

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

( назва факультету )

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

( повна назва кафедри )

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ магістерський \_\_\_\_\_  
(другий (магістерський) рівень)

на тему Удосконалення режимів термомеханічного зміцнення  
високолегованих сталей

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1361-омт

Козлов Д.П.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник Явтушенко А.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Кругляк Д.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2022 року

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Бєлоконь

“ ” 12 2022 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Козлов Данило Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення режимів термомеханічного зміцнення високолегованих сталей

керівник роботи (проекту) Явтушенко Анна Володимирівна к.т.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 06 2022 року № 597-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 14.12.2022

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Удосконалення режимів термомеханічного зміцнення високолегованих сталей.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналітично-пошукова частина. Дослідницько-розрахункова частина. Визначення напруження течії металу за експериментальними даними., Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення, презентаційний матеріал 14 слайдах (на 14 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Явтушенко А.В., к.т.н., доцент</i>	
<i>Розділ 2</i>	<i>Явтушенко А.В., к.т.н., доцент</i>	
<i>Розділ 3</i>	<i>Явтушенко А.В., к.т.н., доцент</i>	
<i>Розділ 4</i>	<i>Явтушенко А.В., к.т.н., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 03.09.2022

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>01.10.- 02.10.2022</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>02-04.10.2022</i>	
3	<i>Розділ 1</i>	<i>15.10- 27.10.2022</i>	
4	<i>Розділ 2</i>	<i>02.11- 14.11.2022</i>	
4	<i>Розділ 3</i>	<i>15-28.11.2022</i>	
5	<i>Розділ 4</i>	<i>28-08.12.2022</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>08.12.2022</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Д.П. Козлов  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ А.В. Явтушенко  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної магістерської роботи:  
75 с., 23 рис., 21 табл., 66 літературних джерел.

ГАРТУВАННЯ, ГАРЯЧА ПРОКАТКА, ЗМІЦНЕННЯ, НАГРІВАННЯ,  
ТЕМПЕРАТУРА ПРОКАТКИ, НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ, ГРАНИЦЯ МІЦНОСТІ,  
ВІДНОСНЕ ПОДОВЖЕННЯ, ЗЕРНО МЕТАЛУ.

Об'єкт розробки – середньосортовий прокатний стан 550 ПрАТ  
«Дніпроспецсталь».

Мета роботи – розробка та удосконалення технології термохімічного зміцнення прокату нержавіючих сталей у потоці стана 550, що забезпечує показники якості в готовому прокаті на рівні загартованих зразків.

Гартування прокату діаметром 45-130 мм зі сталей 07X18H10 та 08X17H13M2T проводили в потоці стана 550 без спеціального нагрівання. Нагрівання і прокатку заготівель робили за діючою технологією з наступними особливостями: мінімальний час нагрівання у томильній зоні заготівель круглого перетину – 40 хв, квадратного перетину – 50 хв, мінімальний загальний час нагрівання відповідно 2 г 40 хв. і 3 г. 30 м. Температуру кінця прокатки, забезпечували в межах 1020–1100 °С.

Використання загартування нержавіючих сталей у потоці стана 550 дозволяє виключити з технологічної схеми гартування прокату сортаменту стана 550 з окремого нагрівання в КПЦ, що забезпечує економію на витратах по переділі більше 100 грн/т і поліпшує технологічність прокату при наступній ад'юстажній обробці.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА СТАН ПРОБЛЕМИ.....	8
1.1 Технологічний процес прокатки на стані 550.....	8
1.2 Опис основного устаткування стана 550.....	10
1.3 Нові методик для обчислювання енергосилових параметрів.....	15
1.4 Дослідження інструментальних сталей.....	22
1.5 Математичне планування – важливе впровадження сьогодні.....	29
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	61
4.1 Характеристика ступеня безпеки, рівня механізації і автоматизації.....	61
4.2 Розробка мер захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	63
4.3 Заходи щодо захисту навколишнього середовища.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	70

## ВСТУП

Інтенсивний розвиток науково-технічного прогресу в різних галузях народного господарства, насамперед, указує на необхідність удосконалювання існуючих і впровадження більше прогресивних способів виробництва, підвищення якості металу, вимагає значного збільшення якісної прокатної продукції.

Підвищення надійності роботи встаткування, удосконалювання технології виробництва, застосування нових способів обробки, широке впровадження засобів механізації й автоматизації, а також великі теоретичні й експериментальні дослідження дозволили в останні роки сполучити окремі технологічні операції в нескінченний процес прокатки. У виробництво впроваджуються стани безперервної прокатки й сполучені лінії (травлення - прокатка, відпал - дресирування - обробка й ін.). Однією з основних умов здійснення нескінченного процесу є забезпечення надійного зварювання кінців смуг, що прокочують.

Вимоги споживачів прокатної продукції до її якості, що постійно підвищуються, вимагають глибокого вивчення впливу структури й властивостей гарячекатаного підкату, умов холодної прокатки, термообробки й дресирування на кінцеву структуру, якість поверхні й точність геометричних розмірів штаб.

Разом зі збільшенням випуску прокату, значно розширюється сортамент по розмірах і по марках сплавів.

Для ретельного дослідження даної теми необхідно провести огляд опублікованих раніше робіт, безпосередньо пов'язаних з розробкою моєї теми. Для цього вивчений ряд джерел, серед яких представлені наступні: «Праці четвертого конгресу прокатників», «Виробництво прокату», «Вісті вищих навчальних закладів. Чорна металургія», «Бюлетень науково-технічної інформації. Чорна металургія», «Металопостачання та металосбут»,

«Чорні метали», «Сталь» за останні десять років. Завдяки чому представлені статті, згідно яким можна судити про актуальність обраної теми.

За останні роки була виконана велика кількість експериментальних і теоретичних досліджень, які значно розширили колишні подання про процес деформації металу при прокатці.

Характерним для сучасної теорії прокатки є широке використання положень механіки деформованих тіл, залучення математичного апарата й нових, більше точних методів експериментального дослідження.

Ці досягнення в теорії прокатки є науковою основою подальшого розвитку прокатного виробництва, його вдосконалювання й інтенсифікації, створення нових технологічних процесів і високопродуктивних сучасних прокатних станів.

У даній роботі узагальнені деякі результати ряду досліджень по теорії прокатки. При цьому не ставилася мета широкого висвітлення різних досліджень, хоча деякі з них становлять великий інтерес, а використані головним чином оригінальні роботи авторів. Основна увага приділена сучасній теорії прокатки переважно сортових профілів.

# 1 АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМИ

## 1.1 Технологічний процес прокатки на стані 550

На стані виконується прокатка високоякісних марок сталей у сортаменті:

- круглих профілів діаметром від 45 до 125мм;
- квадратних профілів зі стороною квадрата від 45 до 100мм;
- спеціальних профілів - гальмова шина.

Стан забезпечується холодними заготівлями зі складу. Склад заготівель обслуговується електромостовим краном вантажопідйомністю 15т, за допомогою якого заготівлі магнітом укладаються на завантажувальний стіл, обладнаний коштовними шлеперами для передачі заготівель на грубий рольганг.

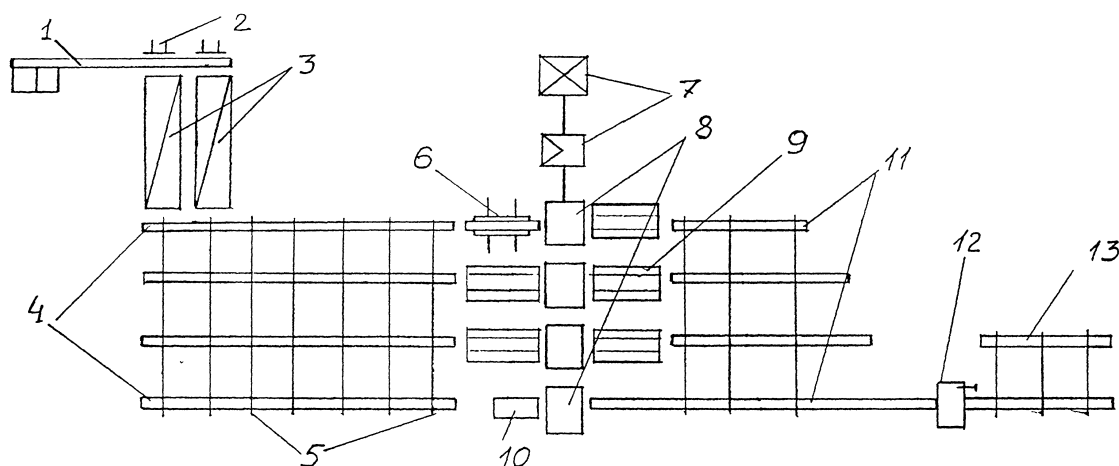
Грубий рольганг транспортує заготівлі під упор штовхача, що проштовхує їх у методичну піч. Після нагрівання заготівля виштовхується на рольганг, що транспортує її до першої кліті стана. Прокатка на кінцевий профіль виробляється відповідно до відповідної схеми прокатки. Від однієї кліті до іншої проштовхувати раскат, що, передається накатними шлеперами. При виході з 4 чистові кліті розкати по рольгангу, що відводить, надходять для різання на мірні довжини до дискових пилок. Порізані штанги шлеперами скидаються в кишені, а потім убираються відтіля мостовим краном у ями вповільненого охолодження або склад готової продукції, рольгангу надходять для різання на мірні довжини до дискових пилок. Порізані штанги шлеперами скидаються в кишені, а потім убираються відтіля мостовим краном у ями вповільненого охолодження або склад готової продукції. На рис 1.1 наведена схема розташування основного встаткування стана 550.



Стан 550 складається із чотирьох клітей, розташованих в одну лінію. Перша кліть обтискна, друга і третя - чорнова, четверта кліть - чистова. Обтискна кліть із передньої сторони обладнана маніпулятором - кантувач.

Маніпулятор – кантувач заготівель на підйомно–хитному столі N2 забезпечує механізоване кантування квадратної або ромбічної заготівлі на кут  $40^\circ$  або  $140^\circ$  залежно від схеми прокатки, а також її втриманні фіксованим розташуванням вони при завданні в калібр робочих валків. Кантуюча шайба перед кліттю 4, забезпечує автоматичне кантування на  $90^\circ$  і утримання з фіксацією осі предчистового розкату при його завданні в калібри чистової кліті стана. Довжина рольганга перед кліттю IV стає 35м для виключення виправлення розкату при переміщенні шлеперами.

Шестерна кліть – зворотного типу шеврасними валками. Крутний момент двигуна сприймається середнім шестерним валком.



1- грубий рольганг, 2- упор штовхача, 3- методичні печі, 4- рольганги, що подають, 5- накатні шлепера, 6- маніпуляторна лінійка з кантувачем, 7- головний привод стана, 8- робоча лінія клітей, 9- підйомно-хитний стіл, 10- втулка, що кантує, 11- рольганги, що відводять, 12- дисківі пилки, 13- накопичувальна кишеня.

Рисунок 1.1 - Схема розташування основного технологічного встаткування стана 550

На розглянутому полі з передньої сторони стана є чотирьох і шестиниточні шлепера. Передача розкату з I кліти на II здійснюється за допомогою чотирьох ниткових шлеперів. Крок між нитками 3200 і 1600мм.

I, II і III кліти із задньої сторони обладнані підйомно-хитними столами. На столі за I кліттю змонтовані дві маніпуляторні лінійки з незалежним приводом.

На прокатку призначаються заготівлі, піддані обробці на одностажі й прийняті ОТК. Посадка заготівель у нагрівальні печі виробляється наявності здавальних накладних і атестації ОТК, відповідно до графіка - убранням. Перед посадкою в піч заготівлі викладають на посадковий шлепер затаврованими торцями убік нагрівальних печей. Контроль ОТК перевіряє маркування заготівель, щоб уникнути змішування марки, заготівлі перевіряють на іскру.

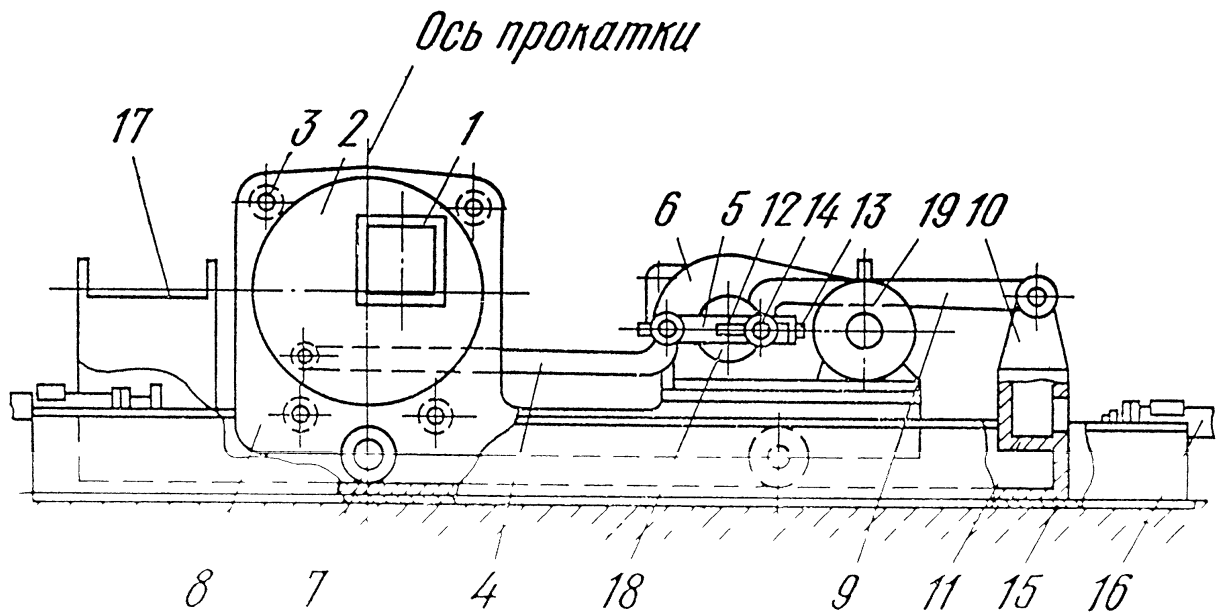
## **1.2 Опис основного устаткування стана 550**

На заготовочних і сортових станах для кантування заготівлі або профільної смуги на ходу, під час руху її від попередньої кліти і наступної, застосовують кантувач типу так званої кантуючої втулки, установлюваної між роликками рольганга.

На рис. 1.2 показана схема універсальної втулки, що кантує. Кантувач дозволяє здійснити кантування будь-якого профілю на будь-який кут у межах до 90 зі зсувом або без зсуву кантуємої смуги по довжині бочки роликів рольганга.

Лівий нижній кут змінної втулки 1 сполучений із центром обертання шайби, що кантує, 2 опирається на чотири ролики 3. При повороті шайби шатуном 4, з'єднаним із кривошипом 5 на валку редуктора 6, відбувається кантування смуги зі зсувом її вліво від осі прокатки. Якщо зсув не потрібно, то одночасно з кантуванням її відбувається переміщення вправо на котках 7 всього візка 8 кантувача. Це переміщення здійснюється другим шатуном 9, один кінець якого шарнірно закріплений на стійці 10 внутрішньої рами 11, а інший кінець шарнірно з'єднаний із другим кривошипом 12. Величина переміщення всього візка вправо регулюється зміною плеча кривошипа 12 гвинтом 13, з'єднаним із

шарніром 14. Для прийому й кантування смуги, що виходить із того або іншого калібру валків, внутрішня рама 11 може переміщатися по напрямній усередині нерухокої зовнішньої рами 15 за допомогою гідроциліндрів 16. Якщо кантування не потрібна, то за допомогою цих же гідроциліндрів кантувача приділяється вправо й на місце втулки, що кантує, установлюється напрямна ринва 17, розташований на кінці внутрішньої рами 11. Кут повороту кривошипа 5 фіксується командоапаратом 18, що впливає на електродвигун 19.

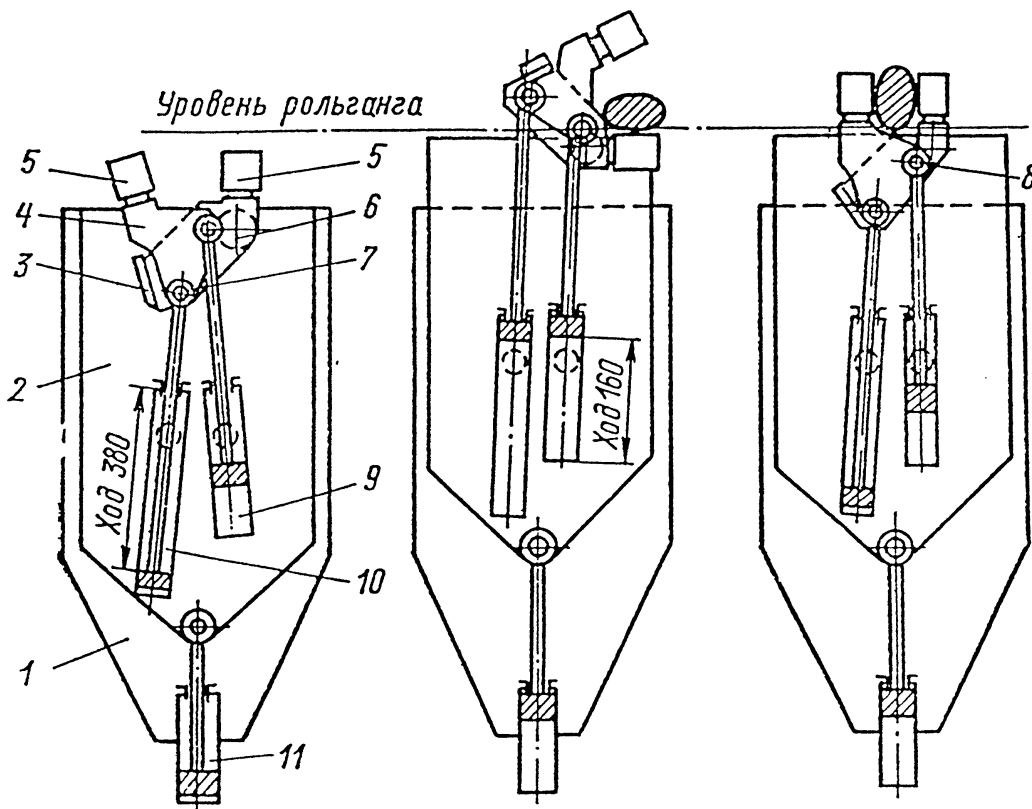


1-змінна втулка, 2- шайба, що кантує, 3- опорні ролики, 4- шатун, 5- кривошип, 6- редуктор, 7- котки, що переміщують, 8- візок, 9- шатун, 10- стійка, 11- внутрішня рама, 12- кривошип, 13- гвинт, 14- шарнір, 15- нерухома зовнішня рама, 16- гідроциліндр, 17- напрямна ринва, 18- командоапарат, 19- електродвигун.

