

#### 4. ХОЛОДНА ПРОКАТКА ШТАБ

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

холоднокатана

штаба

$$h = 0,45...2 \text{ мм};$$

жерсть

$$h = 0,07...0,3 \text{ мм};$$

фольга

$$h = 0,0015...0,01 \text{ мм}.$$

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  $\sim 23$  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 емкисними) 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. Двадцятивалкові 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

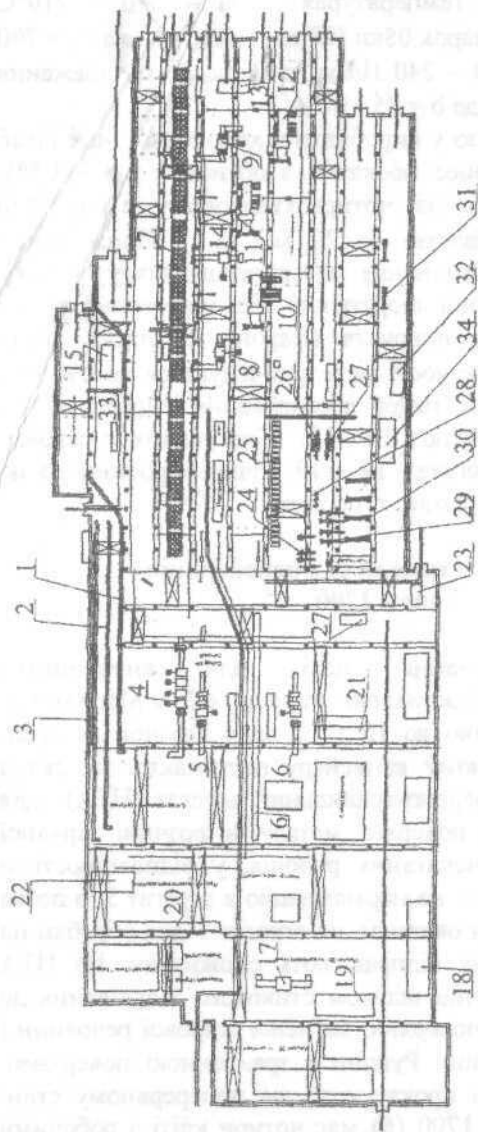


Рис. 4.1 – Схема розміщення устаткування цеху холодної прокатки №1 з неперервним чотирьохкільговим станом 1680:

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 печі; 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 стану; 20 – агрегат шліфовки штаби; 21 – в/ш. ділянка; 22 – агрегат різання; 23 – комора; 24 – агрегат миття; 25 – електропечі; 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 запчастин 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 дресування - процес прокатки з обтиском 0,8 - 1,5%. Дресування проводять на чотирьохвалковому стані (500/1300×1700 мм) з швидкістю до 20 м/с (8,9). Призначення дресування металу - зміцнення поверхневого шару штаби і додання їй поверхні певної шорсткості або мікрорельєфу, що забезпечує адгезіювання покриття (фарби) на листі. Після дресування границя текучості металу знижується до  $\sigma_T = 130 - 180 \text{ Н/мм}^2$ . Готові рулони після дресування 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  $\sim 500$  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).

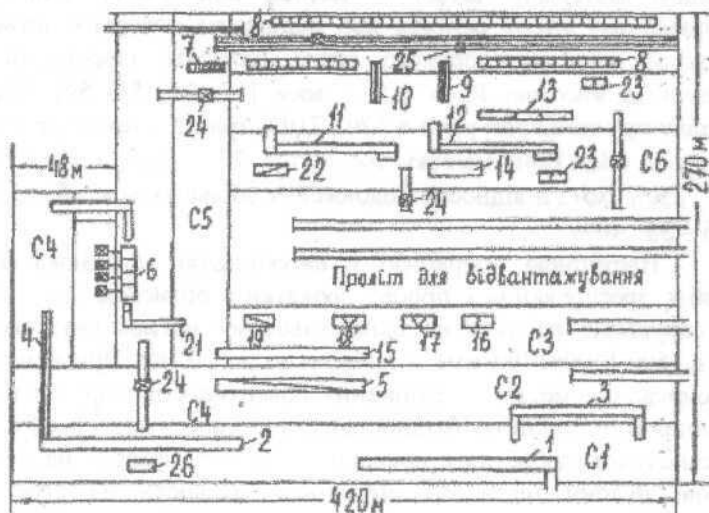


Рис. 4.2. Схема розташування обладнання цеху холодної прокатки із неперервним чотирьохклітьовим станом 1700: 1-підземний конвейер рулонів; 2-неперервно-травильний агрегат; 3-агрегат нормалізації; 4-транспортер; 5-агрегат комбінованого різання; 6-чотирьохклітьовий стан; 7-конвейер; 8-ковпакові печі для 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/мм<sup>2</sup> до  $\sigma_T = 220...250$  Н/мм<sup>2</sup>, 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).

