованадієвої сталі марок 9Х2СВФ і 9ХСВФ. Кремній підвищує теплостійкість сталі і тому в таких валках можна прокатувати штаби з вищими швидкостями. Вказані сталі рекомендують застосовувати для виготовлення валків з діаметром $D > 400$ мм.

Сталеві робочі валки станів холодної прокатки після виготовлення повинні вилежуватися 4-6 місяців для релаксації внутрішніх напружень і лише після цього встановити їх в кліть. Термін вылеживання можна скоротити шляхом низької відпустки нових валків в індукторі при температурі $t \approx 250^{\circ}\text{C}$ на протязі 1,5-2-х годин.

Шліфування робочих валків після зносу необхідно виконувати після їх повного охолодження до температури навколишнього середовища. Технологія механічної обробки валків дана в роботі [54].

До і після шліфування валків профіль їх створюючих вимірюють пасометром (профілемір) (рис. 4.25) з індикатором. Точність вимірювання 0,01 мм (іноді 0,001 мм).

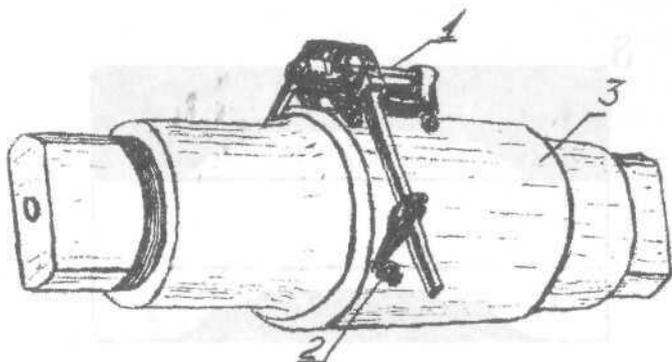


Рис. 4.25. Пасометр: 1 – візок; 2 – індикатор; 3 – бочка валка

В процесі прокатки робочі і опорні валки одержують знос поверхонь бочок в межах 0,05-0,4 мм. В деяких випадках, при контакті з насиченим робочим валком, опорний валок стана холодної прокатки одержують максимальний знос у середині бочки більше 1,5 мм. Форма створюючої зношеного валка обумовлена величиною прогинів валків, станом їх поверхонь, параметрами профіля бочок твірних, шириною штаби, формою епюри розподілу температури по довжині валків.

Найбільш характерні профілі зносу (δ) робочих і опорних валків показані на рис. 4.26. У першому випадку показано характер зносу циліндричного (опуклого) опорного валка при спільній роботі з опуклим робочим валком. Такий же знос має місце на робочих валках у контакті зі штабою. Переважний знос у середині довжини бочки валків обумовлено дією великих контактних напружень (для опорних валків) і великими змінними напруженнями вигину (для робочих валків).

Другий випадок характерний для циліндричних опорних валків при спільній їх роботі з циліндричними або увігнутими робочими валками.

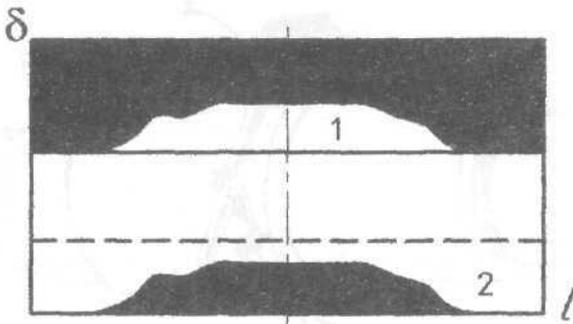


Рис. 4.26. Форми твірних валків після зносу в процесі роботи: 1 – з початковим опуклим профілем; 2 – з початковим циліндричним профілем (1,2 – області зносу валків).

4.16. Типи профілювань бочок валків

Основне завдання профілювання валків листових станів – отримання рівних і точних штаб. Це завдання може бути в значній мірі вирішено застосуванням раціональної початкової форми бочок твірних валків, для конкретного прокатного стану і профілю штаби. Важливе значення при виборі початкового профілювання є також досягнення максимальної експлуатаційної стійкості валків, що прямо впливає на якість поперечного профілю листів. Основними геометричними дефектами штаб (листів) є висока поперечна різновтовщинність, стоншення кромки на ширині 30 – 40 мм і неплоскостність (коробоватість, хвилястість).

Поперечна різновтовщинність штаби (більша товщина у середині ширини) формується на станах гарячої прокатки і вважається нормальною якщо вона складає $\delta_n = 0,03 - 0,05$ мм. Проте часто величина δ_n перевищує вказані значення унаслідок вироблення опорних валків і прокатки широких штаб після вузьких без перевалки робочих валків. Під поперечною різновтовщинністю листа (штаби) мають на увазі відмінність товщини штаби між серединою (h_c) і кромкою штаби ($h_{кр}$) на відстані 40 мм від краю ширини (рис. 4.27):

$$\delta_n = h_c - h_{кр}; \quad h_{кр} = 0,5(h_{II} + h_g).$$

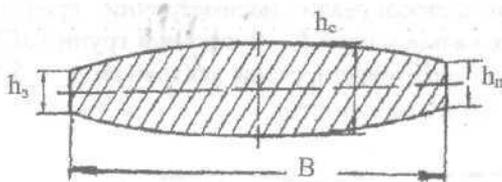


Рис. 4.27. Опуклий поперечний профіль штаби

Найбільш поширені типи профілювання валків ШСХП і ШСГП представлені на рис. 4.28. Обов'язковим в цих профілях є застосування кінцевих скосів (врезів) на опорних валках. Довжина скосів (врезів) $z = 100 - 300$ мм, глибина скосу $0,4 - 0,6$ мм на діаметр, а вреза $1,5 - 3$ мм на діаметр. Наявність скосів (врезів) опорних валків виключає затискання краєвих ділянок бочок робочих валків і запобігає утворенню хвилястості кромки штаби. Найбільш доцільним є виконання опорних валків з короткими врезами ($c_1 = 80 - 100$ мм) і довгими скосами ($150 - 200$ мм) з опуклістю $f_{оп} = 0,2 - 0,8$ мм.

Робочі валки виконують циліндричними (а,б), з випуклим профілем бочки (в) або з увігнутим профілем. Величина опуклості на діаметр складає $f = 0,05 - 0,5$ мм. На ШСГП один з робочих валків виготовляють (шліфують) з увігнутим профілем ($f_p = 0,05 - 0,2$), а перед установкою в кліть середину бочки підігрівають в індукторах до отримання необхідного (опуклого) профілю [30].

Симетричними профілюваннями валків (рис. 4.28) можна регулювати міжвалковий зазор при симетричному і рівномірному по ширині зносі валків. У разі нерівномірного зносу бочок валків симетричні профілювання валків не можуть забезпечити отримання якісного поперечного профілю штаби. У цих умовах прокатки профіль штаби одержує клиновидний профіль поперечного перетину. Ця клиновидність (до $0,05 - 0,08$ мм) може з'явитися і в результаті різної температури країв штаби. З метою усунення клиновидності на меткомбінаті

«Запоріжсталь» для усунення клиновидності штаби по ширині виготовлені скоси завдовжки $C = 500$ мм і завглибшки $\delta = 0,3$ мм на діаметр). застосовували несиметричні профілі бочок верхніх опорних валків клітей 5 – 9 чистової групи ШСГП 1680 (з боку приводу виготовлені скоси завдовжки $z = 500$ мм і завглибшки $\delta = 0,3$ мм на діаметр).

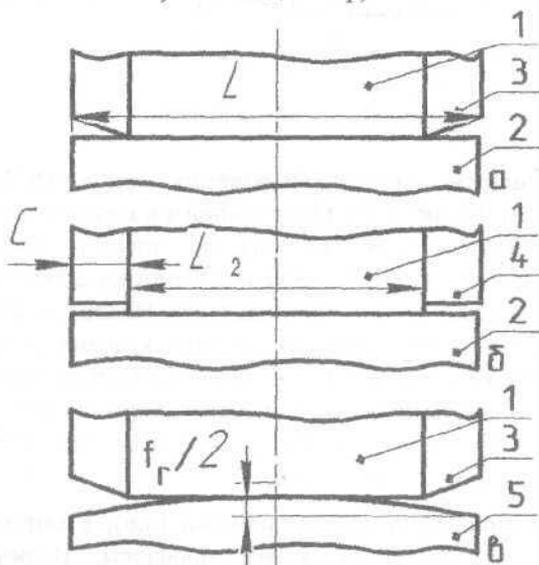


Рис.4.28. Типи початкових профілів валків (а – в): 1 – бочка опорного валка; 2 – робочий валок з циліндричним профілем створюючої; 3 – краєвий скіс опорного валка; 4 – краєвий врез опорного валка; 5 – робочий валок з опуклим профілем створюючої бочки

Симетричне профілювання робочих валків не може компенсувати нерівномірність їх зносу при тривалому прокатуванні штаби з $V \approx \text{const}$. Таке вироблення валків погіршує якість поперечного профілю штаби, викликає необхідність частой їх заміни на нові.

Зменшення нерівномірності зносу валків досягається застосуванням, так званої, безпрограмної прокатки, в якій передбачається регулярна (після прокатки чергової штаби)

зміна положення максимального зносу шляхом осьового зсуву робочих валків відносно один одного в протилежні сторони на 75 – 100 мм. Такий процес ліквідує на ваках місцеві вироблення, а на штабі місцеві потовщення, збільшує термін їх служби в кліті (Японія).

З метою істотного підвищення ефективності регулювання поперечного профілю штаби японськими фірмами «Хитаچی сейсакусе» і «Син ниппон сейтецу» розроблена конструкція шестивалкової кліті (рис. 4.29). Особливістю конструкції кліті є те, що між робочими 2 і опорними 4 валками розміщені проміжні 3 валки; які можуть переміщатися в осьовому напрямі відповідно до різних умов прокатки. Проміжні валки можуть зміщуватися в протилежних напрямках щодо штаби 1 і встановлюватися по кромці в будь-якому положенні залежно від ширини штаби. При цьому досягається можливість регулювати відповідний прогин робочого валка, зменшувати нерівномірність розподілу міжвалкового тиску і тиску під штабою (q_y і p_y) і підвищувати площинність штаби. При регулюванні профілю штаби пристроями протипрогину 5 робочих валків ефект регулювання дещо знижується із-за контакту краю бочки одного з робочих валків з проміжним валком з кожної сторони кліті. Це значною мірою компенсується вільним відгином краю бочки іншого робочого валка, позбавленого опори на проміжний валок. У цих клітях діаметр робочих валків на ~ 30% менше, ніж в клітях кварту, а хід проміжних валків в осьовому напрямі становить ~300 мм. В процесі експлуатації цих клітей був виявлений ряд недоліків, які обмежують їх використання. До основних недоліків відносять [49, 65]:

- Ефективність регулювання зменшується при збільшенні ширини штаби, а при прокатуванні максимальної ширини стає аналогічною чотиривалковий, але з модулем жорсткості на 30% менше;
- Несиметричний по ширині знос всіх трьох пар валків, збільшений знос робочого валка меншого діаметру. Це скорочує міжперевалочний період роботи валків.

У ФРН запропоновано профілі робочих валків S – образної форми (валки SVC), який забезпечує управління профілем

штаби в процесі прокатки (рис. 4.30). Два валки, які відшліфовані у формі «пляшки» в кліті кварто примусово переміщують в осьовому напрямі протилежно один одному. При цьому досягається отримання прямокутної, опуклої або увігнутої форми межвалкового зазора в процесі експлуатації валків (поперечного перетину штаби). Різниця діаметру валка SVC по його довжині залежно від сортаменту штаб знаходиться в межах 0,3 – 0,8 мм. За даними випробувань S – образне профілювання валків забезпечує зниження різновтовщинисті штаби і підвищення експлуатаційної стійкості валків. Проте S – образне профілювання робочих валків викликає нерівномірний знос опорних валків, що погіршує умови регулювання товщини штаби по її ширині, а перенесення приводу на опорні валки підвищує бюджетні витрати на виготовлення і будівництво стана SVC. Проте систему валків SVC використовують на багатьох станах прокатки штаб (табл.3.9).

Підвищення точності штаб забезпечується також використанням несиметричних профілюрок валків із зсувом вершин опуклостей двох суміжних валків (ПСВО) на відстань $S_0 = (0,2 - 0,3)L$ щодо один одного. Межвалковий зазор, форма якого змінюється при осьовому переміщенні валків, дає можливість регулювати поперечний профіль штаби і її площинність [41].

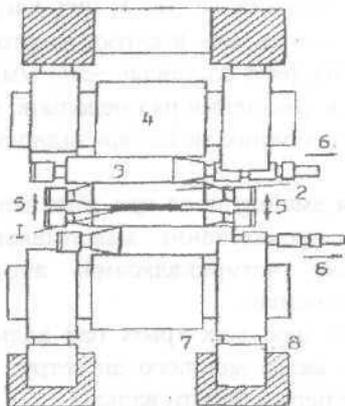


Рис. 4.29. Схема шестивалкової кліті: 1 – штаба; 2 – робочий валок; 3 – проміжний валок; 4 – опорний валок; 5 – напрям дії вигину робочих валків; 6 – напрям осьового переміщення; 7 – месдоза; 8 – гідроциліндр нажимного пристрою.

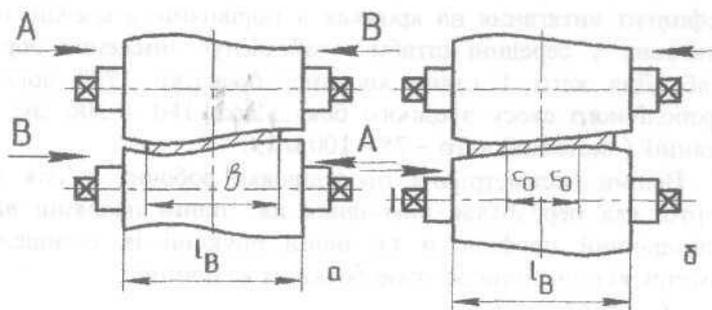


Рис. 4.30. Профілі валків типу CVC (а) і із зміщеними опуклостями (б) А, В – напрям зсуву валків.

В порівнянні з валками типу CVC, дане профілювання дозволяє регулювати розміри межвалкового зазора при меншому осьовому зсуві валків і простіше у виготовленні.

Більша різноманітність профілів запропонована для валків станів холодної прокатки штаб. При холодному прокатуванні деформація штаби не повинна змінюватися відносно поперечної різнотовщинності горячекатаної штаби, тобто

$$\frac{H_c}{H_k} = \frac{h_c}{h_k},$$

де H_c , H_k , h_c , h_k – товщина штаба відповідно у середині (с) і на кромці (к) для горячекатаної (H_i) і холоднокатаної (h_i) штаб.

Порушення цієї умови приводить до появи неплоскостності (непланшетності) штаби.

Основне завдання холодної прокатки, разом із зменшенням товщини штаби – забезпечити її високу площинність (відсутність хвилястості і жолобчатості), при постійній її відносній поперечній різнотовщинності.

Профілі опорних валків, які запропоновані в роботі [41], виконані по параболі вищого порядку ($m \geq 4-6$) і забезпечують більш рівномірний розподіл міжвалкового тиску у клітях де відсутня система CVC. З метою зниження розтягуючих напружень на кромках штаб довжину скосів (врезів) опорних валків зменшують від першої кліті стану до наступних. Таке профілювання дозволяє збільшувати по ходу прокатки

коефіцієнт витягання на кромках в порівнянні з коефіцієнтом витягання у середині штаби і забезпечує зниження обривів штаб. Для кліті 1 стана холодної прокатки 1700 довжина параболічного скосу з одного боку валка 180 – 300 мм, а в останній (чистовий) кліті – 75 – 100 мм.

Відома несиметрична профілювка робочих валків кліті кварто, яка передбачає виконання на одній половині валка циліндричний профіль, а на іншій опуклий із зменшенням діаметру від середини до краю бочки на величину

$$f_p = 0,05 - 0,4 \text{ мм}$$

Причому верхні і нижні робочі валки мають протилежні опуклі і циліндричні ділянки [41, 72] (рис. 4.31).

Несиметричне розташування опуклостей верхнього і нижнього валків в кліті і правильно встановлені значення f_p при осьовому зсуві дозволяє регулювати межвалковий зазор на задану величину. Крім того,

таке профілювання робочих валків не має опуклих вершин, що зменшує нерівномірність зносу опорних валків і забезпечує самоцентрування валків і штаби по осі прокатки, сприяє зниженню стонцювання кромки.

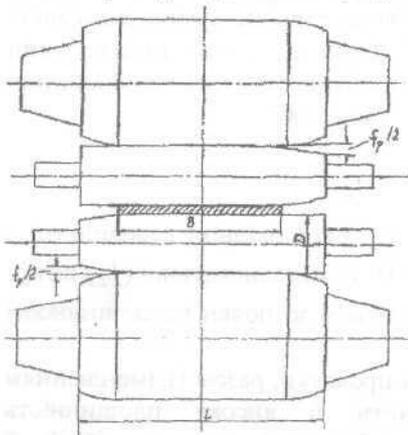


Рис. 4.31. Клітть кварто з несиметричним профілюванням робочих валків.

На 20-ті валкових станах в даний час використовують декілька типів профілювань валків. Причому, профілюють в основному перші проміжні валки з кінцевими скосами, які оснащені механізмами осьового переміщення. Робочі валки мають циліндричний профіль або невелику (до 0,4 мм) опуклість. На ряді станів застосовують симетричні профілі перших проміжних валків. При цих профілюваннях відсутні

осьові навантаження на підшипники робочих валків і вони також забезпечують отримання якісних штаб з неплощинністю 2 – 3 мм. Проте при таких профілях довжина циліндричної частини L_2 валка повинна кожного разу змінюватися при зміні ширини штаби або марки стали металу [41].