Рисунок 1.2 - Універсальна втулка, що кантує

Маніпулятор вильчатого типу складається з корпуса каретки 1, повзуна 2, двох важелів 3, розташованих у вигляді вилки й холості ролики, що мають на своїх верхніх кінцях, 4. Важелі 3 шарнірно з'єднані з повзуном 2 і важелем 5, останні вільно встановлені на осі 6, закріпленому на корпусі 1. Повзун 2 приводиться від гідравлічного циліндра 7. Верхня порожнина циліндра постійно перебуває під тиском рідини від магістралі, тому у вихідному

положенні маніпулятор завжди перебуває внизу. Для захвата смуги до магістралі підключається нижня частина циліндра. Тому що площа поршня 8 більше площі кільцевого перетину між циліндром і штоком, то поршень буде підніматися й переміщатися нагору повзун 2 і важелі 3, при цьому ролики 4 будуть зближатися й затискати смугу. Затискач смуги може здійснюватися на ходу, тобто при виході переднього кінця смуги з валків, при цьому поверхня смуги не випробовує тертя об ролики 4, тому що вони обертаються на підшипниках ковзання. Після виходу всієї смуги з валків моніпулятоа візок переміщається рейкою уздовж рольганга й зупиняється проти відповідного калібру валків.



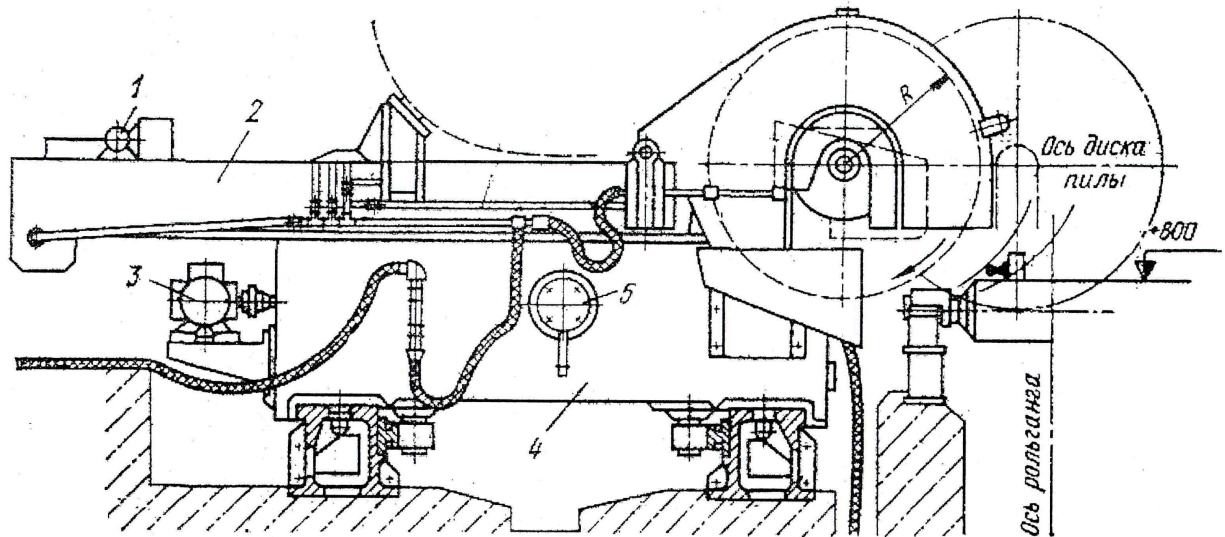
1-корпус, 2- повзун, 3, 4- важелі, 5- холості ролики, 6- цапфа, 7- шарнір, 8- шарнір, 9,10- плунжера циліндрів, 11- гідравлічний циліндр.

Рисунок 1.3 - Гідравлічний кантувач на підйомно-хитному столі

Кантувач кліщового типу рис. 1.3 із затискними роликами складається з корпуса 1, повзуна 2, двох важелів 3 і 4, розташованих у вигляді вилки. На

верхніх кінцях їх перебувають холості ролики 5. Важіль 3 вільно встановлений у боковинах повзуна 2 на цапфах 6 і за допомогою шарніра 7 з'єднаний з важелем 4. Останній своїми шарнірами 7 і 8 з'єднаний зі штоками гідравлічних циліндрів 9 і 10. Повзун 2 переміщається нагору вниз плунжером гідравлічного циліндра 11. Вихідним є нижнє положення повзуна. При з'єднанні з магістраллю нижніх порожнин всіх трьох циліндрів повзун піднімається й кантуючи важелі повертаються. Затискач смуги роликами здійснюється ходом униз плунжера правого циліндра. При русі вниз плунжерів циліндрів 9 і 10 відбувається кантування смуги.

На рис. 1.4 даний загальний вид салазкової дискової пилки, призначеної для гарячого різання на мірні довжини різних профілів.



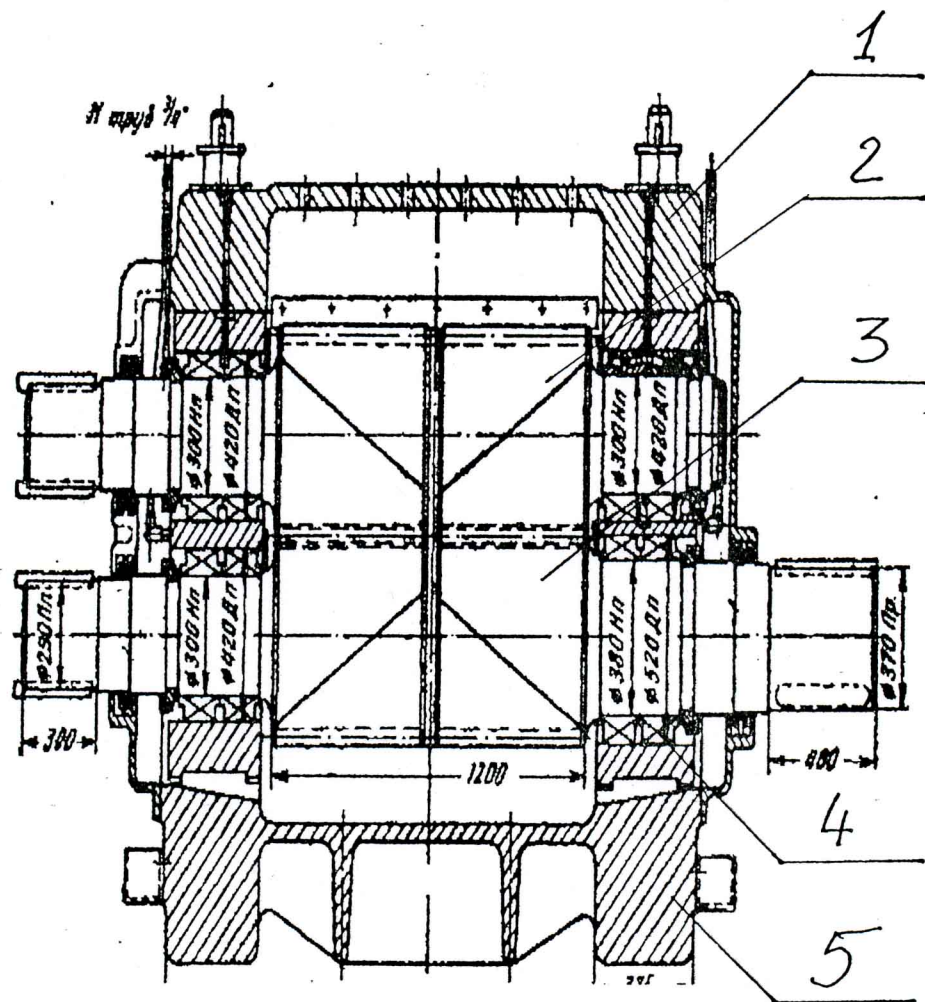
1-насоси, 2- сталевая рама, 3- электродвигун, 4- станина, 5- электродвигун.

Рисунок 1.4 - Дисковая салазковая пила.

Диск жорстко закріплений на кінці двухопорного вала, що приводить у рух електродвигуном змінного струму потужністю 185 квт. Діаметр диска 2000-1800мм, максимальна окружна швидкість 100 м/с. Для забезпечення безпечної роботи диск зверху закритий кожухом, при роботі зуби диска інтенсивно прохолоджуються водою. Диск разом із приводом установлений на твердій сталевій литий рамі 2, переміщуваної по напрямних у станині 4 за допомогою

зубчастої передачі від електродвигуна 5 потужністю 14-28 кВт, через циліндроконический редуктор із загальним передаточним числом, швидкість пересування полозка 135270 мм/с. Регулювання швидкості подачі при різанні здійснюється автоматично залежно від навантаження на диск при різанні. Маса полозка сприймана котками діаметром 350 мм не передається на рейкове зачеплення.

Пила встановлена на двох напрямних балках і може пересуватися по них за допомогою рейкового привода від електродвигуна 3 змінні струми потужністю 5 кВт, швидкість пересування 34 мм/с. На полозках установлені насоси 1 для подачі рідкого й густого мастила у вузли тертя.



1-кришка, 2- верхній шестерний валок, 3- нижній валок, 4- підшипник,  
5 – станина

Рисунок 1.5 - Шестерна кліть для привода валків сортового стану

Шестерні кліті роблять зі знімними кришками. Вони складаються з наступних основних елементів: станини, кришки, шестірень і подушок з підшипниками. Станини й кришки відливають із високоміцного або модифікованого чавуну, шестірні виготовляють із кованої легованої сталі марок 40ХН і зуби піддають поверхневому загартуванню, підшипники - роликові конічні або бабітові. До підшипників і в зубчасте зачеплення безупинно подається рідке мастило від центральної циркуляційної мастильної станції, розташовуваної звичайно в підвалі цеху поблизу робочої й шестерної клітей. Для шестірень і підшипників повинне бути передбачене гарне ущільнення, що не допускає витік масла, що робить руйнуючу дію на фундамент.

На рис. 1.5 представлена шестеренна кліть для привода робочих валків сортового стана 550. Підшипники й зуби змазуються рідким маслом П-28. Станина й кришка відлиті із сірого чавуну марки СЧ32-52, подушки литі зі сталі марки 35ЛШ. Шестірні з легованої сталі марки 60Х2МФ із метою забезпечення полегшення нарізки, шевронні зуби зроблений з доріжкою в середині. Для подачі масла на верхню шестірню в кришці передбачені отвори для труб. Масло самопливом віддаляється через отвори внизу корпусу кліті.

### **1.3 Нові методики для обчислювання енергосилових параметрів**

При гарячій прокатці для отримання необхідних сучасних властивостей продукції неминуче зростають загальні й приватні обтиснення, що викликає збільшення зусилля прокатки в робочих клітях і завантаження по потужності їхніх головних приводів. Все це вимагає оптимізації технологічних режимів по енергосилових параметрах. Традиційні методики енергосилового розрахунку процесу гарячої прокатки створювали в середині ХХ в.

Наразі розроблена методика розрахунку зусиль гарячої прокатки, заснована на пружно-пластичній моделі зони деформації, використаної раніше при енергосиловому розрахунку процесу холодної прокатки, зі

змінами, що враховують специфіку гарячої прокатки, насамперед відносно опору деформації й коефіцієнта тертя. Основа метода полягає в наступному:

Умовно зону деформації розбивають на три основних ділянки:

- 1) пружного стиску смуги;
- 2) пластичної деформації, що складає із зони відставання і зони випередження;
- 3) пружного відновлення частини товщини смуги на виході з ділянки деформації.

Відповідно будується схематизований графік зміни опору металу деформації. Адекватно до цього графіка, на пружних ділянках опір деформації змінюється лінійно (за законом Гука), на пластичному – приймається постійним, оскільки при гарячій прокатці поряд із процесами зміцнення відбуваються процеси рекристалізації. Після детальних досліджень для визначення значення  $\sigma_{ф. пл}$  була прийнята формула Л. В. Андреюка:

Визначення опору деформації на основі побудованого графіка є істотно важливою відмінністю методики, що викладає в статті, від традиційних Целікова А. И. і Коновалова Ю.В., коли величина  $\sigma_{ф. пл}$  приймається постійної по всій довжині зони деформації.

Викладену методику розрахунку зусиль прокатки реалізують за допомогою ітераційного алгоритму.

Що стосується потужності прокатки, то аналіз показав придатність для цього методики, заснованої на формулі Фінка.

Перевірка нової методики з використанням даних про конструктивні й технологічні параметри БШПС 1700 листопрокатного цеху №1 ВАТ «Північсталь» показала, що вона дає погрішність розрахунку зусилля прокатки до 8 %, тоді як розрахунок по традиційних методиках дає погрішність до 61 – 82,7%. При підстановки у формулу Фінка значень, розрахованих за новою методикою, погрішність розрахунку потужності двигунів не перевищує 16 %.



Проведен аналіз порівняння результатів розрахунку енергосилових параметрів гарячої прокатки по традиційній і новій методиках.

Досить висока точність розглянутої методики дозволяє порівнювати геометричні й силові параметри зони деформації при гарячій прокатці та холодній.

Установлено, що доля пружних ділянок від загальної довжини зони деформації при гарячій прокатці становить 32 %, а 98,9 - 99,7 % від сумарної довжини пружних ділянок займає ділянку пружного відновлення, тому його довжину необхідно обчислювати особливо ретельно, у той час як першою пружною ділянкою можна зневажити.

Цей результат пояснює придатність для розрахунку питомої роботи прокатки формули Фінка: оскільки довжини зон відставання й випередження однакові, роботи дотичних сил у цих зонах взаємно компенсуються, і сумарна робота залежить головним чином від величини нормальних контактних напруг.

Зібрана на 6-клетевом стані 1700 інформація про енергосилові параметри дозволила визначити фактичне завантаження робочих клітей по зусиллю й потужності при прокатці із метою визначення теоретично можливого виконання. Останні кліті мають резерв по зусиллю й потужності прокатки, що дозволяє не тільки розвантажити перші кліті, але й знизити товщину готового прокату.

Цей результат був експериментально підтверджений, початі роботи із промислового освоєння гарячої прокатки смуг товщиною 0,68 - 0,72 мм.

У такий спосіб розроблена й випробувана нова достовірна методика енергосилового розрахунку гарячої прокатки широких смуг товщиною 0,8 - 1,5 мм на безперервному стані, заснована на запропонованій пружньопластичній моделі зони деформації, що дозволила проаналізувати завантаження робочих клітей, оптимізувати технологічні параметри й визначити мінімально можливу товщину гарячекатаних смуг [11].

Деформаційне поведіння сплавів у широкому температурно-швидкісному діапазоні, характерних для технологічних процесів і встаткування, використовуваних при виробництві виробів є метою дослідження багатьох.

Для дослідження залежності опору деформації й пластичності від ступеня деформації в температурно-швидкісних умовах, характерних для основних процесів обробки тиском, існує метод пластометричних випробувань на крутіння циліндричних зразків суцільного перетину. Цей метод дозволяє визначити поточне значення опору деформації в умовах сталості швидкості деформації й температури випробувань.

Величини граничної пластичності ( $\Lambda_p$ ) сплаву визначалися по величині максимальної сзувовій деформації при руйнуванні зразка.

Призведено діапазони швидкостей деформації ( $\dot{\epsilon}$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) і області температур ( $T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) обробки тиском сплавів при виробництві виробів з них:

$T = 750-950$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{\epsilon} = 0,1 - 1,0$   $\text{с}^{-1}$  при радіально-сзувовій прокатці злитків;

$T = 650-950$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{\epsilon} = 0,1 - 1,0$   $\text{с}^{-1}$  при куванні на кувальному пресі;

$T = 580-950$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{\epsilon} = 3,0 - 10,0$   $\text{с}^{-1}$  при куванні на молоті;

$T = 650-750$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{\epsilon} = 0,1 - 3,0$   $\text{с}^{-1}$  при видавлюванні;

$T = 20$   $^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{\epsilon} = 0,1 - 1,0$   $\text{с}^{-1}$  при холодній прокатці;

Температурно-швидкісні умови випробувань, представлені у відповідних таблицях, обрані на підставі реально використовуваних у технологічних процесах обробки тиском окремих сплавів.

Пластометричні дослідження різних сплавів проводили на автоматизованій пластометричній установці методом випробувань на крутіння при  $20$   $^{\circ}\text{C}$  и при підвищених температурах у швидкісному діапазоні  $\dot{\epsilon} = 0,1 - 10$   $\text{с}^{-1}$ .

Далі будуються криві плину сплавів, отримані в умовах холодної деформації при різних швидкостях. Характерно інтенсивне деформаційне

зміцнення, що описується класичними моделями дислокаційної взаємодії (моделі Тейлора, Зегера, Мотта й ін.).

Основою всіх цих моделей є залежність напруги плину (опору деформації) від величини щільності дислокацій, що, у свою чергу, визначається величиною ступеня деформації. Надалі розглядаються температурні інтервали поведження різних сплавів в умовах холодної деформації й високих швидкостей навантаження, що відрізняються рівнем енергосилових параметрів процесу пластичної деформації. З підвищенням температури випробувань криві плину сплавів усе більш помітно міняють свій характер, усе більш помітно починають проявлятися процеси динамічного знеміцнення.

При температурі 650 °С у діапазоні швидкостей деформації від 0,1 до 10,0 с<sup>-1</sup> Якщо сплав має високе швидкісне зміцнення й порівняно низький рівень значень граничної пластичності, отже, він володіє зниженою технологічної деформуемістю.

Вплив швидкості деформації на граничну пластичність проявляється однозначно — спостерігається помітне її зниження з ростом величини  $\dot{\epsilon}$ .

Деформаційне зміцнення зі збільшенням починає помітно знижуватися в діапазоні відповідних температур при одночасному істотному підвищенні пластичності, існує показник, що вказує і відображає значення характерні для даних процесів. Мета – знайдення температурного діапазону, що є найкращим для пластичної деформації сплаву, де інтенсивно проходить процес динамічної полігонізація, що стабілізує структурний стан даного сплаву.

Ще одна важлива ціль – це визначення деформуемості, особливо при знижених швидкостях, що дозволяє говорити про технологічність матеріалу при конкретних температурно-швидкісних умовах обробки. [12]

Контрольована прокатка забезпечує здрібнювання зерен і підвищення міцності, ударної в'язкості й опору розвитку тріщин за

рахунок застосування більше інтенсивних обтиснень на завершальній стадії прокатки.

