

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний  
 (повне найменування інституту, факультету)  
Кафедра обробки металів тиском  
 (повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр  
 (ступінь вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності прокату  
крупного сорту шляком впровадження тем-  
пературної анізотропії при деформуванні

Виконав: студент(ка) I курсу, групи М-818<sub>м</sub>

Спеціальності 131 Тришарова механіка  
 (код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) Обладнання  
та технології пласт. форми. конструкції машинобуд-я  
Семіволенко Т.С.  
 (прізвище та ініціали)

Керівник Собул В.Я.  
 (прізвище та ініціали)

Рецензент Навченко ОВ  
 (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет М  
 Кафедра ОИТ  
 Ступінь вищої освіти магістр  
 Спеціальність Прикладна механіка 131  
(код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Обладнання та технол. пласт. деформув. констр. машиннобуд  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

В.В. Шафрановський  
 « 12 » грудня 20 19 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Селивоненко Ілля Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Підвищення ефективності про-  
 касти крупного сорту шматом впровадження тем-  
 пературної анізотропії при деформуванні  
 керівник проекту (роботи) доц. к.т.н. Обдур В.Д  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 14 » листопада 20 19 року № 598

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.12.19

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Тех.процес деформування; стан  
 1050/950; Технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд техн. літератури, стан питання, аналіз видів браку, аналіз сучасної технології, висновки, рекомендована технологія та кінцівки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
I	Обучи В. Д.	1.09.19	Обучи
II	— 11 —	1.09.19	Обучи
Охорона праці	Нестеров О. В. к. т. н. доц.		
Нормоконтроль	Матюжин А. Ю.		

7. Дата видачі завдання « 1 » вересня 2019 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз наукової інформації	01.10.2019	
2	Дослідницька частина	18.11.2019	
3	Отримана економічна ефективність	25.11.2019	
4	Охорона праці	09.12.2019	

Студент(ка)

*Селиваненко І. С.*  
(підпис)

Селиваненко І. С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

*Обучи*  
(підпис)

Обучи В. Д.  
(прізвище та ініціали)

## Реферат

ПЗ: 141 с., 44 мал., 34 табл., 25 джерел.

Об'єкт дослідження – прокатування нержавіючих сталей на блюмігу заводу ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ».

Мета роботи – розробка деформаційно швидкісних параметрів прокатування кругів 230 – 260 мм з нержавіючих марок сталі на блюмігу 1050/950.

Метод дослідження – системний і трансформаційний аналіз.

Отримані результати – заміна малопродуктивного процесу кування з великими втратами металу в окалину, куски і відходи, абразивний пил і стружку на нову технологію плющення. Плющення характеризується високою продуктивністю і більш дешевою вартістю переділу. Розробка технології плющення велася шляхом корегування заводської технології, яку не вдалося впровадити із наступних причин: нераціональний режим деформації, нерівномірне заповнення калібрів металом, звалювання раскату в процесі прокатування.

Рекомендації до впровадження – результати магісторської роботи можуть бути впроваджені на ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ».

Ефективність – зниження собівартості продукції на 3,6%, що складає 733,97 грн. на кожен тону продукції.

ГАРЯЧЕ ПЛЮЩЕННЯ, ДЕФОРМАЦІЯ, БЛЮМ, РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ,  
ПОЛІГОНІЗАЦІЯ, ЗВАЛЮВАННЯ, КАЛІБР, РОЗШИРЕННЯ,  
ВИПЕРЕДЖЕННЯ, РЕЖИМ, ШВИДКІСТЬ

## Abstract

Software: 141 pp., 44 fig., 34 tab., 25 sources.

Object of researching is stainless steel which was rolled on bluming by plant PJSC "DSS".

Purpose – to develop deformation parameters, velocities rolling of ovals 230 – 260 mm of stainless steel marks on blyuming 1050/950.

The method of research – the system and transformation analysis.

The received results – during the process inefficient substitution of heavy losses of metal in scale, the pieces and wastes, abrasive dust and shaving a new rolling technology. Characterized by rolling performance and morecheap valued rerolling. Development of technology for rolling conducted by adjusting plant's technology that couldn't be implemented with the following reasons: irrationality deformations mode, don't equal filling of calibrating devices. Metal size are stalling in the process of rolling.

The recommendation to implementation – the results of master's research will be improved PJSC "DSS".

The performances index is prime cost of production decrease of 3.6%, which is 733,97 uan. per ton production.

HOT ROLLING, STRAIN, BLOOM, RECRISTALLIZING, POLIGONIZATION, STEEL, CALIBRATING DEVICES, EXPANSION, PROACTIVE, MODE, SPEED.

## Перелік скорочень

$\sigma_{0,2}$  – умовний прохід плинності;

$\sigma_B$  – тимчасовий опір руйнуванню;

$\delta_5$  – відносне подовження зразків;

$\Psi$  – відносне звуження;

$K_{CV}$  – ударна в'язкість зразків з  $V$  – подібним надрізом;

$K_{CT}$  – робота поширення тріщини;

$\epsilon$  – швидкість деформації;

$\epsilon_{max}$  – ступінь деформації при якій досягається стала стадія;

$a_{yn}$  – напруга на сталій стадії деформації;

$r$  – час;

$t_{def}$  – температура деформації;

$K_{op}$  – коефіцієнт орієнтації зерен;

$D$  – розмір зерен;

## Зміст

Вступ	10
1 Аналіз наукової інформації	13
1.1 Загальна характеристика сталі 08X18H10T	13
1.2 Вплив гарячої деформації на структуру і механічні властивості сталі 08X18H10T	16
2. Дослідницька частина	36
2.1 Прокатуємість нержавіючих сталей	36
2.1.1 Прокатка нержавіючих кислотостійких сталей	36
2.1.2 Дефекти що утворюються з причин, безпосередньо від деформації не залежних	39
2.1.3 Прокатуємість і структура нержавіючих сталей	43
2.1.4 Аналіз технологічних параметрів нержавіючих сталей	46
2.1.4.1 Опір деформації	46
2.1.4.2 Розширення	49
2.1.4.3 Випередження	53
2.1.4.4 Схильність до налипання	54
2.1.4.5 Особливості деформації	55
2.2 Нагрівання нержавіючих сталей	56
2.2.1 Нагрівання зливків нержавіючих сталей аустенітного класу	56
2.2.2 Режим нагріву зливків стали 12X18H10T	58
2.3 Калібрування валків для прокатки нержавіючих сталей	62
2.3.1 Аналіз систем калібрування валків для прокатки нержавіючих сталей.	63
2.3.2 Складки, зморшки і форма калібрів	69
2.3.3 Результат аналізу систем калібрування валків для прокатки нержавіючих сталей	72
2.3.4 Дослідження прокатки сталі X18H9T з підвищеними обтискуваннями на блюмінгу	73
2.3.5 Зміна поверхневих дефектів під час прокатки трубної	76

	заготовки з корозійностійкої сталі	
2.4	Коротка технічна характеристика стану "1050/950".	85
2.4.1	Призначення і сортамент стану	85
2.4.2	Приймальна ділянка	85
2.4.3	Ділянка робочих клітей	87
2.4.4	Обтискувальна кліть	87
2.4.5	Заготівельна кліть.	89
2.4.6	Підпільні кантувачи	89
2.5	Розробка режимів обтиснень, калібрування валків і технології прокатки кіл діаметром 230 – 265 мм з нержавіючої сталі на блюмінгу з використанням САПР ТП, що забезпечують стабільність процесу прокатки	90
2.5.1	Аналіз недоліків заводської технології	90
2.5.2	Технологія прокатки кола 265 мм з видачею готового прокату з першої кліті (варіант 1)	91
2.5.3	Технологія прокатки кола 265 мм з видачею готового прокату з другої кліті (варіант 2)	99
2.5.4	Технологія прокатки кола 230 мм з видачею готового прокату з другої кліті	99
2.5.5	Визначення завантаження обладнання головної лінії блюмінга по енергосиловим параметрам прокатки з використанням САПР	101
2.5.6	Дослідницьке прокатування злитків нержавіючих марок сталей з підстужуванням	106
2.5.7	Проведення дослідних прокаток і аналіз їх результатів. Корегування технології прокатки.	109
2.6	Рекомендації по прокатці кіл діаметром 265 мм із нержавіючих сталей	122
2.7	Висновок	123
3	Очікуваема економічна ефективність	125

4	Охорона праці	127
4.1	Аналіз потенційних небезпек	127
4.2	Заходи з забезпечення безпеки	128
4.3	Заходи з виробничої санітарії та гігієни	135
4.4	Заходи забезпечення безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій	139
4.4.1	Заходи з пожежної безпеки	139
4.4.2	Організація управління персоналом під час надзвичайної ситуації	140
	Література	142
	Додаток 1. Параметри прокатки кола 230, 265 мм	145

## ВСТУП

Щорічне збільшення металоспоживання невід'ємно пов'язане з найбільш розвиненою галуззю чорної металургії України – трубним виробництвом. По випуску труб Україна займає 3 місце в світі, маючи можливість виготовлення понад 8 млн. тон труб на рік. Високі темпи нарощування виробничих потужностей і розширення сортаменту сталевих труб обумовлені інтенсивним зростанням їх споживання. Споживання труб пов'язано зі зміною структури паливного балансу, швидким розвитком трубопровідного транспортування газу, рідин і сипучих речовин, будівництва і т.д. [1]

Однак, при цьому всі труби повинні мати ряд високих споживчих якостей. З цієї причини розширення сортаменту на Нікопольському Південнотрубному заводі направлено на випуск безшовних труб з корозійностійких сталей великого діаметру [2].

Виробництво трубних заготовок з нержавіючих сталей (кола діаметром 265 – 230 мм) передали на завод ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ». Завод ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» – єдине підприємство в Україні, яке має як прокатне, так і ковальсько–пресове виробництво.

Поряд з прокатними станами, блюмінгом 1050/950 і трьома лінійними сортовими станами 550, 325 і 280, на заводі встановлено чотири гідравлічних преса зусиллям від 5 до 60 МН, крім того є молоти з масою падаючих частин від 1 до 3 тонн і дві радіально кувальні машини РКМ–1000 і РКМ–340. Для холодної деформації на заводі в калібрувальному цеху є волочильні стани, ланцюгові і барабанні.

Тому в марочний сортамент заводу ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» входять важкодеформовані сталі і сплави, традиційна деформаційна схема яких включає ковку зливків на пресах з подальшою переробкою на інших кувальних агрегатах або на прокатних станах. Використовується також схема, що включає прокатку зливків на першому етапі і ковку катаних заготовок на пресах або радіально – кувальних машинах на другому етапі деформування [3].

Вибір технологічної схеми визначається, головним чином, вимогою до якості продукції. другим критерієм вибору способу деформування зливків і заготовок є економічна доцільність тієї чи іншої схеми.

Кування забезпечує індивідуальні умови деформування кожного злитка і заготовки за рахунок оперативної зміни режимів деформації в залежності від технологічної пластичності сталі. При куванні застосовують проміжне підігрівання поковок до температур максимальної пластичності металу, проміжне обдирання поковок для видалення утворюваних поверхневих дефектів або вирубку дефектів в гарячому стані.

Крім цього, кування на пресах і молотах забезпечує ідеальну схему тристороннього стиснення по всьому перетину профілю. В результаті цієї обробки отримувана металопродукція характеризується високою якістю поверхні та інтенсивним опрацюванням осьової зони прутка. Однак, при всіх своїх перевагах кування малопродуктивний процес з великими втратами металу в угар, окалину, кускові відходи, абразивний пил і стружку, що обумовлює високу собівартість поковок.

Тому, з метою зменшення витрат на виробництво металопродукції, останнім часом на заводі проведений ряд робіт по заміні операції кування на пресах прокаткою на стані блюмінг 1050/950 і заміні операції кування на молотах прокаткою на сортовому стані 550.

Зменшенням витрат по переробці, підвищенням продуктивності та економією металу обумовлено і освоєння технології виробництва штанг діаметром 250 і 290 мм з нержавіючих сталей прокаткою на обтискувальній кліті 1050 замість кування на пресах.

Підвищена схильність нержавіючих сталей до розширення і високий опір деформації їх прокату на сортові прутки в обтискувальній кліті без утримуєчої привалкової арматури викликає значні труднощі, пов'язані з явищем втрати стійкості розкату при деформації в круглому калібрі.

Маніпуляційні лінійки блюмінга призначені для передачі розкату з одного калібру в інший калібр і не можуть виконувати в повному обсязі

функцій пропусків і, тому, не забезпечують необхідного стійкого становища овального розкату при прокатці в круглому калібрі. Тому ніде в світі не виробляють круглі профілі з нержавіючої аустенітної сталі на блюмінгу. Заводу ПрАТ «ДНПРОСПЕЦСТАЛЬ» першим вдалося отримати прокат діаметром 300 – 265 мм зі сталі 12Х18Н10Т на обтискувальному стані. Прокат діаметром 300 мм, отриманий із злитків масою 3,6 і 4,3 т, має внутрішні дефекти протяжністю по довжині прутка до 500 мм, які класифікуються як осьова пористість злитка, що важко заварюються при деформації. Прокат діаметром 265 мм в даний момент знаходиться на стадії освоєння.

# 1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

## 1.1 Загальна характеристика сталі 08X18H10T

Призначення: зварна арматура, що працює в середовищах підвищеної агресивності, теплообмінники, муфелі, труби, деталі пічної арматури, тощо [4].

Сталь корозійностійка і жаростійкий аустенітного класу.

Хімічний склад сталі по ГОСТ 5632 – 72:

C 0,08%; Cr 17 – 19%; Ni 9 – 11%; Ti 0,4 – 0,7%; Si 0,8%; Mn до 2%; S до 2%; P до 0,035%; Cu до 0,3%.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості

ГОСТ	Стан поставки, режими термообробки	Перетин	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_e$	$\delta_5$	$\psi$
		мм <sup>2</sup>	МПа	МПа	%	%
5949 – 75	Прутки. Загартування 1020 – 1100 °С охолодження на повітрі, маслі, воді	60	196	490	40	35
18907 – 73	Прутки шліфовані, оброблені на задану міцність	1 – 30	–	590 – 830	20	–
7350 – 77 5582 – 75	Литі, гаряче та холодно катані: загартування 1000 – 1080 °С вода або повітря; загартування 1050 – 1080 °С вода або повітря	Понад 4 до 3,9	206 –	509 520	43 40	– –
25054 – 81	Кування, загартування 1150 – 1100 °С вода або повітря	100	196	490	35	40
9940 – 81	Труби безшовні гаряче деформовані без термообробки	3,5		510	40	–
Показник	Ударна в'язкість		Термічна обробка			
			– 25°С			
KCV, Дж/см <sup>2</sup>	216	181	Загартування 1050 °С			
KCT, Дж/см <sup>2</sup>	167	147				

Таблиця 1.2 – Механічні властивості при підвищених температурах

Температура °С	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_e$	$\delta_5$	$\psi$	кси
	МПа	МПа	%	%	Дж/см <sup>2</sup>
20	275	610	41	63	245
300	200	450	31	65	
400	175	440	31	65	313
500	175	440	29	65	363
600	175	390	25	61	353
700	160	270	24	59	333

Технологічні властивості:

- температура кування 1220 °С початок, кінець 900 °С, перетини до 300 мм охолоджуються на повітрі.
- зварюваність – способи зварювання РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом АрДЗ, КТЗ і ЕШЗ.

При високому вмісті в сталі легуючих елементів розширюють область  $\gamma$  фази при нормальній температурі можна отримати чисто аустенітну структуру. При високому вмісті  $Ni$  і  $Mn$  вони є основною складовою матриці. Аустеніт – твердий розчин вуглецю та інших домішок в залізі  $\gamma$  фази. Атом вуглецю в решітці  $\gamma$  заліза розташовується в центрі елементарної комірки ГЦК (рисунок 1.1) в якій може поміститися сфера радіусом  $0,41R$  ( $R$  – атомний радіус заліза) і в дефектних областях кристала.

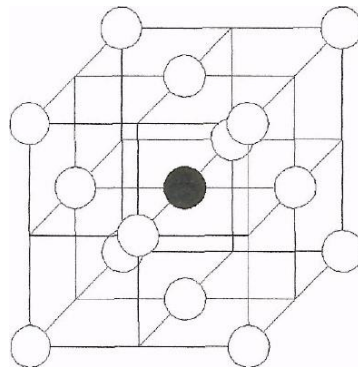


Рисунок 1.1 – Гранецентрична кубічна решітка

Легуючі елементи розчиняючись в  $\gamma$  залізі, підвищують міцність аустеніту при нормальних і високих температурах. Для легованого аустеніту характерні низька межа плинності при порівняно високій межі міцності. При цьому аустеніт легко наклепується, тобто швидко і сильно зміцнюється під дією холодної деформації. Аустеніт парамагнітний, має великий коефіцієнт теплового розширення.

Для визначення в даній сталі структурного стану можна скористатися діаграмою Шеффлера для нержавіючих сталей (рисунок 1.2). На рисунку 1.2 зона 1 відповідає складу сталі 08X18H10T. [5]

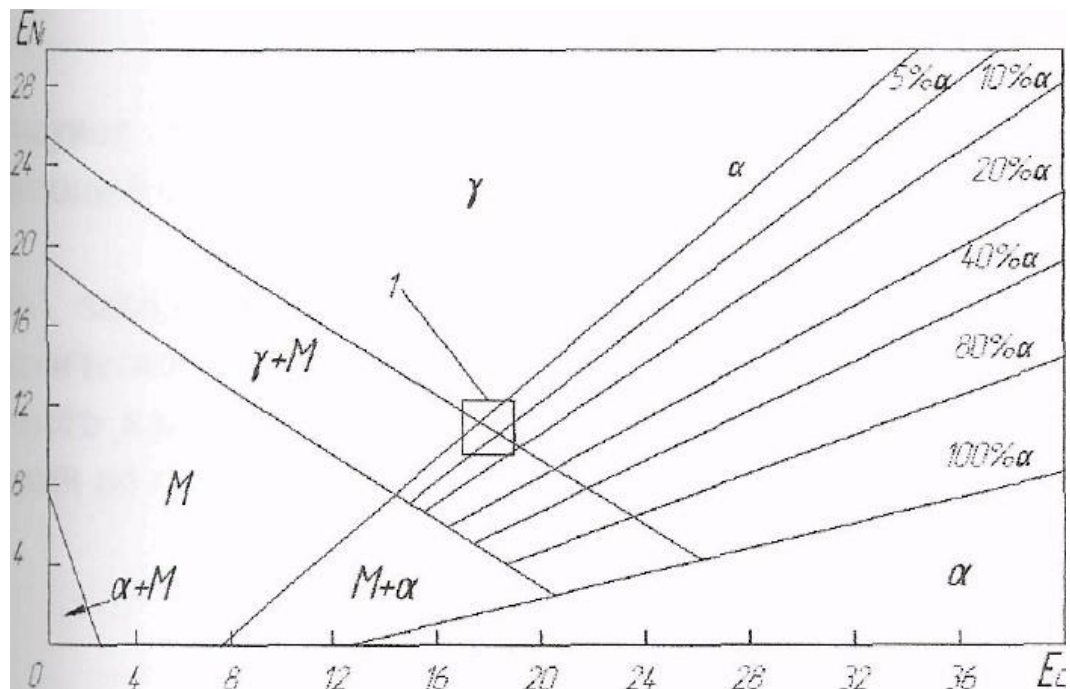


Рисунок 1.2 – Діаграма Шеффлера для нержавіючих сталей

Для визначення пластичності сталі 08X18H10T можна скористатися рисунком 1.3. Звідси видно, що пластичність стали залежить прямо від відхилень в хімічному складі. Чим більше нікелю, магнію (еквіваленти нікелю) і при цьому менше хрому, кремнію, і титану (еквіваленти хрому) пластичність задовільна. Якщо відхилення по еквівалентам будуть протилежні в такому випадку сталь має особливо низьку пластичність.

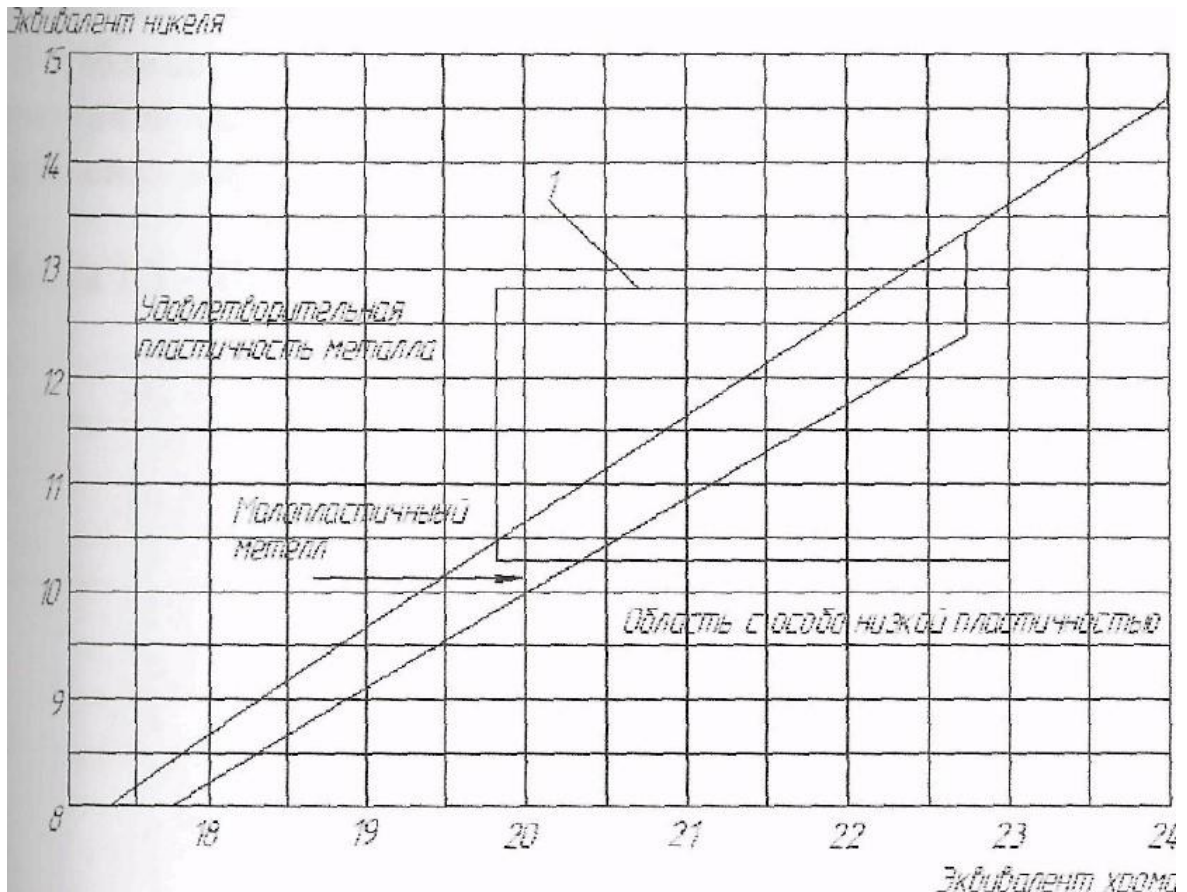


Рисунок 1.3 – Діаграма для визначення пластичності нержавіючої сталі

## 1.2 Вплив гарячої деформації на структуру і механічні властивості сталі 08X18H10T

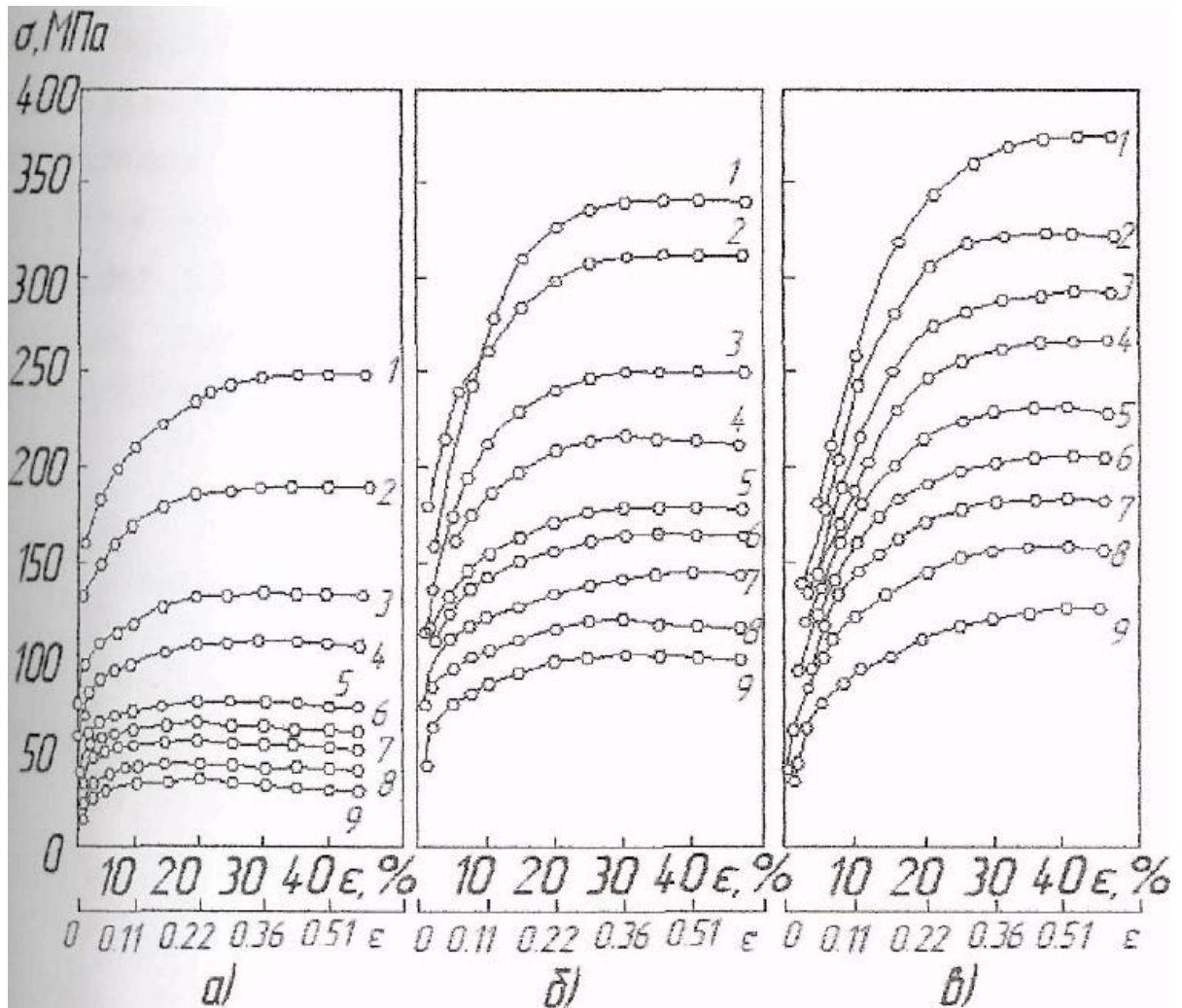
Для розуміння процесів структуроутворення в аустенітних нержавіючих сталях при гарячій деформації необхідно встановити температурно – швидкісні інтервали прояву можливих механізмів зміцнення (разміцнення) сталей цього класу і закономірності процесів структуроутворення. [7]

У таблиці 1.3 наведені параметри діаграм високотемпературного осаджування у координат дійсна напруга – відносна деформація (рисунок 1.4) для сталі 08X18H10T.

Таблиця 1.3 – Параметри діаграм високотемпературного стиснення

$T, ^\circ\text{C}$	$\dot{\epsilon}, \text{c}^{-1}$	$\epsilon_{\text{max}}$	$\sigma_{\text{уст}}, \text{МПа}$	$t_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$
800	$10^{-3}$	0,47	245	375
	0,5	0,43	340	0,70
	5	0,60	380	0,09
850	$10^{-3}$	0,43	188	350
	0,5	0,43	351	0,70
	5	0,51	327	0,08
900	$10^{-3}$	0,39	132	325
	0,5	0,43	251	0,70
	5	0,51	294	0,08
950	$10^{-3}$	0,36	105	300
	0,5	0,43	224	0,70
	5	0,51	269	0,08
1000	$10^{-3}$	0,29	73	250
	0,5	0,43	181	0,70
	5	0,43	230	0,07
1050	$10^{-3}$	0,25	61	225
	0,5	0,43	163	0,07
	5	0,51	206	0,08
1100	$10^{-3}$	0,22	52	200
	0,5	0,43	137	0,70
	5	0,51	186	0,08
1150	$10^{-3}$	0,16	38	150
	0,5	0,36	115	0,60
	5	0,51	156	0,08
1200	$10^{-3}$	0,11	29	100
	0,5	0,29	100	0,5
	5	0,51	124	0,08

Величина зерна сталі в початковому стані становила  $\sim 25$  мкм. Отримані діаграми високотемпературної деформації 08X18H10T в дослідженому інтервалі  $t_{\text{деф}} = 800 - 1200$   $^\circ\text{C}$  і швидкостей деформації  $\dot{\epsilon} = 10^{-3} - 5$   $\text{c}^{-1}$  характеризуються відсутністю явно вираженого максимуму напруги. Напруга плину зростає до деякого значення  $\sigma_{\text{уст}}$ , що характеризує сталу стадію деформації, і в подальшому не змінюється.



а) при  $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ; б) при  $\dot{\epsilon} = 0,5 \text{ с}^{-1}$ ; в) при  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ с}^{-1}$ .

1 – 800 °С; 2 – 850 °С; 3 900 °С; 4 – 950 °С; 5 – 1000 °С;

6 – 1050 °С; 7 – 1100 °С; 8 – 1150 °С; 9 – 1200 °С.

Рисунок 1.4 – Діаграми високотемпературної деформації осадкою сталі 08X18N10T:

Ступінь деформації  $\epsilon_{max}$ , при якій досягається встановилася стадія, характеризує схильність матеріалу до знеміцнення в конкретних умовах гарячої деформації в залежності від температури і швидкості. Зі збільшенням швидкості деформації при даній температурі  $\epsilon_{max}$  зміщується в бік високих ступенів деформації, причому залежність тим більша, чим вище температура (рисунок 1.5). При швидкості деформації  $10^{-3} \text{ с}^{-1}$  зі

збільшенням температури  $\epsilon_{max}$  зменшується (рисунок 1.5). Аналогічна залежність для  $\dot{\epsilon} = 0,5 \text{ с}^{-1}$  спостерігається тільки для температури деформації вище  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . При  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ с}^{-1}$  зі зміною температури деформації  $\epsilon_{max}$  практично не змінюється і становить  $\sim 0,5$ .

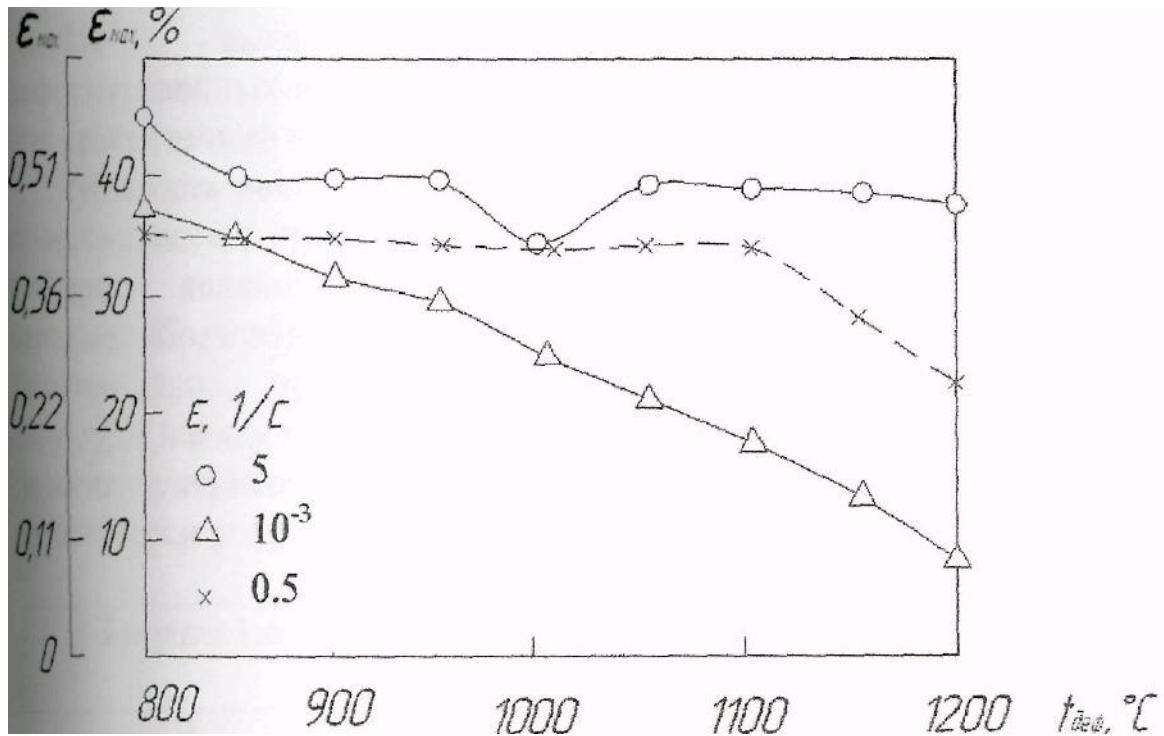


Рисунок 1.5 – Залежність  $\epsilon_{max}$  від температури деформації сталі типу 08X18H10T

Таким чином, особливістю гарячої деформації сталі 08X18H10T є сильна залежність  $\epsilon_{max}$  від швидкості в області температур вище  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  і від температури в області швидкостей деформації  $\sim 10 - 3 \text{ с}^{-1}$ . В інтервалі ж швидкості  $0,5 - 5 \text{ с}^{-1}$  ступінь деформації, при якій досягається усталена стадія, практично не змінюється аж до температури деформації  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  і становить  $0,43 - 0,51$ .

Напруга плин на сталій стадії зростає зі збільшенням швидкості і зниженням температури деформації.

Діаграми високотемпературної деформації без максимуму напруги зазвичай пов'язують з розміщенням на сталій стадії за типом динамічної полігонізації [8, 9, 10, 11]. Дійсно, аж  $t_{def} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$  на сталій стадії ( $\dot{\epsilon} = 0,7$ ) спостерігали

структуру динамічної полігонізації. Проводячи металографічний і електронно–мікроскопічний аналіз виявили наявність витягнутих вихідних зерен (рисунок 1.6, а) з розвиненою полігонізацією. Субструктура всередині них при всіх досліджених швидкостях деформації (рисунок 1.6, г, д). При  $t_{def} = 850$  °С виявлено зубчасті межі вихідних деформованих витягнутих зерен, причому особливо чітко при порівняно низьких швидкостях деформації.

Зубчатість є наслідком переважного розвитку полігонізації в пригранічних зонах, де виростають великі субзерна, є, по суті справи, ранньою стадією зародкоутворення при динамічній рекристалізації. Так при підвищенні температури деформації в структурі, поряд з вихідними витягнутими зернами, в перетинах, перпендикулярних площині стиснення, спостерігаються рівноосно динамічно рекристалізовані зерна (рисунок 1.6, б).