4.17. Прогини валків чотирьохвалкової кліті

У чотирьохвалковій кліті штабового (листового) стана прогин робочого валка обумовлений ступеню нерівномірності розподілу міжвалкового (q_y) і погонного (p_y) по ширині штаби тиску, а прогин опорного валка визначається силою прокатки і його жорсткістю. Визначивши прогини валкового комплексу можна розрахувати величину необхідної початкової опуклості (угнутості) робочого валка, для отримання штаби (листа) з поперечної різновтовщинністю, що допускається.

Нерівномірності міжвалкових і погонного тиску оцінюється коефіцієнтами n і n_1 :

$$n = q_1/q_0; \quad n_1 = p_1/p_0. \quad (4.1)$$

де q_0 і q_1 – міжвалкові тиски по осі і на кромці контакту; p_0 і p_1 – погонний тиск по осі і на кромці контакту штаби з валком.

На підставі досліджень В. П. Полухина [76] коефіцієнти n і n_1 можуть бути визначені з формул:

$$n = \left[0,86 + 0,97 \frac{B}{L_2} \left(2,44 \frac{B}{L_2} - 1 \right) - 5,9 \frac{D_1}{D_2} \left(1 - 1,56 \frac{D_1}{D_2} \right) \right] \times \\ \times \left[0,5 + 0,5 \left(1 - \frac{10^3 f_{\Sigma}}{L_2} \right)^2 \right], \quad (4.2)$$

$$n_1 = 0,87 + 3,15 \cdot \left(\frac{B}{L} - 0,39 \right)^4, \quad (4.3)$$

де D_1 і D_2 – діаметри робочого і опорного валків; B – ширина штаби; L_2 – довжина активній частині створюючої опорного валка (без скосів, врезів); f_{Σ} – сумарна опуклість робочого і опорного валків.

Коефіцієнт n_1 за даними [77,78] менше одиниці ($n_1 < 1$), но дослідження виконано в двохвалковій кліті. При прокатуванні в чотирьохвалковій кліті коефіцієнт n_1 не визначено [41] ширина штаби через коефіцієнт n_1 суттєво впливає на прогин валків і величину опуклості робочого валка. При $n_1 < 1$ прогин валків більш ніж при $n_1 > 1$.

При прокатуванні вузьких штаб ($B/L < 0,6$) коефіцієнти $n < 1$, $n_1 < 1$ і прогин валків максимальний. В цьому випадку міжвалковий q_0 і погонний p_0 тиски максимальні по осі валків (рис. 4.32). Для штаб шириною $B/L = 0,75 - 0,8$ величини q_y і p_y розподілені по довжині контакту практично рівномірно і коефіцієнти $n = n_1 \approx 1$, а власний прогин робочих валків може бути відсутнім. У загальному випадку розподіл тисків по довжині контакту можуть бути визначені по формулах [22, 41].

$$q_y = \frac{P(1+m)}{L_2(m+n)} \left[1 + (n-1) \left(\frac{2y}{L_2} \right)^m \right]; \quad (4.4)$$

$$p_y = \frac{P(1+m_1)}{B(m_1+n_1)} \left[1 + (n_1-1) \left(\frac{2y}{B} \right)^{m_1} \right],$$

де m і m_1 – показники ступеня кривизни епюр міжвалкового тиску і тиску штаби на валки; y – координата довжини контакту. Як впливає з формул, показники ступеня кривизни епюр тиску роблять певний вплив на характер розподілу їх по довжині контакту. Проте на підставі практичних даних можна приймати $m = m_1 = 2$. Тоді:

$$q_y = \frac{3P}{(2+n) \cdot L_2} \left[1 + (n-1) \left(\frac{2y}{L_2} \right)^2 \right],$$

$$p_y = \frac{3P}{B(2+n_1)} \left[1 + (n_1-1) \left(\frac{2y}{B} \right)^2 \right].$$

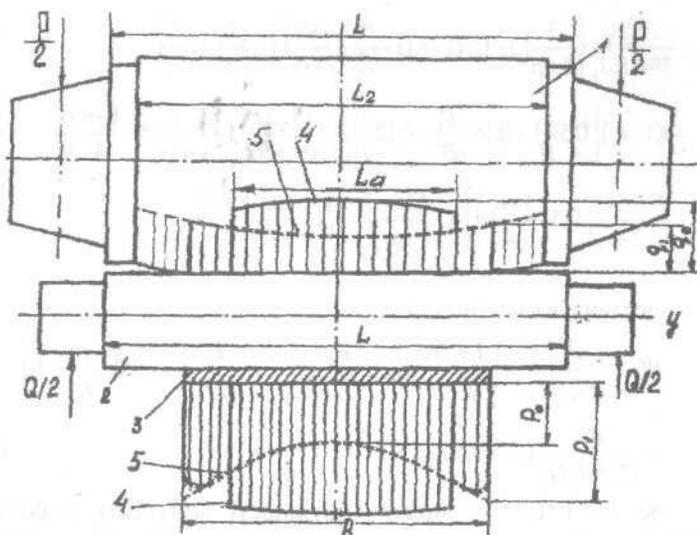


Рис. 4.32. Нерівномірний розподіл тиску $q(y)$ між новими циліндричними опорними і робочими валками і робочим валком і штабою $p(y)$: 1 – опорний валок; 2 – робочий валок; 3 – штаба; 4 – ешпора $p(y)$ і $q(y)$ при прокатуванні вузьких штаб; 5 – теж при прокатуванні широких штаб

Задавши умови прокатки, розміри валків і визначивши силу прокатки по відомих формулах між q_y (p_y) і прогинами балки, лежачої на пружній основі, визначають прогини робочого (W_1) і опорного (W_2) валків.

Під дією тиску p_y відбувається власний вигин робочого валка. Опорний валок чинить опір цьому вигину і на межвалковом контакті виникає реакція у вигляді тиску q_y . Сума тисків q_y в свою чергу викликає вигин опорного валка. Таким чином, розміри зазора між робочими валками буде в першу чергу визначатися сумою прогинів робочих і опорних валків.

Теоретичним шляхом прогини робочого і опорного валків розраховують по формулах [22, 41]:

Прогин робочого валка ($m = 2$) на довжині L_2

$$W_1 = \frac{PL_2^3 A_1}{384 E_1 J_1} \left\{ \frac{3}{2+n} [3-1,7(1-n)] - \frac{B^3}{L_2^3} \cdot \frac{3}{2+n_1} \left[1-4 \frac{L_2}{B} + 6 \frac{L_2^2}{B^2} - \right. \right. \\ \left. \left. - 8(1-n_1) \left(0,5 \frac{L_2^4}{B^4} - 0,167 \frac{L_2^3}{B^3} - 0,12 \right) \right] \right\} + \frac{PL_2 A_1 k}{4\pi R_1^2 G_1} \left[\frac{3}{2+n} \left(0,5 - \frac{1-n}{4} \right) - \right. \\ \left. - \frac{B}{L_2} \frac{3}{2+n_1} \left(0,5 - \frac{1-n_1}{4} \right) \right] + \frac{QL_2^3}{32 E_1 J_1} \left[\frac{a}{L_2} \left(1 - \frac{2a^2}{3L_2^2} \right) - \frac{1}{3} \right]; \quad (4.5)$$

опорного валка ($m_1 = 2$)

$$W_2 = \frac{PL_2^3 A_1}{29,5 E_2 J_2} \left[\frac{1+2n}{2+n} + 2,9 \frac{E_2 J_2 L}{G_2 R_2^2 L_2^3} \left(1 - \frac{L_2}{2L} \right) - 0,92 \left(\frac{a}{L_2} - 1 \right) \right] + \\ + \frac{Pk}{12,5 R_2^2 G_2} (L - 0,5L_2), \quad (4.6)$$

де E_1 і E_2 – модулі пружності матеріалу робочого і опорного валків; G_1 і G_2 – модулі зсуву матеріалу робочого і опорного валків; J_1 і J_2 – моменти інерції перетинів робочого і опорного валків; a – відстань між осями натискних гвинтів; k – коефіцієнт ($k = 1,2$); Q – сила противигину валка.

Моменти інерції рівні:

$$J_1 = 0,785 R_1^4; \quad J_2 = 0,785 R_2^4,$$

де R_1 і R_2 – радіуси робочого і опорного валків.

Модулі пружності і зрушення рівні:

сталеві валки	чавунні валки
$E = 220000 \text{ Н/мм}^2;$	$E = 186000 \text{ Н/мм}^2;$
$G = 87000 \text{ Н/мм}^2;$	$G = 73500 \text{ Н/мм}^2;$

Прогини валків компенсують початковим профілюванням бочок робочого або (и) опорного валків. Проте форма і розміри зазора між робочими валками визначається і іншими чинниками. У загальному вигляді величина опуклості або угнутості бочки твірної робочого валка може бути визначена наступним чином

$$f_p = \left[W_1 + W_2 - 0,5\delta_n \left(\frac{L_2}{B} \right)^2 \right] \left(\frac{L}{L_2} \right)^2 - 0,5(f_{OI} - \delta_{OI}) - \Delta \Delta t, \quad (4.7)$$

де δ_{Π} - поперечна різнотовщинність штаби в кліті; L_2 - активна довжина бочки опорного валка (без урізів, скосів); B - ширина штаби; L - повна довжина бочки опорного (робочого) валка; $f_{оп}$ - початкова опуклість опорного валка або опуклість в результаті розігрівання; $\delta_{оп}$ - знос опорного валка; ΔD_t - теплова опуклість робочого валка, мм

$$\Delta D_t = 0,155 \sqrt[3]{(\Delta t / 35)^2}, \quad (4.8)$$

де Δt - градієнт температур (град.) по довжині бочки валка (експериментальні дані або задані).

Приклад. Визначити прогини робочого і опорного валків кліті широкоштабового стана 700/1400×1700 мм гарячої прокатки при силі прокатки $P = 20$ МН; відстань між осями натискних гвинтів $a = 2650$ мм, $L_2 = 1550$ мм, ширина штаби $B = 1200$ мм. Визначимо коефіцієнт n при $f_{оп} = 0$:

$$n = 0,86 + 0,97 \cdot 0,77(1,9 - 1) - 5,9 \cdot 0,5(1 - 0,78) \cdot 0,585 = 0,54;$$

$$n_1 = 0,87 + 3,15 \cdot (0,71 - 0,39)^4 = 0,9.$$

Моменти інерції дорівнюють:

$$J_1 = \frac{3,14}{64} 700^4 = 0,012 \cdot 10^{12}, \text{ мм}^4;$$

$$J_2 = \frac{3,14}{64} 1400^4 = 0,19 \cdot 10^{12}, \text{ мм}^4.$$

Прогин робочого валка:

$$W_1 = \frac{2 \cdot 1,55^3 \cdot 10^{16}}{384 \cdot 1,5 \cdot 0,012 \cdot 10^{17}} \left\{ \frac{3}{2,54} (3 - 0,77) - 0,46 \frac{3}{2,9} \left[1 - 4 \cdot 1,29 + \right. \right. \\ \left. \left. + 6 \cdot 1,67 - 8 \cdot 0,1(0,5 \cdot 2,46 - 0,167 \cdot 2,1 - 0,12) \right] \right\} + \frac{2 \cdot 1,55 \cdot 1,2 \cdot 10^{10}}{12,6 \cdot 0,13 \cdot 4,5 \cdot 10^{10}} \\ \left[\frac{3}{2,54} \left[(0,5 - 0,115) - 0,77 \frac{3}{2,9} (0,5 - 0,025) \right] \right] = 0,09 \text{ мм.}$$

Прогин опорного валка:

$$W_2 = \frac{2 \cdot 1,55^3 \cdot 10^{16}}{29,5 \cdot 2,2 \cdot 0,19 \cdot 10^{17}} \left[\frac{1 + 2 \cdot 0,54}{2 + 0,54} + 2,9 \frac{2,2 \cdot 0,19 \cdot 1,55 \cdot 10^{20} \cdot 0,55}{0,82 \cdot 0,7^2 \cdot 1,55^3 \cdot 10^{20}} - 0,92(1,7 - 1,0) \right] + 0,043 = 0,096 \text{ мм.}$$

Опуклість одного робочого валка рівна ($\delta_n = 0,06$ мм; $\Delta D_i = 0$):

$$f_p = \left[0,09 + 0,096 - 0,5 \cdot 0,06 \left(\frac{1550}{1200} \right)^2 \right] \left(\frac{1700}{1550} \right)^2 \approx 16 \text{ мм.}$$

4.18. Розрахунок енергосилових параметрів прокатки

Сумарне обтиснення при холодному прокатуванні штаб знаходиться в межах 45 – 75% і визначається отриманням необхідних механічних властивостей готових штаб після прокатки, віддалу і дресування. Величина сумарного обтиснення залежить від кількості клітей, товщини і матеріалу штаби. Ширина штаби впливає на сумарне обтиснення спільно із товщиною штаби. Звичайно більшій ширині штаби відповідає більша товщина і менше сумарне обтиснення. З табл. 4.9 витікає, що із збільшенням кількості клітей з чотирьох до п'яти (стан 2030) сумарне обтиснення зростає з $\varepsilon_{\Sigma} = 0,64$ до $\varepsilon_{\Sigma} = 0,714$, тобто в 1,12 разу. Аналіз режимів деформацій штаб різних розмірів показує, що залежності сумарного обтиснення від товщини штаби мають параболічний характер.

На ШСХП має місце різний характер розподілу Δh (ε) по клітях стана. Так, на ШСХП 1680 прийнята схема (а) (рис. 4.33), при якій максимальне обтиснення доводиться на кліть 1. В цьому випадку максимально використовуються пластичні властивості незміцненого металу, рівномірно розподіляються силові навантаження по клітях стана. Застосування варіантів (б, в) обтиснень (зменшення обтиснень в кліть 1) покращує умови захвату металу валками і забезпечує зменшення поздовжньої різнотовщинності штаби.

Таблиця 4.9. Режими деформації штаби 1×1100 із сталі марки Ст. 2 кп на різних станах холодної прокатки

№№ кліт	Параметри прокатки (мм), по станах								
	1680			1700			2030		
	h	Δh	ε_{Σ}	h	Δh	ε_{Σ}	h	Δh	ε_{Σ}
1	1,77	0,93	0,345	2,2	0,60	0,214	2,68	0,82	0,234
2	1,37	0,40	0,492	1,55	0,65	0,447	1,9	0,78	0,457
3	1,07	0,29	0,60	1,15	0,40	0,59	1,4	0,50	0,60
4	0,97	0,10	0,64	1,0	0,15	0,643	1,12	0,28	0,68
5	-	-	-	-	-	-	1,0	0,12	0,714

Аналіз режимів деформацій штаб всього сортаменту на чотирьохвалковому стані, показує наступний розподіл приватних обтиснень по клітках стана [64, 79]:

№ кліті	1	2	3	4
$\Delta h_i / \Delta h_{\Sigma}$	0,5 – 0,55	0,23 – 0,3	0,16 – 0,18	0,06 – 0,08

де Δh_{Σ} – сумарне обтиснення в чотирьох клітках стана.

Для п'ятиклітьового стана 2030 в першому наближенні можна прийняти наступний розподіл приватних обтиснень:

№ кліті	1	2	3	4	5
$\Delta h_i / \Delta h_{\Sigma}$	0,33	0,31	0,2	0,11	0,05

Ці дані можуть бути використані для попереднього розрахунку параметрів прокатки (див. також п.4.19).

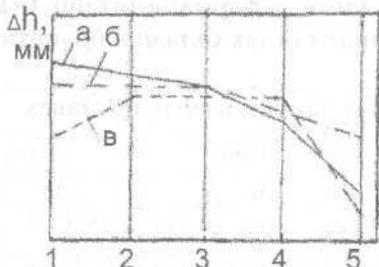


Рис. 4.33. Розподіл (а – б) абсолютних обтиснень по клітках (1 – 5) ПСХП

Приклад: Виконаємо розрахунок енергосилових параметрів при прокатуванні штаб із сталі марки Ст.2кп з розмірами 1×1000 мм на ПСХП 2030. Характеристика стана дана в п. 4.3. Відповідно до відомих даних приймаємо шорсткості робочих валків (R_a , мкм):

№ кліті	1	2 - 4	5
R_a , мкм	5,0	1,5	4,5;

Смазочно-охолоджуюча рідина – емульсія мінерального масла з концентрацією $\sim 4\%$.

Можливе сумарне відносне обтиснення ($h = 1$ мм), $\varepsilon_{\Sigma} = 0,71$, а початкова товщина штаби буде рівна

$$H = h / (1 - \varepsilon_{\Sigma}) = 1 / (1 - 0,71) \approx 3,5 \text{ мм}$$

У табл.4.3 товщина гарячекатаного підкату рівна $H = 3,5$ мм.

Кліть 1. Визначимо параметри прокатки в кліті 1. Швидкість валків в п'ятій кліті рівна $v_5 = 21,9$ м/с, то з умови постійності секундних об'ємів знаходимо (табл. 4.9)

$$v_1 = h_5 \cdot v_5 / h_1 = 1 \cdot 21,9 / 2,68 = 8,16 \text{ м/с.}$$

Сумарне абсолютне обтиснення штаби в стані дорівнює

$$\Delta h_{\Sigma} = H - h_5 = 3,5 - 1,0 = 2,5 \text{ мм.}$$

Обтиснення по клітках визначаємо із параметра $\Delta h_1 / \Delta h_{\Sigma}$ слідуючим чином

$$\Delta h_1 = (\Delta h_1 / \Delta h_{\Sigma}) \cdot \Delta h_{\Sigma} = 0,33 \cdot 2,5 \approx 0,82 \text{ мм,}$$

що відповідає табл.4.9. Відносне обтиснення у кліті №1 дорівнює $\varepsilon = \Delta h_1 / H = 0,82/3,5 = 0,234$.