Низьколегована сталь після такої деформації може мати більше високі границю текучості (на 100—150 МПа) і межа міцності (на 40—100 МПа) у порівнянні із властивостями після нормалізації. Таку сталь використовують для виробництва зварених конструкцій, наприклад, при будівництві нефте- і газопроводів. Часто ці сталі легують невеликою кількістю ніобію, ванадію, які сповільнюють рекристалізацію й ріст зерна після його здрібнювання при пластичній деформації. Молібден також підвищує міцність сталі, але така сталь значно дорожче. На товстолистових станах звичайно першу фазу деформації здійснюють при температурі вище 940—950<sup>0</sup>С, а другу стадію — при температурах 950—850<sup>0</sup>С у чорнової кліті, а потім — у другій, чистовій кліті стану деформацію аркушів (третю стадію) здійснюють при температурі менш 850<sup>0</sup>С.

На рольгангу між клітями метал спеціально подстуживають для забезпечення необхідного температурного діапазону. Думають, що зміна умов прокатки можна врахувати правильним вибором величини границі текучості (опору деформації), що залежить від ступеня, швидкості деформації й температури. Дійсно, при зменшенні температури листів до 780—850<sup>0</sup>С величина границі текучості досягає 300—400 МПа, а при температурах 650—780<sup>0</sup>С вона дорівнює 500—650 МПа, однак, крім цього є ще ряд особливостей енергосилових параметрів і умов навантаження прокатних станів, які не завжди можна врахувати при теоретичних розрахунках.

Експериментальне дослідження процесу контрольованої прокатки безперервно-безперервно-литих слябів зі сталей 10ХСНД, 17 М1СУ, 14М2АФ і 07М2ФБ було проведено за звичайною методикою на двохлаптовому товстолистовому стані кварто 3600 ВАТ "Азовсталь". Крутні моменти на шпинделях вимірювали розетками тензодатчиків, розташованих, як звичайно, під кутами 45<sup>0</sup> до осей валів.

Реєстрація на осцилографі шлейфами із власними частотами 1200 і 380 Гц забезпечувала досить точний вимір моментів на шпинделях, а, отже, і моменту прокатки.

Розглянемо основні особливості зміни енергосилових параметрів при контрольованій прокатці.

По-перше, відзначимо зміну навантажень у нестационарних стадіях прокатки.

Характерним є підвищення моменту в початковій стадії прокатки в 1,5-2,5 рази, а зусилля на 4-6 МН. Це пояснюється спільним впливом динаміки процесу й підстуживання кінців листа (починаючи з охолодження торцевих поверхонь слябів і їхніх кінцевих ділянок).

По-друге, спостерігаються значні коливання моменту прокатки.

По-третє, відбувається зміна моменту в дуже широких межах у непарних проходах. Що відбито на відповідних графіках і малюнках. Які перебувають у статті.

По-четверте, при настільки сильній зміні моментів прокатки зусилля змінюються в набагато меншому діапазоні й становлять 30-39 МН. У статті представленні графіки напруг.

Лінія приводу далека від виконання умови рівнонавантаженості: у валках напруги низькі, у той час, як у шарнірах вони дуже високі.

Резервів міцності встаткування фактично не має й збільшення навантажень створить небезпеку руйнування і поломок.

У головних лініях приводу найбільш навантаженими елементами є шарніри універсальних шпинделів і саме на підвищення їхньої міцності (особливо качани шарніра) повинні бути спрямовані зусилля конструкторів при створенні нового обладнання.

У чорновій кліті слабкою ланкою є також робочі валки.

Наведені експериментальні дані дозволяють зробити наступні висновки при дослідженні:

1. При виборі режимів обтиснень на станах, призначених для реалізації контрольованої прокатки, варто орієнтуватися на реальні навантаження, підтвержені експериментальними дослідженнями, і враховувати можливість їхніх коливань у широких межах.
2. Застосування контрольованої прокатки змушує зменшувати обтиснення й продуктивність в 1,1 - 1,9 разів. Збільшення кількості проходів приводить до додаткового зниження температури металу й витраті енергії.

Реалізація контрольованої прокатки вимагає створення більше міцних вузлів устаткування прокатних станів [10].

#### **1.4 Дослідження інструментальних сталей**

##### *Напрямки розвитку марочного сортаменту і технологій виробництва корозійностійких сталей*

У цей час близько 90% вироблених і споживаних марок становлять сталі двох класів: з них 70-75% це традиційні аустенітні сталі 300-й серії (здебільшого хромонікелеві типу 18-10, менше Cr-Ni-Mo типу 17-13-3) і 25-30% хромисті 400-й серії. Поставлена перед промисловістю завдання різкого збільшення споживання корозійностійких матеріалів може бути вирішена тільки шляхом застосування нових економнолегованих і дешевих сталей з більше високими споживчими властивостями.

У роботі [15] розроблені нові марки КС сталей пішли по двох напрямках [2-4]. Перше - здешевлення металу за рахунок використання замість сталей 300-й серії більше дешевих хромистих сталей 400-й серії, що мають більше високі споживчі властивості за рахунок низького змісту вуглецю й додаткового легування N, Nb, Mo, W, Mn, Si, Al, або малонікелевих хромомарганцевих аустенітних сталей 200-й серії. Нові марки не уступають, а деякі навіть вище, по корозійній стійкості й механічних властивостях стандартним сталям 300-й серії. Вони повинні стати в

найближче десятиліття самим затребуваним конструкційним матеріалом у харчовій і хімічній промисловості, будівництві, виробництві предметів побуту й т.д.

Інший напрямок розглянуто у роботі [21] розвитку ринку КС сталей припускає істотне поліпшення окремих властивостей за допомогою оптимального недорогого легування. Це високоміцні малонікелеві аустенітно-мартенситні сталі з 16-20% Cr, 2-6%Ni і сталі з високою корозійною стійкістю при 18-26%Cr, 2-4%Ni, АЛЕ з наднизьким вуглецем і додатково леговані Al, Si, Си, N.

У роботі [17] відмічається, що для успішного моделювання і імітації поведінки металу в деформаційних процесах необхідно знати, як мікроструктурні зміни під час теплових і механічних навантажень впливають на властивості матеріалу. Із цієї причини структурні зміни, деформації, що відбуваються в процесі, були експериментально досліджено й промодельовані за допомогою чисельних методів на прикладі поліпши сталі, що, 22Мпв5. Для визначення механічних властивостей були проведені випробування на розрив зразків з вищевказаної сталі. При цьому аналізувалися як характер зламу, так і характер зміни поверхні зразків поблизу зламу. Дослідження тепловиділення при деформації вироблялося за допомогою високотемпературного мікроскопа, що дає можливість досліджувати мікроструктуру сталей в аустенітній фазі.

Для дослідження мартенситної структури використався растровий тунельний мікроскоп, за допомогою якого були вивчені шліфи з метою встановити середні відстані між голками мартенситу і середню величину мартенситних пакетів. Експериментальні дослідження мікроструктури стали основами для чисельного моделювання мартенситного перетворення. Моделювання повинне описувати розвиток мікроструктури при тепловій і механічній навантаженню. У цій статті описаний тільки випадок охолодження. Мартенситне перетворення фаз імітувалося за допомогою моделі фазового поля

Матеріалом, що використовується, є інструментальні сталі.

Розвиток провідних галузей машинобудування, значне збільшення обсягу виробництва й споживання жароміцних і високоміцних сталей, автоматизація процесів обробки різанням і тиском з кожним роком висувають підвищені вимоги до стійкості ріжучі й штампуючого інструмента. Його стійкість поряд із цілим рядом факторів (конструкцією, умовами експлуатації, якістю виготовлення й т.д. ) багато в чому визначається рівнем основних властивостей інструментальних матеріалів.

В області інструментальних сталей першочерговим завданнями є раціональне використання сталей (залежно від виду оброблюваного матеріалу й умов роботи інструмента); освоєння нових прогресивних марок; підвищення якості інструментальних сталей; розробка нових марок сталей і методів зміцнення (хіміко-термічна обробка, наплавлення, напилювання й т.д. ).

Нижче коротко аналізуються основні тенденції в рішенні перерахованих вище питань, що намітилися в цей час в Україні і інших країнах.

Удосконалювання структури виробництва, безсумнівно, буде зростати в найближчі роки, однак її реалізація пов'язана з необхідністю оснащення металургійної й споживаючих галузей промисловості більш прогресивними термічним і ковальсько-пресовим устаткуванням, комплексними розкислювачів для більш якісного виготовлення інструмента зі сталей типу Р6М5, Р6М5К5.

Вітчизняними українським дослідниками в останні роки був запропонований, а металургійною промисловістю освоєний ряд марок сталей, що володіють підвищеною зносостійкістю, красностійкістю, гарними міцностними властивостями в стані високої (65-67 HRC) твердості.

Проведені порівняльні дослідження показали, що по якості (макроструктурі, карбідній неоднорідності) і експлуатаційним властивостям вищевказані сталі не уступають відповідним іноземним аналогам. Подібний висновок може бути зроби й на підставі результатів промислового



випробування деяких із цих сталей, що показали, що їхнє використання замість стандартних марок типу P9K5, P9K10 й ін. забезпечує підвищення стійкості інструмента в 2-5 разів.

Основною перешкодою для широкого впровадження нових сталей підвищеної продуктивності в металобробляючу промисловість є, на мій погляд, відсутність досить обґрунтованих рекомендацій і чіткої спеціалізації в використанні подібних матеріалів з урахуванням умов експлуатації конкретних типів інструмента й фізико-механічних властивостей оброблюваних сплавів. Істотною є також необхідність збільшення обсягу виробництва абразивів для якісного шліфування високованадієвих сталей.

Таким чином, проведений короткий аналіз показує, що в цей час металургійна промисловість може забезпечити в більшості випадків вимоги різних галузей у швидкорізальних сталях, марочний сортамент яких істотно не відрізняється від сортаменту інших країн (США, Японії, ФРГ).

Широке застосування прогресивних марок сталей нормальної (P6M5, 10P6M5) і підвищеної продуктивності (P12Ф4К5, P9M4K8Ф), можливе при рішенні ряду організаційних питань, буде сприяти підвищенню стійкості різального інструменту, зниженню відносної потреби в дорогих швидкорізальних сталях і ощадливо до витрат легуючих елементів.

Слід зазначити, що зазначені сталі не уступають по комплексу експлуатаційних властивостей найбільше широко використовуваним закордонним аналогам, а в ряді випадків перевершують їх.

Застосування перерахованих вище комплексологованих сталі в більшості випадків забезпечує, як показує виробничий досвід цілого ряду підприємств, задовільну стійкість штампового інструмента перевищуючу в 1,5-4,0 рази стійкість штампів зі стандартних сталей. Виключення становить пресування великих заготівель із жароміцних матеріалів і сталевих фасонних профілів, що характеризується особливо важкими умовами роботи інструмента й потребуючого використання штампів високої (700°C и більше) теплотривкості. Проблема створення таких матеріалів ще

вимагає свого рішення. Поряд із цим однією з головних завдань на найближчий час є вдосконалювання структури виробництва штампових сталей для гарячого деформування, що передбачає різке збільшення обсягу споживання (до 60-70%) найбільш прогресивних з відомих марок. Реалізація такої структури є більшим резервом підвищення стійкості штампового інструмента й збільшення ефективності ковальско-пресового виробництва, що практично не вимагає капітальних витрат.

Поряд зі збільшенням обсягу застосування високопродуктивних стандартних і нових марок інструментальних сталей і вдосконалюванням технології виготовлення інструмента істотним резервом збільшення його надійності (і працездатності), особливо інструмента більших розмірів, є підвищення якості (зниження карбідної неоднорідності, анізотропії властивостей по перетині) інструментальних сталей у стані поставки. Тому в останнє десятиліття в Україні і за рубежом був проведений цілий ряд робіт у цьому напрямку.

Дослідження зі зниження карбідної неоднорідності виконувалися в основному стосовно до швидкорізальних сталей. При цьому роботи велися у два напрямки: 1) вдосконалення існуючої технології (виплавка, гаряча пластична деформація й термічна обробка), виробництва сталей; 2) вишукування принципово нових технологічних рішень одержання заготовель і інструмента.

Показано, що застосування східчастого гомогенізуючого нагрівання злитків під ліжку й прокатку забезпечує зниження карбідної неоднорідності у швидкорізальних сталях на 1-2 бала й одночасно поліпшує пластичність металу для гарячої деформація.

Найближчим часом зазначена технологія знайде широке застосування в металургійній промисловості не тільки стосовно до швидкорізальних сталей, але й сталям іншого призначення.

Іншим перспективним способом істотного зниження (на 1,5-2,0 бала) карбідної неоднорідності є поперечне кування злитків (осаду уздовж осі) під

пресом. Однак зазначена технологія поки не може бути рекомендована для масового виробництва сталей через низький (~40%) виходу придатного металу підвищеної якості й відповідно до високій його вартості. Помітне підвищення виходу придатного при поперечному куванні може бути, мабуть, досягнуто застосуванням електрошлакового переплаву, що забезпечує більше дисперсну ледебуритну евтектику в центральній зоні злитка.

Стосовно до швидкорізальних сталей найбільший інтерес представляє ЕШП при виробництві трубних і біметалічних заготовель. Крім значного скорочення витрати швидкорізальних сталей (зниження втрат на стружку), основна перевага виробництва таких заготовель полягає в помітному поліпшенні мікроструктури (зниження карбідної строчічність, скупчень карбідів в окремих ділянках) завдяки збільшенню швидкостей кристалізації.

З нових перспективних технологічні процесів виробництва інструментальних, сталей необхідно вказати насамперед порошкову .металургію. У цьому напрямку вже досягнуті певні результати як в Україні, так і за рубежом.

До теперішнього часу розроблена технологія одержання порошків інструментальних сталей шляхом розпилення розплавів і їхнього пресування. Така технологія внаслідок дуже високих швидкостей кристалізації окремих часток (порошку) забезпечує практично рівномірне розташування карбідів в сталі та її більш тонку структуру за порівнянням із заготовками, що отримані шляхом прокатування чи литвом. [15]

Вплив технологічних факторів переділу на якісь сталі типу X12 є дослідженням, що проводилося в умовах роботи ОАО «Дніпроспецсталь».

Стаття розпочинається оцінкою проб при виробництві сорту сталей ледебуритного класу на карбідну неоднорідність, що відповідає ГОСТу 5950-73.

При поставці металу на експорт по всім технічним вимогам необхідна оцінка карбідної неоднорідності по шкалі фірми «Белер», у відповідному розділі металографічного аналізу карбідна неоднорідність оцінена саме за

цією шкалою.

При оцінці неоднорідності, що виконувалася у кувальному цеху по діючій технології, з'ясувалось, що тільки прутки сталі X12МФ перетином до  $\varnothing$  130 мм відповідають висуненим вимогам.

У зв'язку з цим на заводі «Дніпроспецсталь» були виконані наступні дослідження:

- вплив типорозмірів злитків на якість поверхні та макроструктуру поковок;

- вплив схем деформації і величини укову на якість макро- і мікроструктури поковок ледебуритних сталей.

У результаті проведення досліджень для інструментальних сталей ледебуритного класу диференцьовані розміри злитків в залежності від перетину необхідного профілю.

Встановлено, що ковка профілів ледебуритних сталей перетином до  $\varnothing$ 220 мм зі злитків великої маси є нерациональною, тому що у технологічній цепі задіяни декілька передільних цехів. Разом з тим, зменшення маси злитка приводить до недопрацьованості структури і для деякої групи профілів ( $\varnothing$ 150-200 мм) заважає забезпеченню вимогам, щодо карбідної неоднорідності.

За період освоєння виробництва сталі X12МФ зі злитка 1,9 т встановлено, що одним з основних факторів, що визначають ступінь карбідної неоднорідності у готовому сорті є уков.

Наділена увага сталі X12МФ, здійснення досліджень у виробництві засвідчує затребуваність сталі, необхідність у сьогоденні та майбутньому [14].

У сучасних процесах прокатування все частіше набуває значимості математичне планування.

## 1.5 Математичне планування - важливе впровадження сьогодні

Математичне моделювання процесу прокатки дає можливість одержувати цінну теоретичну інформацію про формозміну металу у валках, що дозволить істотно полегшити впровадження на стані нових технологій і скоротити витрати матеріалів і енергоносіїв на відпрацювання технологічного процесу.

Точне виконання умови нестисливості в більшості процесів обробки металів тиском є одним з основних вимог при побудові математичних моделей цих процесів. Варіаційні підходи до цієї проблеми, засновані на наближеному задоволенні умови нестисливості, що виступає в якості додаткових зв'язків із множником Лагранжа, що має зміст гідростатичного тиску, як правило, не задовольняють потреби практики.

У пропонованій статті шукане поле швидкостей плинущого металу описується в змішаних лагранжево-ейлерових координатах. Ейлерова координата направляєється уздовж осі прокатки, а дві лагранжеві координати визначають лінію струму. За допомогою умови нестисливості будь-яке поле швидкостей задається двома функціями, що визначають дві інші ейлерові координати в площині, перпендикулярній осі прокатки. До цих двох шуканим функціям приєднується шуканий гідростатичний тиск як функція тих же трьох ейлерово-лагранжевих координат.

Загальна конфігурація чверті зони деформації наведена також приводиться у статті. Насамперед розглядає математичну модель грузлих властивостей металу, що прокочує.

Реологічна модель металу. Метал, що прокочує, підкоряється рівнянням грузлого нестисливого середовища й характеризується відповідною залежністю, яка безпосередньо використовується для побудови математичної моделі.

Чисельний метод рішення поставної задачі використовує модифікацію метода кінцевих елементів – метод локальних функціоналів.

Подана методика реалізується у комп'ютерній системі аналізу процесу прокатки в гладких і каліброваних валках. Така модель дозволяє вивчати формозмінення заготовки при прокатці у витяжних, оздоблюваних і семеричних фасонних калібрах, дає можливість виявити причину появи деяких дефектів (схилі, не заповнення калібру) [13].

Усе вище зазначене беззаперечно засвідчує об наявності та актуальності даної теми роботи, бо за допомогою досліджень та постановки експериментів можна вивести теорія прокатки, як частину обробки металів тиском, на новий рівень розвитку, створити нові матеріали та винайдемо нову методику виробничих процесів.