Таблиця 1.4 – результати металографічний і електронно–мікроскопічний аналіз

	$t_{def}$ , Деф	$\dot{\epsilon}$ , $s^{-1}$	збільшення
А	900	5	320
Б	1000	5	320
В	1100	0,5	320
Г	850	$10^{-3}$	15700
Д	900	5	11000
Е	1050	0,5	5000
Ж	1100	0,5	15700
З	1150	0,5	11000

Температура початку динамічної рекристалізації залежить від швидкості деформації: чим вище швидкість, тим нижче температура початку рекристалізації. Так, при  $\dot{\epsilon} \approx 5$   $s^{-1}$  ця температура дорівнює  $\sim 930$  °С, а при  $\dot{\epsilon} \approx 10^{-3}$   $s^{-1}$  температура початку рекристалізації близька до 990 °С (рисунок 1.7). З підвищенням температури деформації при одному і тому ж, (досить великий – більше  $\epsilon_{уст}$ ), ступені деформації, частка рекристалізованих зерен збільшується.

Деформація при температурі вище 1100 °С з будь – якої дослідженою швидкістю ( $\varepsilon = 0,7$ ) призводить до формування повністю динамічно рекристалізованої структури (рисунок 1.6, в, 1.7).

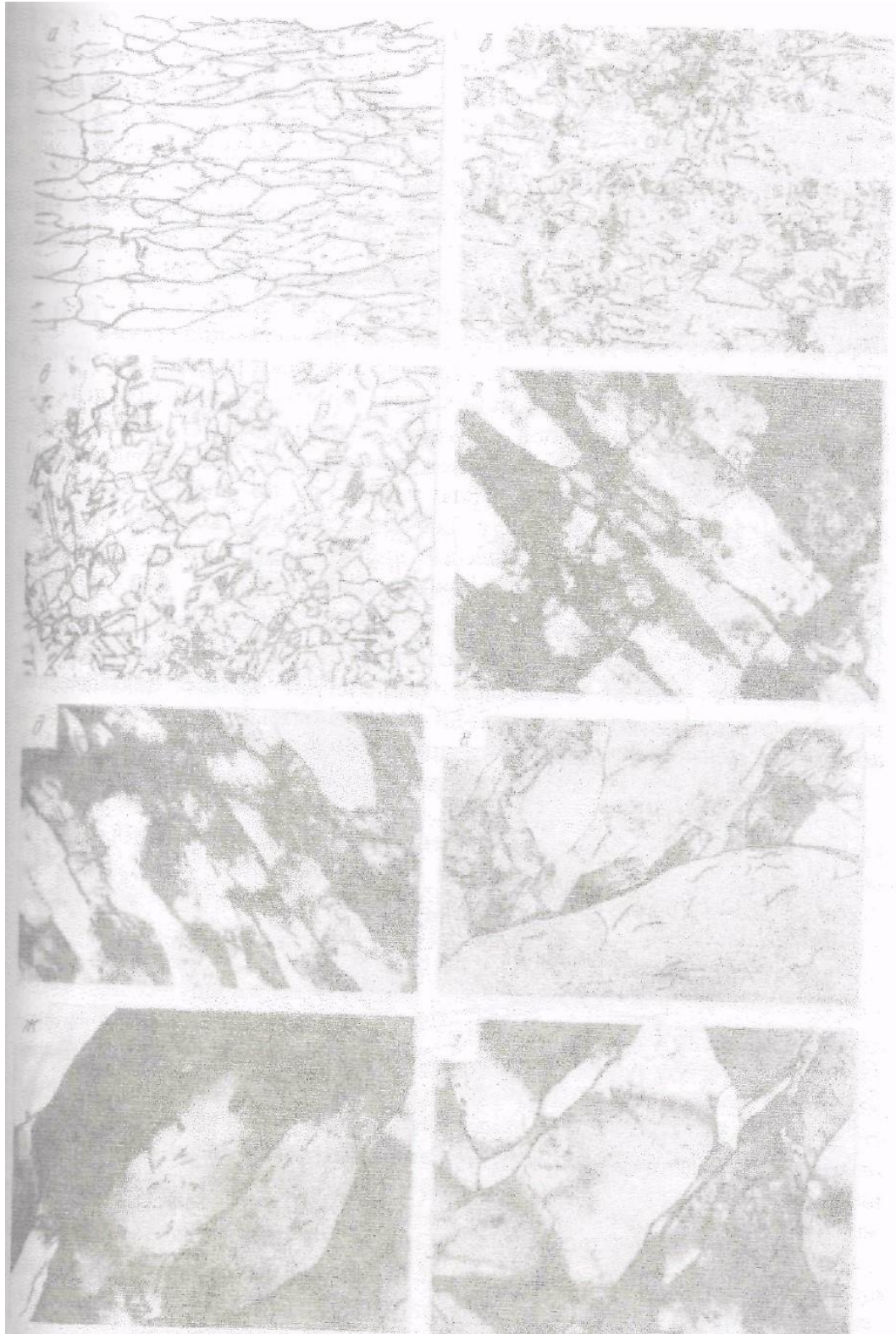


Рисунок 1.6 – Структура сталі 08X18N10T після гарячої деформації

$\varepsilon = 50\%$

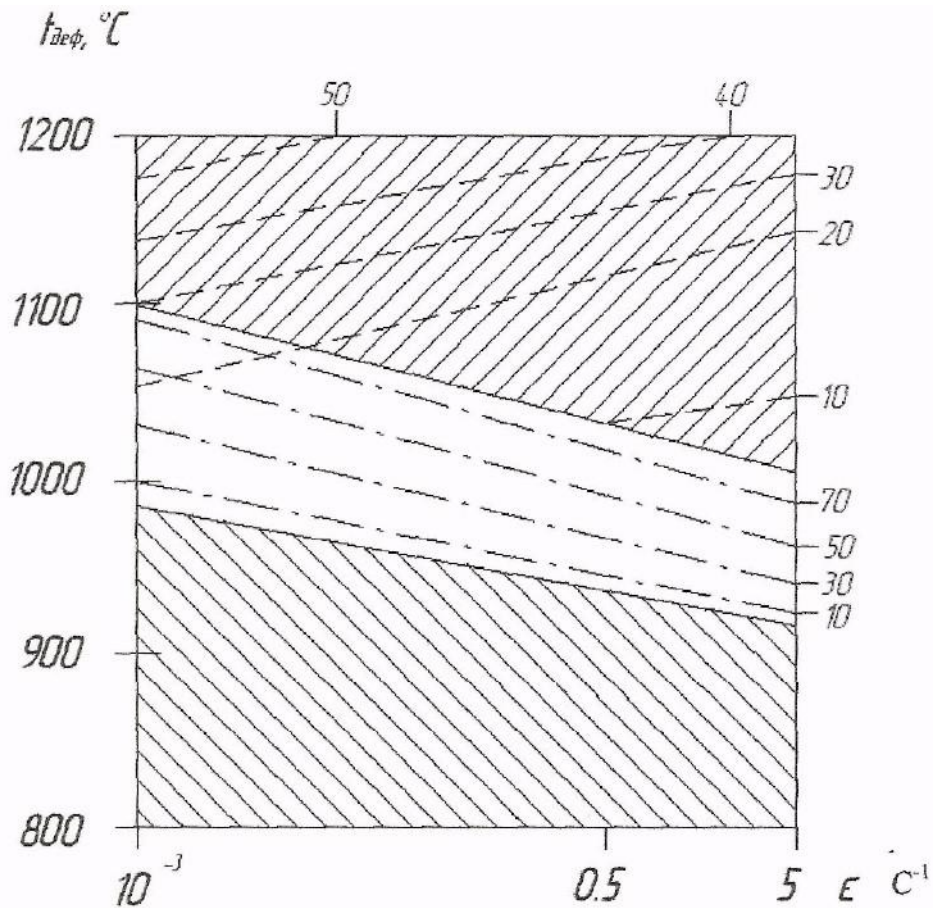


Рисунок 1.7 – Карта структурних станів сталі типу 08X18НЮТ при гарячій деформації ( $\epsilon = 0,7$ ); штрихпунктирні лінії рівних значень частки рекристалізованих зерен (%), штрихові – лінії рівних значень величини некристалізованих зерен, мкм.

Ознакою динамічної природи рекристалізації служить наявність субзеренної структури всередині практично рівноосних зерен (див. рисунок 1.6, в, ж, з). існування структури гарячого наклепу, ячеистої і полігонізованої структур свідчить про неоднорідність тонкої структури в ході динамічної рекристалізації; порізному орієнтовані зерна знаходяться на різній стадії деформації. Інтервал температур деформації, при яких одночасно можуть проходити процеси динамічної полігонізації в початкових зернах і динамічної рекристалізації для швидкості деформації  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ с}^{-1}$  становить  $\sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ , а для  $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  збільшується до  $\sim 110 \text{ }^\circ\text{C}$ . Іншими словами, при більшій швидкості деформації не тільки знижується температура початку динамічної

рекристалізації, а й звужується інтервал температур переходу до повністю динамічно рекристалізованої структури (рисунок 1.7).

Перебіг динамічної рекристалізації супроводжується зміною середнього розміру зерна  $D$ , коефіцієнта площинної орієнтації ( $K_{op}$ ) на сталій стадії деформації (рисунок 1.8). При  $t_{def} < 900$  °C середня величина вихідного витягнутого зерна і коефіцієнта площинної орієнтації, практично незалежний від температури.

Подальше підвищення температури деформації призводить до зменшення як середнього розміру зерна, так і коефіцієнта площинної орієнтації внаслідок утворення дрібних рекристалізованих зерен, особливо при підвищенні швидкості деформації. У разі, коли  $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ , зменшення середнього розміру зерна не спостерігається, а коефіцієнт площинної орієнтації якісно стає таким, як і при великих швидкостях. При повільній швидкості деформації можливо укрупнення зерен структури.

Процеси структуроутворення в міру збільшення ступеня гарячої деформації (тобто на різних ділянках діаграми ( $\sigma - \dot{\epsilon}$ ) для температурно – швидкісних інтервалів, що відповідають реалізації різних механізмів розміщення на сталій стадії деформації, протікають в наступній послідовності.

При розміщенні по типу динамічної полігонізації (рисунок 1.9, а) зі збільшенням ступеня деформації вихідне зерно стає більш анізотропним – збільшується коефіцієнт площинної орієнтації (рисунок 1.9, а). Уже при  $\epsilon = 0,16$  полігонізовано 50% обсягу, щільність вільних дислокацій близько  $5 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ . Більше половини цього обсягу займають рівноосні субзерна, інший обсяг на 30% складається з ділянок з несформованої субзеренною структурою і на 20% з ділянок зі структурою гарячого наклепу; зі збільшенням ступеня деформації зростає загальна частка полігонізованих обсягів, а також частка рівноосних субзерен. Формування регулярної полігонізованої структури з рівноосними субзернами у всьому обсязі відстає від встановлення постійної напруги (рисунок 1.9, а). Після деформації зі ступенем  $\epsilon = 0,6$ , що відповідає досягненню стадії усталеної напруги, полігонізована структура займає близько

90% обсягу; при цьому тільки 55% зайнято равноосними субзернами. Щільність вільних дислокацій становить близько  $5 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ .

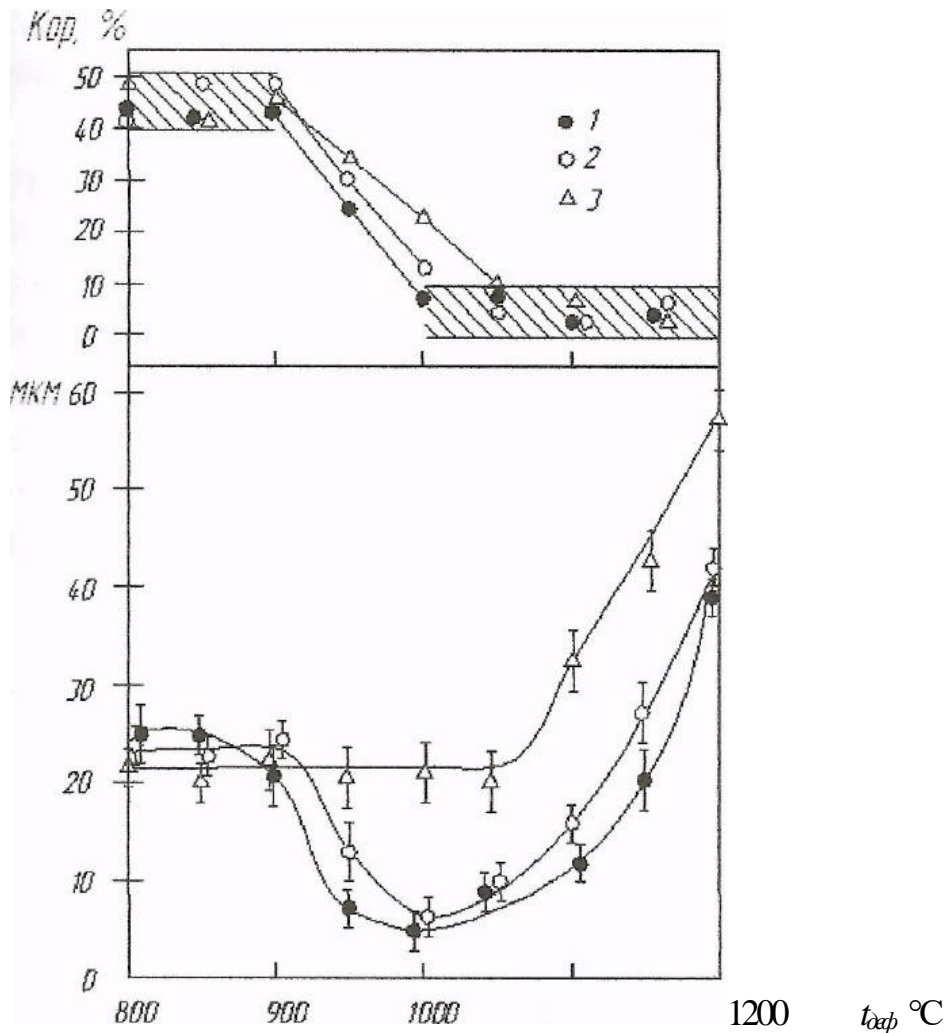


Рисунок 1.8 – Зміна середнього розміру зерна  $d$  і коефіцієнта площинної орієнтації ( $K_{op}$ ) зерен аустеніту сталі типу 08X18H10T при гарячій деформації осаджуванням ( $\varepsilon \approx 0,7$ ): швидкість деформації  $\dot{\varepsilon}$ ,  $\text{с}^{-1}$ : 1 – 5; 2 – 0,5; 3 –  $10^{-3}$

Розмір як рівноосних, так і витягнутих субзерен зі збільшенням ступеня гарячої деформації на висхідній частині діаграми зменшується, досягаючи постійного значення при переході до сталої стадії (рисунок 1.9, а).

У разі розміщення за механізмом динамічної рекристалізації (рисунок 1.9, б) рівноосні зерна спостерігали аж до ступенів деформації  $\varepsilon = 0,7$ . Судити про кінетиці динамічної рекристалізації важко через сумарність вихідних і рекристалізованих зерен. Невелике зменшення

середнього розміру зерна зі збільшенням ступеня деформації на сталій стадії, мабуть, свідчить про поступове проходження динамічної рекристалізації, тобто про запізненні встановлення структури динамічної рекристалізації в усьому обсязі в порівнянні з досягненням встановленої напруги. Як уже зазначалося, всередині багатьох динамічно рекристалізованих зерен спостерігали полігонізовану субструктуру. Щільність вільних дислокацій при  $t_{def} = 1050 \text{ } ^\circ\text{C}$  менше, ніж при  $t_{def} = 850 \text{ } ^\circ\text{C}$  і становить близько  $5 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$ . Відстань між субмежами як витягнутих, так і рівноосних субзерен на сталій стадії постійна.

Рентгенівський дифракційний аналіз текстури гарячедеформованої сталі показав, що зміни інтенсивності ліній  $\{220\}$  і  $\{200\}$  чутливі до ступеня розвитку зміцнення і знезміцнення в ході гарячої деформації (рис. 1.10). При температурі деформації  $850 \text{ } ^\circ\text{C}$ , коли ознаки динамічної рекристалізації відсутні, зі збільшенням ступеня деформації посилюється компонента  $\{220\}$ , що характеризує текстуру гарячої деформації  $\{110\}$  (рисунок 1.10, а) [12, 13]. При  $t_{def} = 1150 \text{ } ^\circ\text{C}$ , коли найбільш імовірним процесом розміцнення є динамічна рекристалізація, полюсна щільність компоненти  $\{220\}$  висока тільки на початковій стадії деформації. Потім полюсна щільність цієї лінії зменшується в зв'язку з розвитком процесів динамічної рекристалізації і посилюється компонента  $\{200\}$ , що характеризує текстуру динамічної рекристалізації:

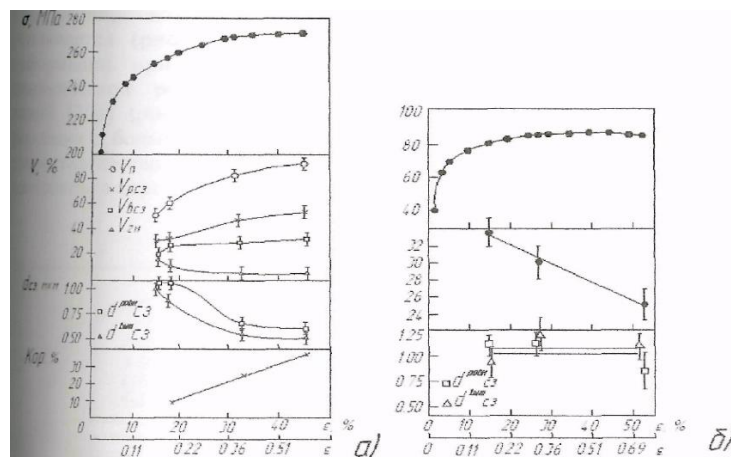


Рисунок 1.9 – Залежність напруги плину і структури сталі типу 08X18N10T від ступеня гарячої деформації осадкою:

а) в разі розміщення на сталій стадії деформації за механізмом динамічної полігонізації ( $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $t_{\text{деф}} = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ); б) в разі розміщення за механізмом динамічної рекристалізації ( $\dot{\epsilon} = 0,1 \text{ с}^{-1}$ ,  $t_{\text{деф}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ );  $V_n$  – частка полігонізованої структури,  $V_{p.cз}$ ,  $V_{в.cз}$  – частка рівноосних і витягнутих субзерен,  $V_{r.H}$  – частка структури гарячого наклепу,  $d_{\text{рівнсз}}$  – розмір рівноосних субзерен,  $d_{\text{витмсз}}$  – відстань між субмежами в витягнутих субзернах,  $d$  – середній розмір зерен,  $K_{op}$  – коефіцієнт площинної орієнтації (рисунок 1.10, б) [12, 13].

Поступова зміна (посилення) щільності компоненти текстури динамічної рекристалізації  $\{200\}$  при деформації на сталій стадії, очевидно також свідчить про поступове проходження динамічної рекристалізації. З підвищенням швидкості деформації від  $10^{-3}$  до  $5 \text{ с}^{-1}$  при  $t_{\text{деф}} = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ , відповідної деформації динамічно полігонізованої структури на сталій стадії деформації, компонента текстури деформації  $\{220\}$  посилюється (рисунок 1.11, а). Така ж зміна швидкості деформації при  $t_{\text{деф}} = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$  знижує гостроту текстури динамічної рекристалізації, тобто полюсну щільність ліній  $\{200\}$  (рисунок 1.11, б). Це пояснюється тим, що при деформації з більшою швидкістю зменшується розмір динамічно рекристалізованих зерен, які створюють конгломерат більш ізотропної будови (див. рисунок 1.8) [13].

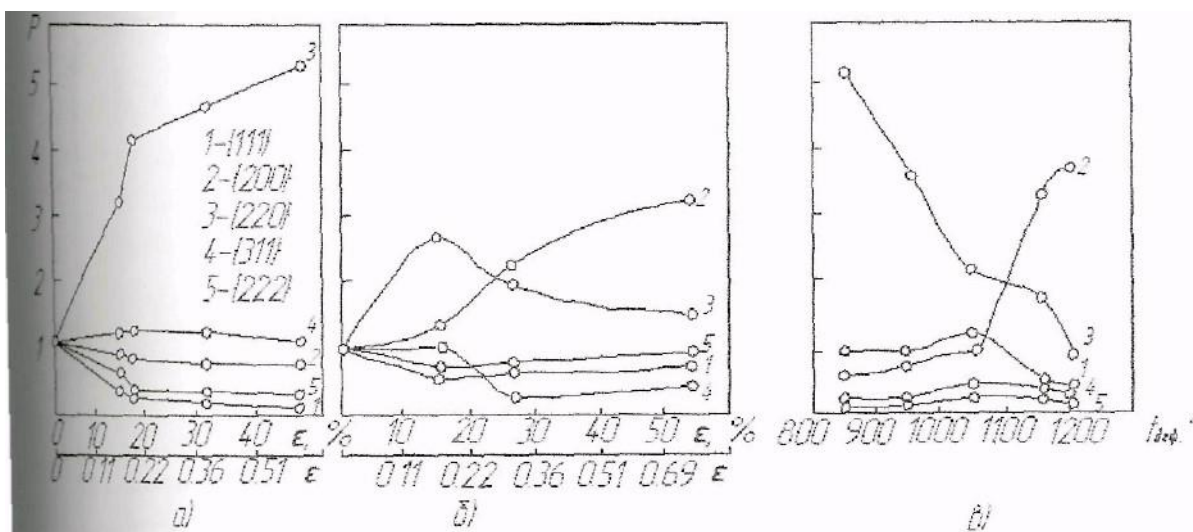


Рисунок 1.10 – Залежність полюсної щільності рентгенівських

ліній сталі типу 08X18H10T від ступеня і температури гарячої деформації осадкою, а) при  $\dot{\epsilon} = 10^{-2} \text{ c}^{-1}$ ,  $t_{\text{деф}} = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ ; б) при  $\dot{\epsilon} = 0,1 \text{ c}^{-1}$ ,  $t_{\text{деф}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$  в) при  $\dot{\epsilon} = 0,5 \text{ c}^{-1}$ ,  $\epsilon = 50\%$ .

Таким чином, при випробуваннях високотемпературним осаджуванням зі швидкостями від  $10^{-3}$  до  $5 \text{ c}^{-1}$  показано, що на сталій стадії гарячої деформації аустенитної корозійностійкої сталі 08X18H10T можливе протікання двох механізмів розміщення: динамічної полігонізації і динамічної рекристалізації. В інтервалі температур  $950 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$  відбувається перехід від розміщення за механізмом динамічної полігонізації до динамічної рекристалізації, причому температура цього переходу тим нижче, чим вище швидкість деформації. Діаграми, отримані при  $t_{\text{деф}} = 800 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ , не мають піку; тільки при  $t_{\text{деф}} = 1225 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ ) була отримана діаграма гарячої деформації, що має пік напруги близько  $5 \text{ МПа}$  в області деформації  $0,11 - 0,22$  (рисунок 1.12). Підвищення напруги при деформації більше  $\sim 0,7$  пов'язано з тим, що при такій великій деформації значна роль контактних сил тертя між поверхнями зразка і штанг.

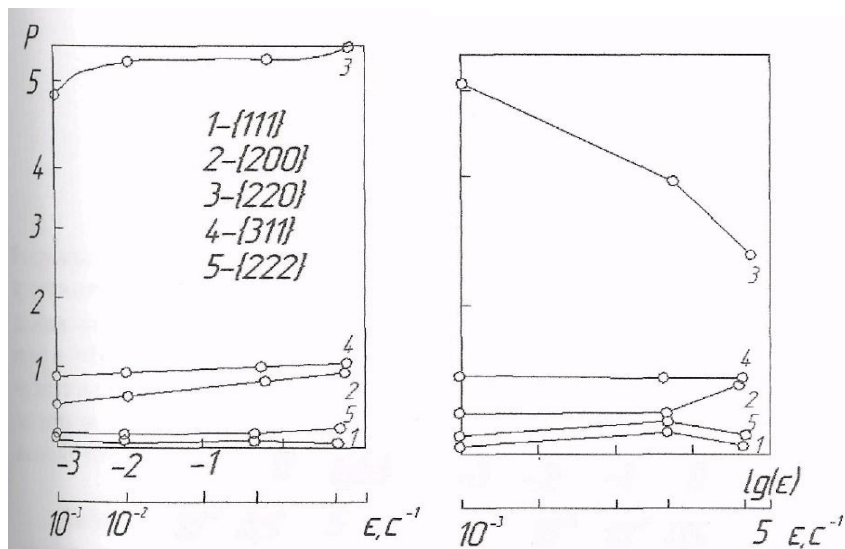


Рисунок 1.11 – Залежність полюсної щільності  $P$

рентгенівських ліній сталі типу 08X18H10T від швидкості  $\dot{\epsilon}$  при гарячій деформації осадкою ( $s = 50\%$ ): а) при  $t_{def} = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б) при  $t_{def} = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

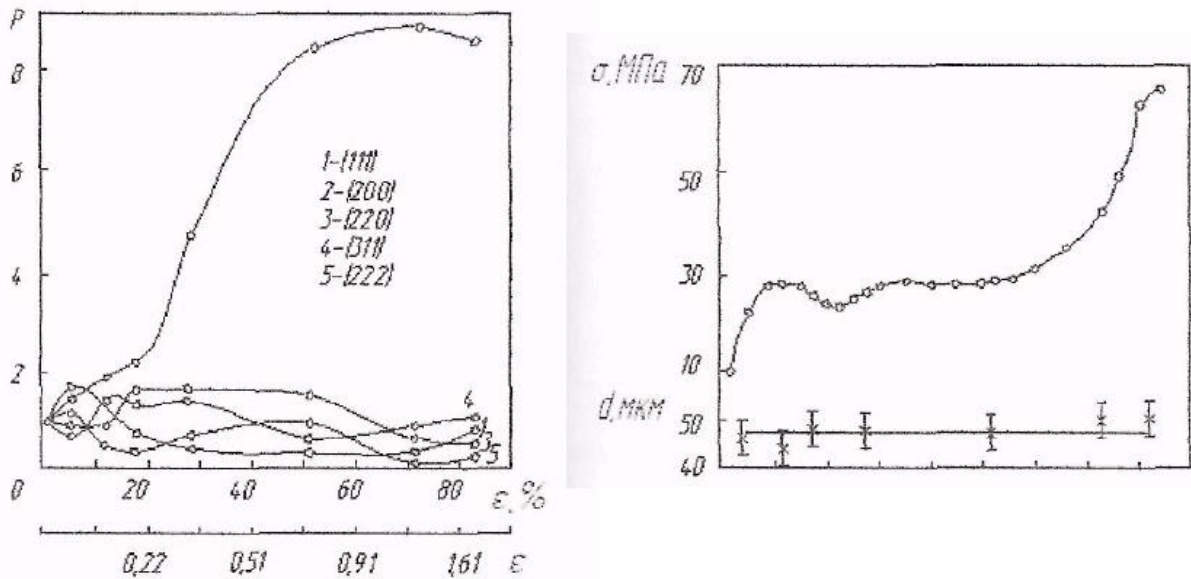


Рисунок 1.12 – Залежність напруги плину  $\sigma$ , розміру аустенітного зерна  $d$  і полюсної щільності  $P$  рентгенівських ліній сталі типу 08X18H10T від ступеня гарячої деформації при  $\dot{\epsilon} = 10^{-3}\text{ с}^{-1}$ ,  $t_{def} = 1225\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Діаграма отримана на більш чутливій (меншою похибка) випробувальній машині в порівнянні з діаграмами на рисунок. 1.4 і без використання високотемпературного мастила – нітриду бору.

При  $t_{def} = 1225\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $\dot{\epsilon} = 10^{-3}\text{ с}^{-1}$  розмір вихідного зерна приблизно дорівнює розміру динамічно рекристалізованого зерна, що обумовлює сталість середнього розміру маси у ході деформації (рисунок 1.12). Це не дозволяє судити про кінетику динамічної рекристалізації. Гаряче осаджування по схемі деформації наближене до прокатки, яке широко використовується в промислових циклах ВТМО аустенітних корозійностійких сталей. Тому встановлена закономірність зміни механізмів розміцнення при гарячій деформації осадкою повинна бути характерною для процесів гарячої прокатки.

Таблиця 1.4 – Параметри структури сталі 08Х18Н10Т різного складу

$t, ^\circ\text{C}$	$\epsilon, \text{c}^{-1}$		$d, \text{мкм}$	$Kop, \%$	$Vp$	$Vn$	$Vp.cз$	Відстань між субмежами в субзернах, мкм	Размір рівноосних субзерен, мкм
Звичайна виплавка з 0,09% С									
1060	Загарто вана		32,1 ± 4,5						
900	0,5	10	27,1 ± 4,0	–	0	29	<5	–	–
900	0,5	20	26,5 ± 3,8	22	0	42	<5	0,35 ± 0,02	0,41 ± 0,02
900	0,5	60	19Д ± 3,9	28	0	90	60	0,48 ± 0,06	0,30 ± 0,04
900	5	20	34,4 ± 4,8	28	0	69	–	0,37 ± 0,07	0,56 ± 0,05
900	5	60	19,5 ± 5,2	36	0	90	59	0,34 ± 0,05	0,60 ± 0,05
1050	0,5	10	32,5 ± 5,0	–	0	29	<5	1,09 ± 0,07	–
1050	0,5	10	30,2 ± 3,8	27	0	56	56	0,08 ± 0,06	0,95 ± 0,03
1050	0,5	60	21,7 ± 3,9	35	60–70	–	–	0,57 ± 0,06	0,81 ± 0,04
1050	5	20	30,8 ± 4,1	18	–	–	–	–	–
1050	5	60	14,7 ± 4,9	<10	90	–	–	0,36 ± 0,02	0,44 ± 0,01
3 0,1 % С, виплавлена з первородної шихти									
1060	Загарто вана		18,1 ± 3,0						
900	0,5	60	23,0 ± 4,2	26	0	90	62	0,31 ± 0,04	0,60 ± 0,04
900	5	60	23,2 ± 3,8	38	0	90	54	0,31 ± 0,04	0,54 ± 0,03
1050	0,5	60	25,8 ± 5,8	23	82	–	–	0,3 ± 0,01	0,58 ± 0,02
1050	5	60	8,6 ± 1,3	<10	100	–	–	0,46 ± 0,03	0,56 ± 0,02
Звичайної виплавка з 0,05% С									
1060	Загарто вана		38,7 ± 5,6						

900	0.5	60	33.6 ± 8.3	30	0	90	61	0.27 ± 0.04	0.59 ± 0.03
900	5	60	32 ± 6.1	36	0	90	60	0.3 ± 0.03	0.6 ± 0.02
1050	0.5	60	25.5 ± 5.2	25	76	–	–	–	–
1050	5	60	8 ± 2.3	<10	100	–	–	–	–
З 0,05% С, виплавлена з первородної шихти									
1060	Загарто вана		13 ± 3.2						
900	0.5	60	25.5 ± 5.2	20	0	90	–	0.32 ± 0.04	0.51 ± 0.05
900	5	60	28.6 ± 3.8	24	<5	90	–	0.29 ± 0.02	0.57 ± 0.06
1050	0.5	60	18.7 ± 4.2	<10	95	–	–	0.5 ± 0.03	0.6 ± 0.07
1050	5	60	9.7 ± 2	<10	100	–	–	–	–
V <sub>n</sub> – Частка полігонізованих обсягів									
V <sub>p.сз</sub> – Частка рівноосних субзерен									

Дійсно, в процесі прокатки при температурі  $t_{def} = 900$  °С і швидкостях деформації 0,5 і 5 с<sup>-1</sup> (аж до ступеня деформації  $\varepsilon = 0,92$ ) динамічна рекристалізація не проходить. Зі збільшенням ступеня або швидкості деформації зерна стають більш витягнутими (табл. 1.4, рисунок 1.13, а).

При  $t_{def} = 1050$  °С і малих ступенях деформації зерна також витягуються. Перші рекристалізовані зерна проявляються при ступеня деформації  $\varepsilon \approx 0,22$ . В результаті деформації при  $t_{def} = 1050$  °С,  $\varepsilon = 0,92$  і  $\dot{\varepsilon} = 0,5$  с<sup>-1</sup> частка дрібних рекристалізованих зерен в структурі становить близько 60 – 70 %. При швидкості деформації 5 с<sup>-1</sup> ( $t_{def} = 1050$  °С) рекристалізовані зерна розміром близько 8 – 10 мкм займають практично весь об'єм – понад 90% (рисунок 1.13, б). Електронно – мікроскопічне дослідження показало, що при  $t_{def} = 900$  °С спостерігаються невеликі ділянки з субструктурою гарячого наклепу (рисунок 1.13, г), що характеризується високою щільністю вільних дислокацій, наявністю накопичень дислокацій і ячеистої субструктури. У всьому об'ємі переважає

полігонізованна структура як з витягнутими (рисунок 1.13, в), так і з рівноосними (рисунок 1.13, д) субзернами, що мають недосконалі субмежі і підвищену щільність вільних дислокацій. Із збільшенням ступеня деформації зростає частка полігонізованих обсягів, а всередині них – частка рівноосних субзерен (табл. 1.4). При  $t_{def} = 900$  °С і  $\epsilon = 0,5$  з частка полігонізованих ділянок зростає від 20 ( $\epsilon = 0,11$ ) до 40% ( $\epsilon = 0,22$ ) в основному в результаті освітлення витягнутих субзерен. При досягненні ступеня деформації 0,92 полігонізовані ділянки займають приблизно 90% загального обсягу, причому 60% з них становлять рівноосні субзерна, мають низьку щільність вільних дислокацій, що свідчить, мабуть, про статичної природі їх освітленості.

Структура, утворена при  $t_{def} = 1050$  °С і малих (до 20%) ступенях деформації, характеризується меншою щільністю вільних дислокацій, меншою часткою ділянок гарячого наклепу (рисунок 1.13, е) і трохи більшим розміром субзерен з більш досконалими субмежами в порівнянні з динамічно полігонізованою субструктурою при  $t_{def} = 900$  °С (табл. 1.4). Зі збільшенням ступеня деформації до 0,92 ( $t_{def} = 1050$  °С) розвиваються процеси динамічної рекристалізації: в рівноосних динамічно рекристалізованих зернах виявлено набір субструктур – від субструктури гарячого наклепу до субструктури полігонізації (рисунок 1.13, ж), що доводить динамічну природу їх утворення в ході гарячої деформації.

Зміна текстури в ході гарячої деформації прокаткою та при стисненні ідентичні (див. рисунки 1.10, 1.14). В умовах забезпечення формування динамічно полігонізованої структури (при  $t_{def} = 900$  °С) зі збільшенням ступеня деформації посилюється текстура деформації – зростає компонента  $\{220\}$  (рисунок 1.14, а). Розвиток процесів динамічної рекристалізації при збільшенні ступеня деформації ( $t_{def} = 1050$  °С) супроводжується посиленням полюсної щільності компоненти  $\{200\}$ , що характеризує текстуру рекристалізації, і ослабленням компоненти текстури деформації  $\{220\}$  (рисунок 1.14, б). На відміну від високотемпературного стиснення, формування динамічно полігонізованої і динамічно рекристалізованої структури під час гарячої

прокатки супроводжується меншою зміною відповідних компонент текстури. Це пов'язано, мабуть, з частковим проходженням статичної рекристалізації при більш повільній полюсній щільності компоненти  $\{311\}$  [13].

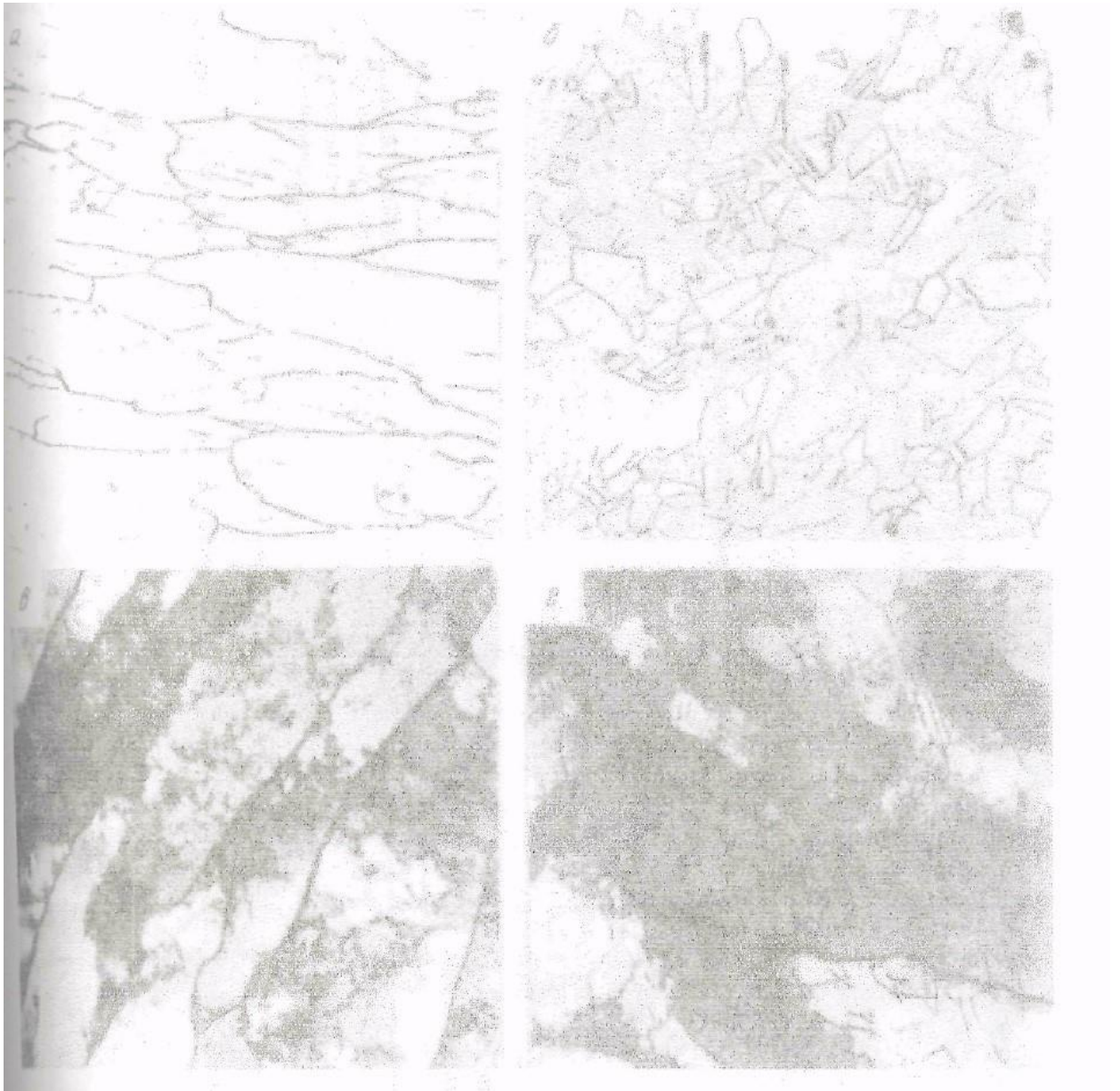


Рисунок 1.13 – Структура сталі типу 08X18N10T після гарячої деформації прокаткою

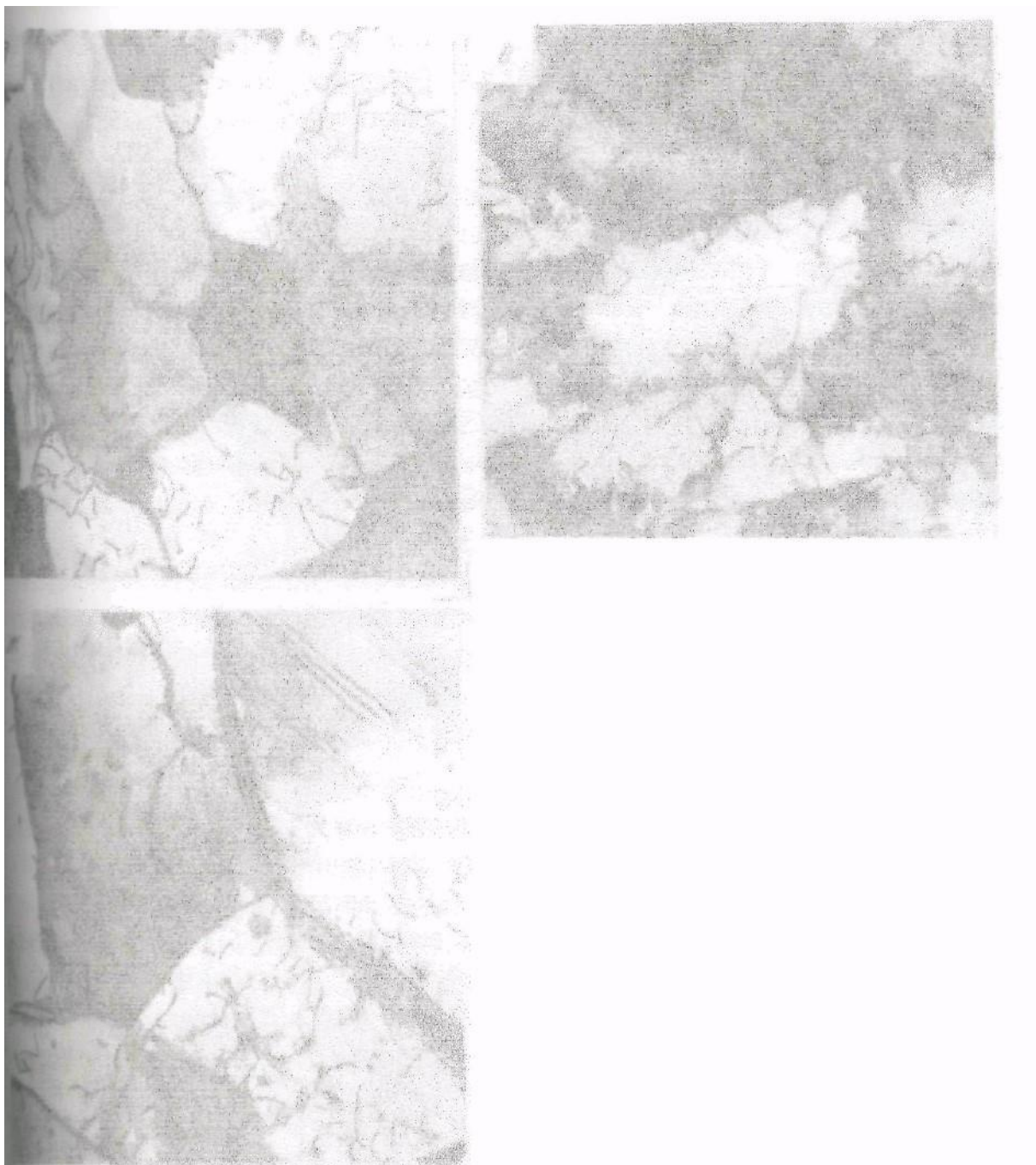


Рисунок 1.13 – Структура сталф типу 08X18Н10Т після гарячої деформації прокаткою (продовження)

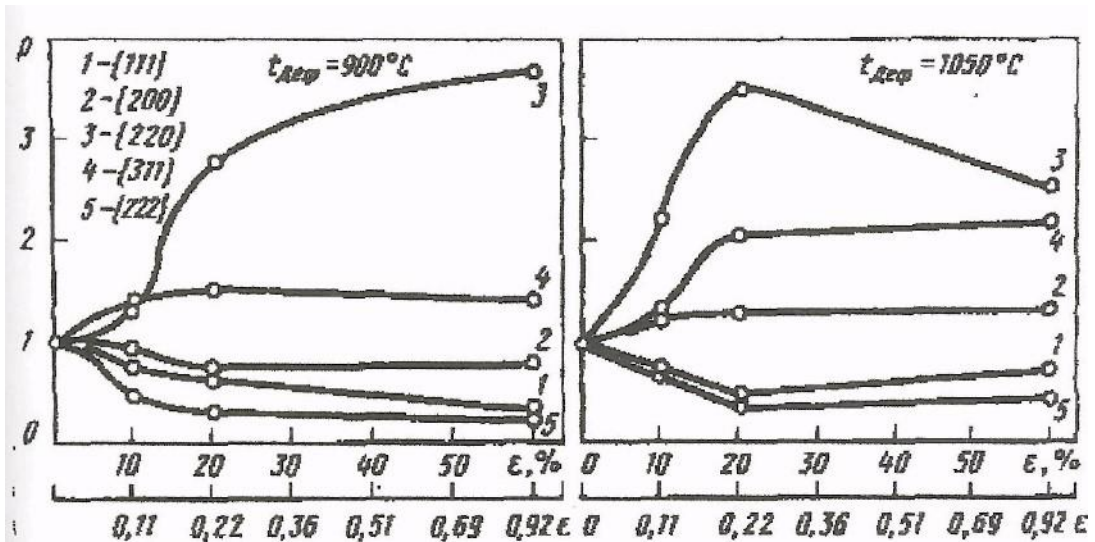


Рисунок 1.14 – Зміна полюсної щільності  $P$  сталі типу 08X18N10T в процесі гарячої деформації прокаткою  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ c}^{-1}$

Таким чином, і в умовах гарячої деформації прокаткою при  $t_{\text{def}} = 900 \text{ }^\circ\text{C}$  з  $\dot{\epsilon} = 0,5$  і  $5 \text{ c}^{-1}$  розміщення проходить практично тільки за механізмом динамічної полігонізації, а при  $t_{\text{def}} = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$  і великих ступенях деформації отримують розвиток процеси динамічної рекристалізації. З карти структурних станів, побудованої для умов гарячої деформації прокаткою (рисунок 1.15), видно, що внаслідок неізотермічних умов (охолодження в валках) температура початку динамічної рекристалізації ( $t$  сталі 08X18N10T з однаковим розміром вихідного зерна (близько 30 мкм) завищена в порівнянні з ізотермічним осаджуванням, причому більшою мірою при зменшенні швидкості прокатки (наприклад,  $t = 975 \text{ }^\circ\text{C}$  проти  $930 \text{ }^\circ\text{C}$  при  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ c}^{-1}$  і  $t = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$  проти  $940 \text{ }^\circ\text{C}$  при  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ c}^{-1}$ ). Температура, що відповідає формуванню в сталі повністю динамічно рекристалізованої структури, при прокатці підвищилася до  $1060 \text{ }^\circ\text{C}$  (проти  $1010 \text{ }^\circ\text{C}$  при стисканні) при  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ c}^{-1}$  і приблизно до  $1125 \text{ }^\circ\text{C}$  (проти  $1030 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при  $\dot{\epsilon} = 5 \text{ c}^{-1}$ . Температурний інтервал переходу до повністю динамічно рекристалізованої структури становить близько 85 і  $125 \text{ }^\circ\text{C}$  для швидкостей прокатки 0,5 і  $5 \text{ c}^{-1}$ , відповідно.

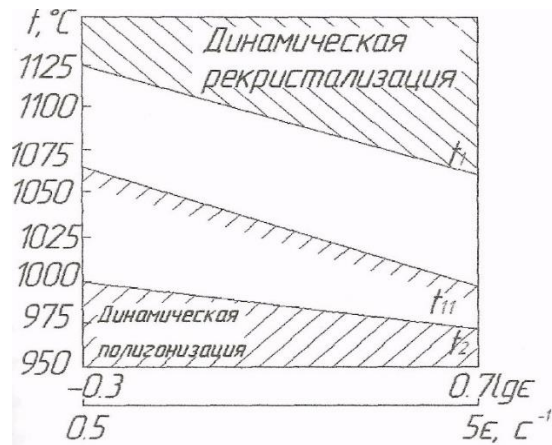


Рисунок 1.15 – Карта структурних станів при гарячій деформації прокаткою сталі типу 08X18H10T ( $\epsilon = 0,7$ ): Де температура початку динамічної рекристалізації при  $d_{icx} 33,0 \pm 5,7$  мкм;  $t_{11}$  – теж при  $d_{HCX} 110 \pm 9,8$  мкм;  $t_1$  – температура кінця динамічної рекристалізації при  $d_{HCX} 33,0 \pm 5 > 7$  мкм.

Збільшення розміру вихідного зерна в сталі ускладнює динамічну рекристалізацію. температура початку рекристалізації ( $t_{11}$ ) при прокатці сталі 08X18H10T при збільшенні розміру початкового зерна від 33 до 110 мкм підвищилася приблизно на  $30^\circ\text{C}$  при  $\dot{\epsilon} = 5\text{ c}^{-1}$  і на  $60^\circ\text{C}$  при  $\dot{\epsilon} = 5\text{ c}^{-1}$ . Повністю динамічно рекристалізованої структури в результаті прокатки такої крупнозернистої сталі при температурах деформації аж до  $1200^\circ\text{C}$  отримати не вдалося (рисунок 1.15).

Таким чином, температура, відповідна формуванню повністю динамічно рекристалізованої структури під час гарячої прокатки (як і в разі високотемпературного стиснення), залежить від швидкості деформації. Температурний інтервал, відповідний отриманню змішаної структури (по карті структурних станів), більший при меншій швидкості деформації.

Подібність схем деформації, аналогічна закономірності зміни зерен і субзеренної структури в ході гарячої деформації, однакові значення структурних параметрів при деформації осадкою і прокаткою дозволяють зробити висновок про можливість моделювання гарячої прокатки гарячою осадкою і використання діаграм високотемпературного стиснення для призначення режимів гарячої прокатки

## **2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА**

### **2.1 Прокатуваність нержавіючих сталей**

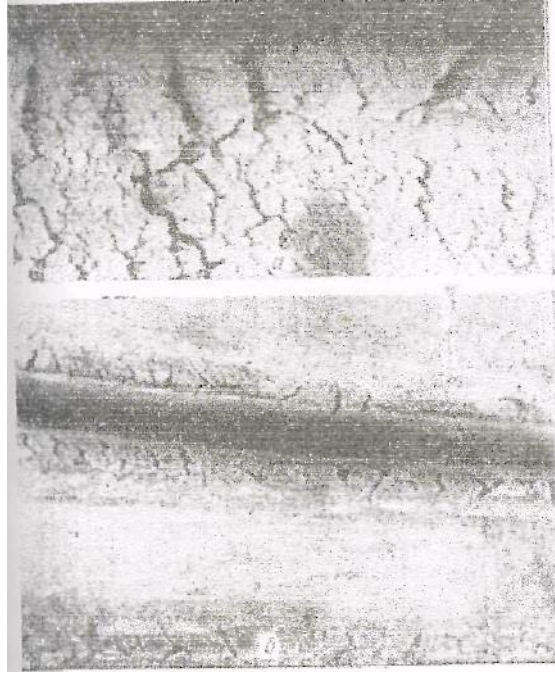
#### **2.1.1 Прокатка нержавіючих кислотостійких сталей**

Аустенітні нержавіючі сталі з надлишковою фазою можна кувати і прокатувати, отримуючи в результаті якісну продукцію. Прокат блюмов стали X18H9T і близьких до неї за складом проводиться на блюмінгах для сталей інших марок. Разом з тим бувають випадки коли якість продукції виходить незадовільним. Іноді, можна спостерігати повне або часткове руйнування продукції. Характер руйнування різний. На рисунку 2.1, а показана заготовка з глибокими рванина. Дуже часто рванини виходили тільки по ребрах (див. рисунок 2.1 б). Причиною утворення рванина подібного типу, як було встановлено, було незадовільна якість злитків. [14]

На рисунку 2.2 показані злами шайб відрізаних від заготівлі 140×140мм, прокатої з круглих злитків стали X18H10T масою 760 кг. Все злами виходили з бульбашками. При прокатці такого металу виходили грубі рванини.

На рисунку 2.3 показані злами шайб цієї ж стали з іншим розташуванням газових бульбашок. Прокатка злитків з подібними дефектами також призводить до утворення рванина.

Великий вплив на якість заготовок має також стан поверхні злитків нержавіючих сталей, зазвичай дуже поганий через те, що присутність в сталі титану робить її при розливанні дуже густою.



а) – с глибокими рванинами; б) – з рванинами по ребрах;

Рисунок 2.1 – Заготовки нержавіючої сталі Х18Н9Т:



Рисунок 2.2 – Злами шайб від заготовок сталі Х18Н9Т з глибокими рванинами. Темні плями – газові бульбашки.

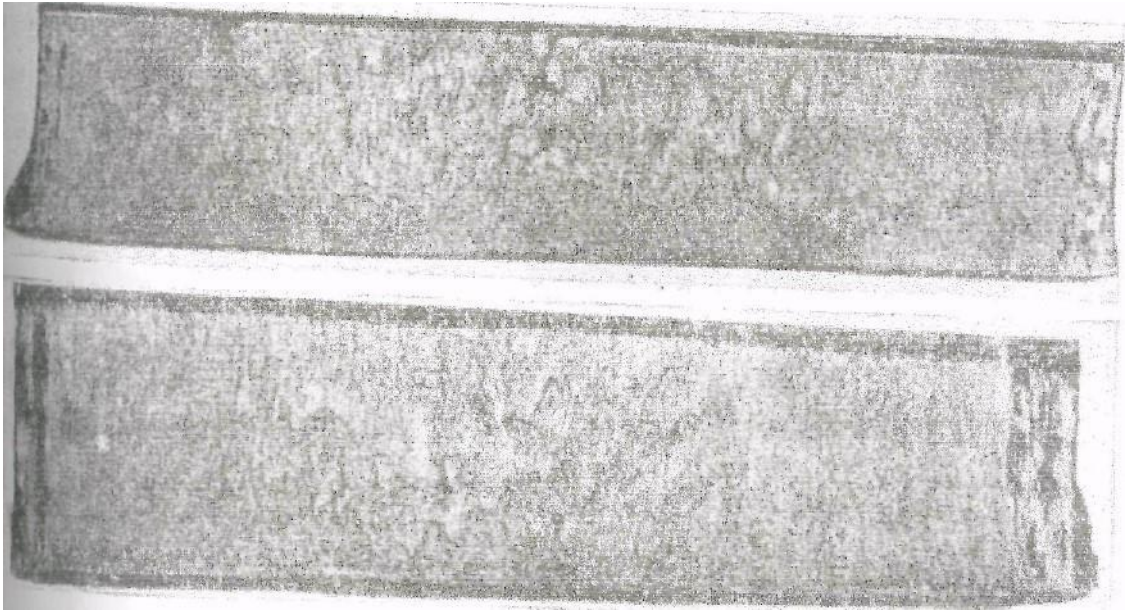


Рисунок 2.3 – Злами шайб від заготовок з поверхневими рванинами.  
«Підшкірні» бульбашки.

Пластичність хромонікелевих нержавіючих сталей, в більшій мірі залежить від їх структурного стану, що визначається хімічним складом сталей і температурним режимом нагрівання перед деформацією.

На металургійних заводах проаналізували якість трубної заготовки для безшовних труб. Досліджували причини відсорткування трубної заготовки з тих марок сталей, які мали відсорткування вище середньої на заводі. З них 10% з корозійностійких сталей від загального обсягу трубної заготовки. Основна причина відсорткування – незадовільна якість поверхні. [15]

Відсорткування трубної заготовки великого діаметра з котельних сталей по макроструктурі відбувається через використання недостатньо великого злитка, сумарна деформація якого при прокатці кола діаметром 270 мм виявляється лише п'ятикратною. При несприятливих умовах така витяжка недостатня для отримання необхідної макроструктури.

Трубна заготовка великих діаметрів, прокатується на загатівельних станах, які характеризуються малою жорсткістю клітей, і іноді має підвищену овальність. При обдирання на верстатах із закритою робочою зоною така

жорсткість в поєднанні з дефектами поверхні призводить до частих поломок різців, що є причиною появи додаткових дефектів.

### **2.1.2 Дефекти які утворюються з причин, безпосередньо від формації не залежних**

В окремих випадках всередині зони ліквацийного квадрату, по обидві її сторони, є тріщини, розташовані перпендикулярно осі валків. Подібні тріщини знаходили в сталі ШХ15, 1Х18Н9Т (рисунок 2.4), ЕІ481, Х28 та інших. Вони є результатом високого перегріву злитків перед прокаткою і утворюються при прокатці вже в перших проходах.

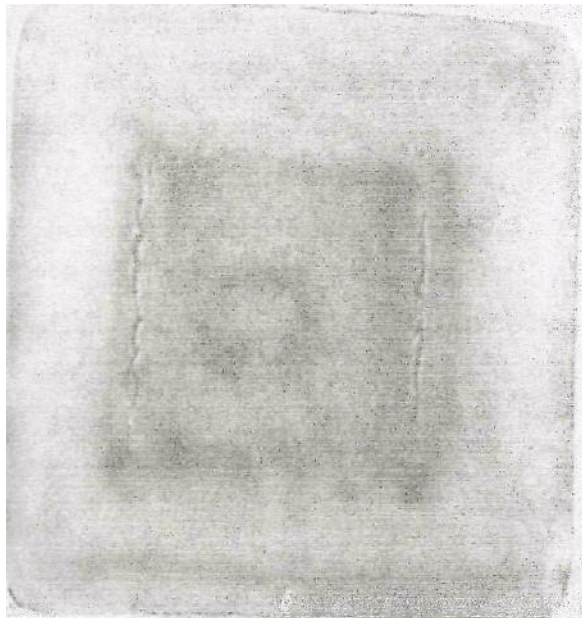


Рисунок 2.4 – Тріщини на межі ліквацийного квадрату в поперечній макроструктурі сталей

У сталі 1Х18Н9Т вони мають місце тільки в підприбуткових штангах; в сталі ШХ15 ці дефекти нерідко поширюються по всій довжині блюмів, що відповідає всій висоті злитків. Подібні дефекти виявляються в окремих випадках при різанні на ножицях з огляду поперечного перерізу (рисунок 2.5).

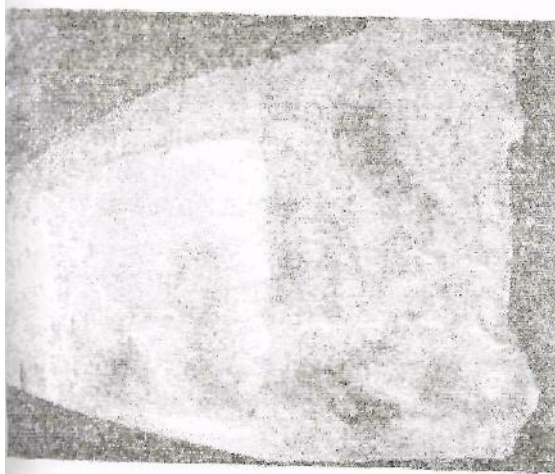


Рисунок 2.5 – Вид торця блюма після розрізання на ножицях. Видно порушення суцільності по обидва боки блюма

Виявляються ці дефекти і при прокатці в перших же проходах. Це видно по тому, як випучуються бічні сторони прокатуваного злитка.

Досвід показує, що такі тріщини орієнтовані паралельно тільки обом бокам блюма, що відповідає роз'єму калібрів. Так як плющення проводиться в непарне число проходів, то при будь – якій кількості кантовок це вказує на те, що тріщини утворилися з боку вільних граней при прокатці в 1 калібрі, під час перших проходів.

При кристалізації злитків [16] відбувається значна дендритна ізоляція, особливо інтенсивно в осьовій зоні. Дендритна неоднорідність може бути такою, що окремі ділянки осьової зони матимуть ледебуритну концентрацію (Наприклад, в сталях з 1,0% С). При нагріванні злитків або заготовок з різко вираженою дендритною неоднорідністю до певної, досить високої температури окремі ділянки металу, в першу чергу в осьовій зоні, будуть плавитися і переходити в рідкий або напіврідкий стан. При прокатці такого металу буде відбуватися порушення суцільності за цими непластичними ділянками. Ступінь порушення цілісності буде збільшуватися і поширюватися на все більшу довжину в міру збільшення перегріву злитків і заготовки.

Подібне описаному порушення суцільності може відбуватися і на ділянках, де відбувалася зональна ізоляція, наприклад, близько кордонів ліквідаційного квадрата, в місцях стику дендритів і осьових різноорієнтованих

кристалів. Такий вид порушення цілісності І. Н. Голіков назвав осьовим перепалом. Нам здається, що більш правильним було б це явище розглядати як високий перегрів. На користь цього говорить та обставина, що при прокатці шари металу, які розташовані паралельно вісі валків, і піддаються прямому стисненню, охолоджуються і заварюються. При подальшій прокатці в цих ділянках порушення цілісності не відбувається, незважаючи на те, що вони через свій фізичний стан нічим не відрізнялися від ділянок, розташованих паралельно двом іншим сторонам злитків, з боку яких, як детально описано вище, є тріщини. Це вказує на те, що окислення по межах зерен, характерного для перепаленої сталі, не відбулося.

Разом з тим метал з паралельними тріщинами, як правило, не заварюється навіть після кантування. Це, мабуть, пояснюється тим, що після порушення цілісності до кордонів зерен вільно проникає кисень, який їх окисляє. Ступінь розкриття паралельних тріщин визначається останнім проходом. Чим більше обтиснення в цьому проході і більше простору для розширення, тим більше розкритими виходять ці тріщини.

При прокатці злитків хромонікельмолібденових сталей (3,5% Ni, 0,5% Cr, 0,7% Mo, 0,35% C) вагою 3,3 т. і перетеном 570×570 мм на круглий профіль діаметром 375 мм в штангах виявили внутрішні розриви.

В круглих штангах діаметром 193 мм, прокатаних з тих же злитків, внутрішні розриви були відсутні.

При дослідженні якості злитків виявилось, що в центральній частині їх, за винятком ділянок довжиною 300 мм від верхнього і нижнього кінців, були поперечні тріщини довжиною до 25 мм у верхній частині і до 50 мм в нижній частині злитків. Тріщини мали звивисту форму, відповідну кордонів між дендритами.

Ці дослідження показали, що основною причиною появи розривів в прокатаному металі була наявність тріщин в осьовій зоні злитків.

При сумарній витяжці близько 2,5 розриви виходили найбільшими, і в окремих випадках наступало повне руйнування осьової зони (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Повне руйнування осьової зони (поздовжній перетин круглої сталі діаметром 375 мм)

При 4 – кратної витяжці дрібні внутрішні розриви повністю заварюються; при 10 – кратній витяжці повністю знищувалися всі внутрішні дефекти, в тому числі і порівняно великі. Ця обставина вказує на те, що стінки внутрішніх тріщин не були окисленими.

Великий інтерес представляють дефекти всередині перетину, які - показані на рисунку 2.7. Можливість утворення таких дефектів встановлена Б. М. Литвиновим [17] при вивченні умов заварюваності флокенів в металі при прокатці. Такі дефекти являють собою розкриті в процесі деформації поперечногоні флокени, що не заварилася через малу величину сумарного обтиску.



Рисунок 2.7 – Дефекти в металі, що представляють собою розкриті в процесі деформації поперечні флокени.

### 2.1.3 Прокатуваність і структура нержавіючих сталей

У аустеніто – феритних нержавіючих сталях з підвищенням температури нагріву перед деформацією збільшується кількість феритної фази. При цьому пластичність аустеніто – феритних сталей не збільшується, а знижується.

Пояснюється це тим, що зі збільшенням кількості феритної фази аустеніто – феритна сталь стає все більш двофазною і, отже, менш пластично. Окремими дослідниками [19] встановлено більш складний вплив температури нагріву на кількість  $\alpha$  – фази в аустенітно – феритних сталях. Так, в сталі X18H9T при нагріванні в інтервалі 1100 – 1200 °С вміст  $\alpha$  – фази дещо зменшується, а при температурах вище 1200 °С починає збільшуватися і особливо різко при температурах вище 1250 °С.

Таким чином, аустенітно – феритні сталі деформують при порівняно більш низьких температурах (1100 – 1150 °С). При температурах нижче 950 °С і досить тривалих витримках можливо ще утворення третьої фази –  $\alpha$  – фази, яка існує всередині феритних острівців. Наявність  $\alpha$  – фази істотно знижує пластичність, в зв'язку з чим температуру кінця деформації аустеніто – феритних сталей не рекомендується знижувати нижче 950 – 925 °С.

Такі поширені нержавіючі сталі, як X18H9T і інші, за структурою є аустенітними, але можуть мати надлишок  $\alpha$  – фази. Вміст  $\alpha$  – фази в нержавіючій аустенітній сталі оцінюють за спеціально розробленою шкалою (рисунок 2.8). Бали розрізняють за кількісним вмістом  $\alpha$  – фази в мікроструктурі:

бали	0,5	1	2	3	4	5
кількість $\alpha$ – фази, %	0	До 5	5 – 12	12 – 20	20 – 35	Понад 35

Кількісний вміст  $\alpha$  – фази в сталі залежить від різноманитних факторів. Визначальним з них є хімічний склад сталі. При одному і тому ж вмісті

нікелю бал по  $\alpha$  – фазі збільшується з підвищенням вмісту в сталі хрому. При одному і тому ж вмісті хрому бал по  $\alpha$  – фазі тим менше, чим більше вміст нікелю в сталі.

Виробничим досвідом встановлено, що найбільш сприятливе співвідношення  $\alpha$  – фази в нержавіючій хромонікелевій сталі є при відношенні вмісту хрому до вмісту нікелю в сталі не більше 1,8.

Кількість  $\alpha$  – фази в нержавіючих сталях залежить також і від інших ферітоутворюючих елементів (Ti, Si, Al).

Вміст  $\alpha$  – фази в нержавіючій литій сталі залежить від температурного режиму нагріву металу перед його деформацією. Встановлено, що при нагріванні до досить високих температур і відповідних витягуваннях при них відбувається виділення фериту з твердого розчину аустеніту і тим більше, чим вище температура нагріву [20, 21].

Розподіл  $\alpha$  – фази по перетону металу нерівномірне. Так, в роботі [19] встановлено, що в злитку масою 6000 кг сталі X18H9T на поверхні кількість  $\alpha$  – фази становила 8%, а в центрі – близько 16%.

Надлишкова фаза у вигляді вільного фериту в нержавіючих аустенітних сталях знижує пластичні властивості сталі тим більше, чим вище бал по  $\alpha$  – фазі. Деформація такої сталі зі зниженими пластичними властивостями призводить до утворення рванин і плівок на поверхні металу. У виробничих умовах вперше вплив надлишкової фази в нержавіючій сталі виявили при прошивці труб.

Дефекти у вигляді плівок, що утворилися на поверхні прошитої заготовки зі сталі X18H9T (рисунок 2.9), утворилися внаслідок великого вмісту в ній фериту.

Причина зниження пластичних властивостей сталі зі збільшенням в ній вмісту фериту в наступному.

Аустеніт і ферит окремо мають високи пластичні властивості, а разом вони мають знижені пластичні властивості, що підтверджується дослідницькими даними (табл. 2.1) [4]. Пояснюється це тим, що, оскільки

обидві фази знаходяться в одному полікристаличному тілі, то під дією зовнішніх сил вони отримують однакову загальну деформацію [23]. При цьому в кожній структурній складовій виникають високі залишкові напруги, так як кожна з них має кількісно різні властивості, такими як опір деформації, розширення, тощо.

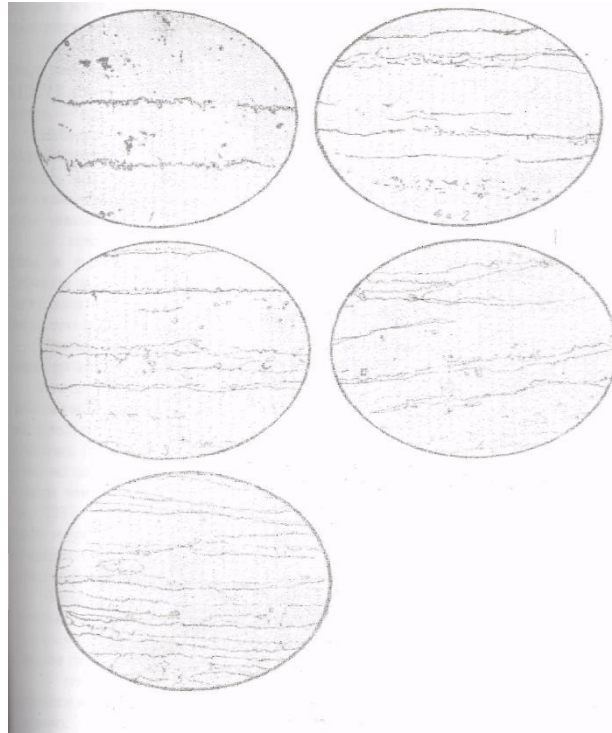


Рисунок 2.8 – Оцінка кількісного вмісту  $\alpha$  – фази в мікроструктурі нержавіючих сталей по балам.

З огляду на внутрішнє вирівнювання розмірів ферритних зерен, які при деформації прагнуть до більшої витяжки, будуть розтягувати аустенітні зерна, а аустенітні зерна, які частіше деформуються, будуть зменшувати деформацію фериту.

У підсумку всередині тіла виникають локальні залишкові напруги, при несприятливих температурно – швидкісних умовах ці залишкові напруги можуть привести до місцевих рванин. Цьому сприяють також наступні обставини. В процесі деформації, як відомо, протікають два процеси: наклеп і рекристалізація. Ферит і аустеніт наклепуються та рекристалізуються по

різному; швидкість кристалізації фериту вище, ніж аустеніту, тому в кожен даний момент, коли у феритної складової наклеп, викликаний деформацією, буде знято, аустеніт буде в якійсь мірі ще наклепаний. Деформація аустеніту в порівнянні з ферритом буде утруднена. При зростанні залишкових напружень можливе порушення суцільності металу.

Виходячи з цього, відносно низькою пластичність будуть мати сталі, у яких вміст кожної фази приблизно дорівнює 50%. З зменшенням надлишкової фази пластичність сталі повинна зростати, оскільки внутрішня напруженість металу при деформації зменшується. Це підтверджується і виробничим досвідом [18].

## **2.1.4 Аналіз технологічних параметрів нержавіючих сталей**

### **2.1.4.1 Опір деформації**

Опір деформації хромонікелевої сталі X18H9T в порівнянних умовах перевищує опір деформації сталі Ст. 1 в 1,6 рази [14]. Опір деформації сталі X18H9T визначали при прокатці на блюмінгу за двома режимами. В одному випадку злитки нагрівали до 1200 °С і блюми 170×170 прокатували зі злитків масою 2600 кг за 21 прохід, а в іншому злитки нагрівали до більш високої температури (1250 °С) і блюми прокатували за 17 проходів (табл. 2.2). Питомий тиск в першому випадку змінювалися в межах 96 – 127 МН/м<sup>2</sup>, а в іншому – в межах 70 – 97 МН/м<sup>2</sup>.

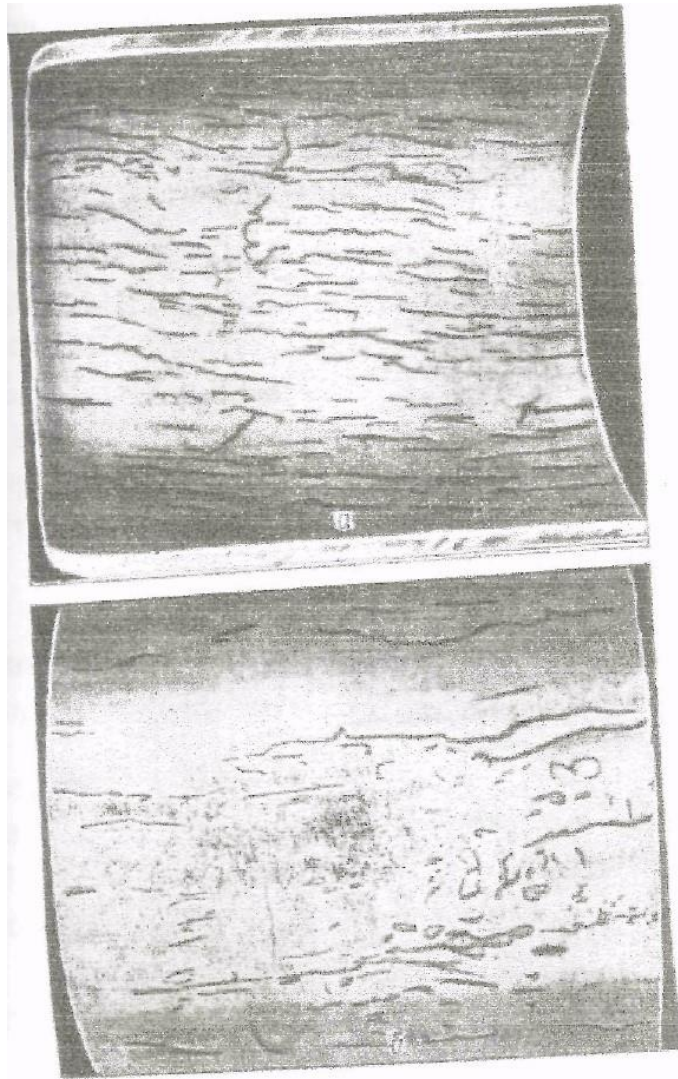


Рисунок 2.9 – Плівки на внутрішній (а) і зовнішній (б) поверхнях гільзи, прошиитої з заготовки сталі Х18Н9Т з великою кількістю надлишкового фериту.

Таблиця 2.1 – Результати механічних випробувань сталі Х18Н9Т

структура	температура, °С	Механічні властивості	
		$\delta, \%$	$\psi, \%$
однофазна	1280	60	81
двофазна	1280	49	65
однофазна	1250	65	78
двофазна	1250	49	69
однофазна	1200	62	71
двофазна	1200	30	57

Таблиця 2.2 – Опір деформації хромонікелевої нержавіючої сталі X18Н9Т при прокатці блюмов 170×170 з злитків 520×520 мм на блюменгу.

№	Робочий	Розміри, мм		Обтиск мм	Тиск		Температура, °С
		висота	ширина		P×10 кН (Т)	p×10 <sup>2</sup> МН/м <sup>2</sup>	
Температура початку прокатки 1150 °С							
1	880	471	520	49	653	9,8	1150
2	880	442	520	29	593	10,1	1140
3	880	471	440	49	682	10,4	1130
4	880	440	446	31	562	11,1	1120
5	880	404	447	36	604	10,7	1110
6	880	373	452	31	582	10,9	1100
7	880	341	457	32	573	10,6	1095
8к	880	309	462	32	587	10,7	1090
9	835	431	312	31	446	12,7	1085
10	835	392	319	39	490	11,8	1080
11	835	350	326	42	497	11,6	1075
12к	835	313	333	37	449	11,1	1070
13	880	276	326	57	546	10,0	1065
14к	880	223	342	53	535	11,0	1060
15	855	274	237	68	407	11,0	1055
16	855	222	248	52	365	10,0	1050
17	855	219	230	29	250	9,6	1045
18к	855	171	243	48	343	10,3	1040
19	860	194	183	52	256	10,0	1035
20к	860	165	190	26	226	11,3	1030
21	855	172	170	18	174	12,1	1025
Температура початку прокатки 1200 °С							
1	880	460	520	60	587	7,0	1200
2к	880	421	520	39	529	7,0	1180
3	880	457	425	63	602	8,5	1170
4	880	405	430	52	531	8,3	1160
5	880	363	435	42	460	7,8	1150
6к	880	315	440	48	528	8,3	+1145
7	835	394	323	46	418	9,7	1140

8к	835	317	338	77	482	8,2	1135
9	880	280	332	58	409	8,2	1130
10к	880	219	348	61	437	8,1	1125
11	855	274	234	74	328	8,1	1120
12	855	225	244	49	298	8,6	1115
13	855	215	232	29	193	7,8	1110
14к	855	167	242	48	314	9,2	1105
15	860	191	180	51	201	7,8	1100
16	860	167	186	24	172	9,1	1095
17	860	173	173	13	121	9,7	1000

#### 2.1.4.2 Розширення

Зразки клиноподібної форми прокатували в гладких валках при температурах 900, 1000, 1100 і 1150 °С. Нагрівання зразків проводили в камерній печі, опалювальній мазутом. Для зменшення окислення і знеуглецювання зразки поміщали в залізні закриті муфелі. Прокатку проводили на стані дуо з діаметром валків 400 мм при швидкості прокатки 1,1 м/сек. Кожен зразок прокатували в один прохід на товщину близько 10 мм, тобто при  $h = \text{const}$ . Зразки вимірювали до і після прокатки в точках, що відповідають відносним обтисненням до 73%.

Криві мають максимум, характерний для прокатки при  $h = \text{const}$ ; (див. наприклад, рисунок 2.10, 2.11.).

Методом графічної інтерполяції для кожної марки сталі визначені значення розширення  $\Delta h$ , мм і показника розширення при однакових обтиснуваннях (табл. 2.3).

Показник розширення марок сталі цієї групи найвищий; він також збільшується з підвищенням легування сталі, Беручи значення показника розширення низьковуглецевої сталі Ст. 1  $\Delta b/\Delta h = 0,93$  за одиницю, і обчислимо для всіх інших сталей відповідні поправочні коефіцієнти  $m$ , що визначають співвідношення між розширенням досліджених сталей і розширенням вуглецевої сталі (табл. 2.4). Цей поправочний коефіцієнт і характеризує відмінність розширення нержавіючих сталей від вуглецевих.

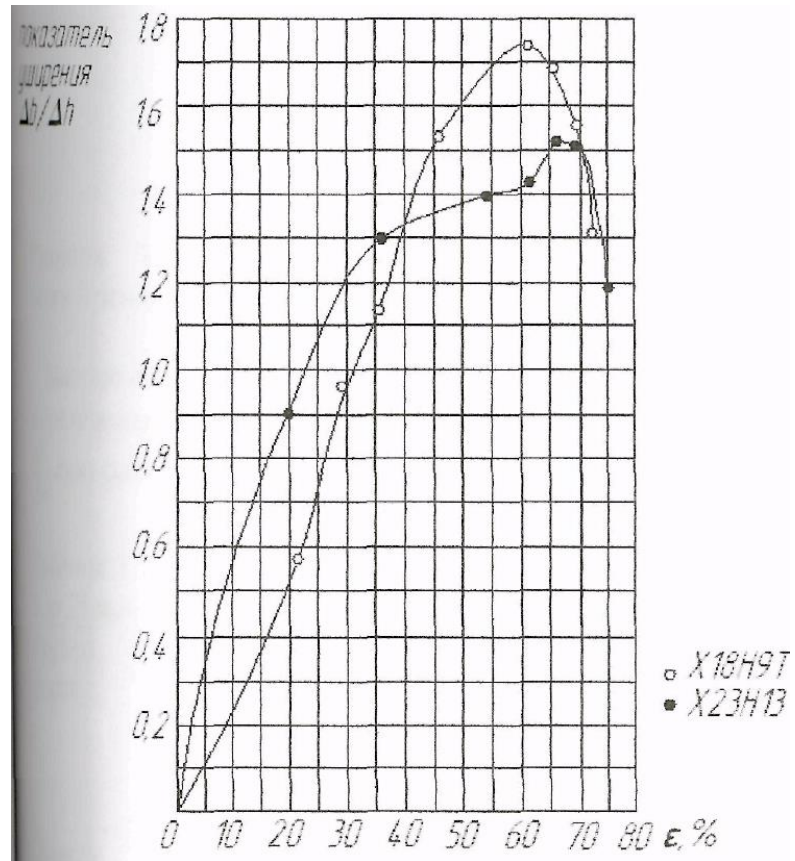


Рисунок 2.10 – Залежність показника розширення від відносного обтиску при температурі прокатки 1000 °С.

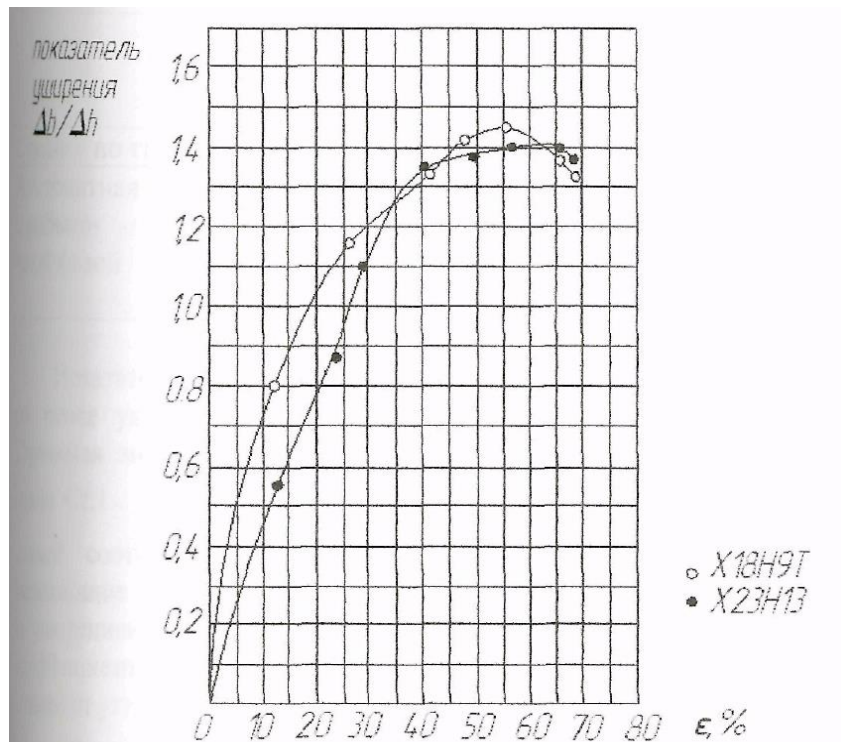


Рисунок 2.11 – Залежність показника розширення від відносного обтиску при температурі прокатки 1100 °С.

Таблиця 2.3 – Значення розширення при абсолютних обтискуваннях від 5 до 25 мм

Група сталі	Марка сталі входить до складу групи	Абсолютне обтиснення, мм					Середній показник розширення $2 >$
		5	10	15	20	25	
Желізо	СТЛ	5,4	11,2	15,3	17,8	20	0,93
Середнє по групі		5,6	13,1	19,3	24,2	28,7	1,21
Аустеніт на	4Х14Н14В 2М (ЕІ69)	5,8	13,8	21,0	25,3	29,5	1,26
	Х13Н4Г9 ЕІ100	5,7	13,5	21,4	27,5	30,7	1,32
	ЕХ12М	6,2	14,5	20,7	27,4	30,8	1,32
Середнє по групі		5,9	13,9	21,0	26,7	30,3	1,30
Аустеніт на	Х18Н9Т	5,9	14,7	21,7	27,4	30,8	1,34
	ЕЯЗС	6,0	14,4	21,5	27,2	31,5	1,34
	Х23Н13	5,8	14,3	22,0	30,4	34,0	1,42

З таблиці 2.4 видно, що сталі груп аустенітної і аустенітної з надлишковою фазою (ФЕРИТ) мають розширення, що перевищують розширення «заліза» в 1,31 – 1,44 рази.

На рисунку 2.12, крім даних по повному розширенню  $\Delta b$ , наведені дані по розширенню по контактній поверхні  $\Delta b_K$ . Неважко бачити, що розширення по контактній поверхні було порівняно не значним. Поперечна деформація відбувалася головним чином за рахунок переходу металу з бічних граней на поверхню.

Цікавим є рисунок 2.13 який ілюструє випадок виключно великого розширення нержавіючої сталі. Розміри вихідного зразка 40×40 мм. В найширшому місці ширина зразка дорівнює 130 мм і товщина 8 мм, Розширення склало 90 мм, а показник розширення досяг 2,82.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт розширення  $m$ , що враховує вплив складу сталі на розширення при прокатці

Група сталі	Марка сталі що входить в склад групи	Середній показник розширення $\Sigma\Delta b$	Поправочний коефіцієнт $m$
		$\Sigma\Delta h$	
Залізо	Ст.1	0,93	1.00
Середнє по групі		1,21	1.31
Аустенітна	4X14H14B2M (EI69)	1,26	1.36
	X13H4Г9 (EI 100)	1,32	1.42
	EX12M	1,32	1.42
Середнє по групі		1,30	1.4
Аустенітна з надлишковою фазою	X18H9T	1,34	1.44
	ЕЯЗС	1,34	1.44
	X23H13 (ЕЯС 19)	1,42	1.53

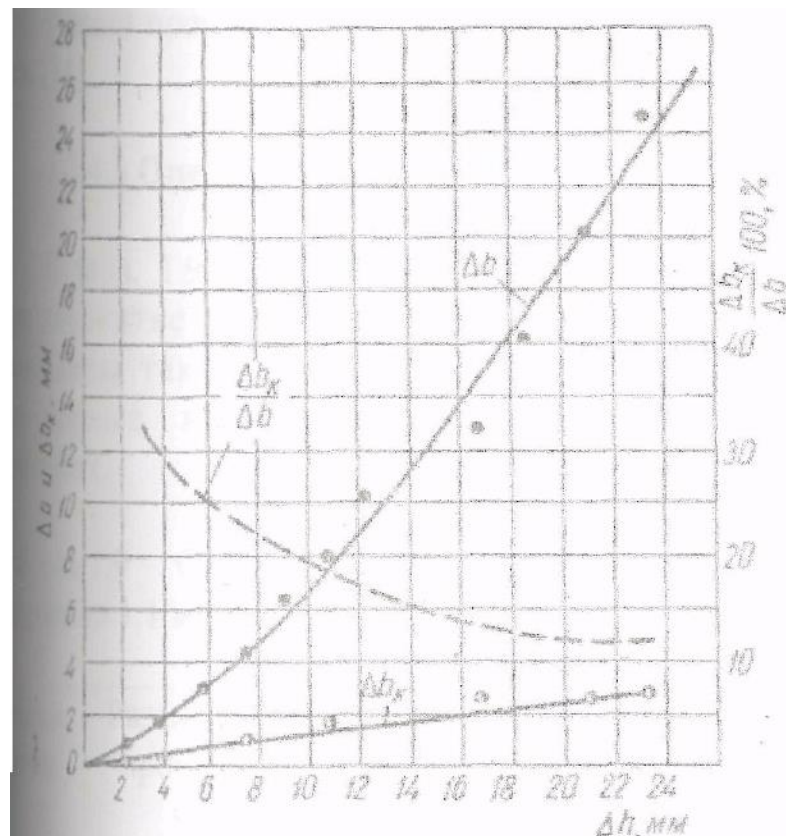


Рисунок 2.12 – Залежність розширення сталі X18H9T від абсолютного обтиску при температурі прокатки 1080 °С,  $H H = 37\text{мм} = \text{const}$ , діаметр валків 400 мм.

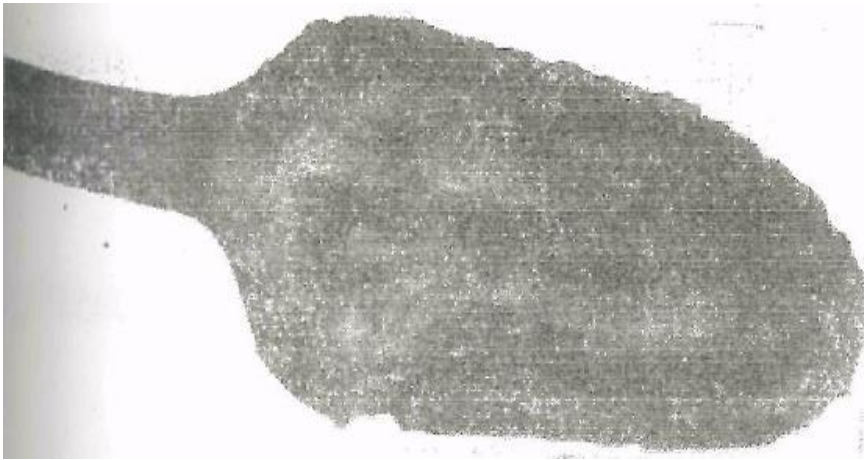


Рисунок 2.13 – Зразок сталі Х18Н9Т, прокатаний з обтисненням 90% за один прохід із зупинкою в валках (температура прокатки 1050 °С, діаметр валків 400мм)

### 2.1.4.3 Випередження

У табл. 2.5 наведені дослідні дані випередження при прокатці нержавіючої сталі Х18Н9Т. У ній вміщено також дані для вуглецевої сталі Ст. 1, отримані в однакових з нержавіючої сталлю умовах

Таблиця 2.5 – Випередження нержавіючих сталей при прокатці зі швидкістю 1,1 м / сек.

Марка сталі	Розміри до прокатки, мм		Розміри після прокатки, мм		$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$ , %	$\Delta b$ , мм	Випередження, %
	$B$	$H$	$b$	$h$				
08X18H9T	35,7	15,2	43,9	9,0	6,2	40,8	8,15	3,7
	35,7	17,7	48,0	9,1	8,65	48,7	12,2	4,5
	37,9	35,8	78,4	9,7	26,1	72,9	40,5	5,5
Ст1	37,6	11,7	40,7	8,5	3,18	27,2	3,1	2,5
	37,8	14,0	44,8	8,5	5,3	37,8	7,0	3,6
	37,8	17,7	49,8	8,8	8,8	49,7	12,0	4,6
	37,7	21,7	55,6	9,0	12,7	58,5	17,9	5,4
	38,0	37,8	69,4	9,4	28,4	75,1	31,4	6,9

Хромонікелева сталь X18H9T при високих обтискуваннях має менше випередження, ніж сталь Ст. 1. (див. рисунок 2.14)

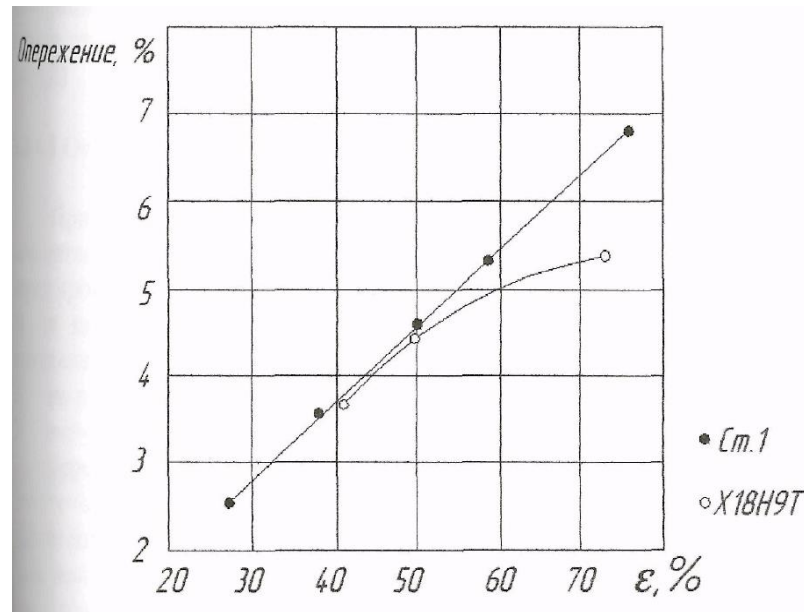


Рисунок 2.14 – Залежність випередження при прокатці нержавіючої сталі X18H9T і Сталі Ст1 від відносного обтискування в однакових умовах

#### 2.1.4.4 Схильність до налипання

Нержавіючі аустенітні і аустеніто – ферритні сталі схильні до налипання на прокатні валки. Щоб зменшити налипання, рекомендується [24] застосовувати під час гарячої прокатки чавунні валки. Це пояснюється тим, що сталеві валки швидко стають шорсткими. Шорсткість валків при прокатці переходить на поверхню виробу. Налипання зменшується з пониженням температури початку прокатки.

Енергійне охолодження валків водою також зменшує налипання, але при всіх умовах необхідно стежити за станом поверхні валків і систематично очищати поверхню від налиплих частинок металу. Для цієї мети стани повинні бути обладнані пристроєм, що дозволяє здійснювати таку зачистку валків в процесі прокатки.

Налипання нержавіючих сталей головним чином пов'язано з коефіцієнтом тертя між валками і сортом [14]. Коефіцієнт тертя сталі X18H9T в 1,47 більше щодо вуглецевої сталі.

### 2.1.4.5 Особливості деформації

При прокатці блюмов спостерігаються такі небажані явища, пов'язані з умовами нагріву злитків перед прокаткою:

- 1) в деяких випадках може бути значне перевантаження двигунів блюмінгів;
- 2) на поверхні блюмів утворюються рванини;
- 3) порушується суцільність металу в осьовій зоні блюмів.

Перевантаження двигунів буде тоді, коли при досить низькій температурі нагріву (1200 °С і нижче) тривалість нагрівання злитків мала для повного їх прогрівання. Але навіть при якісному прогріванні злитків опір деформації сталі при цих температурах досить високий, і тому, щоб зменшити навантаження при прокатці, прагнуть нагрівати злитки якомога вище.

При прокатці блюмов, як уже зазначалося, нерідко утворюються поверхневі дефекти. Освіта рванина на поверхні і на гранях пов'язано з пластичністю металу і умовами нагріву.

Спостерігаються також випадки порушення цілісності на поверхні блюмов, які обумовлені іншими причинами. Так встановлено [4], що причиною утворення рванин в середній частині однієї грані (рисунок 2.15) слябів і блюмів є несприятливі умови деформації, обумовлені нерівномірним охолодженням розкату. Такі дефекти утворюються, коли під час прокатки проводиться інтенсивне охолодження валків водою. Помічено, що рванини утворюються на гранях, які найбільше число разів охолоджуються водою. За умовами прокатки певні частини розкату виходять увігнутими. При рясному охолодженні валків водою можна спостерігати, як поверхня металу увігнутої частини помітно темніє. Через малу теплопровідність цей поверхневий шар не встигає прогрітися за рахунок тепла нижчих шарів, в зв'язку з чим в ньому виникають напруження розтягування.

Пластичність нержавіючої сталі з пониженням температури зменшується. Поява розтягуючих напружень при одочасному зниженні пластичності, як правило, приводить до утворення своєрідних рванин, показаних на рисунку 2.15. Утворенню рванин сприяє низька якість поверхні

злитків. Найчастіше цей дефект з'являється на блюмах прокатаних із злитків уражених свищами.

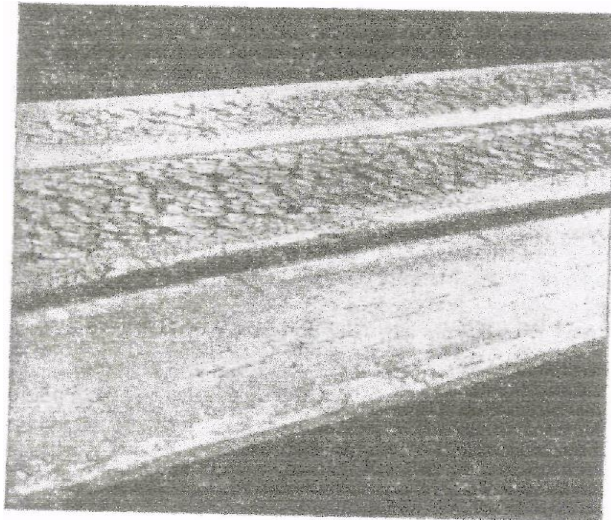


Рисунок 2.15 – Рванина в середній частині однієї грані блюма зі сталі марки X18H9T, що утворилися під час прокатки через інтенсивне охолодження водою.

Це підтверджено іншим дослідом, в якому прокатка на блюмінгу нержавіючої сталі проводилася без охолодження валків водою. Дефектів типу показаних на рисунку 2.15 в цьому випадку не спостерігається, чому сприяє і та обставина, що злитки нержавіючої сталі 1X18H9T, як правило, піддають зачистці.

## **2.2 Нагрівання нержавіючих сталей**

### **2.2.1 нагрівання злитків сталей аустенітного класу**

Аустенітні нержавіючі сталі, в порівнянні з іншими нержавіючими сталями, мають найбільш високу температуру початку прокатки яка досягає 1200 °С (див. табл, 2.6), Це пов'язано з тим, що аустенітні сталі мають підвищений опір деформації.

Таблиця 2.6 – Рекомендоване нагрівання злитків Чижиковим [18].

Марка сталі	Маса	Температура печі при досягненні 1200 °С	Температура печі при витримці (понад)	При видачі	Після 2 проходів	Тривалість нагрівання год. / хв, при температурі	
						800	1200
X18H9	2600	1330	1290	1240 – 1260	1100	4 – 15	8 – 30
	8200					6 – 00	14 – 00
	2600	1300	1290	1230 – 1240	1120	5 – 15	10 – 00
	6200					7 – 00	15 – 00
X18H10	2600	1300	1300	1240 – 1260	1120	4 – 25	10 – 00
	6200					6 – 00	14 – 00
Після прокатки охолодження на повітря							

При дослідженні спільного впливу температури і тривалості нагрівання злитків масою 2800 кг сталі X18H9T встановлено, що збільшення тривалості нагрівання на 2 години, сприяє поліпшенню якості блюмів по рванинам. Однак при цьому значно збільшився брак по осьового пережогу і в зв'язку з нагріванням стали до гранично високих температур (1250 – 1270 °С), при яких навіть невелике відхилення від заданих умов призводить до утворення дефектів макроструктури.

В результаті дослідження був рекомендований режим нагріву холодних злитків стали X18H9T масою 2800 кг і максимальним перетином 540×540 мм в рекуперативних колодязях з опаленням з центру подини:

- а) при утриманні  $\alpha$  – фази, до 2,5 балів, тривалість нагріву дорівнює 10 год, температура нагріву 1250 – 1270 °С;
- б) при утриманні  $\alpha$  – фази, більше 2,5 балів, тривалість нагріву дорівнює 12 год, температур нагріву 1240 – 1250 °С (в першу годину нагріву допускається температура злитка 1270 °С).

Температура 1270 °С є граничною, перевищення якої неминуче призводить до браку по макроструктурі. Необхідно додати, що прийняті високі температури нагріву пов'язані з недостатньою потужністю

головного двигуна блюмінга. На тих заводах, де потужність двигуна блюмінга достатня, температуру нагрівання злитків знижують для того, щоб виключити брак по нагріванню і перепалу.

### 2.2.2 Режим нагріву злитків сталі 12X18H10T [22]

На заводі було проведено дослідження впливу факторів технологічного процесу на якість поверхні розкатів, отриманих під час прокатки в обтискувальному цеху злитків сталі 12X18H10T з вмістом феритної фази ( $\alpha$  – фази), рівним балу 3 і більше. У зв'язку з цим зібрали статистичну інформацію про виробництво заготовок перетином 550×180, 500×170, 340×180 і 101×101 мм із злитків сталі, виплавленої в СПЦ – 2 в I півріччі. Отримана вибірка даних включала 63 спостереження за нагріванням злитків. Хімічний склад сталі 12X18H10T був наступний, %: 0,08 – 0,13 C; 0,23 – 2,05 Mn; 0,36 – 0,85 Si; 0,032 – 0,040 P; 0,013 – 0,030 S; 16,8 – 19,0 Cr; 8,5 – 10,2Ni; 0,18 – 0,49 Cu; 0,54 – 0,90 Ti; 0,10 – 0,41 Mo; 0,20 – 0,75V; 0,02 – 0,09 W; 0,011 – 0,250 Al.

Температура металу в ковші становила	1510 – 1620 °C;
тривалість наповнення виливниць:	5 хв.
Параметри нагріву злитків були наступні:	
Температура поверхні злитків при посаді, °C	650 – 861
Температура в колодязі при посаді, °C	900 – 1340
Кількість злитків в колодязі:	
мінімальна	до 10
максимальна	12 – 16
Максимальна температура нагріву, °C	1220 – 1320
Температура томління, °C	1150 – 1260
Тривалість посаду злитків в колодязь, год.	0,02 – 1,58
Тривалість витримки при максимальній температурі, год.	0,08 – 4,0

Тривалість витримки при температурі томління, год.	2,33 – 10,0
Загальний час нагріву, год.	7,35 – 16,92
Витягування металу при деформації становила	5,27 – 11

Якість поверхні розкатів оцінювали за величиною ураженості металу рванинам  $F$  (0 – 100%).

Кореляційний аналіз дозволив виявити фактори, які викликають найбільший вплив на якість прокату.

X1)  $[Cr]_{екв} = Cr + 1, 5Si + 4Ti + Mo + 0,8W + 1,5V + 3,5Al$ ;

X2) максимальна температура нагріву;

X3)  $P + S$ ;

X4)  $Cr / Ni$ ;

X5)  $C$ ;

X6) тривалість наповнення виливниць;

X7) температура металу в ковші.

Значення коефіцієнтів лінійної кореляції між показником  $F$  і факторами процесу були позитивні: для X1 – 0,77; X2 – 0,21; X3 – 0,24; X4 – 0,37; X5 – 0,33; X6 – 0,32; X7 – 0,16.

З наведених даних випливає, що визначальний вплив на якість поверхні розкатів надають хімічні елементи, які сприяють збільшенню фази  $\alpha$  в металі (X1). Разом з тим значний вплив на величину  $F$  мають фактори X2 – X7, крім того, при виробництві заготовок з корозійностійких сталей необхідно враховувати вплив сполучень факторів. На показник  $F$  істотний вплив мають поєднання X1 X6, X3 X5, X3 X4, X4 X7 і ін. Коефіцієнт кореляції між величиною ваги металу і показником  $F$  дорівнює 0,04, що свідчить про слабкий вплив режимів обтиснень на якість поверхні металу, що прокочується.

Більш зручною формою узагальнення результатів дослідження є апроксимація регресивними рівняннями. З урахуванням впливу факторів і їх змішаних сполучень на величину  $F$ , вивели наступні рівняння:

$$9 + 489,3X_2, - 580,8X_3 + 183,7X_4 - 300,3X_5 - 629,2X_6 + X_7 - 45,3X_2 - 70,7X_8 + 378,6X_9 - 7,6X_{10} + 28,6X_1X_6 - 1X_9 - 176,9X_1X_5 - 213,1X_1X_7 + 78,1X_1X_8 + 182,2X_3X_6 + X_3X_4 + 91,8X_3X_5 - 54,7X_4X_7 + 114,2X_5X_7 + 131,4X_1 - 83,6X_4 + 144,8X_6.$$

(2.1)

$$X_{in} = (X_i - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin}) + 1 \quad (2.2)$$

де:  $X_{imin}$   $X_{imax}$  – мінімальне і максимальне значення фактора вибірки даних.

Нормування дає можливість по коефіцієнтів в рівнянні (1) оцінити вплив того чи іншого фактора на досліджуваний показник.

Для розширення можливостей управління режимом нагріву витків в рівняння (2.1) включили ще чинники  $X_8 = t_1 \times \tau_2$  і  $X_9 = t_2 \times \tau_3$  які побічно характеризують кількість тепла, одержуваного металом на кожному ступені нагріву (рисунок 2.16), а також швидкість підйому температури за період нагрівання  $\tau$ , ( $X_{10}$ )

Таблиця 2.7 – Режим нагрівання злитків масою 4 – 7 т з сталі 12Х18Н10Т з вмістом феритної фази, рівним балу 3

$t, ^\circ\text{C}$	$\tau_1, \text{ГОД}$	$\tau_2, \text{ГОД.}$	$\tau_3, \text{ГОД.}$
800	1.5 – 2.0	0.5	10.5–11.0 / 12.5–13.0
	2.0 – 2.5	0.25	11.0–11.5 / 13.0–13.5
	2.5 – 3.0		11.5–12.0 / 13.5–14.0
	1.5 – 2.0	0.5	10.0–10.5 / 12.0–12.5
	2.0 – 2.5	0.25	10.5–11.0 / 12.5–13.0
	2.5 – 3.0		11.0–11.5 / 13.0–13.5
	1.0 – 1.5	0.5	9.0–9.5 / 11.0–11.5
	1.5 – 2.0		9.5–10.0 / 11.5–12.0
	2.0 – 2.5	0.25	10.0–10.5 / 12.0–12.5
	2.5 – 3.5		10.5–11.0 / 12.5–13.0
	> 1	0.5	8.0–8.5 / 10.0–10.5
	1.0 – 1.5		8.5–9.0 / 10.5–11.0
	1.5 – 2.0	0.25	9.0–9.5 / 11.0–11.5
	2.0 – 3.0		9.5–10.0 / 11.5–12.0
	> 1	0.5	7.5–8.0 / 9.5–10.0
	1.0 – 1.5		8.0–8.5 / 10.0–10.5
	1.5 – 2.5		

	0.25 – 1		8.5–9.0 / 10.5–11.0
> 801		0.5	9.0 – 9.5
<801		0.25	9.5–10.0

$t$  – температура поверхні злитка при посаді;  $\tau_3$  – час підйому температури в колодязі до максимальної;  $\tau_6$  – час витримки при максимальній температурі;  $\tau_{\Sigma}$  – загальний час нагріву (зліва і праворуч від косої риси – для злитків масою 4 – 16 і 6 – 7 т відповідно). Для сталі, що містить фазу  $\alpha = 2,5$  балу загальний час нагрівання зменшується на 1,5 год; більше бала 3 – збільшується на 1 годину.

Залежність (2.1) характеризується середньоквадратичним відхиленням апроксимованих даних від вихідних, рівним 7,6 і максимальним відхиленням для порівнюваних даних, рівним 20,2. Залежність адекватна при 5% – му рівні значущості критерія Фішера.

Знаючи хімічний склад сталі і параметри розливання, за допомогою цієї залежності можна вибрати максимальну температуру нагріву, температуру томління і тривалість, витримки, що забезпечують мінімальне значення  $F$ . Таким чином, для кожної плавки можливе призначення конкретного режиму нагріву. Використання отриманої моделі при нагріванні ряду плавок сталі 12X18H10T з фазою  $\alpha$ , що дорівнює балу 3, показало хорошу збіжність розрахункових і фактичних результатів.

Однак для використання такої математичної моделі в виробничих умовах потрібна комп'ютерна техніка, тому доцільніше розробити конкретні режими нагріву. З використанням отриманої моделі розробили режими нагріву злитків корозійностійкої сталі 12X18H10T з вмістом феритної фази балу 2,5 і більше. Особливість розроблених режимів полягає в тому, що температуру нагрівання призначають в залежності від величини бала феритної фази:

Бал фази $\alpha$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$
2,5	1260–1280	1220–1240
3,0	1240–1260	1180–1200

&gt; 3,5

1220–1240

1180

Крім того, час витримки при максимальній температурі і загальний час нагрівання злитків призначають в залежності від маси злитків (4 – 7 т), температури їх поверхні при посаді, балу феритної фази і тривалості підйому температури в колодязі.

Режими нагріву пройшли промислове випробування і корегування. Впровадження таких режимів дозволило зменшити брак по поверхневим дефектам при прокатці зливків зі сталі 12Х18Н10Т в 1,48 рази (з 0,37 до 0,25%).

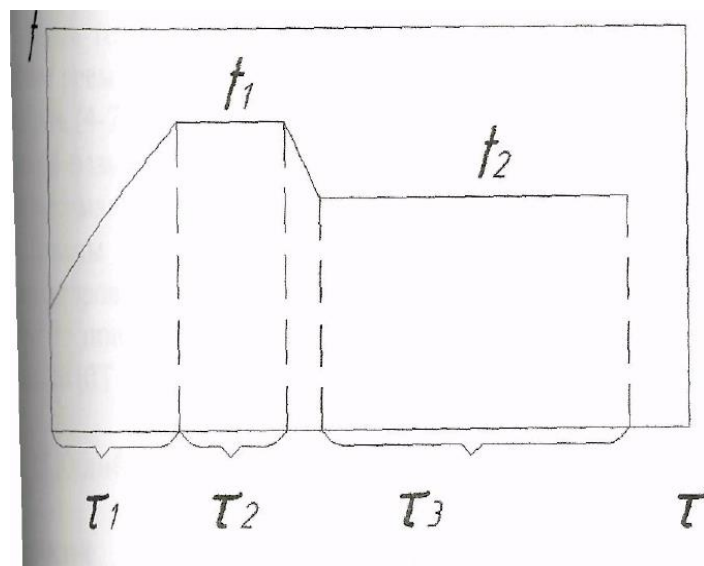


Рисунок 2.16 – Схема режиму нагріву злитків сталі 12Х18Н10Т в рекуперативних колодязях з верхнім торцевим пальником обжитискувального крупносортового цеху

### 2.3 Калібрування валків для прокатки нержавіючих сталей

Більшість нержавіючих сталей нормально прокатують по калібруванням валків, призначених для прокатки звичайних вуглецевих сталей.

Однак ряд нержавіючих сталей в зв'язку з особливими властивостями по звичайним калібруванням валків прокочуються незадовільно. У зв'язку з цим необхідно застосовувати спеціальні калібрування валків або коригувати звичайні.

### **2.3.1 Аналіз систем калібрування валків для прокатки нержавіючих сталей**

Більшість нержавіючих сталей прокатують на блюмінгах і обтискних станах по калібруванням, що складається з ящикових калібрів. Ніяких особливих вимог до форми ящикових калібрів, призначених для прокатки легованих сталей, зазвичай не пред'являють. Як і під час прокатки звичайних сталей, потрібна достатня стійкість розкатів в калібрах і відсутність «лампасів», що досягається досить глибоким врізанням калібрів і належним випуском їх.

Деякі нержавіючі сталі, що мають знижену пластичність, не вдається прокатати без порушення цілісності. Утворені при деформації дефекти у вигляді рванин і тріщин на поверхні заготовок вдається видалити зачисткою на наждакових верстатах і іншими способами, а заготовки використовують для подальшої прокатки, така технологія все ж неприпустима.

У зв'язку з цим вишуковують способи деформації малопластичних сталей, при яких порушення їх суцільності повністю виключається або в крайньому випадку зводиться до мінімуму. У багатьох випадках цьому сприяє правильно обране калібрування валків. Порушення суцільності при деформації сталі відбувається під впливом розтягуючих напружень, що виникають в різних шарах металу при прокатці. Встановлено, що напружений стан металу при прокатці залежить від форми калібрів і умов деформації в них.

Так, під час прокатки заготовок з нержавіючих малопластичних сталей найкращі результати виходять з калібрування системи овал – коло.

Щоб зменшити небезпеку порушення цілісності малопластичних сталей, необхідно прагнути до створення таких калібрувань і умов деформації в них, при яких відсутні значні напруження розтягу. Для цього не обходимо, щоб деформація металу була б якомога ближче до рівномірної.

Для отримання квадратів застосовують калібрування, що складаються з ряду ящикових, ромбічних і трапецеїдальних овальних калібрів. Найчастіше

заміна ящикових калібрів ромбічними викликається бажанням отримати на одних і тих же валках без перевалки квадрати різних розмірів.

Ромбічні калібри мають суттєві недоліки, особливо неприпустимі при виробництві нержавіючих сталей. Головними з цих недоліків є наступні:

1. Значне зношуються поверхні калібрів спочатку в кутах, потім і на сторонах, що погіршує якість поверхні металу.
2. Швидко наварювання часток металу на поверхню калібрів; на нових сталевих валках після декількох годин роботи вже виявляють невеликі частки металу. Це також погіршує якість поверхні прокату.
3. Ромбічні калібри сприяють утворенню рванина на металі, який має знижені пластичні властивості. Цей недолік ромбічних калібрів обумовлений несприятливими умовами деформації в поверхневих шарах металу (підстужування металу в кутах, наявність розтягуючих напружень, на крайках, мале обтиснення).

Перевага системи калібрування ромб – квадрат полягає в можливості отримувати більш правильні і чисті квадрати, ніж за системою калібрування квадрат – овал, що забезпечує отримання більш точного профілю. Поряд з цим при прокатці по системі калібрування ромб – квадрат обтискування від калібру до калібру можуть бути значно меншими, ніж при прокатці по системі калібрування квадрат – овал. Цю обставину вважали дуже важливою, припускаючи, що великі обтискування в ряді калібрів системи квадрат – овал при прокатці нержавіючих сталей приведуть до утворення рванин. Насправді виявилось, що рванини частіше утворюються при прокатці в калібрах системи ромб – квадрат. Ці рванини з'являються на ребрах (кутах) прокатуваної полоси це показано на рисунку 2.17.



Рисунок 2.17 – Рванина утворена на ребрах прокатонної смуги малопластичних сталей.

Поява рванин пояснюється зниженням пластичності в кутах прокатої смуги через швидке зниження температури. При прокатці по системі калібрування ромб – квадрат смуга після кожного проходу повертається на  $90^\circ$ . Метал, який знаходиться проти зазору валків під час першого проходу, потрапляє знову в зазор при третьому, п'ятому і наступних проходах (тобто за один прохід.)

При парних проходах метал, який перебував проти зазору, потрапляє внаслідок кантування в закриті місце калібру і також на кут. Таким чином, зовнішні частки металу, розташовані по кутах, так і залишаються зовнішніми. Ця обставина призводить до швидкого охолодження смуги, особливо в кутах. Метал, втрачаючи пластичність, наклепується, що викликає утворення рванин. Цьому сприяє ще та обставина, що для уникнення отриманих дефектів у вигляді задилок і заходів застосовують більш витягнуті ромби для більшої стійкості смуги. Ці ромби мають дуже гострі кути, тому вони швидко охолоджуються.

Нарешті, утворенню рванин на кутах профілю сприяє також напруги, що виникають в прокатованому металі. При прокатці мають місце різні швидкості закінчення окремих елементів ромбічного профілю і в значній мірі також квадратного. Швидкість збільшується від вершин ромба до гнізда валків зі збільшенням робочого діаметра калібру. Внаслідок різниці швидкостей частки металу, розташовані у роз'ємі валків, прагнуть більше витягнутися, але при цьому вони зустрічають опір частинок металу, що прокатуються з меншою швидкістю. В результаті на кутах профілю з'являються розтягуючі напруження, які, можливо, призводять до утворення надривів (тим більше особливо при зниженні пластичності кутів профілю).

Слід зазначити, що система калібрування ромб – квадрат має ще такі недоліки, властиві ромбічним калібрам:

1. Ромбічні калібри, особливо при заданні в них квадратів, не видаляють окалину з поверхні прокатуваної смуги, а навпаки, вдавлюють її в метал. Так як частина окалини з тієї чи іншої причини все ж відділяється, то

поверхня стає нерівною, покритою ямками – слідами від відділеної окалини, Така «ряба» поверхня, якщо вона утворилася в чорнових проходах, може привести до утворення волосовин – слідів витягнутих поглиблень, що залишилися після місцевого видалення окалини.

2. Через різні швидкості прокатки окремих елементів профілю, обумовлені різницею між робочими діаметрами валків, поверхня ромбічних калібрів дуже швидко зношується. З цієї причини (прослизання металу) до поверхні ромбічних калібрів швидко привариваються частки металу, що прокатується. Ці недоліки погіршують поверхню металу, що прокатується, тому комбінована система калібрування, в якій є овали, має ту перевагу, що при прокатці дещо краще видаляється окалина.

Система калібрування коло – овал отримала широке застосування, де висувають високі вимоги до чистоти поверхні прокату.

Профіль виходить з плавними округлими обрисами, що виключають можливість утворення складок і зморшок.

Основна перевага цієї системи калібрування перед іншими системами, зокрема в порівнянні з системою калібрування квадрат – овал, полягає в тому, що профіль виходить з більш чистою поверхнею (без зморшок).

Крім того, система калібрування коло – овал має ще ряд інших дуже важливих переваг.

При прокатці по системі калібрування коло – овал смуга більш стійка в овальному калібрі, ніж при прокатці по системі калібрування квадрат – овал. Смуга, що виходить з чорнового круглого калібру, має різні діагоналі.

Чорнове коло задається в овал плазом, тобто, велика діагональ його є горизонтальною. Завдяки більшій стійкості чорнового кола в овальному калібрі немає необхідності встановлювати пропуски перед овальним калібром дуже тісно, що полегшує задання смуги в калібр. Як наслідок – нерівномірна деформація по ширині смуги в калібрі.

Крім того, не утворюються косі овали, при прокатці яких можливе отримання місцевих заходів; зменшується також небезпека утворення підрізів, так як деформування проводиться в незаповнених овалах.

При прокатці по системі калібрування квадрат – овал цих переваг немає. Стійкість квадрата в овалі, природно, менше стійкості чорнового кола в овалі, так як ширина і висота квадрата однакові, а у чорнового кола ширина більше висоти. При цьому умови деформації більше сприяють перекосу квадрата в овалі, ніж, чорнового кола в овалі. Перекіс стає особливо можливим, коли в овал перетворюється квадрат з неоднаковими діагоналями і невиконаними кутами. У цьому випадку, як правило, утворюється косий овал, при подальшій прокатці якого утворюються місцеві заходи.

При прокаті по системі калібрування коло – овал в порівнянні з системою калібрування квадрат – овал менша небезпека утворення підрізів і заходів. При прокатці по системі калібрування квадрат – овал, щоб уникнути утворення складок і зморшок на готовому профілі, необхідно мати добре виконані овали. Це вимагає дуже ретельного налагодження стану, і з'являється небезпека утворення підрізів і заходів. При роботі на заповнених овалах найменший зсув валків відбивається на овалі у вигляді підрізу. При установці коробки з перекосом, коли смуга надходить в овал не строго по центру, утворюється овал з одностороннім вусом і ін.

При прокатці по системі коло – овал цих недоліків немає, тому що прокатування ведеться з незаповненими овалами. В цьому випадку не потрібне таке ретельне налагодження, як при прокатці в системі квадрат – овал.

Система коло – овал має, однак, один суттєвий недолік. При прокатці овалу в чорновому колі смуга в калібрі не так стійка, як при прокатці овалу в квадраті. У першому випадку смуга при виході з калібру прагне скручуватися спіраллю.

Система калібрування овал – овал усуває недоліки системи калібрування квадрат – овал. Однією з таких систем є система калібрування овал – овал.

Умови зміни форми овалу в овалі аналогічні умовам зміни форми овалу в колі і кола в овалі. Найбільші обтискування припадають на центральну частину профілю. Від центральних елементів до країв обтискування зменшуються. Ця обставина, як і в системі калібрування коло – овал, зменшує утворення складок. У цьому полягає основна перевага системи калібрування овал – овал. Основні недоліки такої системи наступні:

1. Захоплення валками овалів при заданні їх в овали утруднене внаслідок того, що поверхня дотику металу з валками дуже незначна. При цьому сила, що втягує метал в валки, недостатня для здійснення захоплення. У виробничих умовах при прокатці по системі калібрування коло – овал доводиться подавати смугу в калібр з розгону. Зрозуміло, що захоплення тим важче, чим твердіше сталь, і навпаки, при прокатці м'яких сталей захоплення значно полегшене. На ряду з малою поверхнею зіткнення при прокатці по системі калібрування овал – овал виникають великі абсолютні обтискування, що зумовлюють великі кути захоплення. Слід зазначити, що і при прокатці по системі калібрування коло – овал, особливо твердих сталей, при заданні овалу в коло також спостерігається утруднене захоплення смуги валками.
2. При прокатці по системі калібрування овал – овал з'являється небезпека згортання овалу в овалі, що може відбутися, якщо смуга слабо тримається пропусками в коробці. Необхідність в тісній установці пропусків погіршує і без цього важкі умови захвату.

При усуненні основних недоліків системи калібрування овал – овал можна широко застосовувати її, так як вона дозволяє прокатувати смуги з підвищеними обтискуваннями і, отже з меншим числом проходів.

Найкраще ця система може бути, мабуть, використана при прокатці м'яких сталей.

### 2.3.2 Складки, зморшки і форма калібрів

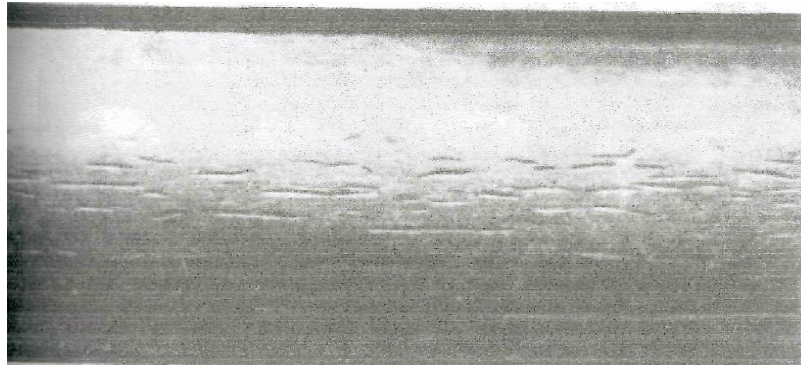


Рисунок 2.18 – Зморшки які утворилися при прокатці круглого профілю

Значна кількість зморшок зустрічаються на поверхні прокату дефектів, у вигляді схожих на тріщини або волосовін, не завжди є дійсно тріщинами або волосовинами, що утворилися з розкатаних підкоркових бульбашок або навіть отримані від наварів або зношення калібрів. Часто ці тріщини або волосовини, які правильно називати зморшками, отрумуються в результаті утворення складок при деформації. Утворення складок, а в подальшому і зморшок безпосередньо пов'язано з формою калібрів і умовами деформації в них. Утворення складок залежить від обтискування, температури і марки сталі. При цьому бічні поверхні розкатів, наприклад, які знаходяться в вершинах овалів робляться більш – менш шорсткими. При подальшій прокатці овалу, що має складки на нових сторонах, утворюються зморшки, подібні показаним на рисунку 2.18. На рисунку 2.19 показаний овал, який має сильно шорсткі вузькі місця. Зморшки утворюються як в овалах, так і на квадратах, найчастіше в тих випадках коли відбувається невиконання овалу або кутів квадрату. Було відмічено, що зморшок утворюється тим менше, чим випуклішою стороною задається профіль.

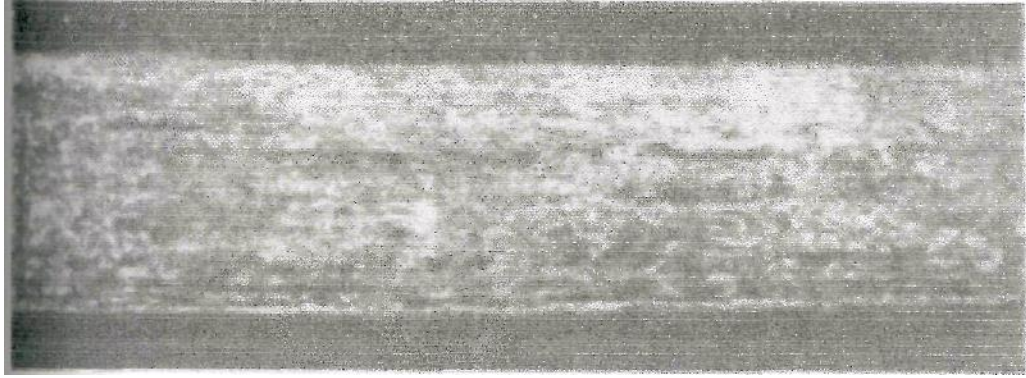


Рисунок 2.19 – Вузьке місце овалу з великою шорсткістю

Утворення складок і зморшок властиве калібрам системи калібрування квадрат – овал. Умови деформації квадрата в овалі показані на рисунку 2.20 у вигляді діаграми витяжок. Максимальна обтиснення припадає на бічні вертикальні грані квадрата. Це сприяє утворенню складок на вузьких сторонах овалу, особливо в тих випадках, коли овал виходить неповним. Наявність на сторонах квадрата шорсткостей, зокрема у вигляді рябизни (ямок), що отримана від втиснутої окалини, сприяє утворенню зморшок.

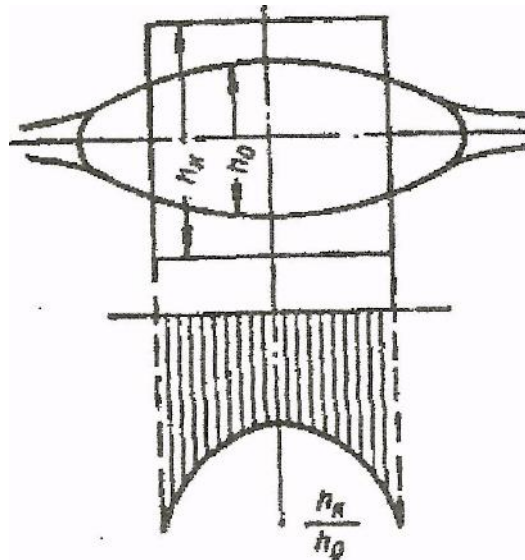


Рисунок 2.20 – Діаграма витяжок при деформації квадрата в овальному калібрі.

Новоутворена на вузьких гранях овалу шорсткість при подальшій прокатці в квадраті витягується і стає ще більш частою, що видно з рисунка 1.36, на якому показано зменшення розміру  $a$  овалу в вершині квадрата.



Рисунок 2.21 – Схема, що показує утворення зморшок на овалі при заданні його в квадратний калібр

Як показали виробничі спостереження, система калібрів круг – овал дає хороші результати по чистоті поверхні прокату і відсутності зморшок, тобто «тріщин», які утворюються з складок, що утворюються в процесі формозміни.

Умови деформації при прокатці овалу в чорновому колі значно сприятливіші, ніж при прокатці овалу в квадраті. З рисунка 2.22 видно, що максимальні обтискування отримують середні елементи профілю, мінімальні обтискування – крайні, вільно розширюються. Відсутність цього явища на сторонах профілю виключає можливість появи складок і зморшок, подібних тим, які мають місто під час прокатки овалу в квадраті.

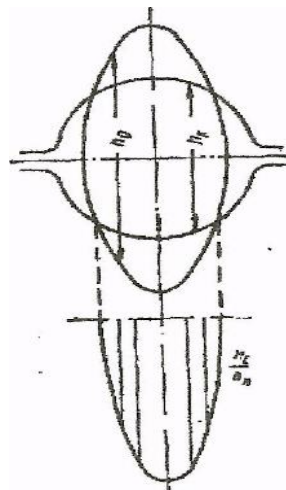


Рисунок 2.22 – Діаграма витяжок при прокатці металу в круглому калібрі.

Слід вказати також на значно меншу напруженість металу при прокатці кола в овалі, ніж при прокатці квадрата в овалі. Різна напруженість металу викликається різним характером і подаванням форми його в обох випадках.

Деформація елементів смуги, які піддаються великим обтисненням при прокатці квадрата в овалі, стримується елементами смуги, схильними до малих обтиснень і розташованих в середині профілю. При цьому метал піддається дії внутрішніх сил розтягування і стиснення.

Так як під час прокатки кола в овалі обтиснення зменшується від серединних шарів до периферійних, то внутрішня напруженість металу при цьому значно зменшується.

### **2.3.3 Результат аналізу систем калібрування валків для прокатки нержавіючих сталей**

Якість поверхні прокатої сталі залежить не тільки від системи калібрування, а й від стану поверхні валків. Калібри валків при прокатці сильно зношуються, стають шорсткими. Нерівності поверхні калібрів відбиваються на прокатуваній смузі. При значному виробленні калібрів ці відбитки можуть стати настільки глибокими, що поверхня профілю виявляється покритою великою кількістю дефектів у вигляді волосовин.

При прокаті часто утворюються навари – прилипання до поверхні калібрів частини металу, що прокатується. Навар на калібрах у вигляді горбків також відображається на поверхні прокатуваного профілю. Найбільше наварів утворюються в вершинах ромбічних калібрів, тобто якраз в місцях найбільшого тиску. У разі сильного буксування валків навари утворюються і на інших калібрах, зокрема на овальних. Боротьба з поверхневими дефектами внаслідок наварки калібрів дуже трудомістка, тому там, де це можливо, доцільно замінити сталеві валки, чавунними.

Утворні на калібрах навари необхідно зчищати. Якщо наварку в даному калібрі видалити важко, то переходять на прокатку в іншому калібрі; в валках повинно бути врізана достатня кількість запасних калібрів.

### **2.3.4 Дослідження прокатування сталі X18H9T з підвищеними обтисканнями на блюмінгах**

При прокатці блюмів і заготовок із злитків легованих сталей особливо важливим є режим обтискування по проходах. Прийнято вважати, що леговані сталі можна прокатувати тільки з малими обтискуваннями, значно меншими, ніж при прокатці вуглецевих сталей.

Необхідність прокатки легованих сталей з малими обтискуваннями обґрунтовували тим, що леговані сталі в литому стані мають крупнокристалічну будову і характеризуються зниженими пластичними властивостями, допускають застосування лише «обережних» обтиснень. Вважали, що при прокатці легованих сталей з більш високими обтискуваннями, навіть такими, які застосовують при прокатці вуглецевих сталей, неминуче утворюються рванини і тріщини. У зв'язку з цим прокатку легованих сталей на блюмінгах проводили за велику кількість проходів.

Проведеними дослідженнями була доведена помилковість режиму малих обтиснень. Насправді виявилось, що багато нержавіючі сталей володіють пластичними властивостями, що допускають застосування підвищених і навіть високих обтиснень, починаючи з перших проходів, (дивись заміна схем прокатки)

Дійсною причиною, що обмежує застосувані великих обтиснень, є опір деформації прокатуваних сталей. Для ряду легованих сталей воно є підвищеним. в зв'язку з чим обтискування треба вибирати таким, щоб тиск металу на валки не перевищував допустиме за умовами міцності обладнання діючих станів і потужності їх двигунів.

На одному з металургійних комбінатів прокатують корозійностійкі сталі великими злитками масою 6,2 і 10,7т.

Для зменшення навантажень і отримання хорошої якості прокату (без рванин) на блюмінгу рекомендуються наступні способи:

1. Прокатка із злитка або блюма менших розмірів.

2. Зменшення подачі води для охолодження валків, з метою прокатування злиwkів нержавіючої сталі аустенітного класу. Витрата води скорочується на 60 – 70%. Встановлено, що однією з причин утворення рванина в середній частині блюмів зі сталі 12X18H9T є несприятливі умови деформації при інтенсивному охолодженні валків водою. Прокатка деяких сталей ведеться на сухих валках.

2 Збільшення числа проходів (зменшення обтискування). Ця рекомендація носить обмежений характер в зв'язку з тим, що число проходів не повинно перевищувати 29 – 31, інакше відбувається вихід за межі температурного інтервалу прокатки і різко падає продуктивність прокатних станів.

При прокатці блюмов нержавіючих сталей з підвищеними обтискуваннями їх якість не тільки не погіршується, але, як це встановлено тепер, в ряді випадків значно підвищується (підвищується щільність центральної зони деформованого металу).

В основному прокатуються блюми 170×170, 190×190, 200×200 220×220 і 250×250 мм із злитків вагою переважно 2,6 т. зі сталі X18H9T. Калібрування валків блюмінга (діюча схема) приведена на рисунку 2.23.

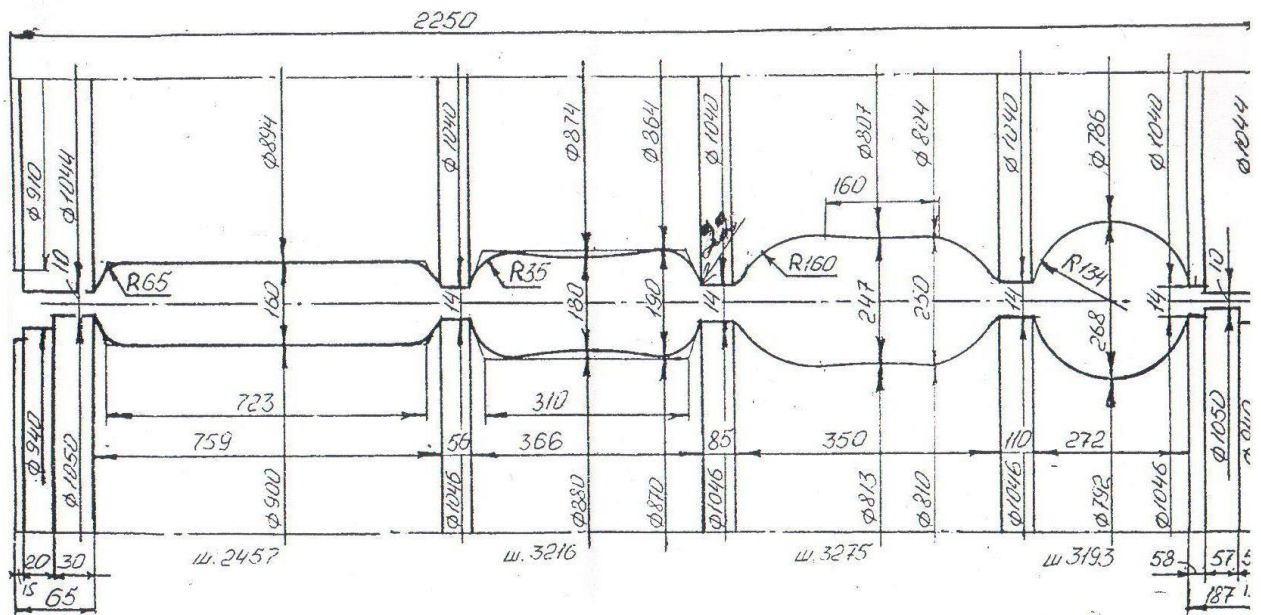


Рисунок 2.23 – Калібрування валків блюмінга (діюча схема).



Результатом промислового експерименту стало впровадження нової схеми прокатки.

### **2.3.5 Зміна поверхневих дефектів при прокатці трубної заготовки з корозійностійкої сталі**

Якість круглих сортових профілів великого діаметра залежить від якості злитка, зокрема, від наявності на ньому дефектів (віспинами, свищів, підкіркових бульбашок). Виключити появу таких дефектів при розливанні високолегованих сталей електродугової виплавки дуже складно, а частина їх виникає на поверхні при прокатці. Тому трубну заготовку після прокатки піддають суцільному обдиранню. Товщина видаленого шару залежить від вихідної глибини дефектів і її зміни під час прокатки [22].

Навіть після досить глибокого обдирання на деяких штангах корозійностійкої сталі виявляють тріщини, часто розташовані по кінцях одного, а іноді двох сполучених діаметрів, відповідно роз'єму і вершини чистового калібру. Розташування дефектів дозволяє припустити їх прокатне походження.

Таке розташування дефектів пояснюється дією розтягуючих напружень по вершині чистового калібру, що погіршує їх заліковування по вертикальному діаметру профілю. У той же час по кутах профілю (злитка) відбувається вихід нового металу на поверхню, що зменшує глибину дефектів. В інших дослідженнях цю закономірність пояснюють «стягуванням» дефектів в роз'єми калібрів, а також звертають увагу на інтенсивність зменшення глибини залягання дефектів  $h_d$ , яка залежить від положення дефекту на злитку, режиму обтиснень і кантовок, системи калібрування.

Для дослідження закономірностей поведінки поверхневих дефектів типу западин і тріщин на стані 1050 заводу ПрАТ «ДНІПРСПЕЦСТАЛЬ» провели дослідну прокатку злитків зі сталі 12X18H10T з штучними дефектами.

Підготовлений злиток нагрівали за звичайним режимом для холодних зливків корозійностійких аустенітних сталей і здійснювали прокат в коло

діаметром 180 мм див. таблицю 1.14 (кантовку проводили в проходах 4, 10, 14, 16, 18, 20, 21, 22). Отриманий профіль розподілили на чотири штанги (А, В, С, Н) і після травлення ідентифікували всі 105 штучних дефектів. Деякі дрібні дефекти діаметром і глибиною 5 мм, видимі на поверхні як тонкі тріщини, в поперечному перерізі мали глибину меншу 0,1 – 0,2 мм. У таких випадках при обробці даних фіксували відсутність (викатування) дефекту. На бездефектній частині злитка нові поверхневі дефекти не з'являлися.

Таблиця 2.8 – Режим обтиснень при прокатці блюмов із злитків вагою 2,6 т. сталі Х18Н9Т (за старою схемою)

Калібр	Номер проходу	Перетин смуги, мм		Обтиснення, мм
		висота	ширина	
1	0	540	540	
	1	500	545	40
	2к	470	550	30
	3	510	475	40
	4	480	480	30
	5	450	485	30
	6к	420	490	30
	7	455	425	35
	8	425	430	30
	9	395	435	30
	10	365	440	30
	11	335	445	30
2	12к	305	450	30
	13	410	312	40
	14	370	320	40
	15	335	327	35
	16к	305	335	30
	17	310	312	25
	18	280	320	30
	19	250	327	30
3	20к	220	335	30
	21	295	227	40
	22	255	235	40

	23к	215	245	40
4	24к	180	255	35
5	25	215	190	40
	26к	180	200	35
	27	180	185	20
	28к	160	190	20
6	29	170	170	20

Таблиця 2.9 – Режим обтиснень при прокатці блюмов із злитків вагою 2,6 т. сталі Х18Н9Т (за новою схемою)

калібр	номер проходу	Перетин смуги, мм		Обтиснення, мм
		висота	ширина	
1	0	540	540	
	1	475	540	65
	2	420	540	55
	3	480	420	60
	4	420	425	60
	5	365	435	55
	6	310	445	55
2	7	385	315	60
	8	325	330	60
1	9	280	345	50
	10	220	360	70
3	11	280	225	80
	12	195	250	85
	13	200	200	50

Злиток розмірами 610×610 мм по верхньому і 480×480 мм по нижньому перетину, висотою 1640 мм і масою 3,6 т зачищали до повного видалення всіх ливарних дефектів. На підготовлений злиток наносили поверхневі дефекти за допомогою свердел зі стандартною заточкою. Свердління, які імітували западини, мали номінальний діаметр ( $d$ ) 5, 10 і 20 мм і глибину ( $h$ ) від 5 до 20 мм, а відношення  $d/h$  змінювалося від 0,5 до 4,0. Частина сверлений мала нарізку під різьбу М24 для установки шпильок з штучними дефектами. У шпильок, виготовлених із сталей 12Х18Н10Т і ШХ15, робили прорізи шириною 3 мм, які імітували тріщини на зливку. При установці шпильок прорізи орієнтували уздовж або поперек напрямку прокатки. Глибину прорізів

змінювали від 5 до 50 мм, шпильки з прорізом 50 мм мали повну висоту 60 мм, всі інші – 40.

Штучні дефекти наносили в середній і нижній частині злитка по середині кожної грані (*c*), між серединою і ребрами (*ч*) і по кожному ребру (*p*). По довжині злитка дефекти розташовували в дев'яти поперечних перетинах на відстані 100 – 120 мм. Дев'ятий перетин знаходився на відстані 150 мм від вузького торця злитка. Дефекти на двох суміжних гранях повністю повторювали для того, щоб порівняти формозміну, коли вони потрапляли в перших проходах заготовки на контактні (*к*) або бічні (*б*) місця. Дефекти на кожному ребрі не повторювалися, що дозволило використовувати їх для ідентифікації після прокатки.

Таблиця 2.10 – Режим обтиснень при прокатці кола 180 мм

Номер калібру	Пропуск	Обтиснення, мм	Розширення, мм	Висота профілю, мм	Ширина профілю, мм
Бочка 1				590	590
	1	30	0	560	590
	2	30	5	530	595
	3	30	5	500	600
	4	30	5	470	605
	5	50	5	555	475
	6	50	5	505	480
	7	50	10	455	490
	8	45	10	410	500
	9	45	10	365	510
Ящиківий 1	10	45	10	320	520
	11	50	10	470	330
	12	50	10	420	340
	13	50	10	370	350
	14	50	10	320	360
	15	70	15	290	335
Ящиківий 3	16	70	10	220	345
	17	65	15	280	235
	18	50	15	230	250
	19	30	10	220	240

	20	28	5	192	245
Ящиковий 4	21	33	10	212	202
Овал кліть 2	22	34	17	168	229
Коло кліть 2	23	47	14	182	182

У процесі прокатки все впадини в злитку трансформувалися в прямі поздовжні тріщини (рисунок 2.25, а, б, в, д). Шпильки, що розміщувалися в смугах *c*, набували форму тонких, загострених на передньому кінці овалів (рисунок 2.25, а, б). У полосах *ч* форма шпильок нагадувала прямокутний трикутник (рисунок 2.25, б, в) через те, що метал її поверхневого шару розтягувався у напрямку прокатки і в міру входу шпильки в валки все більше зміщувався до середини межі, при цьому задня по ходу прокатки частина шпильки мала найбільше розширення (рисунок 2.26), шпильки на ребрах злитка перетворювалися в округлі витягнуті овали (рисунок 2.25, г). У всіх випадках свердління витягувалися і утворювали тріщини з передньої і задньої сторони шпильки (рисунок 2.25, а – е).

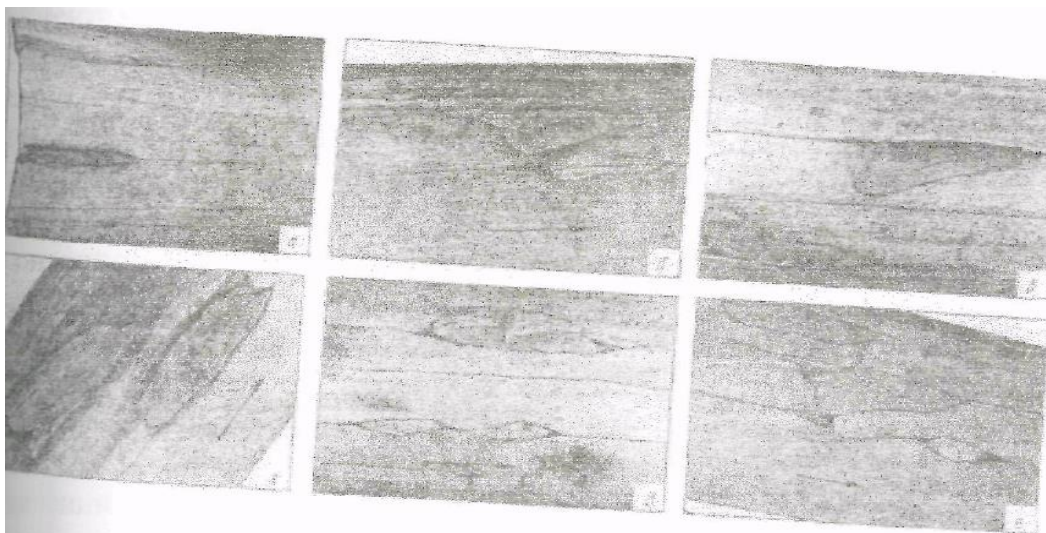


Рисунок 2.25 – Поверхня досліджуваних штанг

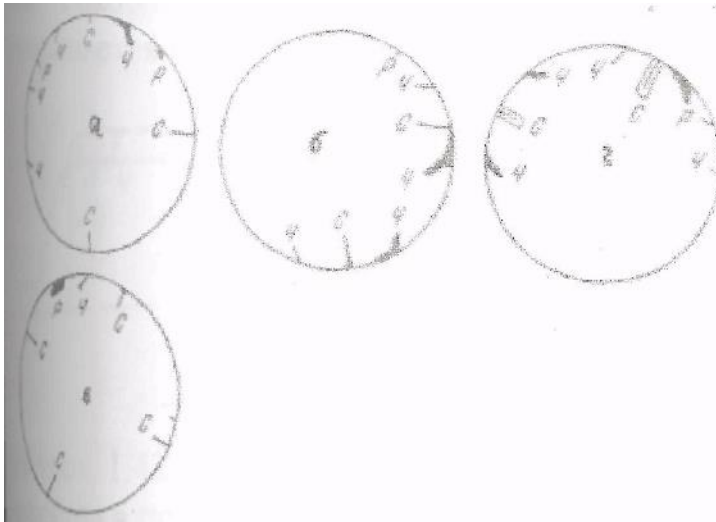


Рисунок 2.26 – Поперечні перетини досліджуваних штанг; *c*, *ч*, *p* – дефекти з відповідних смуг; світлі шпильки зі сталі 12X18H10T, темні зі сталі ШХ15.

Відмінності в формозміні дефектів в залежності від їх положення по ширині зливка чітко видно в поперечних перетинах сортового профілю (рисунок 2.26). Всі дефекти смуг мають прямолінійне радіальне розташування і найбільшу глибину  $h_{\delta}$ , а дефекти смуг *ч* монотонно викривляються в сторону середини грані, їх глибина зменшується суттєво. Дефекти на ребрах зливка зменшуються найбільшою мірою по глибині; тріщини часто мають кілька перетинів (рисунок 2.26, а).

Відмінності в характері формозміни пояснюються, тим що при прокатці в ящикових, овальному та круглому калібрах смуги з кожного разу розташовуються або по середині калібру, або по роз'єму валків (рисунок 2.27). У першому випадку дефект знаходився в перетині розділу течії, у другому – перетині, в напрямку якого відбувається розширення металу. У кожному разі немає причин для виправлення дефекту, а глибина його змінюється відповідно до зменшення або збільшення товщини поверхневих шарів, в яких він розміщується. Дефекти смуг *ч* виявляються кожного разу в шарах, що заповнюють вільні бічні області калібру в результаті тангенціального зміщення металу в напрямку роз'єму калібру (рисунок. 2.26, а, б, г). Таке інтенсивне зміщення поверхневих шарів обумовлює помітне зменшення  $h_{\delta}$ , яке визначається як відстань від початку дефекту до поверхні профілю.

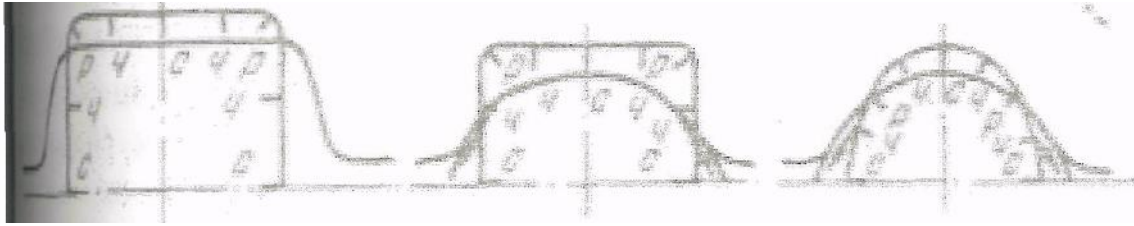


Рисунок 2.27 – Схема течії металу і зміни положення дефектів в смугах *c*, *ч*, *р* в ящикових (а), овальному (б) і круглому (в) калібрах

У деяких випадках частина поверхневого шару шпильки зі смуги *ч* з'являлася поверх дефекту з середнього ряду, причому зрушений шар не завжди був утиснений в основний метал (рисунок 2.24, б). Таке могло статися тільки в роз'ємі калібру і свідчить про те, що інтенсивне тангенціальне зміщення металу відбувається в круглому та, очевидно, в овальному калібрах. Завдяки тангенціальному переміщенню шарів, в деяких умовах можливе практично повне зникнення поверхневих дефектів, з іншого боку, таке зміщення збільшує глибину дефектів, що потрапляють в роз'єми калібрів.

На зміну величини  $h_{\delta}$  деякий вплив робить також положення дефекту по висоті злитка і на гранях а і б. Збільшення обтиску для дефектів смуг з і положення їх на гранях до зменшують величину  $h_{\delta}$ . Величина коефіцієнта зменшення глибини дефектів  $k_y = h/h_{\delta}$  була наступною (*c*, *ч*, *р* – смуги; Н.д.– немає даних):

штанга	<i>c</i>	<i>ч</i>	<i>р</i>
$k_y$ Б, С	3,30	4,50	12,5
Н	2,83	Н.д.	6,4
А, Б, С	2,73	4,78	12,5
Н	2,30	Н.д.	6,4
$k_{ном.}$	2,30	4,50	6,4

Значення  $k_{vr_{min}}$  дозволяють визначити допустиму глибину западин на злитку в залежності від прийнятої глибини обточування і пояснити появу дефектів (тріщин) по одному або двом зв'язаних діаметрами або за відомою максимальною глибиною западини на злитку встановити необхідну глибину

обточування. Огляд холодних злитків корозійностійких сталей показав, що більшість западин (бульбашок) має глибину до 10 мм, але приблизно у 5% з них глибина до 15 мм. Це і пояснює наявність тріщин після обточування (5 мм по радіусу) по одному діаметру на штангах Б і С з верхньої частини злитка і по двом сполученим діаметрами на штангах Н. Якщо початкова глибина западини дорівнює 20 мм, то тріщини після обточування по двом сполученим діаметрами виявляються на всіх штангах. Розрахункова глибина дефектів (мм) на готовому сортовому профілі в смузі (всі дефекти, розташовані ближче до ребер злитка, мають меншу глибину) в залежності від глибини і положення початкової западини по висоті і на суміжних гранях злитка зліва і праворуч від косою риси – на гранях в перших проходах і на гранях а і б відповідно була наступною:

вихідна глибина западини, мм	штанги Б і С	штанга Н
10	3,0 / 3,7	3,5 / 4,3
15	4,5 / 5,5	5,3 / 6,5
20	6,0 / 7,3	7,1 / 6,7

Аналіз показує, що зменшення абсолютної вихідної величини заглиблень кілька збільшує коефіцієнт  $k_y$ , а зміна відносної глибини  $d/h$  фактично на нього не впливає.

Інтенсивність зменшення глибини прорізів в шпильках приблизно в 1,5 рази більше, ніж в западинах. Поздовжні прорізи в смугах з перетворюються в поздовжні тріщини (рисунок 2.25, б), а в смугах  $ч$  – викривляються відповідно до деформації поверхневого шару шпильки (рисунок 2.25, г). Поперечні прорізи в смугах трансформуються в поздовжні тріщини з розривом поверхневого шару шпильки (рисунок 2.25, д, е), в смугах  $ч$  вони зберігають початкове положення (рисунок 2.25, д, верхня). Роздвоєння вершин (рисунок 2.24, в) у деяких тріщин пояснюється механізмом заповнення глибоких западин основним металом.

Западини, виконані в шпильках зі сталі ПХ15, на поверхні металу трансформуються в поздовжні тріщини в смугах  $c$  (рисунок 2.25, а) або вигнуті в сторону середини межі в смугах  $ч$  (рисунок 2.25, в, г). Деякі тріщини виявилися забитими окалиною і зберегли округлу форму або вид рванин (рисунок 2.25, е, б), що може залежати від режиму нагріву.

Відносна зміна довжини западин  $h_d - l_d/d$  ( $l_d$  – довжина тріщини, яка утворилася) не корелює ні з середнім коефіцієнтом витяжки зливка  $\lambda_{cp}$ , ні з коефіцієнтом витяжки поперечного перерізу зливка в місці розташування дефекту  $\lambda$ . У більшості випадків величина  $\lambda_d$  більше  $\lambda_{cp}$  і  $\lambda$  в 2 – 3 рази і тим істотніше, чим менше  $d$  для ребрових дефектів тим  $\lambda_d$  найбільше. Для смуг  $c$  і  $ч$  розкид значень  $\lambda_d$  дуже великий: при  $d = 3$  мм воно змінюється від 9 до 26, при  $d = 20$  мм – від 4 до 16 при  $\lambda_{cp} = 8,5$ .

Заповнення вільних бічних зон круглого і овального калібрів відбувається в значній мірі внаслідок тангенціального зміщення поверхневих шарів бічної поверхні розкату в напрямку роз'єму валків, завдяки чому зменшується глибина розташованих в них поверхневих дефектів. При прокатці в ящикових, овальних і круглих калібрах поверхневі шари, відповідні серединам граней прямокутного зливка, завжди розташовуються по вершині (по середині) калібру, де їх зменшення по товщині мінімальне, або по його роз'ємі, де вони товщають в результаті розширення; відповідно змінюється і глибина розташованих в цих шарах дефектів. Для зменшення глибини дефектів, розташованих по середині граней зливка, доцільно використовувати пару калібрів ромб – квадрат.

Величину обточування по радіусу круглих профілів необхідно встановлювати з урахуванням того, що при прокатці з сумарною логарифмічною деформацією 2 – 3 в системі овал – коло глибина дефектів досягає 0,43 вихідної глибини дефектів, розташованих по середині граней зливка, в системі ромб – квадрат – овал – коло вона приблизно в 2 рази менше. Збільшення кантовок не зменшує істотно глибину дефектів. Всі западини, що утворюються та виходять на поверхню під прямим кутом або близьким до прямого, розкатуються в тріщини; по довжині тріщини і коефіцієнті витяжки

можна судити про кінцеву протяжність западини. Глибина залягання і повна довжина тріщини в поперечному перетині розкату на обтиснених ділянках зменшується, а на уширеннях може збільшуватися, тріщини не викликають руйнування металу. Збільшення розширення погіршує викатуваність дефектів через більші заглиблення тріщин, що потрапляють в зону роз'єму калібрів. Розташування дефектів по кінцях одного або двох сполучених діаметрів на обточеній круглій заготівлі не завжди є ознакою їх прокатного походження.

## 2.4 Коротка технічна характеристика стану "1050/950"

### 2.4.1 Призначення і сортамент стану.

Стан складається з двох лінійно розташованих клітей – обтискувальної та заготівельної, характеристики яких наведені в табл. 2.11.

Сортамент стану – квадрати зі стороною 100 – 210 мм, електроди для ЕШП – квадрати зі стороною 240 мм, кола діаметром 130 – 190 мм з вуглецевих, легованих і високолегованих марок сталей спеціального призначення, які потребують особливого режиму нагрівання, прокатки і додаткової обробки готової продукції та заготівлі. Стан катає злитки, передані в прокатний цех як гарячим, так і холодним всадом. Розміри злитків наведені в таблицях 2.12, 2.13.

Таблиця 2.11 – Характеристика робочих клітей і приводу стану «1050/950»

Кліть	Діаметр бочки валків, мм	Довжина бочки, мм	Діаметр шийки валка, мм	Тип двигуна	Швидкість прокатки, м /	Потужність, кВт	Число об. в хв.	
							ном	макс
Обтискувальна	1050	2250	600	П-22 - 145-2К	1 ÷ 3,5	2 × 2500	45	95
Заготівельна	950	2350	600	П-22-125-9К	1 ÷ 5,5	2 × 3300	60	120

Таблиця 2.12 – Розміри злитків ОДВ (по виливниці)

Номінальна маса, тн	Верхній перетин, мм	Нижній перетин, мм	Висота (без прибутку), мм
2,75	550 × 550	450 × 450	1365
3,3 – 3,5	597 × 597	480 × 480	1525
3,65	610 × 610	480 × 480	1640

Таблиця 2.13 – Розміри злитків ВДП і ЕШП

Номінальна маса, тн	Верхній перетин, мм	Нижній перетин, мм	Середній перетин, мм	Висота (без прибутку), мм
3,5	кр. 500	кр. 500		2600
5,75	кр. 630	кр. 630		2600
1,5	325 × 325	370 × 370	кв. 350	1960
2,2	380 × 380	440 × 440	кв. 415	2096
3,9	480 × 480	540 × 540	кв. 500	2450
3,9	550 × 550	590 × 590	кв. 565	2100

#### 2.4.2 Приймальна дільниця

Злитковіз – призначений для транспортування злитків від нагрівальних колодязів до приймального рольгангу і для вкладання злитків на приймальний рольганг.

Злитковіз складається з двох механізмів: механізму пересування і механізму перекидання люльки.

Швидкість пересування злитковоза до 5,86 м / с, швидкість підходу злитковоза до упора – 0,4 м / с. Час перекидання люльки 3,0 – 3,5 с.

Приймальний рольганг – призначений для приймання злитків від злитковоза і подачі його до поворотного столу. Приймальний рольганг

складається з 10 секцій, по 3 кованих ролика в кожній секції. Загальна довжина приймального рольгангу до поворотного столу 17400 мм,

Поворотний стіл – призначений для поворота злитків на  $180^\circ$  в горизонтальній площині і напрямку злитків в кліть донною частиною і розташований на відстані 39500 мм до кліті. Поворотний стіл являє собою поворотну платформу діаметром 900 мм, складається з 2-х механізмів: механізму повороту, і рольганга, час розвороту на  $180^\circ$  – 4.5 с.

Транспортний рольганг призначений для транспортування злитків і розташований за поворотним столом; складається з 12-ти секцій (по 3 шт.) пустотілих роликів, довжина рольганга  $12 \times 1765 = 21180$  мм.

### 2.4.3 Ділянка робочих клітей

Підвідний рольганг – призначений для передачі злитків з транспортного рольганга на робочий і є продовженням робочого рольганга перед кліттю. Довжина підвідного рольгангу 960 мм.

Робочі рольганги і станинні ролики обтискувальної кліті розташовані з передньої і задньої сторін кліті і служать для задачі розкат (зливки) в валки і прийому їх з валків. Передній робочий рольганг складається з 8 кованих роликів з кроком 650 мм. Задній робочий рольганг має 8 роликів. Окружна швидкість роликів 1 – 3,5 м / с.

Станинні ролики по 2 ролика з кожного боку розташовані безпосередньо в станинах кліті.

Маніпулятор з кантувачем обтискувальної кліті.

Маніпулятор призначений для направлення розкату з калібру в калібр і корегування розкату. Кантувач призначений для кантування на  $90^\circ$  злитків (розкату).

Технічна характеристика маніпулятора

1. Тип приводу лінійок	електричний;
2. Довжина лінійок, мм	5465;
3. Максимальне робоче розкриття, мм	2100;

4. Максимальне зусилля правки, кН	400;
5. Робочий хід лінійок, правих мм	1800;
лівих, мм	1950;
6. Швидкість пересування лінійок м / с	0,6 – 1,2;
7. Висота лінійок правих, мм	730;
лівих мм	880;
8. Тип кантувача гаковий з кривошипно – рейковим приводом;	
9. Кількість кантуючих гаків, шт.	4;
10. Вертикальний підйом кантуючих гаків, мм	860;
11. Кількість підйомів гаків в хвилину	5.

#### **2.4.4 Обтискувальна робоча кліть**

Кліть складається з двох станин закритого типу. Робочі валки виготовлені зі сталі 60ХН. Діаметр нових робочих валків становить 1050 мм, мінімальний діаметр переточених валків – 970 мм.

Робочі валки, довжина бочки яких дорівнює 2250 мм, мають шийки діаметром 640 мм і опираються на підшипники з текстолітовими вкладнями, які охолоджуються водою. Максимальне зусилля прокатки складає 18500 кН максимальна швидкість прокатки – 4,5 м/с. Привід індивідуальний від двох електродвигунів потужністю 3550 кВт кожен. Рокриття валків змінюється в межах 10 – 800 мм. Вертикальну установку верхнього валка проводять натискним пристроєм зі швидкістю 200 мм/с. Врівноваження верхнього валка здійснюється системою гідравліки. Вийняття з кліті комплекту валків з подушками і установку в кліть нового комплекту здійснюють за допомогою механізму заміни валків обтискувальної кліті

#### **2.4.5 Заготівельна кліть - двохвалкова реверсивна**

Швидкість прокатки на заготівельній кліті до 5,5 м/с. Валки виготовлені зі сталі 60ХН, шийки валків обертаються в текстолітових

підшипниках. Для змащення і охолодження шийок валков до текстолітовими вкладишів підведена вода, а також здійснюється подача густого мастила для запобігання шийок валків від корозії.

Установку верхнього валка здійснюють натискним пристроєм. Максимальна висота підйому верхнього валка 200 мм зі швидкістю 5,95 мм/с. Врівноваження верхнього валка гідравлічне, кліть має станини відкритого типу, перевалка валків здійснюється касетою за допомогою крана. Налагоджування валків здійснюється безпосередньо в кліті.

#### **2.4.6 Підпільні кантувачи**

Підпільні кантувачирозташовані під подійомними столами з передньої і задньої сторони заготовівельної кліті і призначені для кантування розкату перед заданням в калібр на 45 ° або 90 °, а також для переміщення розкату від одного калібру до іншого.

### **2.5 Розробка режимів обтискування, калібрування валків і технології прокатки кіл діаметром 230 – 265 мм з нержавіючої сталі**

#### **2.5.1 Аналіз недоліків заводської технології.**

Технологія прокатки кіл діаметром 230 – 265 мм з нержавіючої сталі типу Х18Н10Т на блюмінгу ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» розроблялася з урахуванням результатів дослідних прокаток кіл діаметром 265 мм на першій кліті стану за традиційною технологією і виявлених при цьому її недоліків. Заводське калібрування валків кліті 1050 для прокатки кіл діаметром 265 мм ведена на відповідному кресленні.

Метою розробки нової технології було підвищення стабільності процесу прокатки, усунення скручування розкатів і отримання правильної геометрії профілю.

В результаті проведеної роботи виконано аналіз причин нестабільності процесу прокатки і розроблені заходи щодо їх усунення.

Основними недоліками технології є:

- недостатньо рівномірне нагрівання злитків, обумовлене конструкцією нагрівальних колодязів блюмінга;
- нераціональний режим обтиснень і нерівномірне заповнення калібрів металом, викликані конструкцією існуючих ящиків і овального калібру;
- слабе самоцентрування розкатів в овальному і круглому калібрах, що приводить до втрати стійкості і звалюванню розката в процесі прокатки з невиконанням висоти профілю і утворенням значних лампасів по ширині, тобто невиконання геометрії профілю;
- нерівність діаметрів верхнього і нижнього валків, яка обумовлює асиметрію процесу прокатки;
- низький рівень установки нижнього валка, що приводить до асиметрії обтиснень з боку верхнього і нижнього валків і створює додатковий перекидний момент;
- відсутність необхідної для прокатки кіл привалкової арматури;
- труднощі утримання розкату лінійками кантувача та ін.

Для реалізації нової технології необхідно:

1.Проводити кантування злитків навколо осі на  $180^\circ$  при нагріванні в колодязях для здійснення більш рівномірного прогрівання металу по перетину.

Прокатку кіл 230 – 265 мм можна здійснювати за двома варіантами:

варіант 1 – з видачею готового прокату з першої кліті;

варіант 2 – з видачею готового прокату з другої кліті.

## 2.5.2 Технологія прокатування кола 265 мм з видачею готового прокату в першій кліті (варіант 1)

Для реалізації цієї технології необхідно:

Скорегувати калібрування валків.

Калібр 2 (планшетний або плоский овал):

- збільшити глибину врізу калібру з 88 до 120 мм;
- зменшити ширину дна калібру з 310 до 304 мм;
- радіус закруглення дна калібру збільшити з 35 до 40 мм;
- ліквідувати опуклість дна калібру;

За загальну висоту калібру при зазорі 14 мм прийняти 254 мм.

Дане корегування дозволить усунути скручування розкату в овальному (радіусному) калібрі забезпечити стабільне наповнення цього овалу металом по ширині калібру.

Конструкція калібру виконана таким чином, що його можна використовувати і в якості передчистового плоского овального калібру в варіанті прокатки без застосування радіусного овального калібру. Така схема прокатки стає можливою завдяки тому, що радіус закруглення дна калібру дорівнює радіусу обриса чистового кола, а саме 140 мм. При такій схемі прокатки ступінь заповнення металом калібру повинен бути знайдений експериментально, виходячи з оптимальної величини обтиску в чистовому колі, при якому запобігається втрата стійкості розкату в круглому калібрі.

Калібр (овальний радіусний);

- збільшити глибину врізання калібру зі 118 до 121 мм;
- загальну висоту калібру при зазорі 14 мм прийняти 256 мм;
- радіус закруглення овалу прийняти рівним радіусу обриса чистового кола – 140 мм;
- ширину горизонтальної площадки прийняти 142 мм.

Для підвищення стійкості овального розкату в чистовому круглому калібрі ширина передчистового овального калібру повинна бути оптимальною

(обтиснення у колі повинно бути мінімальним). На жаль зменшити ширину передчистового калібру не можливе, так як ширина вже існуючого калібру складає 348 мм і він не підлягає відновленню при переточуванні валків

Проте пропонуване коригування конструкції калібру повинне забезпечити більш стійке положення овалу в круглому калібрі за рахунок зменшення перекидаючого моменту.

Калібр (круглий):

- обрис калібру виконати радіусом 140 мм зі зміщенням центру щодо вертикалі на 6 мм;
- загальну висоту калібру при зазорі 18 мм прийняти 280 мм;
- на кожному валку в секторі  $74^\circ$  виконати по 25 трьохкутних канавок глибиною 2,5 мм.

Дане корегування також дозволить забезпечити більш стійке положення овалу в круглому калібрі за рахунок зменшення обтиску в колі, зміни співвідношення діаметрів кола і створення умов які перешкоджають скручуванню овалу в круглому калібрі.

Виключити нижній «тиск» в калібрах 2, 3 і 4, забезпечивши рівність катаючих діаметрів нижнього і верхнього валків (див. прикладене калібрування валків), що дозволить виключити небажану асиметрію деформацій в калібрах.

Скоротити кількість проходів при прокатці і виключити холості проходи. Режим обтиснень прийняти відповідно до вказівок схемою.

Нижній валок встановлюється таким чином, щоб дно круглого калібру знаходилося на 45 – 50 мм вище рівня станиних роликів. На задній стороні кліті лінійки маніпулятора розсунути на 10 мм. На передній стороні кліті знімні направляючих лінійок маніпулятора максимально подовжити в сторону зіву валків і зменшити скіс направляючих з 300 до 150 мм. Цей захід має істотно поліпшити утримання овалу лінійками і буде перешкоджати скручуванню овалу в круглому калібрі.

Для прокатки кіл за новим калібруванням були розроблені кілька режимів обтиснень для злитків масою 3.69 і 4.36 т. Режими обтиснень наведені в табл. 2.14 – табл. 2.15.

Режим обтиснень злитка 4.36 т для прокатки кіл діаметром 265 мм з використанням передчистового радіусного овалу (калібр 3) наведено в табл. 2.14. За цим режиму злиток прокочується на 265 мм за 19 проходів з 7 кантуваннями. Деформація злитка спочатку здійснюється в калібрі 1 (гладка бочка). Кантування роблять через кожні два проходи з обтисненнями 40 – 50 мм для отримання після восьмого проходу розкату з перетином 500×500 мм. Потім за чотири проходи без кантовок отримують прямокутний перетин 320×535 мм (обтиснення за пропуск 50 – 40 мм). Розкат перетином 320×535 мм кантують і задають в калібр 2, де за чотири проходи (обтиснення за пропуск 55 – 50 мм) без кантовок прокатують на перетин 320×360 мм, і після кантування задають в овальний радіусний калібр 3. У цьому калібрі за два проходи (обтиснення 55 і 60 мм) отримують плоский овал перетином 255×340 мм. Овальний розкат кантується і задається в круглий калібр 4 спеціальної форми. Від традиційних круглих калібрів він відрізняється більшою висотою, дворадіусним обрисом контуру і наявністю трикутних канавок в секторі 74° симетричному щодо вертикальної вісі. Така форма калібру дозволяє створити умови для самоцентрування овального розкату в круглому калібрі і значно збільшити його стійкість.

Режим обтиснень злитка 3.69 т для прокатки кіл діаметром 265 мм з використанням передчистового радіусного овалу (калібр 3) введено в табл. 2.15. За цим режимом злиток прокатується на коло 265 мм за 15 проходів і 5 кантувань. Деформація злитка спочатку здійснюється в калібрі 1 (гладка бочка). Кантування здійснюють спочатку через кожні два, а потім через чотири проходи з обтисненнями 45 – 50 мм до отримання після восьмого проходу розкату з перетином 520 – 535 мм. Потім режим обтиснень такий же як і при прокатці злитка масою 4.36.

У табл. 2.14 і табл. 2.15 наведені варіанти режимів обтиснень при прокатці кіл 265 мм з використанням передчистового овального радіусного калібру 3.

Калібруванням валків передбачений також варіант прокатки за схемою: гладка бочка – плоский овал (калібр 2) – коло (калібр 4).

Режим обтиснень для злитка 4.36 т при такій схемі прокатки наведено в табл. 2.16. На відміну від режиму обтиснень наведеного в табл. 2.14 в даному варіанті проходи 17 і 18 здійснюються в калібрі 2. Обтиснення в круглому калібрі складає 70 мм, тобто таке ж як в попередньому варіанті. З огляду на форму плоского овалу розрахункове розширення в чистовому колі збільшиться до 18 мм.

З метою зменшення обтиснення у чистовому колі при використанні передчистового плоского овалу (калібр 2) був запропонован режим обтиснення згідно таблиці 2.17. згідно цього режиму прокатка злитка масою 4,36 т проводиться за 25 проходів з 10 катновками

Таблиця 2.14 – Режим обтиснень злитка 4.36 т для прокатки кіл діаметром 265 мм з використанням передчистового радіусного овалу

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					650	650	
	1	450	40	5	610	655	
	2	410	40	5	570	660	
	Кантування						
	3	455	45	5	615	575	
	4	410	45	5	570	580	
	Кантування						
	5	370	50	10	530	580	
	6	320	50	10	480	590	
	Кантування						
	7	385	45	10	545	490	
	8	340	45	10	500	500	
	Кантування						
	9	290	50	10	450	510	
	10	240	50	10	400	520	
	11	200	40	8	360	528	
12	160	30	7	320	535		
Кантування							
2	13	226	55	10	480	330	
	14	171	55	10	425	340	
	15	116	55	10	370	350	
	16	66	50	10	320	360	
Кантування							
3	17 овал	49	55	10	305	330	
	18 овал	– 4	51	10	254	340	
Кантування							
4	19 круг	– 6	70	14	270 (274)	268	

Таблиця 2.15 – Режим обтиснень злитка 3.69 т для прокатки кіл діаметром 265 мм з використанням передчистового радіусного овалу

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					590	590	
	1	390	40	0	550	590	
	2	355	35	5	515	595	
	Кантування						
	3	385	50	0	545	515	
	4	335	50	5	495	520	
	Кантування						
	5	310	50	10	470	505	
	6	260	50	10	420	515	
	Кантування						
	7	210	50	10	370	525	
	8	160	50	10	320	535	
	Кантування						
2	9	226	55	10	480	330	
	10	171	55	10	425	340	
	11	116	55	10	370	350	
	12	66	50	10	320	360	
Кантування							
3	13 овал	49	33	10	305	330	
	14 овал	- 2	51	10	254	340	
Кантування							
4	15 коло	- 6	70	14	270 {274}	268	

Таблиця 2.16 – Режим обтиснень злитка 4.36 т для прокатки кіл діаметром 265 мм з використанням передчистового плоского овалу (варіант 1)

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					650	650	
	1	450	40	5	610	655	
	2	410	40	5	570	660	
	Кантування						
	3	455	45	5	615	575	
	4	410	45	5	570	580	
	Кантування						
	5	370	50	10	530	580	
	6	320	50	10	480	590	
	Кантування						
	7	385	45	10	545	490	
	8	340	45	10	500	500	
Кантування							
2	9	290	50	10	450	510	
	10	240	50	10	400	520	
	11	200	40	8	360	528	
	12	360	30	7	320	535	
	Кантування						
	13	226	55	10	480	330	
	14	171	55	10	425	340	
	15	116	55	10	370	350	
4	16	66	50	10	320	340	
	Кантування						
	17 овал	49	57	10	303	330	
	18 овал	- 4	53	10	250	340	
Кантування							
4	19 круг	- 6	70	18	270 (274)	268	

Таблиця 2.17 – Режим обтиснень злитка 4.36 т для прокатки кіл діаметром 265 мм з використанням передчистового плоского овалу (варіант 2)

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					650	650	
	1	455	35	0	615	650	
	2	420	35	5	580	655	
	3	385	35	5	545	660	
	4	350	35	5	510	665	
	Кантування						
	5	460	45	5	620	515	
	6	415	45	5	575	520	
	7	370	45	5	530	525	
	8	330	40	5	490	530	
	Кантування						
	9	315	55	15	475	505	
	10	260	55	15	420	520	
	Кантування						
11	310	50	10	470	430		
12	260	50	10	420	440		
Кантування							
13	225	55	10	385	430		
14	170	55	10	330	440		
Кантування							
2	15	136	50	10	390	340	
	16	Холостий					
Кантування							
1	17	150	30	10	310	400	
	18	Холостий					
Кантування							
2	19	101	45	10	355	320	
	20	61	40	10	315	330	
	Кантування						
	21	31	45	10	285	325	
	22	Холостий					
	Кантування						
	23	36	35	10	290	295	
	24	6	30	5	260	300	
Кантування							
4	25	- 6	30	8	270	268	

### **2.5.3 Технологія прокатування кола 265 мм з видачею готового прокату на другій кліті (варіант 2)**

За цією технологією на другий кліті 950 блюмінга розташовується два додаткових калібри – передчистовий овал (калібр 5) і чистове коло (калібр 6).

Для зменшення навантажень на кліть 2 обтискування в овалі і колі прийняті мінімальними. Максимальне по ширині калібру обтиснення в овалі – 10 мм, в колі – 35 мм.

При прокатці кіл за цим варіантом з першої кліті на другу передається розкат 270×300 мм, одержуваний з круглого калібру 4. У цьому випадку круглий калібр кліті 1 використовується як ребровою для контролю ширини розкату, що задається в передчистовий овал кліті 2. Крім того, за рахунок ребрового обтискування в круглому калібрі кліті 1 зявляється можливим зменшення деформацію в круглому калібрі 6 на кліті 2.

Для прокатки кіл 265 мм за цим варіантом технології для кліті 2 в якості привалкової арматури слід використовувати обвідну коробку з пропусками для утримання передчистового овалу в круглому калібрі.

### **2.5.2 Технологія прокатки кола 230 мм з видачею готового прокату з другої кліті**

Технологія передбачає, з метою скорочення загальних витрат на освоєння та виробництво кола 230 мм, використання калібрування валків кліті 1 для прокатки кола 265 мм.

Як підкат для кліті 2 використовується коло діаметром 200 мм. Прокатка в кліті 2 здійснюється за два проходи в овальному (калібр 7) та круглому (калібр 8) калібрах. Для прокатки кіл 230 мм за цим варіантом технології на кліті 2 в якості привалкової арматури також слід використовувати вхідну коробку з пропусками для утримання передчистового овалу в круглому калібрі.

Таблиця 2.18 – Режим обтиснень кола діаметром 265 мм на стані 1050 (кліть1)

Номер калібру	Номер пропуску	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1				650	650	
	1	60	10	590	660	
	2	60	10	530	670	
	Кантування					
	3	60	10	610	540	
	4	60	10	550	550	
	Кантування					
	5	50	10	500	560	
	6	50	10	450	570	
	Кантування					
	7	55	10	515	460	
	8	55	10	460	470	
Кантування						
2	9	60	10	410	470	
	10	50	10	360	480	
	11	40	10	320	490	
	12	холостой				
	13	50	10	440	330	
	14	50	10	390	340	
	15	40	5	350	345	
	16	30	5	320	350	
	Кантування					
	3	17	50	10	300	330
		18 овал	35	5	265	335
		Кантування				
4	1 9 круг	35	5	300	270	

Таблиця 2.19 – Режим обтиснень кола діаметром 265 мм на стані 950 (кліть 2)

Номер калібру	Номер пропуску	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм
5 овал				270	300
	1	10	3	260	303
Кантування					
6 круг	2	35	8	268	268

Таблиця 2.20 – Режим обтиснень кола діаметром 230 мм на стані 950 (кліть 2)

Номер калібру	Номер пропуску	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм
5 овал				270	270
	1	47	10	223	285
Кантування					
6 круг	2	52	10	233	233

### **2.5.5 Визначення завантаження обладнання головної лінії блюмінга по енергосиловим параметрам прокатки з використанням САПР ТП**

Розрахунок температурно – швидкісних і енергосилових параметрів прокатки за новою технологією проводився за розробленою УкрНДІмет методикою.

Параметри швидкісного режиму в клітях розраховувалися за алгоритмом В.С. Медведєва, з урахуванням типу стану, характеристик основного і допоміжного обладнання і розробленого режиму обтиснень. У розрахунку прийняті збільшені паузи між проходами (час пауз на кантування і передачу гуркотів з калібру в калібр і між клітями було збільшено, з урахуванням можливих затримок при відпрацюванні нової технології) і мінімальні пластичні цикли прокатки, з урахуванням здійснення всіх допоміжних технологічних операцій на окремих етапах технологічного процесу.

Розрахунок швидкісного режиму в реверсивних клітях виконувався за методикою В. А. Тягунова

В основу алгоритму розрахунку оптимального режиму прокатки на реверсивній кліті покладені мінімально необхідні паузи між проходами, які визначаються швидкістю роботи допоміжних механізмів. Швидкості захоплення і викиду розраховуються по паузі між проходами, а максимальна швидкість – за умови мінімуму машинного часу. така методика дозволяє розраховувати мінімальний цикл відразу ж, а не шляхом послідовного наближення. Для забезпечення ритмічної роботи стану дотримувалась "потрійна умова": час роботи натискного пристрою, робочих рольгангів і час реверсування валків повинні бути рівні один одному. Виконання цієї умови забезпечує мінімальний цикл прокатки і максимальну продуктивність реверсивної кліті.

При розрахунку паузи між проходами були збільшені, з урахуванням недостатньо освоєної технології прокатки кіл на стані.

Температурний режим прокатки розраховується з урахуванням всіх складових теплового балансу розкату за методикою В.С. Медведєва.

Температура металу в даному проході визначається за такою формулою

$$t_l = t_{i-1} - \Delta T_{ui} \times m - \Delta T_i + \Delta T_{\partial l} \quad (2.6)$$

де:  $\Delta T_{ui}$  – зниження температури металу на повітрі між двома сусідніми проходами за рахунок теплового випромінювання;

$\Delta T_i$  – зниження температури металу при зіткненні з робочими валками;

$\Delta T_{\partial l}$  – підвищення температури металу внаслідок перетворення роботи пластичної деформації в теплову енергію;

$m$  – коефіцієнт, що враховує втрати тепла при вільному конвективному теплообміні.

$$m = 1,08 + 0,00023 \times (1200 - t_{i-1}) \quad (2.7)$$

Складові рівняння теплового балансу

$$\Delta T_{ui} = \left( \frac{(t_{i-1} + 273) - 1000}{\frac{1000}{(t_{i-1} + 273)} + 0,00544 \times \left( \frac{\varepsilon \times \Pi_{i-1}}{c \times F_{i-1}} \right) \times r_{\partial}} \right) \times \Psi_u; \quad (2.8)$$

$$\Delta T_i = \frac{0,53 \times (t_{i-1} \times 80)}{(h_c \times B_c)} \times \Pi_c \times \left[ \sqrt[4]{(V+1) \times r_{\partial} - 0,0934} \right] \times \sqrt{r_{\partial}}; \quad (2.9)$$

$$\Delta T_{oi} = \left[ \left( \frac{0,616}{c} \right) \times \frac{(h_{i-1} - h_i)}{(h_{i-1} + h_i)} \right] \times p_{cp}, \quad (2.10)$$

де:  $\varepsilon$  – ступінь чорноти сталі;

$c$  – питома теплоємність сталі при температурі прокатки, ккал / кг × град;

$\Pi_{i-1}$  і  $\Pi_c$  – периметр попересного перетину розкату фасонного профілю до  $i$  – го проходу і середній периметр, мм;

$F_{i-1}$  – площа поперечного перерізу розкату до  $i$  – го проходу, мм<sup>2</sup>;

$\tau$  – час охолодження, с;

$V$  – швидкість прокатки, м / с;

$r_{\partial}$  – час проходження частинкою металу осередку деформації, с;

$\Psi_u$  – кутовий коефіцієнт випромінювання. Для смуг прийнятий  $\Psi_u = 1$ .

Опір металу деформації розраховується на підставі методу термомеханічних коефіцієнтів.

Величина обтиску в кожному проході визначається за приведеним обтисненням відповідних смуг. Для розрахунку обтиснення в алгоритм введені формули і ознаки, що враховують кантовку розкатів між проходами.

В основу розрахунку енергосилових параметрів прокатки прийнята методика А.І. Целікова.

Результати розрахунку енергосилових параметрів представлені у вигляді таблиць (додаток 1).

Розрахунок параметрів прокатки розробляли з урахуванням температури металу при видачі з коледжя 1180 °С, а в першому проході 1160 – 1170 °С, тобто при стандартних умовах нагріву заготовок. Температура кінця прокатки з розрахунку близько 1100 °С.

Швидкісний режим прокатки в першій кліті розрахований за двома варіантами з максимальною швидкістю обертання валків 40 і 90 об/хв.

Швидкість при захопленні – 15 об / хв, викиданні – 40 – 90 об/хв.

Аналіз завантаження стану показав наступне.

Найбільші зусилля і момент прокатки в першій кліті стану «1050» спостерігаються в другому проході в першому калібрі і складають 1272 т і 233 тм відповідно (завантаження по зусиллю 71%, по моменту 47%).

Надалі при прокатуванні в першому калібрі зусилля і моменти постійно знижуються.

Зусилля і момент прокатки в другому калібрі досягають 759 т і 153 тм (завантаження по зусиллю 42%, по моменту 30%).

У третьому калібрі зусилля не перевищує 706 т (завантаження 39%) і момент 109 тм (завантаження 22%), а в четвертому чистовому калібрі – 574 т і 95 тм відповідно (завантаження по зусиллю 32%, по моменту 19%).

Таким чином, результати розрахунку енергосилових параметрів показують, що значення навантажень на кліть «1050» під час прокатки кіл 265 мм з нержавіючих сталей за новою технологією знаходяться в допустимих межах.

Розрахунки параметрів прокатки кола 265 мм по варіанту 2 показують, що в кліті 2 максимальні зусилля і моменти прокатки залежно від температури початку прокатки складають:

$t$	$P$	$M$
1000 °С	618 т	81 тм
950 °С	705 т	92 тм
900 °С	805 т	105 тм

При прокатці кіл 230 мм навантаження складають:

$t$	$P$	$M$
1000 °С	633 т	88 тм
950 °С	721 т	100 тм
900 °С	822 т	114 тм

Ці значення навантажень також знаходяться в допустимих межах.

Таким чином виконані з використанням САПР ТП розрахунки показали, що завантаження устаткування головних ліній блюмінга (клітей «1050» і «950») по енергосиловим параметрам прокатки при прокатці кіл діаметром 230 – 265 мм за розробленою технологією знаходиться в межах допустимих значень.

При прокатці нержавіючої сталі мали місце окремі удари злитків по станиним роликам. Це пов'язано з тим, що валки підняті щодо рівня рольганга для запобігання вигину розкатів в чистовому круглому калібрі, а також з вигином розкатів при прокатці на гладкій бочці із – за нерівномірного нагрівання металу по перетину злитка і великим охолодженням грані злитка що лежить на рольганзі при його транспортуванні від колодязів до стана. Для зменшення навантажень на станинні ролики рекомендується, по – перше, зменшити на 40 мм катаючі діаметри валків на гладкій бочці, збільшивши при цьому висоту калібру 1 до 200 мм, а по – друге здійснювати кантування на 180° злитків перед першим проходом.

У процесі дослідної прокатки через вигин розкатів при стисненні на гладкій бочці і в калібрі 2 доводилося правити розкат на передній стороні кліті маніпуляторними лінійками. При цьому мали місце значні динамічні навантаження на всю конструкцію маніпулятора.

На задній стороні кліті під час прокатки розкатів в напрямку «на пост» через те, що оператори затискали розкат лінійками, виникали осьові навантаження на раму секції рольганга (навантаження на раму передаються через напрямні та рейки маніпуляторних лінійок).

Для зменшення навантажень на кантувач – маніпулятор рекомендується звести до мінімуму правку розкатів лінійками на передній стороні кліті. З цією метою в режим обтиснень введені два, а при необхідності і три, прогладжуючі (калібруючі) проходи в калібрі 2 (див.табл. 2.24 і 2.27) призначених дня виправлення кривизни розкатів.

Для зменшення навантажень на раму рольганга на задній стороні кліті операторам блюмінга слід не затискати розкат лінійками при прокатці в напрямку «на пост». Лінійки повинні бути трохи розсунуті відразу ж після направлення розкату в калібр і захоплення металу валками,

Після прокатки в першій кліті на прес – ножицях від круглих розкатів відрізають передній і задній кінці. При цьому кінці розкату роздавлюються ножами приблизно на 25мм. Ширина розкату в місці розчавлення становить приблизно 295 мм. При використанні таких розкатів для подальшого перекатування на кліті 1 на коло діаметром 230 мм за розробленою вище (табл. 2.20) технологією ширину передчистового овалу необхідно збільшити до 200 мм.

В результаті ультразвукового контролю в прокаті виявили брак в 83%. Металографічним дослідженням дефектної частини було встановлено, що дефект, виявлений при УЗК, являє осьову пористість злитка, що не заварюється при деформації. В колах 230 мм осьової пористості не виявлено.

У перспективі з метою поліпшення макроструктури металу в готовій продукції, скорочення витратного коефіцієнта, підвищення продуктивності блюмінга і зниження собівартості прокату рекомендуємо провести роботу по розробці і впровадженню технології прокатки на блюмінгу кіл великих розмірів із злитків великої маси (6,7 тонн).

### **2.5.6 Дослідницьке прокатування злитків нержавіючих марок сталей з підстужуванням**

Проблему пропрацювання вісьової зони, в яку деформації на початку прокатування майже не розповсюджуються, пов'язують з поняттям крупності злитка. Тому для крупного злитка необхідно розробляти спеціальні методи пропрацювання осьової зони.

Охолодження поверхні нагрітої заготівки приводить, як правило, до утворення зовнішнього шару металу з більш високими міцностними характеристиками в порівнянні з вісевою зоною (міцнісні характеристики

можуть відрізнятися в  $5 \div 14$  разів, що можна використати в процесі прокатування. З'являється більш міцний шар металу, в якому знаходяться внутрішні шари металу. При охолодженні заготовки, рівномірно нагрітої, товщина цього шару збільшується, і температура вісєвої зони повільно паде. Термічна усадка поверхневих шарів створює додаткові напруження стискування у внутрішніх шарах металу.

На стані 1050/950 створення температурної анізотропії здійснювали у нагрівальному колодязі, що виключає технологічну паузу, необхідну для створення необхідного перепаду температур в процесі прокатування. Для цього при прокатуванні злитка зі сталі 08X18H10T вагою 6,7 т його нагрівали до  $t = 1150$  °C і витримували на протязі 2 годин, час необхідний для вирівнювання температури по всьому перетині. Потім відкривали кришку колодязя на 20 хвилин з виключанням подачі паливної суміші. Для вирівнювання температури поверхневих шарів кришку закривали і витримували 0,5 годин зі збереженням необхідної різниці температури. Після цього злиток подається на прокатування на стан. Додатково такий спосіб деформування приводить до зменшення площі ліквацийного квадрату, обумовленого неоднорідністю хімічного складу злитка в процесі кристалізації.

Результати дослідження представлені на рисунку 2.27, представлені графіки перепаду міцностних властивостей сталі 08X18H10T при різних значеннях градієнта температур  $\Delta t$  в залежності від температури нагрівання заготівлі, а на рисунку залежність абсолютного максимального перепаду  $\Delta\sigma_{Vmax}$  (а) і відносного перепаду  $\Delta\sigma_{Vmax}/\Delta\sigma_{Vnp}$  (б) міцностних властивостей сталі від величини максимального температурного градієнта  $\Delta t$ .

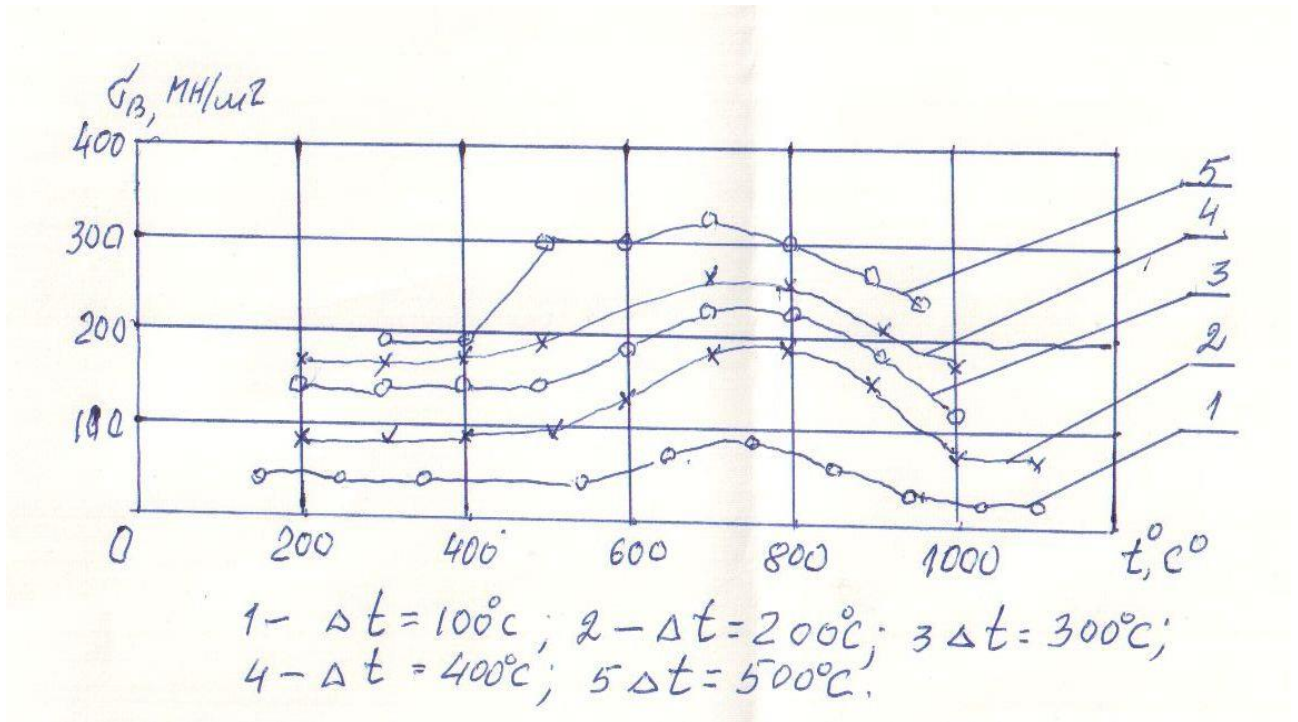


Рисунок 2.27 – Величина перепаду міцностних властивостей сталі 08X18N10T при різних значеннях градієнта температур  $\Delta t$  в залежності від температури нагрітого злитка

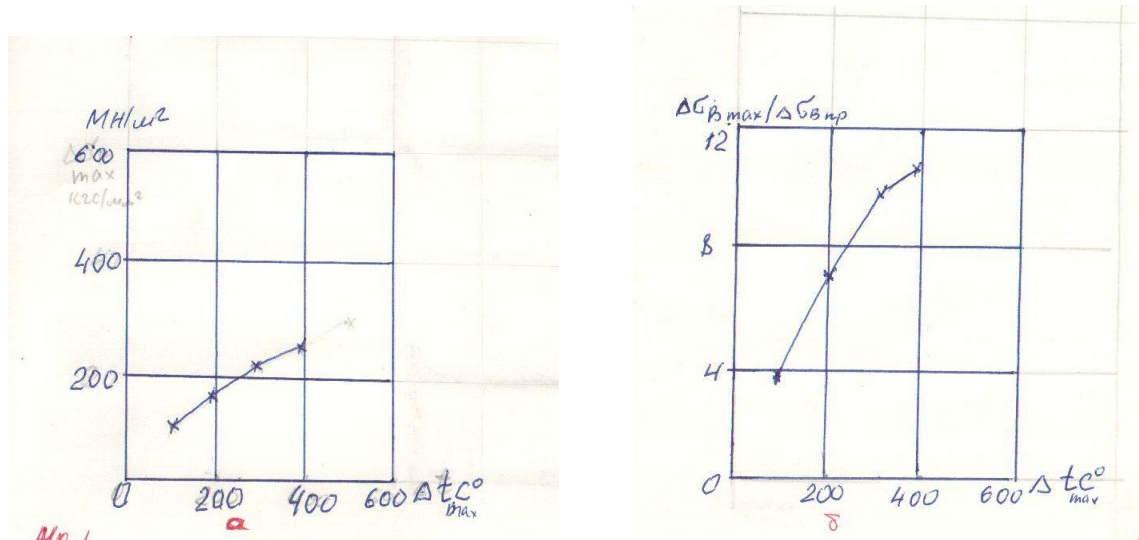


Рисунок 2.28 – Залежність абсолютного максимального перепаду  $\Delta\sigma_{B\max}$  (а) і відносного перепаду  $\Delta\sigma_{B\max}/\Delta\sigma_{Bнр}$  (б) міцностних властивостей сталі від величини максимального температурного градієнта  $\Delta t$

## **2.5.7 Проведення дослідних прокаток і аналіз їх результатів. Корегування технології прокатки**

Перша дослідна прокатка.

За розробленою технологією на блюмінгу була проведена перша дослідна прокатка кіл діаметром 265 мм з нержавіючої сталі 08X18H10T.

Валки кліті «1050» були розточені відповідно до розробленого калібрування.

Перед прокаткою за допомогою струни і масштабної лінійки був перевірений фактичний рівень установки нижнього валка. Дно чистового круглого калібру 4 було встановлено вище рівня перших станини роликів на 65 мм.

Задні лінійки маніпулятора кліті «1050» були розсунуті щодо передніх лінійок приблизно на 20 мм.

Рекомендацію щодо подовження на передній стороні кліті «1050» знімних носков лінійок маніпулятора в сторону зіву валка заводом не виконано, хоча проектна проробка подовження лінійок на 220 мм була зроблена.

Режим нагрівання металу в колодязях відповідав заводській технологічній інструкції. Приблизно за годину до видачі злитків під прокатку для більш рівномірного нагрівання металу злитки кантуватися в колодязях на 180°. Температура нагрівання металу в колодязях становила 1180 – 1200 °С.

Відпрацювання технології прокатки кіл 265 мм проводили на низьколегованій сталі. При цьому випробувано 3 варіанти режимів обтисень. Прокатка здійснювалася на низькій швидкості не більше 40 об / хв.

Спочатку був прокатаний один злиток масою 4.36 т по режиму наведеному в таблиці 2.21. Прокатка здійснювалася за 19 проходів у всіх калібрах за схемою: гладка бочка – плоский овал (калібр 2) – радіусний овал (калібр 3) – чистовое коло (калібр 4). Після проходів 16, 18 і 19 вальцювальник провів виміри висоти і ширини розкату. Дані замірів наступні:

	висота Н, мм	ширина В, мм
прохід 16 (калібр 2)	330	355
прохід 18 (калібр 3)	257	345
прохід 19 (калібр 4)	276	270

Заповнення металом всіх калібрів було задовільним. Прокатка в калібрах 2 і 3 стійка без видимого звалювання розкату. Однак в калібрі 4 задній кінець розкату довжиною 1,0 – 1,5 м згорнуло за годинниковою стрілкою.

Потім був прокатаний злиток по режиму, наведеному в таблиці 2.23, минаючи калібр 3. Прокатка теж здійснювалася за 19 проходів по схемі: гладка бочка – плоский овал (калібр 2) – чистове коло (калібр 4). Прокатка пройшла успішно. Звалювання розкату в чистовому круглому калібрі не спостерігалось.

Один злиток був прокатаний по режиму, наведеному в таблиці 2.24, також минаючи калібр 3, але з малим обтисненням в чистовому круглому калібрі. Прокатка пройшла успішно. Звалювання розкату в чистовому колі не спостерігалось.

Після прокатки злитків з низьколегованих сталей перейшли на прокатку злитків з нержавіючої сталі.

Всього було прокатано 4 злитка: два масою 4.36 тн., два масою 3.69 тн.

Перший злиток масою 4.36 тн був прокатаний за 19 проходів з використанням передчистового плоского овалу (калібр 2), минаючи калібр 3. Однак, при прокатці помилково не була виконана кантовка розкату на 90 ° після проходу 16, як це було передбачено режимом, наведеному в таблиці 2.13. крім того, в останньому проході була збільшена швидкість прокатки. В результаті в чистовій калібр був заданий розкат висотою близько 370 мм. З – за значного обтискування в чистовому калібрі 4, яке склало близько 100 мм, і великій швидкості прокатки сталося звалювання задньої частини розкату на 90°.

Другий злиток масою 4.36 тн був прокатаний по режиму обтиснень наведеному в таблиці 2.24 з використанням передчистового плоского овалу (варіант 2). Прокатка пройшла успішно, розкат в чистовому калібрі не скручувався.

Третій злиток масою 3.69 тн був прокатаний за цим ж режимом, але з проміжним підігріванням металу в колодязі з – за затримок на стані. Розкат в чистовому калібрі не згорнувся.

Четвертий злиток масою 3.69 тн був прокатаний по режиму обтиснень наведеним в таблиці 2.22 з використання радіусного овалу калібру 3. Розкат згорнуло в чистовому круглому калібрі.

Висновки за результатами першої дослідної прокатки:

1. Незважаючи на те, що два розкати з нержавіючої сталі згорнуло в чистовому калібрі, в цілому результати першої дослідної прокатки слід вважати позитивними так як вдалося знайти режим обтиснень, при якому не відбувається звалювання розкатів в чистовому калібрі.
2. Найбільша стійкість розкатів у круглому калібрі спостерігається при використанні передчистового плоского овалу (калібр 2) з невеликим обтисненням в чистовому проході (приблизно 30 – 35 мм).
3. Для зменшення ударів на станинні ролики необхідно щоб дно чистового круглого калібру 4 було встановлено вище рівня перших станинних роликів на 35 мм.
4. Необхідно здійснювати точну установку валків без взаємного їх зміщення в осьовому напрямку. Контроль установки валків необхідно здійснювати за допомогою прохідного шаблону чистового круглого калібру.
5. Для відпрацювання технології прокатки кіл діаметром 265 мм з нержавіючої сталі необхідно провести повторну дослідну прокатку.

Друга дослідна прокатка.

При підготовці до другого дослідного прокатування були розроблені шість різних варіантів режимів обтиснень, з урахуванням висновків зроблених за результатами першої дослідної прокатки. В основі всіх режимів обтиснень покладено використання передчистового плоского овалу (калібр 2) і мінімальне обтиснення в круглому калібрі.

У таблицях 2.21 і 2.24 наведені лише ті режими, які були випробувані при другій дослідній прокатці.

При другій дослідній прокатці калібрування валків не змінювалася.

Перед прокаткою за допомогою струни і масштабної лінійки був перевірений фактичний рівень установки нижнього валка. Дно чистового круглого калібру 4 було встановлено вище рівня перших станинних роликів на 35 мм.

Перед прокаткою також за допомогою прохідного шаблону чистового калібру була перевірена установка валка в осьовому напрямку.

Задні лінійки маніпулятора кліти «1050» були розсунуті щодо передніх лінійок приблизно на 20 мм.

Режим нагріву металу в колодязях відповідав заводській технологічній інструкції. Приблизно за годину до видачі злитків під прокатку для більш рівномірного нагріву металу злитки кантуватися в колодязях на 180°. Температура нагріву металу в колодязях становила близько 1250 °С.

Відпрацювання технології прокатки кіл 265 мм проводили на низьколегованій сталі 40X4M2 із злитків масою 3.69 тн.

Прокатку злитків масою 3.69 тн зі сталі 40X4M2 здійснювали по режиму обтиснень, наведених в таблиці 2.21. При прокатці цієї сталі звалювання розкату в чистовому круглому калібрі не спостерігалось.

Потім були прокатані 29 злитків масою 3.69 тн з нержавіючої сталі X18N10T. У процесі прокатки тільки 2 розкати зкрутило в чистовому круглому калібрі з – за осьового зміщення валків.

Практично вся партія злитків була прокатана за відпрацьованим в процесі дослідної прокатки режимом обтиснень, який наведено в таблиці 2.14. Замість двох проходів 15 і 16 виконали 4 проходи. Останній прохід в напрямку на пост був прогладжуючим. Прогладжуючий прохід необхідний для вирівнювання вигнутого розкату. Якщо таку операцію не проводити, то при прокатці в чистовому круглому калібрі не виправлений задній кінець розкату (його неможливо виправити навіть лінійками) розсовує лінійки. Оскільки плоский

овал не утримується лінійками, він втрачає стійкість і звалюється в круглому калібрі. Прогладжуючий прохід істотно підвищить стабільність процесу прокатки.

Істотно впливає на втрату стійкості форма переднього кінця, що входить в чистової круглий калібр. Значна асиметрія форми переднього кінця призводить до зсуву в часі захвату металу валками і втрати стійкості плоского овалу. Виконане при коригуванні калібрування вирівнювання катаючих діаметрів верхнього і нижнього валків в калібрах 2 і 4 сприяло зменшенню асиметрії переднього кінця. Однак, нерівномірне нагрівання металу по перетину злитка може привести до асиметрії переднього кінця. Тому захоплення розкату валками в чистовому колі необхідно здійснювати дуже обережно на мінімальній швидкості. При найменшій тенденції до скручування розкату його необхідно кантувати на  $180^\circ$  і знову обережно поставити в калібр

Після захоплення металу швидкість валків поступово збільшують до 50 – 60 об/хв, при цьому розкат слід утримувати від скручування лінійками.

При прокатці струмові навантаження привода не перевищували 3 – 4 КА.

При прокатці нержавіючої сталі мали місце окремі удари злитків на станинні ролики. Це пов'язано з тим, що валки підняті щодо рівня рольганга для запобігання вигину розкатів в чистовому круглому калібрі, а також з вигином розкатів при прокатці на гладкій бочці з – за нерівномірного нагрівання металу по перетині злитка і значним охолодженням сторони злитка яка лежить на рольганзі при його транспортуванні від колодязів до стану. Для зменшення навантажень на станинні ролики рекомендується, по – перше зменшити на 40 мм катаючі діаметри валків на гладкій бочці, збільшивши при цьому висоту калібру 1 до 200 мм, а по – друге здійснювати кантування на  $180^\circ$  злитків перед першим проходом.

У процесі дослідної прокатки з – за вигину розкатів при обтискуванні на гладкій бочці і в калібрі 2 доводилося правити розкати на передній стороні кліті маніпуляторними лінійками. При цьому мали місце великі динамічні навантаження на всю конструкцію маніпулятора.

На задній стороні кліті під час прокатки розкатів в напрямку «на пост» через те, що оператори затискали розкат лінійками виникали осьові навантаження на раму секції рольганга (навантаження на раму передаються через напрямні та рейки маніпуляторних лінійок).

Для зменшення навантажень на кантувач – маніпулятор рекомендується звести до мінімуму правку розкатів лінійками на передній стороні кліті. З цією метою в режим обтиснень введені два, а при необхідності і три, прогладжуючі (калібруючі) проходи в калібрі 2 (див. табл. 2.21 і 2.27), призначені для виправлення кривизни розкатів.

Для зменшення навантажень на раму рольганга на задній стороні кліті операторам блюмінга слід не затискати розкат лінійками при прокатці в напрямку «на пост». Лінійки повинні бути декілька розсунуті відразу ж після направлення розкату в калібр і захоплення металу валками.

Після прокатки на прес – ножицях від круглих розкатів відрізають передній і задній кінці. При цьому кінці розкату розчавлюються ножами приблизно на 25мм. Ширина розкату в місці розчавлення становить приблизно 295 мм. При використанні таких розкатів для подальшого прокатування на клеті 950 на коло діаметром 230 мм за розробленою вище технології ширину передчистового овалу необхідно збільшити до 300 мм.

Технологія прокатки кіл діаметром 265 мм з нержавіючої сталі повністю відпрацьована. Профіль може демонструватися промисловими партіями.

Таблиця 2.21 – Режим обтиснень злитка 3.69 т для прокатки кіл діаметром 265 мм на кліті 1050 з використанням передчистового плоского овалу калібру 2 (скорегований варіант за результатами першої дослідної прокатки).

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					590	590	
	1	390	40	5	550	595	
	2	355	35	5	515	600	
	Кантування						
	3	385	50	5	545	520	
	4	335	50	5	495	525	
	Кантування						
	5	310	55	10	470	505	
	6	260	50	10	420	515	
	7	210	50	10	370	525	
	8	160	50	10	320	535	
	Кантування						
	2	9	221	59	10	475	330
10		166	57	10	420	340	
11		111	55	10	365	350	
12		56	55	10	310	360	
Кантування							
13		66	40	10	320	320	
14		31	35	10	285	330	
Кантування							
15		41	35	10	295	295	
16		6	35	5	260	300	
Кантування							
4	17	– 6	30	8	270	268	

Таблиця 2.22 – Режим обтиснень злитка 4.36 т для прокатки кіл діаметром 265 мм на кліті 1050 з використанням передчистового плоского овалу калібру 2 (скорегований варіант за результатами першої дослідної прокатки).

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					650	650	
	1	450	40	5	610	655	
	2	410	40	5	570	660	
	Кантування						
	3	455	45	5	615	575	
	4	410	45	5	570	580	
	Кантування						
	5	370	50	10	530	580	
	6	320	50	10	480	590	
	Кантування						
	7	385	45	10	545	490	
	8	340	45	10	500	500	
	Кантування						
	9	290	50	10	450	510	
	10	240	50	10	400	520	
	11	200	40	8	360	528	
	12	160	30	7	320	535	
Кантування							
2	13	221	60	10	475	330	
	14	166	55	10	420	340	
	15	111	55	10	365	350	
	16	56	55	10	310	360	
	Кантування						
	17	66	40	10	320	320	
	18	31	35	10	285	330	
	Кантування						
	19	41	35	10	295	295	
	20	6	35	5	260	300	
	Кантування						
4	21	– 6	30	8	270	268	

Таблиця 2.23 – Режим обтиснень злитка 3.69 т для прокатки кіл діаметром 265 мм на кліті 1050 з використанням передчистового плоского овалу калібру 2 (відпрацьований варіант за результатами другої дослідної прокатки).

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм
1					590	590
	1	390	40	5	550	595
	2	315	35	5	515	600
	Кантування					
	3	385	50	5	545	520
	4	335	50	5	495	525
	Кантування					
	5	310	50	10	470	505
	6	260	50	10	420	515
	7	210	50	10	370	525
	8	160	50	10	320	535
	Кантування					
2	9	220	59	10	476	330
	10	165	57	10	419	340
	11	110	55	10	364	350
	12	55	55	10	309	360
	Кантування					
	13	65	41	10	319	320
	14	25	40	10	279	330
	Кантування					
	15	40	36	9	294	288
	16	20	20	7	274	295
	17	4	16	5	258	300
	18	4	35	0	258	300
	Кантування					
4	19	– 6	30	10	270	268

Таблиця 2.24 – Режим обтиснень злитка 3.69 т для прокатки кіл діаметром 265 мм на кліті 1050 з використанням передчистового плоского овалу калібру 2 (рекомендований варіант за результатами другої дослідної прокатки).

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					590	590	
	1	390	40	5	550	595	
	2	355	35	5	515	600	
	Кантування						
	3	385	50	5	545	520	
	4	335	50	5	495	525	
	Кантування						
	5	310	55	10	470	505	
	6	260	50	10	420	515	
	7	210	50	10	370	525	
	8	160	50	10	320	535	
	Кантування						
	2	9	220	59	10	476	330
		10	165	57	10	419	340
11		110	55	10	364	350	
12		55	55	10	309	360	
Кантування							
13		65	41	11	319	320	
14		45	20	5	299	325	
15		25	20	5	279	330	
16		25	0	0	279	330	
Кантування							
17		40	36	9	294	288	
18		20	20	7	274	295	
19		5	15	5	259	300	
20		5	0	0	259	300	
Кантування							
4	21	– 5	30	9	271	268	

Таблиця 2.25 – Режим обтиснень злитка 4.36 т для прокатки кіл діаметром 265 мм на кліті 1050 з використанням передчистового плоского овалу калібру 2 (рекомендований варіант за результатами другої дослідної прокатки).

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					650	650	
	1	450	40	5	610	655	
	2	410	40	5	570	660	
	Кантування						
	3	455	45	5	615	575	
	4	410	45	5	570	580	
	Кантування						
	5	370	50	10	530	580	
	6	320	50	10	480	590	
	Кантування						
	7	385	45	10	545	490	
	8	340	45	10	500	500	
	Кантування						
	9	290	50	10	450	510	
	10	240	50	10	400	520	
	11	200	40	8	360	528	
	12	160	30	7	320	535	
	Кантування						
2	13	220	61	10	474	330	
	14	165	55	10	419	340	
	15	110	60	10	364	350	
	16	55	55	10	309	360	
	Кантування						
	17	65	41	11	319	320	
	18	45	20	5	299	325	
	19	25	20	5	279	330	
	20	25	0	0	279	330	
	Кантування						
	21	40	36	9	294	288	
	22	20	20	7	274	295	
	23	5	15	5	259	300	
	24	5	0	0	259	300	
Кантування							
4	25	– 5	30	9	271	268	

Таблиця 2.26 – Режим обтиснень злитка 3.69 т для прокатки кіл діаметром 265 мм на кліті 1050 з використанням передчистового плоского овалу калібру 2 (рекомендований варіант за результатами другої дослідної прокатки).

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					590	590	
	1	350	40	5	550	595	
	2	315	35	5	515	600	
	Кантування						
	3	345	55	5	145	520	
	4	295	50	5	495	525	
	Кантування						
	5	285	40	10	485	505	
	6	245	40	10	445	515	
	Кантування						
	7	270	45	10	470	455	
	8	220	50	10	420	465	
	9	170	50	10	370	475	
	10	120	50	10	320	485	
Кантування							
2	11	180	51	10	434	330	
	12	115	60	10	369	340	
	13	55	60	10	309	350	
	14	55	0	0	309	350	
	Кантування						
1	15	25	71	16	279	325	
	16	25	0	0	279	325	
Кантування							
3	17	5	66	21	259	300	
	18	5	0	0	259	300	
4	19	5	29	9	271	268	

Таблиця 2.27 – Режим обтиснень злитка 4.36 т для прокатки кіл діаметром 265 мм на кліті 1050 з використанням передчистового плоского овалу калібру 2 (рекомендований варіант за результатами другої дослідної прокатки).

Номер калібру	Номер пропуску	Показання стрілок, мм	Обтиснення, $\Delta h$ , мм	Розширення $\Delta b$ , мм	Висота $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	
1					650	650	
	1	410	40	5	610	655	
	2	370	40	5	570	660	
	Кантування						
	3	415	45	5	615	575	
	4	370	45	5	570	580	
	Кантування						
	5	340	40	10	540	580	
	6	300	40	10	500	590	
	Кантування						
	7	345	45	10	545	510	
	8	295	50	10	495	520	
	Кантування						
	9	285	35	10	485	505	
10	245	40	10	445	515		
Кантування							
	11	270	45	10	470	455	
	12	220	50	10	420	465	
	13	170	50	10	370	475	
	14	120	50	10	320	485	
Кантування							
2	15	180	51	10	429	330	
	16	115	60	10	369	340	
	17	55	60	10	309	350	
Кантування							
3	18	55	0	0	309	350	
	Кантування						
	19	25	71	16	279	325	
	20	25	0	0	279	325	
	Кантування						
	21	5	66	21	259	300	
	22	5	0	0	259	300	
Кантування							
4	23	- 5	29	9	271	268	

## 2.6 Рекомендації по прокатці кіл діаметром 230, 265 мм з нержавіючої сталі

1. Звузити інтервал по хімічному складу для виплавки сталі з задовільною пластичністю (див. рисунок 1.3). Нагрівання злитків з нержавіючої сталі в колодязях повинне забезпечити максимально можливу рівномірність розподілу температури металу по перетину злитка. Обов'язкова кантовка слітків в колодязях на  $180^{\circ}$  за годину до їх видачі.
2. Різниця в температурі нагріву прокатуваної партії злитків повинна бути мінімальною.
3. Прокатку кіл діаметром 265 мм з нержавіючої сталі на кліті 1050 необхідно здійснювати за розробленою калібровкою валків в системі калібрів «гладка бочка – плоский овал – коло».
4. Висота калібру «гладка бочка» повинна складати 200 мм. На гладкій бочці допускається перевищення катаючого діаметра нижнього валка над верхнім – не більше 6 мм (нижній «тиск»).
5. Катаючі діаметри верхнього і нижнього валків в калібрах плоский «овал» і «коло» повинні бути однаковими.
6. Глибіна рівчака плоского овалу не повинна бути меншою 120 мм, а висота і ширина калібру 254 і 376 мм. Овальний калібр повинен бути обов'язково з плоским дном і радіусом закруглення кутів, рівним радіусу обрису круглого калібру.
7. Нижній валок встановлюється таким чином, щоб дно круглого калібру знаходилося на 30 мм вище рівня перших станинних роликів.
8. Нижній і верхній валки повинні бути встановлені без взаємного їх зміщення в осьовому напрямку. Контроль установки валків необхідно здійснювати за допомогою прохідного шаблону чистового круглого калібру з обов'язковим підсвічуванням зазору між валками і шаблоном. Контроль здійснюється періодично протягом всієї прокатки.

9. На задній стороні кліті лінійки маніпулятора повинні бути розсунуті на 15 мм.
10. Прокатку кіл із злитків масою 3.69 і 4.36 т необхідно здійснювати по режимам обтиснень наведеним в табл. 2.26 і 2.27, 2.20 (див. додаток 3). Обтиснення плоского овалу в круглому калібрі не повинно перевищувати 35 мм.
11. Для збільшення продуктивності стану необхідно вести прокатку з злитків 3,69 т.
12. З метою зменшення навантажень на кантувач-маніпулятор слід звести до мінімуму правку розкатів лінійками на передній стороні кліті. Для виправлення кривизни розкатів докатіваних в калібрі 2 необхідно використовувати прогладжуючі (калібрувальні) проходи.
13. Для зменшення навантажень на раму рольганга на задній стороні кліті операторам блюмінга слід не затискати розкат лінійками при прокатці в напрямку «на пост». Лінійки повинні бути трохи розсунуті відразу ж після направлення розкату в калібр і захоплення металу валками.
14. Прокатку вести зі зменшенням подачі води на валки на 60%.
15. Швидкість валків при прокатці кола повинна бути в межах 50 – 60 обертів в хвилину.

## 2.7 ВИСНОВОК

В результаті проведеної роботи розроблено технологію прокатки кіл діаметром 230 – 265 мм з нержавіючої сталі на блюмінгу ПрАТ «ДНПРОСПЕЦСТАЛЬ». Розроблено калібрування прокатних валків, режими обтиснень, визначені температурно – швидкісні, енергосилові і інші технологічні параметри прокатки. Розроблено комплекс технічних заходів щодо запобігання скручування розкатів навколо поздовжньої осі.

Проведено кілька дослідних прокаток кіл діаметром 230, 265 мм з нержавіючої сталі. Відпрацьовані на практиці технологічні схеми прокатки, режими обтиснень, швидкісні параметри прокатки.

Розроблено рекомендації щодо технології прокатки кіл великих розмірів на блюмінгу без застосування спеціальної привалкової арматури, що забезпечують отримання якісних профілів.

Проведено пробне прокатування нержавіючої 08X18H9T з підстужуванням поверхневого шару з метою нівелювання осьової пористості. Отримані результати показали позитивний ефект, що необхідно врахувати при оптимізації технології прокатування заготовок діаметром 230 – 265 мм.

Даний вид продукції може бути отриманий на блюмінгу ПрАТ «ДНПРОСПЕЦСТАЛЬ» в промислових масштабах.

У перспективі рекомендуємо розробити технологію виробництва прокату з злитків 6,7 т для отримання кращої – макроструктури готового продукту.

### 3. ОЧІКУВАНА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

В роботі проведено порівняльний економічний аналіз витрат при прокатуванні на стані 1050/950 та куванні на пресі зусиллям 6000 тн.

У таблиці 3,1 представлена калькуляція собівартості за чинною, а в таблицях 3.2 і 3.3 за пропонованою технологією (статі витрат відповідають даним ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»).

Таблиця 3.1 Калькуляція собівартості 1 тн сорти марки 08X18H10T преса «6000» ковальсько – пресового цеху.

№ п/п	Статті витрат	Сума, грн/тн
1	Задано в виробництво	20955
2	Обрізки / шматок	817,24
3	Обрізки / шматок	817,24
4	Стружка	1 17,35
5	Додаткова обріз	41,91
6	Разом відходів	976,50
7	Витрати по переділу	291,46
8	Витрати по виправленню	8,00
9	Витрати по обдирання	25,15
10	Витрати по зачистці	4,82
11	Витрати з перевірки	125,73
12	Разом витрати по переділу	455,16
	Разом собівартість	20433,66

Таблиця 3.2 – Калькуляція собівартості 1 тн сорти марки 08X18H10T стану "1050/950» прокатного цеху

№ п/п	Статті витрат	Сума, грн/тн
1	Статті витрат	Сума, грн / тн
2	Задано в виробництво	20955,00
3	Обрізки	1520,32
4	Стружка	70,00
5	Разом відходів	1590,32
6	Разом придатного	19364,68
7	Витрати по переділу	200,00
8	Витрати на зачистку	50,00
9	Витрати на травлення	20,00
10	Витрати на обдирання	25,00
	Разом собівартість	19659,68

Таблиця 3.3 – Витрати на прокатування на стані «1050/950»

	Статті витрат	Од. вим.	Кількість на 1 тн	Планова ціна, грн. / Од.	Вартість на 1 тн, грн. / Тн
1	Газ природній	м <sup>3</sup>	53,94	5033,22	271,48
2	Газ доменний	м <sup>3</sup>	335,46	719	241,19
	Разом				512,67
3	Електроенергія	кВт/год.	114,0	1706,7	194,56
4	Вода технічна	м <sup>3</sup>	13,0	1335,0	17,3
5	Повітря стисле	м <sup>3</sup>	58,0	520,8	30,21
6	Пар	Гкал	19,92	1175,35	23,42
	Разом				265,49
7	Змінне обладнання				50,0
8	У тому числі валки				3,29
9	Капітальний ремонт				15,0
10	Поточний ремонт				90,0
	Зміст основних				80,0
11	Допоміжні матеріали				40,0
12	Амортизація основних				130,0
13	Зарплата				250,00
14	Соц. страх				50,0
15	ОПР цеху				300,0
	Разом				1018,29
16	ОПР (заводські)				400,0
	Разом з ОПР				1418,29

У наведених калькуляціях видно, що обрізь у варіанті з куванням менше, тому що при куванні є можливість більш точно відрізати головну частину зливка (індивідуальний підхід до кожного зливка), а при прокатці розкат головної частини зливка вимагає обрізування, а також цього вимагає брак так званої осьової пористості. Великі витрати по переділу при куванні пояснюються багато кратним нагріванням металу, що призводить до збільшеного споживання газу в порівнянні з прокаткою, а також втратами металу в угар, окалину.

Ці особливості обумовлюють зниження собівартості на 3,6%, що становить 733,97 грн на кожен тону продукції.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні оптимізації процесів прокатування на крупносортному стані із застосуванням температурної анізотропії.

### **4.1 Аналіз потенційних небезпек**

а) Небезпеки, які пов'язані з порушенням роботодавцями вимог НПАОП 0.00-7.11-12 „Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників”, а саме належного облаштування робочих місць і виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень на підприємстві, в установі, організації безпечного використання працівниками засобів праці, забезпечення навчання працівників і залучення їх до вирішення питань охорони праці, належного облаштування шляхів евакуації і аварійних виходів.

б) Небезпеки, які пов'язані з використанням приладів, техніки, допоміжних засобів, що працюють від електричного струму, а саме можливість ураження електричним струмом внаслідок несправності електроспоживачів, відсутність засобів захисту або порушення цілісності ізоляції кабелів.

в) Можливість отримати механічних травм при підготовці зразків для проведення випробувань механічних властивостей з використанням металообробного обладнання.

г) Небезпеки які пов'язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методом спектрального аналізу.

д) Можливість отримання термічних опіків та травм під час термічної обробки зразків для отримання потрібних структур для випробувань прокатування з застосуванням температурної анізотропії.

е) Небезпеки, які пов'язані з невідповідним станом повітряного середовища, а саме ураження дихальних шляхів через загазованість приміщення.

є) Небезпеки, які пов'язані з визначенням механічних властивостей матеріалу.

ж) Небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів на персональному комп'ютері, а саме вплив електромагнітного випромінювання, видимого випромінювання(інфрачервоного), перенапруження зорової системи, вплив електростатичного поля, статичного і динамічного перенапруження у працюючого.

з) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 „Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення”, що призводить до зниження працездатності та псування зору.

і) Небезпеки, які притаманні умовам праці в надзвичайних ситуаціях.

#### **4.2 Заходи забезпечення безпеки**

а) Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 „Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників”, передбачено: роботодавцем повинні бути створені безпечні умови праці для працівника,. при цьому необхідно дотримуватись таких основних принципів запобігання небезпекам:

- виключення небезпек, якщо це є можливим і реальним та обмеження впливу небезпек, котрих уникнути не можливо;
- усунення небезпек у їх першоджерелах та обмеження їх впливу на організм людини, що працює в зону ураження.
- забезпечення колективних та індивідуальних засобів захисту.

Навчання і перевірка знань з питань охорони праці працівників, а також учнів, курсантів, слухачів та студентів навчальних закладів під час трудового і професійного навчання здійснюються відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511.

Під час облаштування робочих місць, роботодавець повинен опиратися на основні вимоги, що до облаштування: конструкція і міцність будівель та споруд, призначених для розміщення робочих зон, повинні відповідати їх призначенню, зокрема забезпечувати:

- справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв у робочих зонах, сприятливі умови для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників;
- можливість регулярного контролю і перевірок здатності функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або її усунення.
- регулярне очищення робочих зон та їх устаткування, особливо в закритих робочих приміщеннях, для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов;

Шляхи евакуації, аварійні виходи і підходи до них повинні бути вільними від будь-яких предметів, надавати можливість найкоротшого шляху на зовнішній простір або до безпечної зони і мати належні позначення (сигнальними кольорами, дороговказами, написами, знаками безпеки тощо) відповідно до Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25.11.2009 № 1262.

Шляхи евакуації і аварійні виходи мають забезпечуватися евакуаційним освітленням відповідно до вимог будівельних норм та правил улаштування електроустановок. Світильники евакуаційного освітлення повинні вмикатися з настанням сутінків у разі перебування в приміщеннях працівників. Працівникам забезпечується можливість швидко і в повній безпеці залишити всі робочі місця.

б) Для виключення можливості ураження електричним струмом передбачено:

- проходження інструктажу з охорони праці, а саме з електробезпеки у відповідності до ДСТУ Б В.2.5-82:2016 „Електробезпека в будівлях і

спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом”.

- все обладнання повинно бути заземлено. Щільність заземлення та контакти електричних з’єднань повинна щоденно перевірятись та ремонтуватись не рідше 2 разів на рік згідно НПАОП 40.1-1.01-97 „Правила безпечної експлуатації електроустановок”.
- повинні бути вжиті заходи захисту від прямого дотику шляхом ізоляції струмоведучих частин через застосування огорож і оболонок. Як правило, ці заходи можуть бути застосовані в усіх електроустановках і їхніх частинах незалежно від зовнішніх умов. У певних спеціальних електроустановках вимоги до зазначених заходів захисту можуть бути уточнені нормативними документами, які стосуються цих електроустановок.

Ізоляція струмоведучих частин електрообладнання повинна відповідати стандартам або технічним умовам на це електрообладнання, але не нижче класу IP44.

Автоматичне вимикання живлення призначене для недопущення патофізіологічного ефекту, який може виникнути в результаті наявності напруги дотику визначеної величини і тривалості дії на людину у разі пошкодження ізоляції в електроустановці.

в) Основними вимогами забезпечення безпеки при виготовленні зразків на ділянках стану є: відносно безпеки виконавців обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту: окуляри (ГОСТ 12.4.013-85), спецодяг (ГОСТ 12.4.049-78) та спецвзуття (ГОСТ 28507-99).

Пуск стану повинен здійснюватися після подачі двох відповідних звукових сигналів і одночасно світлової сигналізації, яку добре чути і видно на всіх робочих місцях стана та на його допоміжних агрегатах.

До подачі сигналу про пуск стана уповноважена особа зобов'язана перевірити справність стану, всіх його огорожувальних і запобіжних пристроїв. Розпорядження про пуск стана може бути дано тільки після

узгодження з відповідною посадовою особою та після виведення працівників з устаткування стану. Забороняється пуск зламаного стану, а також при наявності несправностей огорожувальних і запобіжних пристроїв. Дозвіл про пуск стану може дати тільки відповідальна посадова особа, котра управляє прокаткою.

Для попередження травмування працівників прокатних станів необхідно щомісячно проводити змащення підшипників і муфт шпинделів, суворо дотримуватися режиму нагрівання зливоків і заготовок відповідно до технологічних інструкцій. Не дозволяється подавати для прокатки нерівномірно прогріті заготовки та зливки.

Не дозволяється застосовувати вивідні проводки без бокових лінійок.

У процесі прокатки необхідно стежити за станом кінця заготовки, що подається в кліть. При незадовільному стані кінець заготовки повинен бути обрізаний. При неможливості обрізання бракованого кінця заготовка не повинна допускатися до прокату.

Замір профілю прокочується металу при роботі табору виробляти тільки дистанційно, за допомогою відповідних вимірювальних приладів.

Заходи захисту при використанні абразивного інструменту відповідно до НПАОП 28.0-1.30-12 „Правила охорони праці під час роботи з абразивним інструментом”: абразивні кола повинні мати штамп про випробування на експлуатаційну надійність.

г) Спектрóметр — спектральний прилад зі сканувальним пристроєм, який за допомогою фотоелектричних приймачів дає змогу кількісно оцінювати розподіл енергії у спектрі, що дає змогу оцінити хімічний склад. Термін застосовується до приладів, що працюють у широкому діапазоні хвиль: від гамма- до інфрачервоного випромінювання.

Для зменшення негативного впливу випромінювання на організм людини доцільно використовувати сучасні прилади з високою екрануючою здатністю.

д) Щоб виключити можливість отримання опіків під час термічної обробки зразків повинні виконуватись наступні умови: інтенсивність теплового опромінення на робочих місцях не повинна перевищувати нормативів за ГОСТ

12.1.005-88 „ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”.

Технологічні процеси термічної і хіміко-термічної обробки металів повинні передбачати: усунення безпосереднього контакту працівників з хімічними речовинами, матеріалами, відходами виробництва, які здійснюють на них шкідливий вплив; заміну операцій, при яких виникають небезпечні і шкідливі виробничі фактори, на операції, де зазначені фактори відсутні або мають меншу інтенсивність; використання автоматизованих методів визначення концентрації речовин 1 класу небезпеки в повітрі робочої зони; оптимальні режими роботи устаткування, що забезпечують безперервність технологічного процесу; раціональний ритм роботи людей, які виконують окремі технологічні операції; унеможливлення створення аварійних ситуацій; застосування комплексної механізації та автоматизації, дистанційного керування-контролю і регулювання параметрів технологічних процесів (температури, інфрачервоного випромінювання, тиску в робочому просторі печі, вмісту компонентів у газовому середовищі та ін.); використання блокувальних пристроїв (з метою унеможливлення виникнення аварійних ситуацій) і засобів світлової і звукової сигналізації про порушення технологічного процесу; герметизацію устаткування, з якого можливе виділення шкідливих речовин; своєчасне видалення і знешкодження відходів виробництва, які є джерелами небезпечних і шкідливих виробничих факторів; захист від надмірного опромінення робочих місць; дотримання встановленої періодичності очищення гартівних баків, ємностей і нагрівальних печей; механізацію ручної праці.

е) Обслуговування окалини з-під станів та іншого устаткування повинно бути механізованим (гідрозмівання, скребки тощо), проводитися пристроями, які захищають від відлітають окалини і знижують запиленість атмосфери.

Тунелі для змивання окалини під робочими клітями повинні мати ухил і перетин жолоба, забезпечує видалення всієї окалини, що потрапляє в жолоби.

Фундаменти робочих і шестеренних клітей, редукторів, стаціонарних упорів, рольгангів та іншого обладнання, де можливе скупчення окалини, повинні мати відповідні ухили і жолоби, що йдуть в сторону тунелю для змивання окалини під робочими клітями, і систему водопроводів для забезпечення постійного і періодичного змиву окалини і бруду.

Фундаменти будь-якого механізму не повинні мати ізольованих приямків.

Окалиновідламувальні кліті і пристрої для гідрозбивання повинні бути огорожені щитами від відлітають окалини і бризок води. Прохід під рольгангами і станами повинен бути надійно перекритий від падаючих шматків скрапу і окалини. У діючих цехах, де безпечний прохід через тунель не забезпечений, доступ туди під час прокатки забороняється. Вхід в тунель повинен бути закритий на замок, а двері заблоковані зі світловою сигналізацією, виведеною на найближчий пост управління. Тунелі для прибирання окалини повинні бути обладнані освітленням з напругою не більше 36 В. Відстійні басейни повинні бути огорожені з усіх боків міцними стінками висотою не менше 1,1 м. Біля входу в тунелів відстійних басейнів повинні бути влаштовані ґратчасті бар'єри. Обслуговування окалини з ям і відстійників повинно бути механізованим (грейфери, ковшові елеватори і т.п.).

У клітей безперервних станів можна використовувати похилі полиці з відводом окалини в бік від клітей в колодязі, в яких влаштовуються спеціальні коробки або відра, що прибираються краном. При вилученні окалини в коробах або відрах необхідно використовувати пристрої для зачеплення і перекидання їх без участі стропальників.

Колодязі для коробів або цебер під окалину повинні перекриватися металевими плитами або відгороджуватися.

Під час прибирання окалини відкриті отвори над колодязями необхідно огороджувати переносними бар'єрами.

Забороняється збирання окалини вручну з-під робочих клітей станів і рольгангів під час прокатки і ремонту.

Місця пиловиділення, що утворюється від окалини, необхідно обладнати спеціальними пристроями, які включають витяжний зонт, повітроводи, фільтр для очищення повітря від пилу.

є) Задля запобігання отримання пошкоджень і травм при статичних випробуваннях механічних властивостей матеріалу необхідно дотримуватись наступних вимог: Випробування зразків слід виконувати відповідно до встановленого порядку. Класти зразки на стелажі тільки за його призначенням. Не дозволяється торкатися до навантаженого обладнання та зразка з навантаженням для уникнення травмування в момент розриву зразка. Перед вмиканням машини переконатись, що випробувальна машина і пульт керування заземлені. Не дозволяються випробування на розтягування зразка, якщо зразок проковзує із вкладиша.

Під час випробування, не дозволяється випробувати зразки з деформованими губками для затиснення, що мають тріщини, випробувати зразки на стиск, кінці яких виходять за зовнішню окружність опор, опиратися на машину, підтримувати випробуваний зразок руками. Навантаження під час випробувань на згин не має перевищувати 30 т/с.

ж) Для зменшення негативного впливу на здоров'я працівників виробничих факторів, пов'язаних з роботою на комп'ютерах, необхідно раціонально організувати режим праці і регламентовані перерви для відпочинку.

За характером трудової діяльності виділено 3 професійні групи (таблиця 4.1), згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і Зміна N 1 до ДК-003-95): група А – робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б – робота з введення інформації; група В – творча робота в режимі діалогу із ПК.

Таблиця 4.1 – Види категорій трудової діяльності з ПК

Категорія роботи по тяжкості й напруженості	Рівень навантаження за робочу зміну при видах роботи на ПК		
	Група А, кількість знаків	Група Б, кількість знаків	Група В, час роботи, год.
I	до 20000	до 15000	до 2,0
II	до 40000	до 30000	до 4,0
III	до 60000	до 40000	до 6,0

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з монітором не повинна перевищувати 4 години.

Кут зору екрана повинен бути прямим і становити 90 градусів. Освітлення повинно бути змішаним (природним та штучним). У приміщенні кабінету і на робочому місці необхідно підтримувати чистоту і порядок, проводити систематичне провітрювання.

Для підвищення вологості повітря в приміщенні з персональним комп'ютером необхідно зволожувати повітря за допомогою кімнатних зволожувачів.

### **4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці**

з) Освітлення робочого місця нормується згідно з Державними будівельними нормами України: ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення.

Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає 300...500 лк. Перевіряємо освітленість робочого місця користувача ПК на відповідність розряду зорової роботи. За даними вимірювань рівень природної освітленості поверхні, де розташований ПК, складає 200 лк за освітленості тієї

же поверхні під відкритим небосхилом в 20000 лк, тобто КПО = 1%, що не відповідає нормативному КПО.

Для штучного освітлення у приміщенні використовуються люмінесцентні лампи. Розрахунок штучного освітлення проведемо для кімнати площею 20 м<sup>2</sup>, ширина якої складає 5м, довжина – 4м, висота – 3м.

Скористаємося методом використання світлового потоку. Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta}, \text{ де}$$

F – світловий потік, що розраховується, Лм;

E – нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S=20м<sup>2</sup>);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку Z =1,1);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку K = 1,5);

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп, і обчислюється в долях одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін і стелі, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стін (рст.) і стелі (рстелі)), значення коефіцієнтів дорівнюють рст = 40% і рстелі=60%.

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A+B)}, \text{ де}$$

$S$  – площа приміщення,  $S = 20\text{м}^2$ ;  $h$  – розрахункова висота підвісу,  $h = 2,9$  м;  $A$  – ширина приміщення,  $A = 4$  м;  $B$  – довжина приміщення,  $B = 5$  м.

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{20}{2,9(4+5)} = 0,77$$

Знаючи індекс приміщення  $I$ , за таблицею 4 [ДБН В.2.5-28-2006] знаходимо  $\eta = 0,22$ .

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку  $F$ :

$$F = \frac{300 * 1,5 * 20 * 1,1}{0,22} = 45000 \text{ Лм}$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ 40-1, світловий потік яких  $F = 4320$  Лм. Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}, \text{ де}$$

$N$  – кількість ламп, що визначається;  $F$  - світловий потік,  $F = 45000$  Лм;  
 $F_{\text{л}}$ - світловий потік лампи,  $F_{\text{л}} = 4320$  Лм

$$N = \frac{45000}{4320} = 11$$

В приміщенні використовуються світильники типу ОД. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 6 світильників із 12 працюючими лампами в них. Схема розташування світильників зображена на рисунку 4.1.

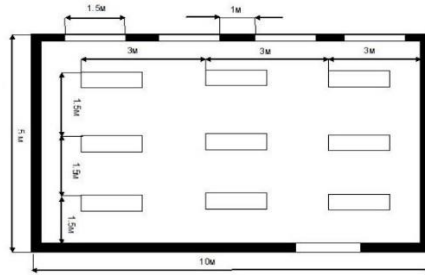


Рисунок 4.1 – Схема розташування світильників

и) Для попередження випадків отруєння газом щодоби відбираються проби повітря. Для забезпечення проведення аварійно – рятувальних робіт на ділянці нагрівальних колодязів встановлена шафа з запасом киснево-ізолюючих протигазів. Цей запас обмінюється 1 раз в 10 днів на новий;

Головну небезпеку становить окис вуглецю, що міститься в доменному газі. Щільність доменного газу майже не відрізняється від щільності повітря.

У разі отруєння СО потерпілого необхідно винести на свіже повітря і зробити штучне дихання, одночасно викликати лікаря.

У зв'язку з тим, що роботи проводяться під дією високих температур, на пости керування встановлені кондиціонери і подається питна вода, встановлені апарати з газованою водою. Посты управління станом і ножиць також обладнані кондиціонерами і подається питна вода.

і) Відносну вологість повітря приймають в межах 35 – 60% температурі 18 – 20 °С, рух повітря має становити 0,1 – 0,5 м/с. при виконанні фізичної роботи температура повинна бути приблизно від 14 до 17 °С. Загалом температура в цеху повинна бути не більше ніж на 5 °С вище температури зовнішнього повітря і не повинна перевищувати 28 °С.

У холодну пору року вологість не повинна перевищувати 75%, в зимовий час – 60%.

У зимовий період часу швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,2 – 0,3 м/с, в літній час допускається від 0,3 до 1 м/с.

Теплове випромінювання сприяє перегрівання організму і негативно впливає на зір працюючих. Через мірно сильне тепловипромінювання різко

погіршує умови праці і може викликати опіки і втрату працездатності. Сильне підвищення температури може призвести до теплового удару.

Для створення нормальних метеорологічних умов необхідно підвищувати тепловиділення, застосування аерації цеху, застосування потокової обдувочної вентиляції, застосування індивідуальних засобів захисту

#### **4.4 Заходи забезпечення безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій**

##### **4.4.1 Заходи з пожежної безпеки**

Пожежна безпека входить в комплекс заходів з охорони праці, і організаційна робота в цій сфері на об'єктах господарювання включає широкий спектр заходів, а саме: створення умов для безпечної праці, мінімізації ризику виникнення пожеж, своєчасне і повноцінне забезпечення технічними засобами для запобігання займанню та усунення самих пожеж та їх наслідків, контроль дотримання протипожежних вимог і норм законодавства, розробка і впровадження регламентів по гасінню пожеж, евакуації та порятунку з місць пожежі й задимлення людей і майна (матеріальних цінностей), внутрішнє і зовнішнє навчання співробітників.

Заходи пожежної безпеки в приміщеннях цеху мають наступний вигляд. Будь-які перепланування, зміни функціонального призначення приміщень здійснювати тільки за наявності проектної документації, яка пройшла попередню експертизу на відповідальність нормативним актам з питань пожежної безпеки з позитивним результатом в органах державного пожежного нагляду. В усіх, незалежно від призначення, приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок, а також електроустановок, що за вимогами технології працюють цілодобово). Шляхи евакуації, що не мають природного освітлення, у разі наявності людей повинні постійно освітлюватись електричним світлом.

Приміщення хімічної лабораторії за пожежною безпекою відповідно до НАПБ Б.03.002- 2007 належать до категорії "В", за НПАОП 40.1-1.32-1 (ПБЕ) – до зони класу П-І.

Легкозаймисті й горючі рідини (ЛЗР і ГР) належить зберігати в цеху чітко за асортиментом у металевих ящиках та шафах. Кожну речовину слід приймати в кількості, не більшій за змінну потребу. Не допускається спільне зберігання речовин, хімічна взаємодія яких може призвести до пожежі або вибуху. Порядок спільного зберігання речовин та матеріалів визначають згідно з вимогами додатка 3 до НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні.

У разі появи в приміщенні запаху газу слід: негайно припинити користування газовими пальниками та приладами; не запалювати вогню; не вмикати електроприладів; не користуватися електродзвінками; перевіряти, чи закриті всі крани в газових пальниках і газових приладах; негайно повідомити відповідального за газове господарство, провітрити приміщення.

Забороняється застосовувати вогонь для виявлення витікання газу з газопроводів і приладів, а також користуватися несправними газовими пальниками та приладами, газопроводами та арматурою.

Евакуаційні шляхи та виходи завжди утримувати вільними, нічим не зашарашеними. Завідувач лабораторії наприкінці робочого дня зобов'язаний особисто пересвідчитись у пожежобезпечності приміщень хімічної лабораторії, вимкнути всі струмоприймачі та зачинити вхідні двері на замок.

#### **4.4.2 Організація управління персоналом під час надзвичайної ситуації**

У разі в надзвичайних ситуацій та пожежі кожен працівник зобов'язаний: негайно повідомити про це службу порятунку за номером телефону – 101 (112). При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище; вжити (по можливості) заходів до евакуації людей та збереження матеріальних цінностей; вжити ( по можливості) заходів до гасіння (локалізації) пожежі; у разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні,

допоміжні служби (102- міліція, 103-медична, 104 - газорятувальна тощо); повідомити про неї керівника підрозділу.

Керівник підрозділу, або посадова особа об'єкта, що прибули на місце надзвичайної події зобов'язані: перевірити, чи викликані пожежно-рятувальні підрозділи (продублювати повідомлення), у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили та засоби. Видалити за межі небезпечної зони всіх працюючих, не пов'язаних з ліквідацією пожежі та припинити роботи в будівлі (якщо це допускається технологічним процесом виробництва), крім робіт пов'язаних із заходами по ліквідації пожежі. Здійснити в разі необхідності відключення електроенергії (за винятком систем протипожежного захисту), зупинення транспортуючих пристроїв, агрегатів, апаратів, перекриття газових, парових та водяних комунікацій, зупинення систем вентиляції в аварійному та суміжних з ним приміщеннях (за винятком пристроїв протидимового захисту) та виконувати інші заходи, що сприяють запобіганню розвитку пожежі та задимленості будівлі.

Перевірити включення оповіщення людей про пожежу, установок протидимного захисту, організувати зустріч пожежно-рятувальних підрозділів, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку пожежі та в установці на водні джерела. Одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію і захист матеріальних цінностей, забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь в гасінні пожежі.

По прибутті на пожежу пожежно-рятувальних підрозділів повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх на територію, в споруду та будівлю.

Після прибуття пожежно-рятувальних підрозділів адміністрація та технічний персонал підрозділу, будівлі чи споруди зобов'язані брати участь у консультуванні керівника гасіння про конструктивні і технологічні особливості об'єкта, де виникла пожежа, прилеглих будівель та пристроїв, організувати залучення до вжиття необхідних заходів пов'язаних із ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку, сил та засобів об'єкта.

## Література

1. В.А. Лейбензон, В.Н. Кренделев и др., Это наша с тобой биография. Научно – популярное издание, Изд. «Тандем – У», 2000 – 302 с.
2. Марченко И.В., Грязнов В.В., Маркушев Е.И. ОмСКГТУ Использование трубных заготовок в различных отраслях промышленности. Омский научный вестник № 2 (56) 2007 год.
3. В.А. Тюрин. Теория и процессековки слитков на прессах М.: Машиностроение, 1979 – 240 с.
4. Третьяков А.В., Зюзин В.И., Трофимов Г.К. Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением, – М.: Metallurgy, 970 – 223 с ил.
5. Дзугутов М.Я. Пластичность и деформируемость високолегированних сталей и сплавов, – М.: Metallurgy, 1990 – 302 с. ил.
6. И.Н. Голиков., Б.М. Литвинов. Завариваемость флокенов в легированной стали при прокатке. Сталь 1958, №1,
7. Ю.М. Чижиков. Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов, – Metallurgizdat, 1965 – 472с.
8. Р.П. Радченко. Влияние содержания  $\alpha$  – фазы в литом металле X18H9T на качество поверхности металла. Труды Кузнечного межобластного правления НТО ЧМ, вып. 1 1956.
9. Котешов М.П., Верховский Ю. Т., Семенова Т.В. Направление совершенствования технологических процессов в литейном производстве Украины. Научные труды вып. 1. Современные проблемы металлургии. Днепропетровск, 1999.
10. Н.С. Алферова. Влияние ниобия и титана на пластические свойства нержавеющей и жаропрочной стали при высоких температурах. Сталь. 1948 № 10.

11. Н.П. Жетвин. Технология производства тонколистовой нержавеющей стали на заводе «Серп и молот». Труды НТО ЧМ, вып, 31. ЦИИНЧМ, 1962.
12. В. Рафалович Структура и свойства нержавеющей стали Я1Т. Теория и практика металлургии. 1938. № 3.
13. Ю.М. Чижиков. Влияние обжатия при прокатке на пластичность металлов и сплавов.// Сталь, 1951.№ 2.
14. М.Я. Бровман Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 1988, №3, с.42.
15. М.А. Мухина, Е.М. Комельков, А.И. Комисаров и др. //Сталь. 1986. №1 с.55– 57.
16. Л.Д. Коссовский, В.А. Хорош, М.А. Мухина, Природа рванин стали X18H9T7/ Сталь. 1959. №2.
17. Г.К. Тютюшев, М.Р. Трахтенберг, В.И. Коконенко, О.В. Лебедев//Сталь. 1995. №3 с.35– 36.
18. Ю.М. Чижиков. Интенсификация процесса прокатки на блюмингах. Труды НТО ЧМ. т. X, Металлургиздат, 1956.
19. Ю.М. Чижиков. Обобразовании рванин на кромках полосы при прокатке. Труды Всесоюзного Научного инженерно – технического общества металлургов, том I, 1954.
20. М.И. Зуев, В.С.Култыгин, М.И. Виноград и др. Пластичность стали при высоких температурах. Металлургиздат, 1954.
21. Рудницкий Л.С., Котешов Н.П., Зильберг Ю.В., Кагарлицкий К.Р., Родман М.М. Производство и эксплуатация валков прокатных и трубных станов (обзор). М: Информметалл. ЦНИИИ и ТЭИ ЧМ
22. Технологическая инструкция по нагреву в рекуперативных колодцах и прокатке слитков на стане «1050/950». ОАО «Днепрспецсталь», Запорожье, 2004. – 65с.

23. Технология прокатного производства. В 2 – х книгах. Справочник: Беняковский М.А., Богоявленский К.Н., Виткин А.И. и др. Металлургия, 1991 г. – 861с.
24. Теория прокатки. Справочник. Целиков А.И., Томплетов А.Д., Зюзин В.И., Третьяков А.В., Никитин Г.С., «Металлургия» 1982. – 335с.
25. Королев А.А. Конструкция и расчет машин прокатных станов: Учебное пособие для вузов. – 2– е изд. прераб. и доп. – М.: «Металлургия» 1985. – 376с.