Визначимо коефіцієнти тертя і інші параметри по формулах робіт [20, 64] при початковій температурі деформації $t = 25^\circ\text{C}$.

1. Коефіцієнт тертя дорівнює

$$f = f_0 \cdot k_d \cdot k_n \cdot k_{cm} \cdot k_t, \quad (4.8)$$

де f_0 – базовий коефіцієнт тертя; k_d , k_n , k_{cm} , k_t – поправочні коефіцієнти, що враховують відповідно величину обтиснення, шорсткість поверхні штаби, тип технологічного мастила і початкову (перед кліттю) температуру штаби.

Базовий коефіцієнт тертя дорівнює:

при $v < 7,5$ м/с

$$f_0 = 0,076 - 0,0019v + 0,031(R_a - 0,6) \times \quad (4.9)$$

$\times [(1,07 - 0,14v)^3 + 0,054v - 0,26];$

при $v > 7,5$ м/с

$$f_0 = k_v \cdot [0,062 + 0,005(R_a - 0,6)]. \quad (4.10)$$

Коефіцієнти k_d і k_n рівні:

$$\left. \begin{aligned} k_d &= 0,5 + 1,77\varepsilon + 0,165R_a(1 - 3,33 \cdot \varepsilon) \\ k_n &= 1,09 - 0,05R_{an} \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

де R_{an} – шорсткість поверхні штаби.

Шорсткість поверхні гарячекатаного металу можна приймати 3-5 мкм, а після клітей стану холодної прокатки $R_{an} \approx 0,5R_a$ тобто половині висоти шорсткості валків.

Коефіцієнт k_v рівний: при $v < 8,0$ м/с – $k_v = 1$, а при $v > 8$ м/с маємо

$$k_v = 0,56 + 0,7(1 - 0,025v)^2. \quad (4.11)$$

Коефіцієнт k_t визначимо по формулі

$$k_t = a + c(1,11 - 0,0044 \cdot t_H)^n \quad (4.12)$$

де t_n – температура металу перед осередком деформації, °С;
а, с, n – коефіцієнти, рівні:

для мінеральної емульсії, масел – ИС – 20, ПКС – 1:

$$a = 0,31 + 1,7\epsilon; \quad c = 1,2 - 2,8\epsilon; \quad n = 3,84 - 5,7\epsilon; \quad (4.13)$$

для мастила ТЭМП – 1 коефіцієнти, дорівнюють:

$$a = 1,19; \quad c = -0,31; \quad n = 2,0.$$

Коефіцієнт $k_{см}$ дорівнює: емульсія мінерального масла – $k_{см} = 1,0$; бавовняне натуральне масло – $k_{см} = 0,94$; соняшникова гідрогенізована олія (ПКС) – $k_{см} = 0,85$; пальмова олія – $k_{см} = 0,83$; бавовняне полімеризована олія – $k_{см} = 0,56$.

Тобто, чим більша в'язкість мастила і кількості в ній ПАР (поверхнево – активних речовин), тим ефективніше технологічне мастило [25, 35]. Для приведених початкових даних по формулах (4.8) – (4.13) ($k_{см} = 1,0$; $k_v \approx 1$; $R_{вп} = 2,5$ мкм) одержимо:

$$f_0 = 0,062 + 0,005(5 - 0,6) = 0,084;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,234 + 0,165 \cdot 5(1 - 3,33 \cdot 0,234) = 1,08;$$

$$k_{дл} = 1,09 - 0,05 \cdot 2,5 = 0,97.$$

Для розрахунку коефіцієнта k_t в кліті 1 початкову температуру штаби можна приймати в межах 20–30 °С. У подальших клітках початкову температуру штаби перед кліткою слід приймати рівній кінцевій температурі t_k в попередній кліті з урахуванням охолодження на міжвалкової ділянці. Для нашого прикладу в кліті 1 приймаємо $t_n = 25^0\text{С}$ і коефіцієнт k_t з формули (4.12) рівний:

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,237 \approx 0,7;$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,237 \approx 0,53;$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,237 \approx 2,46;$$

$$k_t = 0,7 + 0,53(1,11 + 0,0044 \cdot 25)^{2,46} = 1,23.$$

Загальна величина коефіцієнта тертя з формули (4.8) складає ($k_v \approx 1,0$)

$$f = 0,084 \cdot 1,08 \cdot 0,97 \cdot 1,23 = 0,108.$$

Показник тертя з формули (2.10) [20, 64] рівний:

$$f_{II} = 1,6f - 0,018;$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,108 - 0,018 = 0,155.$$

2. Розрахуємо напруження течії металу [20, 69]. Сталь марки Ст. 2 кп містить наступні хімічні елементи (%): (0,09 - 0,15) С; $\leq 0,03$ Si; (0,35 - 0,5) Mn. Вуглецевий еквівалент для вуглецевої сталі в загальному випадку рівний

$$C_3 = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{W}{4}. \quad (4.14)$$

Базове (початкове після відпалу) напруження течії та його приріст за рахунок зміцнення при $\varepsilon = 40\%$ відповідно рівні:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{T0} &= 210 + 263C_3; \\ \Delta\sigma_T &= 209 + 460C_3. \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Коефіцієнт, що враховує обтиснення, рівний:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\Sigma} &= 0 - 0,4 \\ k_{\varepsilon} &= 1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_{\Sigma}}{0,4}\right)^{1,5+C} ; \\ \varepsilon_{\Sigma} &\geq 0,40 - 0,7 \\ k_{\varepsilon} &= 1 + 0,87(\varepsilon_{\Sigma} - 0,4)^{0,5} \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

Напруження течії металу після кліті визначають по формулі

$$\sigma_{T1} = \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot k_{\varepsilon} \quad (4.16)$$

Напруження течії розраховуємо при максимальному вмісті хімічних елементів в сталі [(4.14) - (4.16)]:

$$C_3 = 0,15 + 0,001 + 0,083 = 0,234;$$

$$\sigma_{T0} = 210 + 263 \cdot 0,234 = 271,6 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\Delta\sigma_T = 209 + 460 \cdot 0,234 = 318 \text{ Н/мм}^2;$$

$$k_{\varepsilon} = 1 - \left(1 - \frac{0,237}{0,4}\right)^{1,65} = 0,77;$$

$$\sigma_{T1} = 271,6 + 318 \cdot 0,77 = 515,6 \text{ Н/мм}^2.$$

В результаті впливу швидкості і температури деформації напруження течії металу при холодному прокатуванні змінюється в порівнянні з одержаним по формулі (4.16). Відповідно до досліджень [40] врахувати цей вплив пропонується спеціальними коефіцієнтами [20, 64].

$$\sigma'_{T1} = n_u \cdot n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot k_\varepsilon \quad (4.17)$$

Напруження течії металу на міжвалковому проміжку (перед подальшою кліткою), за відсутності деформації визначимо по формулі ($n_U = 1,0$)

$$\sigma_{T1} = n_t \cdot \sigma_{T0} + \Delta\sigma_T \cdot k_\varepsilon \quad (4.18)$$

Середній опір металу в осередку деформації дорівнює

$$\sigma_\phi = 1,15 \left[\sigma_{T(i-1)} + 0,67 (\sigma'_{T1} - \sigma_{T(i-1)}) \right] \quad (4.19)$$

де $\sigma_{T(i-1)}$ - напруження течії металу перед кліткою (проходом) [формула (4.18)]; σ'_{T1} - напруження течії металу після кліти (проходу) [формула (4.17)]; n_u і n_t - відповідно коефіцієнти, що враховують швидкість деформації і температуру, визначаються з формул:

$$\left. \begin{aligned} n_u &= 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln u}{13,8} \right)^2 ; \\ n_t &= 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{t_u}{300} \right)^2 . \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

Швидкість деформації визначаємо по виразу [20]

$$u = v \cdot \varepsilon / l_c \quad (4.21)$$

де l_c - довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби; v - швидкість в мм/с.

Оскільки довжина дуги l_c поки невідома заздалегідь приймаємо l_c / l_a : кліт 1, 2 – (1,3 – 1,4); кліт 3 – (1,4 – 1,5); кліт 4 – (1,6 – 1,7); кліт 5 – (1,7 – 2,0).

Для кліт 1 маємо ($D=600\text{мм}$, $v=8,16\text{м/с}$)

$$l_c = 1,4\sqrt{R \cdot \Delta h} = 1,4\sqrt{300 \cdot 0,82} = 22,4 \text{ мм}$$

і з формули (4.21) одержимо

$$n = 8160 \cdot 0,234 / 22,4 = 86,5 \text{ с}^{-1}$$

З формул (4.20) одержимо:

$$n_n = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{4,46}{13,8} \right)^2 = 1,254;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{25}{300} \right)^2 = 0,993.$$

Тоді з формул (4.17) і (4.18) одержимо

$$\sigma'_{T1} = 1,254 \cdot 0,993 \cdot 271,6 + 318 \cdot 0,77 = 583 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T1} = 0,993 \cdot 271,6 + 318 \cdot 0,77 = 515,6 \text{ Н/мм}^2.$$

З формули (4.19) одержимо

$$\sigma_\phi = 1,15 \cdot [271,6 + 0,67(583 - 271,6)] = 553 \text{ Н / мм}^2$$

3. Довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби рівна (сталеві валки):

$$l_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R\Delta h \left(1 - c \frac{f_n}{2h_{cp}} \right)}}{2 \left(1 - c \frac{f_n}{2h_{cp}} \right)}; \quad (4.22)$$

$$c = n_{cp} \cdot \sigma_\phi \frac{R}{47500}; \quad (4.23)$$

$$x_2 = n_1 \cdot \sigma_{\phi 1} \frac{R}{95000};$$

$$l_c = l'_c + x_2 \quad (4.24)$$

де R – радіус жорсткого валка; n_{cp} і n_1 – коефіцієнти, що враховують вплив середніх напружень натягання і напруження натягання переднього кінця штаби:

$$n_{cp} = 1 - \frac{\sigma_n + \sigma_3}{2\sigma_{\phi}}; \quad n_1 = 1 - \frac{\sigma_{II}}{\sigma_{\phi 1}}, \quad (4.25)$$

де σ_n, σ_3 – напруження переднього і заднього натягань.

Напруження натягання змінюються в широких межах. Для неперервного стана перед кліттю 1 напруження $\sigma_3 = 20 - 30$ Н/мм². Після чистової кліті $\sigma_{II} = 40$ Н/мм². На міжклітьових проміжних ділянках

$$\sigma_{II} = \sigma_3 = (0,1 - 0,2) \sigma_{T1}; \quad \sigma_{\phi 1} = 1,15 \sigma'_{T1}$$

Оскільки розрахунок виконуємо для кліті 1, то приймаємо $\sigma_3 = 25$ Н/мм², а $\sigma_{II} = 0,15 \cdot \sigma_{T1} = 0,15 \cdot 515,6 = 77,5$ Н/мм².

З формул (4.25) знайдемо:

$$n_{cp} = 1 - \frac{25 + 77,5}{2 \cdot 553} = 0,91; \quad n_1 = 1 - \frac{77,5}{1,15 \cdot 515,6} \approx 0,9$$

З формул (4.23) знаходимо параметри c і x_2 :

$$c = 0,91 \cdot 553 \frac{300}{47500} = 3,2 \text{ мм};$$

$$x_2 \approx 0,9 \cdot 670 \frac{300}{95000} = 1,7 \text{ мм}.$$

Складова дуги контакту із формули (4.22) рівна

$$l_c = \frac{3,20 + \sqrt{10,3 + 4 \cdot 300 \cdot 0,82 \left(1 - 3,20 \frac{0,155}{2 \cdot 3,07}\right)}}{2 \left(1 - 3,20 \frac{0,155}{2 \cdot 3,07}\right)} = 18,1 \text{ мм}.$$

Повна довжина дуги контакту з (4.24) рівна

$$l_c = 18,1 + 1,70 = 19,80 \text{ мм.}$$

4. Знаходимо енергосилові параметри прокатки. Середнє нормальне контактне напруження рівно ($f_n = 0,12$, $C_H = 0,48$)

$$p_{cp}' = \sigma_{cp} \left(1 + C_H \cdot f_n \cdot l_c / h_{cp} \right) \quad (4.26)$$

і з урахуванням натягнення

$$p_{cp} = p_{cp}' \left(1 - \frac{\sigma_n + \sigma_s}{2p_{cp}'} \right). \quad (4.27)$$

Всі параметри відомі, то одержимо

$$p_{cp}' = 553(1 + 0,48 \cdot 0,155 \cdot 19,8 / 3,07) = 820 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp} = 820 \left(1 - \frac{25 + 77,5}{1640} \right) = 770 \text{ Н/мм}^2.$$

Сила прокатки з (1.31)

$$P = p_{cp} \cdot l_c \cdot B$$

$$P = 770 \cdot 0,0198 \cdot 1,1 = 16,9 \text{ МН.}$$

Момент прокатки з урахуванням впливу натягання рівний (на двох валках)

$$M = 2\psi \cdot P \cdot l_c + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_s \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{b}{B} \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_s} \right) \quad (4.28)$$

ψ - коефіцієнт положення рівнодіючої сил.

З роботи [39] витікає, що

$$\psi = 0,48(l_d/l_c)^2; \quad (4.29)$$

$$\psi = 0,48 \left(\frac{\sqrt{300 \cdot 0,83}}{19,8} \right)^2 = 0,302.$$

Момент кручення з формули (4.28) на двох валках ($b/B \approx 1$)

$$M = 2 \cdot 0,302 \cdot 16,9 \cdot 0,0198 + 3,5 \cdot 1100 \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \times \\ \times (1 - 0,76 \cdot 3,11) = 0,207 - 0,053 = 0,154 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Потужність на бочці валків

$$N = 960 \cdot 0,154 \cdot 8,16 / 0,3 = 4030 \text{ кВт}$$

що менше потужності встановленого двигуна ($N_{\text{дв}} = 8400$ кВт).

5. Визначимо температуру t_k штаби на виході з кліті по формулі [20,64]

$$t_k = \varphi t_n + \Delta t, \quad (4.30)$$

де φ - коефіцієнт, що враховує втрати температури штаби на міжклітьовій ділянці; Δt - приріст температури в осередку деформації [68]:

$$\Delta t = 0,05 m \cdot (p_{cp} + \sigma_\phi) \ln H/h, \quad (4.31)$$

де m - коефіцієнт, рівний для низковуглецевої сталі

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{t_n}{480} - 0,042 \right)^{1,4}. \quad (4.32)$$

Для наших умов одержимо (для кліті 1 приймаємо $\varphi = 1$):

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{25}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,175$$

$$\Delta t = 0,05 \cdot 2,175 (770 + 553) \ln 3,5 / 2,67 = 38,3^\circ\text{C}$$

$$t_k = \varphi \cdot 25 + 38,3 = 63,3^\circ\text{C}$$

Кліть 2. Визначимо швидкість прокатки в кліті 2 (табл.4.9) ($h_2 = 1,9$ мм, $\Delta h_2 = 0,78$; шорсткість валків - $1,5$ мкм R_a)

$$v_2 = h_3 \cdot v_3 / h_2 = 1 \cdot 21,9 / 1,9 = 11,56 \text{ м/с.}$$

Решту параметрів визначимо по алгоритму розрахунку для кліті 1:

$$k_v = 0,56 + 0,7 (1 - 0,025 v)^2 =$$

$$= 0,56 + 0,7 (1 - 0,025 \cdot 11,56)^2 = 0,91;$$

$$f_0 = k_v [0,062 + 0,005 (R_a - 0,6)] =$$

$$= 0,91 (0,062 + 0,005 \cdot 0,9) \approx 0,06;$$

$$k_d = 0,5 + 1,77 \cdot 0,291 + 0,165 \cdot 1,5 (1 - 3,33 \cdot 0,291) = 1,04;$$

$$k_n = 1,05 - 0,05 \cdot R_{an} = 1,05 - 0,05 \cdot 2,5 = 0,93.$$

Шорсткість поверхності штаби перед кліткою приймають рівною $R_{an} = 0,5 \cdot R_{a(1)}$, тобто рівній половині висоти шорсткості валків після попередньої кліти. Коефіцієнт k_{cm} для емульсії мінерального масла приймають рівним $k_{cm} = 1$.

Далі маємо (температуру t_n приймаємо із розрахунку кліти 1- $t_k \approx 63,0^\circ\text{C}$ при $\varphi = 0,8$):

$$a = 0,31 + 1,7 \cdot 0,291 \approx 0,81;$$

$$c = 1,2 - 2,8 \cdot 0,291 \approx 0,38;$$

$$n = 3,84 - 5,7 \cdot 0,291 \approx 2,17;$$

$$k_t = 0,81 + 0,38(1,11 - 0,0044 \cdot 63)^{2,17} = 1,03;$$

$$f_0 = 0,061 \cdot 1,04 \cdot 0,93 \cdot 1,03 = 0,063.$$

$$f_n = 1,6 \cdot 0,063 - 0,018 = 0,082;$$

Для подальших міжкліткових проміжків коефіцієнт φ приймаємо рівним 0,75-0,6 (чим менша товщина штаби, тим менше значення коефіцієнта φ).

Сумарне обтиснення в двох клітках (кліти 1 і 2) рівне

$$\varepsilon_\Sigma = \frac{H_0 - h_2}{H_0} = \frac{3,5 - 1,9}{3,5} = 0,458$$

Початкове напруження течії підкату $\sigma_{т0}$ розраховано раніше (для кліти 1) і воно рівне $\sigma_{т0} = 271,6 \text{ Н/мм}^2$. Зміцнення металу при $\varepsilon_\Sigma = 0,4$ також визначене раніше і воно рівне $\Delta\sigma_{т0} = 318 \text{ Н/мм}^2$. Визначимо коефіцієнт зміцнення металу k_ε при $\varepsilon_\Sigma > 0,4$ по формулі (4.15)

$$k_\varepsilon = 1 + 0,87(0,468 - 0,4)^{0,5} = 1,025;$$

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{300 \cdot 0,78} = 15,3 \text{ мм};$$

$$l_c = 1,35 \cdot l_d = 1,35 \cdot 15,3 = 20,7 \text{ мм};$$

$$u = v \cdot \varepsilon / l_c = 1150 \cdot 0,291 / 20,7 = 163 \text{ с}^{-1};$$

$$n_u = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{\ln u}{13,8} \right)^2 = 1 + 0,38 \left(0,5 + \frac{5,09}{13,8} \right)^2 = 1,33;$$

$$n_t = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{t_n}{300} \right)^2 = 0,8 + 0,23 \left(1 - \frac{63}{300} \right)^2 = 0,98;$$

$$\sigma'_{T1} = n_t \sigma_{t0} + \Delta \sigma_T k_s = 1,33 \cdot 0,98 \cdot 271,6 + 318 \cdot 1,09 = 673 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{T1} = 0,98 \cdot 271,6 + 318 \cdot 1,025 = 582 \text{ Н/мм}^2,$$

σ_{T1} – напруження течії металу в міжвалковому проміжку, (перед подальшою кліткою).

При розрахунку опору металу в клітці 2 (і подальших клітках) визначають σ_ϕ з урахуванням зміцнення металу в попередній клітці [див. формулу (4.18)].

Опір металу деформації σ_ϕ

$$\sigma_\phi = 1,15 \left[515,6 \cdot 0,98 + 0,67 (673 - 515,6 \cdot 0,98) \right] = 710$$

Н/мм².

Задне і переднє натягнення штаби в клітці 2 і інші параметри рівні:

$$\sigma_3 = 0,15 \cdot \sigma_{T1(i-1)} = 0,15 \cdot 515,6 = 77,5 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{II} = 0,15 \cdot \sigma_{T1} = 0,15 \cdot 582 = 87 \text{ Н/мм}^2;$$

$$n_{cp} = 1 - \frac{\sigma_3 + \sigma_{II}}{2 \cdot \sigma_\phi} = 1 - \frac{77,5 + 87}{1420} \approx 0,88;$$

$$n_1 = 1 - \frac{\sigma_{II}}{\sigma_\phi} = 1 - \frac{87}{710} = 0,88.$$

Допоміжні параметри і довжина дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби (валки сталеві):

$$c = n_{cp} \cdot \sigma_\phi \frac{R}{47500} = 0,88 \cdot 710 \frac{300}{47500} = 3,96 \text{ мм};$$

$$\sigma_{\phi 1} = 1,15 \cdot \sigma'_{m1} = 1,15 \cdot 673 = 775 \text{ МПа};$$

$$x_2 = n_1 \cdot \sigma_{\phi 1} \frac{R}{95000} = 0,88 \cdot 775 \frac{300}{95000} = 2,15 \text{ мм};$$

$$h_{op} = \sqrt{H \cdot h} = \sqrt{2,68 \cdot 1,9} = 2,26 \text{ мм};$$

$$l_c = \frac{c + \sqrt{c^2 + 4R \cdot \Delta h \left(1 - c \frac{f_n}{2h_{cp}}\right)}}{2 \left(1 - c \frac{f_n}{2h_{cp}}\right)} = \frac{3,96 + \sqrt{15,6 + 4 \cdot 300 \cdot 0,78 \left(1 - 3,96 \frac{0,062}{4,52}\right)}}{2 \left(1 - 3,96 \frac{0,062}{4,52}\right)} \approx 18,6 \text{ мм}$$

$$l_c = l'_c + x_2 = 18,6 + 2,15 = 20,75 \text{ мм.}$$

Знаходимо енергосилові параметри:

$$p'_{cp} = \sigma_{\phi} (1 + C_H \cdot f_{II} \cdot l_c / h_{cp}); \quad (4.33)$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot f_n) \text{ при } f_n \leq 0,12;$$

$$C_H = 0,48 \text{ при } f_n \geq 0,12;$$

$$C_H = 0,17(1 + 14,7 \cdot 0,082) = 0,385;$$

$$p'_{cp} = 710(1 + 0,385 \cdot 0,082 \cdot 20,75 / 2,26) = 918 \text{ Н/мм}^2;$$

$$p_{cp} = p'_{cp} \left(1 - \frac{\sigma_n + \sigma_s}{2p'_{cp}}\right) = 918 \left(1 - \frac{77,5 + 87}{1836}\right) = 832 \text{ Н/мм}^2.$$

$$P = p_{cp} \cdot l_c \cdot B = 832 \cdot 0,02075 \cdot 1,1 = 19,0 \text{ МН.}$$

$$\psi = 0,48(l_d / l_c)^2 = 0,48(\sqrt{300 \cdot 0,78} / 20,75)^2 = 0,259;$$

$$M = 2\psi \cdot P \cdot l_c + H \cdot B \cdot R \cdot \sigma_s \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{h}{H} \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_s}\right) =$$

$$= 2 \cdot 0,259 \cdot 19,0 \cdot 0,02075 + 2,68 \cdot 1,1 \cdot 0,3 \cdot 77,5 \cdot 10^{-3} \left(1 - \frac{19}{2,68} \cdot \frac{87}{77,5}\right) =$$

$$= 0,205 + 0,014 = 0,219 \text{ МН} \cdot \text{м,}$$

$$N = 960 \cdot M \cdot v / R = 960 \cdot 0,219 \cdot 11,56 / 0,3 = 7920 \text{ кВт,}$$

$$m = 2,2 - 0,65 \left(\frac{t_H}{480} - 0,042 \right)^{1,4} =$$

$$= 2,2 - 0,65 \left(\frac{63}{480} - 0,042 \right)^{1,4} = 2,17;$$

$$\Delta t = 0,05m \cdot (p_{cp} + \sigma_\phi) \ln H/h =$$

$$= 0,05 \cdot 2,17 (832 + 710) \ln 2,68/1,9 = 61^\circ\text{C};$$

$$t_k = \varphi t_H + \Delta t = 0,8 \cdot 63 + 61 = 112^\circ\text{C}.$$

Аналогічно виконуємо розрахунки і для інших клітей (табл. 4.10.). У табл. 4.10 потужність N відповідає умовам деформації на бочках валків. Урахування впливу тертя в шийках валків і деталях головної лінії стана приводить до збільшення потужності на валу двигуна на 7 – 12%.

Таблиця 4.10. Розрахункові параметри прокатки штаби 1x1100мм

№ клітей	h , мм	Δh , мм	σ_ϕ , Н/мм ²	l_∞ , мм	P_{cp} , Н/мм ²	P , МН	Ψ	M , МН·м	N , кВт	v , м/с	t_k , °C	f_{II}
1	2,86	0,82	553	19,8	770	16,9	0,302	0,154	4030	8,17	63	0,155
2	1,9	0,78	710	20,75	832	19	0,259	0,215	7920	11,56	112	0,082
3	1,39	0,5	755	17,8	980	19,1	0,23	0,158	5860	15,8	180	0,078
4	1,12	0,27	800	15,0	1100	18,2	0,162	0,081	5030	19,6	222	0,084
5	1,0	0,12	827	12,49	925	12,7	0,11	0,065	4580	21,9	242,5	0,062

4.19. Алгоритм розрахунку і аналіз режиму деформації неперервного стану холодної прокатки

На широкоштабових станах холодної прокатки (ШСХП) відносне обтиснення по клітках стану розподіляють по декількох варіантах [12, 19, 31 і ін.]:

1 - максимальне відносне обтиснення призначають в першій клітці стану; 2 - максимальне відносне обтиснення призначають в другій клітці стану; 3 - відносне обтиснення практично однакове у всіх клітках стану, окрім чистової, в якій воно менше; 4 - відносне обтиснення практично однакове у всіх клітках окрім першої, де воно менше.

У першому варіанті максимально використовують пластичні властивості гарячекатаного підкату при деформації металу в першій клітці стану при недостатній потужності електродвигунів в подальших клітках, а також при прокатуванні тонких штаб ($h = 0,4 - 0,5$ мм) на п'ятикліткових станах. Крім того, цей режим деформації дозволяє збільшити товщину гарячекатаного підкату і разом з тим підвищити продуктивність широкоштабового стану гарячої прокатки.

Другий режим деформації штаб забезпечує вирівнювання поздовжньої різновтовщинності штаби в першій клітці при порівняно невеликому обтисненні ($\epsilon = 14 - 25\%$) і достатній потужності приводів в подальших клітках. Раціональний розподіл відносного обтиснення в другому варіанті забезпечує прокатку штаб в 2х - 3х клітках стану з однаковим зусиллям металу на валки. Це дозволяє одержувати високу якість поперечного профілю штаби за рахунок однакових пружних деформацій валкового комплексу і подібної форми міжвалкового зазору в клітках. Відмічені вище достоїнства забезпечуються також при використанні третього варіанту режиму деформації. Четвертий варіант режиму деформації використовують при прокатуванні тонких штаб ($h = 0,4 - 0,7$ мм) з метою збільшення товщини штаби перед чистовою кліткою і зниження вірогідності пориву штаби.

Сумарне обтиснення при холодному прокатуванні визначають з урахуванням вимог, що пред'являються до якості

готової продукції. Але за всіх умов величина сумарного обтиснення залежить від кінцевої товщини, ширини і матеріалу штаби, можливостей прокатного стану. У першому наближенні сумарне обтиснення при прокатуванні різних штаб можна визначити за даними табл. 4.11., які одержано за наслідками аналізу режимів деформації на ПСХП 1680 (меткомбінат «Запоріжсталь»), стані 1700 Маріупольського металургійного комбінату (ММК) і стані 2030 Новоліпецького металургійного комбінату (НЛМК). З табл.4.11 виходить, що сумарне обтиснення ϵ_{Σ} зменшується з підвищенням міцності властивостей сталей і збільшенням кінцевої товщини h штаби.

Формули табл. 4.11 дійсні при розрахунку максимального відносного обтиснення всіх розмірів штаб по ширині для чотирьохкільтових і п'ятикільтових станів холодної прокатки. Проте при прокатуванні широких штаб зниження навантажень на устаткування досягається шляхом зменшення швидкості прокатки без зміни товщини підкату або шляхом одночасного зменшення швидкості прокатки і товщини підкату. Так, наприклад, на стані 2030 НЛМК при прокатуванні штаб $h = 0,7$ мм із сталі марки Ст. 2кп [31] застосовують наступні режими залежно від ширини штаби B :

B , мм	H_0 , мм	ϵ_{Σ} , %	v , м/с
900	2,6	73,08	27,4
1100	2,6	73,08	27,4
1250	2,6	73,08	26,3
1600	2,6	73,08	22,1
1850	2,4	70,3	16,4

Як видно з приведених даних, при прокатуванні вузьких штаб ($B/L_s = 0,42 - 0,54$; L_s - довжина бочки валка) режим деформації повністю ідентичний.

Збільшення сили прокатки пропорційно збільшенню ширини штаби. При прокатуванні штаб шириною $B = 1250 - 1600$ мм ($B/L_s = 0,61 - 0,79$) для запобігання перевантаженню

двигунів проводять зменшення швидкості прокатки. При прокатуванні штаб шириною $B = 1850$ мм на $\approx 8\%$, знижують товщину підкату - с $H_0 = 2,6$ мм до $H_0 = 2,4$ мм і суттєво зменшують швидкість прокатки.

Особливістю режимів деформації на ШСХП є прокатка штаб по марках сталей, з близькими величинами початкового напруження течії (табл.4.11.) і товщині гарячекатаного підкату. На чотирьохкільцевих станах з одного підкату прокатують два - три розміри кінцевих штаб. Так, на ШСХП 1680 меткомбината «Запоріжсталь» штаби з розмірами $1,0 - 1,3 \times 1000 - 1500$ мм прокатують з гарячекатаного підкату товщиною $H_0 = 3,0$ мм.

У чистових клітках ШСХП величина відносного обтиснення змінюється в межах $6 - 30\%$. Обтиснення в межах $6 - 16\%$ застосовують для спрощення отримання штаб з високою якістю поперечного профілю. Якщо дозволяє потужність двигуна, то у ряді випадків в чистовій клітці при прокатуванні тонких штаб ($h = 0,4 - 0,7$) застосовують відносне обтиснення в межах $\epsilon = 20 - 30\%$. При такому режимі деформації товщина штаби перед чистовою кліткою забезпечує зниження напружень заднього натягання і знижує вірогідність пориву штаби на міжкільцевої ділянці.

Стосовно кожного стана, величина відносного обтиснення в чистовій клітці обумовлена, головним чином, отриманням високої якості поперечного профілю штаби і, як показує практика, залежить від товщини штаби і хімічного складу матеріалу. Для станів 1680, 1700 і 2030 емпіричні залежності відносного обтиснення в чистовій клітці для груп марок сталей представлені в табл.4.12.

Аналіз даних табл. 4.12. показує, що в умовах стана 1680 (ЗС) (потужність двигуна $N_4 = 3300$ кВт), величина відносного обтиснення ϵ_n в чистовій клітці зменшується із збільшенням товщини штаби і напруження течії металу. На стані 1700 (ММК) ($N_4 = 4800$ кВт) при прокатуванні штаб завтовшки $1 - 2$ мм величина відносного обтиснення ϵ_n зменшується із збільшенням товщини штаби, але однакова для всіх марок стали і помітно вище, ніж на стані 1680. Проте на стані 1680 максимальне

обтиснення приходиться на першу кліть ($N_1 = 3300$ кВт) (рис.4.35, крива I) при меншій потужності двигуна.

Таблиця 4.11. Сумарне відносне обтиснення для чотирьохклітьових станів 1680 і 1700 і п'ятиклітьового стану 2030

Група сталі	Марки сталі	Стан, розмір штаби, мм.	Формула для розрахунку
I	05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 08Ю, Ст. 1кп, Ст. 1пс	1700 (1680) $h < 2,0$ $B < 1500$	$\epsilon_{\Sigma} = 0,834 - 0,167h$
II	Ст.0, Ст.2кп, Ст.2пс, Ст.3кп, Ст.3пс, 15кп, 20кп, 15сп, 20сп, 15пс, 20пс, Ст.3сп	1700 (1680) $h < 2,0$ $B < 1500$	$\epsilon_{\Sigma} = 0,768 - 0,154h$
I	05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 08Ю, Ст.1кп, Ст. 1пс, Ст.2кп	2030 0,4 - 3,5 $B < 1850$	$\epsilon_{\Sigma} = 0,415 + 0,096(3,5 - h)^{1,2}$
I	05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 08Ю, Ст.1кп, Ст. 1пс, Ст.2кп	2030 0,7 - 3,5 $B=1850$	$\epsilon_{\Sigma} = 0,365 + 0,103(3,5 - h)^{1,2}$

При прокатуванні штаб на стані, 2030 (НЛМК) наявність більшої кількості клітей і великих потужностей головних приводів ($N_i = 8400$ кВт) дозволяє застосовувати режим деформації по варіанту б (рис. 4.33) при відносних обтиснення в першій клітці $\epsilon_1 = 16-25\%$ і в чистовій $\epsilon_c < 14\%$. Режим деформації в клітях 2 - 4 проектують так, щоб забезпечити рівність сил і потужностей прокатки в цих клітях [31]. Цей режим деформації при збільшеній товщині підкату на стані 2030, в порівнянні із станом 1700, забезпечує зниження поздовжньої і поперечної різнотовщинності і високу якість форми штаб.

Таблиця 4.12. Залежності відносного обтиснення в чистовій кліті ШСХП 1680, 1700 і 2030 від товщини штаби і хімічного складу сталі

Марка сталі	Підприємство ^{х)}	Товщина штаби, мм	Розрахункова формула для $\epsilon_{\text{ч}}\%$
05кп, 08кп, 08пс, 10кп, 10пс, 08Ю, Ст. 1кп, Ст. 1пс	ЗС,НЛМК ММК ММК ММК	0,5 - 2,0 0,8-1,1 (В<1250) 1,0 - 2,0 0,4 - 0,7	$\epsilon_{\text{ч}} = 14,7 - 3,8 h$ $\epsilon_{\text{ч}} = 26,6 - 13,3 h$ $\epsilon_{\text{ч}} = 16 - 7(h - 1,0)^{0,7}$ $\epsilon_{\text{ч}} = 20 - 30$
Ст.3кп, 15кп, 20кп, 3сп, 15сп, 20сп, 15пс, 20пс	ММК	1,0 - 2,0	$\epsilon_{\text{ч}} = 16 - 7(h - 1,0)^{0,7}$
15кп, 15пс, Ст. 2кп (пс), Ст.3кп (пс)	ЗС,НЛМК	0,8 - 2,0	$\epsilon_{\text{ч}} = 11,2 - 3,5(h - 0,8)^{0,9}$
10, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, Ст.3сп	ЗС,НЛМК	0,7 - 2,0	$\epsilon_{\text{ч}} = 12,5 - 6(h - 0,7)^{0,4}$
^{х)} - ЗС - меткомбінат «Запоріжсталь» (4 - кліті); ММК - Маріупольський металургійний комбінат (4 - кліті); НЛМК - Новоліпедський металургійний комбінат (5 - кліті).			

Таким чином, раціональний для конкретного ШСХП режим деформації, повною мірою визначається кількістю клітей, потужністю приводів, законом розподілу обтиснень по клітях і наявністю систем регулювання міжвалкових зазорів і контролю площинності штаби. Проте за всіх вказаних вище умов раціональним слід рахувати рівність величин сил прокатки в найбільшій кількості клітей стана, що і підтверджується даними роботи [31]. При цьому з урахуванням, що режим деформації ($h = \text{const}$) практично однаковий для штаб різної ширини, то при проектуванні режиму деформації енергосилові параметри слід розраховувати тільки для максимальної ширини штаби однієї марки сталі.

Алгоритм розрахунку режиму деформації штаби для п'ятиклітьового стана. У відмінності від відомих [12, 19], коли

для заданого режиму деформації розраховують енергосилові параметри, в даному алгоритмі, на підставі ітераційних операцій, варіант режиму деформації розраховують з умови рівності сил і потужності прокатки в декількох клітках. Крім того, використовуються практично встановлені величини сумарного обтиснення і обтиснення в чистовій клітці [68, 79].

1. Введення початкових даних (діаметр робочих валків D , діаметр і довжина шийки (d_w і l_w) опорних валків, шорсткість робочих валків R_α , напруження, що допускається на вигин опорних валків, розміри і матеріал штаби і т.п.)

2. Розрахунок сили прокатки, що допускається, виходячи з міцності валків по шийці опорного валка, визначають із формули

$$[P] = \frac{0,4 \cdot d_w^3 [\sigma_{us}]}{l_w}, \quad (4.34)$$

де d_w і l_w – діаметр і довжина шийки валка.

3. Визначимо сумарне обтиснення штаби (ε_Σ) з формул табл. 4.11 для і різних станів і для відповідного розміру штаби, а також товщину гарячекатаного підкату:

$$\varepsilon_\Sigma = x_a - x_c h; \quad \varepsilon_\Sigma = x_a + x_c (3,5 - h)^{1,2};$$

$$H_0 = h / (1 - \varepsilon_\Sigma),$$

де x_a і x_c – числові коефіцієнти у формулах табл. 4.11.

4. Відносне обтиснення в чистовій клітці визначаємо з формул табл. 4.12.

$$\varepsilon_4 = x_a - x_c h,$$

$$\varepsilon_4 = x_a - x_c (h - x_d)^{n_a},$$

де x_d – числовий коефіцієнт; n_a – показник степені; x_a і x_c – коефіцієнти (табл. 4.12).

Інші геометричні параметри в чистовій клітці ($h_4 = h_5$; $\varepsilon_4 = \varepsilon_5$) рівні:

$$H_{i=5} = h_{i-1} = h_4 / (1 - \varepsilon_4);$$

$$\Delta h_i = H_i \varepsilon_i$$

5. Сумарне абсолютне обтиснення в клітках (1 – 3) дорівнює

$$\sum \Delta h_{1-4} = H_0 - h - \Delta h_4,$$

де Δh_4 - обтиснення в чистовій клітці

6. Задаємо по клітках 1-4 стана можливі відносні обтиснення. При цьому, відповідно до практики прокатки для клітці 1 по варіанту «б» розподілу обтиснень приймають (рис.4.33):

чотирьохклітьовий стан - $\varepsilon_1 = (0,33-0,37) \varepsilon_{\Sigma}$;

п'ятиклітьовий стан - $\varepsilon_1 = (0,31 - 0,33) \varepsilon_{\Sigma}$;

З урахуванням цього можна прийняти для стана наступні межі відносних обтиснень по клітках 1- 4- $\varepsilon_1 = 0,15 - 0,35$. Із збільшенням товщини штаби (при зменшенні сумарного обтиснення) верхню межу відносного обтиснення знижують. При проектуванні режиму деформації по вар. « α » (рис.4.33) в клітці 1 межа відносного обтиснення $\varepsilon_1 = 0,25 - 0,4$, а в проміжних клітках приймають $\varepsilon_{2,4} = 0,2- 0,3$. Це підвищує точність розрахунку енергосилових параметрів.

7. Виконуємо ітераційний процес для визначення величин обтиснень із умов рівності сил прокатки в клітках 1-3 (чотирьохклітьовий стан) і в клітках 1-4 (п'ятиклітьовий стан) або з інших умов. Приймаємо для п'ятиклітьового стана – $v_{1-5} = 16 - 30$ м/с, для чотирьохклітьового стана:

першого покоління - $v_{1-4} = 7,5 - 10$ м/с («Запоріжсталь»);

другого покоління - $v_{1-4} = 12 - 25$ м/с (Маріуполь).

Розрахунок коефіцієнта f і показника f_n тертя, напруження течії σ_{T1} , і опору металу деформації $\sigma_{ф1}$ (середнє, до і після прокатки), довжини дуги контакту з урахуванням пружних деформацій валків і штаби, і натягання (l_{cl}), середнього контактного напруження p_{cp} з урахуванням натягання штаби, сили, крутного моменту і потужності прокатки. Розрахунок виконують для кожної клітці при ε'_1 і ε''_1 (див.п.4.18).

Напруження течії визначають з урахуванням швидкості і температури деформації (див. вище). Величини швидкості прокатки приймають з п.7.

5. ТОЧНІСТЬ І ПЛОЩИННІСТЬ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ

5.1 Пружна деформація прокатної кліті

Внаслідок дії сили прокатки деталі прокатної кліті пружно деформуються (стійки піддаються розтягуванню, поперечина і валки прогинаються, подушки, підшипники, натискні гвинти, гайки – стискаються), усуваються зазори в системі натискний гвинт - подушки. Розмір і форма зазора між робочими валками змінюються в порівнянні з початковими, а штаба одержує відповідні товщину, поперечну різновтовщинність і площинність. Визначення товщини штаби на виході з кліті виконують з використанням робот [32, 42, 80]. Сумарна пружна деформація (пружина) робочої кліті пропорційна величині сили прокатки, і може бути визначена дослідним або теоретичним шляхом.

При дослідному визначенні пружини кліті вимірюють початковий зазор між валками, товщину штаби після прокатки і зусилля прокатки, серії штаб. Побудувавши залежність $P = f(\delta_{кл})$, (де $\delta_{кл}$ – пружна деформація кліті) можна визначити жорсткість кліті (рис. 5.1). Величина пружної деформації кліті визначає товщину штаби

$$h = S_0 + S_1 + P/M_{кл}, \quad (5.1)$$

де S_0 – установочний зазор між валками у ненавантаженому стані; S_1 – сума зазорів у контактах системи робочий валок – натискний гвинт; P – сила прокатки; $M_{кл}$ – модуль жорсткості кліті.

Сума $[S_1 + (P/M_{кл})]$ називається пружиною кліті. Модуль жорсткості кліті $M_{кл}$ є тангенс кута α (рис. 5.1) і визначається за виразом

$$M_{кл} = \operatorname{tg} \alpha = \Delta P / \Delta \delta_{кл}, \quad (5.2)$$

де $\Delta \delta_{кл}$ – приріст пружної деформації кліті при зміні сили на величину $\Delta P = P - P_0$.

Приймаючи $S = S_0 + S_1$, запишемо

$$h = S + P/M_{кл}. \quad (5.3)$$

Це рівняння носить назву Симса-Головина. Дослідженнями та теоретично встановлені часткові складові пружної деформації (%):

валкова система	- 50...70
станина	- 15...20
натискний вузол	- 10...15
підшипники	- 10...15
інші деталі	- до 10.

Як видно із даних, найбільшу деформацію одержують валки у зв'язку з прогином і сплюсненням на міжвалковому контакті, просіданням опорних валків. Установочний зазор S може мати такі величини: $S = 0$; $S > 0$; $S < 0$. Співвідношення $S > 0$ дійсне під час прокатки товстих та середніх за товщиною штаб, а інші - під час прокатки тонких штаб. Так, в умовах холодної прокатки, як правило, $S < 0$. У цьому випадку, під дією натискних гвинтів валковий вузол при їхньому холостому оберті натискають "у забій" і тоді (рис. 5.1):

$$h = \Delta\delta_{кл} = \delta_0 - S_3, \quad (5.4)$$

де S_3 - попередній "забій" валків; δ_0 - сумарна деформація кліті.

Ураховавши вираз (5.2), одержимо

$$h = \Delta\delta_{кл} = (P - P_0)/M_{кл}; \quad (5.5)$$

Рівняння (5.3) включає в себе два невідомих (h і S) і тому для його рішення необхідне друге вираження, яке зв'яже зміну товщини штаби та сили прокатки. Якісна залежність сили прокатки від товщини штаби показана на рис. 5.2 (крива 2). Крива 2 називається кривою пластичної деформації штаби (H - початкова товщина штаби). Із рис. 5.2 маємо, що із зменшенням товщини штаби (за рахунок збільшення обтиснення) сила P зростає, а інтенсивність підвищення сили P зумовлена інтенсивністю зміцнення штаби. Точка "0" перетину кривих, відповідає товщині, яку одержали під час прокатки

штаби. В точці "0" внутрешня сила з боку штаби, дорівнює зовнішній силі Р.

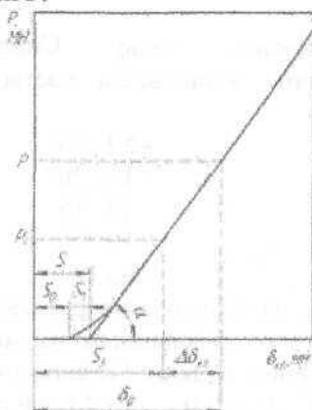


Рис. 5.1. Залежність пружини кліті від сили прокатки.

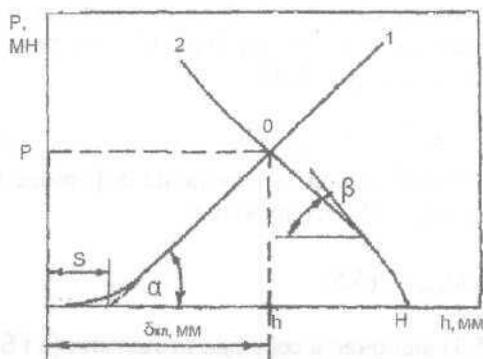


Рис. 5.2. Суміщення пружної лінії кліті (1) і кривої пластичної деформації штаби (2).

Перемінний кут β характеризує модуль жорсткості штаби:

$$M_{ш} = \operatorname{tg} \beta = \partial P / \partial h. \quad (5.6)$$

Модуль жорсткості штаби відображає ступінь зміни сили прокатки при зміні на 1 мм кінцевої товщини штаби.

Формула (5.6) представлена у частних похідних, так як $\operatorname{tg} \beta$ величина перемінна, і передбачує у собі вплив на силу прокатки усіх інших факторів. Рівняння (5.3) і (5.6) дають змогу визначити зміни товщини штаби за її довжиною в залежності від зміни умов прокатки (сили P).

5.2. Розрахунок поздовжньої різнотовщинності штаби

Процес поздовжньої прокатки нестабільний за довжиною штаби внаслідок періодичної зміни початкових товщини, напруження течії, натягування, коефіцієнта тертя, биття валків і т.п. Відповідно із зміною указаних факторів змінюється сила прокатки, пружні деформації кліті (міжвалковий зазор) і, звідси, товщина штаби. Кількісні зміни товщини штаби за її довжиною визначаються із використання вираження (5.3) після його диференцювання:

$$dh = dS + dP/M_{кл} - (P/M_{кл}) \cdot (dM_{кл}/M_{кл}). \quad (5.7)$$

Приймаючи незмінним модуль жорсткості кліті $[(P/M_{кл}) \cdot (dM_{кл}/M_{кл}) = 0]$, дістанемо

$$dh = dS + dP/M_{кл}. \quad (5.8)$$

Фізичний зміст рівняння відображає величину зміни товщини штаби при зміні сили прокатки (dP) та зазора між валками (dS). Збільшення dS і dP за яких-небудь причин призводить до відповідного збільшення товщини штаби. Повний диференціал dS дорівнює:

$$dS = dA - 2dD_p - dD_{оп}, \quad (5.9)$$

де A – відстань між осями опорних валків; D_p – діаметр робочого валка; $D_{оп}$ – діаметр опорного валка.

Диференціали рівняння (5.9) враховують зміни указаних параметрів у процесі прокатки. Сила прокатки залежить від зміни геометричних, кінематичних параметрів осередку деформації, напруження течії металу і т.п.

$$P = \Phi(H, h, D_p, \sigma_T, f, \sigma_{II}, \sigma_3), \quad (5.10)$$

де σ_T – напруження течії металу; σ_{II} і σ_3 – напруження переднього і заднього натягування.

З урахуванням модулів жорсткості робочої кліти і штаби у роботах [42, 80] надано головне рівняння поздовжньої різнотовщинності штаби:

$$\begin{aligned} dh = & \frac{1}{M_{кл} - \partial P / \partial h} (M_{кл} \cdot dS + \frac{\partial P}{\partial H} dH + \frac{\partial P}{\partial B} dB + \frac{\partial P}{\partial R_p} dR_p + \\ & + \frac{\partial P}{\partial \sigma_T} d\sigma_T + \frac{\partial P}{\partial f} df + \frac{\partial P}{\partial \sigma_{II}} d\sigma_{II} + \frac{\partial P}{\partial \sigma_3} d\sigma_3). \end{aligned} \quad (5.11)$$

Диференціали ($\partial P / \partial H$, $\partial P / \partial B$ і т.д.) у рівнянні (5.11) показують міру зміни сили прокатки при зміні перемінного параметра на величину рівну dH , dB і т.д., і називаються передаточними коефіцієнтами. Оскільки другий співмножник у дужках відображає зміну сили прокатки в залежності від незалежних перемінних, рівняння (5.11) представляють у вигляді:

$$dh = dP / (M_{кл} - \partial P / \partial h). \quad (5.12)$$

З урахуванням виразу (5.6) і протилежного, по відношенню до кута α , кута β нахилу кривої пластичної деформації дістанемо з формули

$$dh = dP / (M_{кл} + M_{II}) \quad (5.13)$$

або у кінцевих різницях:

$$\delta h = \delta P / (M_{кл} + M_{II}); \quad (5.14)$$

$$M_{II} = \delta P / \delta h.$$

тобто, зміна сили прокатки на величину δP призведе до зміни кінцевої товщини штаби на величину δh .

Приймаючи у рівнянні (5.11) усі параметри у другому співмножнику, крім першого, рівними нулю (незмінними за довжиною) одержимо

$$\delta h = \frac{M_{кл} dS}{M_{кл} + M_{II}} \quad (5.15)$$

Ця формула дає змогу визначити вплив зміни зазора між валками на поздовжню товщину штаби, а відношення $k_S = dS/dh$ називається передаточним коефіцієнтом:

$$k_S = \frac{M_{кл} + M_{II}}{M_{кл}} = 1 + \frac{M_{II}}{M_{кл}} \quad (5.16)$$

Передаточний коефіцієнт $k_S > 1$, тобто величина переміщення натискних гвинтів за продуктиметром завжди більша, ніж зміна товщини штаби ($dS > dh$). Збільшення модуля жорсткості штаби викликає збільшення коефіцієнта k_S , а модуля жорсткості кліті – зменшення коефіцієнта k_S . В абсолютно жорсткій кліті коефіцієнт $k_S \rightarrow 1$ ($dS \approx dh$).

На рис. 5.3 наданий характер зміни температури по довжині проміжного розкату при гарячій прокатки штаби

За наявності експериментальних величин сил прокатки поздовжню різновтовщинність готової штаби в точках 1,3,4 в порівнянні з мінімальною товщиною в точці 2 (з максимальною температурою) расчитивають по формулі:

$$\delta h_i = (P_i - P_2) / M_{кл}, \quad (5.17)$$

де P_2 і P_i - сили прокатки в точці 2 і в будь-якій іншій точці; $M_{кл}$ - модуль жорсткості кліті.

При теоретичному розрахунку поздовжньої різновтовщинності штаби необхідно враховувати, що по довжині штаби змінюються одночасно із зусиллям прокатки товщина,

обчислення, модуль жорсткості штаби в порівнянні з точкою 2 з мінімальною товщиною штаби. У зв'язку з цим величини відхилення товщини в точках 1,3,4 в порівнянні з базовою товщиною необхідно визначити з урахуванням змінних значень модуля жорсткості штаби в порівнянні з модулем жорсткості штаби в точці 2.

Передній кінець штаби (точка 1) може мати дещо меншу температуру, ніж на сусідній ділянці 2. Ділянка 2-3 характеризується зниженням температури (температурний клин) перед входом в кліть, а на ділянці 3-4 може мати місце інтенсивніше зниження температури внаслідок більшої втрати тепла кінцевою ділянкою розкату. Підвищення сили P на ділянці 2-3 обумовлено зниженням температури металу, а на ділянках 2-1 і 3-4- зниженням температури і відсутністю натягання кінців розкату.

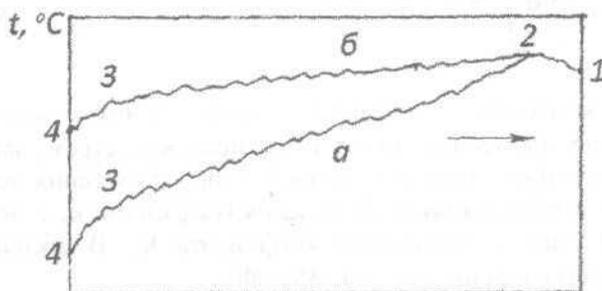


Рис. 5.3. Зміна температури по довжині проміжного розкату: а – за традиційною технологією; б – за наявності койлбокса.

Положення точок 1-4 по довжині розкату (штаби) залишається постійним на всьому протязі чистової групи ШСПП. На ділянці 2 розкат прокатують за наявності високої температури і наявності переднього і заднього натягання. Товщина розкату (штаби) в точці 2 буде мінімальна і приймається як базова. Наприклад, якщо $h_2 = 2$ мм, то у всій решті точок $h_i > 2$, тобто

$$h_i = h_2 + \delta h_i, \quad (5.18)$$

де δh_1 - приріст товщини розкату (штаби) (в точках 1,3,4) в результаті вказаних фактів ($t_1, \sigma_{ш}$, відмінність механічних властивостей і биття валків).

У загальному випадку приріст товщини розкату в точках 1,3,4 визначається рівнянням [48]:

$$\delta h_1 = (P_1 - P_2) / (M_k + \delta M_{II}), \quad (5.19)$$

де P_1 і P_2 - сили прокатки в і-х точках і мінімальна в точці 2; $M_{кл}$ - модуль жорсткості кліті; M_{II} - модуль жорсткості штаби.

Відмінність δM_{II} між сусідніми розрахунковими даними визначається з виразу:

$$\delta M_{II} = M_{III} - M_{II2}, \quad (5.20)$$

де M_{II2} і M_{III} - модулі жорсткості штаби в точці 2 і в будь-якій іншій точці довжини штаби.

У теоретичному розрахунку P_1 і P_2 параметр δh_1 визначається шляхом ітерировання рівняння (5.19) по модулю жорсткості штаби M_{II} . При цьому модуль жорсткості M_{II} визначають з роботи [80]:

$$M_{III} = \varphi_1 P_1 / \Delta h_1; \quad M_{II2} = \varphi_2 \cdot P_2 / \Delta h_2, \quad (5.21)$$

Для горячої прокатки маємо (по даним [80])

$$\varphi_i = (0,57 + 0,62\varepsilon)[1 + 0,023(R/H)^{0,5}], \quad (5.22)$$

де φ_i - коефіцієнт; Δh_1 і Δh_2 - абсолютне обтиснення в і-ой точці і в точці 2; R - радіус валків; H - початкова товщина штаби в кліті.

У першій ітерації за даними першого розрахунку параметрів P_1 і P_2 , M_{III} , визначають величину δh_1 . Потім визначають Δh_1 , і Δh_2 , решту параметрів, у тому числі і P_i'' по яких розраховують значення $\delta h_i''$ в другій ітерації. Розрахунок δh_1 по формулі (5.24) виконують доти поки різниця між сусідніми значеннями δh_1 складає $\Delta = 0,003$ мм. При

$\Delta = 0$ система осередок деформації – сила прокатки приходиться в рівновагу, а при $\Delta = 0,003 \text{ мм}$ система близька до рівноваги.

Для умов холодної прокатки штаб коефіцієнт φ для розрахунку модуля $M_{\text{ш}}$ визначають по даним [80]

$$\varphi_i = [0,53 + 1,15(\varepsilon_i - 0,1)^2] \cdot (0,9 + 2f \cdot \sqrt{R/H})(0,78 + 2,2\varepsilon_i), \quad (5.23)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Точка 2 на профілограмі поздовжній різнотовщинності штаби при холодному прокатуванні є мінімальна товщина штаби при максимальній швидкості прокатки.

5.3. Поздовжня різнотовщинність листів і штаб

Поздовжня різнотовщинність листів (штаб) завжди зумовлена пружними деформаціями кліті і чим вони більше змінюються у процесі прокатки, тим більші відбуваються зміни і у товщині штаби по її довжині. У відповідності із рівнянням Сімса-Головіна товщина штаби у кліті може бути визначена рівнянням (5.3)

$$h = S + \frac{P}{M_{\text{кл}}},$$

де S – початковий міжвалковий зазор, мм; $M_{\text{кл}}$ – коефіцієнт жорсткості кліті, який характеризує величину пружної деформації кліті під дією навантаження ($M_{\text{кл}} = 3,5 \dots 8 \text{ МН/мм}$).

Із формули випливає, що збільшення сили прокатки при $M_{\text{кл}} = \text{const}$ підвищує товщину штаби. Таким чином, усі фактори, які сприяють збільшенню сили P у процесі прокатки однієї штаби, зумовлюють збільшення S , $\delta_{\text{кл}}$ і її товщини. Характерний поздовжній профіль гарячекатаного листа зображений на рис. 5.4 [13]. Основною причиною зміни товщини листа у середній частині довжини розкату є так звані “глісажні мітки”, тобто місця з пониженою температурою від контакту сляба з глісажними трубами нагрівальних печей, які охолоджують водою. Різнотовщинність δh , яка визвана ними,

складає 0,08...0,15 мм. Різновтовщинність на кінцевих ділянках δh_k досягає -0,44 мм і являється наслідком меншої швидкості прокатки при захваті і викиді металу валками (15...45 об/хв.) проти 70...90 об/хв. на основній довжині листа. Зменшення товщини листа на кінцевих ділянках зумовлено зниженням швидкості деформації, і, відповідно, опору металу деформації, середнього тиску, сили прокатки і пружних деформацій кліті. Під час прокатки листів з постійною швидкістю поздовжня різновтовщинність знижується у 2...2,5 рази, а нагрів слябів у печах з крокуючими балками практично усуває "глісажні мітки" і поздовжню різновтовщинність листів у середній частині його довжини.

Під час гарячої прокатки на неперервних станах поздовжня різновтовщинність штаб, головним чином, формується у чистовій групі клітей у результаті дії в основному двох факторів: зниження температури за довжиною розкату перед групою клітей і відсутністю натягання під час прокатки кінців (переднього натягання - на передньому кінці, заднього натягання на задньому кінці штаби). Внаслідок відсутності натягання - на передньому та задньому кінцях штаби зростають середнє нормальне контактне напруження в осередку деформації, сила прокатки, пружні деформації робочих клітей і, отже, міжвалкові зазори і товщина штаби на кінцевих ділянках (рис. 5.5). На рис. 5.5 маємо: δh_m - максимальна різновтовщинність; δh_z - різновтовщинність, яка з'являється внаслідок відсутності натягання на задньому кінці штаби; δh_r - різновтовщинність, яка з'являється внаслідок відсутності натягання на передньому кінці штаби.

Складові і максимальні поздовжні різновтовщинності зумовлені довжиною сляба, товщиною штаби, швидкістю прокатки, складом устаткування стана. За даними [49] для різноманітних станів гарячої прокатки, діапазон змінення поздовжньої різновтовщинності складає (мм) (дані до 1972р.):

$$\delta h_m = 0,09 \dots 0,30;$$

$$\delta h_r = 0,02 \dots 0,10;$$

$$\delta h_z = 0,05 \dots 0,27;$$

$$\delta h_r = 0,02 \dots 0,08.$$

Відомо різні ефективні методи зниження або ліквідування складових поздовжньої різнотовщинності. Наприклад, практично ліквідується вплив температурного клина (δh_T) шляхом застосування проміжного перемотувального пристрою (ППП)(койл-бокса), прискорення обертання валків клітей чистової групи у процесі прокатки штаби ($v_{ГР} = 0,05 \dots 0,1 \text{ м/с}^2$), зменшення міжвалкового зазора до заднього кінця штаби

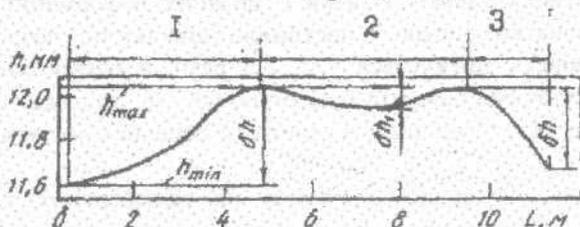


Рис. 5.4. Поздовжній профіль листа 12x1570 мм (ТЛС 2800): 1- передній кінець; 2-середина; 3-задній кінець.

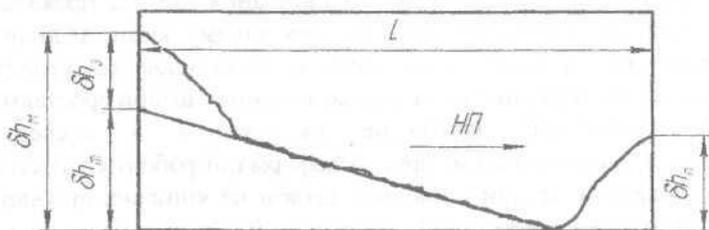


Рис. 5.5. Складові поздовжньої різнотовщинності штаби після гарячої прокатки (н.п. – напрям прокатки)

за допомогою натискних пристроїв або гідророзпіра кліті з використанням систем автоматичного регулювання товщини (САРТ) штаби. При регулюванні натискними гвинтами зменшують зазор між валками одночасно у 2–5 клітях пропорційно зменшенню температури штаби і втрачання заднього натягування штаби.

Сутність регулювання міжвалкового зазору за допомогою гідророзпіру полягає у наступному (рис. 5.6). Перед задачею штаби 7 у кліть під дією гідродомкратів 4, відбувається

ліквідація зазорів у системі подушки опорних валків – натискні гвинти, попередній тиск відповідних деталей і розтягування стійок станин із силою ΣP_d (тиск масла у системі складає близько 30 МПа). Сутність дії початкового розтягування кліті полягає у тому, що при вході у валки стовщеної ділянки штаби сила ΣP_d автоматично знижується і, за рахунок зменшення пружної деформації стійок станини, відбувається зменшення міжвалкового зазору і збільшення обтиску штаби, при якому ліквідується різниця товщин штаби на сусідніх ділянках довжини.

Таким чином, за рахунок дії натискних обладнань і гідродомкратів відбувається вирівнювання товщини штаби за довжиною. Для максимального вирівнювання товщини система автоматичного регулювання повинна працювати із урахуванням рівняння товщини

$$K_b = (1 + M_{кл}/M_d)(1 - \varepsilon)/v, \quad (5.24)$$

де K_b – коефіцієнт вирівнювання товщини штаби; ε – відносний обтиск (долі); v – коефіцієнт ($v = 0,6 \dots 1$).

Для отримання мінімальної поздовжньої різнотовщинності штаб коефіцієнт K_b повинен бути як можна вищим, у всякому разі необхідно мати $K_b > 1$.

Одним із ефективних методів зниження поздовжньої різнотовщинності є метод прискорення стану у процесі прокатки штаби (після захвату переднього кінця штаби моталкою) на величину $0,05 \dots 0,1 \text{ м/с}^2$. Підвищення швидкостей штаби під кінець прокатки призводить до збільшення температури металу і ліквідує не тільки температурний клин, але й компенсує відсутність натягування на задньому кінці штаби (рис. 5.7). Основною системою, яка дає змогу одержати гарячекатані штаби з мінімальними коливаннями товщини за довжиною являються системи автоматичного регулювання товщини (САРТ) штаби, які працюють на існуючих ШСПІ у залежності від зміни сили прокатки, натягування штаби і положення натискних гвинтів. За даними [12] маємо, що при роботі САРТ на стані 2000 НЛМК (Росія) різнотовщинність штаби на

основній ділянці знижується у 1,2...1,6 рази, а на задньому кінці – у 1,5...2 рази.

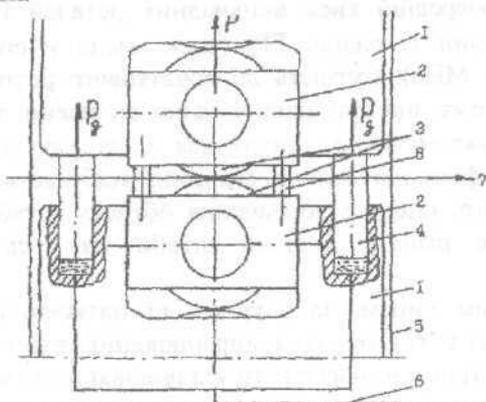


Рис. 5.6. Схема попереднього розтягування кліті гідродомкратами: 1 – подушки опорних валків; 2 – подушки робочих валків; 3 – робочі валки; 4 – гідродомкрати; 5 – стійки станини; 6 – магістраль подачі масла; 7 – штаба; 8 – плунжери урівноваження верхнього робочого валка

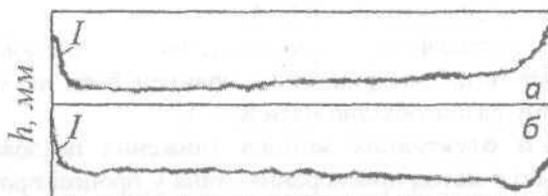


Рис. 5.7 Зміна товщини штаби при гарячому прокатуванні на сучасних ШСГП без прискорення (а) і з прискоренням обертання валків (б) чистої групи (1 – передній кінець) (рулонна прокатка).

Під час холодної прокатки поздовжню різнотовщинність штаби зумовлено початковою різнотовщинністю гарячекатаного підкату і власними особливостями процесу: відсутністю натягувань кінцевих ділянок штаби і наявністю ділянок зварних швів. Потовщення ділянок зварних швів зумовлено прокаткою їх при швидкості $v_i < 5$ м/с (v_i – швидкість у чистой кліті), коли має місце суттєве збільшення коефіцієнта зовнішнього тертя,

сили прокатки і міжвалкового зазора порівняно зі сталим процесом. При випуску заднього кінця на невеликій швидкості і із збільшенням сили прокатки додається ще і відсутність заднього натягування, що також сприяє збільшенню сили прокатки і міжвалкового зазора. У результаті впливу зазначених факторів поздовжній профіль штаби, навіть при додатковому обтиску у клітках 1 і 2 на $\Sigma S_{ш} = 0,7 \dots 0,8$ мм (ділянка шва) і $\Sigma S_3 = 1,4 \dots 1,5$ мм (ділянка заднього кінця), має потовщення $\delta h_{ш} = 0,07 \dots 0,1$ мм (ділянка шва) і $\delta h_3 = 0,35 \dots 0,50$ мм (задній кінець) (рис. 5.8,а). Застосування додаткового обтиску у всіх клітках стану ШСХП 1680 у межах $\Sigma S_{ш} = 1,2 \dots 1,4$ мм і $\Sigma S_3 = 2 \dots 2,2$ мм практично ліквідує потовщення зазначених ділянок (рис. 5.8, б).

Кардинальним рішенням задачі зменшення (ліквідації) поздовжньої різнотовщинності холоднокатаних штаб є застосування безперервного процесу (рис. 4.10) і прокатки ділянок з'єднання окремих штаб (швів) на швидкості у чистовій клітці $v \geq 5$ м/с при одночасному регулюванні міжклітьового натягування і міжвалкового зазора. При такому процесі 97...98% довжини штаби рулону укладаються у допущені межі зміни товщини.

На стані холодної прокатки 2500 Магнітогорського металургійного комбінату (Росія) система регулювання товщини і натягування штаби має два контури регулювання: "грубе" регулювання товщини з допомогою натискних гвинтів клітці і стану за сигналом мікрометра і "тонке" регулювання зміною натягування між клітьями за сигналом мікрометра за чистовою кліттю.

Система має три канали регулювання:

- канал за швидкістю (змінює швидкість приводних електродвигунів попередніх клітей);
- канал за регулюванням положення валків (переміщує натискні гвинти наступних клітей);
- канал обмеження натягування (виробляє узгоджену зміну швидкості приводних електродвигунів усіх наступних або усіх попередніх клітей).

Комплекс САРТ дозволяє одержати холоднокатані штаби з відхиленням товщини від середнього значення не

більше 2% на 98% довжини штаби. На ділянках зварних з'єднань різновтовщинність штаби зменшується у 2...2,5 рази порівняно з прокаткою без застосування систем.

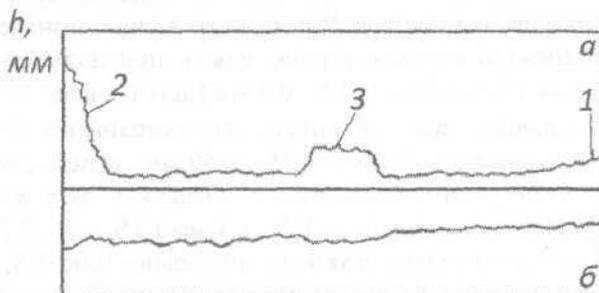


Рис. 5.8. Зміна поздовжньої різновтовщинності холоднокатаної штаби при регулюванні міжвалкових зазорів в клітях 1 і 2 (а) і у всіх клітях (б): 1 – передній кінець; 2 – задній кінець; 3 – ділянка зварного шва

5.4. Площинність штаб

Неплощинність листової сталі оцінюється амплітудою A на базі 1 м довжини штаби. Листи та штаби у рулонах шириною більше 500 мм підрозділяються на групи особливо високої (ПО), високої (ПВ), поліпшеної (ПП) і нормальної (ПН) площинності. Відхилення (A) від плоскої форми холоднокатаної листової сталі з межею міцності до 700 Н/мм^2 не повинні перевищувати таких значень (ширина штаб 1000...1500 мм) для (мм): ПО – 5; ПВ – 8; ПП – 12; ПН – 15.

Площинність штаби є однією із характеристик точності геометрії листової сталі і одним із головних показників технологічної придатності для обробки у неперервних агрегатах цехів холодної прокатки. Неплощинність та серпоподібність гарячекатаних штаб приводять до погіршення якості зварних швів, травмуванню штаби при змотуванні її у рулон і розмотуванні на стані холодної прокатки. Під час холодної прокатки неплощинність утруднює подачу штаби у стан і служить причиною обривів і утворення складок на штабі, що підвищує витрату валків і знижує продуктивність станів. Вихід

із строю робочих валків із-за нестійкості процесу холодної прокатки складає 60...90% від загальної кількості списаних валків, а простої стана по цій причині доходять до 30% від загального часу простоїв. При змотуванні неплоскої штаби одержується рулон з різною щільністю, що сприяє зварюванню витків при відпалі і утворенню зломів при дресируванні [32, 38]. Відсортування за дефектами форми у сучасних цехах холодної прокатки складає 0,17...0,5% від загальної кількості прокату. Поліпшення площинності гарячекатаних і холоднокатаних штаб досягається шляхом застосування раціональних початкових профілів бочок валків, теплового регулювання профілю робочих валків з секціонуванням на кожні 100...200 мм довжини валків, установленням на останніх клітках гідровигину робочих валків.

Необхідним для одержання плоскої форми штаб є додержання умови, яку можна представити у вигляді

$$\frac{\delta_{\text{по}}}{H} = \frac{\delta_{\text{п}}}{h}, \quad (5.25)$$

де $\delta_{\text{по}}$ і $\delta_{\text{п}}$ – поперечна різнотовщинність відповідно гарячекатаної і холоднокатаної штаб.

Зазначена умова відображає однакову ступінь зменшення товщини штаби і поперечної різнотовщинності. Але умова (5.25) являється недостатньою, так як штаба деформується у профільованих робочих валках і тому окружна швидкість за довжиною їх бочок буде різною. Тому додатковою умовою отримання планшетних (плоских) штаб буде рівність швидкостей поздовжніх перерізів за шириною штаби, тобто

$$v_{\text{ш}} = v_i(1 + S_i) = \text{const}, \quad (5.26)$$

де v_i – окружна швидкість валка в i -ому перерізі довжини бочки; S_i – випередження в i -ому перерізі штаби.

У зв'язку з цим у процесі прокатки впливають на умови формування форми штаби шляхом впливу на профілювання робочих валків з метою зміни співвідношення (5.25).

Основними видами неплоскості листа є хвилястості і коробоватість (рис.5.9). Хвилястість штаби виникає у випадку, коли деформація (ε) і коефіцієнт витягування (μ) на кромках

штаби більший, ніж у середині ширини, а коробоватість при великих значеннях ε і μ у середині ширини штаби. Причому, неплосциність виникає при невеликій різниці у значеннях μ на кромці і у середині. Так, під час прокатки штаб шириною 1250 мм неплосциність величиною $A = 8$ мм дістається при відносній різниці витягувань $\Delta\mu/\mu \approx 0,0004$ (де $\Delta\mu$ - різниця у коефіцієнтах витягувань на кромці і у середині ширини; μ - середній коефіцієнт витягування за шириною штаби). Різниця деформацій за шириною штаби (у пружній області деформацій) викликає різницю поздовжніх розтягувальних напружень за шириною. При цьому у штабі, яку прокатують із коробоватістю максимальні розтягувальні напруження діють на кромках, а якщо з хвилястістю, то у середині ширини. На цих особливостях основані сучасні методи вимірювання неплосциності штаби.

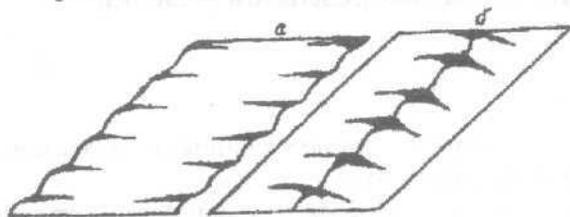


Рис. 5.9. Хвилястість (а) і коробоватість (б) штаби (листа)

Відповідно закону Гука залежність між деформаціями і напруженнями у кожному поздовжньому перерізі штаби має вигляд

$$\Delta\sigma_x = a \cdot E \cdot \Delta\mu/\mu,$$

де a – коефіцієнт ($a \approx 1,1 \dots 1,2$); E – модуль пружності матеріалу штаби; $\Delta\sigma_x$ – різниця напружень розтягнень за шириною штаби.

На існуючих станах (прокатних і дресирувальних) зменшення або ліквідація неплосциності досягається гідровигином робочих валків (рис. 5.10).

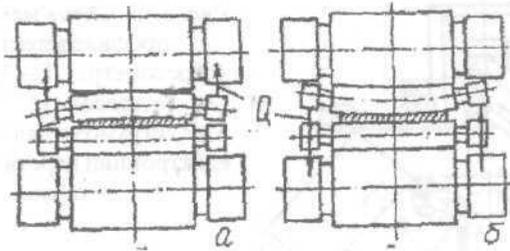


Рис. 5.10. Схема гідравлічного регулювання межвалкового зазора: а – додатковий вигин; б – противоізгиб

Ці пристрої працюють у системі автоматичного регулювання профілю і форми (САРПФ) штаби, яка включає в себе також блок теплового регулювання профілю валків при наявності місцевої неплоскостності штаби. Система працює спільно з профіледетектором (стресометром), який виміряє форму штаби через рівномірність розподілу за шириною поздовжніх розтягуючих напружень (5.11). Показання стресометру 2 передаються для візуального спостереження на табло 6 і блоки управління 5 формою штаби. Дослідження, які виконані на стані 2130 фірми Алкан (Канада), показують, що до встановлення САРПФ планшетність 58% штаб виходила за границі допусків і тільки 3% штаб були плоскими. Застосування обладнань гідровигину робочих валків з ручним управлінням дало змогу у 62% випадків одержати плоску штабу і тільки 10% штаб виходили за межі допусків, тобто брак зменшений майже у 6 раз. У результаті втілення автоматичного управління обладнаннями гідровигину і теплового регулювання профілю валків із використанням сигналів від стресометру забезпечено випуск плоскої штаби у ~ 100% випадків. Втілення системи дало змогу на 25% зменшити мінімальну товщину штаби і на таку ж саму величину зросла їх максимальна ширина. Подібні системи працюють у чистових клітках НШПС гарячої прокатки, тільки вимірювання поперечного профілю штаби здійснюються безконтактними рентгеновськими або ізотопними товщиномірами у різних точках ширини штаби.

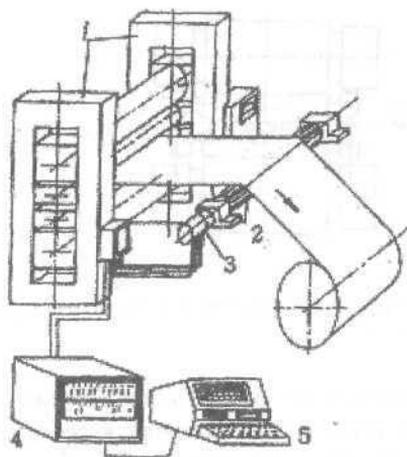


Рис. 5.11. Схема механічного профіледетектора (стрессометра): 1 – кліть; 2 – стрессометр; 3 – струмознімач; 4 – електронний перетворювач; 5 – табло.

5.5. Поперечна різнотовщинність штаби

Точність поперечного та поздовжнього перерізів листів (штаб) зумовлена відповідною різнотовщинністю, а форма штаби – її площинністю (планшетністю).

Поперечна різнотовщинність оцінюється різницею у товщинах між серединою і кромкою листа (рис. 4.27):

$$\delta_{\Pi} = h_c - h_{\Pi};$$

$$\delta_{\Pi} = h_c - h_3.$$

де h_c – товщина у середині ширини штаби; h_{Π} і h_3 – товщина кромки штаби відповідно збоку привода та завалки.

Звичайно поперечний профіль гарячекатаних листів (штаб) має випуклу форму, а мінімальна поперечна різнотовщинність зумовлена стійкістю штаби у валках проти зміщення на станину і можливістю прокатного стану. Часто $h_{\Pi} \neq h_3$ і тоді штаба набуває випукло-клиновидний профіль поперечного перерізу. У цьому випадку має місце, наприклад, таке співвідношення товщин $h_c > h_3 > h_{\Pi}$. Повністю клиновидному поперечному перерізу гарячекатаної штаби відповідає таке співвідношення $h_3 > h_c > h_{\Pi}$.

У загальному випадку поперечна різнотовщинність штаби під час прокатки на нових валках визначається пружним прогином валків та їх початковим профілем бочок (випуклістю або угнутістю). На нових ("холодних") валках величина δ_n має більше значення порівняно із прокаткою на нагрітих валках з додатковою тепловою випуклістю. Усі фактори, які викликають збільшення сили прокатки, призводять до збільшення прогину валків і поперечної різнотовщинності штаб (наприклад, збільшення обтиску, шорсткості валків, зниження температури прокатки, підвищення початкової поперечної різнотовщинності штаби).

Збільшення ширини штаби при одній товщині (без зміни валків) завжди приводить до збільшення поперечної різнотовщинності. Так, при збільшенні ширини з 1500 до 2700 мм середня поперечна різнотовщинність листів збільшується з 0,144 до 0,244 мм (стан 3600 меткомбінату «Азовсталь», товщина листів 7,5...10 мм).

На неперервних широкоштабових станах гарячої прокатки на поперечний профіль листів діють ті ж самі причини, що і на товстолистових станах, однак разом із зменшенням товщини штаб до 1,5...6 мм зменшуються допустима і фактична поперечна різнотовщинність. Нормальною, яка забезпечує стійкість штаби у валках, є поперечна різнотовщинність у межах $\delta_n = 0,03...0,05$ мм. Однак внаслідок порушення технологічних вимог поперечна різнотовщинність у ряді випадків досягає $\delta_n \approx 0,1$ мм, особливо на кінцевих ділянках штаби. Головною причиною з'явлення такої різнотовщинності є прокатка широких штаб після прокатки вузьких, які зношують середину бочки робочих валків. У процесі прокатки часто відбувається зміщення штаби з осі стана, яка досягає 70...80 мм. У результаті цього товщини лівої (h_n) та правої (h_n) кромок виявляються різними. Різниця у товщині кромок штаб складає 0,02...0,08 мм (на станах старої конструкції). На товщину кромок також впливає клиновидності початкового сляба. Значні поперечна різнотовщинність та клиновидність перерізу штаби завжди приводять до збільшення ваги одного погонного метра листа, і відповідно, до витрат

металу. Для отримання необхідного поперечного профілю штаби у перших клітках чистової групи ШСГП використовують в основному профілювання валків. Виходячи із конкретних умов, на різних станах застосовують різні профілі бочок валкових вузлів (табл. 10.1). Угнутий профіль робочих валків компенсує теплову випуклість робочих валків, забезпечує стійкість штаби по осі стана і симетричний поперечний профіль.

Для отримання штаб з допустимою поперечною різнотовщинністю через кожні 2000...3000 т прокатаного металу виконують зміну зношених робочих валків чистової групи стана на нові, з необхідною величиною профілю бочок. У процесі зносу робочих валків їх профіль регулюють нерівномірною подачою води на поверхню із секційних колекторів (див.вище). На ділянки з великим зносом при цьому подають меншу кількість води, у результаті чого ця ділянка розігривається і діаметр валка тут збільшується, компенсуючи учинений знос.

На ШСГП найбільш сучасним є регулювання міжвалкового зазору шляхом додаткового спрямованого вигину робочих або опорних валків. Найбільш часто застосовують гідравлічні пристрої вигину робочих валків у напрямку дії сили прокатки (рис. 5.10). У першому випадку додатковий вигин (а) збільшує зазор між валками у середині штаби і збільшує обтиск кромки, а у другому випадку – противовигин робочих валків (б) збільшує зазор на кромках та зменшує коефіцієнт витягування на кромках. Ефективним під час гарячої прокатки є регулювання поперечної різнотовщинності штаб шляхом осьового переміщення робочих валків. На сучасних ШСГП для отримання допустимої поперечної різнотовщинності одночасно використовують декілька каналів регулювання (станочне профілювання, теплове профілювання, вигин робочих валків).

Холодна прокатка штаб зменшує абсолютне значення поперечної різнотовщинності, але не повинно змінювати її відносну величину порівняно з гарячекатаним підкатом, тобто ступінь зменшення товщини штаби і різнотовщинності під час холодної прокатки однакові:

$$\frac{H_0}{h_0} = \frac{\delta_{ПО}}{\delta_{П}}$$

де H_0 і h_0 – товщина по осі відповідно початкового гарячекатаного підкату і штаби після холодної прокатки; $\delta_{ПО}$ і $\delta_{П}$ – поперечна різнотовщинність відповідно гарячекатаного підкату і холоднокатаної штаби.

Таблиця 5.1. Станочне профілювання валків клітей чистових груп ШСГП

Стан	Опорні валки		Робочі валки	
	верхні	нижні	верхні	нижні
1680 («Запоріжсталь»)	0...0,3	0	-0,15...0	0
1700 Маріупольський меткомбінат	0	0...0,2	-0,3...0	-0,2...0,05
1700 (Карагандинський меткомбінат)	0,2	0	-0,15... -0,85	0
2000 Череповецький меткомбінат	0,8...1,2	0,8...1,2	-0,3... -1,3	-0,3...-1,0

Недотримання умов приводить до одержання штаб неплоскої форми (коробоватих, хвилястих, серповидних).

Додатковий матеріал що до виробництва штаб, умов роботи валків, отримання точних штаб надано у бібліографічному списку.

Бібліографічний список

1. Непрерывная разливка слэбов – прямая прокатка рулонов.// Черная металлургия. Сер. «Прокатное производство»: Экспресс – информ (ЦНИИТЭИЧМ).- 1989, №12. – С: 1 – 6.
2. Николаев В. А. – Технология прокатки листов и полос: Учебное пособие. – К.: УМК ВО, 1990. – 168 с.
3. Чижиков Ю. М. Прокатываемость стали и сплавов. – М.: Металлургиздат, 1961. – 451 с.
4. Чекарев А. П., Мутьев М. С., Машковцев Р. А. Калибровка прокатных валков. – М.: Металлургия, 1971. – 512 с.
5. Чижиков Ю. М. Редуцирование и прокатка металла непрерывной разливки. – М.: Металлургия, 1974. – 384 с.
6. Бадинг Б., Функе П., Кооц Т. Влияние программы обжатий и размеров слитков на выход годного при прокатке слэбов //Черные металла. Пер. с нем. – 1977, № 26. – С. 27 – 35.
7. Клименко В. М., Орнатский Э. А., Горелик В. С. Снижение торцовой обрезки при прокатке непрерывно-литых слэбов: сб. «Теория и практика производства широкополосной стали». Сер. Металлургия Минчермет СССР, 1979. – Вып. №4.- С. 5 – 9.
8. Николаев В. А., Волков И. А., Маслов В. А. Влияние профилировки валков слэбинга на технологические параметры прокатки // Изв. вузов. Черная металлургия, 1981, - № 7, - С. 73 – 76.
9. Николаев В. А., Волков И. А., Зотов В. М. Влияние параметров деформации на размеры фигурных концов раската // Изв. вузов. Черная металлургия, 1982, №7 – С. 73 – 76.
10. Давильбеков Н. Х. Совершенствование процесса прокатки на слэбинге. – М.: Металлургия, 1983. – 80 с.
11. Дылюк А. Г., Галмазан В. А. Снижение потерь металла при производстве блюмов, слэбов и листов // Чер. Металлургия: Бюл. НТИ Черметинформация, 1986, №15. – С. 2 – 14.
12. Сафьян М.М. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство / М. М. Сафьян, В. Л. Мазур,

- А. М. Сафьян, А. И. Молчанов. – К.: Вища школа, 1988. – 351 с.
13. Долженков Ф. Е. Повышение качества толстых листов / Ф. Е. Долженков, Ю. В. Коновалов, В. Г. Носов и др. – М.: Металлургия, 1984. – 247 с.
 14. Клименко В. М. Технология прокатного производства / В. М. Клименко, А. М. Онищенко, А. А. Минаев, В. С. Горелик. – К. «Вища школа», 1989. – 311 с.
 15. Полухин П. И. Прокатка толстых листов / П. И. Полухин, В. М. Клименко, В. П. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1984. – 288 с.
 16. Полухин П.И. Качество листа и режимы непрерывной прокатки. / П.И. Полухин, Д.Н. Заугольников, М.А. Тылкин, В.П. Полухин и др.- Алма-Ата, Наука, 1974.-399с.
 17. Ксензук Ф.А. Прокатка автолистовой стали /Ф.А. Ксензук, Н.А. Трощенко, А.П. Чекмарев, М.М. Сафьян– М.: Металлургия. 1969. – 296 с.
 18. Антипин В. Г. Прокатные станы. Справочник. Т. 3. / В. Г. Антипин, Д. К. Нестеров, В. Г. Кизиев и др. – М.: Металлургия, 1992. – 428 с.
 19. Грудев А. П., Машкин Л. Ф., Ханин М. И. – Технология прокатного производства. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
 20. Николаев В. А. Теория прокатки. – Запорожье, ЗГИА, 2007. – 228 с.
 21. Николаев В. А. Напряжение течения металла при горячей деформации по различным формулам // Изв.вузов. Черная металлургия, 2005, №6.-С.32-32.
 22. Николаев В.О., Мазур В. Л. Технология виробництва сортового та листового прокату. Підручник. Частина I, II – Запоріжжя, ЗДІА, 2000. – 257 с. (Частина II-219с.)
 23. Чекмарев А. П. Теория прокатки крупных слитков / А. П. Чекмарев, В. Л. Павлов, В. И. Мелешко, В. А. Токарев – М.: Металлургия, 1968. – 252 с.
 24. Мазур В.Л. Управление качеством тонколистового проката / В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, И.Ю. Приходько, А.И. Яценко.- Киев: Техніка, 1997.-384с.
 25. Грудев А. П., Тилик В. Т. Технологические смазки в прокатном производстве М.: Металлургия, 1975. – 368 с.

26. Непрерывная разливка слэбов – прямая прокатка рулонов. – М.: Черная металлургия. Сер. «Прокатное производство»: Экспресс – информация// ЦНИИ ТЭИ ЧМ, 1984, №12. – С. 1- 6.
27. Флеминг Р. Агрегаты для производства горячекатаных полос из тонкой непрерывно-литовой заготовки / Р. Флеминг, П. Капсес, В. Розн, Л. Фогман// Черные металлы (пер. с нем.), 1988, №3 – С. 3-13.
28. Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы.- Донецк:-Технопарк, ДонГТУ, УНИТЕХ, 2008.-552с.
29. Тетерин П. К., Скорняков А. Н., Ритман Р. И. Развитие и современное состояние планетарной прокатки за рубежом. - : (Обзорная информация) // М.: Инст. «Черметинформация», 1975. – 15 с.
30. Сафьян М. М. Прокатка широкополосовой стали. – М.: Металлургия, 1969. – 460 с.
31. Франценок И.В. Современный цех холодной прокатки углеродистых сталей / И. В. Франценок, Ю. Д. Железнов, Л. А. Кузнецов, В. Г. Камышев. – М.: Металлургия, 1984. – 154 с.
32. Мазур В.Л. Прокатка металла со сварными соединениями / В. Л. Мазур, В. И. Мелешко, Д. П. Галкин и др. – М.: Металлургия, 1985. – 112 с.
33. Ткалич К.Н., Коновалов Ю.В. Точная прокатка тонких полос. –М.: Металлургия, 1972.-176с.
34. Николаев В. А. Уменьшение толщины концевых участков при холодной прокатке полос. // Изв. вузов. Черная металлургия, 1998, №1 . – С. 40 – 43.
35. Мазур В.Л., Тимощенко В.И. Теория прокатки./ Гидрадинамические эффекты смазки.-М.:Металлургия, 1989.-192с.
36. Пименов А.Ф. Холодная прокатка и обработка жести / А.Ф. Пименов, О.Н. Сосковец, В.Л. Мазур и др. – М.: Металлургия, 1990.-208с.
37. Николаев В.А. Валки прокатных станов. – Запорожье, ЗГИА.-176с.

38. Мазур В.Л., Добролюбов А.И., Чернов П.П. Предупреждение дефектов листового проката.-М.: Металлургия, 1988.-141с.
39. Полухин П.И. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П.И. Полухин, В.А. Николаев, В.П. Полухин и др.-М.:Металлургия, 1974.-200с.
40. Сигалов Ю.Б., Грудев А.П., Исследование и определение предела текучести стали с учетом влияния температурно-скоростных условий при холодной прокатке // Металлургия и коксохимия. Вып.63.-К.:Техніка, 1970.-С.63-69.
41. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков – К.: Техніка, 1992.-180с.
42. Хессенберг В.С., Дженкинс В.Н. Влияние изменения положения нажимного винта и регулировки скорости на толщину полосы и ее натяжение на непрерывных станах (пер. с нем. Ю.В.Коновалова) – Inst.Mech.Irog., v.169, p.1051.
43. Николаев В.А., Пилипенко С.С. Метод определения продольной разнотолщинности полос // Теория и технология производства листового металла Сб. науч.тр. ИЧМ МЧМ СССР.-М.:Металлургия, 1991.-С.42-47.
44. Коновалов Ю.В. Повышение точности листового проката / Ю.В. Коновалов, Д.П. Галкин, В.Г. Додока и др.-М.:Металлургия, 1978-178с.
45. Николаев В.А. Снижение усилия натяжения при прокатке сварных листов с применением дополнительных обжатий / В.А. Николаев, С.С. Пилипенко, И.Г. Овчаров и др. // Бюл. Черная металлургия.-1985, №4-С.54,55.
46. Николаев В.А., Пилипенко С.С., Тилик В.Т. Натяжение и продольная разнотолщинность полосы на участке сварного шва // Металлургия и коксохимия.-К.: Техніка, 1982, №94.-С.38-44.
47. Полухин П.И. Прокатка на многовалковых станах / П.И. Полухин, В.П. Полухин, А.Ф. Пименов и др.-М.: Металлургия, 1981.-248с.
48. Николаев В.А., Матюшенко Д.А. Определение продольной разнотолщинности горячекатаных полос // Металл и литье Украины, 2007, №8.-С.20-22.

49. Коновалов Ю.В. Повышение точности прокатки листов и полос / Ю.В. Коновалов, Е.А. Руденко, П.С. Гринчук и др.- К.: Техніка, 1987.-144с.
50. Патент України (декларацийний) №58 189А, В21/22. Оpubл. 15.07.2003.
51. Мелешко В.И. Отделка поверхности листа / В.И. Мелешко, А.П. Чекмарев, В.Л. Мазур, А.П. Качайлов.- М.:Металлургия, 1975.-272с.
52. Николаев В.А., Скороходов В.Н., Полухин В.П. Несимметричная тонколистовая прокатка.-М.: Metallургия, 1993-192с.
53. Полухин В.П. Надежность и долговечность валков холодной прокатки /В.П.Полухин, В.А.Николаев, П.Т.Шульман и др.- М.: Metallургия. 1971-503с.
54. Боровик Л.И., Добронравов А.И. Технология подготовки и эксплуатации валков тонколистовых станов.- М.: Metallургия. 1984-104с.
55. Третьяков А.В. Совершенствование теплового процесса листовой прокатки /А.В. Третьяков, Э.А. Гарбер, А.Н. Шичков, А.В.Грачев.- М.: Metallургия. 1973-304с.
56. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки.- М.: ОАО «Черметинформация». 2004.- 418 с.
57. Синаве М. Современные высокопроизводительные прокатные валки, особенности и перспективы их эксплуатации /М. Синаве, К. Гостев, В.В. Глухов, В.С. Смирнов /Сталь. №8. 2001-с.2-8.
58. Скороходов В.А. Некоторые аспекты эксплуатации валков на стане горячей прокатки. / В.А. Скороходов, П.П. Чернов, В.А. Третьяков и др. // Сталь, 2001, №8.- С. 8-13.
59. Николаев В.А., Васильев А.Г., Тилик В.Т. Определение рациональных профилировок рабочих валков чистовой группы ШСГП // Изв. вузов. Черная металлургия. 1997. №3.- С. 25-28.
60. Воробей С.А. Основные направления повышения качества горячекатаного и холоднокатаного широкополосного проката. / С.А. Воробей, Г.В. Левченко, А.Ю. Путьки и др. // Теория и практика металлургии. 2005. № 4,5.- С. 44-49.

61. Николаев В.А. Теория и технология несимметричной прокатки / В.А. Николаев, В.Л. Мазур, А.К. Голубченко, Е.В. Бинкевич.- Киев – Москва, «Информарт», 1996.- 262 с.
62. Ганжин В.Г., Киселев Ю.А. Технология XXI века. Перспективы России. // Национальная металлургия.- 2003. №12.- С. 50-66.
63. Скобло Т.С. Износ и эксплуатационная стойкость валков из заэвтектоидной стали / Т.С. Скобло, Л.А. Малышко, Л.П. Косик, Ю.В. Якубович // Сталь, 1988, №1.-С.56-59.
64. Николаев В.А. Производство полос.- Запорожье, ЗГИА, 2008.-179с.
65. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Кн.1 Производство горячекатаных листов и полос.-М.: Теплотехник, 2008.-640с.
66. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Кн.2. Производство холоднокатаных листов и полос.-М.: Теплотехник, 2009.-608с.
67. Николаев В.А. Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков.// Металлургическая и горнорудная промышленность, 2007, №2.-С.34-37.
68. Чекмарев А.П., Грудев А.П., Сигалов Ю.Б. Экспериментальное и аналитическое определение разогрева металла при холодной прокатке // Обработка металлов давлением:Сб.науч.тр.ДметИ.-М.:Металлургия, 1970, №55.- С.92-98.
69. Николаев В.А. Нормальное контактное напряжение при различных моделях расчета напряжений течения металла // Изв.вузов. Черная металлургия, 2008, №11.-С.14-16.
70. Щербанич Э.Н. Проект технологического перевооружения НШС 1700 ОАО “ММК им. Ильича” /Э.Н. Щербанич, А.В. Мурашкин, В.М. Певтиев, О.В. Клименко // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті, т.8 Пластична деформація металів. Дніпропетровськ, 2005.-С.255-258.
71. Кламма К. Технология СВС на полосовых станах холодной прокатки // Черные металлы (пер. с нем.), 1984, №22.-С.44-47.

72. Николаев В.А., Путники А.Ю. Прокатка широкополосной стали.-К.: Освита Украины, 2009.-268с.
73. Николаев В.А. Рациональные режимы сварки оплавлением полос из низколегированных сталей / В.А. Николаев, С.С. Пилипенко, И.Г. Овчаров и др.// Бюл. Черная металлургия, 1983, №16.-С.40-41.
74. Пименов А.Ф. Освоение несимметричной горячей прокатки на НШС 2000 Чер.МК./ А.Ф. Пименов, Ю.В. Липухин, А.И. Трайно и др.// Сталь, 1988, №6.-С.37-42.
75. Николаев В.А., Волков И.А., Лившиц В.М. Применение разношероховатых валков с целью устранения изгиба переднего конца листов алюминиевых сплавов. // Цветные металлы, 1985, №5.-С.72-73.
76. Полухин В.П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов.-М.: Металлургия, 1972.-512с.
77. Чекмарев А.П. О некоторых вопросах теории прокатки // Теория прокатки (Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки).-М.: Металлургиздат, 1962.-С.31-57.
78. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.-М.:Металлургия, 1980.-320с.
79. Николаев В.А. Методика расчета режима деформации на непрерывном стане холодной прокатки // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2004, №6.-С.47-52.
80. Меерович И.М. Повышение точности листового проката. / И.М. Меерович, А.И. Герцев, В.С. Горелик, Э.А. Кассен.-М.:Металлургия, 1969.-264с.
81. Смирнов А.Н. Металлургические мини-заводы / Смирнов А.Н., Сафонов В.М., Дорохов Л.В., Цюприн А.Ю./ - Донецк: Норд-Пресс-Донецк, 2005-469с.
82. Мазур В.Л. Производство листа с высококачественной поверхностью.-К.:Техніка, 1982,-165с.
83. Беньковский М.А., Мазур В.Л., Мелешко В.И. Производство автомобильного листа.-М.:Металлургия, 1979.-256с.
84. Мазур В.Л. Надежность технологического процесса производства листового проката./ В.Л. Мазур, Воробей

- С.А., Романовский Д.Л., Чменев А.А., Голубченко А.К., Свичинский А.Г./-К.:Техніка, 1992,-172с.
85. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. Рациональные направления тепло и энергосбережения при производстве проката / Производство проката.-2009,№1,с.34-37.
 86. Арих В.С., Новиков Е.И. Реконструкция стана 2800 на ОАО "Алчевский металлургический комбинат"// Металлургическая и горнорудная промышленность.-2008, №1- С.15-17.
 87. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах Т.3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др.-М.:Металлургия, 1988.-680с.
 88. Сосковец О.Н. Специализация прокатного производства /О.Н. Сосковец, Д.К. Нестеров, В.Л. Мазур, В.В. Калужный и др./-М.:Машиностроение, 1995.: том1-748с; том2-312с; том3-506с.
 89. Янсен Х., Совка Э.К. Прогресс в развитии литейно-прокатного агрегата компании ThissenKruppSteel// Черные металлы, 2007, №6.С.45-50.
 90. Амелинг Д., Х.ден Хартог, Штеффен Р. Сомещение непрерывного литья тонких слябов с горячей прокаткой в станах Европейского союза // Черные металлы, 2002, №5.-С.59-69.
 91. Грот И. Новый способ горячей прокатки тонких полос / И.Грот, Л. Сьеревогель, М. Корнелиссен и др.// Черные металлы, 2004, №7,8.-С.36-42.
 92. Галкин М.П., Никитин Г.С., Ритман Р.И. Компактные литейно-прокатные агрегаты для производства полос из сталей и сплавов//Металлург, 1999, №8.-С.25-30.
 93. Сивак Б.А., Протасов А.В. Развитие отечественного металлургического оборудования на основе модульных технологий.// Сталь, 2000, №8.-С.54-56.
 94. Стелла Ф. Совершенствование прокатки сверхтонкой полосы из непрерывно-литых тонких слябов/ Ф.Стелла, А.Каргони, П.Бобит, И.Фарук// Сталь, 2003, №11.-С.58-65.

Зміст

Вступ.....	3
1. ВИРОБНИЦТВО СЛЯБІВ.....	5
1.1 Виробництво слябів на обтискному стані.....	5
1.2 Швидкісний режим прокатки злитків.....	11
1.3 Розрахунок річного виробництва прокатного стана	15
1.4 Особливості деформації розкату і зниження витрат металу в обрєзь.....	16
1.5 Підвищення якості слябів.....	22
1.6 Визначення обтиснення, що допускається.....	25
1.7 Розрахунок параметрів деформації сляба в горизонтальних валках.....	29
1.8 Алгоритм розрахунку енергосилових параметрів прокатки в горизонтальних і вертикальних валках.....	42
2. ВИРОБНИЦТВО ТОВСТИХ ЛИСТІВ.....	47
✓2.1 Конструкції листових клітей.....	47
✓2.2 Характеристика толстолистого металу.....	51
✓2.3 Технологія прокатки на стані 3000 Алчевського металургійного комбінату.....	53
2.4 Технологія прокатки на товстолистому стані 3600.....	58
✓2.5 Товстолистий стан 5500.....	68
✓2.6 Способи розбиття ширини листа.....	72
2.7 Термічна обробка товстих листів. Холодильники.....	74
✓2.8 Контроль якості листів.....	82
✓2.9 Виробництво біметалічних листів.....	83
✓2.10 Особливості контрольованої прокатки товстих листів	85
✓2.11 Валки слябінгів і клітей листових станів.....	87
✓2.12 Розрахунок режиму деформації під час гарячої прокатки листів.....	92
3. ГАРЯЧА ПРОКАТКА НА ШИРОКОШТАБОВИХ СТАНАХ	108
✓3.1 Прокатка штаб на ШСГП 1680 ВАТ меткомбінат «Запоріжсталь».....	114
✓3.2 Технологічний процес прокатки на неперервному широкоштабовому стані 2030.....	119
✓3.3 Неперервна розливка – пряма прокатка слябів.....	129
✓3.4 Прокатка штаб з тонких слябів.....	133
✓3.5 Технологічний процес за способом CPS на ШСГП 2000	138
✓3.6 Установки ЛПМ для виробництва тонких штаб.....	143

3.7 Технологія прокатки на стані Стеккеля і на планетарному стані.....	149
3.8 Аналіз показників технологічних процесів.....	153
3.9 Прокатні валки широкоштабових станів гарячої прокатки.....	157
3.10 Дефекти поверхні листового металу.....	159
3.11 Розрахунок режиму деформації штаб на ШСПП 2030.....	161
4. ХОЛОДНА ПРОКАТКА ШТАБ.....	180
4.1 Характеристика цеху для холодної прокатки штаб.....	183
4.2 Характеристика цеху з неперервним станом 1700.....	186
4.3 Характеристика цеху холодної прокатки штаб із станом 2030.....	188
4.4 Очистка поверхні гарячекатаних штаб від окалини.....	192
4.5 Стикове зварювання штаб в лінії НТА.....	198
4.6 Холодна прокатка штаб на неперервних станах.....	201
4.7 Стани безперервної прокатки.....	206
4.8 Чотирьохвалкові реверсивні стани холодної прокатки штаб.....	212
4.9 Багатовалкові реверсивні стани холодної прокатки.....	215
4.10 Тертя і технологічні мастила.....	222
4.11 Несиметричні процеси прокатки штаб.....	227
4.12 Валки станів холодної прокатки.....	229
4.13 Термічна обробка, дресирування і обробка штаб.....	235
4.14 Основи виробництва жерсті.....	239
4.15 Геометричні параметри і матеріал валків для прокатки штаб.....	248
4.16 Типи профілювань бочок валків.....	254
4.17 Прогини валків чотирьохвалкової кліті.....	261
4.18 Розрахунок енергосилових параметрів прокатки.....	266
4.19 Алгоритм розрахунку і аналіз режиму деформації неперервного стану холодної прокатки.....	281
5. ТОЧНІСТЬ І ПЛОЩИННІСТЬ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ.....	288
5.1 Пружна деформація прокатної кліті.....	288
5.2 Розрахунок поздовжньої різнотовщинності штаби.....	291
5.3 Поздовжня різнотовщинність листів і штаб.....	296
5.4 Площинність штаб.....	302
5.5 Поперечна різнотовщинність штаби.....	306
Бібліографічний список.....	310

Віктор Олександрович Ніколасв
доктор технічних наук, професор

Валерій Леонідович Мазур
доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України

ВИРОБНИЦТВО ПЛОСКОГО ПРОКАТУ

Підручник

Підписано до друку 18.03.2010р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.
Умови друк арк. 17,8. Наклад 500 прим.
Видавничий договір № 5у/10. *Оц. 16,20*

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з комп'ютерного оригінал-макету

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226
РВВ ЗДА,
тел. 2-238-240

Свідомство про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 2958 від 03.09.2007 р.