## 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою виконання замовлень на прокат з нержавіючих сталей аустенітного класу сортаменту стана 550, що вимагають проведення гартування готового сорту, згідно ТР 62-01 гартування прокату діаметром 45-130 мм зі сталей 03-08X17H13M2(1), 08-12X18H10T, 03-08X18H10, 03X17H12M2, 03X18H9, 03X18H11 і ін. робили в потоці стана 550 без спеціального нагрівання.

Нагрівання і прокату заготівель робили за діючою технологією з наступними особливостями: мінімальний час нагрівання у томильній зоні 30 заготівель перетином кв140-147мм – 40 хв, перетином кв.180-185мм – 50м мінімальний загальний час нагрівання відповідно 2 г 40 хв. і 3 г. 30 м.

Температуру кінця прокатки, забезпечували в межах 1020–1100 °С. Її вимірювали наявної на стані стаціонарними апаратурами, а також за допомогою ручного пірометра «Промінь».

Після розкрою прутки піддавали прискореному охолодженню під вентиляторами, установленими по маршруті металу: на холодильнику з передатним шлепером, у прийомній кишеньці, на ділянці охолодження стана 550. Охолодження прокату під вентиляторами робили до потемніння.

Проби для здавальних випробувань відбирали від охолоджених прутків на ділянці великого сорту.

Перед здавальними випробуваннями зразки термічної обробки не піддавали. Випробування проводили відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 5949. Статистичний аналіз результатів механічних випробувань і металографічної оцінки розміру аустенітного зерна металу, загартованого в потоці стана 550 і з окремого нагрівання в КПЦ для сталі 07X18H10 наведений у додатку 1, для сталі 08X17H13M2T – у додатку 2. Для інших сталей зроблений такий же аналіз.

З отриманих статистичних даних слід зазначити, що при гартуванні металу в потоці стана 550 мають місце окремі випадки показника якості, за межі припустимих значень.

У більшості цих випадків для границі текучості і відносного подовження спостерігалися на початку освоєння нової технології.

З метою перевірки відтворюваності і надійності технології розраховували коефіцієнт відтворюваності  $C_{pk}$  (табл. 2.1).

Якщо, показник якості має нижню границю, то розрахунок коефіцієнта  $C_{pk}$  проводили по формулі:

$$C_{pk} = \frac{\bar{X} - НГ}{2\sigma}, \quad (2.1)$$

де середнє значення показника якості:

НГ – нижня границя припустимих значень показника якості;  
 $\sigma$  - стандартне середньоквадратичне відхилення.

Якщо показник якості має і нижню, і верхню припустимі границі, то обчислювали два значення  $C_{pk}$  один із яких по формулі (2.1), а іншої по формулі:

$$C_{pk} = \frac{ВГ - X}{2\sigma} \quad (2.2)$$

де - ВГ - верхня границя припустимих значень показника якості.

Потім із цих двох значень вибирали мінімальне, котре є коефіцієнтом відтворюваності процесу.

При цьому процес вважається стабільним, контрольованим і керованим, – якщо  $C_{pk} \geq 1$ . – У протилежному випадку ( $C_{pk} < 1$ ) процес нестабільний і неконтрольований.



На підставі розрахованих значень  $C_{рк}$  (див. табл. 2.1) можна зробити вивід, що технологія гартування прокату нержавіючих сталей у потоці стана 550 вважається стабільною і керованою для таких показників якості як границя текучості ( $\sigma_{02}$ ), межа міцності ( $\sigma_{в}$ ), відносне подовження і робота удару в поздовжньому напрямку, для яких  $C_{рк} \geq 1$  (див. табл. 2.1).

При цьому розроблений процес не забезпечує одержання стабільного значення границі текучості ( $\sigma_1$ ) по ТП 490, роботи удару в поперечному напрямку і розміру аустенітного зерна, для яких  $C_{рк} < 1$  (див. табл. 2.1).

Розкид значень  $\sigma_1$  і роботи удару виходить за нижні межі припустимих значень, а розкид розмірів зерна аустеніту не виходить за межу припустимого значення – 5 балів (див. додаток 1 і 2).

Одержання дрібнозернистої структури 8-10 балів у загартованих прутків нержавіючої сталі пояснюється низькою температурою кінця прокатки (нижче – 1000 °С), при якій не проходить повною мірою збірна рекристалізація в процесі післядеформаційного охолодження.

Низький рівень значень роботи ударів у поперечних зразках пояснюється наявністю в сталі грубих скупчень сульфідів, витягнутих уздовж лінії прокатки і розташованих випадковим образом по перетину профілю і довжині прутка.

Велике відхилення  $\sigma_1$  (141 МПа) від гранично припустимого значення (230 МПа), як і відхилення  $\sigma_{02}$  (123 МПа) від гранично припустимого значення (195 МПа) не можуть бути пояснені технологічними особливостями і очевидно, пов'язані з незадовільною підготовкою зразків для випробувань і погрішностями при випробуванні.

У період із травня 2001м по серпень 2002 р. на стані 550 проведено 3517, 26 т прокату нержавіючих сталей із гартуванням у потоці стана по ТР 62-01 замість гартування з окремого нагрівання в КПЦ. При цьому здано придатним 2781,05т, пішло в стружку 294,705т, в обріз 11,52т, у брак по скоринках 179,56т (5,97%), по рванинам і тріщинах 8,95т (0,64%), по

макроструктурі 61,66т (2,29%). Показники виробництва кожної марки сталі, наведені в табл. 2.2

Брак по механічних властивостях структури і стійкості до міжкристалічної корозії не було.

Плавки з випадками по механічних властивостях піддавали гартуванню в КПЦ і вони не потрапили в масив даних наведених у табл.2.2.

#### *Висновки й рекомендації*

1. Розроблено і освоєна технологія гартування прокату нержавіючих сталей у потоці стана 550, що забезпечує показники якості в готовому прокаті на рівні загартованих зразків.

2. Використання загартування нержавіючих сталей у потоці стана 550 дозволяє виключити з технологічної схеми гартування прокату сортаменту стана 550 з окремого нагрівання в КПЦ, що забезпечує економію на витратах по переділі більше 100 грн/т і поліпшує технологічність прокату при наступній ад'юстажній обробці.

3. Для підвищення значення коефіцієнта відтворюваності процесу ( $C_{pk}$ ) стосовно до розміру аустенітного зерна вжити заходів по стабілізації температури кінця прокатки нержавіючих сталей на стані 550.

4. Для підвищення стабільності результатів процесу загартування в потоці стана 550 установити додатково два вентилятори по шляху проходження розкату від стана до ділянки різання, а в літню пору використати спосіб водно-повітряного охолодження на шлеперах.

5. Внести зміни в діючі технологічні інструкції.

Таблиця 2.1 – Розрахунок коефіцієнта витворення процесу ( $C_{pk}$ )

Марка сталі	Показники якості	Середнє значення ( $\bar{X}$ )	Мінімальне припустиме значення (НГ) або припустимі межі зміни (ВГ-НГ)	Середньоквадратичне відхилення ( $\sigma$ )	Коефіцієнт $C_{pk}$
08X17H13M2T	Границя текучості ( $\sigma_{02}$ ) по Г. 5949	266,13МПа	196 МПа	27,27 МПа	1,29
	Границя текучості ( $\sigma_{02}$ ) по ТП 490	266,13МПа	210 МПа	27,27 МПа	1,03
	Границя текучості по Г. 5949	564,52МПа	490 МПа	19,61 МПа	1,90
	Границя текучості по ТП 490	564,52МПа	500-730 МПа	19,61 МПа	1,65
	Границя текучості ( $\sigma_1$ ) по ТП 490	293,20МПа	245 МПа	32,64 МПа	0,74
	Відносне подовження по Г. 5949	58,32%	40%	3,46%	2,65
	Відносне подовження по ТП 490	58,32%	35%	3,46%	3,37
	Робота удару в поздовжньому напрямку по ТП 490	193,47 Дж	85 Дж	40,71 Дж	1,33
	Робота удару в поздовжньому напрямку по ТП 490	64,96 Дж	55 Дж	11,19 Дж	0,45
Розмір аустеніту зерна	6,19 балл	5 балл	0,82	0,73	
07X18H10	Границя текучості ( $\sigma_{02}$ ) по ТП 490	249,97 МПа	195 МПа	23,90 МПа	1,15
	Границя текучості ( $\sigma_1$ ) по ТП 490	273,99 МПа	230 МПа	23,92 МПа	0,92
	Відносне подовження по ТР 490	62,30%	45%	3,16%	2,74
	Межа міцності по ТР 490	575,02 МПа	500-700 МПа	28,16 МПа	1,33
	Робота удару в поздовжньому перетині по ТП 490	205,52 Дж	85 Дж	31,57 Дж	1,99
	Розмір аустеніту зерна по ТП 490	6,33 бал.	5 бал	0,99	0,67

Таблиця 2.2 – Показники виробництва загартованої в потоці стану 550 нержавіючої сталі

№ п/п	Марка сталі	Задано, т	Прокатано, т	Здано, т	Стружка, т	Обріз, т	Брак			
							Усього		По сталеплавильних дефектах	
							т	%	т	%
1.	07X18H10	493,72	462,33	372,79	40,6	1,76	44,97	11,14	27,43	6,96
2.	06X17H12M2T	23,84	21,2	20,1	0,81	0	0,19	0,94	0	0
3.	03X19H11	45,4	40,39	37,62	1,89	0,22	0,56	2,03	0,37	1,54
4.	03X18H9	131,37	119,43	98,51	9,50	0,49	1,84	2,31	0,55	1,03
5.	03X18H13M2	107,36	107,18	86,08	11,7	0,24	9,07	9,76	0,28	0,55
6.	03X18H11	193,9	175,81	157,19	10,88	0,45	7,28	4,69	1,73	1,32
7.	03X19H10	441,18	391,51	333,72	27,52	1,04	19,27	5,74	3,03	1,15
8.	03X17H13M2	318,13	286,69	242,97	24,14	1,0	18,34	7,37	1,44	0,93
9.	03X17H12M2	534,46	475,45	402,49	49,16	2,71	28,91	7,28	1,84	1,05
10.	035X19H10	19,96	18,55	16,19	1,77	0	0	0	0	0
11.	035X17H13M3	33,97	32,73	28,69	3,24	0	0,8	2,71	0	0
12.	08X17H13M2T	834,47	779,04	571,5	70,51	1,99	141,05	20,02	110,26	15,7
13.	08X18H10T	370,41	345,37	237,8	27,91	1,43	69,84	23,06	56,89	18,8
14.	10X17H13M2T	104,79	94,6	69,68	3,89	0,02	13,27	16,02	12,67	15,2
15.	12X18H10T	158,36	150,28	94,14	9,51	0,1	47,9	33,77	37,59	26,5
Усього:		3827,86	3517,26	2781,05	294,71	11,52	409,44	13,15	257,64	8,4

### 3 ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою вивчення впливу гартування під час прокатки на механічні властивості сталі використовуємо повний факторний експеримент по методу Бокса-Уілсона.

Фактори:

$X_1$  – мінімальний час нагріву у томленій зоні, хв;

$X_2$  – загальний час нагріву, хв.;

$X_3$  – температура кінця прокатки, °С;

Параметри оптимізації:

$Y_1$  – середній розмір зерна.

$Y_2$  – ударна в'язкість.

$Y_3$  – границя текучості ( $\sigma_{0,2}$ ).

$Y_4$  – границя міцності ( $\sigma_B$ ).

Таблиця 3.1 – Досліджувані фактори

Характеристика	Фактори		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Основний рівень	45	185	1060
Інтервал варіювання	5	25	40
Нижній рівень (кодовані значення -1, -)	40	160	1020
Верхній рівень (кодовані значення +1, +)	50	210	1100

Таблиця 3.2 – Умови проведення дослідів (план експерименту)

Номер досліду	Значення факторів в кодованому вигляді			
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	-	+
4	+	-	-	+
5	+	+	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	-	-
8	+	-	-	-

Фактор, позначений "X<sub>0</sub>" – так називаємо фіктивну перемінну – уводимо для розрахунку вільного члена шуканої моделі – коефіцієнт "b<sub>0</sub>".

Після складання таблиці перевіряємо правильність її заповнення. Умова симетричності репліки вимагає, щоб у кожному стовпці утримувалося рівне число мінусів і плюсів. Умова виконується.

Реалізація плану експерименту. Для визначення помилки експерименту досліди варто дублювати. Частіше дублюють не всі досліди, а тільки досліди на основному рівні. У цьому випадку розрахунок дисперсії дослідів S<sub>y</sub> проводимо по формулі:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} \quad (3.1)$$

де  $n$  – кількість дублів на основному рівні;

$i$  – номер дублю;

$Y_{oi}$  – значення параметра оптимізації в  $i$ -ом дублі;

$Y_o$  – середнє арифметичне результатів усіх дублів;

$f_1$  – число ступіней свободи ( $f_1 = n - 1$ ).

Для визначення дисперсії дослідів були організовано досліди 9-11 на основному рівні. При цьому отримані наступні значення параметра оптимізації:

досвід 9 – 6,3; досвід 10 – 6,48; досвід 11 – 6,45.

Визначаємо  $S_y^2$ . Будуємо розрахункову таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахункова таблиця дисперсії дослідів

Дослід	$y_e$	$ y_{oe} - y_o $	$\Delta y_e^2$	$\Sigma \Delta y$
9	6,3	0,1	0,0001	11,84
10	6,48	0,08	0,0004	
11	6,45	0,05	0	
	$y_o = 6,4$			

Тоді

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{oi} - Y_o)^2}{f_1} = \frac{11,84}{3-1} = 5,92;$$

Побудова математичної моделі. Після реалізації всіх дослідів матриці планування по їхніх результатах будують математичну модель досліджуваного процесу. Для цього при використанні ДФЕ розраховуємо коефіцієнти регресії рівняння по формулі:

$$b_j = \sum_{j=1}^n \frac{X_{jn} \cdot Y_n}{N} \quad (3.2)$$

де  $b_j$  – значення  $j$ -го коефіцієнту регресії;

$X_{jn}$  – значення  $j$ -го фактору в  $n$ -ом досліді в кодованому вигляді;

$Y_n$  – значення параметру оптимізації в  $n$ -ом досліді;

$N$  – число дослідів в матриці планування.

В результаті отримуємо модель, котра має наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_jX_j$$

В реалізації матриці планування отримані наступні результати (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Результати дослідів

№№	Дослід							
	1	2	3	4	5	6	7	8
середній розмір зерна	7,0	6,73	6,80	6,50	6,20	6,11	6,30	5,0
ударна в'язкість	300	265	240	209	185	165	150	130
границя текучості	150	205	238	247	252	254	300	346
границя міцності	504	539	546	571	578	613	620	629

По формулі розраховуємо коефіцієнти регресії шуканих моделей:

$$b_0 = 1/8 \cdot [7 + 6,73 + 6,80 + 6,5 + 6,2 + 6,11 + 6,3 + 5] = 6,33 ;$$

$$b_1 = 1/8 \cdot [7 - 6,73 + 6,8 - 6,5 + 6,2 - 6,11 + 6,3 - 5] = 0,245 ;$$

$$b_2 = 1/8 \cdot [7 + 6,73 - 6,8 - 6,5 + 6,2 + 6,11 - 6,3 - 5] = 0,18 ;$$

$$b_3 = 1/8 \cdot [7 + 6,73 + 6,3 + 6,5 - 6,2 - 6,11 - 6,3 - 5] = 0,428 .$$

Таким чином, отримана лінійна модель має попередньо наступний вид:

$$Y_1 = 6,33 + 0,245 \cdot X_1 + 0,18 \cdot X_2 + 0,428 \cdot X_3 .$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації. Отримані лінійні моделі мають попередньо наступний вид:

$$Y_2 = 205.5 + 13.25 \cdot X_1 + 23.05 \cdot X_2 + 18 \cdot X_3$$

$$Y_3 = 249 - 14 \cdot X_1 - 33.75 \cdot X_2 - 39 \cdot X_3$$

$$Y_4 = 575 - 13 \cdot X_1 - 16.5 \cdot X_2 - 35 \cdot X_3 .$$

*Статистичний аналіз моделі.* Метою аналізу є перевірка придатності моделі для її використання при описі досліджуваного об'єкта.

Аналіз складається з двох етапів. На першому етапі перевіряємо статистичну значимість коефіцієнтів регресії. У статистику прийнято здійснювати перевірку значимості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Ст'юдента. Для цього розраховуємо довірчий інтервал коефіцієнтів

$$\Delta b_i = t_{\alpha, f_1} \cdot S_{bi} \quad (3.3)$$

де  $S_{bi}$  – середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії;



$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (3.4)$$

$t_{\alpha, f_1}$  – значення критерію Ст'юдента, що вибирається в залежності від рівня значимості  $\alpha$  і числа ступенів волі при визначенні дисперсії дослідження  $f_1$ .

На другому етапі остаточно отримане рівняння перевіряємо на адекватність, тобто його придатність для опису об'єкта дослідження.

Розрахуємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії. Для цього спочатку визначимо  $S_{bi}$ .

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{5,92}{8}} = \pm 0,86.$$

Вибираємо для  $\alpha = 0,05$  и  $f_1 = 2$  значення критерію Ст'юдента, рівне 4,3. Визначаємо довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 4,3 \cdot 0,86 = \pm 0,20;$$

У такий спосіб у всіх випадках, в отриманих рівняннях коефіцієнт "b<sub>2</sub>" виявився статично не значимий, і рівняння здобувають остаточно наступний вид:

$$Y_1 = 6,33 + 0,245 \cdot X_1 + 0,428 \cdot X_3;$$

Аналогічно розрахуємо лінійні моделі для інших параметрів оптимізації.

$$Y_2 = 205,5 + 23,05 \cdot X_2 + 18 \cdot X_3$$

$$Y_3 = 249 - 33,75 \cdot X_2 - 39 \cdot X_3$$

$$Y_4 = 575 - 16,5 \cdot X_2 - 35 \cdot X_3.$$

Тепер перевіряємо адекватність отриманих моделей у цілому. Для цього

підставляємо в отримане рівняння послідовно для всіх дослідів значення "Хі" у кодованому виді, що беремо з таблиці 3.4. Для визначення дисперсності неадекватності складаємо розрахункову таблицю 3.5. Таблиця 3.5 складаємо виходячи з алгоритму перевірки отриманого рівняння на адекватність, тобто його придатності для опису об'єкта дослідження. Послідовність перевірки:

1. По отриманій моделі визначають по черзі для всіх досвідів матриці планування розрахункові значення параметра оптимізації. Для цього в рівняння підставляємо значення факторів у кодованому виді;
2. По формулі одержуємо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n^{експер} - y_n^{расч})^2}{f_2} \quad (3.5)$$

де  $f_2 = N - K'$ ,  $K'$  – число коефіцієнтів моделі, включи  $b_0$ .

3. Визначають розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним, котре вибирають з таблиці у залежності від рівня значимості і числа ступенів волі  $f_1, f_2$ .

$$F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} \quad (3.6)$$

Таблиця 3.5 – Розрахунок дисперсії неадекватності

Дослід	Значення у		Δу	Δу <sup>2</sup>	
	експер.	розрах.			
1	7,0	7,012	0,012	0,000144	
2	6,73	6,746	0,016	0,000256	
3	6,80	6,816	0,016	0,000256	
4	6,50	6,51	0,01	0,0001	
5	6,20	6,216	0,016	0,000256	
6	6,11	6,12	0,01	0,0001	
7	6,30	6,31	0,01	0,0001	
8	5,00	5,02	0,02	0,0004	

Σ = 0,0016

$$S_{неад}^2 = \frac{0,0016}{5} = 0,00032 ; F_{f_1, f_2}^{расч} = \frac{2,25}{8} = 0,281$$

З таблиці (3.4) для  $\alpha = 0,05$ ;  $f_1 = 2$  і  $f_2 = 1$  знаходимо табличне значення критерію Фішера, рівне 2,3. Таким чином, умова адекватності моделі виконується і нею можна користуватися для розрахунку значень коефіцієнта тертя. При цьому варто пам'ятати, що отримана модель описує процес впливання факторів на коефіцієнт тертя тільки у вивчених межах варіювання факторів. Аналогічно проводимо перевірку критерію Фішера для інших лінійних моделей.

*Інтерпретація результатів.* Отримана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої крапки вивченого факторного простору. Крім того, отриману залежність можна представити графічно у виді впливу окремих факторів на параметр оптимізації. При цьому звичайно будують залежність  $y = f(x_i)$  за умови, що всі інші фактори фіксують на постійному рівні. Тоді підставляємо в дане рівняння значення фактора  $X_2$  і  $X_3$  у кодованому виді (зі знаком "-"). Потім у перетворене (спрощене) рівняння підставляємо послідовно значення фактора  $X_1$  на нижньому, основному і верхньому рівнях, тобто -1; 0; +1 і одержуємо шуканий графік.

Представимо графічну залежність коефіцієнта тертя від температури металу (фактор  $X_1$ ) для випадку, коли інші  $X_j = 0$ . Тоді рівняння прийме вид:  $Y_1 = 6,33 + 0,245 \cdot X_1$ ; Визначимо у для випадків, коли  $X_1 = -1; 0; +1$ . Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення у, рівні:  $y_1=6,085$ ;  $y_2=6,33$ ;  $y_3=6,577$ . Аналогічно представимо графічну залежність коефіцієнта тертя від окружної швидкості валків (фактор  $X_3$ ) для випадку, коли інші  $X_j = 0$ . Тоді рівняння прийме вид:  $Y_1 = 6,33 + 0,428 \cdot X_3$ ; Визначимо в для випадків, коли  $X_1 = -1; 0; +1$ . Підставимо ці значення в рівняння. Одержимо відповідно значення в, рівні:  $y_1=5,902$ ;  $y_2=6,33$ ;  $y_3=6,758$ .

Будуємо графічні залежності коефіцієнта тертя від температури металу та окружної швидкості валків на одних графіках (див. рис. 3.1-3.8).

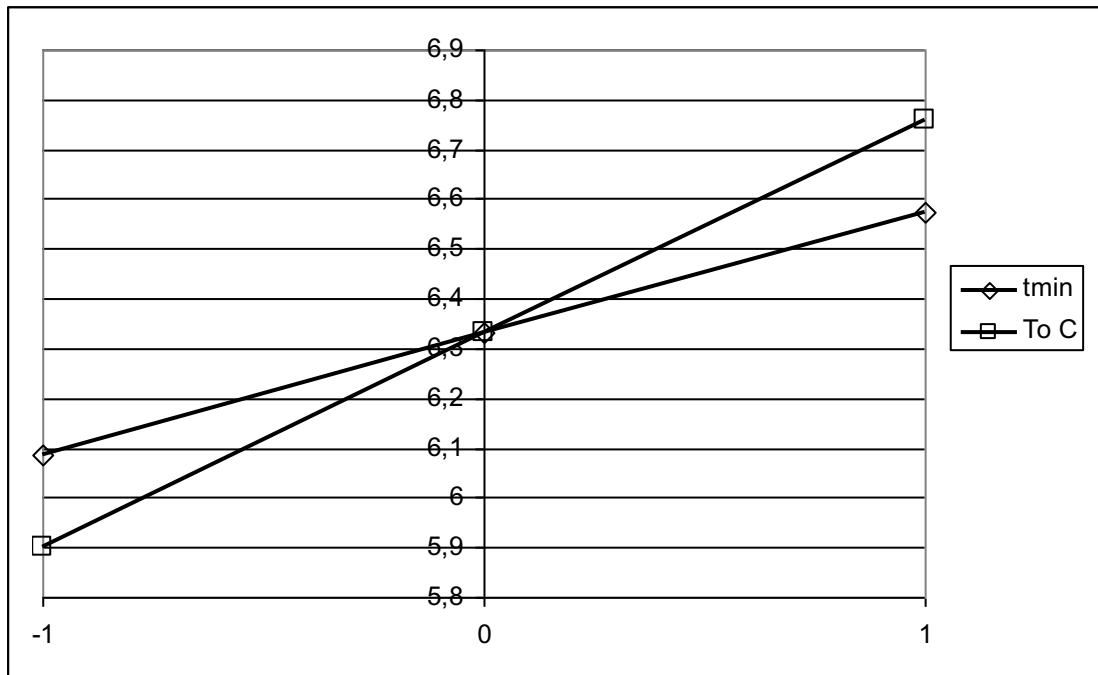


Рисунок 3.1 - Графічна залежність середнього розміру зерна від мінімального часу нагрівання у томленій зоні і температури кінця прокатки в кодованому виді

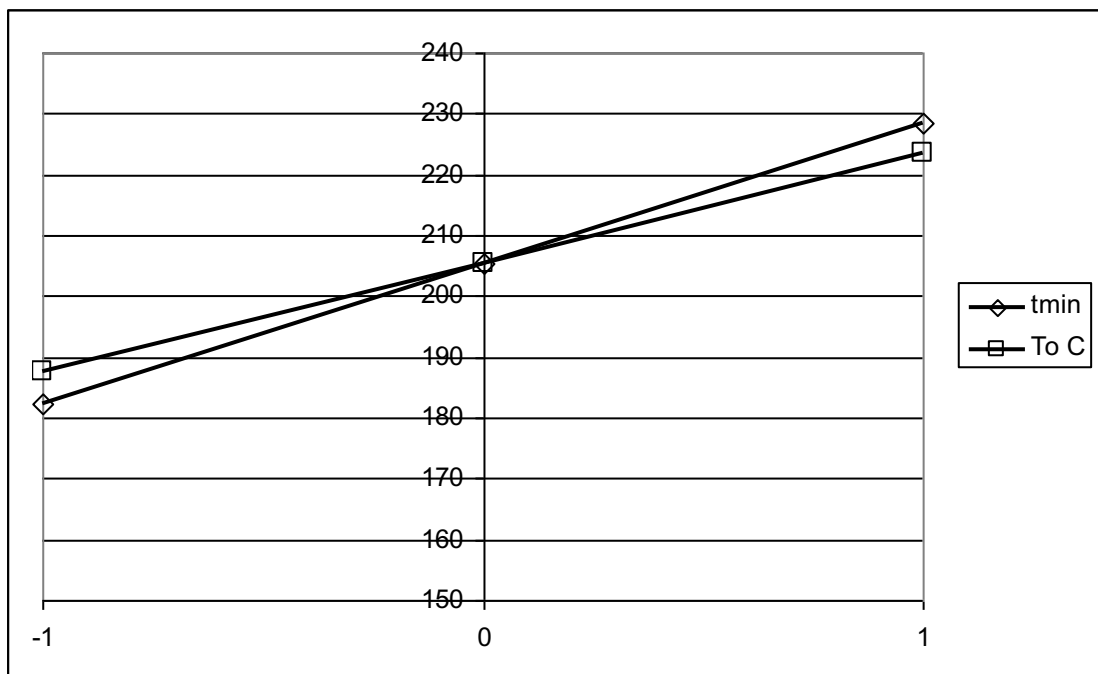


Рисунок 3.2 - Графічна залежність ударної в'язкості від мінімального часу нагрівання у томленій зоні і температури кінця прокатки в кодованому виді

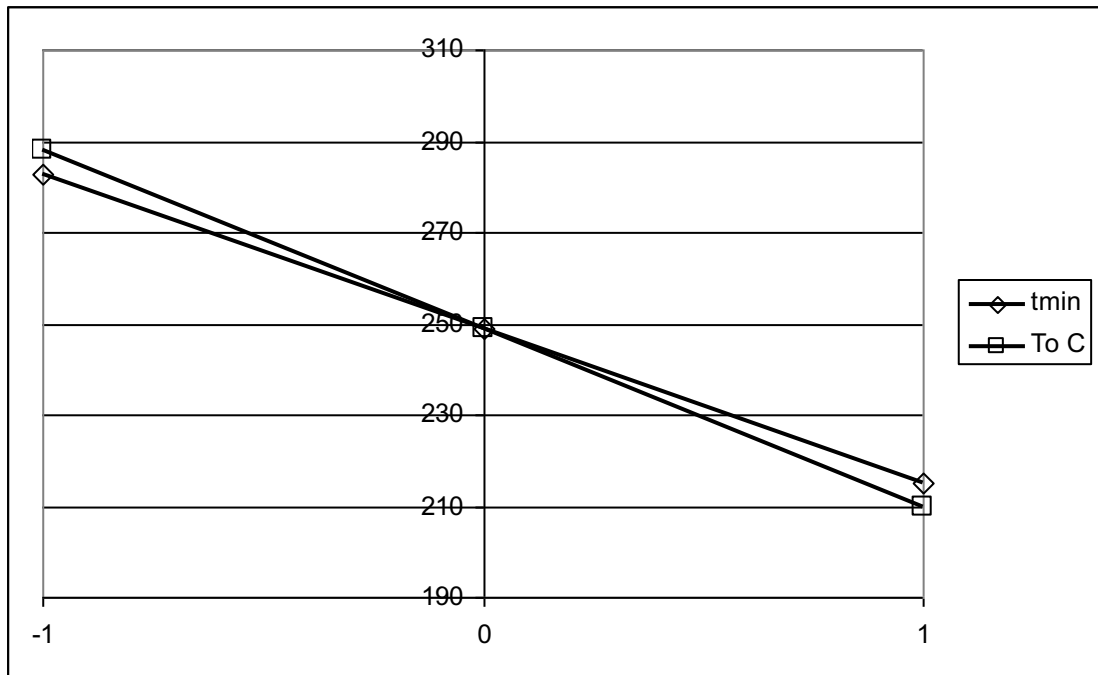


Рисунок 3.3 - Графічна залежність границі текучості від мінімального часу нагрівання у томленій зоні і температури кінця прокатки в кодованому виді

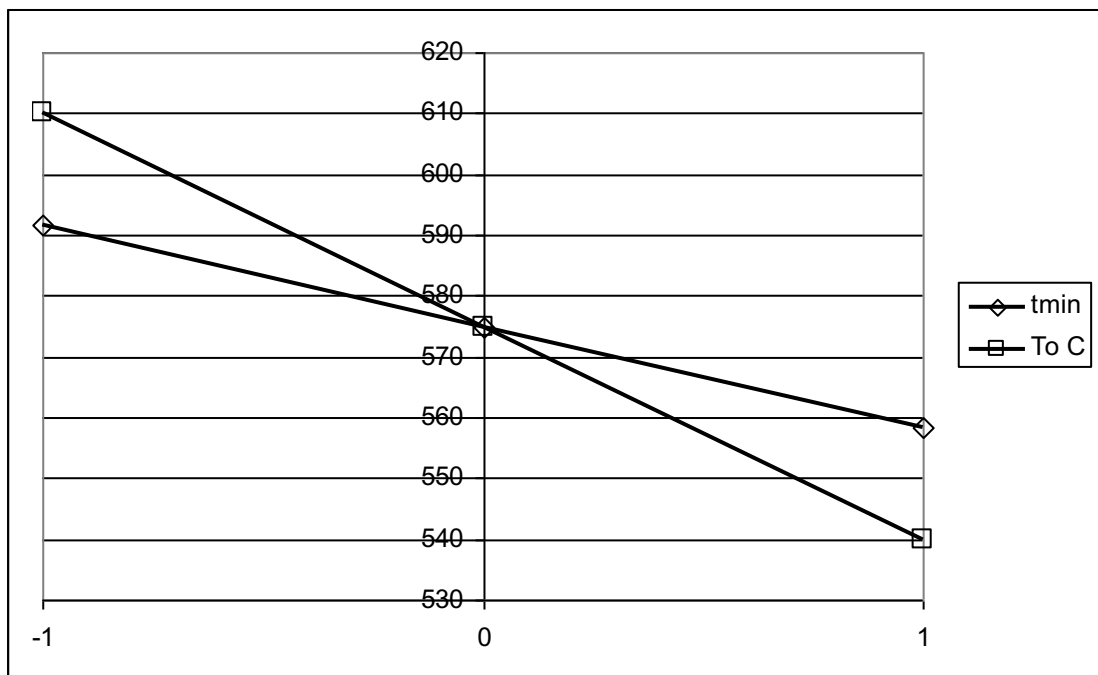


Рисунок 3.4 - Графічна залежність границі міцності від мінімального часу нагрівання у томленій зоні і температури кінця прокатки в кодованому виді

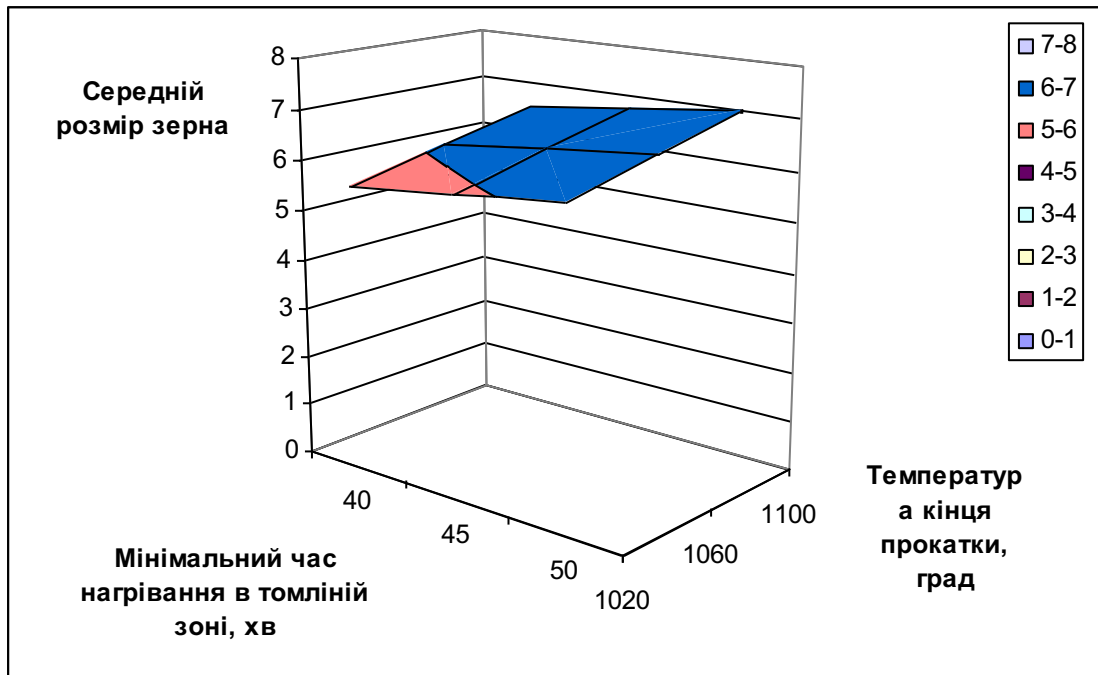


Рисунок 3.5 - Оптимальні поверхні відгуку середнього розміру зерна

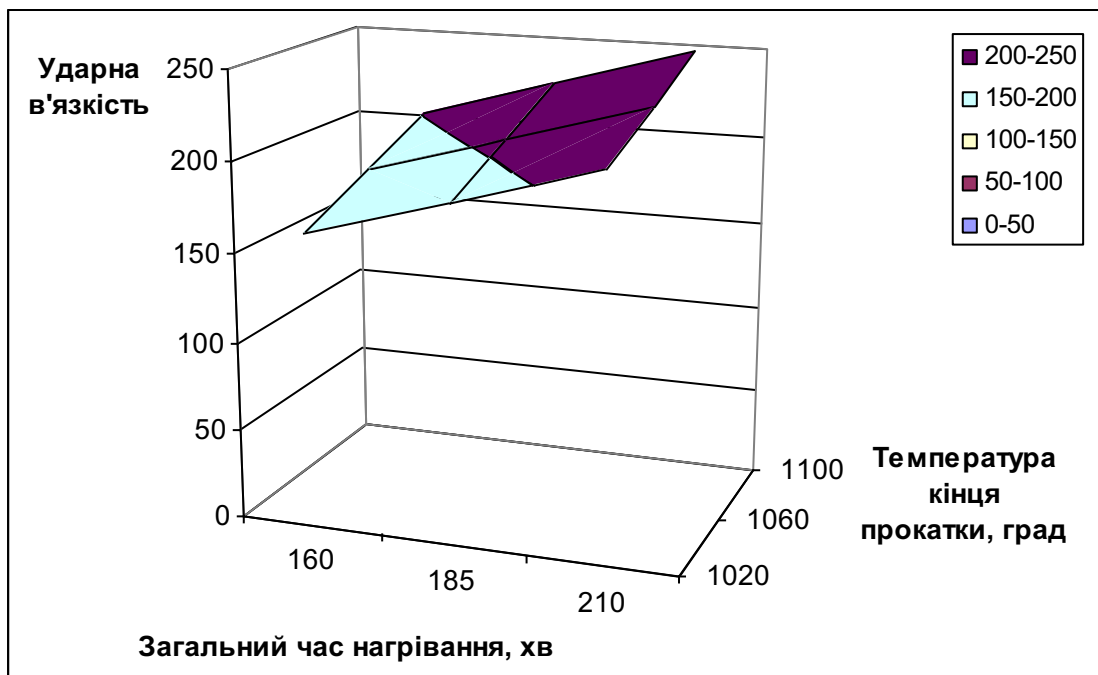


Рисунок 3.6 - Оптимальні поверхні відгуку ударної в'язкості

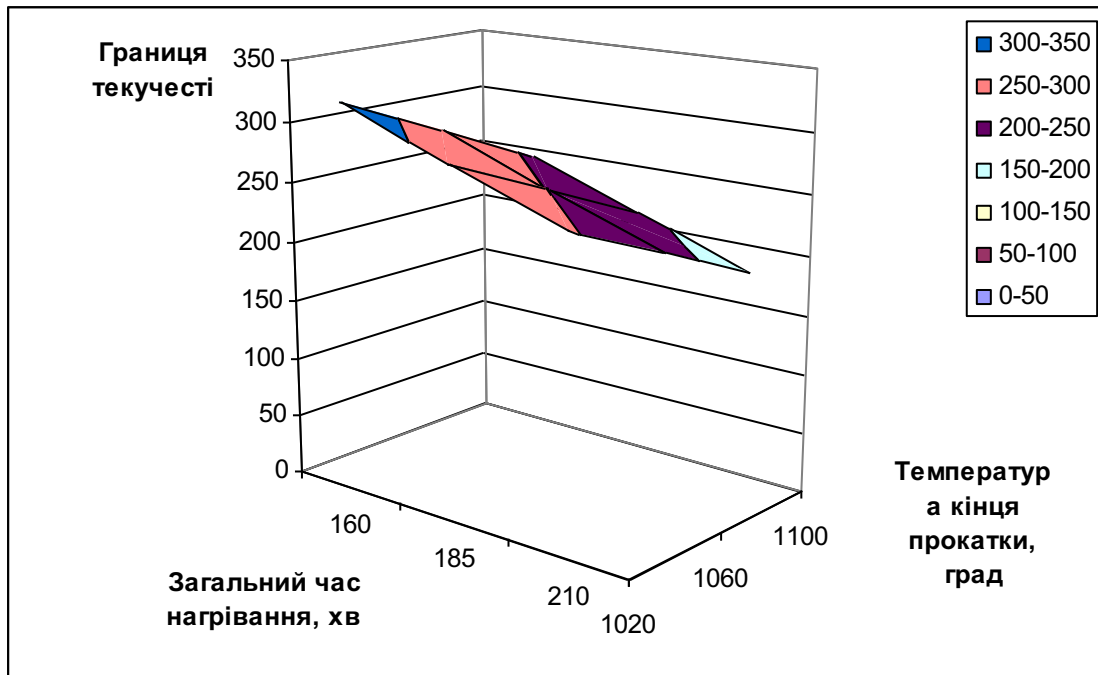


Рисунок 3.7 - Оптимальні поверхні відгуку границі текучості

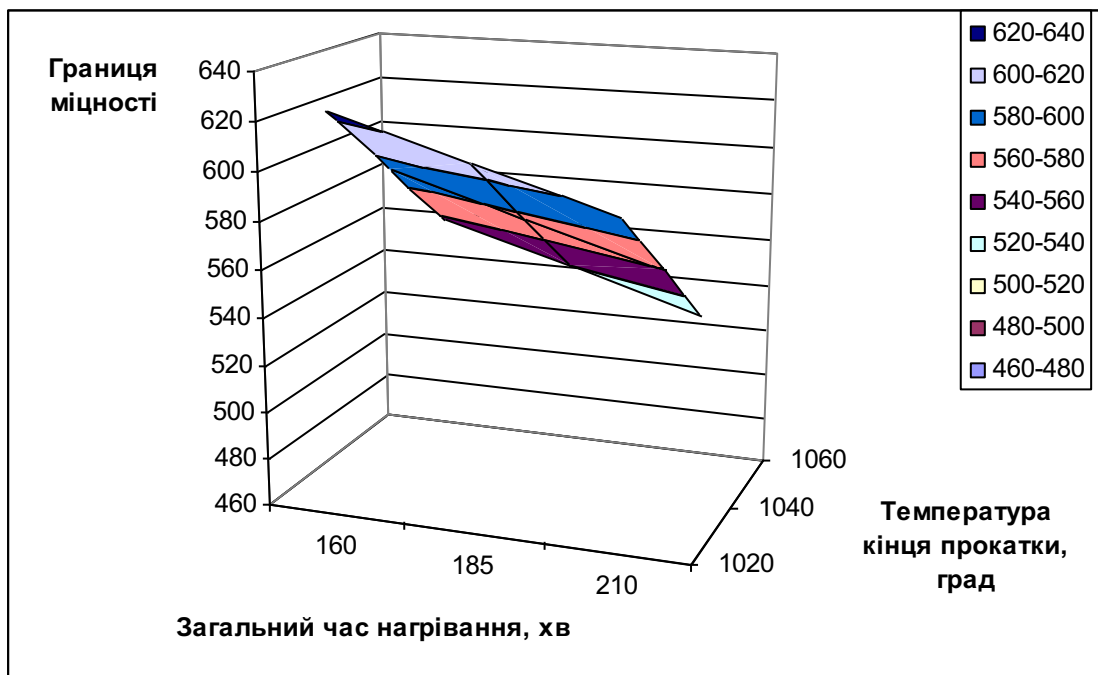


Рисунок 3.8 - Оптимальні поверхні відгуку границі міцності

Таблиця 3.6 - Значення розміру зерна в металі, що пройшов загартування в потоці стана ст.07X18H10

Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
78	6,333333	6,110322	6,556345	5,000000	10,00000	,978355	,989117

Область значень розміру зерна на ст. 08X17H13M2T розбита на рівні інтервали й представлена в таблиці частот, розподіл частотних інтервалів у відсотковому відношенні графічно зображені у вигляді ступінчастого графіка.

Область значень величини зерна в інтервалах	Частоти значень	Накопичені частоти значень	Частоти, %	Накопичені частоти, %
$4,00000 \leq x < 5,00000$	0	0	0,00000	0,0000
$5,00000 \leq x < 6,00000$	17	17	21,79487	21,7949
$6,00000 \leq x < 7,00000$	26	43	33,33333	55,1282
$7,00000 \leq x < 8,00000$	30	73	38,46154	93,5897
$8,00000 \leq x < 9,00000$	3	76	3,84615	97,4359
$9,00000 \leq x < 10,0000$	1	77	1,28205	98,7179
$10,0000 \leq x < 11,0000$	1	78	1,28205	100,0000

Область значень розміру зерна на ст07X18H10 розбита на рівні інтервали й представлена в таблиці частот, розподіл частотних інтервалів у відсотковому відношенні графічно зображені у вигляді ступінчастого графіка.



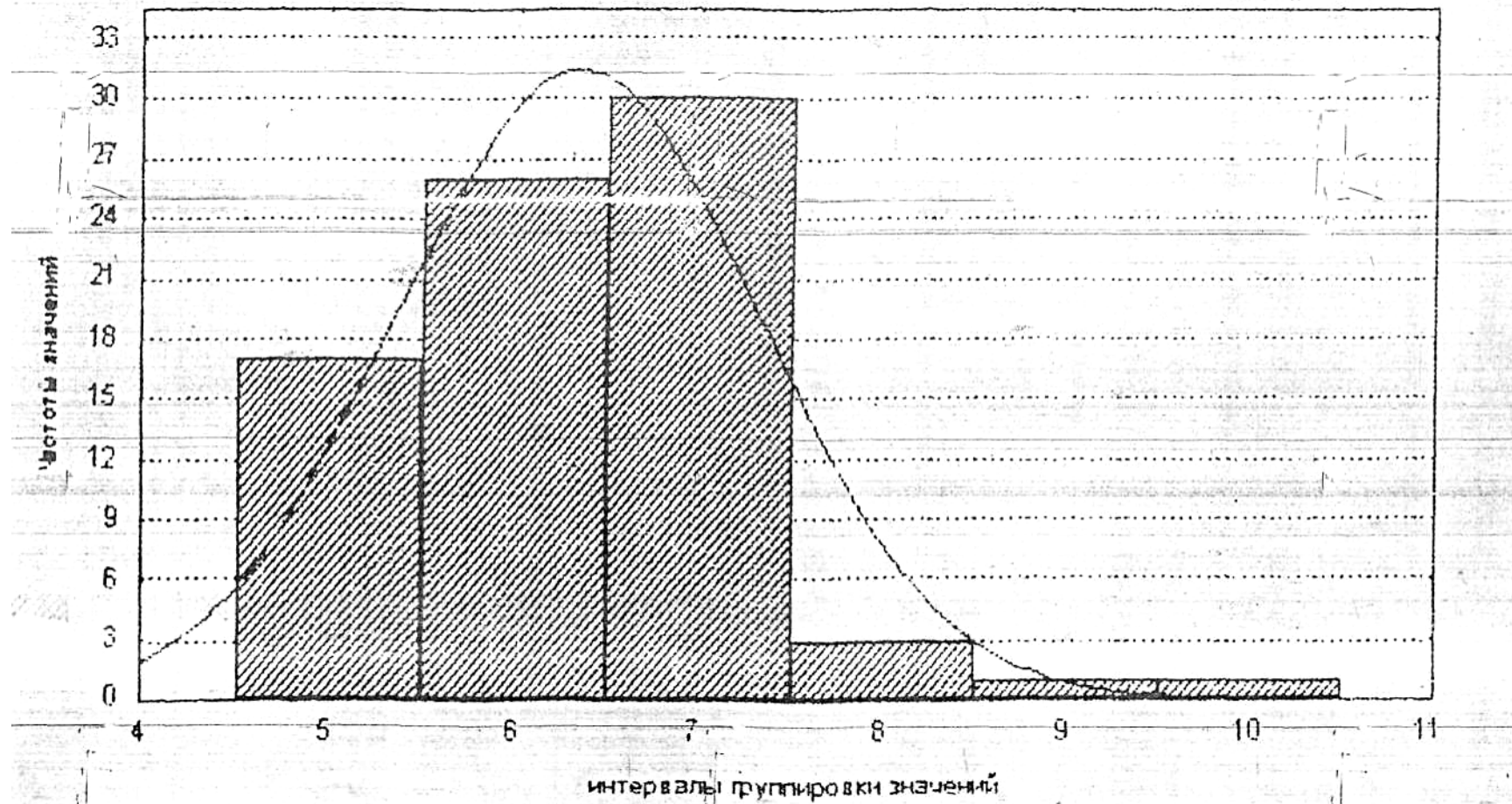


Рисунок 3.9 - Гістограма розподілу значень зерна в ст. 07X18N10 із загартуванням у потоці стана

Таблиця 3.7 - Розрахунок коефіцієнта відтворюваності процесу (Срк)

Марка сталі	Показники якості	Середнє значення ( $\bar{X}$ )	Мінімальне припустиме значення (НГ) або припустимі межі зміни (ВГ-НГ)	Середньоквадратичне відхилення ( $\sigma$ )	Коефіцієнт Срк
07X18H10	Границя текучості ( $\sigma_{02}$ ) по ТП 490	249,97 Мпа	195 Мпа	23,90 Мпа	1,15
	Границя текучості ( $\sigma_1$ ) по ТП 490	273,99 Мпа	230 Мпа	23,92 Мпа	0,92
	Відносне подовження по ТР 490	62,30%	45%	3,16%	2,74
	Межа міцності по ТР 490	575,02 Мпа	500-700 Мпа	28,16 Мпа	1,33
	Робота удару в поздовжньому перетині по ТП 490	205,52 Дж	85 Дж	31,57 Дж	1,99
	Розмір аустеніту зерна по ТП 490	6,33 бал.	5 бал	0,99	0,67

Таблиця 3.8 - Розрахунок коефіцієнта відтворюваності процесу (Срк)

Марка сталі	Показники якості	Середнє значення ( $\bar{X}$ )	Мінімальне припустиме значення (НГ) або припустимі межі зміни (ВГ-НГ)	Середньоквадратичне відхилення ( $\sigma$ )	Коефіцієнт Срк
08X17H13M2T	Границя текучості ( $\sigma_{02}$ ) по Г. 5949	266,13Мпа	196 Мпа	27,27 Мпа	1,29
	Границя текучості ( $\sigma_{02}$ ) по ТП 490	266,13Мпа	210 Мпа	27,27 Мпа	1,03
	Границя текучості по Г. 5949	564,52Мпа	490 Мпа	19,61 Мпа	1,90
	Границя текучості по ТП 490	564,52Мпа	500-730 Мпа	19,61 Мпа	1,65
	Границя текучості ( $\sigma_1$ ) по ТП 490	293,20Мпа	245 Мпа	32,64 Мпа	0,74
	Відносне подовження по Г. 5949	58,32%	40%	3,46%	2,65
	Відносне подовження по ТП 490	58,32%	35%	3,46%	3,37
	Робота удару в поздовжньому напрямку по ТП 490	193,47 Дж	85 Дж	40,71 Дж	1,33
	Робота удару в поперечному напрямку по ТП 490	64,96 Дж	55 Дж	11,19 Дж	0,45
	Розмір аустеніту зерна	6,19 бал	5 бал	0,82	0,73

Таблиця 3.9 - Результати випробувань на границю текучості ( $\sigma_1$ ) ст. 07X18H10

Границя текучості	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартування у потоці стана граф. №1	275	273,9855	271,1457	276,8252	141,0000	395,0000	572,1896	23,92048
б) із загартування у КПЦ граф. №2	-	-	-	-	-	-	-	-

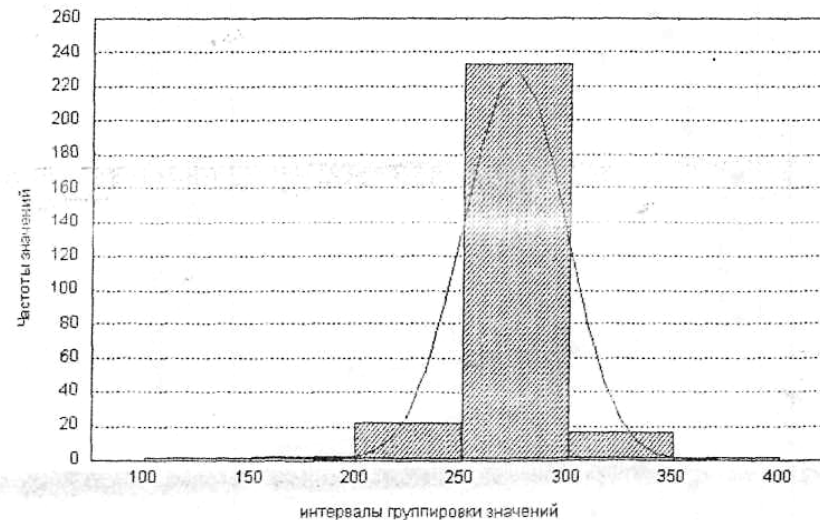
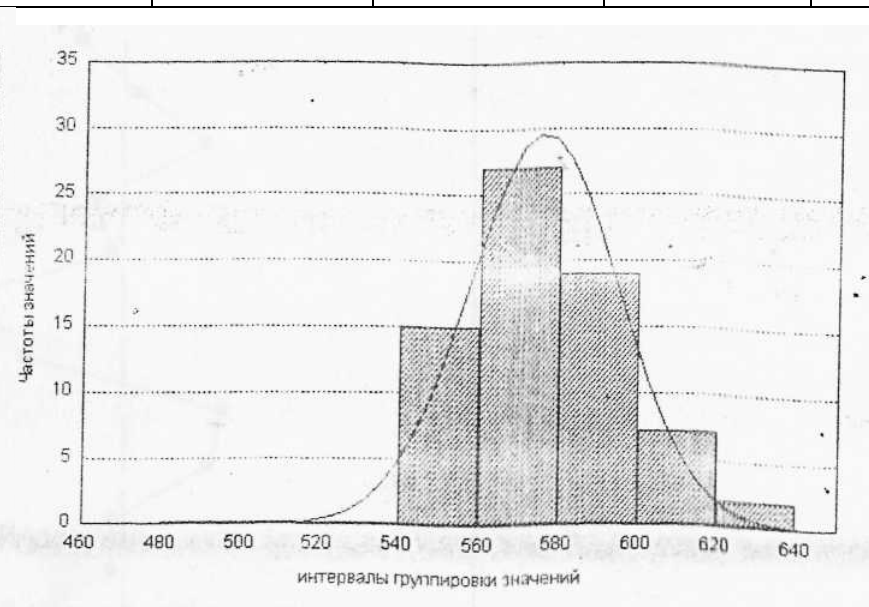
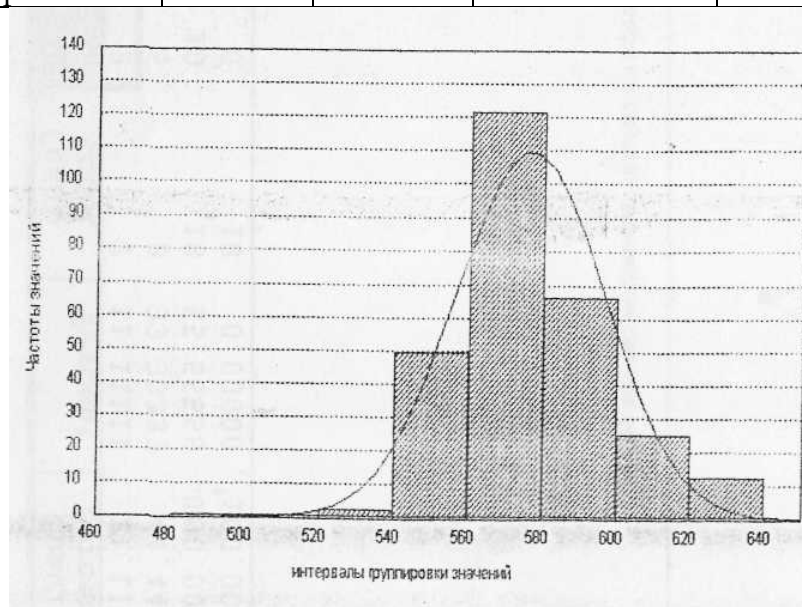


Рисунок 3.10 - Розподіл змінної границя текучості ( $\sigma_1$ ) представлено в гістограмах для різних видів загартування: загартування в потоці стана

Таблиця 3.10 - Результати випробувань на границю текучості ст. 07X18H10

Границя текучості:	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартуванням у потоці стана граф. №1	277	575,0217	571,6911	578,3522	246,0000	629,0000	792,8474	28,15755
б) із загартуванням у КПЦ граф. №2	70	575,9286	571,4311	580,4261	540,0000	620,0000	355,7774	18,86206



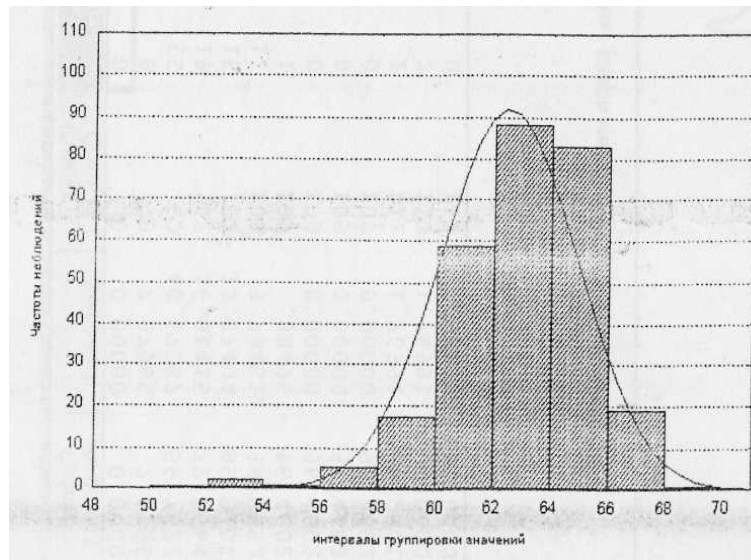
а) загартування в потоці стана

б) загартування в КПЦ

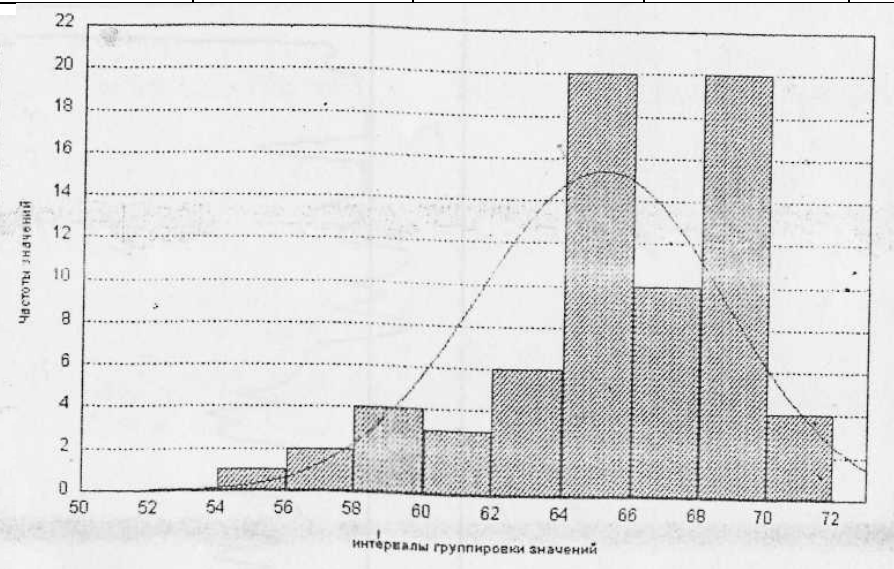
Рисунок 3.11 - Розподіл границі текучості ст. 07X18H10 представлено в гістограмах для різних видів загартування:

Таблиця 3.11 - Результати випробувань відносного подовження ст. 07X18H10

Границя текучості:	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартуванням у потоці стана граф. №1	277	62,30325	61,92901	62,67749	36,00000	68,00000	10,01097	3,164011
б) із загартуванням у КПЦ граф. №2	70	65,10000	64,23584	65,96416	55,00000	71,00000	13,13478	3,624194



а) загартування в потоці стана



б) загартування в КПЦ

Рисунок 3.12 - Розподіл змінної відносного подовження представлено в гістограмах для різних видів загартування

Таблиця 3.12 - Результати випробувань ударної в'язкості на поздовжньому перетині зразків ст. 07X18H10

Відносне подовження	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартуванням у потоці стана граф. №1	687	205,5182	203,1531	207,8833	130,0000	300,0000	996,8535	31,57299
б) із загартуванням у КПЦ граф. №2	78	222,6795	216,0864	229,2726	140,0000	285,0000	855,1037	29,24216

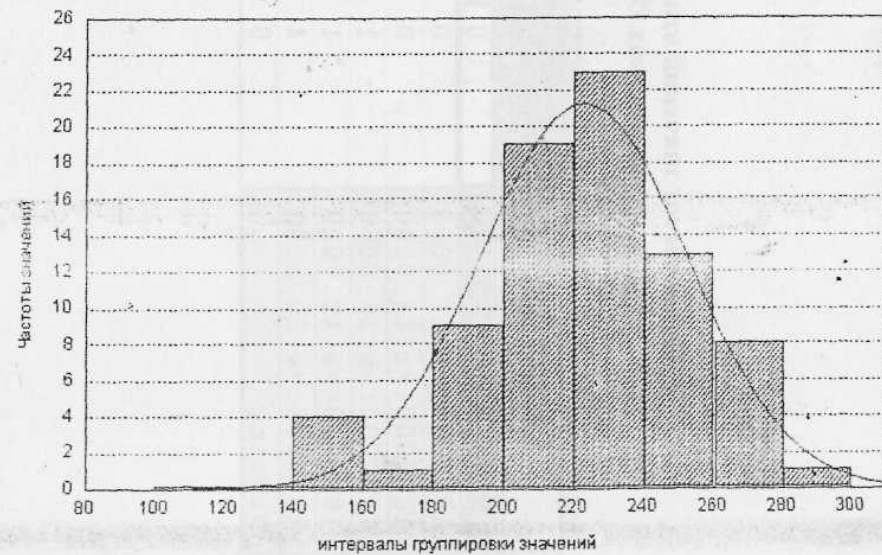
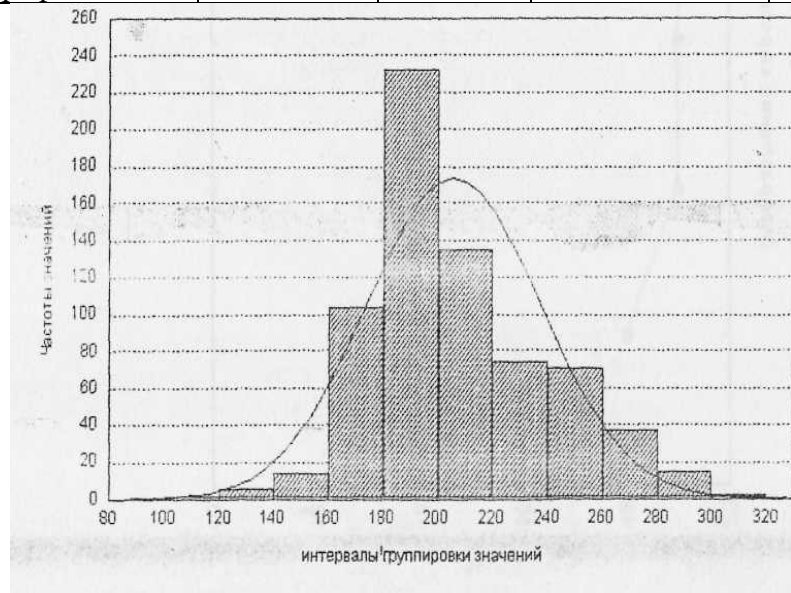
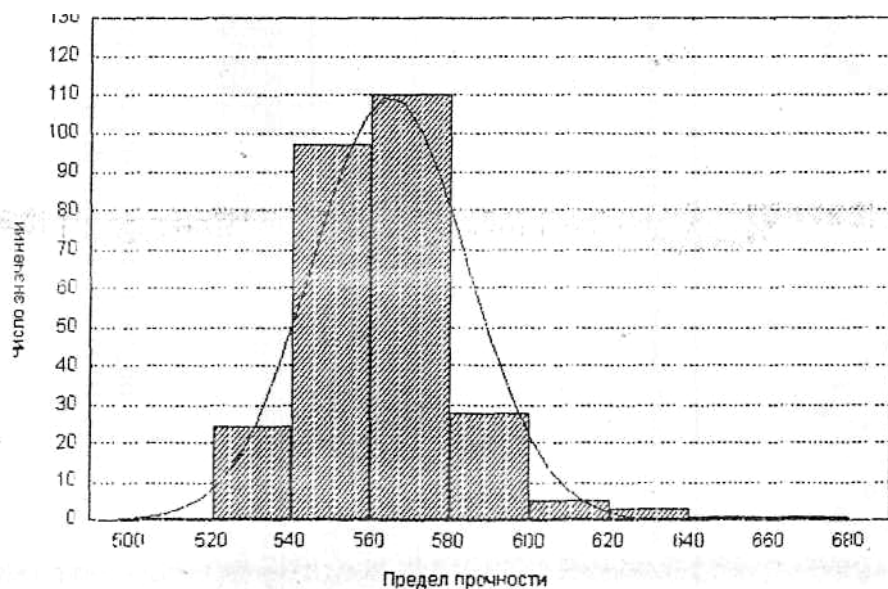


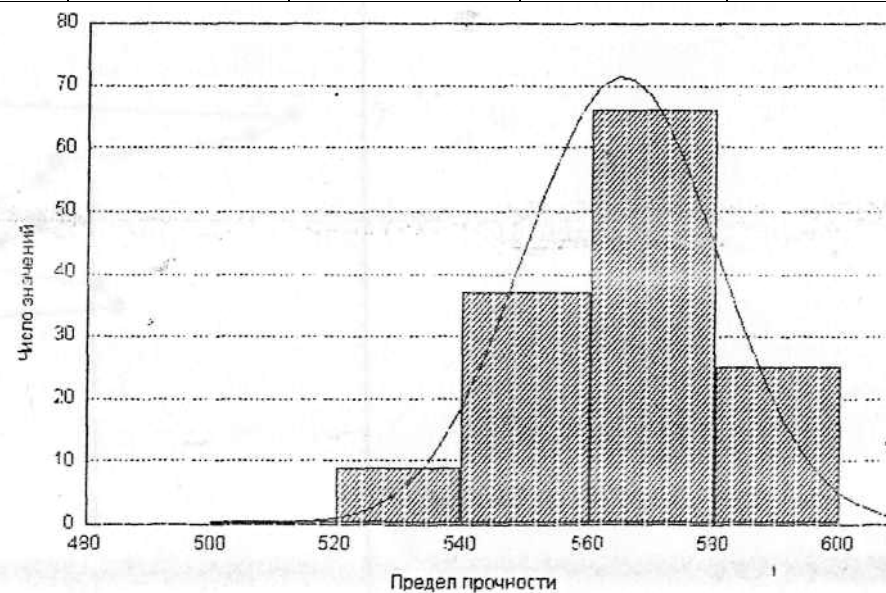
Рисунок 3.13 - Розподіл змінної відносного подовження представлено в гістограмах для різних видів загартування

Таблиця 3.13 - Результати випробувань на межу міцності ст.08X17H13M2T

Межа міцності:	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартуванням у потоці стана граф. №1	269	564,516	562,1624	566,8710	523,0000	675,0000	384,6387	19,61221
б) із загартуванням у КПЦ граф. №2	137	564,8029	562,2258	567,3800	233,0000	599,0000	232,6594	15,25318



а) загартування в потоці стана



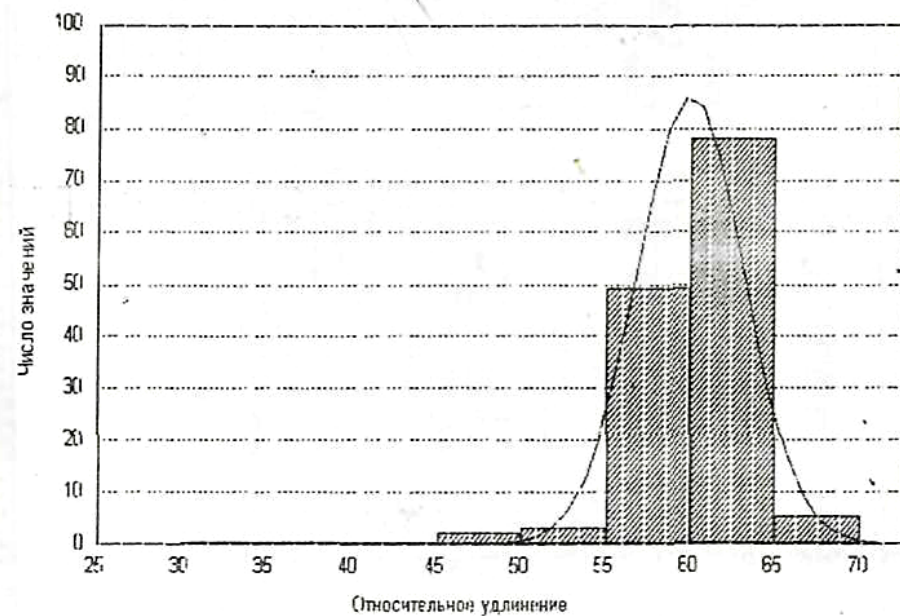
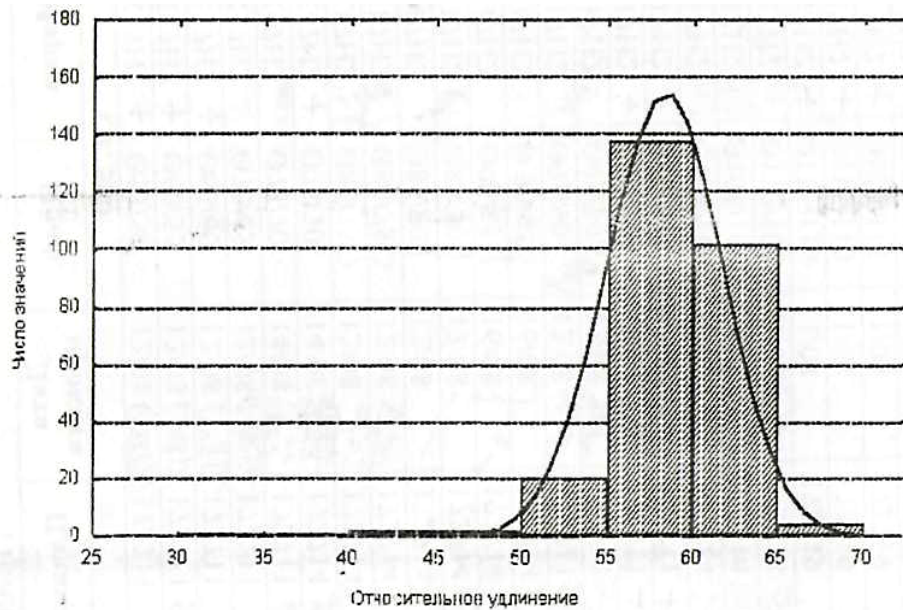
б) загартування в КПЦ

Рисунок 3.14 - Розподіл межа міцності ст. 08X17H13M2T представлено в гістограмах для різних видів загартування



Таблиця 3.14 - Результати випробувань на відносне подовження ст.08X17H13M2T

Відносне подовження	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартуванням в потоці стана	268	58,31530	57,89958	58,73102	38,00000	68,00000	11,94797	3,456583
б) із загартуванням в КПЦ	137	59,91071	59,35413	60,45529	43,00000	67,00000	10,04865	3,169961



а) загартування в потоці стана

б) загартування в КПЦ

Рисунок 3.15 - Розподіл змінної відносне подовження в гістограмах для різних видів загартування



Таблиця 3.15 - Результати випробувань роботи удару на поздовжньому перетині зразків ст. 08X17H13M2T

Робота удару на поздовжньому перетині зразка	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартуванням у потоці стана граф. №1	603	193,4743	190,2183	196,7303	100,0000	300,0000	1657,456	40,71186
б) із загартуванням у КПЦ граф. №2	246	186,4309	183,0675	189,7942	102,0000	294,0000	717,2666	26,78183

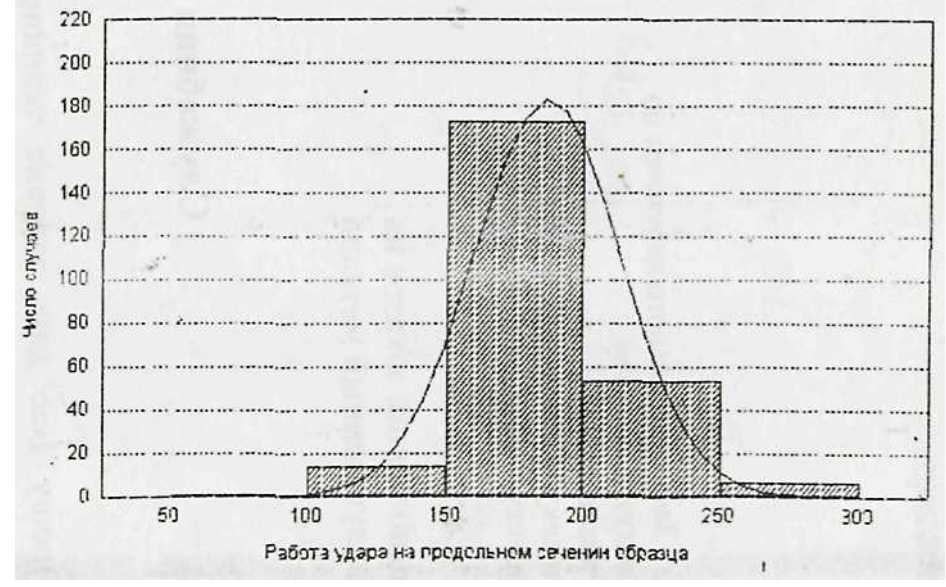
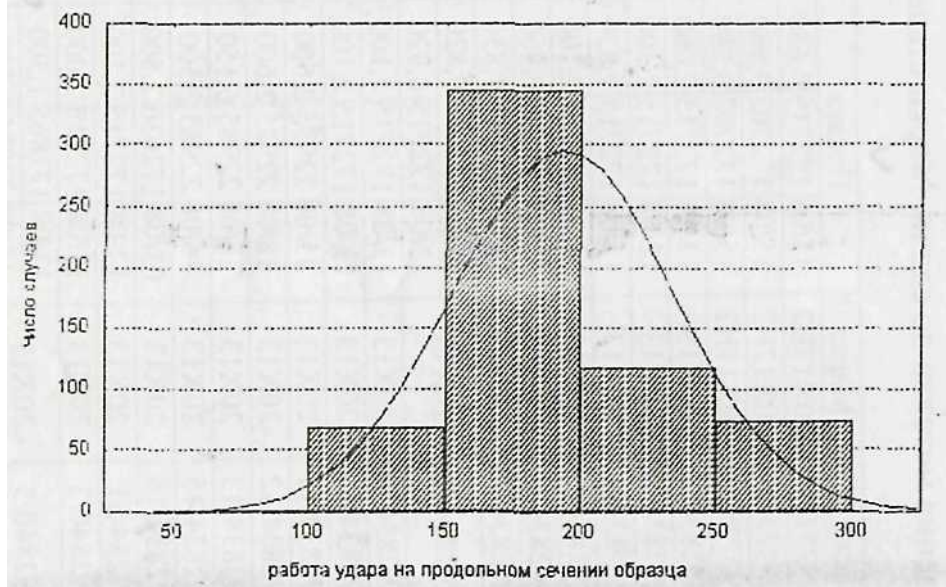
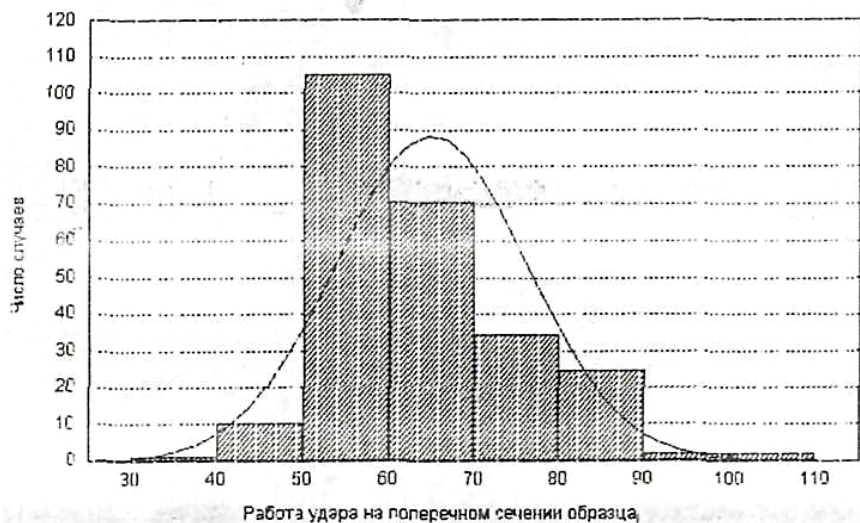


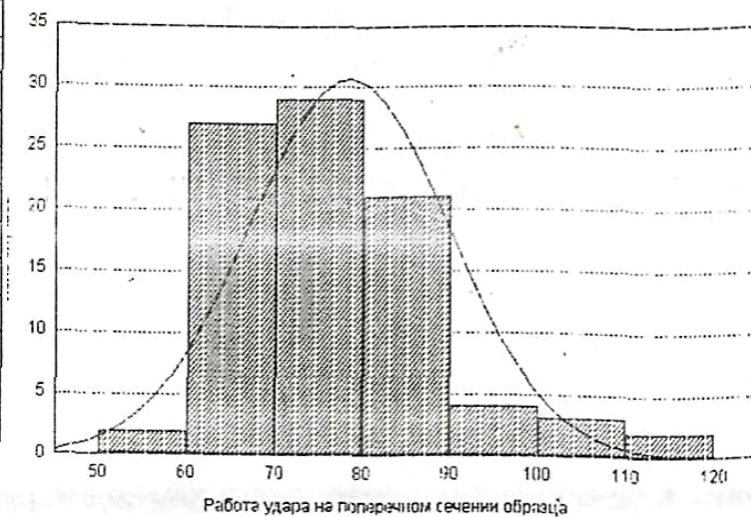
Рисунок 3.16 - Розподіл змінної робота удару на поздовжньому перетині зразків ст. 08X17H13M2T представлені в гістограмах для різних видів загартування

Таблиця 3.16 - Результати випробувань роботи удару на поперечному перерізі зразків на ст.08X17H13M2T

Робота удару на поперечному перетині зразка	Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальнє значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
а) із загартуванням у потоці стана	248	64,95565	63,55637	66,35492	39,00000	105,0000	125,1681	11,18785
б) із загартуванням у КПЦ	88	78,25000	75,82839	80,67161	60,00000	113,0000	130,6264	11,42919



а) загартування в потоці стана



б) загартування в КПЦ

Рисунок 3.17 - Розподіл змінної робота удару на поперечному перерізі зразків ст.08X17H13M2T представлені в гістограмах для різних видів загартування

Таблиця 3.17 - Значення розміру зерна в металі, що пройшов загартування в потоці стана ст. 08X17H13M2T

Число випадків	Середнє значення	Нижня границя 95% довірчого інтервалу	Верхня границя 95% довірчого інтервалу	Мінімальне значення	Максимальне значення	Дисперсія	Стандартне відхилення
63	6,190476	5,983899	6,397054	5,000000	9,000000	,672811	,820251

Область значень розміру зерна на ст. 08X17H13M2T розбита на рівні інтервали й представлена в таблиці частот, розподіл частотних інтервалів у відсотковому відношенні графічно зображені у вигляді ступінчастого графіка.

Область значень величини зерна в інтервалах	Частоти значень	Накопичені частоти значень	Частоти, %	Накопичені частоти, %
5,0000<=x<6,00000	11	11	17,46032	17,4603
6,0000<=x<7,00000	33	44	52,38095	69,8413
7,0000<=x<8,00000	16	60	25,39683	95,2381
8,0000<=x<9,00000	2	62	3,17460	98,4127
9,0000<=x<10,0000	1	63	1,58730	100,0000

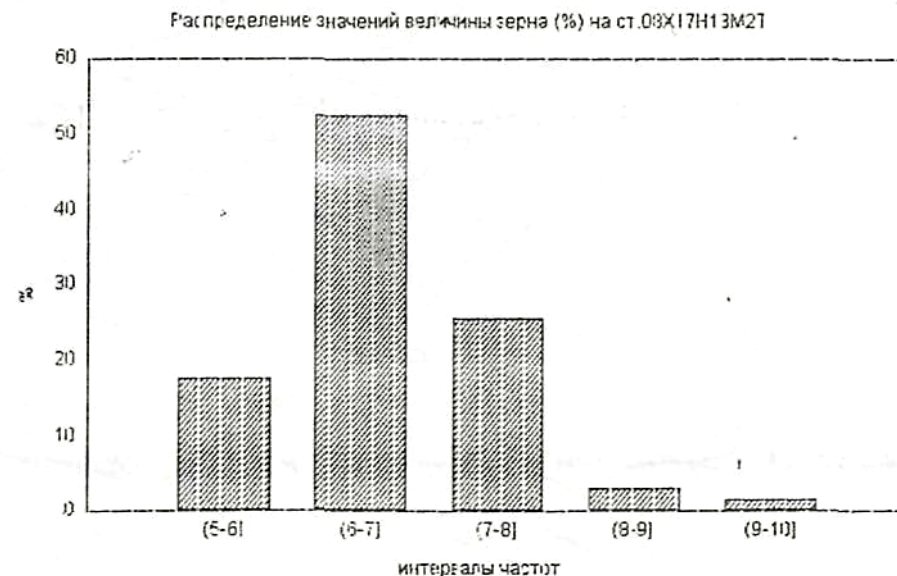
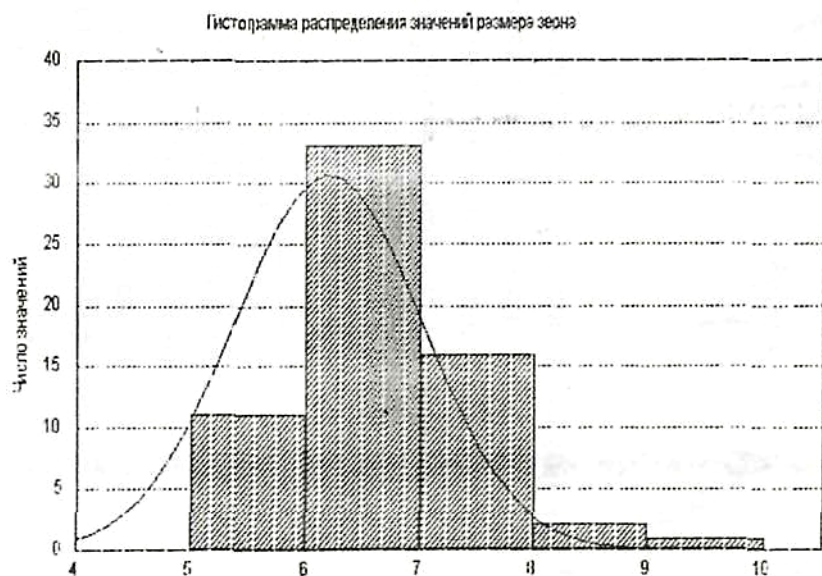


Рисунок 3.18 – Гістограми розподілу значень зерна ст.07X18H10із загартуванням у потоці стан



Гистограмма распределения значений размера зерна

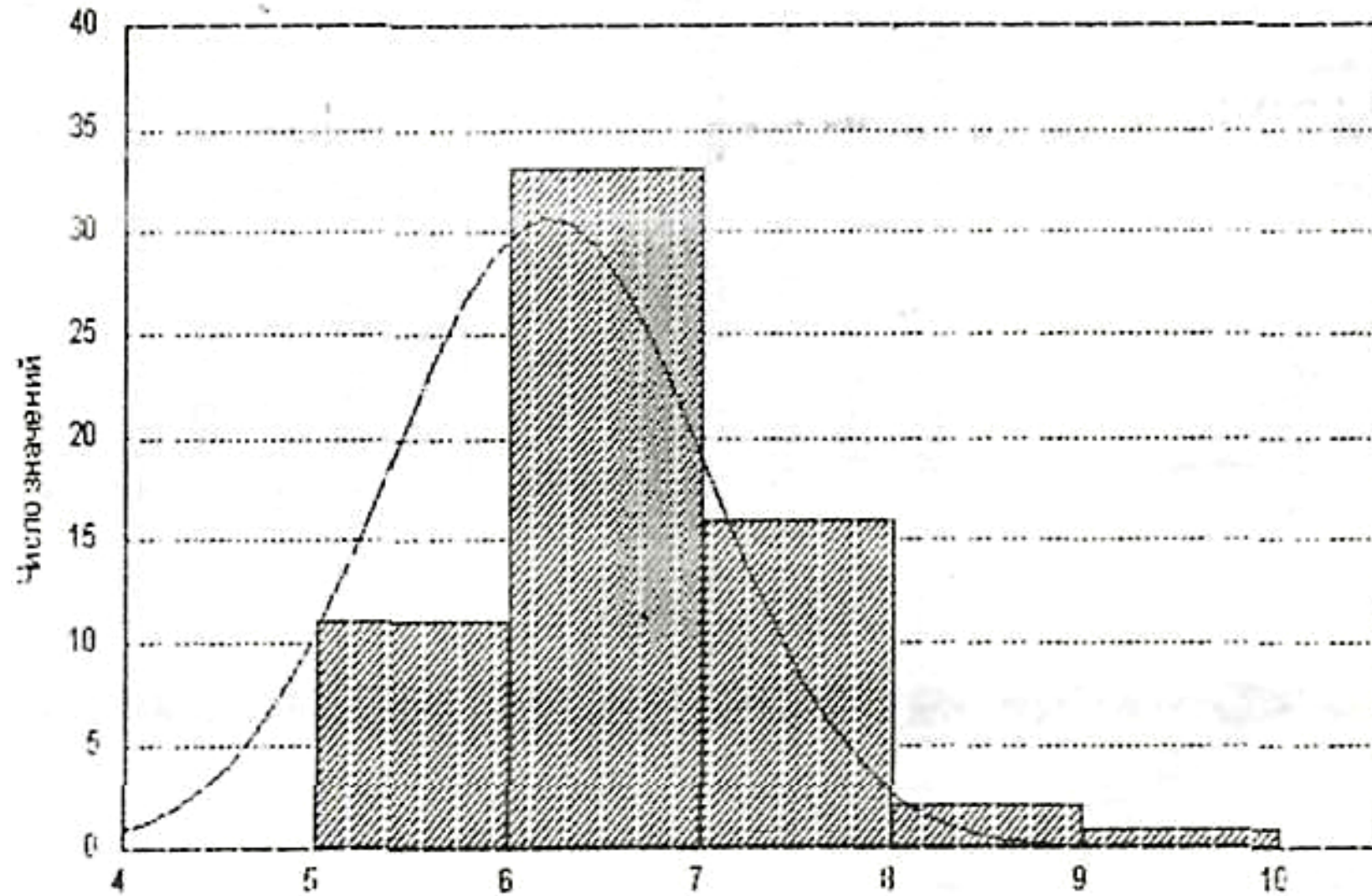


Рисунок 3.19 – Гістограми розподілу значень зерна ст.07X18H10із загартуванням у потоці стан

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характеристика ступеня безпеки, рівня механізації і автоматизації

Цех гарячої прокатки сортового металу у своєму составі має ділянки з різними шкідливими умовами праці. Одним з основних ділянок цеху є стан гарячої прокатки, на якому роблять гарячу обробку металів тиском. Стан гарячої прокатки так само має безліч ділянок: грубний, чорнова й чистова група клітей, хвостова частина.

У прокатному цеху й безпосередньо на стані 550 застосовуються наступні технічні засоби забезпечення безпеки праці: огорожувальні пристрої, що створюють перешкоду між людиною й небезпечним фактором, що надійно охороняють працюючого незалежно від правильності або не правильності його дій; запобіжні пристрої на випадок аварійних режимів – відключення встаткування при порушенні контрольованого параметра (температури, тиску, переміщення, величини струму або напруги, зусилля); гальмові пристрої для швидкої зупинки частин, що рухаються, машини й устаткування; блокувальні пристрої, що забезпечують фіксацію частин механізму в певному стані; сигналізація про наступаючою або небезпеку, що наступила (світлова, звукова й знакова). Велике значення має правильний розподіл функції між людиною й машиною з метою зменшення ваги праці з роботи [25].

Оператор стана, так і вальцювальник стана 7 розряду, є працівниками стана, які відповідають за ведення технологічного процесу й основним місцем роботи є пост керування станом на якому вони проводять 81,34% у зміну, що становить 6,5ч., а також 5,4% робітника часу на перевалочних роботах, переважно ручній роботі, що становить 0,43ч. Вальцювальники стана 5 і 6 розрядів попадають під категорію робітників, які виконують всі побічні роботи, переважно ручної праці: підготовка стана до перевалки, перевалка, збирання обрізі і настроювання допоміжного устаткування стана. Виходячи із практичних даних

вальцювальники 5 і 6 розрядів під впливом ручної праці перевищують 37,2% робітника часу, що становить 2,98ч і 46,4% робітника часу при механізованій роботі, що становить 3,7ч. Дані показники роботи робітників показують, що на стані використовують професії сінної праці.

Рівні механізації праці:

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\% ; \quad (4.1)$$

де М- сума годин механізованої праці;

Р- сума годин ручної праці.

Рівень механізації праці для оператора:

$$B_{оп} = \frac{6,5}{6,5 + 0,43} \cdot 100\% = 93,8\%$$

Рівень механізації праці для вальцювальника:

$$B_{вал} = \frac{3,7}{3,7 + 2,98} \cdot 100\% = 55,4\%.$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 - Розрахунок рівня механізації робітників чорнової й чистової групи клітей стана 550

№ п/п	Професія	Розряд	Штат робітників у зміну	В отраб. годин одним робітником у зміну			Відсоток механізов. праці
				У ручну, година.	За допомогою машини, година.	Усього, година.	
1	Вальцювальник	7	1	0,43	6,5	6,93	55,4
2	Вальцювальник	6	1	2,98	3,7	6,68	55,4
3	Вальцювальник	5	1	2,98	3,7	6,68	55,4
4	Оператор	6	1	0,43	6,5	6,93	93,8
5	Оператор	5	3	0,43	6,5	6,93	93,8

## 4.2 Розробка мер захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Перелік технічних і санітарно-гігієнічних мір виробничої сфери й робочих місць наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Міри захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії й призначення	Місце установки
1	Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі кабіни й перегородки	Звукопоглинання й відбиття, ізоляція органів слуху	Біля істочників шуму, у приміщенні оператора
2	Паровиделення	Витяжна вентиляція	Примусовий механічний отсос утворення пар	Над станом
3	Небезпечний рівень струму й напруги	Ізоляція й огороження струмоведучих частин, заземлення й блокування	Захист від дотику й струмоведучих частин устаткування	Навколо струмоведучих частин і навколо корпусів ел.двигуна
		Запобіжники плавкі, дистанційні магнітні пускачі	Захист від високих рівнів струму, керування двигуном на відстані	На панелях пульта керування
4	Рушійні частини механізмів	Кожуха, сітки, запобіжні пристрої	Захист від зіткнення частинами, що рухаються, і механізмами	В електросхемах приводів, навколо встаткування
5	метал, Що Переміщається	Огороження й розмітка небезпечної зони, знаки безпеки	Захист від травм під час руху й переміщення металу	На території небезпечних зон

### *Технічні рішення по виробничій санітарії*

Площадка, на якій розташований прокатний цех, обрана з умов прямого влучення сонячних променів, природного провітрювання й відводу стічних і поверхневих вод. Рівень підземних, ґрунтових вод на площадці повинен бути нижче рівня підлоги споруджень цеху.

Між житловою зоною й заводом передбачається санітарна зона, розміри якої залежать від потужності технологічного процесу, характеру й кількості виділюваних у навколишнє середовище шкідливих речовин, видаваних шумів і інших шкідливих факторів. Передбачають міри, що зменшують їхній несприятливий вплив на навколишнє середовище і які забезпечують дотримання вимог відносно шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктах, робочій зоні приміщень.

### *Освітленість*

У прокатному цеху застосовується природне й штучне висвітлення. Природне висвітлення забезпечується одночасно через світлові прорізи в бічних стінах і ліхтарі (комбіноване висвітлення).

З роботи [26], роботи, виконувані робочим перегартом при прокатці слябів, відносять до 8 розряду зорових робіт. У приміщеннях цеху для висвітлення застосовують, як правило, газорозрядні машини. Типи світильників вибирають залежно від умов їхньої роботи й вимог до якості висвітлення. Для загального висвітлення застосовують світильники "Альфа". У місцях підвищеної небезпеки, де освітленість при системі загального висвітлення становить 150ЛК і менш, норму освітленості збільшують на один розряд.

У випадку виходу з ладу робочого висвітлення використовують аварійне висвітлення, що забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху установка аварійного висвітлення обов'язкова на пості керування прокатним станом, пунктах керування системами водопостачання, вентиляції й каналізації, у машинному залі й диспетчерському пункті.



Найменша освітленість робочих поверхонь потребує обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального робочого висвітлення, але не менш 2ЛК. