

621.771

Н 632

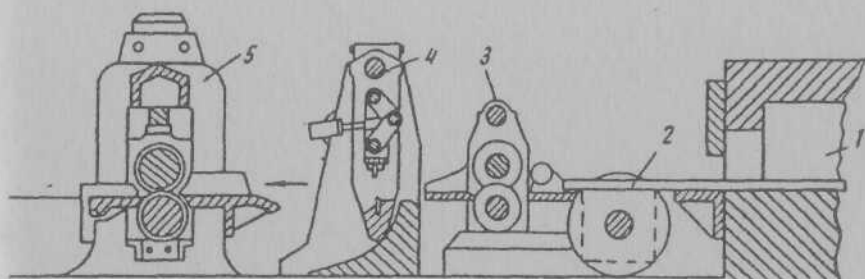
Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



В. О. Ніколаєв

ОБТИСКНЕ ТА СОРТОВЕ ВИРОБНИЦТВО ПРОКАТУ

Навчальний посібник



Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

*Затверджено до друку
рішенням науково-методичної ради ЗДІА
протокол № 1 від 25.11.2015р.*

ОБТИСКНЕ ТА СОРТОВЕ ВИРОБНИЦТВО ПРОКАТУ

Навчальний посібник

*Рекомендовано до видання
на засіданні вченої ради ЗДІА,
протокол № 10 від 26.11.2015р.*

Запоріжжя
ЗДІА
2015

ББК 621.771
Н 632

В. О. Ніколаєв, д.т.н., професор

*Відповідальний за випуск: зав. кафедри ОМТ,
професор В. О. Ніколаєв*

Ніколаєв В.О.

Н 632 Обтискне та сортове виробництво прокату: навчальний посібник /
Ніколаєв В. О.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – 130 с.

У навчальному посібнику представлені опис і аналіз технологічних процесів на традиційних і сучасних сортових станах гарячої прокатки металу. Приділена увага процесам виробництва металу на ливарно-прокатних агрегатах, аналізу особливостей і закономірностей деформації металу в простих калібрах різних систем, а також у фасонних калібрах (двотаврові балки, рейки). На підставі промислових даних і теоретичного аналізу запропоновані методи розрахунку кінематичних і силових параметрів прокатки в ящичних, ромбічних, квадратних і інших калібрах.

Розглянуті варіанти схем калібрувань валків для прокатування простих і складних профілів.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціалізації «Обробка металів тиском» і студентів, що навчаються за напрямами: «Металургія» та «Механічне устаткування».

356785

© Ніколаєв В.О., 2015

ЗМІСТ

Вступ	4
1 ТЕХНОЛОГІЯ І ОСОБЛИВОСТІ ПРОКАТКИ СОРТОВИХ ЗАГОТОВОК	6
1.1 Технологія прокатки великих заготовок на блюмінгу	7
1.2 Особливості деформації високих розкатів	12
1.3 Блюмінг 1150 з трубозаготовочним станом 900/750	23
1.4 Неперервно-заготовочний стан 900/700/500	26
1.5 Закономірності течії металу у ящиківих калібрах НЗС (розширення).....	29
1.6 Випередження при прокатуванні в калібрах	31
1.7 Енергосилові параметри прокатки в ящиківих калібрах.....	33
1.8 Розрахунок об'ємних розкату, що допускаються	36
1.9 Закономірності деформації в калібрах системи ромб-квадрат на НЗС.....	39
1.10 Секундний об'єм металу у клітях неперервного стана	47
1.11 Виробництво безперервно-литий заготовки	48
2 РЕЙКОБАЛКОВІ ТА ВЕЛИКОСОРТНІ СТАНИ	52
2.1 Технологія прокатки на традиційному (лінійному) рейкобалковому стані	53
2.2 Особливості калібрування рейок в двохвалкових калібрах на традиційних рейкобалкових станах (РБС)	58
2.3 Нові технології виробництва рейок	64
2.4 Прокатка і калібрування двотаврових балок на станах різного типу	70
2.5 Особливості деформації металу в рейкових і балкових калібрах	75
3 ПРОКАТКА НА СОРТОВИХ СТАНАХ	79
3.1 Технологічний процес прокатки на стані 600	81
3.2 Виробництво профілів на дрібносортних станах	86
3.3 Прокатка на неперервному двохнитковому дрібносортному стані 250	87
3.4 Прокатка на неперервному однитковому дрібносортному стані 250	89
3.5 Вдосконалення технології і устаткування дрібносортних станів	94
4 ВИРОБНИЦТВО ДРОТУ	103
4.1 Прокатка на неперервному чотирьохнитковому стані	104
4.2 Технологія прокатки-розділення в чорновій групі неперервного дротяного стана	106
4.3 Неперервний дротяний стан 150	108
4.4 Регульоване охолодження катанки	113
4.5 Ливарно-прокатний агрегат для виробництва дроту	115
4.6 Параметри деформації металу у витяжних калібрах	118
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	126

Вступ

Прокатне виробництво є ключовим у випуску готової продукції чорної металургії. На металургійних підприємствах України експлуатується 11 блюмінгів і слябінгів, 5 заготовочних станів, 1 трубозаготовочний, 1 рейко-балковий, 8 великосортних, 7 середньосортних, 11 дрібносортних, 1 дрібносортно-дротовий, 5 дротових, 5 кулепрокатних, 1 вісепрокатний, 1 колесопрокатний, 1 коїльцепрокатний.

Прокатні стани забезпечують основні потреби внутрішнього ринку по марочному і розмірному сортаменту продукції, що випускається. Ряд станів вже модернізований і реконструйований. Пріоритетними напрямками розвитку прокатного виробництва є [1]:

- поліпшення якості продукції, удосконалення її сортаменту, підвищення конкурентоспроможності;
- удосконалення структури виробництва, модернізація основного і допоміжного устаткування прокатних цехів;
- зменшення сировинних і енергетичних витрат за рахунок переходу на безперервно-литую заготовку;
- виведення із експлуатації збиткових і застарілих прокатних станів за умови забезпечення внутрішнього попиту на прокат і експорту прокату.

Модернізовані, залишені в експлуатації потужності сортових станів, а також нові стани забезпечують потребу народного господарства як за об'ємом так і по сортаменту прокату, а також дають можливість експортувати конкурентоздатну продукцію, у тому числі заготовки, рейки, катанку, арматурну сталь і інші види прокату. Особливо значній модернізації піддані дротові стани 250-1 Криворізького меткомбінату, де застаріле устаткування було цілком замінено новим, що дає можливість отримувати катанку підвищеної точності. Виконана реконструкція дрібносортного стана 250-6 Криворізького меткомбінату, де була побудована додатково лінія виробництва катанки діаметром 5...12мм. Виконана реконструкція дрібносортного стана 250-3 з сучасним устаткуванням для упаковки готового прокату і новими летючими ножицями [1].

Реконструйовані прокатні стани металургійного комбінату «Азовсталь» (м.Маріуполь) і Дніпровського металургійного комбінату (м. Дніпродзержинськ).

Діючі потужності прокатних станів перевищують потребу внутрішнього ринку. Фізично зношені стани, а також стани, продукція яких не матиме попиту, виводитимуться з експлуатації. Крім того, за умови будівництва нових МНЛЗ, будуть виведені з експлуатації блюмінги і неперервно-заготовочні стани.

З сортових прокатних станів, які залишаються в експлуатації, фізично зношеними є стани 550 і 325 ВАТ «Дніпроспецсталь». Виведення цих станів із експлуатації найближчим часом не передбачене, оскільки вони забезпечують потребу України в легованому і високолегованому сортовому

прокаті. Зупинка цих станів може бути здійснена після будівництва і введення в експлуатацію нових подібних станів.

Для підвищення конкурентно-спроможності металопрокату, зниження витрати металу і енергоресурсів необхідно забезпечити [2]:

- виробництво більше 80 % сортового прокату з використанням неперервно-ливої заготовки;
- організацію виробництва прокату відповідно до вимог сучасних стандартів;
- впровадження неруйнівного контролю механічних властивостей прокату;
- автоматизовану маркіровку, різні укладальники для якісного пакування готового прокату, покриття для консервації прокату;
- поліпшення технології гарячого і холодного різання прокату для підвищення точності по довжині;
- розширення спеціалізації прокатних станів для виробництва прокату широкого сортаменту малотоннажними партіями для чистового вирубування, дрібносортового прокату з різними покриттями металопластом для побутової техніки і інших товарів широкого споживання, сортаменту гнутих профілів;
- реконструкцію ділянок обробки і пічного обладнання;
- розширення обсягів виробництва прокату зі зниженою температурою нагріву для зменшення витрати енергії і підвищення фізико-механічних властивостей готової металопродукції;
- широке впровадження технології зміцнення прокату з використанням тепла прокатного нагріву;
- збільшення зносостійкості прокатних валків для зменшення кількості перевалок і поліпшення якості прокату по геометричних розмірах. Впровадження зносостійких марок чавуну і сталі для виробництва прокатних валків і різних способів їх зміцнення.

Незважаючи на достатні виробничі потужності сортопрокатних станів, окремі сортові профілі на підприємствах України не виготовляють. До них відносяться рейки трамвайні, контррейки, двутаври з паралельними і широкими гранями полиць, дрібносортові профілі з підшипникової сталі, окремі види інструментальної сталі, бурова порожниста сталь, сортовий прокат з електротехнічних сталей і сплавів, інструментальна стрічка [2].

Сортові стани, що реконструюються і модернізовані, а також стани, що знову вводяться в дію, забезпечать потребу економіки України як в необхідному об'ємі, так і по сортаменту і дадуть можливість поставляти на експорт рейки, катанку, арматурну сталь і інші якісні види металопрокату.

1 ТЕХНОЛОГІЯ І ОСОБЛИВОСТІ ПРОКАТКИ СОРТОВИХ ЗАГОТОВОК

Великі сортові заготовки (блюми) одержують нині на машинах безперервного лиття заготовок (МНЛЗ), блюмінгах, блюмінгах-слябінгах і Ці агрегати встановлені на початку циклу виробництва сортового прокату (рис.1.1). Блюми, прокатані на обтискних станах і неперервних заготовочних станах (НЗС) або великі заготовки з МНЛЗ, поступають транзитом або з попереднім нагрівом на сортові стани. Універсальні балочні стани (УБС) і рейкобалочні стани (РБС) випускають готові профілі, а заготовочні стани різного типу (НЗС, ТрЗС і ЛЗС) - заготовку для подальшого прокатування і отримання готового профілю різних розмірів і форми (рис.1.2).

Основні недоліки обтискних станів (блюмінги, блюмінги-слябінги) наступні:

- відсутня безперервність процесу, застосовується прокатки металу зі злиwkів;
- великі втрати металу в окалину і обрєз;

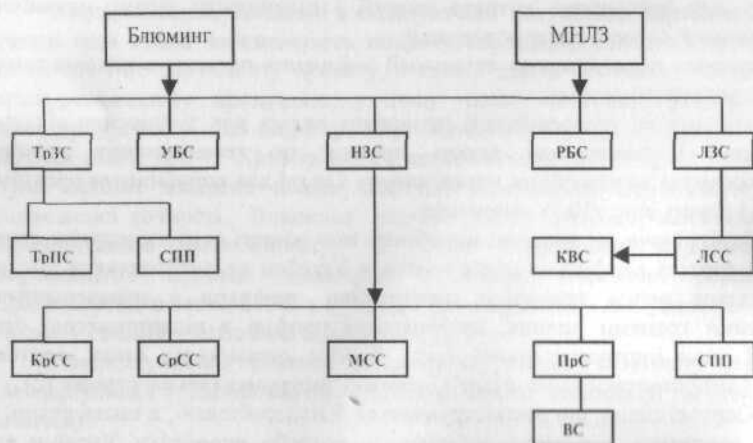


Рисунок 1.1- Схема прокатки сортового металу : ТрЗС - трубозаготовочний стан; НЗС - неперервно-заготовочний стан; РБС - рейкобалочний стан; ЛЗС - лінійний заготовочний стан; ТрПС - трубoproкатний стан; СПП - стан періодичної прокатки; ЛСС - лінійний сортовий стан; КВС - калібрувальний і волочильний стани; КрСС - великосортний стан; СрСС - середньосортний стан; МСС - дрібносортовий стан; ПрС - дротовий стан; ВС - волочильний стан

- необхідність використання додаткових транспортних коштів для перевезення зливків із сталеплавильного цеху в обтискний цех;
- додаткові енергетичні витрати на нагрів зливків і на прокатку зливків з майбутньою обрешю;
- необхідність споруди і подальших ремонтів нагрівальних колодязів.

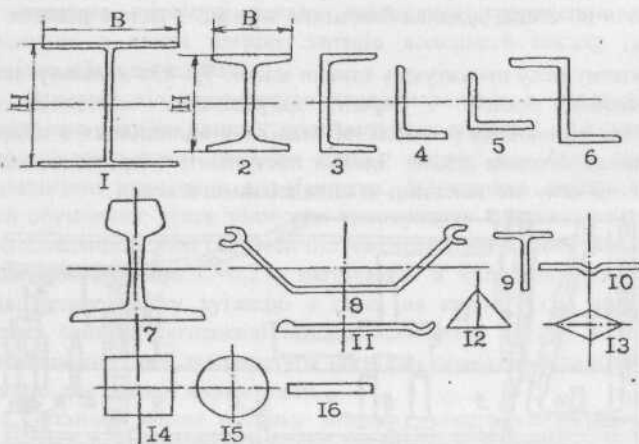


Рисунок 1.2- Прості і фасонні профілі прокату : 1 - широкополочная балка; 2 - стандартна балка; 3 - швелер; 4 - нерівнобічний куток; 5 - рівнобокий куток; 6 - Z-подібний профіль; 7 - рейка; 8 - шпунтовий профіль; 9 - тавровий профіль; 10 – ресорний профіль; 11 - автообід; 12 - тригранник; 13 - ромбовидний; 14 - квадратний; 15 - круглий; 16 - прямокутний профіль

Все ж розвиток МНЛЗ не виключає застосування обтискних станів. Проте ці стани використовують для зменшення поперечних розмірів литих заготовок без проміжного підігрівання металу, що дозволяє підвищувати продуктивність МНЛЗ. На обтискних станах (блюмінгах), що випускають блюми 300x300...400x400мм, встановлені неперервно-заготовочні стани (НЗС), на яких прокатують квадратну заготовку з розмірами 60...200мм. Ці заготовки направляють на стани для прокатування різних профілів (рис.1.2).

1.1Технологія прокатки великих заготовок на блюмінгу

Нині великі і невеликі заготовки отримують переважно на машинах безперервного лиття заготовок (МНЛЗ) і на ще працюючих блюмінгах.

Технологічний процес прокатки на існуючих різних блюмінгах не містить принципових відмінностей. Тому розглянемо технологічний процес

на блюмінгу 1300 останньої побудови (меткомбінат в м.Кривий Ріг, Україна)[3]. Розмір стана, який прокатує заготовку або будь-який сортовий профіль, визначається максимальним діаметром валків, а точніше-міжосьовою відстанню валків шестерінчастих клітей при їх наявності. Відповідно до цього блюмінг 1300 має нові валки діаметром 1300мм і річне виробництво прокату в межах 6 млн.т. Блюмінг 1300, який встановлено спільно з неперервно-заготовочним станом 900/700/500. Обтискний цех включає декілька основних ділянок: нагрівальні колодязі, ділянка подачі нагрітих злиwkів до стана, ділянка блюмінга, ножиці з силою різання 12МН (рис.1.3).

У обтискному цеху прокатують зливки масою 7,5-13т з маловуглецевою і низьколегованою сталей. У проліт нагрівальних колодязів зливки потрапляють без виливниць (з киплячої сталі) і у виливницях з приростом (спокійна і низьколегована стали). Зливки поступають в проліт колодязів із сталеплавильного цеху по залізниці із спеціальними візками.

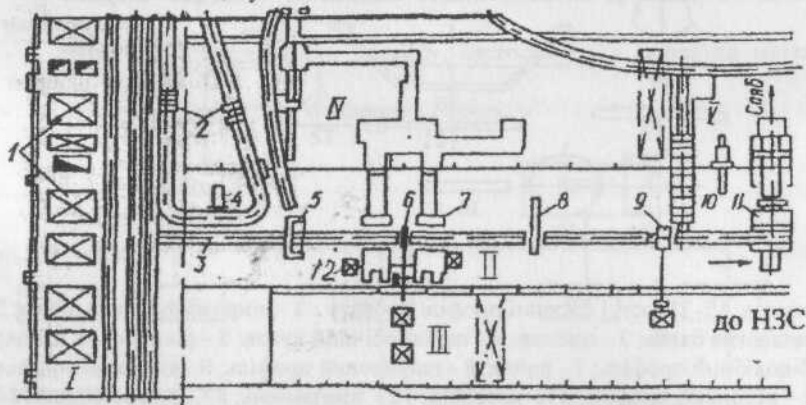


Рисунок 1.3 - Схема розміщення устаткування блюмінга 1300; I - відділення нагрівальних колодязів; II - проліт стана; III - електромашинний зал; IV - проліт скрапний; 1 - нагрівальні колодязі; 2 - зливковози; 3 - приймальний рольганг; 4 - зліттовхувач злиwkів; 5 - ваги; 6 - робоча кліть блюмінга; 7 - маніпулятор; 8 - машина вогневої зачистки; 9 - ножиці; 10 - конвейєр для прибирання обрізків; 11 - механізми для прибирання блюмів на склад; 12 - маніпулятор з перекидачем

Посадку злиwkів в колодязі (рекуперативні і регенеративні) і видачу злиwkів з них виконують колодязними кранами (тиглер-кранами), кількість яких на працюючих станах 6-7 шт.

Зливки підвозять в проліт нагрівальних колодязів в гарячому стані (650...950⁰С) їх встановлюють у вертикальному положенні в осередки колодязів. Застосування гарячого посаду забезпечує скорочення часу нагріву в порівнянні з часом нагріву злиwkів холодного посаду (з температурою

довкільля або менше 600°C). В середньому гарячий посад зливків в цеху складає $\approx 7\%$ загальної кількості зливків.

Для нагріву зливків на блюмінгу 1300 використовують 14 груп колодязів по чотири осередки в кожній групі колодязів. Висота осередку 4,45м, розміри 3,3 x 9,85м, місткість 14-16 зливків. У якості палива використовують суміш коксівного і доменного газів, а повітря підігрівають до $700\dots 800^{\circ}\text{C}$. Зливки підвозять в проліт нагрівальних колодязів в гарячому стані ($650\dots 950^{\circ}\text{C}$), їх встановлюють у вертикальному положенні в осередки колодязів. Застосування гарячого посаду забезпечує скорочення часу нагріву в порівнянні з часом нагріву зливків холодного посаду (з температурою довкільля або менше 600°C)

Залежно від температури посадки зливків в колодязі і їх хімічного складу час нагріву зливків коливається в межах 2...10 годин. Збільшення температури гарячої посадки зливка знижує час його нагріву, підвищує технологічні показники виробництва. Збільшення вмісту вуглецю (%C) в сталі обумовлює деяке зниження температури $t_{\text{н}}$ зливка з метою збереження його пластичних властивостей під час прокатки. Зливки маловуглецевої сталі з вмістом вуглецю $C=0,2\%$ нагрівають в колодязях до $t_{\text{н}}=1200\dots 1220^{\circ}\text{C}$. Підвищення вмісту вуглецю в сталі на кожні 0,1% знижує температуру нагріву зливків вуглецевої сталі в колодязях на $25\dots 30^{\circ}\text{C}$. При зниженні пластичності сталі температуру нагріву і прокатки встановлюють досвідним шляхом для кожної марки стали.

Останнім часом посадку зливків в осередки колодязів виконують з рідкою серцевиною (температура поверхні $t_{\text{н}} \geq 1000^{\circ}\text{C}$), а температуру в осередках зменшують, зменшуючи витрату газу. В цьому випадку нагрів поверхневих шарів зливка виконується також за рахунок теплової енергії рідкої фази серцевини зливка. При нагріві таких зливків температуру під кришкою знижують до $t=1300^{\circ}\text{C}$

У роботі [4] приведені відомості прокатки блюмів із зливків з рідкою серцевиною на блюмінгу 1050 Дніпропетровського металургійного заводу (м. Дніпропетровськ). В результаті досліджень встановлено:

- при нагріві зливків знижується витрата умовного палива в 1,5 разу;
- збільшується температура закінчення прокатки, знижуються завантаження головного двигуна і витрата електроенергії;
- зменшується нерівність торцевих ділянок блюмів.

Нагріві зливки доставляють до стана різними способами. З ближніх до стана осередків зливки доставляють на приймальний рольганг колодязними клішовими кранами, а з далеких осередків – зливковозними візками з максимальною швидкістю руху до 6м/с. Обтискні стани мають декілька типів способів передавання зливків до кліті.

Транспортний шлях зливкоподачі, розташований перпендикулярно до лінії прокатки, а зливки до приймального рольганга подають два зливковози з електромеханічним приводом.

Транспортний шлях зливкоподачі, який розташований уздовж лінії прокатки, зливки до стана подає один зливковіз. Зливкоподача розташована

уздовж фронту нагрівальних колодязів. Недоліком обох розглянутих схем є невелика їх продуктивність, недостатня інтенсивність подання зливоків.

Кільцева зливкоподача (рис.1.1) (розроблена на УЗТМ, Росія), в якій зливки (один або два) транспортуються до приймального рольгангу трьома зливковозними візками без перекидачів. Ця схема є раціональною для обтискного стану і забезпечує стан нагрітими зливками без затримок.

Блюмінг 1300 має валки з максимальним діаметром по буртах 1300мм і мінімальним після зносу і періодичних переточувань ~ 1180мм, довжина бочки 2800мм. Привід валків індивідуальний від двох електродвигунів постійного струму, з потужністю кожного по $N=6800\text{кВт}$ і максимальною швидкістю обертання валків 4,5м/с. На стані прокатують блюми перерізом ~ 300x300...400x400мм, які потім прокатують в заготовку менших розмірів на неперервно-заготовочному стані (НЗС).

Обертання валків здійснюється від двигуна через універсальні шпинделі. Валки обертаються в текстолитових підшипниках ковзання. Валки (Ст.55, Ст.55ХГ) повинні мати необхідні зносостійкість і термічну стійкість. Підвищення цих показників в 2...4 разу забезпечується наплавленням на поверхню порошкового дроту ПП25Х5ФМС і дротом марки 4Х5В4МФС з товщиною шару 10...20мм.

У кліті блюмінга верхній горизонтальний валок у вертикальному напрямі переміщається електромеханічним натискним пристроєм із швидкістю 150...220мм/с (максимальна висота підйому 1500мм). Висока швидкість переміщення валка у вертикальній площині знижує час пауз між проходами.

По довжині бочки валка урізані чотири калібри ящикної форми (рис. 1.4), в яких злинок деформується у блюм. Перший калібр називається гладкою бочкою і в ній робиться приблизно 40...60% загальної кількості проходів. Глибина урізу в валки цього калібру складає усього 80...100мм, а інших 190...220мм. При прокатуванні одного зливка величини обтиснень складають 80...110мм за прохід, а при двозливковому прокатуванні обтиснення у ряді випадків зменшують до 70...90мм внаслідок того, що захват другого зливка виконується при $n=30-45\text{об/хв}$. Переміщення розкату перед кліттю від одного калібру до іншого виконують маніпуляторними лінійками, а кантування на 90° - кантувачем, кроку якого змонтовані на лінійці маніпулятора, розташованого з боку приводу валків. Прокатку блюмів виконують за 9-15 проходів. Температура кінця прокатки $t=1100...1150^\circ\text{C}$. Більша кількість проходів застосовує при прокатуванні блюмів із сталей з недостатніми пластичними властивостями або менших розмірів.

Існує дві системи калібрування валків блюмінга [5,9]:

- гладка бочка, розташована з краю валка (рис.1.4, а);
- гладка бочка, розташована в середній частині бочки валка (рис.1.4, б).

У першій схемі прокатка починається в 1-у калібрі (гладка бочка) і розкат потім послідовно переміщають в 2, 3, 4 калібри. У другій схемі розкат після прокатки на гладкій бочці передають в калібр 2, розташований зліва від гладкої бочки, а потім передають, минувши гладку бочку, в калібри 3 і 4.

Тому час прокатки за схемою «б» завжди більший, а продуктивність менша, ніж за схемою «а». Проте розподіл реакцій сили прокатки на шийки валків більше рівномірно в схемі «б», чим в схемі «а».

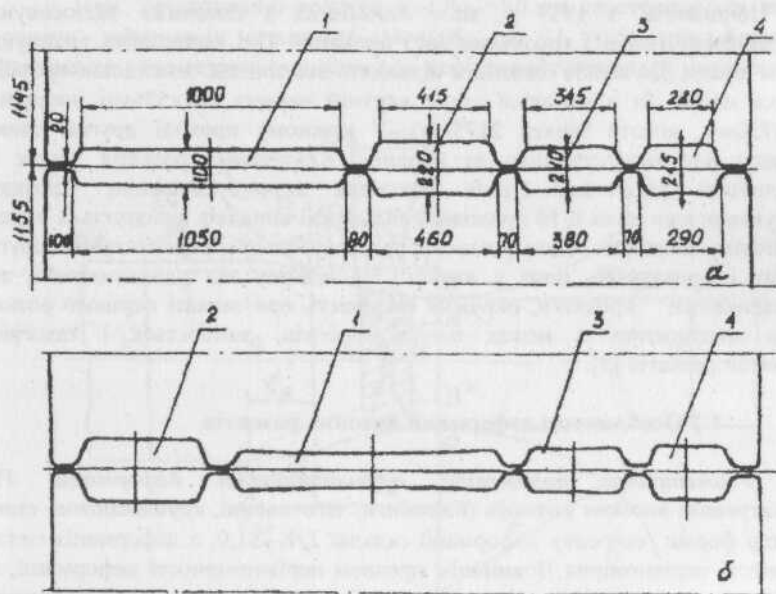


Рисунок 1.4- Схеми розташування калібрів: а - гладка бочка з краю валка; б - в середині

При прокатуванні блюмів після другого проходу обов'язково виконують кантування для зняття конусності зливка, а потім для обтиснення усіх сторін розкату, кантування виконують через 4-6 проходів. У чистовому калібрі завжди виконують один прохід. При прокатуванні блюмів з легованих марок сталі кількість калібрів збільшують до 5, а кількість проходів завжди більша, ніж при прокатуванні блюмів з вуглецевих марок сталей

На поверхневому шарі блюма, як правило, є дефекти металургійного (неметалічні вclusions, плівка) і прокатного (тріщини) виробництва, які видаляють на машині вогневої зачистки. На цій машині знімають кисневим струменем шар металу завтовшки біля 2мм з кожного боку блюма. Швидкість зачистки 0,8...0,9м/с. Кінцеві ділянки блюма видаляють на ножицях. При цьому на розкатах з киплячої і напівспокійної сталі від задньої дефектної ділянки відрізують 2...3% металу, а від переднього кінця вирізують усадкову рихлість у розмірі 4...8% довжини розкату. Обрізки розкатів із спокійної сталі з додатковою частиною (задній кінець розкату) складає

10...14%, а на передньому кінці (донна частина зливка) обрізки дорівнюють 2...3%. У разі відправки блюмів на склад розкат (довжина 14...16м) ріжуть на мірні куски. На НЗС блюм по рольгангу направляють без розділення, транзитом без проміжного підігрівання..

Починаючи з 1957 р. на блюмінгах і слябінгах застосовують двохзливкову (іноді і трьохзливкову) прокатку. Цю технологію виконують таким чином. До валків блюмінга підводять два зливки послідовно (розміри зливка масою 8т з киплячої сталі: верхній переріз 681x576мм, нижній, - 825x720мм, висота зливка 2175мм). У кожному проході другий зливков (розкат) йде безпосередньо за першим. Кантування розкатів також по можливості одночасно. Проте внаслідок значної довжини розкатів кантування вже після 6-10 проходів у більшості випадків виконується окремо : спочатку кантують один розкат, а потім по ходу руху кантують другий розкат і прокатують його у валках. На відміну від однозливкової, при двохзливкової прокатки, окружна швидкість при захваті першого розкату може знаходитися в межах $n_3=30...45$ об/мін, змінюється і тахограма прокатки розкатів [3].

1.2 Особливості деформації високих розкатів

Геометричні параметри позаконтактної деформації. При прокатуванні високих розкатів (блюмінги, заготовочні, крупносортові стани) фактор форми осередку деформації складає $l_d/h_{CP} \leq 1,0$, а деформація металу по висоті нерівномірна. Зовнішнім проявом нерівномірності деформації, що найбільш яскраво проявляється перед входом металу в осередок деформації (рис.1.5, зона III), є позаконтактна деформація металу. У зоні III метал починає деформуватися по висоті ще до входу у валки. Прояв позаконтактної деформації обумовлений матеріальним зв'язком ділянок металу, що знаходяться в геометричному осередку деформації і поза ним. Величина позаконтактної деформації залежить від параметра l_d/h_{CP} і чим менше фактор форми l_d/h_{CP} , тим значніше контактна деформація. Відповідно до даних [7] зміна параметрів Δh_B і l_B може бути описана емпіричними виразами, отриманими на підставі експериментальних досліджень :

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_B / \Delta h &= 0,05 + 0,6(1 - l_d / h_{CP})^2; \\ l_B / l_d &= 0,5 + 2(1 - l_d / h_{CP})^2. \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где Δh_B и l_B - величина обжатия и длина зоны позаконтактної деформації

З цих виразів виходить, що в практичних умовах прокатки, наприклад, для $l_d/h_{CP}=0,5$ параметри позаконтактної деформації виявляються рівними відповідно $\Delta h_B/\Delta h=0,2$ і $l_B/l_d=1,0$. Як впливає з прикладу, параметри позаконтактної деформації мають істотну долю в загальній деформації

металу, впливають на характер напруженого стану металу безпосередньо в геометричному осередку деформації, впливають на закономірності течії металу по висоті розкату, на характер розподілу нормального напруження по довжині дуги контакту l_k (рис. 1.5).

При прокатуванні розкатів з $l_d/h_{CP}=1,0$ ще спостерігається позаконтактна деформація металу ($\Delta h_B/\Delta h=0,05$; $l_B/l_d=0,5$), проте вплив її на параметри в геометричному осередку деформації опиняється малопомітним.

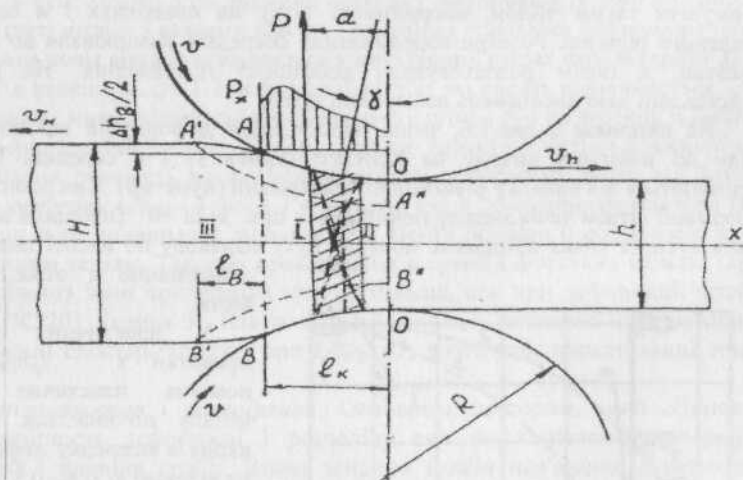
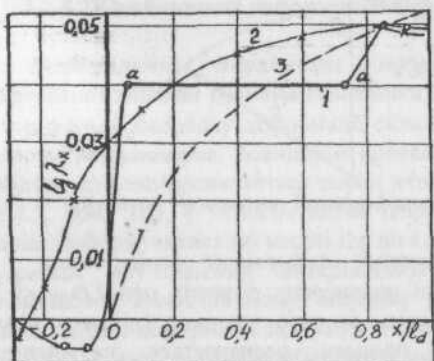


Рисунок 1.5-Схема деформації високого розкату

Глибина поширення пластичної деформації стискування і зона прилипання. При прокатуванні надвисоких розкатів при $l_d/h_{CP} < 0,3 \dots 0,4$ пластична деформація не проникає на усю товщину (ділянки A'AOA'' і B'BOB''). Така своєрідність процесу позначається на напружено-деформованому стані металу і впливає на якість заготовки. Т. М. Голубев, О.П.Чекмарьов та ін. [8] так пояснюють це явище. В процесі стискування матеріалу пластична деформація розвивається від контактних поверхонь і поширюється углиб розкату услід за пружною деформацією, яка поширюється із швидкістю звуку. Контактний шар під дією прикладеної сили зміщується і чинить тиск на шари, що пролягають нижче, роблячи в них відповідні зрушення, зміщення. Ці зрушення затухають у міру просування до осі заготовки, що обумовлено поширенням дії сили прокатки на все більший об'єм металу. На якомусь етапі вертикального зміщення металу напруження, що викликає деформацію, стають менше граничного значення, що забезпечує пластичну деформацію (напруження течії металу). У дослідях [8] показано, що деформація стискування досягає центральних шарів при $H/D=1,7\alpha$, тобто в цьому випадку пластична деформація проникає на усю висоту заготовки.

Різними дослідженнями встановлено, що між зонами відставання і випередження (зонами ковзання) в осередку деформації існує перехідна зона, де переміщення металу відносно валків незначне або зовсім відсутнє. Цю зону прийнято називати зоною прилипання (заштрихована зона в осередку деформації на рис.1.5). І.Я.Тарновський та ін. [9] досліджували течію металу штаб по висоті і довжині осередку деформації. Для отримання даних застосовували складені образці зі свинцю з координатною сіткою на поверхнях. Перед прокатуванням окремі образці склеювали сплавом Вуда, отримуючи таким чином, координатну сітку на поверхнях і в середині складеного образця. Розміри координатних осередків вимірювали до і після прокатки, а потім розраховували коефіцієнт подовження. На рис.1.6 представлені дані досліджень деформації штаб.

Як впливає з рис.1.6, зміна наростаючих деформацій від площини входу до площини виходу на контакті (крива 1) і в середині істотно відрізняються від випадку рівномірної деформації (пунктир). При рівномірній деформації штаби течія металу починається при $x/l_d=0$ (площина входу) і кожна сусідня точка придбає по ходу руху однакову по висоті додаткову деформацію і, отже, швидкість.



У практичних умовах прокатки з $l_d/h_{CP}=0,407$ помітна пластична течія металу починається ще до входу в осередку деформації на відстані $x/l_d = -0,3$.

Рисунок 1.6-Наростаючі висотні деформації елементарних шарів образця при $l_d/h_{CP}=0,407$: 1 - поверхневий шар; 2 - середній шар. Пунктирна лінія відповідає рівномірній деформації

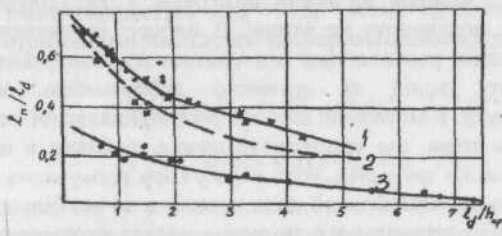


Рисунок 1.7- Зміна L_n / l_d залежно від l_d/h_{CP} (свинець) при деформації у валках: 1 - з накаткою сухих; 2 - гладкою сухих; 3 - гладких з олією ІС-20 (L_n - довжина ділянки

прилипання)

У середніх шарах штаби (крива 2) подовження шарів металу починається при $x/l_d = -0,3$ і в площині входу ($x=0$) подовжня деформація складає вже ~60% від загальної деформації ($lg \lambda_x = 0,03$). На контактній поверхні штаби

(крива 1) відбувається укорочення осередків координатної сітки і ($\lg \lambda_x = 0,004$). Це обумовлено тим, що центральні шари штаби, маючи велике витягання і велику швидкість, стискають контактні шари металу, зменшуючи їх довжину. За даними досліджень, довжина позаконтактної зони деформації в цьому випадку складає $l_B / l_d = 0,3$ ($x / l_d < 0$).

У середині осередку деформації на контактній поверхні внаслідок впливу зовнішніх сил тертя утворюється зона прилипання завдовжки $x / l_d = 0,65$ (ділянка «а-а»), а зона ковзання (зони відставання і випередження) займає в сумі усього 35% довжини осередку деформації. У зоні прилипання на контактні шари з валками відсутня висотна і подовжня деформація шарів. Подовжня течія металу відбувається у внутрішніх шарах штаби (крива 2). На виході з валків ($x / l_d = 1$) деформації штаби по висоті вирівнюються. Зона прилипання може поширюватися на усю висоту штаби або на частину її висоти.

Нерівномірність деформації металу, що характеризується довжиною зони прилипання, залежить від розмірів осередку деформації, тобто від фактора форми осередку l_d / h_{CP} . З рис.1.7 виходить, що зі збільшенням фактора l_d / h_{CP} довжина зони прилипання зменшується. Проте розміри її обумовлені також контактним тертям. Так, при прокатуванні в сухих і шорстких валках (криві 1,2) довжина зони прилипання істотно більша, ніж при деформації штаби з олією (IC-20) (крива 3). Навіть в цьому випадку незначна нерівномірність деформації спостерігається і при $l_d / h_{CP} = 7$, тобто при прокатуванні тонких штаб.

Випередження і розширення. Основним фактором, який обумовлює нерівномірність деформації і розподілу сил по контактній поверхні, є товщина і ширина штаби. Вплив ширини штаби пов'язаний з величиною розширення, оскільки при його наявності подовжнє витягання і, отже, подовжня швидкість течії металу зменшуються. Міра впливу розширення на параметр γ / α в функції ширини виразимо через коефіцієнт

$$m_1 = \gamma_B / \gamma,$$

де γ - кут критичного перерізу за відсутності впливу ширини штаби; γ_B - кут критичного перерізу з урахуванням впливу ширини штаби ($B / l_d < 5$).

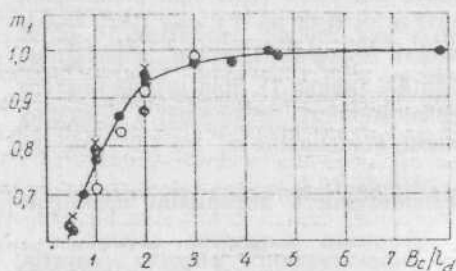


Рисунок 1.8-Зміна m_1 залежно від B / l_d : о - за дослідними даними І.М. Павлова і Л.С. Галлая; •• - за даними автора; -х - за даними О.П.Чекмарьова

За дослідними даними, при $B / l_d > 5$ ширина штаби вже не впливає на відношення γ_B / γ і коефіцієнт $m_1 = 1$, а

при $V/l_d < 5$ має місце істотний вплив ширини штаби на коефіцієнт m_1 . Так, при $(V/l_d = 1)$ коефіцієнт $m_1 = 0,76$ (рис.1.8) [7].

При рівномірній (квазірівномірній) пластичній деформації (прокатка тонких штаб) ($l_d/h_{CP} > 3...3,5$) положення критичного перерізу мало залежить від параметра l_d/h_{CP} . У разі нерівномірної деформації, при прокатуванні високих штаб (розкатів) швидкість серединних шарів металу у вихідній зоні більша, ніж контактних шарів (рис.1.6). В результаті дії центральних шарів швидкість контактних шарів на виході з валків примусово зростає, що викликає збільшення зони випередження і кута критичного перерізу, значення яких вже не відповідають умовам контактного тертя.

Експериментальні значення критичного перерізу при прокатуванні високих штаб істотно перевищують значення, які отримані при рівномірній деформації [7], а міру відмінності цих кутів позначимо коефіцієнтом $m_2 = \gamma_H / \gamma$, де γ_H - кут критичного перерізу при нерівномірній деформації штаби (рис.1.9).

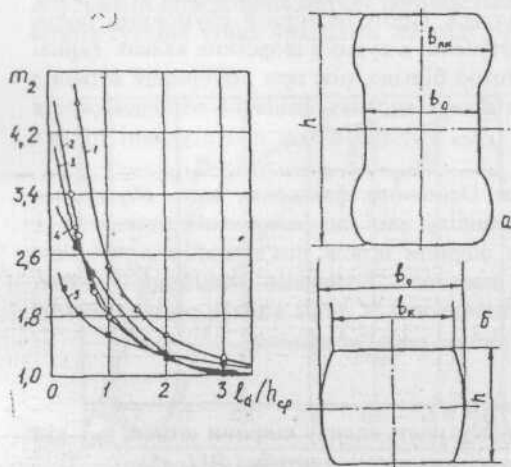


Рисунок 1.9-Зміна m_2 залежно від l_d/h_{CP} при різних значеннях γ / α : 1 - 0,1; 2-0,19; 3-0,22; 4-0,3; 5-0,34

Рисунок 1.10-Види розширення: а - з подвійною бочкою; б - з одинарною бочкою

Як впливає з рис.1.9, величина коефіцієнта m_2 залежить від фактора форми l_d/h_{CP} осередка деформації і параметра γ / α , тобто від умов тертя при рівномірній деформації. Зменшення відношення γ / α з 0,34 до 0,1 при $l_d/h_{CP} = \text{const}$ сприяє підвищенню міри нерівномірності деформації штаби, збільшенню відношення γ_H / γ і коефіцієнта m_2 до 4,8 (крива 1). Збільшення фактора l_d/h_{CP} від 0,5 до 3...3,5 знижує нерівномірність деформації і величину коефіцієнта m_2 наближаючи, таким чином, відношення m_2 до 1,0. Досліді показують, що при $l_d/h_{CP} = 3...3,5$ коефіцієнт $m_2 = 1$ і нерівномірність деформації практично відсутня

Дослідження розширення при прокатуванні високих розкатів, виконані О.П. Чекмарьовим та ін. [8], І.Я. Тарновським та ін. [9] виявили, що величина розширення і форма бічної поверхні розкату залежить від його

товщини і ширини, діаметру валків, величини обтиснення і хімічного складу металу. При прокатуванні надвисоких і високих розкатів ($l_d/h_{CP} < 0,6 \dots 0,7$) вплив контактних сил тертя незначний і деформація розкату по усьому перерізу відсутня. При цьому висотна деформація має місце в приконтактних шарах (приблизно на 1/3 висоти розкату), в яких і має місце максимальна поперечна течія (розширення) металу. При такій деформації поперечний переріз розкату набуває форми подвійної бочки (рис. 1.10). При прокатуванні розкатів з $l_d/h_{CP} > 0,7$, коли вплив контактного дотичного напруження зростає, відповідно до закону найменшого опору, розширення центральних шарів збільшується і поперечний переріз набуває форми одинарної бочки.

Відомі теоретичні формули для розрахунку розширення, отримані на основі аналізу дії контактного дотичного напруження (О.П. Чекмарьов, О.І. Целіков, Е.Зібель та ін.) не враховують впливу існуючої при $l_d/h_{CP} < 1$ нерівномірної деформації по висоті і ширині розкату. Автори [8] на підставі промислових досліджень відзначають, що розподіл поперечної деформації по ширині перерізу товстих смуг нерівномірно і залежить від величини обтискання, глибини поширення висотної деформації і її розподіл по висоті розкату.

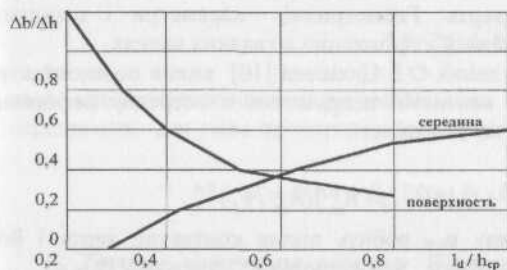


Рисунок 1.11-Зміна показника розширення залежно від фактора форми

Глибина поширення деформації залежить також від фізичних властивостей металу. Чим менше вміст вуглецю в сталі, тим глибше

проникає деформація по висоті розкату і швидше росте розширення середніх (центральної) шарів. На підставі досліджень [8] В. М.Клименко встановлено, що величина розширення на блюмінгу складає (для бочки валків)

$$\Delta b = k_y \cdot \Delta h,$$

де k_y - коефіцієнт, рівний для вуглецевих сталей $k_y = 0,10 \dots 0,20$, для легованих сталей $k_y = 0,15 \dots 0,25$.

І.Я.Тарновський пропонує використати для розрахунку середнього розширення залежність виду

$$\Delta b = \Delta h (0,61 l_d/h_{CP} - 0,05).$$

Обробка дослідних даних [9] дозволяє запропонувати наступну залежність для розрахунку середнього (приведеного) розширення при прокатуванні на блюмінгу

356785

$$\Delta b = m / (3,9 + 0,021m); \quad m = \Delta h \cdot V_{CP} / h_{CP}, \quad (1.4)$$

де Δh , V_{CP} , h_{CP} - абсолютне обтиснення, середня ширина і середня висота розкту в осередку деформації.

Параметр деформації « m » розкату досить об'єктивно оцінює величину розширення в умовах прокатки [6,7,11]. Приведені формули (1.4) дозволяють отримувати близькі до дослідних величини середнього розширення.

Енергосилові параметри деформації. Наявність позаконтактної деформації при прокатуванні високих розкатів (при $l_d/h_{CP} < 1$) на обтискних і заготовочних станах робить істотний вплив на напружений стан металу в самому осередку деформації. Завдяки дії цієї зони має місце нерівномірний розподіл деформації і, отже, нормальних напружень по дузі контакту з максимумом поблизу площини входу (рис.1.5)[7,10]. Величина нормального напруження визначається не стільки контактними умовами в геометричному осередку деформації, скільки напруженим станом металу у зоні III при $l_d/h_{CP} < 1$. Тому величини нормального напруження в цьому випадку буде вищі в порівнянні з випадком відсутності зони III (при $l_d/h_{CP} = 1$), де є присутнім тільки вплив контактної тертя. Геометричні параметри і швидкість деформації визначають по аналогії з прокаткою в гладких валках.

Відповідно до дослідних даних О.І. Целікова [10] вплив позаконтактної зони на середні нормальні контактні напруження в осередку деформації зростає зі зменшенням l_d/h_{CP} по залежності

$$P_{CP} = \sigma_{\phi} (1 + 0,167 \cdot l_d / h_{CP}) (h_{CP} / l_d)^{0,4}.$$

При $l_d/h_{CP} > 1$ на величину P_{CP} робить вплив контактне тертя і його значення зростають. Отже, мінімум P_{CP} відповідає фактору $l_d/h_{CP} = 1$.

Для розрахунку середнього нормального напруження при прокатуванні високих розкатів рекомендується також формула автора [7,12] (для показника тертя $f_{II} = 0,4$)

$$P_{CP} = \sigma_{\phi} (1 + 0,20 \cdot n_{\phi} \cdot l_d / h_{CP}) [1 + (1,1 - l_d / h_{CP})^2], \quad (1.5)$$

де n_{ϕ} - коефіцієнт впливу бічних стінок калібру (у ящичних калібрах $n_{\phi} = 1,1 \dots 1,15$); f_{II} - показник тертя; σ_{ϕ} - опір металу деформації ($\sigma_{\phi} = \lambda(\sigma_T)$; λ - коефіцієнт Лодз.

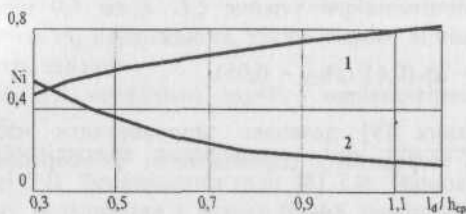


Рисунок 1.12-Зміна $N_1 = P_1/P$ крива (1) і $N_2 = P_2/P$ крива (2) залежно від l_d/h_{CP}

У роботі [13] запропоновано вираження для розрахунку сили прокатки високих розкатів, яка заснована на умов деформації металу в геометричному осередку деформації (P_1) і у позаконтактній зоні (P_2) перед входом розкату у валки (рис.1.5).

З розрахунків виходить, що вплив контактного дотичного напруження (коефіцієнт N_1) зі збільшенням l_d/h_{CP} зростає (рис.1.12, крива 1), а вплив позаконтактної деформації (коефіцієнт N_2) відповідно зменшується (крива 2), що відповідає відомим даним [7,10,13].

Величини напруження течії металу σ_T визначають з роботи [7], а силу прокатки визначають по відомій формулі (МН). Величини напруженій течії металу σ_T визначають из роботи [7], а силу прокатки розраховують по формулі (МН)

$$P = p_{CP} \cdot V_{CP} \cdot l_d, \quad (1.6)$$

де p_{CP} – в Н/мм²; V_{CP} и l_d – в м.

Для розрахунку моменту крутіння для власне прокатки використовують формулу [7,10] (на двох валках)

$$M = 2\psi \cdot l_d \cdot P, \quad (1.7)$$

де ψ – коефіцієнт положення рівнодійної сил в осередку деформації, рівний в середньому для умов прокатки на блюмінгах [8, рис.123]

$$\psi = 0,54 + 0,18(1 - l_d / h_{cp})^2.$$

Торцеве утягнення розкату. Відносно невеликі обтиснення зливка викликають в ній явище поверхневої деформації ($l_d/h_{CP} < 0,3 \dots 0,5$), що видно з рис.1.13. В цьому випадку у напрямку горизонтальної осі зливка пластична поверхнева деформація швидко затухає, а центральні шари пластично не деформуються,

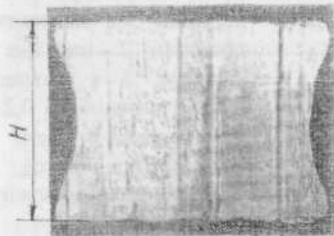


Рисунок 1.13. Поперечний розріз розкату після перших проходів на блюмінгу

У зв'язку з таким характером розподілу висотної деформації, течія металу в двох інших напрямках (поперечному і подовжньому) також отримує найбільший розвиток поблизу контактних поверхонь.

Зовнішнім проявом нерівномірності розподілу пластичної деформації є відмінність величин розширення і витягування по висоті розкату, яка накладає відбиток на вигляд поперечного перерізу і форму його кінців. Ілюстрацією цьому добре відомому явищу можуть служити фотографії

поперечного розрізу (рис.1.13) дослідних семитонних зливків, які прокатували на блюмінгу 1150 [8].

Нерівномірна об'ємна деформація високого розкату призводить також до нерівномірної подовжньої течії шарів металу по висоті високого розкату (рис.1.14). На рис.1.14 представлені результати досліджень С. В. Макаєва при прокатуванні зливків на блюмінгу ($l_d/h_{CP} < 0,3 \dots 0,5$), з яких виходить, що висотна деформація розкату ($1/\eta = H/h$) починається ще до площини входу у валки (у позаконтактній зоні) і існує розтягування шарів 1,4 ($1/\eta > 1$) і стискування шару 2, де $1/\eta < 1$.

У площині виходу максимальна деформація спостерігається в поверхневому (1) і підповерхневому (2) шарах і мінімальна деформація має місце в центральному шарі (4) так як недостатнє опрацювання розкату по висоті.

Відповідно до цього максимальне подовжнє витягання має місце в поверхневому і підповерхневому шарах (1,2) і мінімальне в центральних шарах (4). Такий характер течії призводить до того, що торці розкату набувають увігнутого (воронкоподібного) вигляду. Величина тієї воронки залежить від технологічних параметрів деформації розкатів і призводить до збільшення витрати металу в обрізці.

Помітна відмінність в ступені деформації окремих шарів розкату викликає в процесі (внаслідок матеріального зв'язку усього об'єму металу і впливу зовнішніх частин розкату) появу додаткового напруження стискування в шарах, що інтенсивно деформують, і напружень розтягування в шарах, деформованих в меншій мірі.

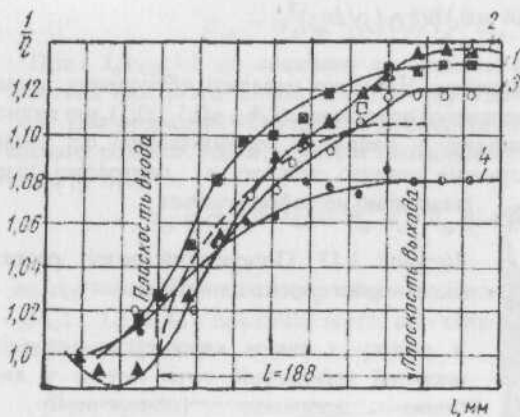


Рисунок 1.14. Зміна висотної деформації різних горизонтальних шарів по довжині дуги захвату (по С. В. Макаєву): 1 - першого від контактної поверхні; 2 - що йде за першим; 3 - розташованого на глибині 0,25H від поверхні; 4 - центрального (осьового), (пунктир-рівномірна деформація)

Напруження розтягування центральних шарів може, за несприятливих умов, перевищити межу міцності металу і послужити причиною порушення щільності (цілостності) розкату в його центральній зоні або на бічних гранях.





























Дослідження [11,15] умов формування торців, при реверсивному і односторонньому прокатуванні проводили на лабораторному стані (модель

блюмінга 1250). Свинцеві образці були виконані в масштабі 1:10 до фактичних розмірів 8-тонного сортового зливка і мали поперечний переріз 81,5x73, 5мм (815x735мм в натурі).

При прокатуванні на блюмінгу співвідношення між довжиною осередку деформації і товщиною розкату таке, що в перших проходах відношення складає 0,25...0,30. Саме у цей період прокатки утворюється первинний вигин торців розкату. У подальших проходах радіус вигину торця розкату зменшується, кінці кромки подовжуються і після третього, четвертого проходів (при обтисненні в одній площині) згинаються всередину [15].

Як видно з табл. 1.1, при прокатуванні в одному напрямі вигин заднього торця після другого проходу в 2...2,5 рази більше, ніж переднього, а після четвертого проходу - в 2,5...3,5 рази. Тому при односторонньому прокатуванні високих розкатів величину технологічної обриси (при прокатуванні зливка головною частиною вперед) в основному визначає величина утягування заднього торця, яка розвивається інтенсивніше. У разі прокатки зливків донною частиною вперед величина торцевої обриси збільшується за рахунок дефектів металу сталеплавильного походження.

Таблица 1.1-Форми і розміри утягувань розкатів

Толщина, мм	Обжаття, мм	Односторонняя				Реверсивная			
		Передний торец		Задний торец		Передний торец		Задний торец	
		Форма	Утяжка, мм	Форма	Утяжка, мм	Форма	Утяжка, мм	Форма	Утяжка, мм
81,5	-		-		-		-		-
72,5	9,0		2,8		5,65		2,8		5,65
65,5	7,0		3,5		9,95		7,1		7,3
58,5	7,0		4,7		14,65		9,1		10,6
51,5	7,0		5,6		19,65		12,7		13,8
44,6	7,0		6,1		23,0		14,8		15,0
37,5	7,0		7,6		27,1		15,6		16,0

При звичайному реверсивному прокатуванні не можна використати значною мірою переваги напрямку течії металу. Це пояснюється тією обставиною, що при подібному способі прокатки різниця величин утягуванні кінців гуркоти (за величиною обрізки) знищується при зміні напрямку

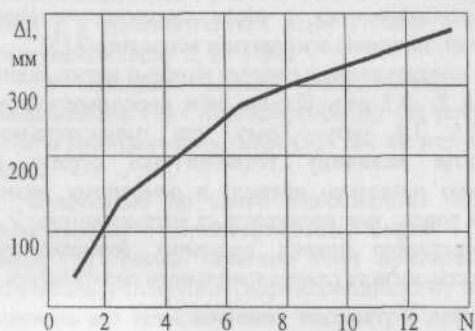


Рисунок 1.16- Сумарне утягування при прокатуванні зливка масою 12,5т на блюмінгу 1300 (N - номер проходу)

Вже після четвертого проходу утягування переднього і заднього кінців розкату мають однакову форму і розміри. Проте сумарні

величини необхідної обрізки передніх і задніх кінців розкатів, прокатаних реверсивним і однобічним способом, практично однакові.

Подібна формозміна має місце також у виробничих умовах при прокатуванні на блюмінгах 1300, 1250 і 1150 комбінату «Криворіжсталь» злиwkів масою 12,5т у блюми перерізом 300x300, 340x360 і 350x350.

При проведенні досліджень прокатували зливки киплячих і напівспокійних марок сталі, відлитих в розширені донизу виливниці. Прокатку злиwkів виконували по стандартних режимах деформації. Результати виміру розмірів утягувань представлені рис.1.16.

Як впливає з дослідних даних, сумарне утягування торців розкату в останньому (13-м) проході досягає ~400мм. При довжині розкату 12м обрізки за рахунок утягування торців складає ~3,3%, а по масі ~1,6% (0,2т). У дослідженнях [11] автори встановили:

- при односторонньому прокатуванні довжина утягування заднього кінця в 3,55 рази більше, ніж переднього кінця, що обумовлено відтисненням валками поверхневого шару металу у напрямі заднього кінця (табл.1.1);

- при реверсивному прокатуванні довжина утягування переднього і заднього кінців приблизно однакова, окрім першого проходу (табл.1.1);

- застосування високих обтиснень сприяє зменшенню сумарного торцевого утягування. При постійному сумарному обтисненні 580мм збільшення одиничного обтиснення з 70мм до 115мм призводить до зменшення утягування майже в 2 рази, що обумовлено зменшенням міри нерівномірності деформації розкату по висоті і швидкостей течії металу в подовжньому напрямі по висоті перерізу;

- в умовах діючого блюмінга зниження величини кінцевої обрізки, за рахунок зменшення довжини утягування може бути забезпечене збільшенням обтиснень в початковий період прокатки, тобто при більшій товщині розкату.

1.3 Блюмінг 1150 з трубозаготовочним станом 900/750

Класичний блюмінг (рис.1.3) прокатує заготовку великих розмірів (до 400x400мм), яка поступає на неперервно-заготовочні або сортові стани (рис.1.1) для подальшого прокатування. Проте для прокатки труб потрібна кругла заготовка суцільного перерізу і різного діаметру. Для отримання такої заготовки в Україні є спеціалізоване виробництво, яке включає два блюмінги і трубозаготовочний стан (рис.1.17).

Блюмінг 1150 (м. Дніпродзержинськ) (рис.1.17) прокатує зливки киплячою і спокійною вуглецевою і низьколегованою сталей масою до 8т у блюми перерізом 270x300...295x500мм, а також сляби з розмірами 150x500...1000мм для універсального стану 1200 меткомбінату.

Нагрів злиwkів здійснюється в 12 групах регенеративних колодязів (48 осередків). Висота осередку 3,04м, розміри череня 4x2,2м, місткість 5-8 злиwkів залежно від їх маси. Опалювання колодязів роблять сумішшю доменного і природного газів з підігріванням повітря до 800...900°C.

Робоча кліть має валки діаметром 1150мм (по буртах) і довжина бочки 2600мм. Привід валків - від електродвигуна постійного струму потужністю 8820кВт. Прокатку злиwkів починають з температурою 1200...1220°C за технологією, яка аналогічна для стану 1300.

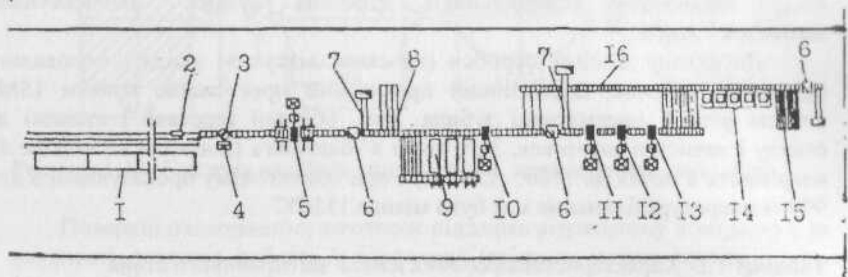


Рисунок 1.17- Блюмінг 1150 і трубозаготовочний стан 900/750: 1 - нагрівальні колодязі; 2 - слитковіз; 3 - поворотний пристрій; 4 - перекидач; 5 - робоча кліть 1150; 6 - ножиці; 7 - конвейер прибирання обрізків; 8 - прибиральний пристрій; 9 - методичні печі; 10 - обтискна кліть; 11,12,13 - робочі кліті 750; 14 - пили гарячого різання; 15 - холодильник; 16 - обвідний рольганг

Відмітимо, що на стані 1150 уперше у світовій практиці освоєна двохзливкова прокатка блюмів (1957г.). За блюмінгом 1150 встановлений

спеціалізований трубозаготовочний стан 900/750, що включає чотири кліті: одна реверсивна кліть 900 (малий блюмінг) і три послідовно розташовані кліті 750 (таблиця.1.2). Трубозаготовочний стан призначений для прокатки трубної заготовки діаметром 90...270мм, квадратної заготовки 90...250мм. На стані застосовують транзитну прокатку безпосередньо з блюмів із стана 1150 або і з проміжним нагрівом в печах 9 при прокатуванні заготовок невеликих розмірів. З метою додаткового нагріву блюмів стан обладнаний трьома методичними печами (довжина печі 27,7м, ширина 6,7м), що опалюються доменним газом.

Станина кліті 900 закритого типу, натискний пристрій з електричним приводом; кліть обладнана маніпуляторами і кантувачем диференціального типу. Урівноваження верхнього валка - вантажне.

Робочі двохвалкові кліті 750 із станинами відкритого типу, мають натискний пристрій; урівноваження верхнього валка - пружинне, оскільки вертикальне переміщення верхнього валка незначне і необхідно тільки для регулювання міжвалкового зазору. Перевалка робиться клітями. Кантування розкату між клітями групи 750 виконується шайбовими кантувачами. Перед чистовою кліттю встановлена ввідна коробка для точного орієнтування заготовки відносно осі калібру.

За кліттю 900 і у кінці обвідного ролганга встановлені ножиці 6 з нижнім рухливим ножем, силою різа 8МН. Максимальний переріз, що розрізає, - 260х260мм. Ці ножиці відрізають дефектні кінці і ріжуть заготовку на мірні довжини. Різання металу після чистової кліті 750 здійснюється на п'яти дискових пилах з діаметром дисків ~2000мм. Максимальний діаметр гарячої заготовки, що розрізають, 300мм. За пилами встановлені десять секцій ланцюгових холодильників. Довжина готових охолоджуваних заготовок - до 7м.

До складу ділянки обробки (на схемі відсутня) входять косовалкова правильна машина, гідравлічний правильний прес силою правки 15МН, вогневі різакі, пневматичні зубила, два обдирні верстати і стелажі для огляду і зачистки заготовок. Заготовки з блюмінга (довжина не більше 6м) нагрівають в печах до 1180...1250°C, а при транзитному прокатуванні в кліті 900 температура блюма не має бути менше 1150°C

Таблиця 1.2- Характеристика робочих клітей заготовочного стана

Номери клітей	I	II - IV
Діаметр робочих валків, мм	900	750
Довжина бочки валків, мм	1350	1100
Матеріал валків	50ХН	Модифіцир. чавун
Число оборотів валків, об/мін	0-70-120	0-80-180
Потужність двигуна, кВт	4000	1840
Тип двигуна	ПБК 285/120	МП-2500-80

Прокатка квадратної заготовки від 150мм і вище, круглої заготовки 250...270мм, слябів 120...180x300...600мм роблять тільки в кліті 900. Після прокатки заготовки поступають на вільний рольганг, де на пилах і ножицях їх різьють на мірні довжини.

Квадратні заготовки зі стороною до 140мм і круглі заготовки діаметром 90...120мм прокатують в усіх клітках стана. Перед прокаткою в клітках 750 роблять обрізання кінців і в деяких випадках ділення на дві частини. Прокатку заготовок на стані 750 з послідовним розташуванням клітей виконують в двохвалкових клітках. В валки кожної кліті врізані калібри відповідної форми (рис.1.18). Причому по довжині валків розміщують декілька калібрів подібного типу, але різного розміру.

З метою скорочення перевалок на валках чистої кліті виконують декілька калібрів одного розміру. Після кожної кліті розкат кантують на 90° і задають в наступну кліть. Це забезпечує отримання необхідного розміру круглої заготовки високої якості. Відмітимо, що між кожною парою клітей відстань більше довжини відповідного розкату.

При переході на інший калібр лінія прокатки зберігається, але роблять переміщення клітей перпендикулярно лінії руху розкату за допомогою спеціальних пристроїв. У таких клітках шпindelльні з'єднання прокатних валків з валками шестерінчастих клітей виконані з шліцьовими з'єднаннями. Після прокатки (температура закінчення 950...980°C) розкати транспортують до пил для різання на довжини 3...6м.

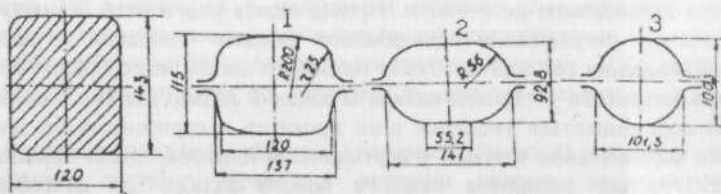


Рисунок 1.18- Система калібрів : підготовчий прямокутник- овал -круг

Поверхні охолоджених заготовок піддають візуальному контролю і, за наявності дефектів, роблять їх видалення (тріщини, плівка, заходи, лампаси). Для цих цілей використовують вогневу зачистку або пневматичні зубила.

Трубну заготовку з вуглецевої сталі прокатують в системі калібрів підготовчий прямокутник-овал-круг (рис.1.18). Роль підготовчого прямокутника (калібру 1) полягає в усуненні ребер прямокутної заготовки і зниженні нерівномірності деформації при прокатуванні в овальному калібрі 2, що виключає або зменшує вірогідність появи поперечних тріщин на поверхнях готової круглої заготовки. Підготовчі калібри мають вигляд прямокутника з плоским (чи увігнутим в інших системах) дном і необхідними радіусами закруглень при переході до дна калібру. Плоске або

увігнуте дно прямокутного калібру, після кантування, обумовлює необхідне заповнення овального калібру. Коефіцієнти витягання в цих калібрах знаходяться в межах 1,2...1,4 (великі величини для менших розмірів заготовок).

1.4 Неперервно-заготовочний стан 900/700/500

На старих металургійних комбінатах за блюмінгом встановлювали неперервно-заготовочні стани (НЗС), які мали дві групи клітей: чорнову з діаметром валків (600мм і чистову з діаметром валків (450мм). У кожній групі по 6 клітей. Валки кожної групи приводять в обертання одним двигуном (груповий привід). Передача обертання на валки здійснюється від трансмісійного валу через конічні передачі. Кантування розкату між клітьми здійснюється гелікоїдальними проводками, а максимальна швидкість прокатки не перевищувала 3,5м/с.

Працюючі нині НЗС (рис.1.19, табл.1.3) прокатують квадратну заготовку від 60х60 до 200х200мм і плоску заготовку 80...150х150...400мм з великих блюнів (370х410мм) [5,14].

Стан складається з трьох груп клітей : в обтискній і чорновій групах 8 клітей, в чистовій - 6 клітей. У чорновій групі встановлені 2 кліті, а в чистовій - 3 кліті з вертикальними валками. Наявність клітей з вертикальними валками виключає кантування розкату при прокатуванні, що сприяє підвищенню його якості. Привід валків усіх клітей індивідуальний і забезпечує регулювання швидкісного режиму прокатки і необхідного співвідношення секундних об'ємів металу по клітях безперервних груп. Кліті мають механізми установки валків на заданий розмір калібру. Горизонтальні кліті переміщуються упоперек лінії прокатки в горизонтальній площині, а валки вертикальних клітей - у вертикальній площині. Цими переміщеннями забезпечується установка кожного нового калібру по фіксованій лінії прокатки.

Валки виготовлені з чавуну з вибіленою поверхнею, окрім чотирьох перших клітей, що забезпечує достатню їх зносостійкість. У клітях 1-4 працюють сталеві валки (СТ.50ХН, СТ.60ХГ), що дозволяють прокатувати метал з обтисненнями 70...80мм. Усі валки обертаються в підшипниках качення. Перед станом є поворотний пристрій для повороту блюнів на 180° і задавання в кліті НЗС блюна донною частиною зливка, яка має менше дефектів, ніж головна і, отже, менше вірогідність «забурювання» (застрявання) розкату в клітях НЗС.

Блюм поступає до НЗС з температурою ~1050°С, а перед чистовою групою температура розкату знижується до ~1020°С. Після прокатки в перших двох клітях з обтисненням 70...80мм розкат кантують на 90° і роблять подальше прокатування. У першій групі прокатують заготовку 150х150, 170х170, 200х200 і 100х250...400мм (для штрипсів). Товарну заготовку по обвідному рольгангу передають до ножиць силою різання 10МН

для розподілу на мірні довжини. У другій групі квадратну заготовку 150x150 і 170x170мм прокатують до перерізу 80x80...140x140мм. Передній кінець заготовки обрізують на ножицях з силою різання 2МН [5,14]. Готова заготовка має довжину більше 150м і тому на виході з останньої кліті її ріжуть на мірні довжини (10...12м) летучими ножицями.

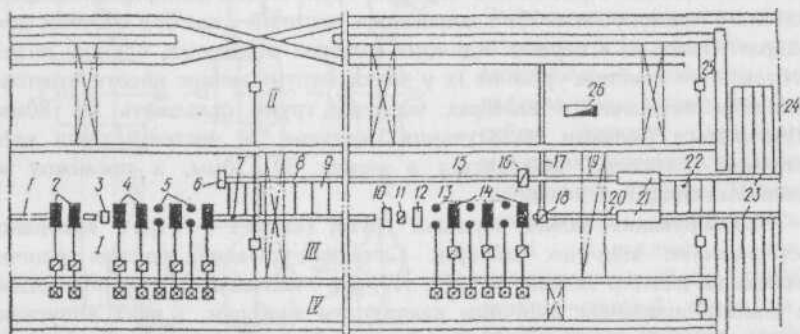


Рисунок 1.19- Схема розташування устаткування неперервно-заготовочного стану 900/700/500: I, III - прольоти стану; II - скрапний проліт; IV - електромашинний зал; 1,15,19,20,23 - рольганги; 2 - обтискні кліті 900x1300; 3 - кантувач; 4,5 - горизонтальна і вертикальна кліті неперервної чорнової групи; 6 - упор; 7 - рольганг, що відводить; 8 - бічний рольганг; 9,22 - шлепери; 10 - упор; 11 - маятникові ножиці; 12 - кантувач; 13,14 - вертикальна і горизонтальна кліті неперервної чистової групи; 16 - ножиці; 17 - конвейєр обрізків; 18 - летючі швидкохідні ножиці; 21 - пакетуючий рольганг; 24 - холодильник; 25 - тельфер; 26 - яма для окалини

Для зниження довжини обрізків (немірних шматків) на стані працює автоматична система управління роботою ножиць для забезпечення безостаточного розкрою заготовки. Система функціонує таким чином: на проміжному рольганзі фіксується довжина заготовки за допомогою датчиків - фотореле. Дані передаються в обчислювальний комплекс, що управляє, в якому по заданому сумарному витягуванню металу в чистовій групі розраховується кінцева довжина кожної заготовки. Обчислюється довжина мірних шматків і залишок (обрізок) рівний приблизно 300...500мм. Після цього, знаючи швидкість, катаючий діаметр валків і випередження задається режим різання на летучих ножицях з планетарним приводом. Мірні заготовки, що виходять після ножиць, пакетуються в пакки рольгангом з косим розташуванням роликів рольгангу (відносно його подовжньої осі) і потім ці пакки передають по рольгангу на склад для охолодження і зачистки від дефектів.

Прокатку металу на НЗС виконують в калібрах, хоча останнім часом в деяких клітках використовують і гладкі валки. У обтискній і чорновій групах застосовують прямокутні (ящичні) калібри, а в чистовій - систему калібрів

ромб-квадрат (рис.1.20). Розрахунок цих калібрів валків наданий в роботах [6,13]. Нагадаємо, що коефіцієнти витягань металу за прохід в цих калібрах знаходяться в межах 1,2...1,4. Швидкість прокатки в першій кліті чистової групи рівна 0,3...0,5м/с, а в останній кліті чистової групи - 6...8м/с і обмежується конструкцією летучих ножиць.

Як впливає з рис.1.20, в чорновій групі клітей калібри мають форму ящичного прямокутника або квадрата, а в чистовій - калібри системи ромб-квадрат. Оскільки в перших ящичних калібрах отримують чорнові розміри заготовок, то глибина урізання їх у валки істотно менше висоти заготовок. Величини обтиснень в калібрах чорнової групи складають 50...80мм і визначаються умовами захватування валками. У чистовій групі клітей величини обтиснень знаходяться в межах 30...50мм, а проміжок між валяннями складає 8-16мм.

Калібрування валків чорнової групи (кліті I - VIII) виконано з застосуванням ящичних калібрів. Глибина урізання рівчаків ящичних калібрів на діаметр складає $h_k=120...170$ мм. Максимальна глибина урізання на діаметр відповідає ящичним квадратним калібрам, з яких випускають товарну заготовку (кліть 4 - $h_k/C=0,7$; кліть 6 - $h_k/C=0,9$; кліть 8 - $h_k/C=0,9$) (де h_k - глибина урізання калібру на діаметр; C - сторона квадрата). У інших калібрах відношення $h_k/h=0,53...0,83$ (h - товщина розкату після прокатки).

Велика відносна глибина урізання в квадратних калібрах потрібна для отримання необхідних (точних) розмірів ширини заготовок. Проте наявність урізань калібрів зменшує діаметр робочого тіла валка, довжину його окружності і, отже, підвищує лінійний знос поверхні валка.

Таблиця 1.3-Характеристика клітей НЗС 900/700/500

№ клітей	Розміри валків, мм		Потужність головного двигуна, кВт
	D	L	
1Г	900	1300	1800
2Г	900	1300	1800
3Г	900	1300	1800
4Г	900	1300	1800
5В	730	800	1800
6Г	730	1300	1800
7В	730	800	1800
8Г	730	1300	1800
9В	530	800	1800
10Г	530	800	1800
11В	530	800	1800
12Г	530	800	1800
13В	530	800	2800
14Г	530	800	2800

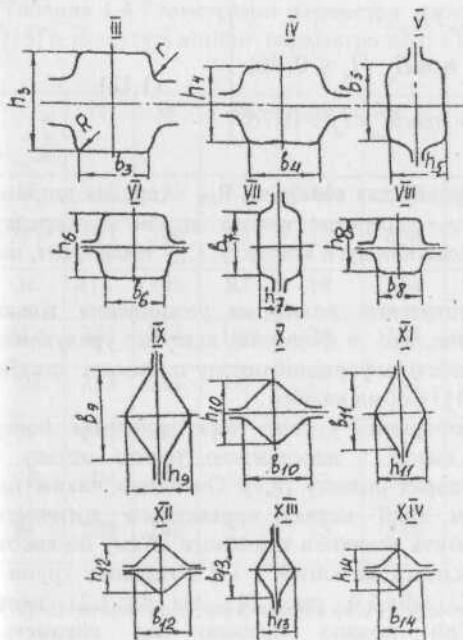


Рисунок 1.20-Схема калібрування валків неперервно-заготовочного стану (ящичні калібри перших двох клітей не показані)

Застосування нахилених бокових стінок і урізів ящичних калібрів забезпечує певною мірою деформування металу на ділянках ребер розкату, що сприяє зниженню вірогідності утворення поперечних тріщин. Підвищити зносостійкість валків в чорновій групі можливо шляхом зменшення глибини урізів у валки чорнової групи, а для калібрування ширини необхідно встановити в чорновій групі кліть 8В, з вертикальним розташуванням валків з гладкою бочкою або з ящичковим квадратним калібром з невеликим урізом. При прокатуванні плоскої заготовки

деформацію здійснюють в гладких горизонтальних і валках, У вертикальних валках виконують лише калібрування її ширини.

1.5 Закономірності течії металу у ящичкових калібрах НЗС(розширення)

Для розрахунку калібрування валків НЗС в першу чергу необхідно розрахувати величину розширення. Є декілька достовірних методів для теоретичного розрахунку розширення при прокатуванні металу, які наводяться в літературі [5,7,12,16 та ін.]. Аналіз різних методів показує, що найбільш близькі до дослідних величини розширення в гладких валках можуть бути отримані по нижче приведених формулах (при $l_d/h_{cp} > 1$)

формула О.П. Чекмарьова [5]

$$\Delta b = \frac{\Delta h \cdot B_{cp} / h_{cp}}{1 + (1 + \alpha)(B_{cp} / l_d)^n}, \quad (1.11)$$

де n - показник степені: $n = 1$ (при $B_{cp}/l_d \leq 1$) і $n = 2$ (при $B_{cp}/l_d > 1$);

формула В. О. Ніколаєва [7,12,17] має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \Delta b &= 0,53 \cdot C_n \cdot \Delta h \cdot B_{cp} / h_{cp}; \\ C_n &= 0,26 + B_{cp} / l_d - n \mu B_{cp} / l_d \leq 0,76; \\ C_n &= e^{-(1,2 B_{cp} / l_d - 0,9)^{0,9}} - n \mu B_{cp} / l_d > 0,76, \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

де Δh - абсолютне обтиснення (середнє для калїбрів); B_{cp} - середня ширина штаби в осередку деформації; h_{cp} - середня висота штаби в осередку деформації; α - кут контакту; l_d - довжина дуги контакту; C_n - коефіцієнт, що враховує ширину штаби..

Формули (1.11) і (1.12) показують вплив на розширення тільки контактного дотичного напруження, але в формулах відсутнє урахування впливу на розширення нерівномірності деформації металу по висоті штаби, що має місце при $l_d/h_{cp} < 1$ ($h/D > 0,1$) і форми калїбру.

Нерівномірність висотної деформації у свою чергу викликає появу нерівномірності розширення по висоті з переважною течією металу в приконтактних або центральних шарах розкату [8,9]. Очевидно, також що при слабкому впливі на умови течії металу контактного дотичного напруження, переважний вплив робить величина змішеного об'єму по висоті розкату. Більшою мірою це відноситься до клітей 1 і 2 обтискних групи і клітям 3,4 чорнової групи НЗС (табл.1.4, рис.1.21). На рис.1.21 зміна показника розширення $k_y = \Delta b / \Delta h$ подано залежно від параметра $m = \Delta h \cdot B_{cp} / h_{cp}$, який, як виявилось, є найбільш відповідним з ряду інших параметрів оцінки поперечної течії металу в клітях НЗС [12].

Як впливає з рис.1.21, в клітях 1,2 обтискної групи показник k_y знижується зі збільшенням m , що можна пояснити зменшенням обтиснення розкату при практично рівних значеннях B_{cp} / l_d (табл.1.4). У цих клітях розрахункові по формулах (1.11) і (1.12) величини розширення істотно менші за дослідні (табл.1.4).

При прокатуванні в клітях 3-8 чорнової групи (окрім кліті 4) дослідні величини розширення також помітно вище розрахункових по формулах (1.11) і (1.12), що обумовлено переважним приростом розширення за рахунок змішеного об'єму металу.

Відмітимо, що при розрахунку розширення за формулами (1.11) і (1.12) не враховували обмеження розширення металу бічними стінками в ящикових калїбрах. Це дещо завищує розрахункові величини розширення.

Дані рис.1.21 апроксимуються наступними рівняннями для розрахунку розширення:

$$\left. \begin{aligned} \text{клети } 1, 2 \dots \dots \Delta b &= \Delta h(0,528 - 0,0012m); \\ \text{клети } 3 - 8 \dots \dots \Delta b &= \Delta h(0,20 + 0,0012m). \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

Таблиця 1.4-Геометричні параметри прокатки заготовок на НЗС 900/700/500 [15] (ст3пс) (усі лінійні параметри дані в мм)

Мокл.	H	B	Δh	Δb	R	l_d	B_{cp}/l_d	m	Δb_p (x)
1Г	345	355	82	34	390	179	2,07	101	13,7/16
2Гк	263	389	68	24	408	158	1,9	118	12/14
3Г	413	195	82	19	334	164	1,23	46,7	12/13
4Гк	331	214	100	26	394	200	1,13	80,7	24/26
5В	238	231	60	15	284	131	1,82	69,0	12/13
6Г	246	180	51	16	272	128	1,46	50,5	12/12
7В	194	195	56	13	300	130	1,54	67,8	15/15
8Г	208	142	55	15	275	123	1,18	46,6	15/15

(X)- В чисельнику по формулі (1.11), в знаменнику по формулі (1.12).

Ці залежності рекомендується використати при розрахунку калібрування валків чорнових клітей НЗС. З рис.1.21 також слідує відсутність чіткої залежності розширення від хімічного складу сталі, що обумовлено слабким впливом контактного тертя на процес деформації.

1.6 Випередження при прокатуванні в калібрах

При визначенні швидкісного режиму неперервного стана і секундних об'ємів металу по клітях необхідно заздалегідь розрахувати можливі величини випередження. Відповідно до виводів Фінка-Екелунда величина

випередження для високих розкатів може бути розрахована за залежністю

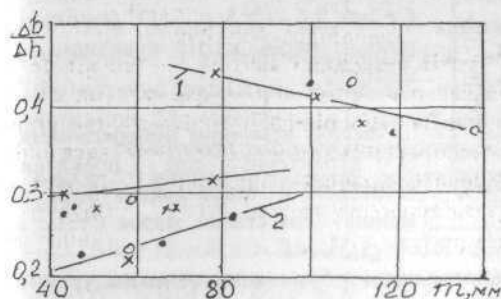


Рисунок 1.21-Зміна показника розширення $k_y = \Delta b / \Delta h$ для обтискової (1) (кліті 1,2) і чорнової (2) (кліті 3-8) груп клітей НЗС при прокатуванні заготовок із сталей марок : ● - Ст.3сп; x - Ст.5пс; ○ - 80С,

Ст.3кп

$$S = (\gamma_H^2 / 2) [(D/h) - 1], \quad (1.14)$$

де γ_H - кут критичного перерізу при рівномірній або нерівномірній деформації.

Деформацію металу при прокатуванні з $l_d/h_{CP} > 3.3,5$ і $V_{CP} / l_d > 5$ прийнято вважати близькою до рівномірної (квазірівномірною). З формули (1.14) виходить, що збільшення кута критичного перерізу γ_H і діаметру валків D приводить до збільшення випередження. Цьому ж сприяє зменшення товщини штаби h після прокатки.

Механізм дії вказаних чинників детально розглянутий в роботі [7]. При прокатуванні в клітях НЗС 900/700/500 має місце нерівномірна деформація металу (см.п. 1.2), для якої $l_d/h_{CP} \ll 3$ і $V_{CP} / l_d \ll 5$ (табл.1.4). Для цих умов деформації кут критичного перерізу γ_H істотно більше кута γ при рівномірній деформації [7,18]. Розрахунок кута критичного перерізу при нерівномірній деформації може бути виконано по формулах з робіт [7,18].

Закономірності зміни випередження при нерівномірній деформації на неперервно-заготовочному стані 900/700/500 досліджували автори роботи [15] при температурах $t=1020 \dots 1100^\circ\text{C}$ і для різних марок сталей. Обробка даних [15] показує наступне (рис.1.22):

- в умовах чорнової групи НЗС (ящиківі калібри) величина випередження змінюється в межах $S=4 \dots 9,4\%$;

- у конкретній клітї величини випередження для різних марок сталей змінюються у меншій мірі. Так, в клітї 5 випередження складає $S=6,1 \dots 8,9\%$, що, очевидно, обумовлене різною мірою заповнення калібру і впливом додаткових сил тертя від бічних стінок калібру;

- в усіх клітях з ящиківими квадратами (парні, з горизонтальними валками) (рис.1.20) величина випередження завжди більше, ніж в клітях з ящиківими прямокутниками (непарні, з вертикальними валками).

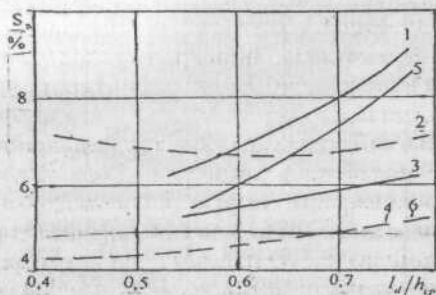


Рисунок 1.22-Зміна випередження в клітях 3-8 чорнової групи НЗС. Сталі марок: 1,2 - 80С; 3,4 - Ст.5пс, Ст.3кп; 5,6 - Ст.3сп, 35ГС (суцільні лінії - парні клітї; пунктирні - непарні)

- великі величини випередження S характерні для прокатки заготовок із сталі марки 80С, а менші - для сталей марок Ст3пс і

35ГС (рис.1.22).

Очевидно, таке співвідношення випереджень обумовлено великим урізом ящиківих квадратних калібрів у валках і, отже, великим впливом

додаткового контактного дотичного напруження від бічних стінок калібрів на кінематичні параметри прокатки металу;

Оцінимо збіжність дослідних і розрахункових величин випередження з використанням даних рис.1.22 і формул [7,12,18] для умов прокатки в кліті 3Г ($l_d/h_{cp} = 0,43$) і кліті 4Г ($l_d/h_{cp} = 0,74$). Приймаємо: температура прокатки $t=1090^{\circ}\text{C}$, валки із сталі марки Ст.50ХГ, поверхня зношена, матеріал штаби - Ст.3кп, швидкість прокатки (м/с) : кліть 3Г - $v=0,67$; кліть 4Г - $v=0,88$. Розрахунки, виконані по формулах робіт [7,12,18], дали наступні результати (дослідне значення випередження - $S=0,04\%$) :

коефіцієнт тертя -	$f=0,425$;
відношення -	$\gamma/\alpha=0,215$;
коефіцієнти -	$m_1=0,81$ і $m_2=3,2$
відношення -	$\gamma_H/\alpha=0,5$
кут критичного перерізу -	$\gamma_H=0,267$ рад.

Випередження по формулі (1.14) дорівнює $S=0,036$ (3,6%), що всього в 1,13 разу менше, ніж в дослідях - 4,0% (рис.1.22).

Розрахункове значення випередження в кліті 4Г складає $S=7,8\%$, що в 1,28 разу більше, ніж в дослідях. Помітна розбіжність дослідних і розрахункових величин випередження може бути обумовлена відмінністю розрахункових фактичних значень коефіцієнта тертя, неадекватністю урахування впливу нерівномірності деформації на кут γ_H критичного перерізу в лабораторних [18] і промислових умовах і відсутністю урахування впливу на випередження напружень натягнення розкату. Проте, для орієнтовних розрахунків випередження при прокатуванні високих розкатів може бути використали метод, запропонований в роботах [7,12,18].

При прокатуванні в клітях 1-3 дослідні величини розширення також помітно вище розрахункових по формулах (1.11) і (1.12), що обумовлено переважним приростом розширення за рахунок наявності нерівномірності висотної деформації.

1.7 Енергосилові параметри прокатки в ящикових калібрах

Для розрахунку сили P і крутного моменту M при пластичній деформації в ящикових калібрах НЗС необхідно в першу чергу визначити геометричні параметри деформації, напруження течії металу σ_T і нормальне контактне напруження τ_{cp} в осередку деформації

Геометричні параметри деформації визначають також, як і в гладких валках, нехтуючи деяким додатковим обтисненням нахилених стінок калібру [7,12] :

$$\left. \begin{aligned} \Delta h &= H - h; \varepsilon = \Delta h / H; l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h}; \\ B_{cp} &= 0,5(B + b); F = B_{cp} \cdot l_d; h_{cp} = h + 0,5\Delta h, \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

де H і h - початкова і кінцева товщина розкату; Δh - абсолютне обтиснення; ϵ - відносне обтиснення; R - тут радіус по дну калібру; B і b - ширина розкату до і після прокатки; l_d - довжина дуги контакту; F - площа контакту; h_{cp} - середня товщина розкату в калібрі.

Для розрахунку нормального контактного напруження в калібрах слід використати залежність, що враховує вплив на напружений стан металу в осередку деформації, розширення розкату і коефіцієнта n_ϕ для урахування впливу додаткових сил тертя на нахилених стінках калібру [7,12, 20]

$$p_{cp} = \sigma_\phi \left[1 + 0,48 \cdot f_\Pi n_\phi (1-a) l_d / h_{cp} \right] \cdot \left[1 + (1,1 - l_d / h_{cp})^2 \right], \quad (1.16)$$

Враховуючи, що при прокатуванні високих розкатів в ящичних калібрах контактне тертя слабо впливає на середнє нормальне контактне напруження приймаємо постійне значення показника тертя $f_\Pi=0,4$, яке відповідає реальним умовам прокатки, а також коефіцієнт n_ϕ впливу додаткового тертя на стінках калібрів $n_\phi=1,15$ і тоді отримаємо

$$p_{cp} \approx \lambda \cdot \sigma_T \left[1 + 0,23 \cdot (1-a) l_d / h_{cp} \right] \cdot \left[1 + (1,1 - l_d / h_{cp})^2 \right] \quad (1.17)$$

де λ - коефіцієнт Лодэ ($\lambda=1,15$ - за відсутності розширення для широких розкатів; $\lambda=1,1$ - для розвиненого розширення в калібрах); a - логарифмічний показник розширення:

$$a = \frac{\ln \beta}{\ln 1/\eta} \approx \frac{\Delta b \cdot h_{cp}}{\Delta h \cdot B_{cp}}, \quad (1.18)$$

де β і $1/\eta$ - коефіцієнти відповідно розширення і висотної деформації:

$$\beta = b / B_{cp}; \quad 1/\eta = H / h_{cp}; \quad h_{cp} = 0,5(H + h).$$

Визначення параметрів, що входять у формулу (1.17), дано в роботах [7,12,22]. Нижче приведені результати розрахунку енергосилових параметрів прокатки в кліті 2Г (табл.1.4,1.5) ($t=1135^\circ\text{C}$, $\epsilon=0,26$, зміст хімічних елементів в сталі: 0,18% С; 0,21% Si; 0,47% Mn). Дослідні значення $P=3,7\text{МН}$ і $M=0,63\text{МН}\cdot\text{м}$. В результаті розрахунків отримано:

$$\begin{aligned} a &= 0,201; & \sigma_T &= 57,5H / \text{мм}^2; & p_{cp} &= 70,2H / \text{мм}^2; \\ P &= 4,28\text{МН}; & M &= 0,64\text{МН}\cdot\text{м}, \end{aligned}$$

що мало відрізняється від дослідних.

Таблиця 1.5- Дослідні енергосилові середні параметри прокатки в клітях чорнової групи НЗС [15] (квадрат 150мм)

№ кліті	$\frac{l_d}{h_{cp}}$	F, мм ²	t, °C	v, м/с	P, МН	M, МН·м
1Г	0,59	66000	1140	0,55	3,10	0,635
2Г	0,69	66800	1135	0,70	3,7	0,63
3Г	0,43	33800	1100	0,67	3,1	0,48
4Г	0,74	45000	1095	0,88	2,65	0,37
5В	0,62	31000	1090	1,09	1,92	0,235
6Г	0,58	21800	1085	1,29	2,15	0,235
7В	0,77	26100	1080	1,67	1,86	0,22
8Г	0,74	17900	1075	2,05	2,0	0,20

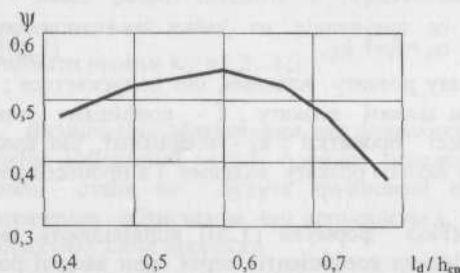


Рисунок 1.23-Зміна коефіцієнта положення сил в ящиківих калібрах НЗС [15]

Для кліті 6Г відповідно до розрахунку отримали:
 $P_{cp}=78\text{Н/мм}^2$ $P=1,86\text{МН}$,
 $M=0,256\text{МН}\cdot\text{м}$ (на двох валках).

Дослідні величини сили прокатки P і моменту M (коефіцієнт рівнодійної сил прийнятий з рис.1.23), досить близькі до розрахункових (табл.1.5): $P=2,15\text{МН}$, $M=0,235\text{МН}\cdot\text{м}$.

З рис.1.23 в видно, що коефіцієнт ψ положення рівнодійної сил змінюється по залежності, що має максимум при $l_d/h_{cp}\approx 0,6$. Очевидно, підвищення значення коефіцієнта праворуч від максимуму $l_d/h_{cp}=0,6\dots 0,77$ обумовлено збільшенням впливу позаконтактної зони деформації, як і у разі прокатки розкатів на блюмінгу або слябінгу. Зниження коефіцієнта ψ в області $l_d/h_{cp}<0,6$ є результатом інтенсивного розвитку розширення в приконтактних зонах деформації, утворення бічного контуру розкату у вигляді «подвійної бочки» та періодичною зміною розмірів розкату. В результаті апроксимації залежності на рис.1.23 отримаємо формули:

$$\left. \begin{aligned} \psi &= 0,54 - 5,5(l_d/h_{cp} - 0,6)^2 - n p l_d/h_{cp} > 0,6; \\ \psi &= 0,54 - 2,25(0,6 - l_d/h_{cp})^2 - n p l_d/h_{cp} < 0,6. \end{aligned} \right\} \quad (1.19)$$

1.8 Розрахунок обтиснень розкату, що допускаються

При прокатуванні розкатів на блюмінгах і в клітях чорнових груп заготовочних і великосортних станів величини обтиснень обмежуються: граничним кутом захвату, міцністю валків (силою прокатки), моментом крутіння, потужністю головного приводу. Найбільші обтиснення характерні для перших проходів, коли температура металу максимальна ($t \approx 1180 \dots 1220^\circ \text{C}$). Менші абсолютні обтиснення призначають в останніх проходах, коли розкат має порівняно невелику товщину і меншу температуру. У цих проходах величини обтиснень встановлюють на підставі промислових досліджень.

Найбільш систематизований, на наш погляд, метод розрахунку граничних обтиснень, представлений в роботах [6,23,51]. У цих роботах виконано уточнення розрахунку граничних обтиснень.

Визначення обтиснення з умови допустимого кута захвату.

Природне захватування розкату валками відбувається за умови, яка має вигляд [6,7,23,51]:

$$\alpha_3 = f_3 = f \cdot k_3, \quad (1.20)$$

де α_3 - граничний кут захвату розкату валками, що допускається; f_3 - умовний коефіцієнт тертя при захваті розкату; f - коефіцієнт тертя в осередку деформації у процесі прокатки; k_3 - коефіцієнт, що враховує відмінність умов при вільному захваті розкату валками і в процесі прокатки ($k_3 \approx 1,3$).

Перші два параметри ($f \cdot k_3$) формули (1.20) відповідають умовам вільного захвату розкату. Величини коефіцієнтів тертя при захваті розкату валками і в процесі, що встановився, різні, що обумовлено технологічними особливостями контактування металу і валків, які розглянуті в [7,23,51].

Якщо розкат входить у валки під дією деякої сили Q , що заштовхує від попередньої кліті з горизонтальними (вертикальними) валками або від рольганга, то в цьому випадку на контакт, що утворився, діють додаткові сили, що покращують умови захвату розкату валками і в цьому випадку граничний кут захвату дорівнює

$$\alpha_{3Q} = (\alpha_3 + k_C); \quad k_C = 0,5 Q / P; \quad k_Q = \alpha_{3Q} / \alpha_3. \quad (1.21)$$

Коефіцієнт k_C дорівнює

$$k_C = Q / 2P_3 = (0,05 \dots 0,10) f \cdot r_{CP} \cdot l_d / r_{CP3} \cdot l_3,$$

де l_d - довжина дуги контакту в попередній кліті; r_{CP} - середнє нормальне контактне напруження при прокатуванні в попередній кліті; f - коефіцієнт

тертя : p_{CP3} і l_3 - середнє нормальне контактне напруження і довжина контакту при захваті розкату в цієї кліті; α_3 - природний кут захвату; k_Q - коефіцієнт, що враховує поліпшення умов захвату при задаванні у валки розкату під дією деякої сили від рольганга або попередньої кліті Обтискання Δh_d , що допускається, рівне:

$$\Delta h_d = R \cdot \alpha_3^2 \cdot k_Q, \quad (1.22)$$

де R - робочий радіус валків.

Обробка результатів досліджень дозволяє рекомендувати для практичних цілей наступні значення коефіцієнтів k_Q , що входять у формулу (1.22):

- у разі задавання розкату в горизонтальні валки *рольгангом* коефіцієнт k_Q слід приймати рівним $k_Q=1,05$;

- якщо розкат входить в горизонтальні валки під дією *валків попередньої кліті с вертикальними валками*, то коефіцієнт $k_Q \approx 1,05 \dots 1,1$;

- якщо розкат входить в горизонтальні валки під дією *валків горизонтальної кліті*, то, відповідно до розрахунків, коефіцієнт k_Q слід приймати рівним $k_Q \approx 1,2 \dots 1,3$.

Визначення обтиснення, що допускається, з умови міцності валків.

Режим деформації металу повинен передбачати такі обтиснення, при яких валки стана не будуть зруйновані одиничним навантаженням. Для визначення обтиснення, що допускається, приймають відому формулу для розрахунку сили прокатки

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

Після зведення в квадрат обох частин і рішення відносно Δh при силі P_d , що допускається, отримаємо

$$\Delta h_d = (P_d / p_{CP} \cdot B_{CP})^2 / R, \quad (1.23)$$

де P_d - сила на валки, що допускається ; p_{CP} - середнє нормальне контактне напруження; R - радіус валків..

У формулу входить два невідомих параметра Δh_d і p_{CP} , а тому необхідно використати ітераційний метод розрахунку. Середнє нормальне напруження невідоме тому, що воно може бути визначене тільки при відомому обтисненні Δh . Тому рішення вказаного рівняння виконується ітераційним методом (методом наближень), виконання якого не представляє складнощів..

Маючи на увазі, що сила прокатки практично лінійно залежить від обтиснення запропоновано рівняння, що виключає ітераційний розрахунок обтиснення, що допускається [6,44,52]

$$\Delta h_d = \Delta h' + (\Delta h'' - \Delta h')(P_d - P') / (P'' - P'), \quad (1.24)$$

де $\Delta h'$ і $\Delta h''$ - абсолютні обтиснення відповідно мінімальне і максимальне, прийняті для цього розрахунку; P' і P'' - розрахункові сили прокатки, що відповідають обтисненням $\Delta h'$ і $\Delta h''$.

При розрахунку обтиснення, що допускається, задають величини обтиснень $\Delta h'$ і $\Delta h''$, які можливі для цього стану і по відомих формулах розраховують сили прокатки P' і P'' [6,23]. Наприклад, для слябінгу можливі обтиснення знаходяться в межах 50...70мм. Тому, величини $\Delta h'$ і $\Delta h''$ можна прийняти рівними відповідно мінімальне $\Delta h' = 50$ мм і максимальне $\Delta h'' = 70$ мм. Значення сили прокатки, що допускаються, визначають виходячи з міцності бочки і шийки валка на вигин. Для двохвалкової кліті маємо, МН:
для бочки

$$P_d = 0,4 \cdot D^3 \cdot [\sigma_{вз}] / (a - 0,5b); \quad (1.25)$$

для шийки валка

$$P_d = 0,4 \cdot d_m^3 \cdot [\sigma_{вз}] / l_m; \quad (1.26)$$

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

Проте в практичних умовах величину P_d частенько зменшують, в порівнянні з розрахунковими значеннями, до $(0,9...0,95)P_d$ з метою підвищення надійності роботи валків (велика величина для нових, а менша величина для старих станів).

При оцінці міцності деталі на кручення доцільно порівнювати величини розрахункового моменту крутіння і такого, що допускається. Теоретичним шляхом момент крутіння визначають по формулі (на одному валку)

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

де ψ - коефіцієнт положення рівнодійної сил; l_d - довжина дуги контакту..

При визначенні моменту крутіння M_d , що допускається, можна використати відому формулу

$$M_d = 0,975 \cdot N_{дв} \cdot \eta \cdot 10^{-2} / n_n, \quad (1.27)$$

де $N_{дв}$ - потужність двигуна, кВт; η - коефіцієнт втрат потужності в деталях головної лінії стану; n_n - номінальне число оборотів двигуна, об/хв..

Напруження що допускається: вигину $[\sigma_{вз}]$ і крутіння $[\tau_{кр}]$,

для валків рівні:

для сталевих валків (Н/мм^2): $[\sigma_{\text{ИЗ}}] = 100 \dots 120$ и $[\tau_{\text{КР}}] = 70 \dots 85$;

для чавунних валків (Н/мм^2): $[\sigma_{\text{ИЗ}}] = 70 \dots 80$ и $[\tau_{\text{КР}}] = 50 \dots 55$.

Небезпечний переріз на крутіння в деталі, наприклад, в шийці робочого приводного валка, знаходиться під кутом 45° .

1.9 Закономірності деформації в калібрах системи ромб-квадрат на НЗС

При прокатуванні в клітях чистової групи НЗС традиційної і найбільш ефективної, у зв'язку з надійною стійкістю розкатів в калібрах, є калібрування валків по системі ромб-квадрат (рис.1.24)[5,6,12]. У цій системі ромбічні калібри урізані у вертикальні валки, а квадратні - в горизонтальні валки. Максимальна швидкість прокатки в кліті 14Г складає $\sim 7,0 \text{ м/с}$. На

цьому стані максимальний діаметр валків по буртах складає 540 мм і високі значення кутів захвату до 30° . В усіх витяжних калібрах має місце нерівномірна висотна деформація металу по ширині, що відрізняє їх від рівномірної висотної деформації при прокатки в гладких валках.

Рисунок 1.24-Геометричні параметри прокатки ромбічного розкату в квадратному калібрі (а), форма контактної поверхні (б) : 1 - контур калібру; 2 - контур початкової заготовки; 3 - змінний контур заготовки в процесі деформації з урахуванням розширення металу

У системі калібрів ромб-квадрат (рис.1.24), як і в інших системах калібрів,

має місце нерівномірна деформація металу по ширині калібру. Як впливає з рис.1.24, при прокатуванні в квадратному калібрі 1 ромбічної заготовки 2 максимальна висотна деформація зосереджена по осі калібру ($\Delta h = H - h$), а на кромці калібру обтиснення мінімально або дорівнює нулю. У зв'язку з такою деформацією нерівномірні по ширині калібру коефіцієнт витягання і довжина дуги контакту. Максимальні величини витягання і довжини дуги контакту мають місце по осі калібру і зменшуються до периферії калібру..

Площа контакту має форму напівовалу. Крім того, при русі розкату по довжині осередку деформації внаслідок поперечної течії металу контур 3 заготовки постійно змінюється і ширина контакту розкату з валками

збільшується. Це приводить до збільшення абсолютного обтиснення в кожному вертикальному перерізі, а отже, і до збільшення середнього обтиснення в калібрі.

Наявність нерівномірної висотної деформації в калібрах обумовлює необхідність визначення деяких усереднених параметрів деформації (обтиснення, ширина розкату, довжина дуги контакту, радіус валків), які б враховували дійсні умови деформації металу з позицій енергетичних витрат. Тобто при однакових енергетичних витратах усереднені геометричні параметри прокатки в калібрах мають дорівнювати лінійним параметрам прокатки в гладких валках.

Застосування в чистовій групі системи калібрів ромб-квадрат обумовлено стійкістю розкату в калібрі проти кантування і необхідністю надання профілю точної форми за наявності простору Z на розширення металу в калібрі.

Таблиця 1.5. Параметри деформації при прокатуванні в калібрах системи ромб-квадрат в чистовій групі НЗС 900/700/500 [15]

№ кліті	Форма калібру	h, мм	b, мм	Δh , мм	Δb , мм	μ	α , град	R, мм	n, м/с
9В	Ромб	164,5	224	46,5	8,1	1,2	29,1	229	1,88
10Г	Квадрат	176	176	48	11,5	1,2	30,1	226	2,15
11В	Ромб	129,5	193	67,5	16,5	1,25	30,1	239	2,88
12Г	Квадрат	141	141	52	11,5	1,25	30	234	3,57
13В	Ромб	103	155	38	9,7	1,25	24,3	242	5,3
14Г	Квадрат	113	113	42	10,0	1,25	25	239	6,0

Однією з основних характеристик деформації металу в калібрах є коефіцієнт витягання $\mu = q_0/q$ (q_0 і q - площі заготовки і калібру), що характеризує міру зміни площі поперечного перерізу при прокатуванні в калібрі. Для системи ромб-квадрат коефіцієнт витягання дорівнює $\mu = 1,20 \dots 1,4$. При цьому коефіцієнт витягання в ромбічних калібрах декілька більший, ніж в квадратних, внаслідок більшої його ширини і меншого розширення [6,7,12]. Додаткові відомості про особливості деформації металу в системі ромб-квадрат і в інших системах калібрів в роботах [6,7,12-14,].

Визначення середнього обтиснення. Для розрахунку розширення, випередження, енергосилових параметрів прокатки в калібрах будь-яких систем необхідно знати середньозважені геометричні параметри деформації металу [6,12,23-26]. В першу чергу слід визначити середнє обтиснення металу в калібрі. У роботах [6,7,12] для калібрів простої форми витяжних систем середнє обтиснення $\Delta h_{\text{ср}}$ рекомендують розраховувати методом відповідної контактної площі розкату з валками (табл.1.6).

Коефіцієнт n_k характеризує інтенсивність деформації і залежить від форми заготовки і калібру, змінюється в межах $n_k = 0,62 \dots 1,1$, параметр $V_{\text{ср}}/b_{\text{ф}}$ змінюється в межах $0,81 \dots 0,98$.

Середнє висотне обтиснення в калібрі рівне

$$\Delta h_{\text{CP}} = n_{\text{K}} \cdot \Delta h. \quad (1.28)$$

Таблиця 1.6- Параметри деформації металу в калібрах

Форма Заготовки	Форма калібра	Розрахунок по формулах [6,7,12]		Розрахунок за даними[27]	
		n_{K}	$n_{\text{B}} =$ $V_{\text{CP}}/b_{\text{Ф}}$	n_{K}	$n_{\text{B}} =$ $V_{\text{CP}}/b_{\text{Ф}}$
Овал	Ребровий овал. (Круг)	0,65	0,81	0,64-0,7	0,84- 0,87
Овал	Квадрат	0,62	0,81	0,6-0,66	0,77- 0,84
Квадрат	Овал ($b/h \geq 0$)	1,04- 1,25	-	1-1,2	-
Ромб (квадрат)	Квадрат (ромб)	0,63	0,83	0,58 – 0,67	0,78- 0,86
Овал	Круг	0,65	0,81	0,64-0,7	0,78- 0,86
Круг	Овал	0,71	0,86	0,7-0,75	0,84- 0,87
Ребровий овал	Овал	0,78	0,93	-	-
Шестикутн ик	Квадрат	0,84	0,91	-	-
Квадрат	Шестиугольник	0,98- 1,08	-	-	-
Прямокутн ик	Ребровий овал	1,1	0,98	-	-

У табл.1.6: V_{CP} - середньозважена ширина контактної площі; $b_{\text{Ф}}$ - фактична ширина розкату в калібрі; n_{K} - коефіцієнт нерівномірності висотної деформації, рівний $n_{\text{K}} = \Delta h_{\text{CP}}/\Delta h$; Δh - абсолютне обтиснення по осі калібру; Δh_{CP} - середньозважене обтиснення по ширині калібру, що відповідає ширині V_{CP} .

Розраховані по відповідній контактній поверхні величини середнього обтиснення Δh_{CP} (у вигляді $n_{\text{K}} = \Delta h_{\text{CP}}/\Delta h$) і середньої відносної ширини ($V_{\text{CP}}/b_{\text{Ф}}$) представлені в табл.1.6. У табл. 1.6 представлені також дані n_{K} і $V_{\text{CP}}/b_{\text{Ф}}$, визначені за результатами досліджень Г. Цоухара [27], яким відповідає теоретичні дані табл.1.6. При відомому обтисненні визначають усі інші геометричні параметри. Наприклад, якщо задані розміри ромбічної

заготовки ($H=193\text{мм}$ і $B=130\text{мм}$) і квадратного калібру ($h=141\text{мм}$ і $b=141\text{мм}$), то з табл.1.6 маємо при $n_K=0,63$:

$$\Delta h = H - h = 193 - 141 = 52\text{мм}; \quad \Delta h_{CP} = 0,63 \cdot 52 \approx 33\text{мм}.$$

Далі слід визначити (залежно від методу калібрування) або розміри заготовки або калібру. При визначенні розміру заготовки маємо:

$$h_{CP} = n \cdot h = 0,5 \cdot 141 = 70,5\text{мм}; \quad H_{CP} = h_{CP} + \Delta h_{CP} = 70,5 + 33 = 133,5\text{мм},$$

де n - коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу розкату (для ромба і квадрата $n=0,5$ [6,7,12]).

Середня ширина контактної поверхні рівна (B_{CP}/b_ϕ - з табл.1.6, $b_\phi = b$

$$B_{CP} = (B_{CP}/b_\phi) \cdot b_\phi = 0,83 \cdot 141 = 117\text{мм}.$$

При відомих інших початкових параметрах, цих даних вистачає для теоретичного розрахунку кінематичних і енергосилових параметрів деформації.

Визначення розширення. При прокатуванні в гладких валках поперечній течії металу перешкоджає тільки контактна дотична сила тертя, діюча по ширині розкату (осередку деформації). Крім того, характер поперечної течії металу по висоті розкату обумовлений фактором форми осередку деформації.

При прокатуванні в калібрах поперечній течії металу перешкоджають додатково ще і нахилені стінки. Горизонтальні складові сили прокатки від нахилених стінок стримують поперечну течію металу. При цьому, чим більше кут ϕ нахилу стінки (рис.1.24), тим більше опір течії металу і менше розширення. Наприклад, при прокатуванні в квадратному калібрі, при усіх інших однакових параметрах, розширення буде менше, ніж в ромбічному калібрі.

Для розрахунку розширення при прокатуванні в гладких валках відомі формули О.П. Чекмарьова, О.І. Целікова та ін. Після включення у формули для гладких валків спеціальних додаткових коефіцієнтів, вони можуть бути використані для розрахунку розширення в калібрах. Точність отриманих результатів залежатиме від структури формули і правильності вибору додаткового коефіцієнта. .

У роботах [6,7,12,25,44] запропонований метод розрахунку розширення, отриманий з умови закону найменшого опору течії металу в калібрі. Аналітично ця умова, з урахуванням дії контактних сил тертя, що перешкоджають поперечній течії металу, може бути виражена таким чином

$$\ln \lambda / \ln \beta = \left[(Q + P_y) / l_d \cdot h_{cp} \right] / \left[(T_{x1} + T_{x2}) / B_{cp} \cdot h_{cp} \right], \quad (1.29)$$

де λ і β - коефіцієнти подовження і розширення відповідно; Q - опір переміщенню металу від сил тертя в поперечному напрямі; T_{X1} і T_{X2} - опори переміщенню металу в зонах відставання і випередження відповідно; P_Y - горизонтальна складова сили прокатки від нахилних стінок калібру.

Приймасмо рівномірний розподіл нормального напруження по дузі контакту і тоді:

$$\left. \begin{aligned} Q &= f_B \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot l_d; P_y = P_z \cdot tg\phi = p_{cp} \cdot l_d \cdot B_{cp} \cdot tg\phi; \\ T_{x1} &= f \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot R(\alpha - \gamma); T_{x2} = f \cdot p_{cp} \cdot B_{cp} \cdot R \cdot \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (1.30)$$

де f_B і f - умовні коефіцієнти тертя відповідно в поперечному і подовжньому перерізах; P_z - вертикальна складова сили прокатки; ϕ - кут нахилу стінки калібру; α і γ - кути контакту і критичного перерізу; p_{cp} - середнє нормальне контактне напруження. Зважаючи, що

$$\ln \lambda = \ln(1/\eta - \beta); \quad \ln 1/\eta \approx \Delta h_{cp} / h_{cp}, \quad \ln \beta \approx \Delta b_{cp} / B_{cp}$$

і вирішуючи спільно формули (1.29) і (1.30) після перетворень отримаємо

$$\Delta b_{cp} = \frac{\Delta h_{cp} \cdot B_{cp} / h_{cp}}{1 + \frac{f_B}{f} \cdot \frac{B_{cp}}{l_d} (1 + tg\phi / f_B)} \quad (1.31)$$

Чисельник формули (1.31) враховує вплив на розширення геометричних параметрів деформації - зміщеного об'єму. Збільшення обтиснення і зменшення середньої товщини розкату призводить до збільшення розширення. У першому випадку, збільшення обтиснення призводить до збільшення довжини дуги контакту, подовжнього підпирючого напруження σ_3 , до зменшення подовжньої течії металу і, разом з цим, до збільшення поперечної течії металу (відповідно до закону найменшого опору течії металу).

Зменшення товщини розкату, при усіх інших постійних параметрах, викликає зменшення площі поперечного перерізу розкату, підвищення подовжнього підпирючого напруження σ_3 і зменшення подовжньої течії металу. Вплив ширини розкату неоднозначний, так як цей параметр входить як в чисельник (збільшення ширини викликає збільшення розширення за рахунок зміщеного завширшки об'єму металу), так і в знаменник (збільшення ширини зменшує розширення за рахунок збільшення поперечних контактних напружень).

Комплексний параметр $(f_B B_{cp} / f \cdot l_d)$ відбиває вплив співвідношення контактних опорів течії металу в поперечному і подовжньому напрямках. При цьому збільшення параметрів B_{cp} / l_d і f_B / f сприяє зменшенню розширення. Проте в області $B_{cp} / l_d < 1$ (відповідно до закону найменшого опору течії

металу) змінюється на протилежну дію підпираючих напружені σ_2 і σ_3 . Збільшення кута ϕ нахилу стінок калібру збільшує опір течії металу в поперечному напрямі і знижує розширення розкату.

Параметр $C_f = f(B_{cp}/l_d)$ визначають з виразів [6,7,12,25]:

при $B_{cp}/l_d \leq 1,15$

$$C_f = 0,6 + 2,8(B_{cp}/l_d - 0,6)^{1,2}; \quad (1.32)$$

при $B_{cp}/l_d > 1,15$

$$C_f = 1,06 + 0,77 \cdot B_{cp}/l_d. \quad (1.33)$$

По відомих значеннях C_f і f визначається коефіцієнт опору течії в поперечному напрямі

$$f_B = f \cdot C_f, \quad (1.34)$$

а кут ϕ для ромбічних і квадратних калібрів дорівнює

$$\operatorname{tg} \phi = h/b.$$

У формулах (1.31) - (1.34) умовний коефіцієнт тертя f уздовж осередку деформації визначають з урахуванням впливу нахилених стінок калібру

$$f = f_\Gamma \cdot n_\phi,$$

де f_Γ - коефіцієнт тертя при прокатуванні в гладких валках [7,12].

З формули (1.31) виходить, що збільшення кута ϕ нахилу стінок калібру викликає зменшення розширення в калібрах в порівнянні з гладкою бочкою ($\phi=0$). Так, при прокатуванні в квадратному калібрі ($\phi=45^\circ$) зменшення складає 40...50% від розширення в гладких валках. Розширення збільшується при переході від квадратного калібру до ромбічного (тобто при зменшенні кута ϕ). Збільшення параметра B_{cp}/l_d сприяє зменшенню розширення, за рахунок підвищення поперечного контактного опору. З формули (1.31) виходить, що збільшення кута ϕ нахилу стінок калібру викликає зменшення розширення в калібрах в порівнянні з гладкою бочкою ($\phi=0$).

Формула (1.31) дозволяє розрахувати лише середню величину розширення Δb в калібрі без урахування параметрів простору на розширення. Як впливає з рис.1.24, простір на розширення має максимальний розмір по осі калібру і рівний $\Delta b_0 = b_\phi - B$. Відповідно до форми простору і величина розширення буде максимальна по осі калібру і може бути визначена з робіт [6,7,12,25]

$$\Delta b_0 = \Delta b / n_\Pi, \quad (1.35)$$

де n_Π - коефіцієнт, що враховує форму простору на розширення при повному заповненні калібру (для систем калібрів ромб-квадрат, шестикутник -квадрат - $n_\Pi=0,5$; для систем калібрів овал -круг, овал- ребровий овал - $n_\Pi=0,7$).

У роботах [6,12,25] приведені регресійні рівняння для розрахунку осьового розширення в різних калібрах простої форми, які отримані на підставі обробки результатів досліджень [27]. Для калібрів системи ромб-квадрат отримано наступне ($m \geq 0$):

$$\left. \begin{aligned} \Delta b_0 &= 0,52 \cdot C_{II} \cdot C_M (3,85 + m); \\ m &= \Delta h_{cp} \cdot B_{cp} / h_{cp}. \end{aligned} \right\} (1.36)$$

Коефіцієнт C_{II} визначають з формул (1.12), а коефіцієнт C_M , що враховує вплив матеріалу заготовки з роботи [6] (для маловуглецевої сталі коефіцієнт $C_M=1,0$). Формула (1.36) може бути еталоном для перевірки теоретичних формул.

Визначення випередження. Нерівномірність висотної деформації, відмінність в діаметрах валків і в умовах тертя по ширині калібру сприяє нерівномірному розвитку випередження периферійних і центральних частин поверхні розкату. Згідно з дослідженнями И.М. Павлова і М.І. Капустиной, О.П. Чекмарьова та ін. діаграми випередження по контуру калібрів майже співпадають з їх формою і випередження більше в тих подовжніх перерізах калібрів, де менше катаючий радіус валка.

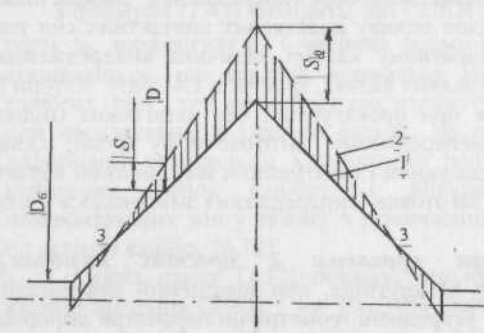


Рис.1.25.Розподіл випередження (2) по контуру квадратного калібру(1) : 3-критичний переріз, в якому швидкість валків дорівнює швидкості розкату

Так, наприклад, при прокатуванні в квадратному калібрі 1 (рис.1.25) ромбічної заготовки випередження по ширині калібру розподілене

по контуру 2 і відповідає формі калібру. Як видно з рис.1.25, випередження має максимальне значення по осі калібру, де радіус валка мінімальний. При максимальному діаметрі (D_0) валка випередження має негативне значення, а в точках 3 - випередження відсутнє і швидкість валків і розкату виявляються однаковими (нейтральний переріз по ширині стінки калібру).

Значення випередження S_i в перерізах калібру розраховувим шляхом визначимо виходячи з наступної умови

$$\Delta v_i = v_{II} - v_i, \quad (1.3)$$

де Δv_i - різниця між швидкостями; v_{II} - швидкість розкату, що відповідає середньому радіусу валків в калібрі; v_i - швидкість розкату, що відповідає поточним радіусам верхнього і нижнього валків..

У перерізах калібру, де радіуси верхнього і нижнього валків однакові швидкість v_{II} - рівна

$$v_{\Pi} = v(1+S), \quad (1.38)$$

де v - середня окружна швидкість при рівних радіусах верхнього і нижнього валків; S - випередження в симетричних умовах прокати (см вищій) [7,12,28]. Вирішуючи спільно формули (1.29) і (1.30) після перетворення отримаємо

$$S_i = 1 + S - R_i / R, \quad (1.39)$$

де R - середній катаючий радіус валка; R_i - поточний радіус валка (верхнього або нижнього) в калібрі..

Середня величина випередження в калібрі при _ (де R_0 і R_6 - радіуси валків відповідно по вершині калібру і по бурту валка; R - середній радіус валків). Зважаючи на те, що

$$R_0 / R = 1 - \Delta R_0 / R,$$

то середня величина випередження в калібрі при $R_0=R_6$ рівна

$$S_K = S + 0,5\Delta R_0 / R; \quad (1.40)$$

$$\Delta R_0 = R - R_0.$$

При прокатуванні в калібрах величина випередження завжди більша, ніж в гладких валках внаслідок впливу додаткових контактних сил тертя. Так, при прокатуванні в квадратному калібрі величина випередження, в порівнянні з прокатуванням в гладких валках, зростає в 1,41 разу. Автори [29] відмічають, що випередження при прокатуванні без натягнення (підпора) штаби на досліджуваному неперервному заготовочному стані, складає 6...8%. Залежність між випередженням і натягненням має лінійний характер. За наявності сил натягнення заготовки випередження змінювалося в межах 1...13%.

Енергосилові параметри прокати в простих калібрах. Для розрахунку сили P і моменту M крутіння, при пластичній деформації в калібрах необхідно визначити усереднені геометричні параметри деформації, напруження течії металу σ_T і нормальне контактне напруження p_{CP} в осередку деформації. Геометричні параметри деформації визначають по формулах, вказаних вище [6,7,12,23,26].

Для розрахунку нормального контактного напруження слід використати відомі залежності [6,7,12,20,21,23,26], які враховують вплив на напружений стан металу розширення розкату і коефіцієнта n_{ϕ} впливу додаткових сил тертя нахилених стінок калібру. Теоретично і експериментально обґрунтованим є рішення запропоноване в роботах [7,12,20] ($l_d/h_{CP} > 1$).

$$p_{CP} = \lambda \cdot k_{в.з.} \cdot \sigma_T \left[1 + 0,48 \cdot f_{\Pi} \cdot n_{\phi} (1-a) l_d / h_{CP} \right] \times \left[1 + (1 - l_d / h_{CP})^2 \right] \quad (1.41)$$

де f_{Π} - умовний показник тертя; λ - коефіцієнт Лодэ (при розвинуеному розширенні $\lambda=1,0$); k_{B3} - коефіцієнт, що враховує вплив позаконтактних бічних зон розкату у калібрах ($k_{B3} \approx 1,05$)

$$f_{\Pi} = f(0,92 + 1,27\varepsilon) \quad (1.42)$$

Логарифмічний показник розширення визначають за формулою (1.18). Значення коефіцієнта n_{Φ} для різних калібрів дорівнюють:

круглий - $n_{\Phi}=1,57$; квадратний, кутовий і зетовий чистові - $n_{\Phi}=1,41$; овал ребровий - 1,35; ромбічний, кутовий і зетовий чорнові - 1,15...1,3; овал однорадіусний і плоский, шестикутник, прямокутник - 1,1...1,2; розрізний (балочний) - 1,35...1,4; розрізний (рейковий) - 1,2...1,25; калібри балочні - 1,7...2,2; калібри швелерні - 1,8...2,3; калібри рейкові - 2,0...2,1; калібри шпунта - 1,8,2,1. Менші значення n_{Φ} відносять до чорнових, а великі до чистових калібрів. Розрахунок середнього нормального напруження (СНКН) при ($l_d/h_{CP} > 1$) виконують по формулі

$$p_{CP} = \lambda \cdot k_{B3} \cdot \sigma_T \left[1 + 0,48 \cdot f_{\Pi} \cdot n_{\Phi} \cdot (1-a) \cdot l_d / h_{CP} \right]. \quad (1.43)$$

З формули (1.43) виходить, що СНКН зростає зі збільшенням показника тертя f_{Π} , коефіцієнта n_{Φ} і чинника форми (l_d/h_{CP}). У відомих дослідженнях відзначається, що середнє нормальне контактне напруження (СНКН) в калібрах, при тих же однакових параметрах деформації, дещо більше, ніж при прокатуванні в гладких валках. Це пов'язано з наявністю в осередку деформації додаткового контактного напруження, за рахунок дії бічних нахилених стінок калібру, і збільшення міри впливу зовнішніх позаконтактних зон у зв'язку з різночасним початком деформації заготовки по ширині калібру [6,12].

Аналіз даних [7,12] показує, що при прокатуванні в квадратному калібрі значення СНКН на 10...30% більше, ніж в гладких валках (великі значення при $l_d/h_{CP}=0,6$, менші - при $l_d/h_{CP}=1,6$).

1.10 Секундний об'єм металу у клітях неперервного стану

При неперервному прокатуванні на стані (НПС) розкат знаходиться одночасно в декількох клітях і він зв'язує ці кліті єдиним ритмом прокатки, тобто який об'єм металу в секунду входить в одну кліть, стільки ж металу в цей же час повинен виходити з подальшої кліті. Цей закон постійності секундних об'ємів металу виражається у виді

$$C_1 = v_1 q_1 (1 + S_1) = v_2 q_2 (1 + S_2) = \dots = v_i q_i (1 + S_i), \quad (1.44)$$

де v_1, v_2, v_i - окружні швидкості відповідних клітей; $q_1 - q_i$ - площі поперечного перерізу розкатів після клітей; $S_1 - S_i$ - випередження металу у відповідних клітях.

Співвідношення $C_1=C_2=...=C_i$ відповідає ідеальному неперервному процесу прокатки без натягнення і без підпору розкату валками. Проте на практиці такого ідеального процесу не існує. На НПС створюють процес прокатки з невеликими міжклітьовими натягненнями розкату, а в цьому випадку маємо

$$C_1 < C_2 < \dots < C_i$$

тобто

$$v_1 q_1 (1 + S_1) < v_2 q_2 k (1 + S_2) < \dots < v_i q_i k (1 + S_i) , \quad (1.45)$$

де k - коефіцієнт розузгодження секундних об'ємів ($k=1,01 \dots 1,02$).

Прокатку з підпором на НПС (НЗС) не застосовують внаслідок збільшення підпираючого напруження σ_3 в осередку деформації і нормального контактного напруження $p_{ср}$. При прокатуванні з натягненням зменшуються підпираюче напруження σ_3 і середнє нормальне контактне напруження $p_{ср}$, забезпечуючи зниження сили і потужності прокатки.

При спрощеному розрахунку C_i можна прийняти $S_1=S_2=...=S_i$ і тоді отримаємо

$$v_1 q_1 = v_2 q_2 k = \dots = v_i q_i k . \quad (1.46)$$

Зважаючи на відому залежність між v і p отримаємо

$$n_1 D_1 q_1 = n_2 D_2 q_2 k = n_3 D_3 q_3 k \dots = n_i D_i q_i k , \quad (1.47)$$

де n_i - число оборотів валків в клітях; D_i - катаючі діаметри валків в клітях..

Використовуючи формулу (1.47) і встановивши число оборотів в останній кліті стана можна розрахувати число оборотів валків в усіх попередніх клітях з умови дії на розкат мінімальної розтягуючої сили між клітями.

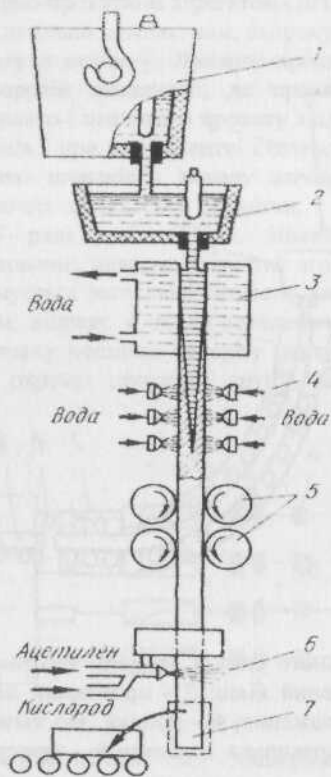
1.11 Виробництво безперервно-литой заготовки

Освоєння процесу розливання металу в прохідні кристалізатори з отриманням заготовок необхідних розмірів і форми для подальшого прокатування з них різних профілів є найважливішим досягненням в області металургії. На початку 40-х років XX століття цей процес був застосований для отримання напівфабрикатів з алюмінію і його сплавів, потім для міді, а з середини 50-х років він почав впроваджуватися в чорній металургії. Нині доведено, що безперервне розливання може бути застосовано для сталей найрізноманітнішого складу [43].

Користуючись схемою на рис.1.26, розглянемо принцип дії машин безперервного розливання стали (один з перших варіантів МНЛЗ). Рідка сталь із сталерозливного ковша 1 поступає в проміжний ківш 2, з якого

струмінь рідкого металу спрямовується в кристалізатор 3. Останній є порожнистою коробкою з мідними стінками, між якими під тиском циркулює охолоджувальна вода. На початку розливання дном кристалізатора служить так звана приманка - сталевая плита, закріплена на шлангу достатньої довжини. Верхня частина затравки має паз у формі «ластівчиного хвоста» для кращого зчеплення із зливком, що утворюється. При опусканні затравки зливок поступово витягується з кристалізатора. Після проходження роликів, що тягнуть, 5 затравку відділяють. В процесі розливання кристалізатор здійснює коливний рух по вертикалі з амплітудою 15...30мм з метою запобігання приварювання металу до його стінок.

З кристалізатора зливок виходить з ще рідкою серцевиною. Остаточне твердіння металу відбувається в зоні вторинного охолодження 4, де на поверхню зливка подаються за допомогою форсунок розпорошені струмені води. Повністю затверділий зливок ріжеться на ходу на мірні довжини газовим різаком 6. Отримана заготовка 7 переводиться в горизонтальне положення і передається на прокатний стан.



Показана на рис.1.25 схема МНЛЗ відноситься до машин вертикального типу. Такі машини з'явилися першими. Будучи досить універсальними по розмірах заготовок і марках стали, вони в той же час мають істотний недолік - занадто велику висоту, до 40...50м. Це вимагає великих капітальних витрат на спорудження високих будівель і підвальних приміщень, а також утрудняє експлуатацію устаткування.

Рисунок 1.26. Схема машини безперервного литва заготовок (МНЛЗ) вертикального типу: 1 - сталевий розливний ківш; 2 - проміжний ківш; 3 - кристалізатор; 4 - вторинна зона охолодження; 5 - роликів, що тягнуть; 6 - рухливий газовий різак; 7 - заготовка

Надалі були створені машини вертикального типу з вигином зливка (рис.1.27, а), а ще декілька пізніше - машини радіального типу (рис.1.27, б).

МНЛЗ радіального типу для виробництва на квадратний (прямокутний)

переріз нині вважають найбільш раціональними. Окрім різкого зменшення висоти машини (у 2.3 рази і більше), вони мають збільшену довжину зони вторинного охолодження, що дозволяє підвищити швидкість литва. .

Горизонтальний вихід заготовки створює можливість виробництва заготовок необмеженої довжини, а також сприяє поєднанню МНЛЗ з прокатними клітьми. Ролики 4 на рис.1.27,б використовують також для невеликого обтиснення заготовки з метою усунення центральної пористості заготовки. Діючі МНЛЗ мають від одного до восьми струмків, частіше всього 2-4 рівчака. Максимальні розміри перерізу заготовок : для слябів - до 300x2500мм, для квадратних профілів - до 350x350мм. Швидкість виходу заготовок знаходиться в межах 0,5...5м/хв. Продуктивність МНЛЗ з перерахунку на один струмок складає 300...500т/ч при відливанні великих слябів і 50...150т/ч при отриманні квадратних заготовок. Вихід придатного складає 99%.

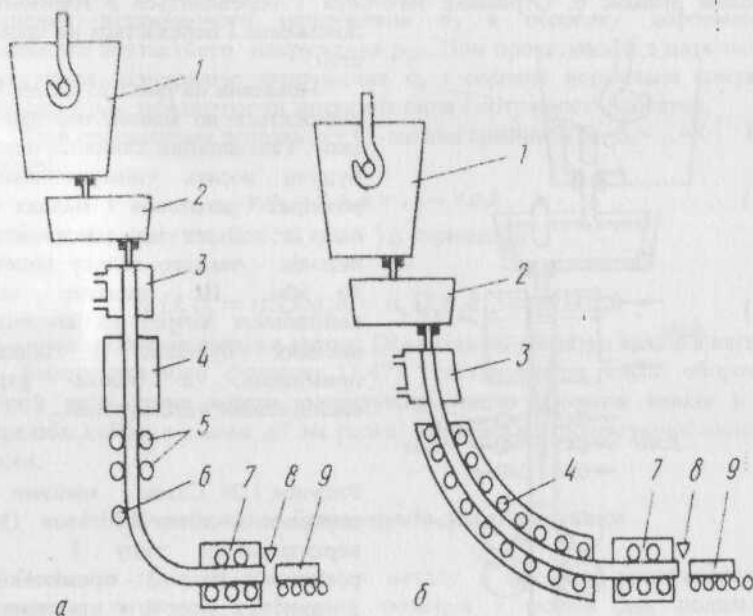


Рисунок 1.27- Схеми МНЛЗ вертикального типу з вигином заготовки (а) і радіального типу (б) : 1 - сталерозливний ківш; 2 - проміжний ківш; 3 - кристалізатор; 4 - вторинна зона охолодження; 5 - ролики, що тягнуть; 6 - пристрій для вигину заготовки; 7 - правильна машина; 8 - пристрій для різання заготовки; 9 - заготовка

Великі переваги виробництва заготовок методом безперервного литва в порівнянні з прокаткою їх із зливків, які відлити у виливниці, полягає в наступному:

- значно скорочується увесь виробничий цикл, в плавильних цехах ліквідується парк виливниць;
- на 10.20% збільшується вихід придатного, оскільки усувається кінцева обрєз розкатів при прокатуванні зливків на обтискних станах;
- структура заготовок виходить щільнішою і одноріднішою, чим структура великих зливків; у зв'язку з цим підвищуються і стають більше рівномірними механічні властивості виробів, що прокатуються з безперервно-ливої заготовки;
- отримувані на МНЛЗ заготовки за якістю поверхні значно перевершують зливки, що відливаються у виливниці.

Переваги безперервного розливання ще більше зростають при поєднанні МНЛЗ з прокатним станом в єдиний комплекс, що називається ливарно-прокатним агрегатом (ЛПА). В цьому випадку виробничий цикл стає максимально компактним, скорочуються енерговитрати, зменшуються втрати металу в окалину. Ливарно-прокатні агрегати широко використовують в кольоровій металургії, де працюють багато агрегатів для виробництва сортового і листового прокату з алюмінію, міді, цинку і інших легкоплавких металів і при виробництві сталевого прокату. Основним недоліком МНЛЗ є те, що швидкість виходу заготовки з МНЛЗ значно нижча зазвичай існуючих швидкостей прокатки.

У ряді країн (США, Німеччина, Австрія) введені в експлуатацію заготовочні ливарно-прокатні агрегати, які відрізняються тим, що литвом формується заготовка відносно великих розмірів (наприклад, 180x180мм), а потім, відразу ж після завершення кристалізації, заготовку деформують в заготовку меншого перерізу (наприклад, 100x100мм). Кожен ривчак машини має окрему прокатну групу, що складається у більшості випадків з

горизонтальних і вертикальних клітей, що чергуються.

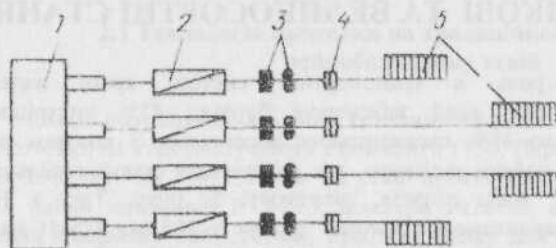
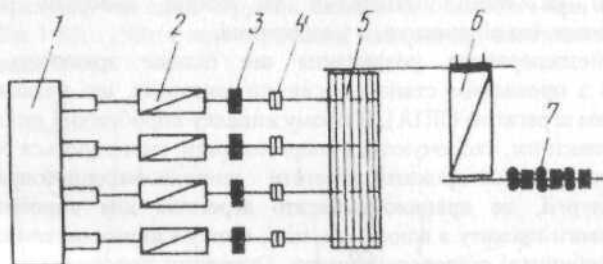


Рисунок 1.28-
Схема розташування обладнання заготовочного ливарно-прокатного агрегату: 1- чотирьох-

ривчакова МНЛЗ; 2 - підігрівальні прохідні печі; 3 - прокатні клітей з горизонтальними і вертикальними валками; 4 - ножиці; 5 - холодильники

Схеми таких агрегатів показані на рис.1.28, 1.29. Аналогічні агрегати застосовують при відливанні плоских штаб, що розширює сортамент слябів, які випускаються. Продуктивність сучасних швидкісних прокатних станів, особливо неперервних, велика; вона набагато вище продуктивності одного рівчака МНЛЗ. Тому виникає проблема повного завантаження прокатного стану. Застосовують два варіанти рішення цієї задачі:

1. Заготовки з декількох рівчаків МНЛЗ ріжуться на частини, які по черзі поступають в прокатний стан. Для вирівнювання температури перед прокаткою заготовки проходять через печі (рис.1.28), що підігрівають. При такій схемі продуктивність прокатного стану дорівнюватиме сумарній продуктивності усіх рівчаків МНЛЗ.



5 - шлепери; 6 - нагрівальна піч; 7 - неперервна група клітей

Рисунок 1.29-
Схема поєднання чотирьохрівчкової МНЛЗ з прокатним станом: 1 - МНЛЗ; 2 - прохідні печі, що підігрівають; 3 - обтискні прокатні кліті; 4 - ножиці;

2. У лінії однорівчкової МНЛЗ встановлюється прокатний стан (чи кувальна машина) такої конструкції, яка дозволяє в одній кліті здійснити дуже велике обтиснення, забезпечуючи коефіцієнт витягання 40...60 і більше. В цьому випадку при малій швидкості входу безперивнолітої заготовки в стан буде досягнута відносно велика швидкість на виході. В якості такого стану може бути використаний планетарний стан.

2 РЕЙКОБАЛКОВІ ТА ВЕЛИКОСОРТНІ СТАНИ

Найважливіша роль в транспортній системі країн належить залізничному транспорту, який забезпечує близько 45% внутрішнього вантажообігу і близько 35% пасажирських перевезень. З кожним роком зростає інтенсивність роботи залізниць, що досягається шляхом збільшення осьових навантажень, маси потягів, швидкості їх руху. Так, з 1950г. максимальні осьові навантаження вагонів зросли з 205 до 275кН на вісь [5,14,30]. Це в першу чергу позначається на довговічності служби рейок.

Тривалість служби рейок залежить від навантаження на вісь вагонів і локомотивів, план і профіль шляху, швидкість руху, жорсткість підрейкової основи, кліматичні умови, якість шляху. Якщо рейка має які дефекти, то розвиток дефектів в рейках прискорюється при збільшенні осьового навантаження і швидкості руху потягів. Встановлено, що при збільшенні

середньої швидкості з 45км/ч до 75км/ч за інших рівних умов питома поодиноке вилучення рейок по усіх дефектах зростає в 2,4 разу [30]. На кривих ділянках шляху вплив швидкості на термін служби рейок зростає ще більше. При збільшенні вантажонапруженості від 25 до 80 млн.т.км брутто в рік на 1км шляху поодиноке вилучення рейок підвищується в 1,3...1,7 разу.

Інтенсивність утворення дефектів багато в чому пов'язана з жорсткістю підрейкової основи. Статистика показує, що на шляху із залізобетонними шпалами і типовою конструкцією проміжних скріплень питома вилучення рейок в порівнянних умовах в 1,5...2 разу вище, ніж на дерев'яних шпалах, а інтенсивність поразки рейок дефектами з переходом на залізобетонні шпали зростає в 2...3 разу. Пониження температури експлуатації призводить до змерзання підрейкової основи і різкого збільшення жорсткості шляху.

Зниження відмов рейок забезпечується підвищенням якості у напрямі збільшення їх міцності і службових властивостей за рахунок збільшення маси 1м рейок, вмісту вуглецю, впровадження зміцнюючої обробки і безстикової конструкції шляху. Збільшення маси 1м довжини рейки знижує величини внутрішнього напруження і вихід рейки з ладу. Збільшення протяжності безстикового шляху забезпечило зниження динамічної дії на рейки. Підвищення вмісту вуглецю і межі міцності підвищило зносостійкість рейок, зменшило зняття і хвилеподібну деформацію голівки рейки [30].

Основним напрямком розвитку прокатки рейок є поліпшення їх якості за рахунок удосконалення технології переділів (виплавка сталі, нагрів, прокатка, термообробка, правка, оброблення). Прокатка високоякісних рейок передбачає точне виконання профілю, дотримання заданих розмірів і допусків на них, забезпечення необхідних міцних властивостей, отримання якісної поверхні..

Для виробництва рейок нині використовують стани наступних типів :

- традиційні лінійні;
- традиційні лінійні вдосконаленій конструкції;
- стани з послідовним розташуванням клітей.

2.1 Технологія прокатки на традиційному (лінійному) рейкобалковому стані

Схема розташування одного із станів показана на рис.2.1 (м.Маріуполь). Заготовки на стан поступають з блюмінга 1150. Переріз початкової заготовки від 250х320 і до 330...500мм. На стані прокатують двотаврові балки №№22-60, рейки залізничні Р43-Р75, швелери №20-30, сталь круглу 90...180мм, сталь квадратну 106...200мм, хребтову балку для вагонів, шпунтові палі башмачну сталь і інші профілі. Заготовки нагрівають в трьох методичних печах завдовжки 30м і шириною 7м, розташованих перед обтискнуою кліттю 1. Продуктивність кожної печі при гарячому посаді (при температурі (800⁰С) 130т/ч, а при холодному - 90т/ч

Таблиця 2.1- Характеристика робочих клітей

№ клітей	Назва клітей	Тип станини	Тип клітей	Діаметр довжина валків мм	Привід	
					Потужність кВт	Число оборотів валків об/хв
1	Обтискна	Закритий	Двохвалкова реверсивна	900-950	6400	0-60-120
				2350		
2	Чорнова	Відкритий	Трьохвалкова	800-850	4560	0-70-140
				1900		
3	Передчистова	Теж	Теж	800-850	4560	0-70-140
				1900		
4	Чистова	Теж	Двохвалкова або універсальна	800-850	1840	0-80-160

. Блюми нагрівають до температури 1170...1200°C і передають на рейкобалковий стан, який має чотири клітей (табл.2.1).

У обтискної клітей 1 (малий блюмінг) при прокатуванні рейок виконують сім проходів, з яких три проходи в розрізних (таврових калібрах) (см.далее).

Технологія прокатки і обладнання малих блюмінгів таке ж як і для блюмінгів 1150...1300, з тією відмінністю, що параметри деталей зменшені, менше швидкість пересування натискних пристроїв (80...90мм/с), прокатують по одному розкату, а швидкість прокатки дещо більше (до 5м/с). В обтискної клітей 1 (малий блюмінг) при прокатуванні рейок виконують сім проходів, з котрих три проходи в розрізних (таврових калібрах) (див. далі).

Чистова лінія з трьох клітей має дві клітей тривалкові, валки яких працюють від одного головного приводу, і одну чистову двохвалкову клітей з окремим приводом. При прокатуванні широкополочних балок в якості чистової клітей встановлюють універсальну клітей (з приводними горизонтальними валками і холостими вертикальними валками). У кожній тривалковій клітей при прокатуванні рейок виконують по три проходи, а в чистовій клітей - один прохід. Для передачі розкату з одного горизонту в інший тривалковій клітей обладнані підйомними столами з кантувачами - маніпуляторами роликів типу, а рольганги - шлеперними пристроями для переміщення розкату від калібру до калібру і від клітей до клітей.

Перед чистовою клітей встановлені форсунки, з яких на верхню поверхню профілю подається перегріта пара для видалення окалини. Прокатані профілі ріжуть пилами на мірні шматки (рейки - 25м, інші профілі

- до 20м). На сучасних станах встановлені пили з регульованою швидкістю подання диска на рез залежно від перерізу, що змінюється, по ширині профіля.

Після прокатки і різання на три кратні відрізки рейки проходять клеймовочну машину, яка наносить на поверхню шийки (стійки) паспортні дані рейки (номер плавки, завод виробник, бригада, ознака головної частини зливка). Трьохроликівка згинальна машина з вертикальним розташуванням роликів згинає рейку опуклістю на голівку (стрілка вигину 300...350мм). Цей вигин компенсує нерівномірність охолодження рейок на холодильнику за рахунок більшої кількості теплоти в головці рейки (внаслідок більшої металоемності температура головки рейки знижується до температури зовнішнього середовища в останню чергу). Після охолодження до 400...500°C рейки піддають або уповільненому охолодженню до 120...150°C впродовж 8...12ч в коробах без опалювання або ізотермічній витримці при $t=600^{\circ}\text{C}$ впродовж 2ч в прохідних печах (без проміжного охолодження). У печі рейки розташовують упоперек руху і переміщують за допомогою ланцюгів. Мета уповільненого охолодження або ізотермічній витримці - запобігання утворенню флокенів в головці рейок (рис.2.2). Флокени є скупченнями субмікротріщин в кульовому об'ємі головки рейки і являються результатом дії скупчення газу (водню) з підвищеним тиском. При уповільненому охолодженні газ водень устигає дифундувати з головки рейки в атмосферу.

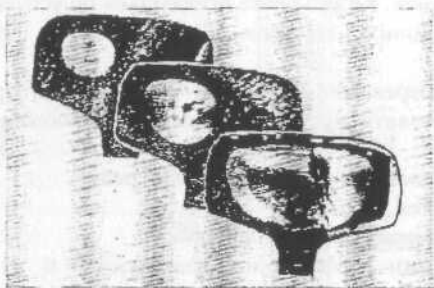
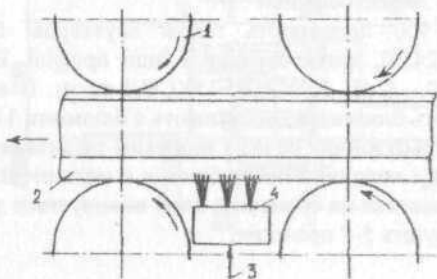


Рисунок 2.2- Флокени в головці рейки (білі плями)

Після уповільненого охолодження або ізотермічної витримки рейки нагрівають в нормалізаційних печах до температури 860...920°C і піддають загартуванню.

Рисунок 2.3- Фрагмент гартівного агрегату : 1 - дво-роликівка кліть; 2 - головка рейки; 3 - трубопровід підведення води; 4 - спреєйер



На існуючих заводах виконують об'ємне або поверхневе загартування головки рейок. При об'ємному загартуванні усю рейку головою вниз погружають в масло ($t \approx 20^{\circ}\text{C}$) і витримують декілька хвилин.

Після такого загартування і подальшого самовідпуску підвищуються показники міцності і пластичності ($\sigma_B=900\ldots950\text{Н/мм}^2$; $\sigma_T=600\ldots670\text{Н/мм}^2$; $\delta_{10}=11\ldots12\%$; $\psi=42\ldots46\%$), а твердість збільшується до 280...340НВ. .

Поверхнєве загартування головки рейок на одному із заводів виконували в гартівній машині, що складається з 24 двохролєвих клітей (рис.2.3). Рейки переміщують головою вниз і піддають душируванню по спеціальних режимах. Охолоджена таким чином головка потім отримує самовідпуск (мартенсит на сорбіт) за рахунок внутрішньої теплоти і в результаті отримують структуру сорбіту з рівноважними зернами. Після загартування з самовідпуском рейки згинають на згинальній машині опуклістю на підшву і охолоджують на стелажах до температур 50...60°C.

Твердість головки готової рейки після такого загартування в холодному стані більше 300НВ...

Захололі рейки піддають правці, потім фрезерують торці і засверлюють кріпильні отвори. Правлять рейки по висоті у восьмироліковій машині, а плиском - на штемпельних пресах. Фрезерування торців і свердління трьох отворів з кожного кінця для кріплення в дорозі виконують на дільниці рейкообробки, куди рейки потрапляють по рольгангам.

Крокуючі шлеперні пристрої з пластинчатих ланцюгів переміщують рейки кожного разу на 700мм і вони точно потрапляють на вісь фрезерного або свердлувального верстата, до якого його подає гідравлічний штовхач, розташований з протилежного кінця рейки.

По рольгангу рейки переміщують до оглядових стелажів, на які їх передають електромагнітами кранів. Кожна рейка оглядається по усіх поверхнях для встановлення зовнішніх дефектів. До основних дефектів відносяться.

- Тріщини і волосовини (переважно в головці і в середині третини ширини підшви); їх можна виявити неозброєним оком і пробним вирубанням зубилом.
- Плівки, що виявляються головним чином на підшві рейки.
- Неправильний профіль рейки.
- Косі рейки, що мають кривизну по гвинтовій лінії.

Деякі рейки з невеликими дефектами зараховують в II сорт («заводський»), а інші - на переплавку. На сучасних виробництвах контроль якості рейок виконують методом дефектоскопії.

На рейкобалковом стані 900 прокатують також двутаврові балки №24,30,36,45,50,55, швелери №24,30, шпунтові палі і інші профілі. Балки прокатують із сталей марок Ст0 - Ст5, 10ХСНД, 15ХСНД та ін. В якості початкової заготовки застосовують блюми, що поступають з блюмінга 1170.

Блюми нагрівають в трьох трьохзонних печах з торцевим завнтаженням і видачею. Застосовують гарячий і холодний посад блюмів в методичні печі. Залежно від розміру профілю прокатка на обтискній клітї виконється за 5-9 проходів, на чистовій лінії виконують 5-7 проходів.

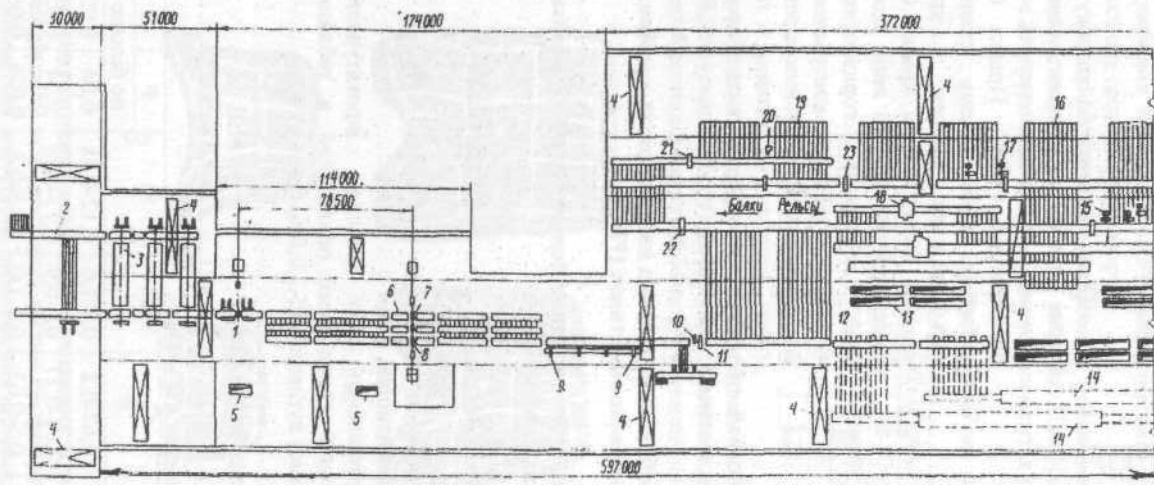


Рис.2.1. План розташування устаткування рейкобалкового стану 950/800: 1 - чорнова двохвалкова кліть 950; 2 - завантажувальні ґрати для блювів і рольганг; 3 - нагрівальні печі; 4 - мостові крани; 5 - яма для збору і вивантаження окалини; 6 - столи підйомні; 7 - дві тривалкові кліті 850; 8 - чистова двохвалкова кліть 850; 9 - дискові пили; 10 - штемпельна (клејмовочна) машина; 11 - згинальна машина; 12 - шлейперні холодильники; 13 - колодязі уповільненого охолодження рейок; 14 - нормалізаційні печі з гартівними агрегатами; 15,17 - фрезерні і свердлувальні верстати; 16 - потокові лінії для обробки рейок; 18 - правильні машини для рейок; 19 - інспекторські стелажі; 20 - дискова пила тертя; 21 - правильний прес; 22 - правильна машина для балок; 23 - ножиці

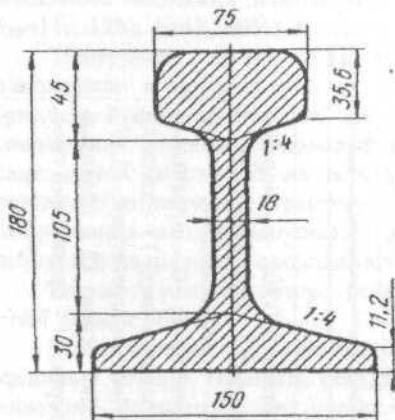


Рисунок 2.4- Профіль залізничної рейки Р-65

Після прокатки балки ріжуть на мірні шматки пилами гарячого різання і охолоджують до температури $t \approx 50^\circ\text{C}$. Правка балок робиться в холодному стані на вісьміролікової машині з кроком роликів 800мм. Після правки балки передають на обробні лінії, кожна з яких обладнана горизонтальним правильним пресом з кантувачем для доправки балок і різальним агрегатом (пила холодного різання, пресножиці). Готова продукція оглядається на стелажах, сортується, збирається в пакети і відвантажується споживачеві.

2.2 Особливості калібрування рейок в двохвалкових калібрах на традиційних рейкобалкових станах (РБС)

На рейкобалкових станах прокатують в основному рейки і балки, але можлива прокатка і інших профілів:

рейки залізничні масою, кг/м	43-75
балки двотаврові заввишки, мм	200-600
швелери заввишки, мм	200-450
кругла і квадратна сталь розмірів, мм	100-200
трамвайні рейки «фенікс» заввишки, мм	210

Рейки прокатують з мартенівської сталі (раніше прокатували і з бесемерівської сталі), хімічний склад яких приведений в таблицю.2.2. Рейкова сталь має великий вміст вуглецю (0,5...0,8%).

Таблиця 2.2- Хімічний склад рейкової сталі

Сталь	Марка	Зміст, %				
		C	Mn	Si	P	S
Мартенівська	M-75	0,67-0,8	0,7-1,0	0,12-0,28	0,04	0,05
Те ж	M-71	0,64-0,77	0,6-0,9	0,13-0,28	0,04	0,05
Бесемерівська	Б-61	0,5-0,63	0,6-1,0	0,15-0,3	0,076	0,06

Можливе виробництво рейок із заевтектоїдної сталі (вміст вуглецю 0,8...0,98%) і із застосуванням додаткового легування з метою підвищення їх службових властивостей. У бесемерівській сталі підвищений вміст сірки і фосфору (особливо фосфору).

З цієї причини бесемерівські рейки мають холодноламкість і їх не використовують в північних районах. Профіль рейки типу Р-65 показано на рис.2.4, а розподіл об'єму металу в елементах рейок приведено в таблицю.2.3.

Таблиця 2.3-Розподіл об'єму металу в рейки

Елемент профілю	Об'єм елемента рейки,%			
	Р-43	Р-50	Р-65	Р-75
Головка	42,93	38,68	34,5	36,4
Шийка	21,31	23,8	28,3	28,9
Підшва	35,9	37,6	37,2	36,7

Як виходе з табл...2.3, в рейках Р-65 і Р-75 збільшений об'єм металу в шийці (28,9% усього об'єму) за рахунок зниження долі об'єму в головки і підшві. Такий розподіл металу забезпечує підвищення міцності рейки в дорозі.

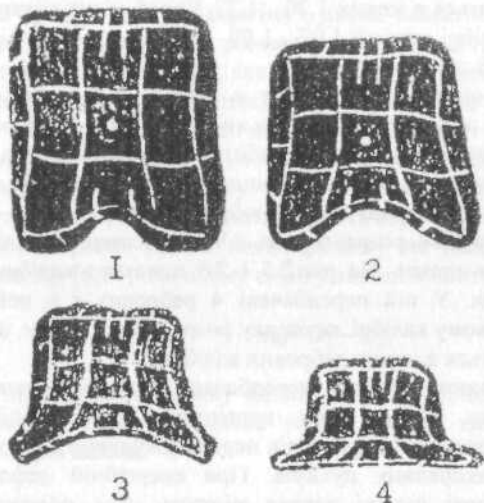


Рисунок2.5-Деформація металу в різних калібрах; 1-4 номери калібрів

Рейка належить до числа несиметричних профілів і характеризується неоднаковим розподілом металу між окремими його частинами, внаслідок чого неможливо досягти однакового обтиснення усіх частин профілю при будь-якій системі калібрування. Найбільше обтиснення отримує шийка, а обтиснення головки і підшви слабкіше. Із-за матеріальної зв'язаності усіх частин профілю при неоднаковому їх обтисненні відбувається вимушене подовження ділянок, що менш деформують і що супроводжується утворенням внутрішніх напружень. Останньому сприяють ще такі чинники, як прокатка з більшою швидкістю ділянок, що більше

обтиснюються, (відповідно до різниці в діаметрах валків); інтенсивніше охолодження фланців підшви через те, що розміри їх менше і вони утворюються раніше при вимушеному розширенні в перших пропусках.

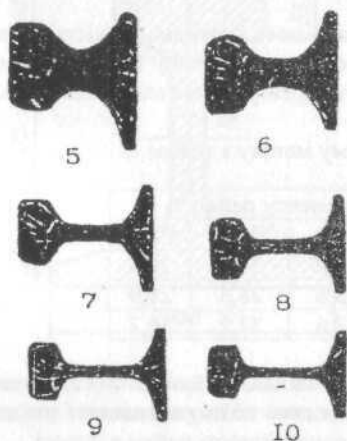


Рис.2.6.Деформація металу в рейкових калібрах; 5-10 номери калібрів

Існує декілька систем традиційних калібрувань валків для прокатки рейок, але усі вони мають загальні характерні особливості.

1. Усі калібри за формою розділяються на дві основні категорії: реброві і пластові, або рейкові. Спочатку розташовують реброві калібри, потім рейкові (рис.2.5, 2.6).

2.Для усіх калібрів характерні два коефіцієнта: середній коефіцієнт витягання за усе пропуски, який у

більшості випадків знаходиться в межах 1,20...1,22, і коефіцієнт витягання в останньому, чистовому калібрі, рівний 1,07...1,09. Максимальні коефіцієнти витягання складають $\mu=1,35...1,4$.

Перший коефіцієнт оцінює калібрування в цілому; його збільшення негативно позначається на якості рейок, оскільки призводить до зростання внутрішніх напружень. Другий коефіцієнт забезпечує зниження не лише рівня внутрішніх напружень, але і міру зносу чистових калібрів. Чим менше цей коефіцієнт, тим більше сприятливі умови роботи валків.

Велику частину калібрувань розраховують з 9-10 фасонними калібрами (залежно від розташування стана). На рис.2.5 і 2.6 показано калібрування валків для прокатки рейок. У ній передбачені 4 ребрових і 6 рейкових калібрів. У першому ребровому калібрі заготовку розрізують клином, а потім фланці підшви розгортаються в інших ребрових калібрах.

Цей метод калібрування рейок передбачає усунення недоліків, пов'язаних із структурою металу при первинній кристалізації, що виражається в розвитку стовпчастих кристалів перпендикулярно до поверхні зливка і в утворенні підкоркових пухирів. При енергійній деформації стовпчасти кристали і газові пухирі зливка міняють своє положення і розташовуються паралельно площини підшви.

На рис.2.7; 2.8 показані монтажні схеми розташування калібрів на валках в двохвалковій обтискній кліті (а), в першій і другій чорнових клітках тріо 800 (б, в) і чистовій двохвалковій кліті 800 (г). Аналіз монтажних схем показує наступне. У обтискній кліті (а) врізані ящичні калібри, які обтискають блям 320x320мм за два проходи в першому ящичному калібрі з

обтисненням 20 і 55мм і за чотири проходи після кантування на 90° в другому калібрі з обтисненням 50мм. Останній прохід в цій кліті виконують в розрізному калібрі I з обтисненням по осі гребеня 90мм. Потім розкат поступає в першу чорнову кліть (б) (рис.2.7), де здійснюють прокатку в таврових калібрах II і III і у фасонних рейкових калібрах 4 і 5. Причому в калібрі 4 після кантування розкату робиться розрізання його з метою утворення шийки рейки (рис.2.7, б).

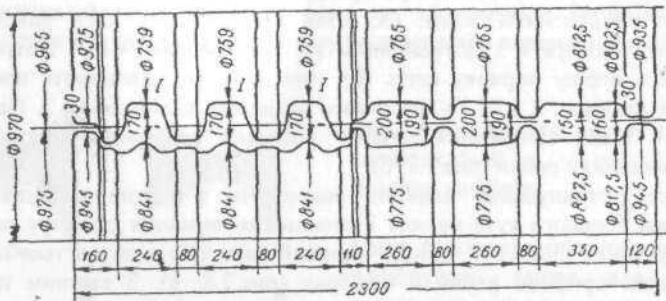
Косе розташування калібрів виконують з метою надання бічним поверхням більшого кута нахилу і зменшення знімання діаметру валка при переточуваннях [30,31]. У другій чорновій кліті тріо відбувається подальше формування профілю рейки в калібрах (рис.2.8, в). З кожним проходом відбувається зменшення розмірів елементів і наближення профілю до готової (чистовий) форми рейки. У чистовій двохвалковій кліті виконують один прохід.

У цій кліті (рис.2.8, г) застосовують два чистові калібри з метою скорочення перевалок і зменшена довжин бочки валка, що підвищує точність висотних розмірів профілю рейки. В усіх рейкових калібрах підшова і головка деформується в закритих і відкритих рівчаках калібру. Так, в калібрі 4 (б) нижня частина підшови і верхня частина головки прокатуються в закритих рівчаках, а протилежні - у відкритих. У закритих рівчаках елементи профілю прокатуються одним валком і проміжок між валками розташований поза профілем, а у відкритих - двома валками. Умови деформації металу в закритих і відкритих рівчаках різні [3,14,30,31]. При цьому, наприклад, частина підшови рейки, яка обробляється у відкритому рівчаку збільшується по висоті, а висота протилежної частини (у закритому рівчаку) зменшується..

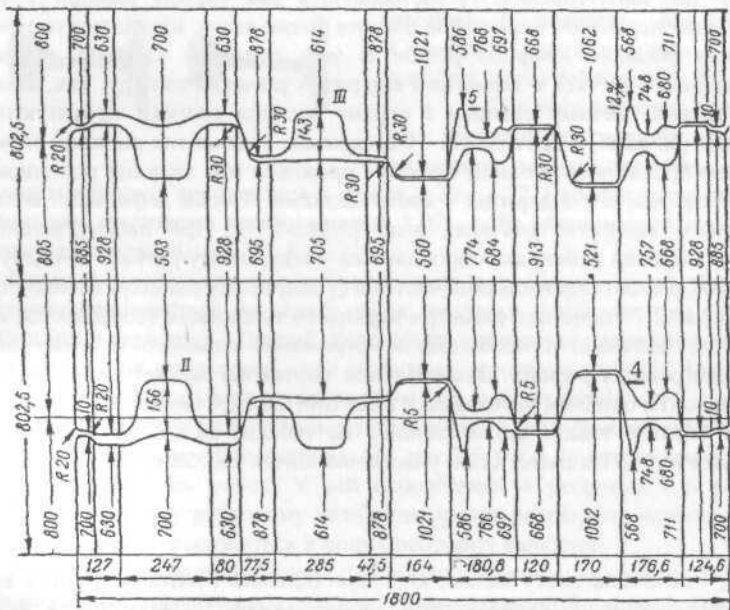
З рис.2.7 видно, що діаметри верхнього і нижнього (середнього) валків різні, що пов'язано з необхідністю отримання заданого напрямку вигину переднього кінця розкату. Зазвичай при сортовому прокатуванні (чорнові і чистова кліті) більшим виготовляють верхній валок, створюючи, таким чином верхній тиск і вигин розкату на нижній валок, де встановлюють проводки [6,14]. На цьому стані у вказаних клітях застосовують $m_B=5...10\text{мм}$

$$m_B = D_1 - D_2,$$

де m_B - величина тиску валків; D_1 і D_2 - більший і менший діаметр валків. Стосовно сортового стану термін «тиск» вказує на відмінність величин діаметрів валків.



a



b

Рисунок 2.7- Калібрування валків для прокатки рейок Р-65 на лінійному стані традиційного типу : а - обтискана кліть 900; б - перша кліть трио 800

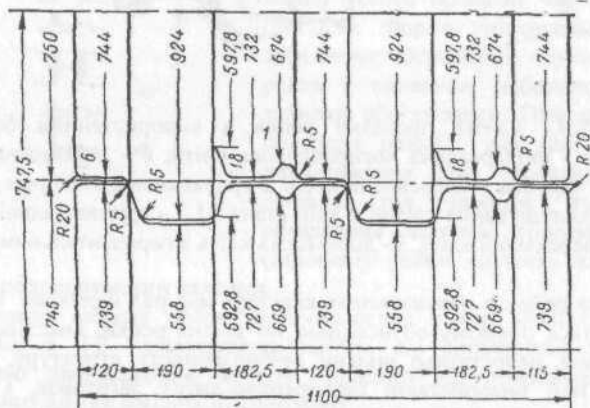
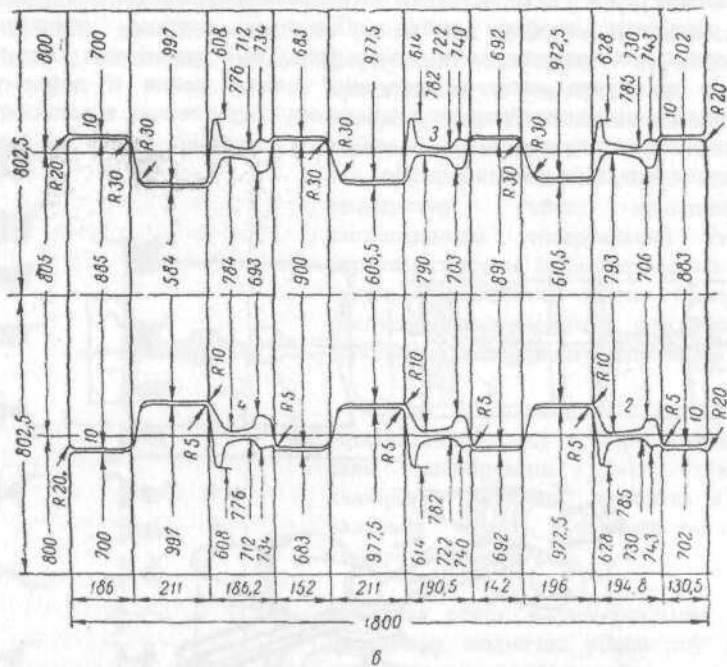


Рисунок 2.8- Продовження: в - друга кліть трію 800; г - чистова кліть дуо

2.3 Нові технології виробництва рейок

У 1963-1965г.г. у Франції розроблений і запатентований спосіб плющення рейок з використанням чотиривалкових калібрів. За цим способом усі елементи профілю рейки піддаються прямому обтисканню в універсальних чотиривалкових клітках (рис.2.9) і допоміжних клітках [33]. З метою зміцнення катаючої поверхні голівки рейки її деформують з максимальним охопленням по зовнішньому закругленню, а останній прохід виконують в тривалковому калібрі. У чистовій клітці на валяннях виготовляють один запасний калібр.

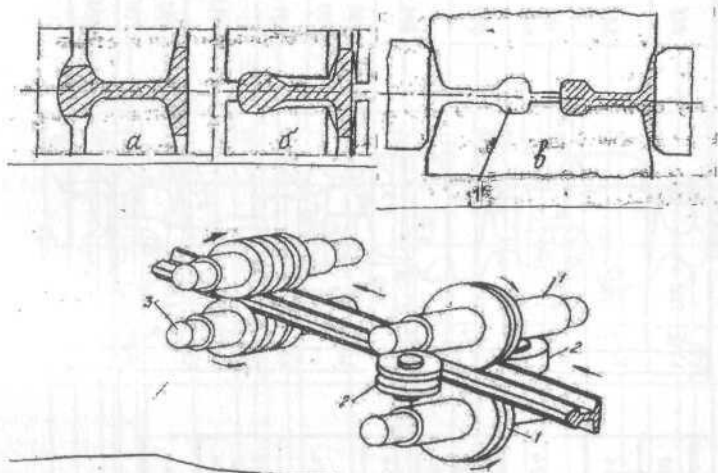


Рисунок 2.9.- Схема прокатки рейок з використанням багатовалкових калібрів: а - універсальна чотиривалкова кліть; б - допоміжна двохвалкова кліть; в - чистова універсальна кліть з тривалковим калібром (1 - запасний калібр). Розташування клітей в лінії стана : 1,2 - горизонтальні і вертикальні валки універсальної кліті; 3 - допоміжна кліть з горизонтальними валяннями

Прокатка рейок в двохвалкових калібрах має ряд недоліків. Головка рейок не піддається прямому обтисненню по висоті рейки, внаслідок чого метал головки має недостатньо щільну дрібнозернисту структуру, що особливо важливо при використанні безперервно-литих заготовок, і має знижені механічні властивості в порівнянні з рейками, прокатаними в універсальних калібрах. Точність виконання форми поверхні кочення по головці рейки при прокатуванні в останній чистовій двохвалковій клітці обумовлена величиною розширення, яка визначається постійною зміною технологічних чинників (температура металу, швидкість прокатки, міра зносу калібру, твердість

валків і тому подібне). При прокатуванні в двохвалкових клітках на поверхні головки рейки мають місце нерівності і хвилястість, що є однією з причин хвилеподібного зносу рейки.

Рівність витягань елементів рейки при прокатки в універсальних калібрах є основною умовою формування необхідного профілю. При прокатуванні в універсальних калібрах переріз рейки залишається симетричним відносно горизонтальній осі; головка і підшва рейки мають майже однакову температуру. Рейки, прокатані із застосуванням універсальних калібрів, характеризуються дрібнозернистою структурою, поліпшеною якістю поверхні і високими механічними властивостями, особливо в поперечному напрямі [30].

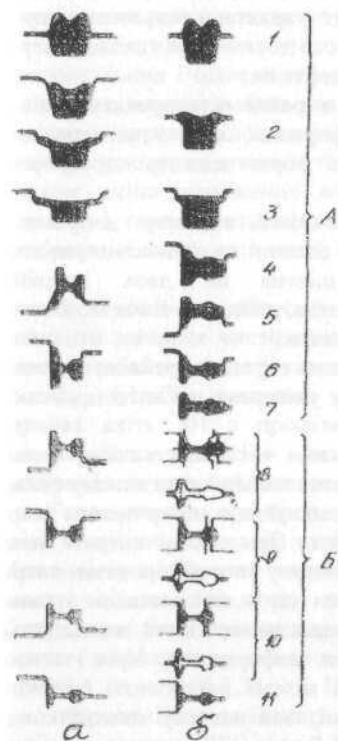


Рисунок 2.10-Порівняння двохвалковий (традиційний) (а) і універсальний (б) схем калібрувань (1-11 - номери калібрів): А-чорнова прокатка в двохвалкових клітках; Б-чистова прокатка в універсальних клітках

Прокатка рейок в універсальних клітках передбачає водночас рівномірну деформацію усього профілю чотирма валками (рис.2.9). Форма універсальних калібрів забезпечує збереження опуклості головки рейки і виключає небезпеку утворення задирки або складки. При цьому ходова поверхня рейки, яка має максимальне навантаження при експлуатації, обробляється під прямим тиском. Для обмеження ширини головки і основи (підшви) рейки служить кліть з горизонтально розташованими валками.

Прокатка важких рейок за технологією фірми SACILOR, Франція, здійснюється в 2-3 універсальних клітках, які встановлені за чорного реверсивною двохвалковою кліткою. Залежно від призначення стана в універсальних клітках роблять 4-5 проходів.

Для виробництва рейок за традиційною технологією використовують реверсивні двох- чи тривалкові кліті. При цьому для отримання необхідного профілю вимагається виконати 9-12 профілюючих проходів. На рис.2.10 приведено порівняння двох схем калібрування валків для прокатки рейок за традиційною технологією і із застосуванням універсальних клітей.

Процес прокатки за традиційною технологією протікає несиметрично і характеризується більш високими втратами на тертя, чим при прокатуванні в універсальних клітях.

Порівняння двох способів прокатки рейок виявляє якісні і економічні переваги виробництва в універсальних калібрах, основні з яких розглянуті нижче :

- поліпшення якості поверхні. Завдяки наявності переважно тертя кочення, деформація в універсальних клітях характеризується зменшеним тертям між рейкою і валком. В результаті цього досягається гладка поверхня рейки, що полегшує виявлення поверхневих дефектів;

- зниження напруження, що виникає в рейці при прокатуванні. Це досягається в результаті симетричної деформації за 4-5 універсальних проходів, а також за рахунок компактнішої форми підкату, що скорочує теплові втрати до мінімуму;

- можливість точнішого регулювання клітей відносно допусків на профіль рейки. На допуски впливають тільки останні профілюючі проходи. В універсальних калібрах деформація розділена по двох напрямках: горизонтальному і вертикальному. Таким чином, забезпечується можливість роздільного регулювання валків по двох напрямках;

- різке зниження витрат на валки. Зниження тертя між рейкою і валками, а також спрощення форми калібрів на валках універсальної кліті привели до істотного зниження витрат на валки.

За даними фірми SACILOR, термін служби чистового калібру складає 2000...4500т залежно від типу профілю. Витрата валків в середньому складає 1,4кг/т прокату. Застосування валків зі зносостійким поверхневим шаром дозволяє понизити витрату валків до 1,1кг/т. При цьому витрата валків чорнових клітей складає 0,7кг/т. При традиційному способі прокатки витрата валків досягає 3,0кг/т. В результаті зниження тертя між металом і валком необхідна потужність приводу валків універсальних клітей зменшується. Відповідно зменшується витрата енергії на деформацію. Крім того, на рейковому стані з універсальними клітями можна встановити потужніші приводи валків, чим на аналогічному стані, оснащеному двохвалковими клітями.

Схема калібрування валків з використанням типового рейкового стану, призначеного для прокатки рейок з безперервно-ливої заготовки приведена на рис.2.11 [30,35]. Заготовка проходить через чорнову кліть BD за сім проходів в шести калібрах (№1-6). У другій чорновій кліті R метал прокатується за три проходи в трьох калібрах (№7-9), останній з яких є таким, що профілює. Усі калібри від першої універсальної кліті до кліті В, що обтиснює підшву рейки, симетричні відносно центральній осі шийки. Це пояснює необхідність використання профілюючого калібру №9 в кліті R

В універсальній кліті U1 і кліті E з горизонтальними валками виконують реверсивне прокатування за три проходи в трьох калібрах (№10-12), два з яких (№11 і 12) утворені валками кліті E. Послідовність проходження металу в калібрах наступна: №10 -№11 -№11 -№10-10 -№12. Форма калібру №11

відповідає поперечному перерізу розкату, що отримується в калібрі №10, а форма калібру №12 відповідає поперечному перерізу розкату, що отримується після третього проходу в калібрі №10. Кліть Е оснащена пристроєм для швидкої зміни калібрів (установка калібрів №11 або 12 в робоче положення).

У другій універсальній кліті U2 і кліті Н (прокатка підшви) здійснюється безперервний процес прокатки. Вертикальні валки кліті U2 з боку головки рейки контактує з горизонтальними валками, що є необхідним для завдання товщини і висоти головки рейки. Кліть Н має три валки (два горизонтальних і один вертикальний розташований з боку головки. Зміною положення вертикального валка досягається точне регулювання товщини головки і ширини підшви рейки. У чистовій кліті В прокатка підшви, точне регулювання ширини головки, товщини шийки і підшви виконують шляхом зміни положення вертикального валка, розташованого з боку підшви і горизонтальних валків. Розподіл коефіцієнтів витягання μ в калібрах цієї схеми наступний: R -1,08; U1-1,25; E-1,02; U2-1,15; H-1,03; Y-1,07.

У Японії розроблений спосіб прокатки (рис.2.12), який дозволяє зменшити загальне число проходів і число клітей, зберігши при цьому усі умови, необхідні для прокатки високоякісних рейок. Для здійснення цього способу потрібне наступне устаткування: чорнова обтискна кліть ВD, чорнова кліть SH з профілюючим калібром для формування головки, універсальна кліть U1 і кліть В прокатки підшви. Число проходів по калібрах і клітях приведені нижче.

Таким чином, при прокатуванні рейок використовують тільки чотири кліті з меншим числом калібрів, чим в інших схемах прокатування. Можливість зменшення числа клітей і калібрів пов'язана з удосконаленням конструкції калібрів, що забезпечують велике витягання за прохід. Коефіцієнти витягання по клітях запропонованої схеми прокатки приведені нижче (в чисельнику-номер кліті, в знаменнику- номер калібру):

SH/8-1,10; U₁/9-1,33; U₂/9-1,21; SH/10-1,03; B/9-1,09;

Фірма «Шлеман-Зимаг» (Німеччина) побудувала у Бразилії великий напівнеперервний РБС (рис.2.13,табл.2.4) продуктивністю 1 млн.т в рік, на якому доля прокату рейок складає більше 50%. У сортамент стана входять: рейки масою на 1м погонної довжини 57,68кг, 75кг (підкранові рейки), широко-полічні балки заввишки 160...600мм, швелери заввишки 200...400мм, нерівнобічні куточки 200x90...500x12, шпунтові і зетобразні профілі заввишки до 500мм.

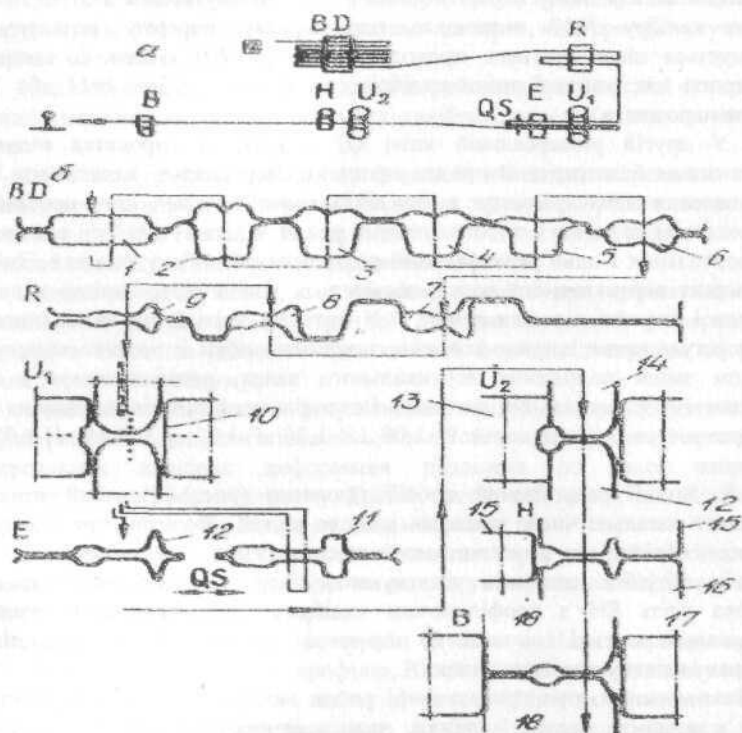


Рисунок 2.11- Схема розташування клітей (а) і калібрування валків (б) для прокатування рейок з використанням універсальних клітей (1-18 - номери калібрів, OS - контроль якості) (патент Японії)

Заготовка після нагріву (підігрівання) в печах 1 поступають в обтискуву кліть 2 і реверсивну двохвалкову кліть 3, де використовують звичайне калібрування фланцевих профілів. Потім розкат подається в першу неперервно-реверсивну універсальну групу клітей 4 і 5. Після прокатування в другій неперервно-реверсивній групі 6 і 7 остаточні розміри профілю формуються в універсальній чистовій кліті 8. Готовий профіль рейок поступає на холодильник 9 і потім проходить правку, термічну обробку, механічну обробку, дефектоскопію і випробування подібно до цієї технології, яка застосовується на стані РБС по рис.2.1.

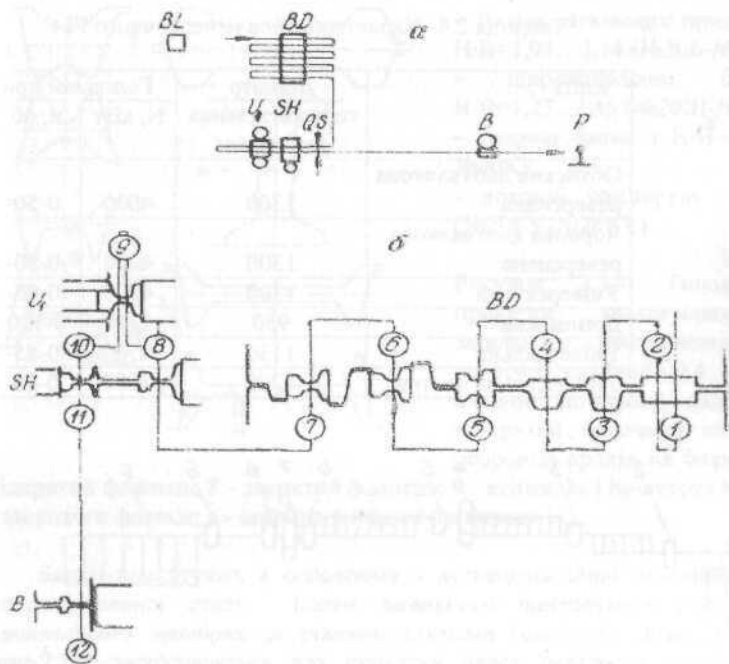


Рисунок 2.12- Схема розташування клітей (а) і калібрування валків (б) для прокатки рейок за новим способом, який розроблено в Японії (див. табл..)

Номер калібру (кліть)	Число проходів	Номер калібру (кліть)	Число проходів
1(BD)	2	6(BD)	1
2(BD)	1	7(SH)	1
3(BD)	1	8(U1)	2
4(BD)	1	9(SH)	1
5(BD)	1	10(B)	1

Таблиця 2.4- Характеристика неперервного РБС

Кліті	Діаметр горизонтальних валків, мм	Головний привід	
		N, кВт	n, об/мін
Обтискна двохвалкова реверсивна	1300	4000	0-50-100
Чорнова двохвалкова реверсивна	1300	4000	0-50-100
Універсальна	1300	4500	0-85-180
Допоміжна	950	1150	0-120-320
Універсальна	1130	4500	0-85-180
Універсальна чистова	1200	2000	0-80-190

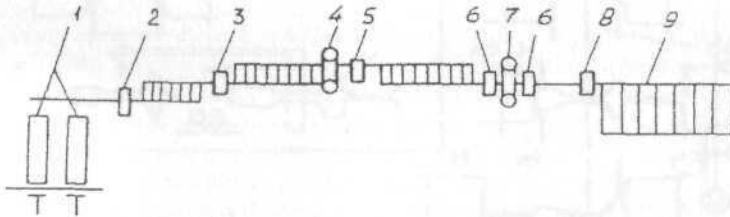
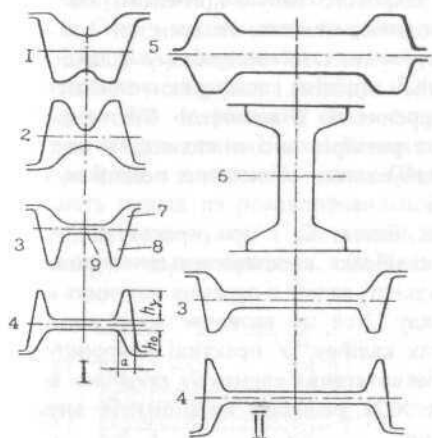


Рисунок 2.13- Схема розташування устаткування рейкобалкового стана на заводі у Бразилії

Тривала експлуатація цього універсального рейкобалкового стана показує, що він має годинну продуктивність в 1,8 разу і коефіцієнт використання на 10% вищий, а питома витрата валків на 25% менша, ніж на відповідних станах лінійного типу по рис.2.1.

2.4 Прокатка і калібрування двотаврових балок на станах різного типу

На рис.1.2 представлені профілі двотаврових балок загального призначення і широкополочні. Двотаврові балки загального призначення, в порівнянні з широкополочними, мають більше відношення H/B і наявність нахилу внутрішніх поверхонь полиць до 12% (B - ширина полиць; H - висота балки). У сортаменті двотаврових балок загального призначення є 23 профілерозміру від №10 ($H=100\text{мм}$) до №60 ($H=600\text{мм}$) з відношенням $H/B=1,8...3,15$ [14]. Двотаврові балки розділяють на 4 типи:



- балки загального призначення з $H/B=1,95...3,14$ (№20Б-№60Б);
- широкополочні балки з $H/B=1,27...2,46$ (№20Ш-№100Ш2);
- колонні балки з $H/B \approx$ (№20К-№40К);
- колонні розширені з $H/B=0,7$ (№20КУ-№26КУ).

Рисунок 2.14- Типові схеми прокатки двотаврових балок загального призначення: 1,2 - розрізні калібри; 3,4 - закриті балочні (пластові) калібри; 5 - відкритий балочний калібр; 6 - ребровий прохід на блюмінгу; 7 -

відкритий фланець; 8 - закритий фланець; 9 - стінка; h_0 і h_3 - висота відкритого і закритого фланця; а - ширина фланця біля основи

Балки прокатують в основному з вуглецевої сталі звичайної якості і низьколегованої сталі. Балки загального призначення прокатують в двохвалкових калібрах за різними схемами (рис.2.14). Зазвичай схема I (рис.2.14) застосовується для прокатки балок невеликої висоти №10-30 (висота $H=100...300$ мм). За схемою II роблять прокатку двотаврових балок №30-60. Перші проходи виконують на блюмінгу у відкритих калібрах (проходи пластові) і на гладкій бочці реброві проходи. На блюмінгу виконують два реброві проходи з метою отримання необхідної ширини профілю, який потім передають на рейкобалковий стан для прокатки в закритих балочних калібрах [5,14].

Діаметри валків і число проходів при прокатуванні двотаврових балок вибирають по рекомендаціях О.П. Чекмарьова :

Номер профілю	10	18	27	50
Число проходів в фасонних калібрах	5-7	6-8	7-10	10-14
Діаметр валків, мм	350-400	600-650	800-950	900-950

Мінімальне число проходів рекомендується за найбільш сприятливих умов прокатки (достатня потужність двигуна, висока температура металу, хороша його якість і тому подібне), а максимальне - за інших умов.

Балкові калібри виготовляють закритого типу і при цьому положення відкритого і закритого фланців періодично міняють місцями, що пов'язано з різними умовами деформації металу у них. У відкритому фланці метал деформується двома валками (верхнім і нижнім) і тому разом з обтисненням по ширині Δh полиці існує і розширення по її висоті Δb . Таким чином, в цьому випадку відбувається приріст розмірів висоти полиці. У закритому фланці при заході в нього металу відбувається обтиснення полиці по висоті, внаслідок чого розмір її зменшується.

При прокатуванні двотаврових балок, як і при прокатуванні інших фланцевих профілів, в усіх калібрах спостерігається нерівномірна деформація по ширині розкату. Швидкості валків в окремих частинах калібру різні, існує бічне обтиснення металу. Усе це визначає міру відмінності коефіцієнтів витягання по елементах калібру. У практиці використовують різні варіанти розподілу коефіцієнтів витягання елементів профілю залежно від його розмірів. Так, для балки №24 розподіл коефіцієнтів витягання вказаний в табл.2.5.

Як видно з табл.2.5, в першому розрізному калібрі спостерігається максимальна деформація стінки. Потім, в інших калібрах, коефіцієнт $\mu_{ст}$ стінки зменшується, а коефіцієнт $\mu_{оп}$ відкритої полиці, починаючи з другого калібру, виявляється більш високим, ніж по стінці. Найменші величини коефіцієнта витягання характерні для закритих полиць. Бічне обтиснення полиць зростає зі збільшенням кута внутрішніх площин фланців. Тому кут нахилу внутрішніх площин збільшують приблизно з 10...12% в передчистовому і чистовому калібрах до 30...40% в чорнових розрізних калібрах. Для забезпечення можливості переточувань і вільного виходу металу з валків зовнішні стінки калібрів виконують з нахилом. Нахил або випуск зовнішніх поверхонь приймається для чорнових калібрів 3...4°, в передчистовому-1...1,5° і в чистовому до 0,8°. Відомі конструкції балок несиметричного відносно горизонтальної осі типу, витримуючи більш високі навантаження [34,36].

Таблиця 2.5- Розподіл коефіцієнтів витягання μ_i по елементах балки №24

Елемент рейки	Значення μ_i по калібрах									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Стінка	1,48	1,45	1,43	1,4	1,33	1,23	1,16	1,13	1,085	1,06
Закрита полиця	1,035	1,065	1,065	1,062	1,035	1,03	1,01	0,98	0,95	0,94
Відкрита полиця	1,29	1,47	1,48	1,44	1,42	1,35	1,29	1,19	1,12	1,09

Нині широкополочні балки прокатують з використанням універсальних чистових клітей на традиційних лінійних рейкобалкових станах (до №60) або

на універсальних балкових станах [14,30] з послідовним розташуванням клітей. Схему такого стану показано на рис.2.15, а характеристика клітей - в табл.2.6. На універсальних станах горизонтальні валки застосовують з регульованою шириною калібру, в яких можна прокатувати балки різних розмірів без перевалки, що скорочує витрату валків і підвищує продуктивність стану. У кожній чорновій універсальній кліті виконується по 3-5 проходів, а в чистовій - один. Після прокатки і охолодження увесь метал піддають правці на роликотправильної машині і виконують різання пилами тертя на мірні куски. Остаточна правка балок №20-65 виконується на роликотправильних машинах, а балок понад №65 - на пресах.

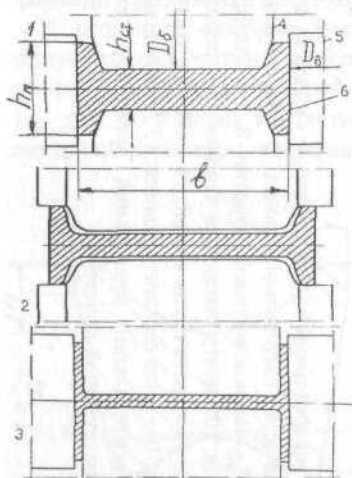


Рис.2.16. Схеми розміщення валків в клітях: 1 - чорнова універсальна кліть; 2 - допоміжна кліть; 3 - чистова універсальна кліть; 4 - горизонтальні валки; 5 - вертикальні валки; 6 - чорновий профіль двотаврової балки

Детальніше опис технологічного процесу на універсальному стані даний в роботах [3,14].

В універсальних клітях осі приводних горизонтальних і холостих вертикальних валків розташовано в одній площині і тому вони одночасно обробляють стінку і полиці балки. (рис.2.11,2.16).

Таблиця 2.6- Характеристика клітей

Кліть	Валки, мм			Двигун горизонтальних валків	
	Dг	Dв	L	N, кВт	n, об/мін
Чорнова універсальна	1350	1100	960	6400	0-70-140
Допоміжна	1210	Ні	1100	2200	0-70-140
Чистова універсальна	1130	1100	960	2200	0-70-140

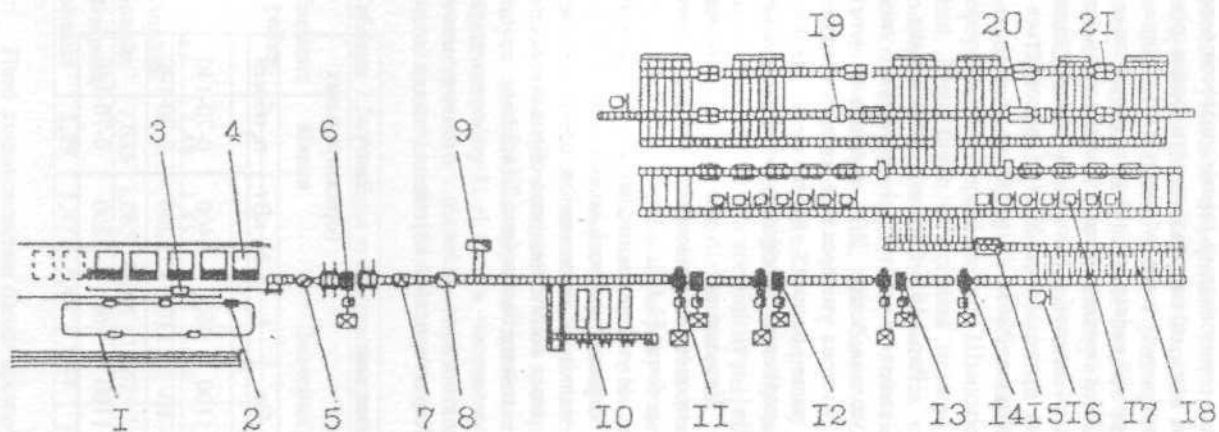


Рисунок 2.15- Універсальний балковий стан: 1 - кільцева зливкопередача; 2 - ваги; 3 - зливкоподача; 4 - нагрівальні колодязі; 5 - поворотний пристрій; 6 - обтискна кліть 1450; 7 - машина вогневої зачистки; 8 - ножиці; 9 - конвейер для прибирання обрізків; 10 - печі з шагаючим черенем; 11 - перша група клітей; 12 - друга група клітей; 13 - третя група клітей; 14 - чистова універсальна кліть; 15 - правильна машина; 16 - пила гарячого різання; 17 - пили холодного різання; 18 - стелажі; 19 - вертикальний правильний прес; 20 - горизонтальний правильний прес; 21 - пакетуючий пристрій

Чорнові універсальні кліті мають горизонтальні валки з невеликими скосами на торцевих ділянках, що забезпечує збільшення обтиснення полиць. У чистовій універсальній кліті горизонтальні валки мають однаковий діаметр по усій довжині бочки. Допоміжна кліть призначена тільки для обтиснення полиць по їх ширині, тобто калібрування балки по висоті.

2.5 Особливості деформації металу в рейкових і балкових калібрах

Деформація металу в рейкових і балкових (балочних) калібрах відрізняється значною нерівномірністю по ширині розкату внаслідок різної висоти окремих елементів заготовки і профілю. Причому умови висотної деформації в розрізних і пластових калібрах також різні.

У розрізних калібрах (рис.2.17) висотну деформацію в основному отримує середня частина профілю, з якої в майбутньому отримують стінку (калібри 1-3). А оскільки профіль має велику висоту і невелике значення $l_d/h_{cp} \ll 1$, то й вплив контактної тертя не великий. У цих калібрах (1-3) геометричні параметри можна визначити використовуючи формулу (1.26).

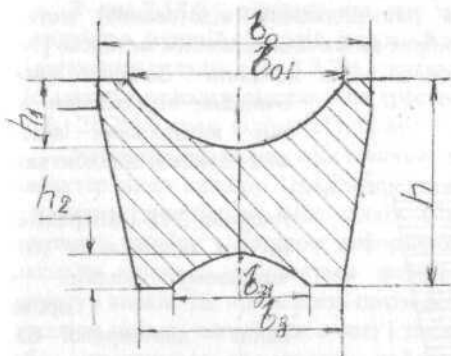


Рисунок 2.17- Скелетна схема (по конструкційних точках) розрізного балочного калібру

Для визначення середніх висот заготовки і калібру в першу чергу необхідно знати площі поперечного перерізу. Це може бути відомо з калібрування профілю. Якщо необхідні дані в таблиці калібрування відсутні, то розрахунок

вказаних параметрів і середнього обтиснення можна визначити з розмірів калібру (профілю) (рис.2.17). З прийнятною точністю площа розрізного калібру буде рівна

$$q = 0,5h \cdot b_0(1 + b_1/b_0) - 0,67 \cdot h_1 \cdot b_{01}(1 + h_2 b_{31}/h_1 \cdot b_{01}), \quad (2.1)$$

де h - висота розкату в калібрі; h_1 і h_2 - висота гребеня відповідно верхнього і нижнього валків; b_{01} і b_{31} - ширина гребеня відповідно верхнього і нижнього валків.

Заготовка для першого розрізного калібру має форму квадрата (прямокутника) і тому

$$q_0 = H \cdot B, \quad (2.2)$$

Середні висоти заготовки і калібру, а також обтиснення в розрізних калібрах відповідно до формули (1.26) рівні:

$$H_{cp} = q_0 / B; \quad h'_{cp} = q / b_0; \quad \Delta h_{cp} = H_{cp} - h'_{cp}. \quad (2.3)$$

Площа контакту розкату з валками слід розраховувати за формулою

$$F = 0,5(B_{cp} + b_{cp})\sqrt{R \cdot \Delta h_{cp}}; \quad (2.4)$$

$$B_{cp} = 0,5(B_0 + B_3); \quad b_{cp} = 0,5(b_0 + b_3),$$

де B_{cp} і b_{cp} - середня ширина відповідно заготовки і розкату в калібрі; Δh_{cp} - середнє обтиснення; R - середній катаючий радіус валків

$$R = R_6 - (h'_{cp} - S_B),$$

де R_6 - радіус валка по буртах; S_B - проміжок між валками.

Характер і величину ковзання (випередження і відставання) металу у балочних, швелерних і кутових калібрах визначали керновим методом [36].

Після прокатки профіль розрізали на мірні довжини. Захолоті профілі очищали від окалини і на них вимірювали відстані між керновими відбитками.

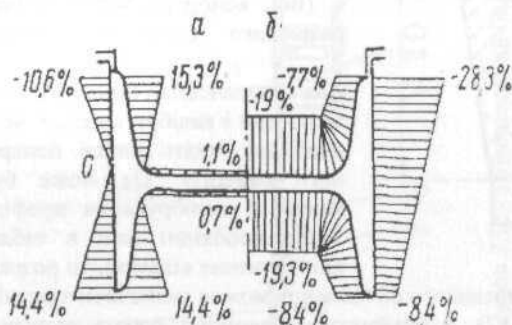


Рисунок 2.18-Випередження (а) та відставання (б) в чистовому калібрі при прокатуванні двотаврової балки №10

Ці відстані по довжині розкатів неоднакові, що пояснюється зміною температури і окалини по довжині профілю.

За швидкістю виходу розкату з валків v_n і відомим діаметром і окружної швидкості різних точок калібру розраховували величини випередження для цих точок. На рис.2.18,а представлена епюра розподілу ковзання металу в осередку деформації з боку виходу з валків. З цієї епюри видно, що у напрямку до країв закритих полиць і краю відкритої полиці по верхньому валку внаслідок зменшення діаметру валків і окружної швидкості випередження зростає від нуля до 14,4 і 15,3%. По відношенню до нижнього валка у напрямку до відкритої полиці випередження розкату зменшується. У якійсь точці розкат виходить з валків зі швидкістю, рівної

середньої швидкості валка, а у вершини полиці випередження набуває негативного значення (- 10,6%). Середній діаметр валка дорівнює

$$D=60v_h / \pi n, \quad (2.5)$$

де v_h - середня швидкість розкату; n - число оборотів валків.

Вище за цю точку швидкість розкату стає менше середньої окружної швидкості валка і розкат виходить з валків з відставанням. Максимальне відставання розкату з боку виходу з валків досягає (-) 10,6%.

Величину відставання S_{OT} по периметру калібру визначали з формул:

$$S_{OT} = \frac{v_i - v_H}{v_i} \cdot 100\%; \quad v_H = v_h / \mu, \quad (2.6)$$

де v_i - швидкість розкату на виході у будь-якій точці периметра; v_H - швидкість розкату на вході в валкі; μ - коефіцієнт витягання.

Для середньої швидкості розкату на вході середній діаметр валків буде рівний

$$D = 60v_H / \pi n.$$

З рис.2.18,б витікає, що усі точки заготовки входять в калібр зі швидкістю, меншій середній окружній швидкості валків. По верхньому валку відставання складає від (-) 7,7% у краю відкритої полиці до (-) 19% на шийці. По нижньому валку відставання зростає від (-) 8,4% у краю закритої полиці до (-) 28,3% у краю відкритої полиці.

Характер розподілу відставання (ковзання) в значної ступені визначає характер зносу калібру. При цьому, чим більше ковзання на контактні розкату з валками, тим більше знос валків. Під час прокатування ділянки поверхні контакту калібру з металом деформуються, в окремих місцях проривається оксидна плівка і відбувається зварювання чистих, контактуючих ділянок металу і валків. Це призводить потім до відриву від поверхні валка невеликих лусочок металу завтовшки в соті і тисячні долі міліметра. Надалі ці лусочки або викидаються з осередку деформації, або прилипають до однієї з поверхонь металу, що труться, і, беручи участь в процесі стирання, утворюють проміжний шар (разом з частками окалини, шлаку і тому подібне), істотно впливаючи на коефіцієнт тертя.

У роботі прокатних валків, як і в загальному випадку роботи деталей машин, існує три періоди зносу.

У перший період роботи валка поверхня калібрів починає прироблятися, нерівності на поверхні мнуться, зрізуються, і поверхня калібру стає гладкою.

У другий період роботи утворюються нові нерівності, які, у свою чергу, згладжуються. Поступово установлюється однаковий по усьому колу рельєф поверхні, пов'язаний як з умовами служби валка (контактні напруження, швидкість, температура), так і з мікроструктурними і міцними характеристиками металу валка.

Третій період - період посиленого (катастрофічного) зносу валків - характеризується зміною геометричної форми калібрів і пов'язаних з цим ризиком змін умов роботи поверхонь тертя.

Для збільшення терміну служби валків необхідно скоротити період прироблення (шляхом поліпшення якості поверхні калібрів), максимально збільшити період сталого зносу і попередити настання посиленого зносу (шляхом раціоналізації калібрування і застосування технологічного мастила).

На рис.2.19 показаний знос калібрів двотаврової балки №30 після прокатки в першій кліті (калібри I - III) 2000т металу[36]. У другій кліті (калібри IV - VI) було прокатано 1240т. У чистовому калібрі VII третьої кліті прокатано 1240т, а в калібрі VIII - 700т металу. Знос в першій кліті збільшується від I до III калібру. Знос окремих елементів калібрів відрізняється в 1,2-3 рази. Величина зносу відкритих і закритих полиць в кожному калібрі приблизно однакова. Починаючи з IV калібру, знос відкритих полиць значно більше закритих. У закритих полицях знос збільшується від кінця до основи і з обох боків приблизно однаковий. У відкритих полицях знос на внутрішній поверхні також збільшується до основи, на зовнішній поверхні більше зношується середина полиці.

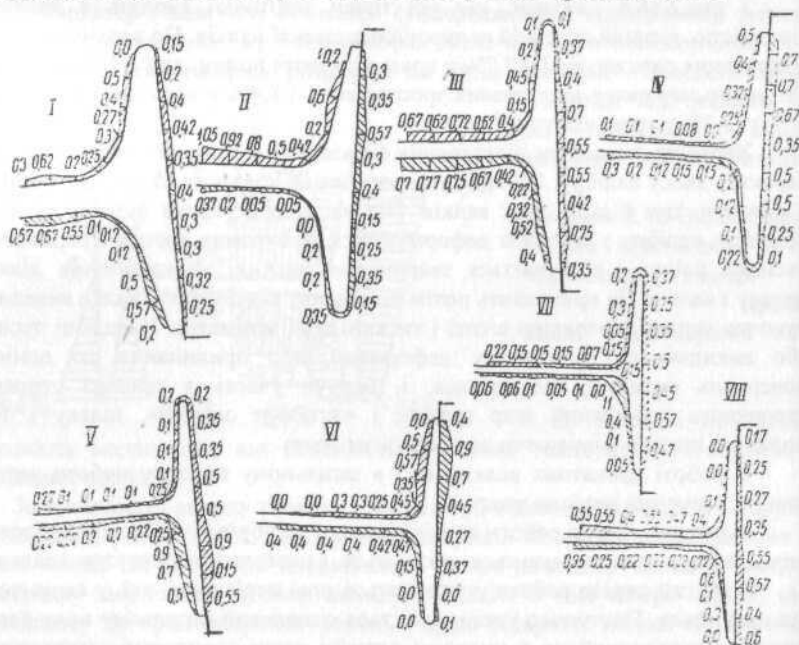


Рисунок 2.19- Знос калібрів при прокатуванні двотаврової балки №30: I - VIII - номери калібрів

На поверхні відкритих полиць на ділянці радіусів сполучення полиці із стінкою спостерігається сітка розпалу у вигляді виступів, яка погіршує поверхню розкату. Стінка калібрів зношується нерівномірно-посередині калібру знос більший.

3 ПРОКАТКА НА СОРТОВИХ СТАНАХ

До цієї групи виробництва прокату входять стани, на яких прокатують сортову сталь. На практиці донині збереглося умовне ділення сортової сталі на чотири категорії - великосортні, середньосортні, дрібносортні і катанку (дріт). Відповідним чином називають і стани, які прокатують цю продукцію. У таблиці 3.1 представлений основний можливий сортамент для станів з валками різних діаметрів. Окрім приведених в табл.3.1 типів профілів, прокатують також шахтні стійки, рейкові кріплення і інші профілі. Початковим матеріалом для прокатки сортової сталі є заготовки від 60х60 мм до 300х300 мм, завдовжки від 4 до 13 м. Сортний метал прокатують на станах лінійного типу (старі стани), на неперервних станах, і на станах з послідовним розташуванням клітей, що містять неперервні групи клітей

Таблиця 3.1- Сортамент сортопрокатних станів (мм)

Стан	Кругла сталь	Квадратна	Стрічка, В.мм	Кутова, мм	Балки, № (до)
250	8-30	8-30	65	40х40	-
300	16-60	16-50	100	60х60	-
350	25-70	25-75	150	90х90	80-100
400	30-100	30-90	200	100х 100	120
550	50-120	50-120	300	150х 150	200
650	70-200	70-200	350	200х 200	300

Основне устаткування станів включає: нагрівальні печі, кліті з горизонтальними і вертикальними валками, петледержувачи, ножиці і пили, кантувачи, правильні машини, холодильники, укладальники, моталки. Нижче розглянуті схеми розташування устаткування, основні питання технологічного процесу і коротка характеристика умов служби валків.

Технічна характеристика клітей для великосортних станів подана в табл.3.2. Стан 500 встановлений в 1934 р. на Магнітогорському меткомбінаті

(ММК), стан 650 - в 1959 р. на Нижне-Тагильському меткомбінаті (НТМК) (Росія), стан 600 - в 1963 р. на Алчевському меткомбінаті (АЛМК) (Україна) (рис.3.1-3.3). Найстарішим за розташуванням клітей і конструкцією устаткування є зигзагоподібний стан 500 ММК (рис.3.1). Кліті стана розташовані послідовно і розкат прокатують послідовно в кожній кліті. Є загальний привід чорнових і чистових клітей. Залежно від розміру профілю використовують 7 або 9 клітей, а швидкість прокатки в 9-ій кліті знаходиться в межах 6...6,6 м/с. Зигзагоподібне розташування робочих клітей обумовлене необхідністю скорочення довжини і площі цеху.

При проектуванні на стані 650 (рис.3.2) відійшли від принципу послідовного розташування клітей і запропонували лінійне розташування клітей, що має в розпорядженні обтискову двохвалкову реверсивну кліть і чистову лінію, яка має дві тривалкові кліті і одна двохвалкова. Основний вигравш при проектуванні цього стана досягався за рахунок скорочення маси встановленого устаткування, деякого збільшення розмірів заготовки (до 320x320 мм) і зниження інвестицій на виготовлення і будівництва стана.

Таблиця 3.2- Характеристика великосортних станів

Стан 500			Стан 650			Стан 600		
№	D, мм	N, кВт	№	D, мм	N, кВт	№кліті	D, мм	N, кВт
1-4	560	4x2200	Обж.	850	4560	1,2	950	1250
5,6	540	2x1850	1	730	4560	3,5,8(в)	730	3x1200
7	540	1620	2	730	4560	4,6	730	2x1250
8,9	540	2x250	3	730	1970	7	730	1800
						9-12	730	4x3200
						13	580	3200
						14-17	580	4x2650

На заводі "Дніпрспецсталь" (м. Запоріжжя) і на деяких інших заводах ще працюють стани лінійного типу, на яких прокатують квадратні і круглі профілі з якісної вуглецевої і легованих марок сталей.

Досконаліший технологічний процес прокатки передбачено на великосортному стані 600 (рис.3.3) з неперервними групами і зигзагоподібним розташуванням клітей, які дозволяють максимально автоматизувати роботу стана, забезпечено безперервність прокатування. На відміну від розглянутих вище, на цьому стані збільшена кількість клітей, у неперервних групах застосовані кліті з вертикальними валками, які виключають необхідність кантування розкату між клітями під час прокатування. На цьому стані неперервний процес прокатки застосований в двох чорнових групах, а в інших клітях розкат прокатується окремо в кожній кліті.

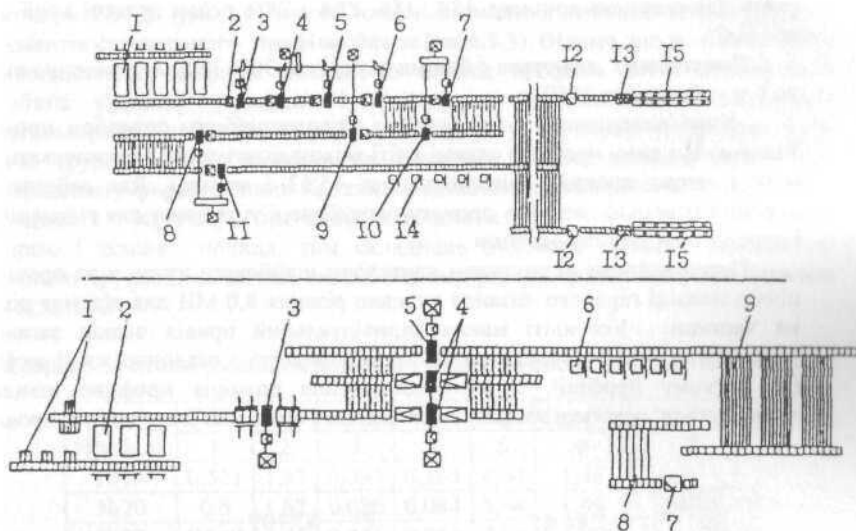


Рисунок 3.1- Зигзагоподібний стан 500: 1 - нагрівальні печі; 2 - кантувачі; 3 - 11 - робочі кліті; 12 - ножиці холодного різання; 13 - правильні машини; 14 - пили гарячого різання; 15 - карман

Рисунок 3.2- Великосортний стан 650: 1 - завантажувальні ґрати; 2 - нагрівальні печі; 3 - обтискна кліть 850; 4 - чорнові кліті 650; 5 - чистова кліть 650; 6 - пили гарячого різання; 7 - ножиці холодного різання; 8 - стелажі; 9 - холодильник.

3.1 Технологічний процес прокатки на стані 600

Стан встановлено на ВАТ Алчевський меткомбінат (Україна) з річним виробництвом прокату близько 1,6 млн.т. Устаткування розташовано в трьох прольотах загальною шириною 96м : два прольоти по 36м і середній - 24м. Довжина цеху 950м (рис. 3.3) [3,14].

Для нагріву блюнів служать чотири нагрівальні печі продуктивністю 110...120т/ч кожна. Крім того, між 6-ою та 7-ою клітями встановлена прохідна роликівна піч, що підігріває розкат, завдовжки 107м.

До складу устаткування стана входить 17 робочих клітей, розташованих в три ряди. Є дві неперервні групи по 5 і 3 кліті, що зменшує загальну довжину цеху. До складу робочих клітей входить також 3 кліті з вертикальними валками, які служать для бічного обтиснення розкату без кантування. У сортамент стана входять двотаврові і широкополочні балки №10-20, швелери №10-20, сталь кутова рівнобічна №8-16, кутова нерівнобічна №8/5-8/11, кругла діаметром 50...120мм, квадратна сталь 50...100мм, смугова завтовшки (стрічка) 14...50мм, шириною 100...200мм,

сталь для шахтних кріплень 18А, 18Б, 28А і 28Б, рейки вузької колії і інші профілі.

Початковою для стану є блюми перерізом 300х300мм довжиною від 5,5 до 6 м з блюмінга І150.

Кліті розташовані в три ряди із зигзагоподібним способом прокатки. Залежно від типу профілю окремі кліті можна відключати і прокатувати їх за менше число проходів (наприклад, за 15,13 і менше). Для забезпечення хорошої поверхні готового прокату передбачені установки для гідравлічного і парового видалення окалини.

Перед клітьми встановлені кантувачі шайбового типу, а за прохідною піччю ножиці гарячого різання з силою різання 8,0 МН для ділення розкату на частини. Усі кліті мають індивідуальний привід валків загальною потужністю 36550 кВт. Швидкість виходу розкату з останньої кліті до 10 м/с (на легкому профілі). У міру збільшення розмірів профілю швидкість зменшується, оскільки збільшується момент кручення і потужність прокатки.

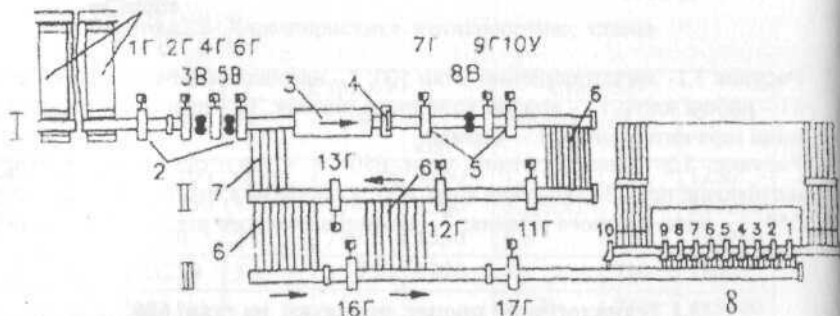


Рисунок 3.3- Схема розташування устаткування великосортного стану 600 ВАТ АМК : 1 - методичні печі; 2 - перша чорнова група; 3 - піч, що підігріває; 4 - ділильні ножиці; 5 - друга чорнова група; 6,7 - передатні шлепери; 8 - пили гарячого різання

Готові профілі ріжуть дисковими пилами важільного типу (діаметр диска 1800 мм, окружна швидкість диска - 100 м/с) на шматки 6-24м. Пили переміщуються уздовж рольганга. Після різання метал поступає на холодильники (4шт.) завдовжки по 44м і шириною по 24м.

До складу кожної з трьох обробних ліній входять пересувна правильна машина, пила холодного різання (для обрізання дефектних ділянок і ділення на частини), канатні шлепери, сортоукладальник і інше устаткування. Маса усього устаткування цеху складає 1800т.

Окрім балок загального призначення і широкополочних балок на стані 600 прокатують колонні балки за стандартами DIN (Німеччина)[32]. Колонні

двогаври РВ120 (рис.3.4) мають істотні відмінності співвідношень розмірів елементів стандартного профілю балки (табл.3.3). Відомо, що зі збільшенням співвідношення ширини полиць до висоти профілю V/H , збільшується глибина урізання у валки і знижується їх міцність, підвищується нерівномірність деформації і розподіл температур по перерізу профілю. Крім того, трудомісткість виробництва двогаврів можна оцінити величиною коефіцієнту форми полиць K_{ϕ} , який є відношенням ширини полиць B до їх товщини t : $K_{\phi}=(B/t)$. Чим вище значення коефіцієнта форми, тобто чим ширше і тонше полиця, тим складніше отримати профіль. При цьому особливі труднощі викликає виконання внутрішніх граней полиць з нахилом до 1,5...2%.

Таблиця 3.3- Співвідношення розмірів і моментів опору двогаврових балок

Профіль	У/Н	t/d	d/H	t/B	K_{ϕ}	$F_{\phi_{ц}}/F_{ст}$	W_x/W_y
	1	2	3	4	5	6	7
№14	0,521	1,53	0,035	0,103	4,54	1,48	81,7/11,5
№20	0,5	1,62	0,026	0,084	5,64	1,49	184/23,1
W8"	0,647	1,45	0,041	0,063	7,98	1,88	248,7/45,9
PB 120	1,05	1,6	0,046	0,07	7,16	2,95	106/38,5

де H і B - висота балки і ширина полиць балки; d - товщина стінки (стійки); t - середня товщина полиці; $F_{\phi_{ц}}$, $F_{ст}$ - площа поперечного перерізу полиць і стінки; W_x і W_y - моменти опору перерізу і вигину у вертикальній і горизонтальній площинах.

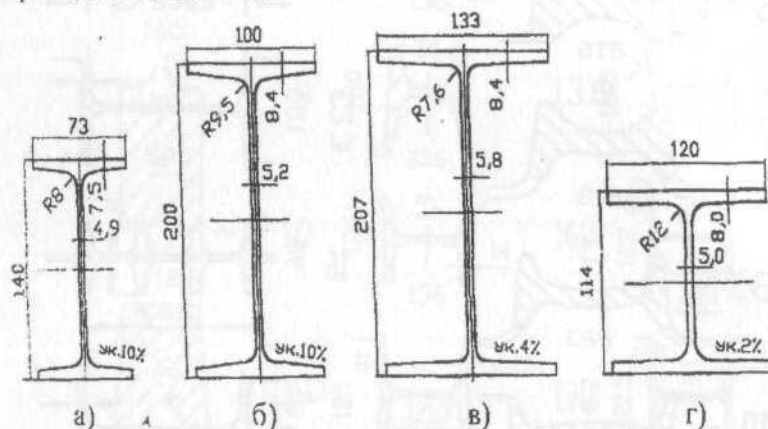


Рисунок 3.4- Поперечний переріз двогаврових балок : а) №14; б) №20; в) W8" ASTM; г) PB 120DIN

Як відомо, для виробництва широкополічних двотаврів з паралельними гранями полиць, у тому числі - колонних, потрібна наявність у складі устаткування універсальних і допоміжних клітей.

У своєму складі напівнеперервний великосортний стан 600 ВАТ АМК (Алчевський металургійний комбінат) має 17 робочих клітей, розташованих в трьох рядах, у тому числі - три кліті з вертикальним розташуванням валків. Номінальний діаметр валків двох перших чорнових клітей складає 950мм, трьох передчистових і чистовий клітей - 580мм, діаметр валків інших клітей - 730мм (табл.3.2, рис.3.3). За допомогою касет, обладнаних вертикальними роликками, розробленими фахівцями НМетАУ (Національній металургійній академії України), кліті №№10Г-17Г трансформуються в універсальні кліті.

При розробці технології і складанні схеми прокатки колонного двотавра 120 DIN, за основу була прийнята схема прокатки двотаврової балки №20 (рис.3.5). Як і при прокатуванні двотаврової балки №20, формування фасонної заготовки колонного двотавра роблять у відкритому симетричному розрізному калібрі, розташованому в кліті №4Г (рис.3.6).

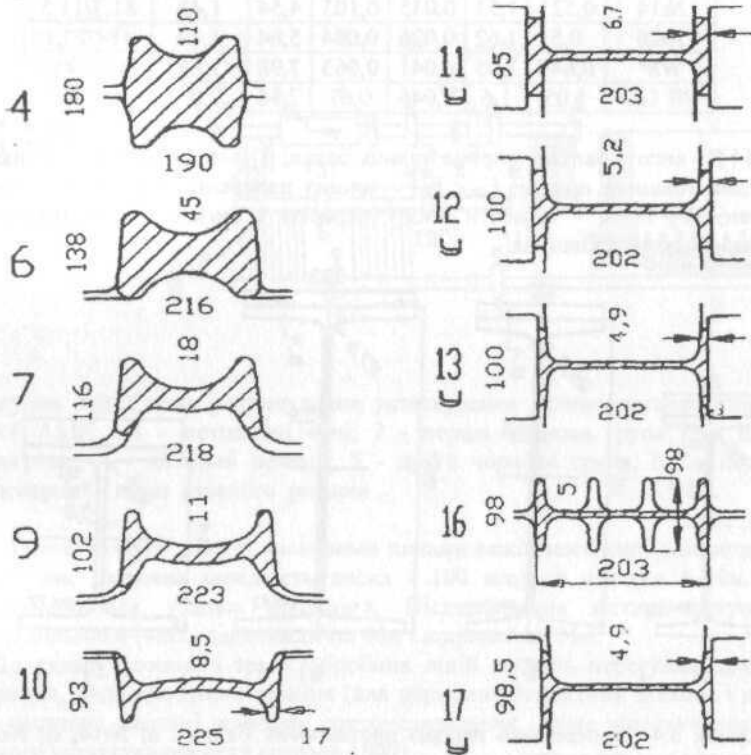


Рисунок 3.5- Схема прокатки двотаврової балки №20

На відміну від двотаврової балки №20, при тій же висоті розрізного калібру, збільшили товщину стінки. Ширину розкату контролювали в кліті 5В з вертикальним розташуванням валків, після чого застосували закритий балочний калібр. Прокатку в горизонтальних клітках 6Г-9Г робили з однаковою орієнтацією фланців без чергування обтиснення і контролю висоти.

Попередній контроль і зміну обтиснення висоти фланців робили в закритому калібрі кліті №10Г, розташованим перед першим універсальним калібром №11У. Остаточний контроль ширини полиць робили в горизонтальній кліті №13. З метою зменшення навантажень, діючих на вертикальні валки універсальних клітей, поверхні валків, що формують зовнішні грані полиць, виконували з ухилом 8.

Для забезпечення необхідного приросту ширини полиць в першому універсальному калібрі (кліть №11У) формування профілю робили з перевищенням коефіцієнтів обтиснення товщини полиць над коефіцієнтом обтиснення товщини стінки, що становить 1,2...1,6. Випрямлення полиць робили в чистовій універсальній кліті №17У. Для усунення лампасів (задилок) на вершинах фланців (полиць) в кліті №10 застосований напівзакритий калібр, необхідний для калібрування ширини фланця.

КЛІТИ

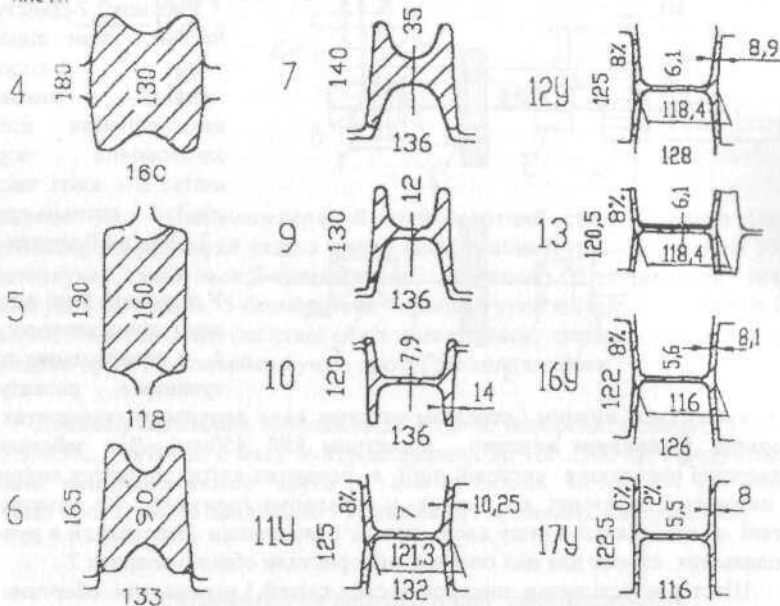


Рисунок 3.6- Схема прокатки колонового двутавра 120 DIN

3.2. Виробництво профілів на дрібносортних станах

Як відмічали вище, в практиці прокатки збереглося умовне ділення сортових профілів на чотири категорії: *великосортну* (діаметр валків $D = 550 \dots 700$ мм), *середньосортну* ($D = 350 \dots 400$ мм), *дрібносортну* ($D = 250 \dots 300$ мм) і *дрім (катанку)* ($D = 150 \dots 250$ мм). Ці категорії сортового прокату для однієї і тієї ж форми профілю відрізняються розмірами, які зменшуються сумісно зі зменшенням діаметру (D) валків (табл. 3.1).

Зменшення діаметру валків, у міру зменшення розміру профілю, обумовлено необхідністю зменшення величини розширення і збільшення коефіцієнта подовження (витягання) металу в кожній клітці стана, тобто підвищення ефективності процесу прокатування. Крім того, зі зменшенням діаметру валків забезпечується зниження енергосилових параметрів деформації і зниження витрати енергії.

Початок застосування дрібносортних станів відносять до 80-их років XIX століття [37,49,50]. Як правило, перші стани мали лінійне розташування клітей (типу перемінне дуо) з приводом валків усіх клітей від одного головного двигуна (з паровим, а потім з електроприводом) (рис. 3.7).

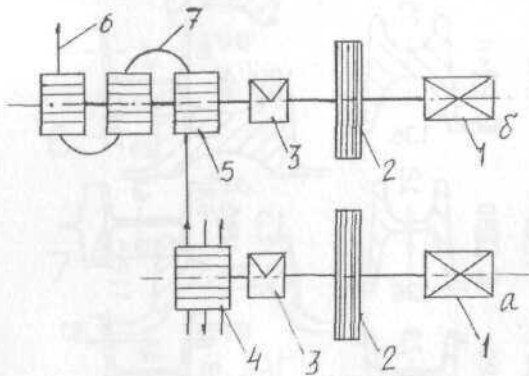


Рисунок 2.7-Двоступенчатий стан лінійного типу: 1-головний привід; 2- маховик; 3- шестерінчаста клітка; 4- заготовочна чорнова клітка; 5 - клітка чистової лінії; 6 - готовий профіль; 7 - обвідний апарат

У чорновій лінії встановлено трьохвалкова клітка 4 з реверсивним прокатуванням розкату в

нижньому (між нижнім і середнім валками) і у верхньому горизонтах (між верхнім і середнім валками діаметром 280...450мм). Для забезпечення реверсної прокатки в чистовій лінії в непарних клітках прокату виконують в нижньому горизонті, а в парних- у верхньому горизонті. На початковому етапі з однієї клітки в іншу клітку розкат вальцівники передавали в ручну, в подальших станах для цієї операції використали обвідні апарати 7.

Шестерінчасті валки шестерінчастих кліток 3 передавали обертання від одного валу двигуна на два валки робочих кліток. Маховики 2 передавали в осередок деформації додаткову потужність при малопотужних двигунах 1. Застосування ручної праці обумовлювало невелику швидкість прокатки (до

3,5м/с) і невелику масу (до 100...200 кг) і довжину (1...2м) початкових заготовок.

Удосконалення технології прокатки на станах лінійного типу виконували шляхом трансформації їх в напівнеперервні стани (рис.3.8) з виключенням ручної праці вальцівників. Застосування неперервних груп клітей і обвідних апаратів дозволило збільшити швидкість прокатки в чистовій кліті дроту діаметром 5,5...6,5 мм до 10м/с.

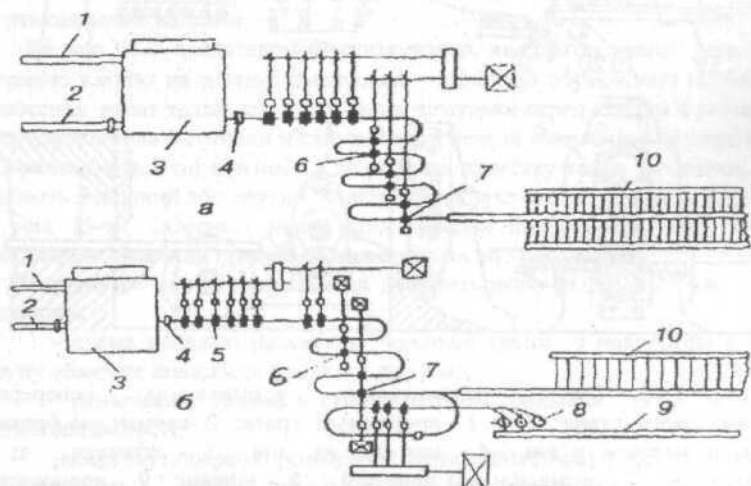


Рисунок 3.8- Напівнеперервний дрібносортний стан з однією (а) і дрібносортно-дротяний стан з двома неперервними групами клітей (б) : 1-уштовхувач заготовок;2-виштовхувач заготовок; 3-нагрівальна піч; 4-витягувач заготовок; 5-безперервна чорнова група клітей; 6 - лінійна група клітей; 7-чистові кліті (на стані «б» з триклітьовою неперервною групою); 8 - моталки дроту; 9-конвейер бунтів дроту; 10-холодильник

Довжину заготовки збільшили до ~9,0 м, поперечні розміри зменшили до 50x50...70x70мм, а масу бунту збільшили до 180...360 кг. Продуктивність стану при прокатуванні круга 10...14м м складала 30...45 т/ч. На подібних станах прокатували продукцію з вуглецевих і легованих марок сталей.

3.3. Прокатка на неперервному двохнитковому дрібносортному стані 250

На початку 50-х років 20-го століття з'явилися нові двохниткові неперервні дрібносортні стани 250 (НДС 250, меткомбінат в г.Кривий Ріг)

(рис.3.9). У кожній нитці профіль прокатують в 15-ти клітках. У чорновій групі в 7-ми клітках з горизонтальними валками одночасно прокатують дві заготовки, а в двох чистових групах по одному розкату.

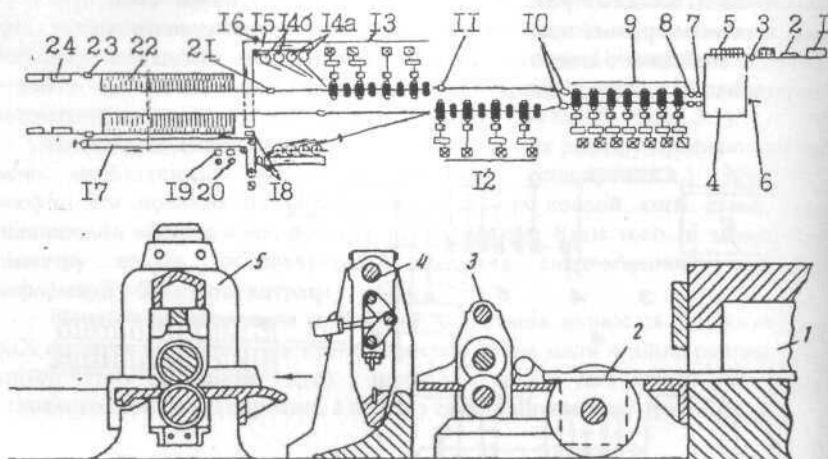


Рисунок 3.10- Схема розташування устаткування неперервного двохниткового стана 250: 1 - приймальні грати; 2 - карман для брака; 3 - штовхач заготовок у піч; 4 - нагрівальна піч; 5 - штовхач т; 6 - виштовхувач; 7 - розподільний пристрій; 8 - ножиці; 9 - чорнова група клітей; 10 - летучі ножиці кривошипного типу; 11 -обривні ножиці; 12,13 - неперервні чистові групи клітей; 14 - стрічкові і сортові моталки; 15 - пластинчатий конвейер; 16 - бунтовязальні машини; 17 - конвейер крюковий; 18 - бунтонавешувач; 19 - бунтосъемний пристрій; 20 - пакетуюча машина; 21 - одновісні летучі ножиці; 22 - холодильник; 23 - эксцентрикові ножиці холодного різання; 24 - карман.

Рисунок 3.11- Устаткування між нагрівальною піччю і першою кліткою : 1 - нагрівальна піч; 2 - розподільник заготовок; 3 - витягуючий пристрій; 4 - ножиці; 5-перша робоча кліть.

У чистових групах встановлені 4-і кліті з горизонтальними валками і 4-і кліті -с вертикальними валками [50]. На стані прокатують з маловуглецевої сталі круглий профіль діаметром 10...30мм, квадратний профіль із стороною 16...30мм, арматурну сталь №№10-20, куток 36х36х4 і 40х40х4мм із заготовки 80х80х12000мм. У чорнових клітках розкат прокатують з кантуванням в роликах, а в чистових клітках без кантування, оскільки розкат деформується в горизонтальних і вертикальних валках. У чорнових клітках

застосовують універсальне калібрування валків, а в чистових клітках калібрування валків відповідає формі профілю (рис.3.12).

Нині в чорнових клітках ящикні калібри замінені на ефективнішу схему прокатки в гладких валках (див. нижче). У першому калібрі роблять невелике обтиснення ($h=10\text{мм}$) для видалення окалини), а в другому калібрі (без кантування) розкат інтенсивно деформують з подальшим кантуванням перед задаванням в третій калібр. Ребровий овал, що вийшов з кліті №5, є заготовкою для отримання профілю кутка в подальших клітках з горизонтальними валками. Ширину полиць кутка калібрують у кліті №10 з вертикальними валками..

На рис.3.12 представлено устаткування, яке розташоване між піччю і першою кліткою на ділянці завдовжки $\sim 2,5\text{м}$, що обумовлено необхідністю зниження втрат тепла заднього кінця заготовки перед входом в першу кліть. Передній кінець заготовки після виходу з печі за допомогою розподільника 2 потрапляє в здвоєні ножиці 3, де роблять зачистку торця заготовки, і потім задають в перший або другий калібри валків кліті №1. Профіль прокатують в усіх 15-ти клітках і після чого круглий профіль і стрічку змотують моталками 14, а інші профілі транспортують на холодильник.

Розглянута схема прокатки на двохнитковому НДС 250 має істотні недоліки:

- схема передачі розкату з чорнової групи з поворотом в чистову групу обмежує швидкість прокатки до 18 м/с ;
- різночасне задача в стан заготовок викликає появу подовжньої різнотовщинності;
- невеликі поперечні розміри заготовки ($80\times 80\text{мм}$) і маса (до 600кг) не забезпечують високі техніко-економічні показники в порівнянні з високошвидкісними одноритковими НДС 250.

3.4 Прокатка на неперервному одноритковому дрібносортному стані 250

Нині стани нового типу мають неперервну схему прокатки із застосуванням клітей з горизонтальним і вертикальним розташуванням валків, при мінімальному натягненні розкату між клітьми, механізацією і автоматизацією технологічних операцій, з використанням нових технологічних рішень. Отримали розвиток ливарно-прокатні агрегати і конструкції клітей, що забезпечують одночасне обтиснення розкату в межах до 90%. Дрібносортну сталь прокатують на неперервних однориткових станах [3, 14, 37, 50]. До таких станів відносять неперервний дрібносортний стан 250 Криворізького металургійного комбінату..

На металургійному комбінаті в г. Кривий Ріг працює дрібносортний стан 250 (рис.3.13.), спеціалізований на виробництво прокату з підвищеною і високою точністю для калібрування і подальшої холодної і гарячої висадки деталей з конструкційних вуглецевих і легованих сталей.

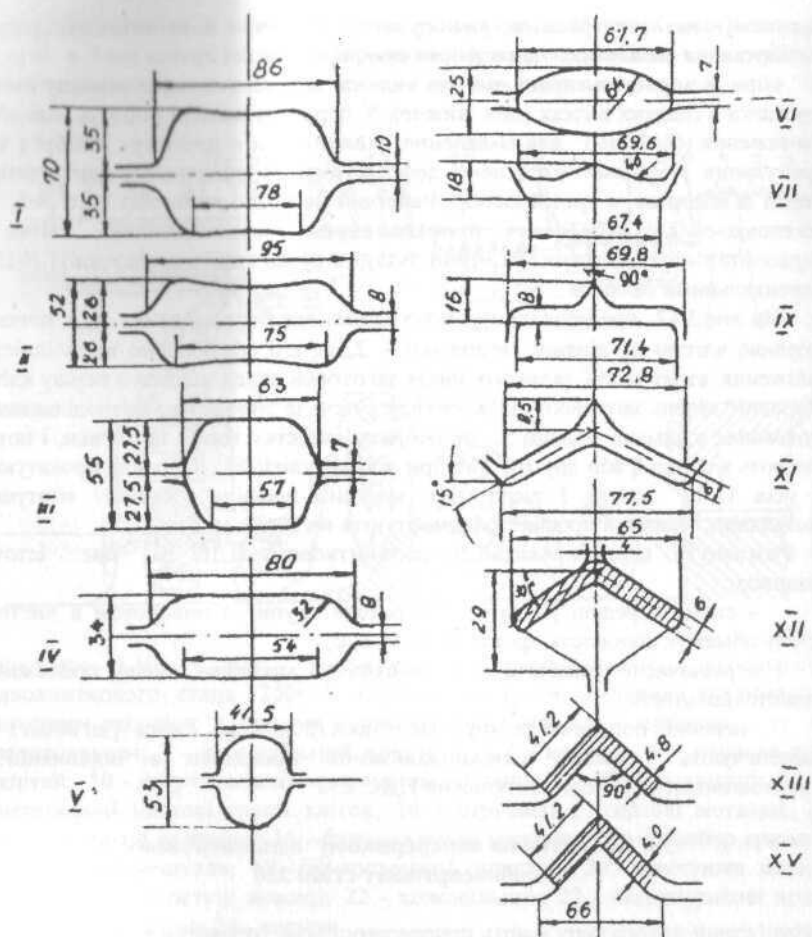


Рисунок 3.12- Схема калібрування валків для прокатки кутка 40x40x4мм (I - XV) - номери клітей

Сортамент стану складається з круглих профілів діаметром 14...42 мм, квадратних із стороною 14...36 мм і шестигранних 14...40 мм. Увесь сортамент прокатують із заготовки перерізом 150x150 мм, завдовжки 10...12 м з максимальною швидкістю 20 м/с. Готові бунти мають масу до 2,1т. На стані 250 передбачені: ділянка обробки заготовок з лініями дефектоскопії і 16-тю обдирно-шліфувальними станками, нагрівальна піч і власне стан з ділянкою прибирання і обробки бунтового прокату; відділення термічної обробки прокату з прохідними роликowymi і ковпаковими печами [14].

Заготовки після огляду і зачистки укладають кранами на завантажувальні грати печі, зважують на вагах, вмонтованих в рольганг, що подає заготовки, і штовхальником поштучно подають в піч. Завантажують заготовки в один ряд через крок балок, рівний 300 мм (300 мм - відстань між сусідніми заготовками). Наявність нагрівальної печі з крокуючим черенем і забезпечує швидкий і рівномірний нагрів заготовки по усьому перерізу до 1150...1200 °С. Продуктивність печі 200 т/ч. З печі заготовки видають на нижній рольганг. Між нагрівальною піччю і першою робочою кліткою встановлений пристрій для гідрозбивання окалини.

До складу стана входять 20 двохвалкових робочих клітей підвищеної жорсткості з горизонтальними і вертикальними валками, встановленими послідовно в трьох групах : чорнову, проміжну і чистову (табл. 3.4). Прокатку на стані ведуть в одну нитку. До чорнової групи входять 8 клітей, в проміжну і чистову групи по 6 клітей. У чорновій групі прокатку ведуть з невеликим натягненням, яке забезпечує рівномірність геометричних розмірів по усій довжині розкату.

У проміжній і чистовій групах клітей прокатку ведуть за допомогою системи автоматичного петлерегулювання. Система побудована за принципом підтримки постійності петлі з дією на регулятори швидкості обертання головних приводів клітей. Петлерегулюванням керують за допомогою фотозлектричних датчиків положення петлі. При відхиленні петлі від заданої величини сигнал від різниці секундних об'ємів металу подається на регулятор швидкості кліті. При великих величинах сигналу швидкості подальших клітей коригуються через систему цифрової завдання швидкості.

Прокатні валки стана виготовлені з чавуну з вибіленим поверхневим шаром металу [39]. Валкові опори мають підшипники рідинного тертя (ПРТ) з гідравлічним урівноважуючим пристроєм. Кліть встановлена на плиті і за допомогою пристрою переміщується в відповідно положення, необхідне для перевалки, що значно прискорює цю операцію, або для установки на лінію прокатки.

За чорною, проміжною і чистою групами клітей встановлені ножиці для обрізання переднього кінця розкату, які також можна використати для аварійного його порізу на габаритні довжини. За XIV і XX клітьми змонтовані прилади для контролю геометричних розмірів і якості поверхні прокату.

Залежно від сортаменту річне виробництво неперервних станів 250 складає 600...800 тис. тон. Сумарний коефіцієнт витрати металу дорівнює 1,035...1,04. У чорновій групі клітей стана використовують систему калібрування ящикний прямокутник - ящикний квадрат або гладка бочка - квадрат. При прокатуванні простих профілів (квадрат, круг, шестигранник, арматурна сталь) в проміжних і чистових групах клітей застосовують систему калібрування овал - ребровий овал (чи круг) [6,12, 14]. Останні три - чотири кліті чистової групи мають калібрування, що забезпечує отримання точного готового профілю (рис.3.14).

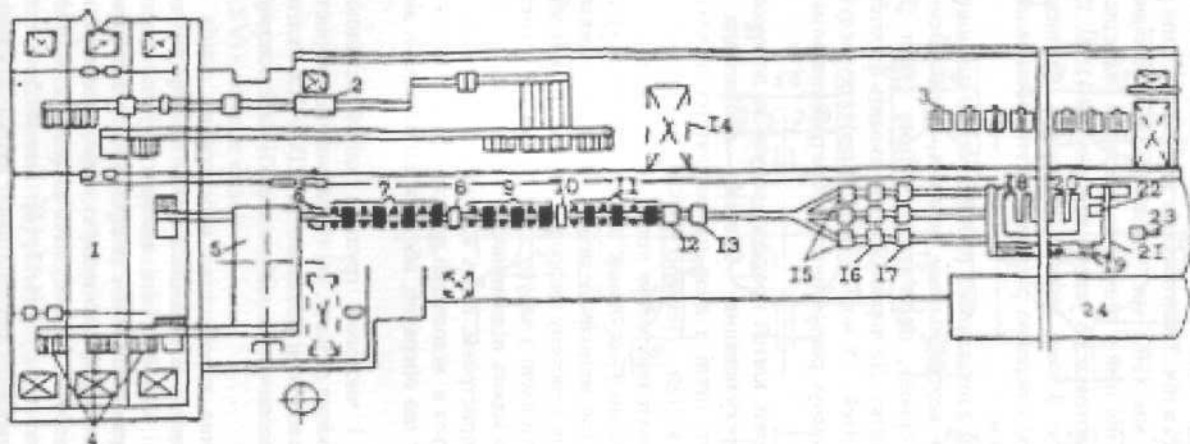


Рисунок 3.13- Схема розташування устаткування дрібносортового стану 250: 1 - склад заготівлі; 2 - лінія дефектоскопії; 3 - обдирання-шліфувальні верстати; 4 - завантажувальні ґрати; 5 - нагрівальна піч; 6 - пристрій для гідросбива окалини; 7 - чорнова група клітей; 8,10,12,13 - кривошипні ножиці; 9 - проміжна група клітей; 11 - чистова група; 14 - підйомний кран; 15 - трайбапарат; 16 - моталки; 17 - бунтовязальні машини; 18 - рольганг; 19 - транспортер бунтів з крокуючими колосниками; 20 - пакуєчий пристрій; 21 - рольганг; 22 - бунтознімальне пристрій; 23 - установка для розмотування і правки бунтового прокату; 24 - термічне відділення

Таблиця 3.4- Характеристика робочих клітей ДНС 250 (Г, В - горизонтальні і вертикальні кліті)

Група клітей	Номер кліті	Діаметр валків, мм	Довжина бочки, мм
Чорнова	1Г	560	800
	2В	530	800
	3Г	470	- II
	4В	450	- II
	5Г	380	710
	6В		630
	7Г	380	710
	8В	380	630
Проміжна	9Г	320	- II
	10В	320	- II
	11Г	320	- II
	12В	320	- II
	13Г	320	500
	14В	320	- II
Чистова	15Г	320	- II
	16В	320	- II
	17Г	280	- II
	18В	280	- II
	19Г	280	400
	20В	280	- II

Круглий профіль прокатують в калібрах: ребровий овал - овал - круг ($d=16\text{мм}$) (рис. 3.14, а), а квадратний профіль в калібрах: ромб-квадрат-передчистовий ромб - квадрат ($c=16\text{мм}$) (рис. 3.14, б).

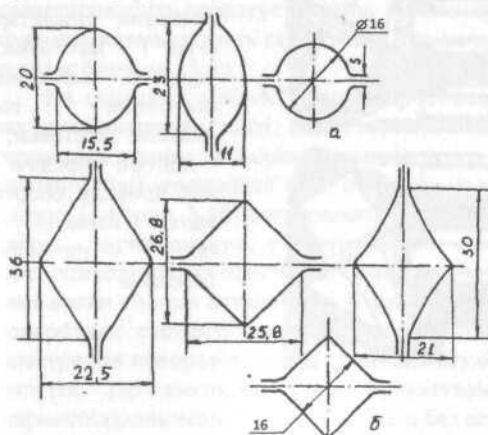


Рисунок 3.14-Чистові калібри для прокатки: а – круга; б – квадрата на ДНС 250

Передчистовий ромб виконано з горизонтальними кутами менше 90° , що необхідно для виконання гострих горизонтальних кутів чистового квадрата. Розташування проміжків S в калібрах вказує на розташування валків в кліті (горизонтальне або вертикальне). На дрібносортичних станах, які мають холодильники прокатують також і фасонні профілі (куток, швелер).

3.5 Вдосконалення технології і устаткування дрібносортичних станів

Прокатка на неперервних станах ведеться поштучно. Така технологія прокатки має ряд недоліків :

- значні динамічні удари в деталях головної лінії стану при захваті переднього кінця розкату валками, особливо в перших клітках, де розміри заготовки максимальні;

- потовщені кінцеві ділянки готових профілів внаслідок відсутності їх натягнення в порівнянні з прокаткою в процесі, що встановився, коли профіль прокатується з невеликим напруженням натягнення ($\sigma_H = 10...15 \text{ Н/мм}^2$) між клітками;

- втрата часу і, отже, зниження виробництва стану, внаслідок наявності пауз між окремими заготовками (розкатами).

Усі ці недоліки практично відсутні при прокатуванні заготовок, зварених

в "безперервний" розкат на стиковарювальній машині [14,37,50].

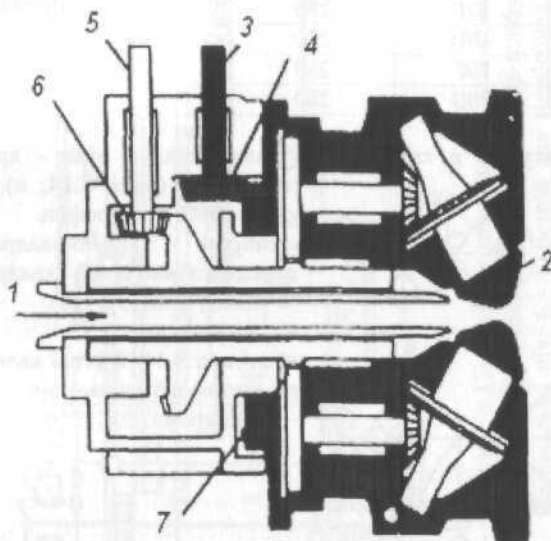


Рисунок 3.15- Косо-валковий планетарний стан: 1 - заготовка; 2 - валки; 3 - вал приводу обертання валків навколо заготовки; 4, 6 - конічні передачі; 5 - вал приводу обертання валків навколо своєї осі; 7 - циліндрична передача

Ефективність процесу "безперервного" прокатування профілів (БПП) особливо велика при змінному швидкісному режимі роботи дрібносортного стану : заправка в кліті при швидкості 10...15 м/с на виході із стану з подальшим збільшенням швидкості прокатки до 25...45 м/с при процесі, що встановився. Особливістю БПП є підготовка кінців заготовок до їх якісного зварювання перед прокатуванням, видалення ґрата в процесі руху заготовки і контроль ділянки зварювального шва в готовому профілі для його видалення. Після прокатування круглого профілю діаметром $d = 10$ мм із заготовок 106x106 мм довжина зварювального шва досягає 1,5 ...2м .

Фірма "Шлеман-Зимаг" розробила планетарний косовалковий прокатний стан, на якому при прокатуванні в трьох валках за один прохід досягається такий же витяг металу, як і у восьми клітках неперервної групи клітей [38]. Метал на стані деформується трьома конусоподібними валками 2, розташованими під кутом 120° один до одного. Валки обертаються навколо заготовки від приводу 3 (рис.3.15) через конічну передачу 4, а обертання самих валків навколо своєї осі походить від приводу 5 через конічну передачу 6 і циліндричну передачу 7.

Валки обертаються навколо заготовки в напрямі перпендикулярному її подовжній осі так, що утворюється конусоподібна зона деформації. Завдяки обертальному руху валків і внаслідок їх косо́го розташування відбувається безперервне переміщення заготовки в трьох валках з одночасним обтисненням заготовки по поперечному перерізу. По усій зоні деформації співвідношення між діаметрами валків і заготовки однаково.

На планетарному стані можна прокатувати різні марки сталі при високій якості продукції (підшипникові, швидкорізальні, інструментальні, вуглецеві). Конічні валки виготовляються з легованої хромомолібденової жароміцної сталі з межею міцності після термічного поліпшення 1560 Н/мм^2 . Переточування валків роблять після прокатки 15000т металу. Косовалкова планетарна кліть прокатує профіль з семикратним витяганням. Перевалку конічних валків роблять після зносу, що допускається, а тривалість перевалки складає близько 15 хв.

На сучасних дрібносортних і дротяних станах широко застосовуються так звані компактні кліті, які встановлюють в проміжних групах клітей для отримання точних розмірів заготовки перед чистовими блоками [38]. Схема головної лінії компактно́ї кліті показана на рис. 3.16. Між двигуном і самою кліттю 3, 4 (рис. 3.16) встановлений попередній редуктор (у горизонтальних клітках - циліндричний, у вертикальних - конічно-циліндричний). У самій кліті приводний вал одночасно приводить проміжний шестерінчастий валок і самі валки. Валки встановлені в трирядних підшипниках які розташовані в поворотних ексцентрикових втулках. Установка двох валків відбувається симетрично поворотом ексцентрикових втулок через натискні гвинти. Осьові зусилля, що виникають при прокатуванні, сприймаються подвійними шарикопідшипниками, які встановлені без осьового проміжку.

У компактних клітях на валках врізають по одному калібру, а перевалку виконують клітями. При цьому, як і в усіх подібних випадках, розміри калібрів нової кліті настраюють попередньо на стендах. У компактних клітях використовують валки з укороченою довжиною бочки, укорочені шпинделя, а відстань між клітями не перевищує 1200 мм, що зменшує загальну довжину стана і знижує капітальні витрати

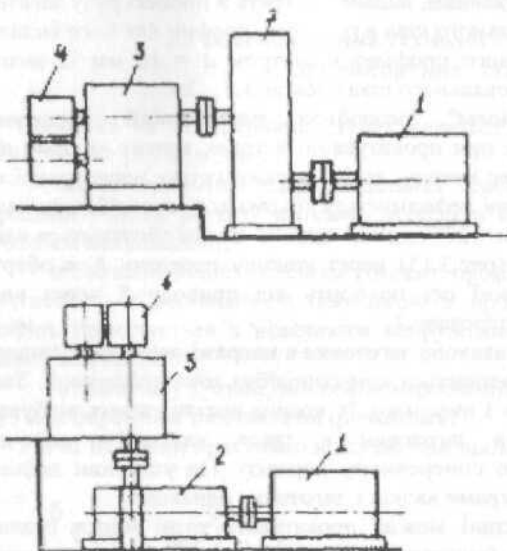


Рисунок 3.16- Компактні кліті в горизонтальному (а) і вертикальному (б) виконанні: 1 - електродвигун; 2 - попередній редуктор; 3 - робоча кліть; 4 - робочі валки

На сорто-дротовому стані 350/250заводу «Електро-сталь», призначеним для прокатування профілів з високолегованих і спеціальних сталей, замість чорнової групи клітей, встановлена кліть гвинтовий прокатки. Процес, здійснюваний в ній, дістав

назву «Радіально-зсувна прокатка» (РЗП). У процесі РЗП метал деформується трьома робочими валками, що обертаються в одному напрямі і розташованими навколо осі прокатки через 120° . При цьому кут подання (β) між осями валків і заготовкою, повинен складати $20 \dots 30^\circ$ (рис. 3.17). За такої умови інтенсивні зсувні деформації діють по усій глибині заготовки, і вона опрацьовується по усьому перерізу.

Процес РЗП дозволяє з литої структури заготовки отримати дрібнозернисту, рівномірно розподілені карбідні складові по усьому металу, підвищити пластичність металу в $1,6 \dots 2,5$ рази в порівнянні з подовжнім прокатуванням, отримати високі коефіцієнти витягання за прохід ($4 \dots 25$), а також якість поверхні і точність геометричних розмірів заготовки. Цей спосіб прокатки розроблений в Московському інституті сталі і сплавів (Росія) під керівництвом П. І. Полухіна і І.Н. Потапова. Метал, що деформується, здійснює гвинтовий рух в утвореному трьома валками калібрі. Сприятлива схема осередку деформації дозволяє прокатувати майже усе сталі, при цьому заліковуються внутрішні і поверхневі дефекти.

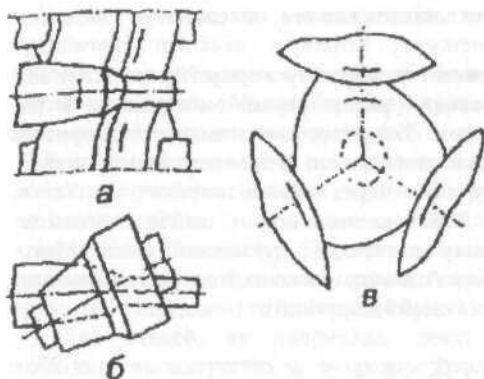


Рисунок 3.17- Схема осередку деформації стана радіально-зсувної прокатки (а, б) і переріз осередку деформації (в)

Високі коефіцієнти витягання за прохід (до 25) у поєднанні з інтенсивними зсувними переміщеннями за безпечують ефективне деформаційне опрацювання структури металу і підвищення в 1,5...2

разу його фізико - механічних і експлуатаційних властивостей [37].

Круглі заготовки завдяки своїй формі охолоджуються рівномірно, що забезпечує отримання поверхні хорошої якості. У свою чергу це дозволяє задавати в стан гарячу заготовку без спеціального попереднього контролю наявності дефектів.

Передумовою для отримання готового прокату з високою якістю поверхні являється чергування на неперервних станах клітей з горизонтальними і вертикальними валками, причому передбачена можливість їх переміщення таким чином, що вони завжди розташовуватимуться на незмінній лінії прокатки (рис. 3.13). Крім того, тут можливе застосування дистанційної вертикальної установки проміжку між валками, установка месдоз і автоматичне налаштування кліті. Кліть, що задовольняє цим вимогам, безстанинна, жорсткого типу.

Сучасний сортовий стан повинен забезпечувати виробництво готової продукції, яка по точності розмірів відповідає вимогам жорстких стандартів.

Можливість компенсації впливу технологічних чинників, реалізується застосуванням калібрувального блоку клітей за безперервним станом. Такий калібрувальний блок, запозичений з конструкцій трубопрокатних станів, складається з тривалкових прецизійних калібрувальних клітей (рис.3.12).

Чистові групи усіх сучасних станів розраховані на прокатку без кантування. Тільки блокова конструкція стана забезпечує високі швидкості прокатки і продуктивність при високому виході придатного дрібного сорту. Особливі переваги чистового блоку і інших клітей:

- виробництво профілю з вузькими допусками по розмірах і високою якістю поверхні по усій його довжині;
- компактність групи для швидкісного прокатування;
- однакові і взаємозамінні прокатні кліті, що не вимагають частої заміни яких-небудь елементів;
- твердосплавні прокатні шайби, що мають до чотирьох калібрів і забезпечують максимальну економічність;

- зміна калібрів і валків за декілька хвилин, що скорочує до мінімуму простої.

Усі робочі валки встановлені у збірному корпусі (рис. 3.18). В усіх клітках приводним є горизонтальний валок: верхній, наприклад, в парних клітках, тоді нижній - в непарних. З'єднання хвостовика осі 5 приводного валка 4 з двигуном відбувається за допомогою шліцевого пристрою 6,7. Два інші валки наводяться в обертання через конічні передачі 2. Усі валки жорстко фіксуються на осях. Робочою частиною є шайба із сталі марки Х12ВМ посаджена на маточину з середньо-вуглецевої сталі. Маточина встановлена на вісь 5 і фіксується з'єднанням шпони. Комплект з трьох валків утворює калібр (трикутний, стрілочний і круглий).

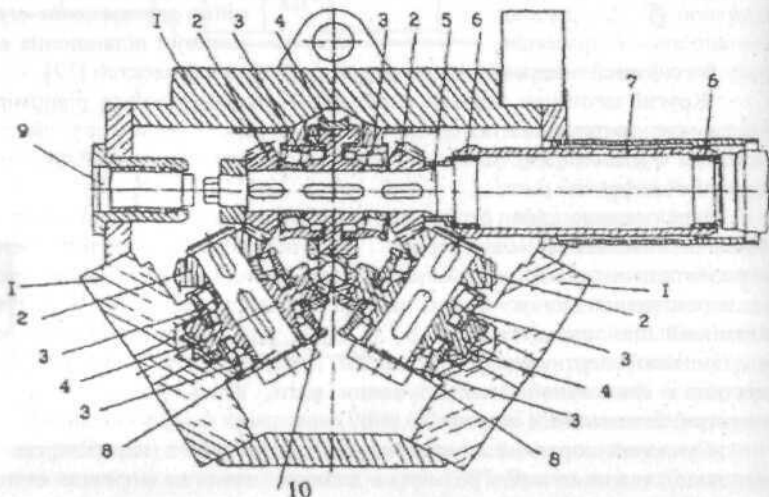


Рисунок 3.18- Кинематична схема приводу валків 1 - корпус кліті; 2 - конічна шестерня; 3 - радіальний підшипник; 4 - валок; 5 - провідний вал; 6 - шліцеве з'єднання; 7 - шліцевий вал; 8 - ведений вал; 9 - ключ для ручного проворота; 10 - калібр

Відомі блоки, які включають декілька двохвалкових клітей (7-10) і осі валків кожної парної кліті розташовують під кутом 90° відносно осей валків непарних клітей з $D = 150 \dots 220$ мм. [37]. Найбільше поширення отримали блоки фірми "Морган" (США) з робочими клітками дуо, зовнішні шайби яких виконані з карбідо - вольфрамового сплаву. Верхні і нижні валки наводяться від загальних трансмісійних валів через конічні і циліндричні передачі. Необхідне співвідношення швидкостей обертання валків різних клітей забезпечується застосуванням розподільного редуктора.

Для підвищення технологічних властивостей прокату на станах передбачені декілька варіантів регулювання температури. При такій технології покращуються механічні властивості конструкційної сталі і забезпечується гомогенна мікроструктура завдяки чистового прокатування при порівняно низьких температурах.

Водяне охолодження при термомеханічній обробці здійснюється за проміжними клітьми і перед чистовою групою. На відміну від звичайних прокатних станів запропонована технологія передбачає наявність зон вирівнювання температур. Таке вирівнювання між поверхнею прутка і його серцевиною до допустимого рівня потрібне для утворення рівномірної структури в серцевині готового виробу.

Ряд сталей, як наприклад, деякі нержавіючі і інструментальні, необхідно прокатувати у вузькому інтервалі температур. Тому високі обтиснення, що забезпечують поліпшений температурний профіль по усій довжині розкату, дають значні переваги порівняно із звичайними технологіями прокатки при порівняно невеликих обтисненнях. Додаткові ділянки водяного охолодження розташовані за калібрувальною групою і перед моталками. Вони служать для поліпшення мікроструктури металу і зменшення утворення вторинної окалини.

Одній з особливостей прокатки профілів на дрібносортих станах (стан 250) являється істотний вплив швидкості деформації металу (спільно з температурою) на зміну опору металу деформації (вплив на інтенсивність процесів зміцнення і розміцнення металу). Суть в тому, що зі збільшенням швидкості деформації за рахунок, наприклад, збільшення швидкості прокатки, одночасно відбувається два конкуруючих процеси. Зміцнення металу (збільшення напруження течії металу) внаслідок зміни мікроструктури металу (подрібнення зерна), зменшення кількості сприятливо розташованих площин ковзання і розміцнення металу за рахунок його додаткового розігрівання (збільшення температури) внаслідок підвищення роботи деформації. Отже, при неперервному плющенні повинні існувати деякі швидкості, що забезпечують мінімальні енергетичні витрати на прокатку. Це показано в роботі [19] при моделюванні процесу прокатки металу в умовах дрібносортного стану 250. В результаті виконаних досліджень показано, що в діапазоні початкових температур заготовок від 1000 до 1200°C [19]:

- середнє по осередку деформації значення напруження течії металу в робочих клітьх по ходу прокатки монотонно зростає з поступовим зменшенням інтенсивності росту в чистових групах робочих клітей (рис. 3.13);

- будь-яке пониження температури початкових заготовок призводить до росту середнього напруження течії металу в осередку деформації усіх робочих клітей неперервного сортового стану (рис. 3.13);

- у чорнових клітьх інтенсивність росту середнього напруження течії металу вище в порівнянні з чистовими за рахунок інтенсивнішого охолодження розкату при меншій швидкості прокатки;

- зі збільшенням швидкості прокатки в осередку деформації кожної робочої кліті збільшується швидкість деформації, що призводить до росту напруження течії металу. Одночасно, за рахунок деформаційного тепловиділення і скорочення втрат тепла в довкілля, зростає температура металу, що призводить до зменшення напруження течії металу. Підсумкове значення середнього напруження течії металу в осередку деформації в кожній робочій кліті при зміні швидкості прокатки визначається як результат взаємно конкуруючого впливу зміни швидкості деформації і зміни температури металу.

Вплив чинників конструктивно-структурного складу стана на енергоспоживання при неперервному сортовому прокатуванні проявляється відповідно до їх впливу на величину середнього по стану значення опору металу деформації - збільшує питому витрату енергії при збільшенні теплових втрат в лінії стана і навпаки.

В умовах типового дрібносортового стана 250 з ростом швидкості прокатки і температури нагріву початкових заготовок питома витрата енергії на прокатку зменшується.

Вказаний характер зміни питомої витрати енергії на прокатку в умовах, коли розподіл деформації металу в робочій лінії стана не змінюється і не змінюється конструктивно-структурний склад стана, пояснюється закономірностями зміни середнього напруження течії металу в осередках деформації робочих клітей залежно від швидкості прокатки і температури металу, обумовленою температурою нагріву заготовок і деформаційним розігріванням, а також що відповідає зміні продуктивності стана.

Швидкість прокатки на виході із стана, при якій забезпечується мінімальне енергоспоживання на станах цього типу, знаходиться в інтервалі 25...35 м/с (рис. 3.19). Зменшенню питомого енергоспоживання сприяє також підвищення витяжної здатності в осередках деформації робочих клітей як за рахунок ефективніших схем деформації, так і за рахунок зменшення діаметру робочих валків.

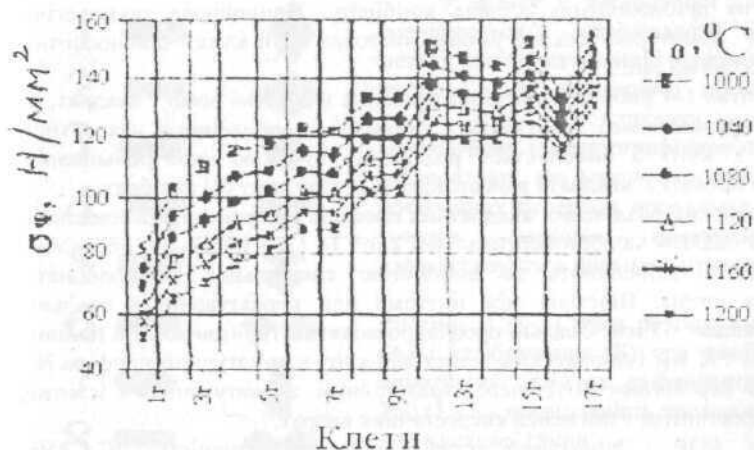


Рисунок 3.19 - Зміна значення середнього напруження течії в осередках деформації робочих клітей при різних температурах початкових заготовок (стан 250-5 меткомбінату в г. Кривий Ріг) ($d=14\text{мм}$, $v_n=16\text{м/с}$)

До основних напрямів удосконалення параметрів конструктивно-структурного складу неперервного сортового стана і технології прокатки по питомому енергоспоживанню слід віднести:

- використання схем деформації зі зменшеною витратою енергії (прокатка-розділення, прокатка в чотиривалкових калібрах, прокатка у валках мінімально діаметру, допустимого за умовами захвату розкату);

- зниження витрат енергії на нагрів заготовок перед прокатуванням (пряме прокатування, гарячий посад заготовок);

- зниження теплових втрат в лінії стана за рахунок компактного розміщення робочих клітей (особливо в чорнових групах) і поліпшення теплоізолюючої здатності пристроїв між робочими клітьми і групами робочих клітей);

- узгодження швидкості прокатки і температури нагріву заготовок (вибір варіанту, при якому питомі енерговитрати на прокатку мінімальні);

- прокатка зварених "встик" заготовок.

При виробництві арматурної періодичної сталі дрібних перерізів проблеми інтенсифікації, енерго- і ресурсозберігання, розширення профільного сортаменту прокатних станів можуть вирішуватися шляхом використання технології многорівчакового прокатування-розділення, заснованого на отриманні в спеціальних калібрах розкату, що складається з декількох розкатів певного перерізу, сполучених між собою перемичками, і їх подальшому подовжньому розділенні в потоці стана [40].

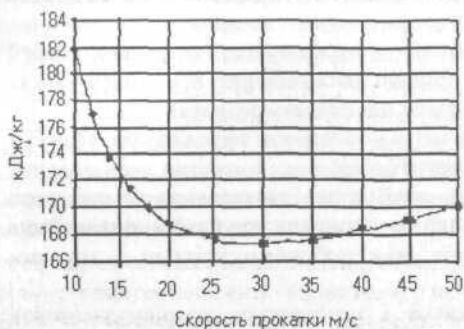
Раніше Донецьким національним технічним університетом спільно з НВО "Донікс" і МК "Криворіжсталь" розроблена і впроваджена технологія дворівчакового прокатування-розділення (ДПР) арматурної сталі дрібних

перерізів на дрібносортих, станах комбінату. Принципова технологічна схема ДПР арматурної сталі в умовах чистових груп клітей дрібносортих станів показані на рис.3.20.

У клітях 1-4 робиться звичайна прокатка в системі ромб - квадрат, а в кліті 5 (вертикальної) відбувається формування подвійного квадратного профілю. У кліті 6 виконується розділення профілю «контрольованим» розривом і прокатка квадрата в овалному (7) і круглому (8) калібрах.

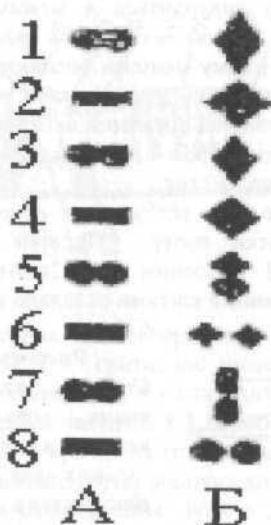
Розведення розділених квадратних профілів у вертикальній площині і завдання в овальні калібри вертикальної кліті 14 (7) і подальшу передачу в чистову кліть здійснюють за допомогою спеціальних двожолобчатих передатних столів. Відстань між нитками при прокатуванні в овальних калібрах складає 63 мм. Овальні профілі розводять в горизонтальній площині на відстань 191 мм і прокатують в чистовій кліті в арматурний профіль №8. Основними перевагами ДПР перед традиційним прокатуванням є істотний приріст виробництва і зниження енергетичних витрат.

При ДПР арматурної сталі №12 продуктивність ДС 250-4 підвищувалася на 33 %, питомі енерговитрати на деформацію металу знизилися на 22,5 %. При ДПР арматурної сталі №10 на ДС 250-3 продуктивність ДС 250-4 підвищувалася на 35%, питомі енерговитрати на деформацію металу знизилися на 30%.



Рисунком 3.20- Вплив швидкості прокатки на питомі витрати енергії деформації металу в лінії швидкісного неперервного сортопрокатного стана (стан 250-5 комбінату "Криворіжсталь": $t_0 = 1160^{\circ}\text{C}$, №14)

Технологія ДПР дозволила здійснити прокатку дрібної арматурної сталі №8 з середньо-годинною продуктивністю однієї лінії стана близько 35 т/ч без збільшення кількості клітей. При цьому питомі енерговитрати на деформацію металу склали 330...350 кДж/кг, що відповідає аналогічним витратам при традиційному прокатуванні арматурної сталі №10. Зниження втрат тепла металом при ДПР сприяє зменшенню різниці температури між переднім і заднім кінцями розкату (температурного клину).



У зв'язку зі зменшенням циклу ДПР зменшуються утворювання окалини металу при прокатуванні і втрати металу при нагріві, вихід придатного збільшився на 2...4 кг/т. В процесі механічних випробувань і металографічних досліджень встановлено, що макроструктура металу в поперечних перерізах проміжних розкатів і готових профілів арматурної сталі характеризується щільною структурою.

Рисунок 3.21-. Схеми розташування клітей (А) і калібрування (Б) при реалізації ДПР арматурної сталі на дрібносортичних станах 250 (1 - 8 - послідовність проходів в клітках 8 - 15 чистової групи)

Значення показників механічних властивостей готового профілю,

отриманого однорівчаківий прокаткою і ДПР, а таке саме лівою і правою ниткою після подовжнього розділення близькі один до одного і відповідають вимогам ГОСТ і ТУ. Фактична точність готового профілю при дворівчаківому прокатуванні - розділенні відповідає вимогам ГОСТ, та, отриманого однорівчаківий прокаткою і дворівчаківий прокаткою - розділенням, а так само лівою і правою ниткою після подовжнього розділення близькі один до одного і відповідають вимогам ГОСТ і ТУ

4 ВИРОБНИЦТВО ДРОТУ

Перші дротяні стани лінійного типу склалися з чотирьох ліній (заготовочна тривалкова кліть, чорнова лінія з трьох клітей, передчистова лінія з п'яти клітей і чистова лінія з чотирьох клітей) [3,14,49]. Усі кліті в останніх трьох лініях - змінне дуо і обладнані обвідними пристроями для передачі розкату з однієї кліті в іншу. Стани прокатували дріт діаметром 6 і 6,5 мм із заготовки 160x160x1000 мм масою 195 кг, з якої отримують два мотки готового дроту. Швидкість дроту, що виходить з останньої кліті 8...9,5 м/с

При ручній роботі вальцівників ця швидкість гранична, а маса бунтів обмежується великим падінням температури металу впродовж 35...48с, коли дріт прокатується в чистовому проході [3,14]. На заготовочній кліті використовують ящичні, шестикутні і квадратні калібри, а в інших клітках систему овал - квадрат, що забезпечує інтенсивну деформацію металу (рис. 3.22). Усі калібри врізані в горизонтальні валки і тому після кожного проходу потрібне кантування на 90° (овал в квадрат) і на 45° (квадрат в овал).

Коефіцієнт витягання в квадратних калібрах знаходиться в межах $\mu = 1,3 \dots 1,5$, а в овальних калібрах - $\mu = 1,3 \dots 1,8$. Великі витягання в овальних калібрах обумовлено більшою його шириною і тому меншим розширенням. Після станів лінійного типу з'явилися напівнеперервні дротяні стани, в яких чорнова і проміжні групи мали послідовне розташування клітей неперервним процесом прокатки. Стани прокатували дріт діаметром 6,5 мм із заготовки масою 195 кг, а його річне виробництво складало 320 тис.т

Одночасно з будівництвом станів лінійного типу відбувалася розробка і будівництво неперервних станів для прокатки дроту. Перший 16-ти клітьовий дротяний стан був побудований Д. Бедсоном в 1862г.(Англія). Відстані між сусідніми послідовно розташованими клітьями складало всього 630 мм.

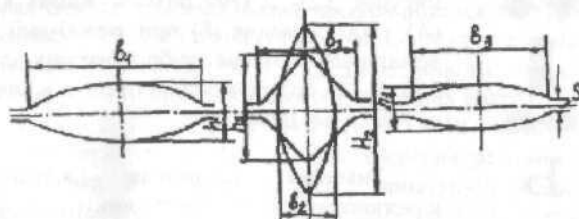


Рисунок 3.22 - Система калібрування овал-квадрат в горизонтальних валках лінійного стана

На стані із заготовки 34x34x9000мм прокатували дріт діаметром 4,75мм із застосуванням ручного завдання розкату у валки [37,49]. У 1878г. Чарльз Морган (Англія) побудував досконаліший 16-ти клітьовий неперервний дротяний стан для прокатування дроту діам.5,25 мм із заготовки 38x38x9000 мм. На цьому стані усі кліті мали горизонтально розташовані валки, а кантування розкату на 45° і 90° між клітьями робили за допомогою проводок гелікоїдального типу. Надалі відбувалося постійне удосконалення технологічного процесу і устаткування неперервного прокатування з підвищенням швидкості прокатки, розмірів перерізу заготовки і якості продукції. (в 1930г. максимальна швидкість прокатки складала 10м/с),

4. 1.Прокатка на неперервному чотирьохнитковому стані

Збільшення продуктивності при одночасному збільшенні маси заготовки (бунту) і підвищення якості готової продукції було забезпечене застосуванням неперервних чотирьохниткових дротяних станів (НПС). Прикладом такого стана (застарілій конструкції) є НДС 250 Єнакіївського металургійного заводу. На НДС 250 може бути застосоване як поштучне, так і безперервне (нескінченне) прокатування [14]. Стан прокатує дріт діаметром 6...10 мм у бунтах масою 600...1200 кг з маловуглецевого, низьколегованого і телеграфного дроту, а також періодичний арматурний профіль №№ 6-9.

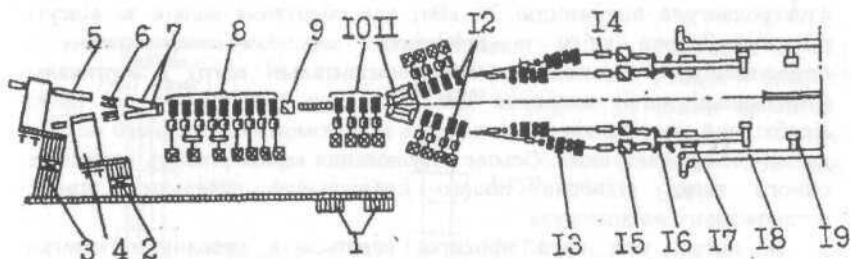


Рисунок 4.1- Неперервний дротяний стан 250: 1 - завантажувальні ґрати; 2 - ваги; 3 - ґрати, що подають; 4 -нагрівальні печі; 5 - роликівна піч для підігрівання ; 6 - стикозварювальні машини; 7 - печі підігрівання струмами високої частоти; 8 - чорнова група робочих клітей; 9 -летючі ножиці; 10 - перша проміжна група робочих клітей; 11 -направляючі пристрої; 12 - другі проміжні групи робочих клітей; 13 - чистові групи робочих клітей; 14 - труби для охолодження водою ; 15 - летючі ножиці; 16 - моталки, 17 - бунто - в'язальні машини; 18 -крюкові конвейери; 19 - пристрій для пакетування бунтів

Прокатка дроту на стані ведеться в 4 нитки в 37 робочих клітях (21 кліть в кожній нитці) і з останньої кліті дріт виходить із швидкістю 20...45 м/с (залежно від розмірів) (рис.4.1).

Заготовки розміром 80x80 мм нагрівають до температур 1160...1180 °С видають на приймальний рольганг. На ділянці між печами і станом встановлені стикозварювальні машини, для з'єднання торців заготовок. Оскільки печі знаходяться на значному видаленні від стану, а швидкість заднього кінця розкату в першій кліті 0,3...0,4м/с, то заготовку підігрівують в індукційних печах до 1220°С. Продуктивність індукційних печей 150...190 т/ч. Стан має 8 груп робочих клітей : чорнова - 9 клітей (діаметр валків - 430 мм, потужність двигунів 1 - 740 кВт; 6 клітей - 1470 кВт; 2 кліті - 2000 кВт); перша проміжна група - 4 кліті (D = 320 мм; N = 1470 кВт); друга проміжна - 4 кліті (D = 320 мм; Ni = 740 кВт); чистова - 4 кліті (D = 250 мм, Ni = 156/450 кВт). В перших двох групах одночасно прокатується 4 нитки (це знижує точність розмірів розкатів в порівнянні з прокаткою в одну нитку), в другій проміжній - 2 нитки і в чистових - тільки по одній нитці.

Кожна кліть має станини закритого типу. Зміна валків робиться разом з клітями. Для передачі обертання від шестерінчастої кліті до робочих валків використовуються зубчасті шпинделі з шліцьовим з'єднанням. Для установки кліті на вісь прокатки остання пересувається в напрямі, перпендикулярному осі прокатки. Після 2, 3 і 4-й клітей встановлені кантуючі ролики, призначені для кантування розкату на 90 і 45°.

Кожна чистова група складається з двох клітей з вертикальними і двох клітей з горизонтальними валками діаметром 250 мм. Кожна кліть чистової групи має привод до одного валка. Другий валок має привод від додаткового

електродвигуна потужністю 24 кВт, для обертання валків за відсутності розкату. Робоча кліть за допомогою механізму переміщення може пересуватися в горизонтальному (горизонтальні кліті) і вертикальному (вертикальні кліті) напрямках для установки калібрів по осі прокатки. Необхідний зазор валків встановлюють за допомогою натискного механізму з двома електродвигунами. Осьове регулювання валків роблять переміщенням одного валка відносно іншого спеціальним важільним пристроєм, встановленого на подушках.

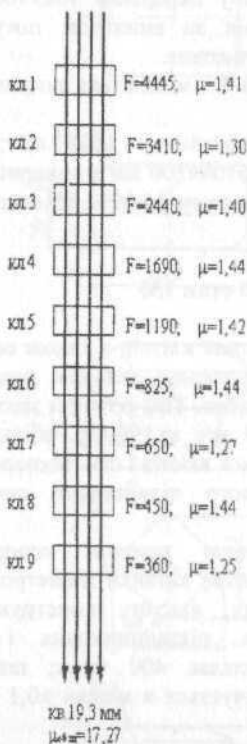
У клітях усіх груп прокатка ведеться з невеликим натяганням, петлеутворення передбачається між групами клітей. Для розміщення петлі і приймання розкатів при прокатуванні служать кармани для петлі. Готова катанка виходить з чистової кліті з температурою 1000...1050°C і охолоджується водою із труб 14 до температури ~ 700°C. Річне виробництво стана 800...900 тис. тонн прокату.

4.2 Технологія прокатки-розділення в чорновій групі неперервного дротяного стана

Збільшення перерізу і розмірів початкової заготовки на неперервних дротяних станах (НПС) традиційного типу забезпечує підвищення продуктивності стана, маси мотка дроту, покращує умови для термічної і термомеханичної обробки катанки в потоці дротяного стана. Проте збільшення перерізу початкової заготовки спричиняє необхідність збільшення витяжної здатності стана і потужності нагрівальних печей. На НДС 250 Єнаківського металургійного заводу запропонована оригінальна технологія прокатки металу із заготовки великого перерізу з використанням подовжнього розділення розкату в чорновій групі і що не вимагає установки в лінії стана додаткових клітей [44].

Технологія передбачає прокатку дроту із заготовки 100x100 мм (замість заготовки 80x80 мм) з розділенням розкату в чорновій групі (рис. 4.2) для подальшого прокатування в клітях чистової групи в одну нитку. На рис. 4.2 показані схеми прокатки із заготовки з розмірами 80x80 мм (існуюча технологія) і із заготовки 100x100 мм (нова технологія). За існуючою технологією в клітях чорнової групи прокатують одночасно чотири нитки, кожна з яких спрямовується у свою чистову групу [3,14] (рис. 4.2). За новою технологією в чорновій групі (кліті 1-7) прокатують дві нитки, а перед кліттю 8 виконують подовжнє розділення розкату і далі прокатують чотири нитки.

Исходная заготовка
80x80 мм
F=6272 (кв. мм.)



Исходная заготовка
100x100 мм
F=9800 (кв. мм.)

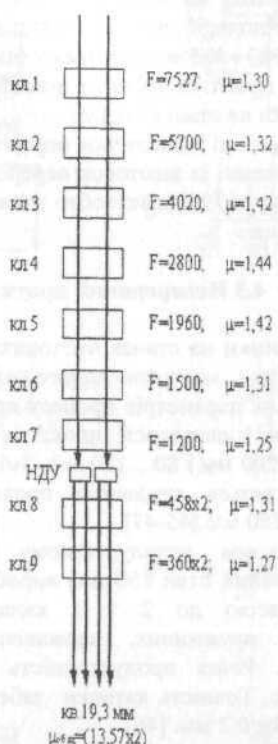


Рисунок 4.2-Існуюча (а) і нова (б) схеми прокатки в чорновій групі стана 250 ВАТ ЕМЗ

Для процесу прокатки-розділення розкату розроблена нова калибровка (рис. 4.3), до особливостей якої відноситься таке.

Формування здвоеного профілю розкату починається в клітці №5, калибр якої виконаний у вигляді діагонального квадрата із округлими кутами і із спеціальними гребнями по середині кожної грані квадрата для формування відповідних угнутостей на

гранях розкату по усій його довжині.

Одна пара протилежних гребенів з радіусом закруглення у верхині 14,8 мм призначена для отримання симетричного перерізу здвоеного розкату. Подовжні угнутості перерізу розкату, сформовані іншою парою гребенів, призначені для виключення переповнювання металом калибрів при прокатуванні в подальших клітках 6 і 7. У розрізному (першому) калибрі 6 формується здвоєний профіль розкату у вигляді двох сплюснутих кругів. У другому розрізному калибрі 7 формується здвоєний профіль з двох кругів з перемичкою, рівною 2 мм.

Власне подовжнє розділення розкату здійснюється не приводним ділильним пристроєм (НДП) з двома парами ділильних роликів.

Отримані круглі профілі в клітці 7 прокатують в ромбічному калибрі із закругленою верхиною в клітці 8, а потім в квадратному калибрі клітці 9, розміри якого відповідають діючому калибуванню. Загальний коефіцієнт витягання в клітках чорнової групи зменшується з $\mu_{1-9} = 17,27$ по діючому

калібруванню до $\mu_{1,9} = 13,57$ - по новій. Середній коефіцієнт витягу також знижується з $\mu = 1,374$ до $\mu = 1,329$.

Аналіз результатів розрахунків показав, що енергосилові параметри прокатки при переході на початкову заготовку перерізом 100x100 мм з використанням технології прокатки-розділення за винятком потужності прокатки в клітях №3 і №5 змінюються у бік зниження.

Для випадку прокатки катанки діаметром 8 мм загальна розрахункова потужність прокатки на стані складає:

- при прокатуванні із заготовок перерізом 80x80 мм - 16389 кВт;

- при прокатуванні із заготовок перерізом 100x100 мм з використанням прокатки-розділення - 13989 кВт, тобто знижується на 14,65%. Збільшується і продуктивність стана.

4.3 Неперервний дротяний стан 150

З впровадженням на станах чистових блоків клітей, а також освоєння процесу Стілмор для контрольованого охолодження катанки покращали багато технологічних параметрів процесу прокатки. Так, розміри заготовки з квадрата 80x80 мм і швидкості прокатки 50 м/с в 1969 р. збільшилися відповідно до 200x200 мм і 80...120 м/с. Змінився якісно і сам технологічний процес. Спостерігається тенденція подальшого підвищення швидкості прокатки до 140...150 м/с [45-47].

На Білоруському металургійному заводі працює неперервний двохнитковий дротяний стан 150 для виробництва катанки діаметром 5...10 мм у бунтах масою до 2 т з канатних, якісних конструкційних, інструментальних, пружинних, нержавіючих, підшипникових і інших легованих сталей. Річна продуктивність складає 400 тис.т, швидкість прокатки до 80 м/с. Точність катанки забезпечується в межах $\pm 0,1$ мм при овальності не більше 0,2 мм. [46].

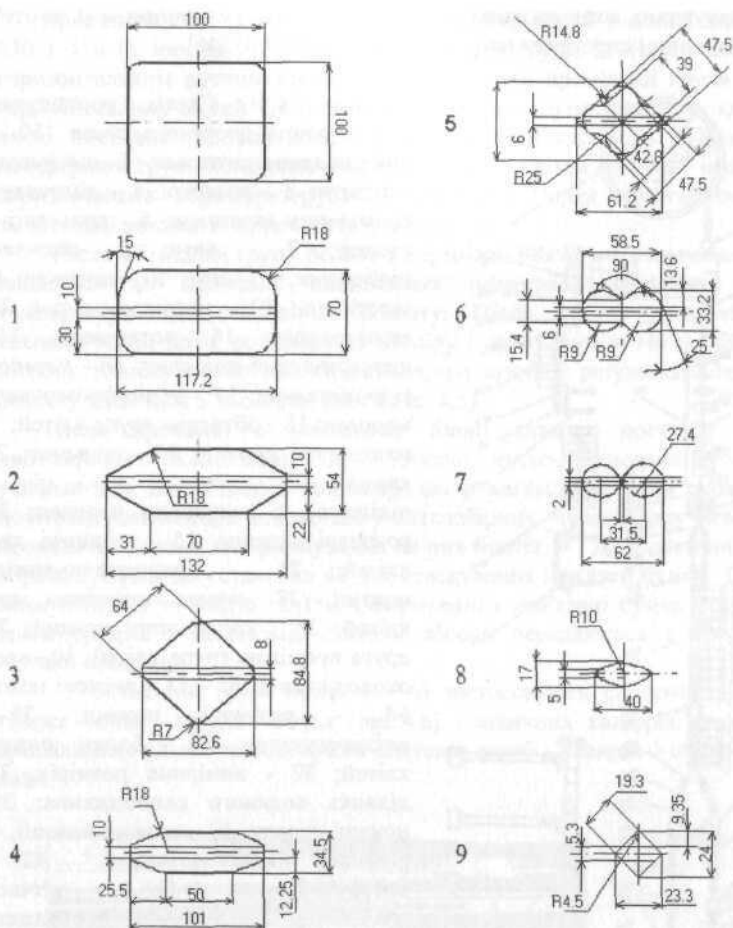


Рисунок 4.3- Калібрування валків чорнових клітей дротяного стану 250 ВАТ ЕМЗ при використанні початкових заготовок перерізом 100x100 мм із застосуванням процесу прокатки-розділення.

Стан 150 має оригінальне планування головної частини. Для прокатки катанки із заготовки перерізом 150x150 - 200x200 мм і завдовжки до 7 м стан обладнано однитковою обтискною групою і двонитковою прохідною піччю. Таке рішення дозволило уперше в практиці дротяного виробництва встановити в потоці стану термофрезерувальні машини для зачистки металу і створити необхідні умови для виробництва катанки спеціального призначення із заготовок з чистою і вільною від знеуглецювання поверхнею.

Таке планування дозволяє також отримувати бунти великої маси із заготовки малої довжини і спростити нагрівальну піч. (рис. 4.4) [46].

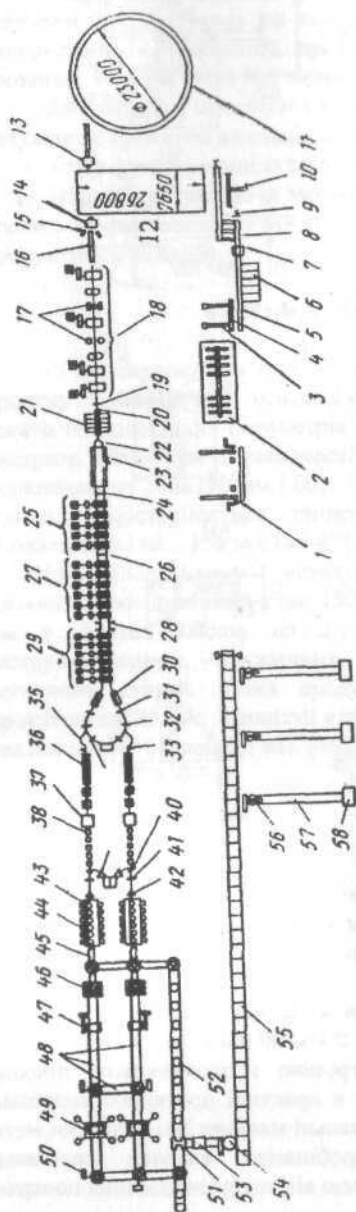


Рисунок 4.4- Схема розташування устаткування дрогоного стану 150: 1 - лінія подання заготовок; 2 - шліфувальні верстати; 3 - шлепер; 4 - зіштовхувач бракованих заготовок; 5 - рольганг; 6 - стелаж; 7 - ваги; 8 - нахилений підйомник; 9 - упор; 10 - штовхач; 11 - відстійник; 12 - нагрівальна піч; 13 - виштовхувач; 14 - витазкивач; 15 - передстановий рольганг; 16 - установка гідрозбивання; 17 - термофрезерувальні машини; 18 - обтискна група клітей; 19 - маятникові ножиці; 20 - рольганг; 21 - карман; 22 - стрілка; 23 - піч, що підігріває, з роликівним черенем; 24 - розривні ножиці; 25 - чорнова група клітей; 26 - кривошипно-важільні ножиці; 27 - перша проміжна група клітей; 28 - кривошипні ножиці; 29 - друга проміжна група клітей; 30 - водяні охолоджувачі; 31 - 33 - дискові ножиці; 34 - розривні ножиці; 35 - петлерегулятор; 36 - блоки чистових клітей; 37 - вимірник розмірів; 38 - ділянка водяного охолодження; 39 - ножиці скрапу; 40 - дискові ножиці; 41 - ролики, що тягнуть; 42 - виткоутворювач; 43 - сітчастий транспортер повітряного охолодження; 44 - вентилятори; 45 - транспортер бунтів; 46 - виткозбірник; 47 - ваги готової продукції; 48 - транспортери; 49 - пристрій для стискування бунтів; 51 - бунтознімальний пристрій; 52 - транспортер піддонів; 53 - візок для знімання бунтів; 54 - поворотний пристрій; 55 - пластинчатий транспортер; 56 - бунтознімальний пристрій; 57 - ланцюговий транспортер; 58 - майданчик для бунтів

Прокатний стан складається з обтискної групи 18 у складі шести клітей 630 і 450 (з них дві вертикальні); чорнової групи 25 (п'ять клітей 450 з горизонтальним розташуванням валків); першої проміжної групи 27 (шість горизонтальних клітей 380); другої проміжної групи 29 (шість клітей 320); двох чистових однопиткових 10-клітьових блоків 36. Після кожної неперервної групи встановлені ножиці, а після клітей № 1 і 3 - вертикальна і горизонтальна термофрезерувальні машини. Перед чистовими блоками змонтовані автоматичні петлеутворювачі. .

Після обтискної групи розкат з перерізом 98x98 мм і завдовжки до 28 м подається до прохідної двониткової роликової печі для підтримки температури заднього кінця розкату. Після другої проміжної групи технологічний потік розділяється на ліву і праву нитки. На початку кожної нитки є ділянка водяного охолодження, що дозволяє регулювати температуру розкату задається в чистовий блок (рис. 4.5).

Після прокатки в чистовому блоці катанка поступає на лінію двостадійного охолодження. За допомогою виткоутворювача витки катанки укладаються на сітчастий конвейєр, що рухається, де вона охолоджується повітрям вентилятора і подається у виткозбірник. Через шахту виткозбірника проходять піддони для формування на них бунтів. Далі піддони з бунтами спрямовуються до установки 46 для стискування і ув'язки бунтів. Потім вони зв'язуються з точністю $\pm 0,1\%$. Сформовані і пов'язані бунти за допомогою транспортерів і механізмів ділянки зборки передаються в проліт складу готової продукції.

У обтискній групі (кліті 1 - 6) застосовують системи калібрування гладка бочка - гладка бочка (рис.4.6) і ящичних калібрів. У подальших двовалкових клітях застосовують системи: ромб - квадрат і овал - ребровою овал.

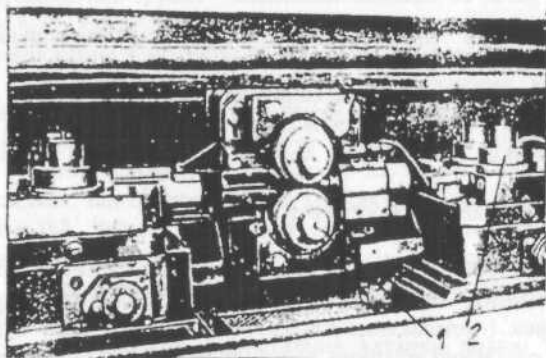


Рисунок 4.5- Фрагмент чистового блоку клітей: 1 - горизонтальні валки; 2 - вертикальні валки.

Калібрування валків чистових блоків виконано по системі: овал - круг. Переріз підкату перед

чистовим блоком клітей - круг діаметром $13,9 \pm 0,3$ мм. Діаметр валків чистового блоку в клітях: №а 1- 2 - 190 ... 210 мм; №3 - 10 -150...170 мм. Застосування високотвердих валків малого діаметру зменшує розширення в клітях блоку і створює стабільніші умови прокатки сталей проектного

сортаменту з різним розширенням. Дослідження показали, що це калібрування унеможливило появу задирок.

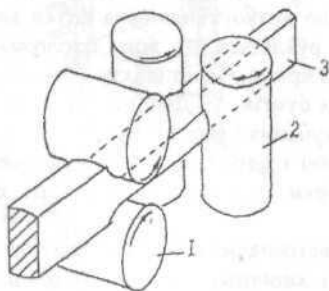
На цьому стані в перших трьох клітях обтискної групи використовують систему калібрування "гладкі валки - гладкі валки" (рис.4.6). Серійна технологія з ящичними калібрами передбачала використання валків із сталі марки Ст.50ХН діаметром 630 мм і довжиною бочки 1000 мм. При цьому загальна довжина буртів між калібрами складала 34% (кліть №1) і 47% для клітей 2 - 4. Поверхня валків наплавлена дротом із сталі марки Ст.30ХСА.

У табл.4.1 представлений режим деформації заготовки для прокатки в калібрах (чисельник) і в гладких валках (знаменник) з бліюма 180x200 мм з вуглецевої сталі. При прокатуванні по системі "гладка бочка - гладка бочка" спостерігали такі особливості деформування металу :

- збільшилося розширення і показник розширення ($\Delta b/\Delta h$), особливо в клітях 2 і 3, майже в 2 рази;

- внаслідок цього необхідно було збільшити абсолютне висотне обтиснення;

Рисунок 4.6- Принципова схема прокатки: 1 - горизонтальні валки; 2 - вертикальні валки; 3 - розкат



- усунення впливу бічних стінок калібрів і виключення впливу додаткових сил тертя забезпечує зниження навантажень на електродвигунів на 2... 4%.

- для забезпечення прокатки високого розкату з $b/h = 1,57$ застосовані спеціальні провідки;

- покращав геометричний профіль розкату (усунено переповнювання калібру);

- довжина "буртів" між ділянками прокатки розкату зменшилася на 20 ...30%;

- забезпечено зменшення в обтискній групі діаметрів валків до 530 мм;

- стійкість гладких валків, наплавлених дротом із сталі марки Ст. 30 ХСА збільшилася в 2 ...4;

- час і витрати на ремонт валків скоротилися в 2 ...2,5 разу.

Нині спостерігається тенденція будівництва однопіткених дротяних станів з горизонтальними, що чергуються з вертикальними валками в звичайних двовалкових і компактних клітях. Збільшується маса бунтів до 3...4 т, застосовують суцільний контроль якості дроту і сорту і вимір розмірів готового профілю. Проектні швидкості прокатки (м/с) : при діаметрі круга 5 - 5,5 мм - 100...120; 6 мм - 75; 12 мм - 30.

Таблиця 4.1- Режим деформації в калібрах (чисельник) і гладких валках (знаменник)

№ кліті	h, мм	b, мм	Δh , мм	ϵ , %	λ	Δb , мм	$\Delta b/\Delta h$
1 гладка	145	208	35	19,4	1,19	8	0,23
	140	200	40	22,2	1,17	20	0,25
2 бочка	146	155	62	29,8	1,28	10	0,16
	145	161	75	34,1	1,32	21	0,28
3 - II	112	160	43	27,7	1,31	14	0,33
	110	163	49	30,4	1,28	18	0,37
4 калібр	110	125	50	31,2	1,3	13	0,26
	110	125	53	32,5	1,38	13	0,24

4.4 Регульоване охолодження катанки

Катанка використовується як початковий матеріал при виробництві канатів, пружин, дроту і інших виробів. Тому вона повинна відрізнятися високою якістю поверхні, мінімальною кількістю окалини, точними розмірами, а також мати необхідні механічні властивості, які забезпечуються контрольованим охолодженням катанки водою і повітрям після прокатки для отримання структури сорбіту. Нині розроблені декілька способів контрольованого охолодження катанки, з них найбільш поширений спосіб Стілмор, уперше застосований в Канаді.

Катанка, що виходить із стана, спочатку охолоджується водою в направляючих трубах завдовжки близько 40 м до температури 780...850°C (рис.4.7). Охолодження водою робляться з форсунок з проміжками для вирівнювання температури.

У кінці ділянки водяного охолодження встановлений стрічковий трайбапарат, який змінює напрям руху катанки на кут 90° і направляє її в розкладаючу голівку, працюючу за принципом Еденбора.

Витки катанки укладаються на стрічку конвейера, що безперервно рухається, завдовжки до 70 м. Швидкість руху стрічки плавню регулюється в межах 0,3...0,9 м/с. На конвейері катанка проходить дві стадії охолодження : спочатку в спокійному повітрі, а потім інтенсивним продуванням, для цього під конвейером розміщені п'ять повітродувок максимальною продуктивністю по 85 тис. м³/ч.

Інтенсивне охолодження катанки водою в трубах і повітрям на конвейері уповільнює окалиноутворення і гальмує процес розпаду вюстита (FeO) на залізо (Fe) і магнетит (Fe₃O₄). Час прискореного охолодження катанки і витрата кислоти скорочуються приблизно в 2 рази

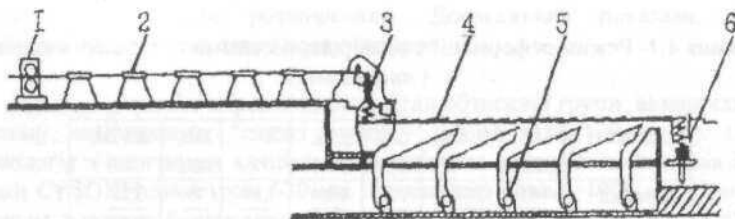


Рисунок 4.7- Схема обладнання прискореного охолодження катанки за способом Стілмор : 1 - остання кліть стана (чистовий блок); 2 - ділянка водяного охолодження катанки; 3 - вхідний механізм і розкладаюча головка (виткоутворювач); 4 - конвейер витків; 5 - вентилятор для подання повітря; 6 - станція формування бунту (виткозбірник)

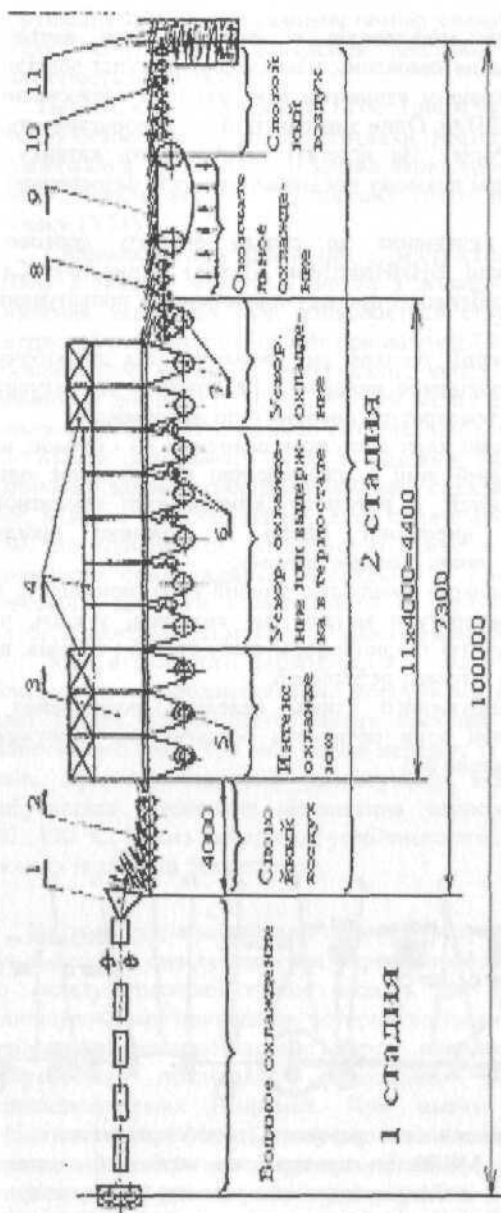
. Створення і широке поширення пристроїв для швидкого охолодження і сорбітизації катанки з прокатного нагріву, дозволило отримати катанку, що витримує сумарну деформацію при волочінні до 95%, понизити кількість окалини до 2...6 кг/т, зменшити глибину знеуглецьованого шару до 1...1,5% і стабілізувати механічні властивості металу в об'ємі кожного бунту в межах $\pm 30 \text{ Н/мм}^2$.

Окрім установки Стілмор, на заводах працюють і інші по конструкції пристрою охолодження, що відрізняються, головним чином, меншою протяжністю.

На дротяному стані 150 БМК (Білорусія) застосована вдосконалена технологія охолодження катанки. Основні її особливості - наявність ділянок інтенсивного охолодження і конвективного термостатування, які дозволяють на довжині всього 40 м забезпечити необхідну технологічну гнучкість і реалізувати гамму режимів регульованого охолодження катанки в діапазоні від прискореного до уповільненого з ізотермічною витримкою, і забезпечити набуття необхідних властивостей усього марочного сортаменту стана від вуглецевих до легованих сталей спеціального призначення (рис.4.8) [45].

Устаткування нових ліній двостадійного охолодження в потіці стана 150 дозволяє реалізувати процес термообробки катанки, принципово відтворюючий основні моменти процесу патентування катанки в розплавах свинцю або селітри. Так, необхідну температуру аустенізації забезпечує лінія водяного охолодження, попутно забезпечуючи мінімальну кількість окалини на поверхні прокату. Швидке охолодження витків катанки до температур 425...550°C забезпечують блоки інтенсивного охолодження № 1,2 і 3 з вентиляторам, що створюють повітряний потік на виході з сопел до 75 м/с, тим самим створюючи необхідне переохолодження аустеніту

Відмінність процесів полягає в тому, що традиційне патентування катанки проводиться «в нитку», а повітря - продуванням повітря через пакет витків різної щільності, що може призводити до більшої різниці механічних властивостей по довжині мотка. Виміри, що проводяться в процесі використання технології, показали, що механічні властивості по довжині



мотка на різних марках сталі і діаметрах катанки різні, але з вірогідністю 0,95 різниця величин напруження міцності не перевищувала значень, що допускалися :

- для катанки $d = 5,5$ мм із сталі БСт1сп - 50 Н/мм^2 ;

- для катанки $d = 6,5$ мм із середньо- вуглецевої сталі - $75 \dots 100 \text{ Н/мм}^2$;

- для катанки $d = 8,0$ мм із сталі 70ХГФАш - 125 Н/мм^2 .

Рисунок 4.8- Лінія двостадійного охолодження проката стана 150 БМК: 1 - виткоукладач; 2 - приймальний стіл; 3 - камера струминного охолодження (КСО), яка має 11 блоків з роликовим транспортером; 4 - кришки блоків КСО; 5 - вентилятори інтенсивного дуття; 6 - вентилятори комбінованого дуття; 7 - вентилятори прискореного охолодження; 8 - передаточна секція рольганга; 9 - сітчастий транспортер; 10 - рольганг подання витків в шахту; 11 - шахта виткозбірника

4.5 Ливарно-прокатний агрегат для виробництва дроту

У зв'язку зі збільшенням вартості енерговитрат і транспортних послуг, зміною умов на ринку металу намітився перехід до

будівництва міні-заводів, які орієнтуються головним чином на регіональні потреби.

Характерними особливостями міні-заводів є: експлуатаційні витрати, максимальна швидкість виконання замовлень, максимальний захист довкілля; висока якість продукції. Найкращим варіантом міні-заводів є застосування ливарно-прокатних агрегатів (ЛПА). Один з варіантів ЛПА використовується на заводі «Електросталь» (Росія). На агрегаті виготовляють катанку із спеціальних сталей і сплавів при прямому поєднанні процесів безперервного лиття металу і його прокатки

Особливістю ЛПА є включення до складу агрегату сортового планетарного стану конструкції ВНИИМетМаш (Росія) (рис.4.9). Слід зазначити наступні основні особливості процесу планетарного прокатування [47,48]:

- висока дробова деформації; зусилля, що виникають від дії робочих валків невеликого діаметру, порівняно невеликі і це дозволяє прокатувати сплави і сталі, що мають при температурі, високий опір деформації;

- сумарне витягання в одній клітці досягають величини 20 і більше, що дозволяє встановлювати в одній лінії з планетарною кліткою лише одну обробку невелику групу клітей; в результаті компактності прокатного устаткування зменшуються виробничі площі і можливе швидке настроювання стану на випуск інших розмірів прокату;

- значні обтиснення з великою швидкістю в одній клітці, призводять до інтенсивного підвищення температури металу, що виходить з клітки, що особливо важливо при виробництві труднодеформуємих сталей і сплавів, що мають вузький температурний інтервал деформації;

- сприятлива схема напруженого стану, невелике розширення і відсутність на більшій частині зони обтиснень розтягуючих напружень дозволяють проводити деформацію без

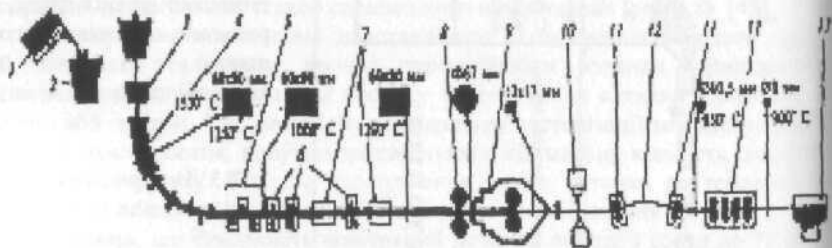


Рисунок 4.9- Технологічна схема безперервного лиття і прокатки : 1 - індукційна піч; 2 - ківш; 3,4 - МБЛЗ; 5 – пристрої, що тягне ; 6 - подаючі ролики; 7 – індукційна піч ; 8 – клітка для задавання розкату; 9 - планетарний сортовий стан; 10 - летючі ножиці; 11 - чистова група клітей; 12 - петлерегулятор; 13 - моталка

порушення щільності малопластичних сплавів навіть при структурі литого металу; поперединне обтиснення заготовки в двох напрямках збільшує пластичність матеріалу.

Промисловий дротяний ЛПК (рис.4.9) включає індукційну піч 1; машину безперервного лиття заготовки (МБЛЗ) 3, 4; індукційну піч 7 для вирівнювання температури зливка перед прокаткою; сортовий планетарний стан 9; летючі ножиці 10; чистову групу прокатних клітей 11; сортову моталку 13 [48].

Спеціальна індукційна піч 1 місткістю 1,1т служить для виплавки металу з твердої металевої шихти з додаванням лому марочного складу. Живлення індуктора печі здійснюється струмом частотою 1000 Гц від генератора потужністю 500 кВт при напрузі 750 В. Розливання ведуть із сталі розлиального ковша 2, футерування якого заздалегідь розігріте газовим пальником до 1000...1100°C. Рідкий метал в кристалізатор 4 подається з проміжної місткості 3, в днищі якої знаходиться дозіруючий стакан.

МБЛЗ радіального типу з базовим радіусом 3 м призначена для відливання зливка перерізом 60x80 мм і складається з металоконструкцій, що несе, мідного кристалізатора, який охолоджується водою, встановленого на рамі, що коливається, механізму гойдання кристалізатора, роликової зони вторинного охолодження, правильного пристрою 5, що тягне (ППТ), жорсткої затравки з механізмом її переміщення. Періодичне гойдання запобігає схватванню металу із стінками кристалізатора.

Зона вторинного охолодження є радіальною роликовою проводкою, обладнаною водорозпилюючими форсунками, які розташовані уздовж кожної грані зливка. Після цього зливки поступає в кліть 8, а потім в кліть планетарного стана 9, в якій площа перерізу за один прохід зменшується в 25 разів. При планетарному прокатуванні внаслідок великих деформацій відбувається інтенсивне підвищення температури металу приблизно на 150...170 °С. Схема деформації усебічного стискування забезпечує отримання прокату із зливків без дефектів.

Чистова група клітей змонтована з урахуванням того, що підкат поступає з пульсуючою швидкістю і має переріз профілю, що періодично змінюється. До складу чистової групи входять дві кліті, що окремо стоять, з індивідуальними приводами, чотирьохклітьовий блок з груповим приводом і автоматичні петлерегулятори перед клітями 1 і 2. У окремих клітях відбувається послідовне обтиснення розкату в двох взаємно перпендикулярних напрямках. При цьому значною мірою усувається періодичність профілю. Пульсуюче подання металу від планетарного стана в перших двох клітях компенсується петлями.

Компактне розташування устаткування з граничним зменшенням міжклітьових проміжків сприяє невеликим температурним втратам розкату і скорочує довжину потовщених передніх і задніх кінців, що прокатуються без натягнення.

Ливарно-прокатний агрегат оснащений системами автоматизації, які дозволяють одному операторові управляти процесом безперервного лиття і прокатки. У автоматичному режимі проводиться пуск МБЛЗ : досягнувши заданого рівня металу в кристалізаторі (контролюється радіоізотопним рівнеміром) включаються механізми гойдання кристалізатора, що правильно-тягне пристрої і переміщення затравки. Під час роботи рівень металу в кристалізаторі підтримується із заданою точністю. Вода для охолодження зливка в роликовій проводці подається залежно від швидкості витягування зливка.

Досвід експлуатації ЛПА дозволив провести порівняльний аналіз техніко-економічних показників ЛПА і традиційних дротяних станів.

Технічна характеристика ЛПА заводу «Електросталь» наступна [48]. :

Маса плавки, т	- 1
Поперечний переріз зливка, мм	- 60x80
Швидкість лиття, м/мін	- 1,5.. 4
Діаметр катанки, мм	- 8...11
Швидкість прокатки, м/с	- до 5
Розміри бунту, мм	
- зовнішній	- 1300
- внутрішній	- 650
- висота	- 1000
Маса бунту, кг	- до 1000
Обслуговуючий персонал в зміну (чел.)	- 5
Виробництво в рік, тис.т.	- 40

В порівнянні з традиційним прокатуванням дроту інвестиції зменшуються на 43%. Цикл виробництва металу зменшується в 175 разів (4 години проти 700 годин), собівартість катанки з вуглецевих сталей менше на 20%, а для сплавів менше в 5 разів. Витрати металу при роботі ЛПА в 5 разів менше. При наявності для одного прокатного стану 5-ті ливарних агрегатів швидкість прокатки збільшується у п'ять разів (до 25м/с).

4.6 Параметри деформації металу у витяжних калібрах

До витяжних калібрах (у них застосовують прокатку розкатів з великими коефіцієнтами витягання) зараховують калібри простої форми : квадрат, ромб, шестикутник, овал, ребровий овал, що утворюють ту або іншу систему калібрування валків. На середньосортних, дрібно-сортних і дротяних станах використовують системи калібрувань : овал - ребровий овал, ромб- квадрат, овал- квадрат, шестикутник- квадрат, овал-круг. Система овал – ребровий овал, наприклад, уперше була застосована на неперервному дрібносортному стані Макіївського металургійного заводу (рис.4.10). Реброві овали виготовляють із співвідношенням діагоналей $h/b = 1,1 \dots 1,4$, а відношення осей простого овалу - $b/h = 2 \dots 3$ (h - висота овалу; b - ширина овалу). При цьому, чим більше розміри ребрового овалу, тим менше відношення h/b .

Коефіцієнт витягання. Коефіцієнт витягання в ребрових овалах рівний $\mu_{р.ов}=1,2...1,4$ і величина його залежить від величини коефіцієнта витягання в попередньому овалі і від величини коефіцієнта витягання в парі калібрів:

$$\mu_{р.ов} = 1 + (0,77 \cdot 0,83) (\mu_{ов} - 1); \quad (4.1)$$

$$\mu_{ов} = \mu_{п} / \mu_{р.ов}. \quad (4.2)$$

де $\mu_{п}$, $\mu_{ов}$, $\mu_{р.ов}$ -коефіцієнти витягання відповідно в парі калібрів, овалі і в ребровому овалі ..

Вирішуючи спільно ці рівняння, після перетворень отримує

$$\mu_{р.ов} = 0,125 + (0,015 + 0,75 \mu_{п})^{0,5}. \quad (4.3)$$

На неперервних станах реброві овали врізають в горизонтальні валки, а однорадіусні овали - у вертикальні.

Ця система має наступні переваги:

- надійне захватування розкату валками на великих швидкостях;
- самоцентрування ребрового овалу в овалі, що дозволяє застосовувати просту конструкцію валковий арматури;
- рівномірність деформації по ширині профілю , що добре позначається на якості поверхні готового профілю --
- якісне видалення окалини з поверхні розкату і готового профілю.

Таблиця 4.1-Значення коефіцієнтів для різних калібрів

Форма заготовки	Форма калібру.	μ_k	μ_v	$\mu_{п}$
Ромб-квадрат	Квадрат-ромб	0,63	0,83	0,5
Овал	Ребр. овал	0,65	0,81	0,7
Ребр. овал	Овал	0,78	0,93	0,7
Овал	Квадрат	0,62	0,81	0,5
Квадрат	Овал	1,04...1,25	-	0,7
Овал	Круг	0,65	0,81	0,7
Круг	Овал	0,71	0,86	0,7
Шестикутн.	Квадрат	0,84	0,91	0,5
Квадрат	Шестикутн.	0,98...1,08	-	0,5
Прямокутн..	Ребр. овал	1,1	0,98	

Форми калібру і заготовки роблять спільний вплив на геометричні (середнє обтиснення, ширину контакту), кінематичні (розширення, випередження) і енергосилові параметри (сила, момент, потужність) прокатки профілю. Висотне обтиснення у багатьох системах максимально по осі калібру і мінімально на кромці і відповідно до цього контур контактної поверхні змінюється по параболічній залежності, приблизно також як і при прокатки в системі ромб - квадрат (рис.1.24).

Розглянуті вище (см п.1.7) особливості деформації металу в системі калібрів ромб - квадрат і системі овал - ребровою овал (круг), але значення коефіцієнтів n_K , n_B , n_Π , n_Φ будуть іншими (п.1.7, таблиця.1.6) (таблиця.4.1). Тут коефіцієнти рівні:

$$n_K = \Delta h_K / \Delta h_0; \quad n_B = B_{CP} / b_\Phi; \quad n_\Pi = \Delta b_{CP} / \Delta b_0; \quad n_\Phi = \Pi / 2 b_K,$$

де n_K - відношення середньозваженого обтиснення (Δh_K) до обтиснення по осі калібру (Δh_0); n_B - відношення середньозваженої ширини контактної поверхні (B_{CP}) до максимальної ширини розкату (b_Φ) в калібрі; n_Π - відношення середнього розширення розкату (Δb_{CP}) в калібрі до максимальної величини простору на розширення (Δb_0) по осі калібру; n_Φ - відношення півпериметра (Π) калібру до ширини калібру (b_K).

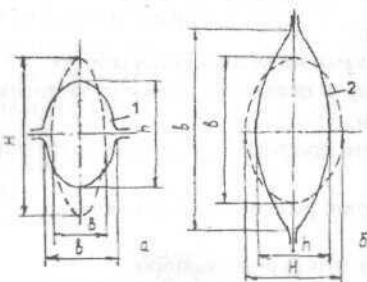


Рисунок 4.10- Система калібрів : а - овал - ребровий овал; б - ребровий овал-овал: 1 - калібр ребровий овал; 2 - овальний калібр

Коефіцієнт n_Φ враховує вплив форми калібру на умови тертя у осередку деформації і рівний: квадратний, кутовий і зетовий чистові - $n_\Phi = 1,41$; овал ребровий-

1,35; круглий-1,55; ромбічний, кутовий і зетові чорнові-1,15...1,3; овал однорадіусний і плоский, шестикутник, ящичний прямокутник - 1,1...1,2; калібри швелерні - 1,7...2,2; калібри балкові-1,8...2,3; калібри рейкові-2,0...2,1; калібри шпунта - 1,8...2,1.

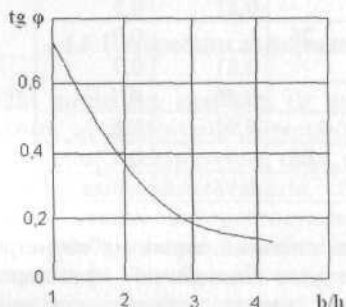


Рисунок 4.11- Вплив параметра b/h на середньозважену величину $\text{tg}\phi$ в овальному і круглому калібрах (система калібрів : овал - круг, овал - ребровий овал)

Розрахунок усіх усереднених параметрів деформації виконують по формулах (1.28).

У системі калібрів овал - ребровий овал (круг), в порівнянні з системою ромб - квадрат, кут ϕ нахилу поверхонь змінюється по ширині калібру. Тому у формулі (1.31) для системи овал - ребровий овал (круг) кут ϕ є величиною змінної і залежить від відношення

b/h осей овалу (круга), для овалу однорадіусного- $b/h > 1$, для ребрового овалу- $h/b > 1$.

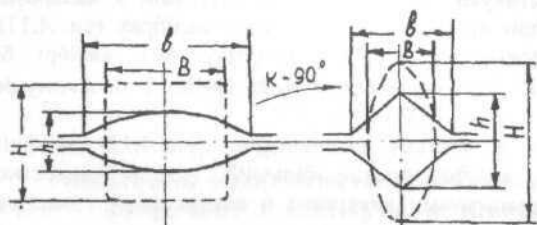


Рисунок 4.12- Калібри системи овал-квадрат (суцільні лінії - калібр; пунктирні-заготовка)

На підставі розрахунків для різних b/h отримали середньо-зважене значення кута ϕ для вказаних калібрів, а залежність $\text{tg } \phi = \phi(b/h)$ представлена на рис.4.11.

Апроксимація залежності на рис.4.11 дає наступне вираження

$$\text{tg } \phi = 0,675 - 0,51 [1 - 1,93(1 - 0,25 b/h)]^{2,3}. \quad (4.4)$$

Розглянемо розрахунок розширення в калібрах системи овал - квадрат (рис.4.12).

Систему овал - квадрат широко застосовують на станах лінійного (старого) типу. Вона забезпечує інтенсивну деформацію металу. Відношення розмірів осей овалу зазвичай приймають рівним $b/h = 2...3$. Великі значення b/h забезпечують і великі величини витягання (обтиснень), але при цьому погіршуються умови захвату металу валками. У зв'язку з цим для великих розмірів овалів набувають менших значень b/h .

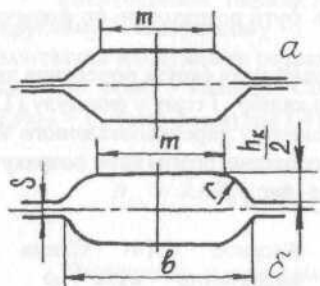


Рисунок 4.13- Калібри: а - шестикутник; б - плоский овал

При прокатуванні трубної заготовки ($d > 80...100$ мм) відношення діагоналей овалів знаходиться в межах $b/h = 1,3...1,6$.

Коефіцієнти витягання в квадратних калібрах $\mu_{\text{КВ}} = 1,2...1,5$, а в овалах $\mu_{\text{ОВ}} = 1,3...2,0$. Велике витягання в овальному калібрі забезпечується більшою шириною

розкату, що прокатується в нім, і меншим розширенням. Невелике урізання рівчачка овального калібру у валки, забезпечуючи міцність валка, також дозволяє робити в нім інтенсивне обтиснення. При прокатуванні квадратного розкату в овальному калібрі кожного разу метал з ребрових ділянок переходить на поверхню овального профілю, що підвищує якість готової продукції. Недолік системи - погана стійкість овальної заготовки в квадратному калібрі, що вимагає установки щільних лінійок перед валками.

Наявність великої нерівномірності деформації по ширині розкатів обумовлює нерівномірність зносу калібрів. Окрім однорадіусного овалу застосовують також шестикутні калібри при прокатуванні в квадратному калібрі і плоскі овали при прокатуванні в круглих калібрах (рис.4.13). У шестикутному калібрі параметр $m \approx 0,4b$. В цьому випадку $m=b-1,41h_k$. У плоскому овалі радіус $r = h_k / 2$ і параметр $m = b - h_k$.

При прокатуванні в системі овал-квадрат (рис.4.12) коефіцієнт витягання в овальному калібрі завжди більший, ніж в квадратному. Співвідношення між коефіцієнтами витягання в квадратному і овальному калібрах визначається рівняннями:

$$\mu_{\text{КВ}} = 1 + (0,6 \dots 0,85) (\mu_{\text{ОВ}} - 1); \quad (4.5)$$

$$\mu_{\text{ОВ}} = \mu_{\text{П}} / \mu_{\text{КВ}} \quad (4.6)$$

де $\mu_{\text{КВ}}$, $\mu_{\text{ОВ}}$ - коефіцієнти витягання відповідно в квадратному і овальному калібрах.

По аналогії з формулою (4.3) отримаємо

$$\mu_{\text{КВ}} = 0,135 + (0,019 + 0,73 \mu_{\text{П}})^{0,5} \quad (4.7)$$

Для розрахунку коефіцієнтів витягання по формулам (4.3) і (4.7) в першу чергу задають реальні значення коефіцієнта витягання в парі калібрів.

Розширення металу. В порівнянні з прокаткою в гладких валках в овальних, круглих і інших калібрах поперечна течія металу, окрім сил тертя, стримується похилими стінками калібру і тому величина середнього розширення в калібрах завжди буде менше. Абсолютне середнє розширення $\Delta b_{\text{СР}}$ і розширення по осі калібру Δb_0 можуть бути розраховані по формулам (1.31) - (1.35).

При прокатуванні в системі овал - ребровий овал (круг) поперечна течія металу має місце по усій ширині відповідного калібру і тому у формулу (1.30) для розрахунку розширення слід вводити величину середньозваженого кута стосовно усієї ширини калібру. Окремо необхідно розглядати розрахунок розширення в калібрах системи овал - квадрат (рис.4.12).

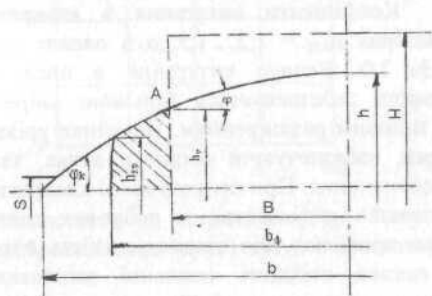


Рисунок 4.14- Схема до визначення кута ϕ в овальному калібрі

При прокатуванні квадратної заготовки в овальному калібрі (рис.4.12) поперечна течія металу відбувається, головним чином, на ділянці $(b_\phi - B)$. У зв'язку з

цим середньозважене значення кута ϕ_k необхідно розраховувати стосовно ділянок ($b_\phi - B$). Середньозважене значення кута ϕ_k для цієї ділянки дорівнює

$$\operatorname{tg} \phi_k = \frac{h \left[\frac{1 - (B - b)^n}{1 - B/b} \right]}{b} \quad (4.8)$$

Аналогічним чином визначають розширення і в плоскому овалі (рис. 4.13). У квадратному і шестикутному калібрах кут ϕ_k розраховують з геометричних співвідношенні розмірів.

Розширення у вказаних системах калібрів (овал - ребровий овал, овал - круг та ін.) по осі калібру з достатньою для практики точністю можна також визначити по формулах [см також (1.36)] [12]:

система овал - ребровою овал (круг) ($m \leq 5$)

$$\Delta b_0 = 0,31 C_{\Pi} \cdot C_M (15,3 + m); \quad (4.9)$$

система овал - квадрат ($m \leq 5$)

$$\Delta b_0 = 0,8 C_{\Pi} \cdot C_M (4,25 + m); \quad (4.10)$$

система квадрат - овал ($m \leq 5$)

$$\Delta b_0 = 25 \cdot C_{\Pi} \cdot C_M [1 - (1 - 0,02 m)^2]. \quad (4.11)$$

$$.m = \Delta h_{CP} \cdot V_{CP} / h_{CP}.$$

Коефіцієнт C_{Π} розраховують з формули (1.13), а коефіцієнт C_M (вплив матеріалу розкату) з роботи [6]. Формули (4.9) -(4.11) можуть бути еталоном для оцінки теоретичних формул і застосовні при $m > 5$.

Енергосилові параметри прокатки. При прокатуванні в овальних, круглому, квадратному і шестикутному калібрах середнє нормальне контактне напруження розраховують по тих же залежностях, що і в калібрах системи ромб - квадрат. Сортове плющення виконують в основному при $l_d/h_{CP} > 1$ і тому формула (1.41) для цих умов приймає вид

$$p_{CP} = \lambda \cdot k_{B3} \cdot \sigma_T \left[1 + 0,48 \cdot f_{\Pi} \cdot n_{\phi} (1 - a) l_d / h_{CP} \right] \quad (4.12)$$

Визначення параметрів, що входять у формулу (4.12) дано в п. 1.7, де виконаний теоретичний аналіз залежності $p_{CP} = \Phi(\sigma_T, f_{\Pi}, n_{\phi}, l_d/h_{CP})$, що свідчить про прийнятність розробленого методу розрахунку середнього нормального контактного напруження (СНКН). На рис. 4.15 представлені дослідні значення СНКН (p_{CP}) при прокатуванні профілів в різних системах калібрів [27], з яких виходить, що СНКН зростають зі збільшенням чинника форми l_d/h_{CP} при одночасному зниженні температури металу з $t_H = 1200^{\circ}\text{C}$ до $t_K = 800^{\circ}\text{C}$.

Досліди показують, що при прокатуванні в системах овал - круг і овал - квадрат СНКН помітно вище при прокатуванні в круглому і квадратному

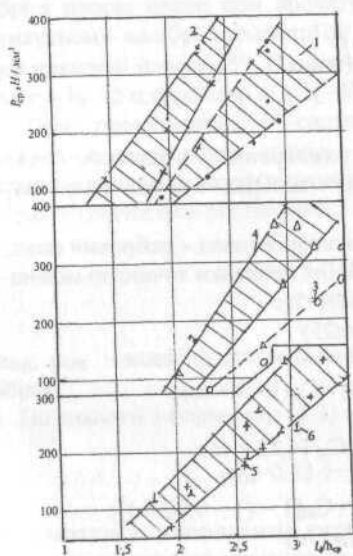


Рисунок 4.15 - Зміна середнього нормального контактного напруження при прокатуванні в системах: овал (1) - круг (2); овал (3) - квадрат (4); ромб (5) - квадрат (6)

калібрах, де коефіцієнт μ_{ϕ} істотно більший. Так, в круглому калібрі при $l_d/h_{CP} = 2,5$ значення p_{CP} в 1,7...2,1 разу перевищує значення p_{CP} в овальних калібрах. Крім того, самі величини p_{CP} при прокатуванні в системі овал - квадрат (при $l_d/h_{CP} = \text{const}$) помітно менше, ніж в системі овал - круг, що, очевидно, обумовлено великими величинами розширення металу.

в осередку деформації (менші величини коефіцієнта μ_{ϕ}) і великим розширенням металу в порівнянні з круглим і квадратним калібрам. При прокатуванні в системі овал - квадрат СНКН в квадратному калібрі p_{CP} в 1,7...1,8 разу більше, ніж в овальному калібрі, що може бути обумовлено

відмінністю у величинах напруження течії металу і впливом додаткових контактних сил тертя від похилих стінок калібрів.

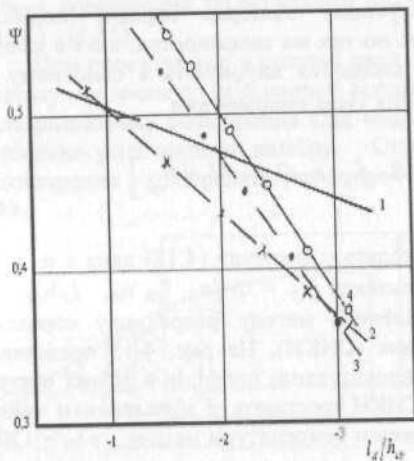


Рис. 4.16. Зміна коефіцієнта ψ положення рівнодіючої сил при площенні в гладких валках і системах калібрів: 1 - гладкі валки; 2 - ромб - квадрат; 3 - овал - квадрат (шестикутник - квадрат); 4 - овал - круг (овал - ребровий овал)

При прокатуванні в системі ромб - квадрат СНКН приблизно однакові і середні значення p_{CP} близькі до середніх значень p_{CP} в квадратному калібрі (4) системи овал - квадрат.

Мінімальні величини r_{CP} відповідають прокатки в овалному калібрі (3) системи овал - квадрат .

Крутний момент прокатки визначають по формулі (1.5). Складнощі виникають при визначенні коефіцієнта ψ положення рівнодіючої сил в осередку деформації. Ці складнощі обумовлені формою контактної поверхні, що змінюється по довжині дуги контакту (рис.1.24), нерівномірного розподілу нормальної контактної напруги і істотного розширення металу. Слід мати зважаючи на, що розширення металу в основному відбувається в початковій зоні вогнища деформації. Сукупність дії вказаних чинників і визначає закономірність зміни коефіцієнта ψ залежно від чинника l_d/h_{CP} (рис.4.16).

З рис.4.16 видно, що при прокатуванні в гладких валках і в калібрах коефіцієнт ψ лінійно підвищується зі зменшенням чинника l_d/h_{CP} [27]. Проте інтенсивність зміни коефіцієнта ψ в кожному випадку різна. У гладких валках коефіцієнт ψ (визначений теоретично [7]) істотно перевищує значення ψ при прокатуванні в калібрах при $l_d/h_{CP} > 3,0$. При цьому значенні l_d/h_{CP} висотну деформацію розкату можна вважати квазірівномірною і величина коефіцієнта ψ обумовлена формою контактної поверхні [практично прямокутної при прокатуванні в гладких валках і у вигляді напівовала в калібрах (рис.1.24, б)]. при прокатуванні в гладких валках и в виде полуовала в калібрах (рис.1.24, б)].

Залежності рис.4.16 апроксимуються наступними формулами:

гладкие валки:

при $l_d / h_{CP} < 3,5$

$$\psi = 0,51 (l_d / h_{CP})^{-0,1}$$

при $l_d / h_{CP} > 3,5$

$$\psi = 0,5 (l_d / h_{CP})^{-0,092}$$

система ромб-квадрат $\psi = 0,068 (8,5 - l_d / h_{CP});$

система овал-квадрат (шестикутник-квадрат)

$$\psi = 0,12 (6,1 - l_d / h_{CP});$$

система овал-круг (овал-ребровий овал)

$$\psi = 0,145 (5,6 - l_d / h_{CP}).$$

(4.13)

Зважаючи, що вектор рівнодіючої сил в осередку деформації проходить через центр тяжіння епюри нормального контактного напруження (з урахуванням форми контакту), плече a рівнодіючої сили P в калібрі (контактна поверхня у вигляді напівовала) буде менше, ніж в гладких валках. Тому і коефіцієнт $\psi = a_p / l_d$ в калібрах виявляється менше в порівнянні з гладкою бочкою (криві 2-4 на рис.4.16 побудовані за дослідними даними [27]). При прокатуванні в калібрах $l_d/h_{CP} < 3$ значення коефіцієнта ψ інтенсивно зростають зі зменшенням чинника l_d/h_{CP} , очевидно, внаслідок впливу внеконтактних (бічних) зон. Найбільший вплив позаконтактних бічних зон спостерігається при прокатуванні в калібрах системи овал-круг (крива 4).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мазур В.Л., Деркач Д.А., А.А Иванов. Состояние и перспективы развития прокатного производства. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. № 8,9. – С.8-11.
2. Нестеров Д.К. Перспективы развития прокатного производства Украины до 2010 /Д.К. Нестеров , Е.И. Булгаков, Е.Л.Орлов, Р.А. Дробнова // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. №8,9-С.36-38.
3. Николаев В.А. Технология прокатки сортовых профилей. Учебное пособие. [Текст]-Запорожье. ЗГИА. 2004.-150с.
4. Чигиринский В.В., Гордиенко В.И. Исследование влияния повышенного теплосодержания слитков на параметры процесса прокатки. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. №8,9.-С.319-322.
5. Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А. Калибровка прокатных валков,[Текст]- М.: *Металлургия*. 1971.-512с.
6. Николаев В.О., Мазур В.Л. Технологія виробництва сортового та листового прокату Підручник. Ч.1.[Текст]-Запоріжжя, ЗДІА. 2000.-257с.]
7. Николаев В.А. Теория прокатки. [Текст]— Запорожье. ЗГИА. 2007. - 228с с.
8. Чекмарев А.П. Теория прокатки крупных слитков [Текст]-/ А.П Чекмарев, В.Л.Павлов, В.И.Мелешко, В.А.Токарев – М.: *Металлургия*, 1968.-252 с.
9. Тарновский И.Я. Прокатка на блюминге [Текст]-/ И.Я. Тарновский , Е.В.Павлов, В.А Тягунов и др. - М: *Металлургиздат* , 1963.-389 с.
10. Целиков А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах.[Текст]- - М: *Металлургиздат*. 1962-494с.
11. Гетманец В.В. Исследование влияния основных технологических факторов на выход годного при прокатке слитков на блюминге. / В.В. Гетманец, В.П.Романченко, И.Е.Полуновский, В.К.Спиняков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. №8,9-С.269-273
12. Николаев В.А. Деформация металла при прокатке в калибрах.[Текст]- – Запорожье: ЗГИА. 2006. – 196 с.
13. Николаев В.А. Определение давления металла на валки обжимных станов// *Сб. *Металлургия и коксохимия**.- К.: *Техника*. 1970. – С.131-135
14. Грудев А.П., Машкин Л.Ф., Ханин М.И. Технология прокатного производства [Текст]— М.: *Металлургия*. 1994-656с.
15. Чекмарев А.П. Экспериментальное исследование непрерывного заготовочного стана 900/700/500 / А.П.Чекмарев, В.Д.Чехранов, О.В.Филонов и др.//*Прокатное производство*. Научные труды, т. XXXIV. МЧМ, ИЧМ. – М.: *Металлургия*. 1970-С.129-145.

16. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки.[Текст]– М: Металлургия. 198. – 320 с.
17. Николаев В А. Уширение металла при прокатке. // Теория и практика металлургии. 1997. №3. – С.8 – 14.
18. Николаев В.А. Угол критического сечения при прокатке высоких полос //Известия вузов. Черная металлургия. 1966.№10. – С.62-65.
19. Жучков С.М., Кулаков Л.В., Лохматов А.П. Оптимизация технологических и конструктивно – структурных параметров непрерывных мелкосортowych и проволочных станов по энергопотреблению. // Современные проблемы металлургии, том 8. Днепропетровск. 2005. – С. 337 – 340.
20. Николаев В.А. Удельное давление в калибрах системы ромб – квадрат //Металлургия и коксохимия. Обработка металлов давлением. Сб. №23. – Киев. Техніка. 1970. –С.16-25.
21. Целиков А.И.Теория прокатки. Справочник[Текст]- / А.И. Целиков., А.Д. Томленов. В.И. Зюзин и др. –М: Металлургия. 1982. – 335с21
22. Николаев В.А. Расчет истинного предела текучести при горячей деформации металла // Металлургическая и горнорудная промышленность . 1999. № 1. – С. 26-29.
23. Николаев В.А. Процессы обработки металлов давлением. [Текст]–Запорожье:Акцент Инвест- трейд, 2014.-192с.
24. Николаев В.А. Теория и практика процессов прокатки[Текст]-- Запорожье, ЗГИА, 2002.-232с.
25. Николаев В.А. Расчет уширения с учетом формы калибра. // Известия вузов. Черная металлургия. 1999. №9. – С.28-32.
26. Николаев В.А. Расчет среднего обжатия при прокатке в калибрах вытяжных систем. //Известия вузов. Черная металлургия. 2000. №7 – С. 38-40
27. Цоухар Г. Силовые воздействия при прокатке в вытяжных калибрах. – М.: Металлургия. 1963. -207с.
28. Николаев В.А. Опережение в квадратных калибрах // Известия вузов. Черная металлургия. 1973. №9 – С. 81,82
29. Чехранов В.Д., Лепа Н.Н., Скичко П.Я. Исследование непрерывного заготовочного стана 850/610/550// Прокатное производство, т.ХХVIII. МЧМ. СССР. ИЧМ. – М.: Металлургия. 1967. – С. 54-68.
30. Поляков В.В. , Великанов А.В. Основы технологии производства железно-дорожных рельсов – М.: Металлургия. 1990. -416с.
31. Полухин П.И., Грдина Ю.В., Зарвин Е.Я. Прокатка и термическая обработка железнодорожных рельсов.[Текст]- – М.:Металлургиздат. 1962. – 510с.
32. Луцкий М.Б. Разработка и освоение технологии производства колонной двухтавровой балки 120DJN / М.Б.Луцкий, И.К.Дорошенко, А.А. Чичкан, В.А.Луценко // Современные проблемы металлургии, т.8. Научные вести. – Днепропетровск. 2005.- С. 333-336.

33. Артамонов Е.А. Производство рельсового проката повышенного качества за рубежом. // Бюл. Черная металлургия, 1984, №6. - С.16-24.
34. Чигиринский В.В. Производство тонкостенного проката специального назначения [Текст] - / В.В. Чигиринский, Ю.С. Кресанов, А.Я. Качан и др. - Запорожье, ВАЛПИС, 2014. - 296с.
35. Левченко В.Н., Пыхтин Я.М., Чигиринский В.В. Развитие технологии прокатки железнодорожных рельсов и пути ее совершенствование // Современные проблемы металлургии, т.8. Научные вести. - Днепропетровск. 2005. - С. 325 - 329.
36. Чекмарев, А.П. Производство облегченных профилей проката. [Текст] - / А.П. Чекмарев, И.В. Гунин, Р.А. Машковцев, И.Н. Филиппов. - М: Металлургия. 1965-418с.
37. Кузьменко А.Г. Мелкосортные станы, состояние, проблемы, перспективы. [Текст] - - М: Металлургия. 1996.- 368с.
38. Оратовский Е.Л., Артамонова Е.А. Усовершенствование оборудования сортовых станов // Обз. инф. Прокатное производство. - 1978. №1 - 19 с.
39. Николаев В.А. Валки прокатных станов. [Текст] - Запорожье. Учебное пособие. ЗГИА. 2000. - 176с.
40. Шульгин Г.М. Двухручевая прокатка - разделение арматурной стали на КГГМК «Криворожсталь» / Шульгин Г.М., Минаев А.А., Нечипоренко В.А. и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2000 № 8,9. - С.195 - 197.
41. Литвинов Л.Ф. Разработка, исследование и освоение технологии прокатки - разделения в черновой группе непрерывного проволочного стана / Литвинов Л.Ф., Оробцев А.Ю., Шевердин С.М., и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. №8.9. - С. 207 - 216.
42. Николаев В.А. Калибровка валков для прокатки простых профилей. Учебное пособие. [Текст] -- Запорожье. ЗГИА. 2004. - 153с.
43. Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы [Текст] -- Донецк, - Технопарк, ДонНТУ, УНИТЕХ, 2008. - 552с.)
44. Николаев В.А. Технология прокатки сортовых профилей [Текст] -. - К.: УМК, 1988. - 120с.
45. Горбанев А.А., Новые технологии прокатки и охлаждения катанки на стане 150 БМК после реконструкции / Горбанев А.А., Колобов Б.Н., Жигулин В.В. и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. №8.9. - С. 168 - 173.
46. Кулеша В.А. Освоение проволочного стана 150 / В.А. Кулеша, Г.П. Борисенко, А.А. Горбанев и др. // Сталь. 1984. №1 - С. 42 - 46.
47. Горбанев А.А. Теоретические основы скоростной прокатки катанки / А.А. Горбанев, С.М. Жучков, Е.В. Барышев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2000. №8.9. - С. 189 - 190.

48. Ведеревский В.А., Литейно- прокатный агрегат для производства катанки // В.А. Ведеревский, В.П. Степанов, Г.С. Никитин, О.К.Крапченков. // Сталь. 1995. №12. – С. 37 – 41.
49. Нефедов.А.А., Гетманец В.В. Производство катанки[Текст]-.-М.: Металлургия,1963.- 225с.
50. Чекмарев А.П. Прокатка на мелкосортных станах [Текст]-/ А.П. Чекмарев, В.П. Гречко, В.В. Гетманец и др. – М.: Металлургия, 1967.- 305с.
51. Николаев В.А., Васильев А.Г. Допускаемые обжатия раската в черновых клетях ШСГП.// Металургія. Сб. наук.праць- Запоріжжя, ЗДІА,2014, №2.-С.143-148.
52. Николаев В.А. Горячая прокатка листов и полос[Текст]-.-Запоріжжя, ЗДІА, 2014-176с

Методичне видання

Віктор Олександрович Ніколаєв
д.т.н., професор

ОБТИСКНЕ ТА СОРТОВЕ ВИРОБНИЦТВО ПРОКАТУ
Навчальний посібник

Підписано до друку 14.12.2015р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 7,2. Наклад 3 прим.

Внутрішній договір № 132/15 *04.8,00*

Запорізька державна інженерна академія

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 2958 від 03.09.2007 р.

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з оригінал-макету авторів

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226
ЗДІА