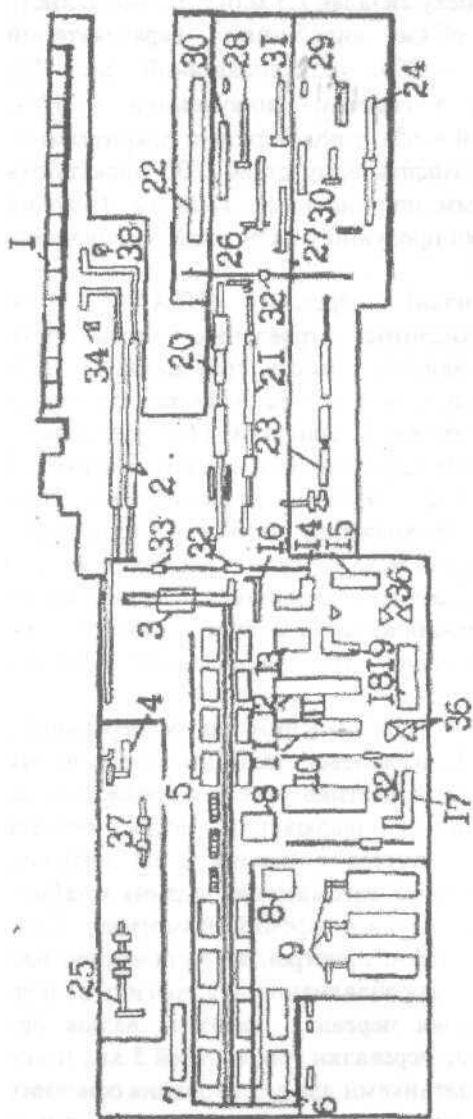


Рис. 4.3. Схема розташування обладнання у цеху холодної прокатки з 2-ятикільовим станом 2030: 1-конвейс гарячекатаних рулонів; 2-неперервний гравільний агрегат; 3-п'ятикільовий стан безперервної прокатки; 4-дресирувальний стан травлених гарячочкаганих штаб; 5-ковпакові печі; 6-ковпакові печі для відпалу розпушених рулонів; 7-агрегат для розпушування рулонів перед відналом; 8-однокільовий дресирувальний стан 2030; 9-агрегат подовжного різання з лініями упакування; 10, 11, 12, 25, 26, 27-агрегати поперечного різання; 20-агрегат неперервного відпалу холоднокатаних штаб; 13, 14, 28, 29-агрегат подовжного 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 подовжного 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 ножниц 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/мм<sup>2</sup>. 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  $\approx 2$  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 м<sup>3</sup> 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 цією 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.

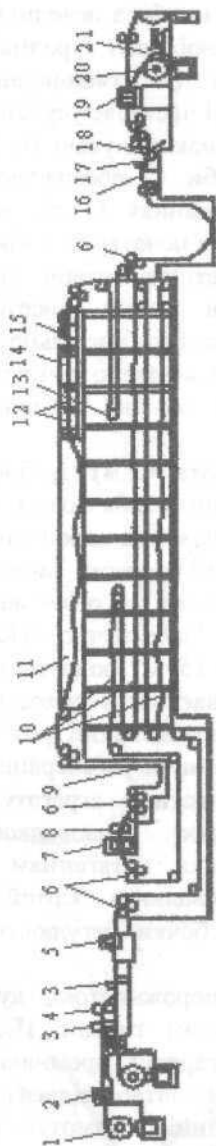


Рис. 4.4. Схема неперервного травильного агрегату: 1-розмотувач з згинальним роликом; 2-подаючі ролики і правильна машина; 3-гильотинні ножичі; 4-подаючі ролики; 5-зварювальна машина; 6-натяжна станція; 7-дресирувальна кліть; 8-згинальні ролики; 9-петльова яма; 10-накопичувач штаби; 11-ванни травлення; 12-ванни холодного промивання; 13-натяжні ролики; 14-ванна гарячого промивання; 15-сушильний пристрій; 16-пристрій для вирубування кромок штаби у зварного шва; 17-дисккові ножичі; 18-кромкокришільна машина; 19-промаслювальна машина; 20-моталка; 21-захльостувач.

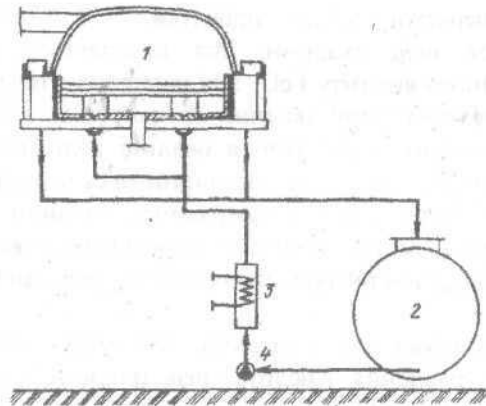


Рис.4.5 Схема циркуляції розчину в дрібній ванні:  
 1 – ванна; 2 – смістіть; 3 – теплообмінник;  
 4 – циркуляційний насос

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...850<sup>0</sup>С на штабі утворюється шар окалини, яка складається переважно із легкоотравимого вюститу FeO. З підвищенням температури з 860 до 930<sup>0</sup> товщина шару окалини збільшується з 75 до 150 мкм при одночасному збільшенні в окалині долі Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит) і Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (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...600<sup>0</sup>С.

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 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> і Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Реакції розчинення FeO і Fe течуть наступним чином:

в сірчаній кислоті:



в соляній кислоті:



При травленні в розчинах цих кислот частково розчиняються Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. 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 травленням 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  $80^{\circ}\text{C}$  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  $85...95^{\circ}\text{C}$ .

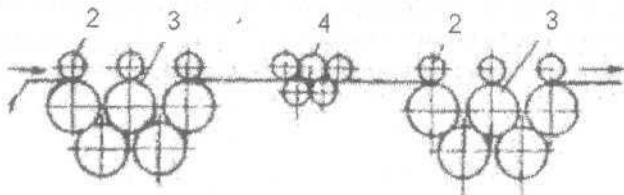


Рис.4.6. Схема згибно-розтяжної машини: 1 - штаба; 2 - притискний ролик; 3 - натяжний ролик; 4 - ролики, що вигинають (правильна машина)

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 м<sup>3</sup> 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 мм<sup>2</sup> (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.

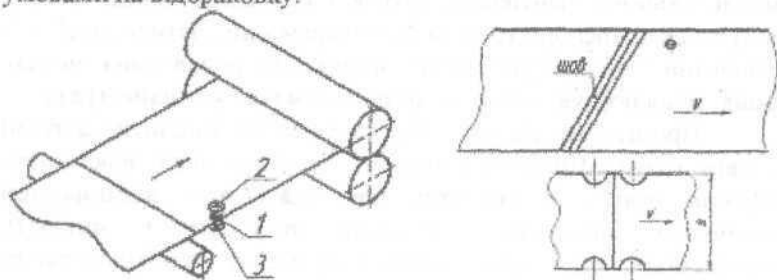


Рис. 4.7. Способи виготовлення отворів для виявлення зварного шва

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 стану 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 кліти 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).

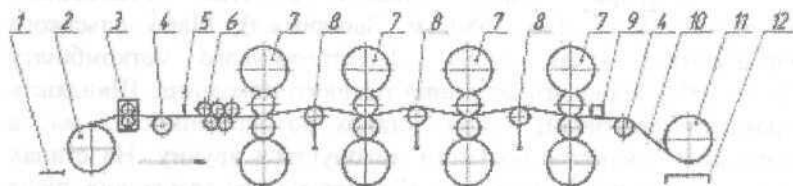


Рис.4.8. Схема розташування устаткування неперервного стана порулонної холодної прокатки: 1 - приймальний транспортер; 2 - розмотувач; 3 - відгинач кінців рулонів; 4 - обвідний ролик; 5 - індикатор шва; 6 - ролик натягач; 7 - чотирирохвалкові кліті; 8 - ролик тензометричного пристрою; 9 - товщиномір; 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 стана 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 стана 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 стана, 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  $\sigma_3$  [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).

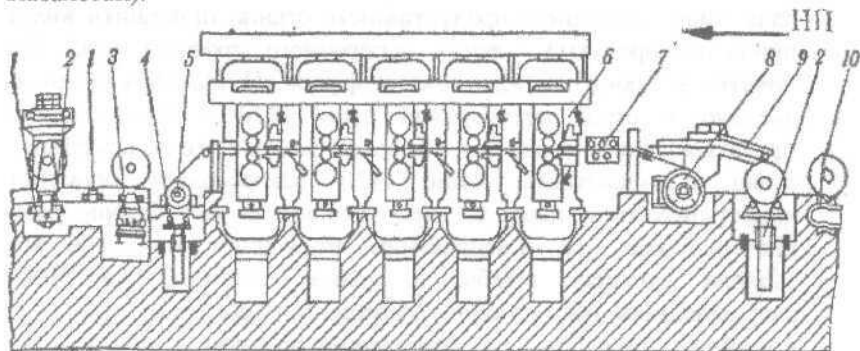


Рис.4.9 Неперервний 5-клітьовий стан 1700: 1 – ланцюгові конвейєри №1,2; 2 – передавальні візки; 3 – ваги; 4 – снімач ролонів; 5 – моталка; 6 – робоча кліть кварто; 7 – правильно-тягнуча машина; 8 – розмотувач; 9 – відгинач кінців штаби; 10 – конвейєр

Технічна характеристика цього стану відмінна від характеристики, чотирьохклітьових станів, 1680 і 1700:

Маса ролонів (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, $\text{м/с}^2$	2,5
Сповільнення, $\text{м/с}^2$	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.

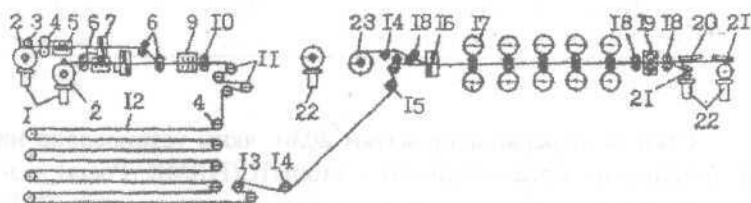


Рис.4.10. Схема розташування обладнання п'ятикільтового стану безперервної прокатки 2030: 1-рулонний візок; 2-розмотувачі; 3-притискувальний ролик; 4,8-тягнучі ролики; 5-правильна машина; 6-стіл; 7-ножиці; 9-зварна машина; 10, 11-натяжні станції; 12-петльовий накопичувач; 14-направляючі ролики; 16-ножиці; 17-кліті; 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.

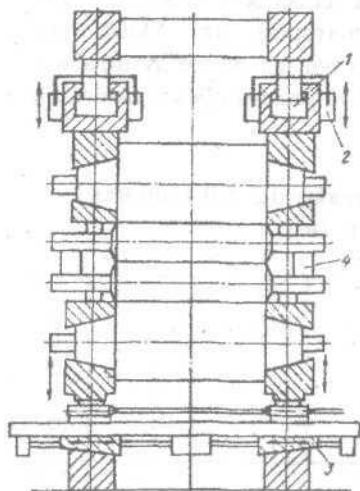


Рис. 4.11 Схема кліті з гидронатискним і клиновим пристроями:

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 стану (рис. 4.11) для отримання якісної штаби і швидкого здійснення перевалок забезпечені гідравлічним приводом нажимного пристрою, що має високу швидкість (~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 стану 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 стану 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 стану 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  $\sim 4$  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.

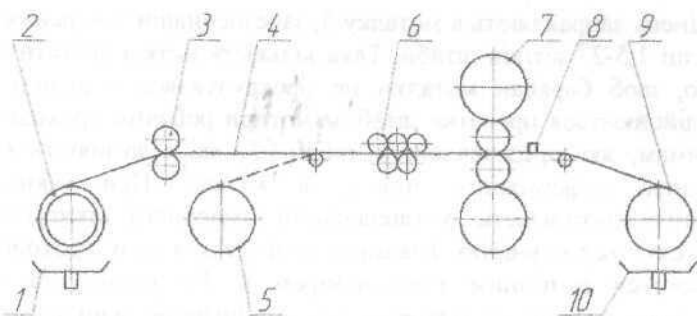


Рис.4.12 Схема реверсивного чотирьохвалкового стана: 1 – стіл; 2 – розмотувач; 3 – тягучі ролики; 4 – штаба; 5 – моталка; 6 – роликівка; 7 – кліть; 8 – вимірник товщини штаби; 9 – моталка; 10 – прибиральний пристрій.

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 навантаження 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<sup>\*</sup> 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].

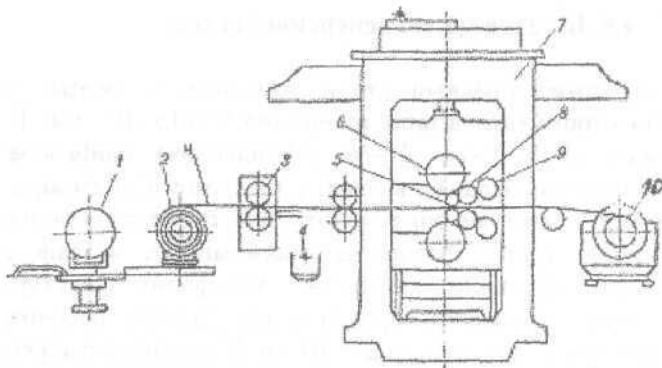


Рис. 4.13. Схема реверсивного стану 250/1320×1400:

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  $\sigma_T$  - 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].

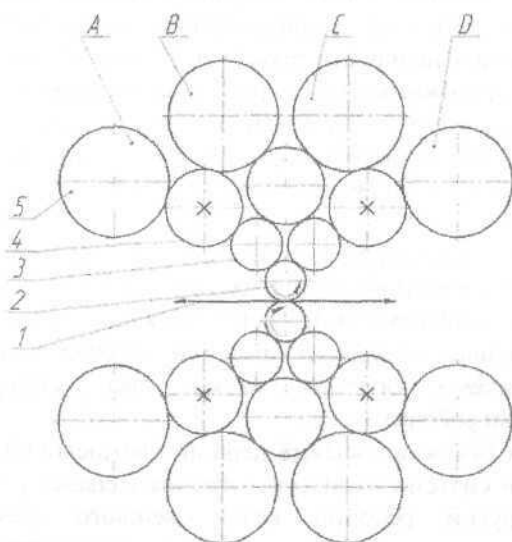


Рис. 4.14. Схема розташування валків 20-ти валкового стану типу Сендзіміра : 1 – штаба; 2 – робочі валки; 3 – перші проміжні опорні валки; 4 – другі проміжні опорні валки; 5 – основні опорні осі; х – приводні валки.

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 ( $D_p = 114...167$  мм), що приводить до виникнення значних сил прокатки і прогинів валків. Для компенсації цих прогинів скоси на проміжних валках виконують з глибиною урізу до  $1,3...1,7$  мм на діаметр, а робочі валки застосовують з випуклістю до  $0,3$  мм. Зменшення діаметра робочих валків з  $140$  мм до  $100$  мм зменшує величину випуклості 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  $\sim 10$  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	$\frac{167}{114,8}$ <sup>х)</sup>	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)						

<sup>х)</sup> 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  $\tau_c$ ,  $\tau_r$ ,  $\tau_{жк}$  – 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].

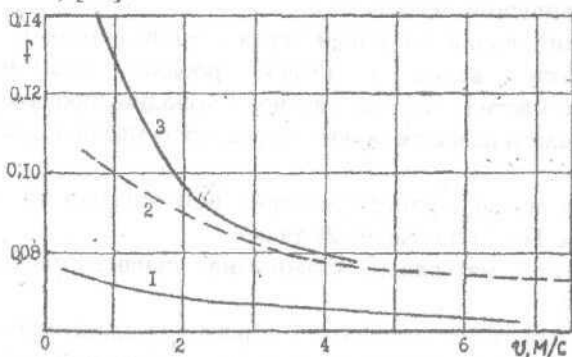


Рис. 4.15 Вплив швидкості валків на коефіцієнт зовнішнього тертя при холодній прокатки штаб сталі ст. 08пс з розмірами  $0,83-1,57$  мм на реверсивних станах 1200 і 1680 (шорсткість валків  $R_a$ , мкм: 1-0,65; 2-1,8; 3-3,8)

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  $\tau$  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  $\tau$  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 <sup>0</sup> 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...50<sup>0</sup>С, 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).

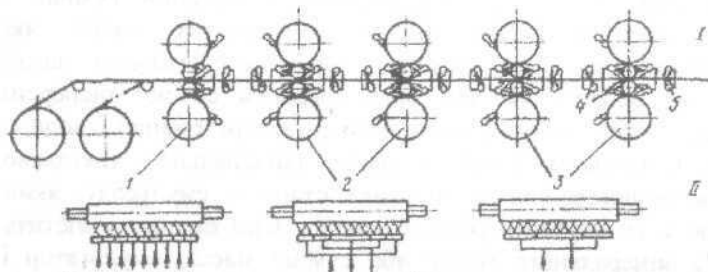


Рис. 4.16. Схема подачі емульсії і мастила на валки і штабу: I - схема стана; II - схема колекторів; 1 - п'ята кліть; 2 - третя і четверта кліть; 3 - перша і друга кліть; 4 - подача емульсії; 5 - подача масла на штабу

Колектори секціоновані: на першій і другій клітях – трисекційні; третьої і четвертої – 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 кова валкам, відбійниками емульсії і вихідними провідниками. У п'ятій кліті передбачено пристрій для видалення емульсії зі штаби.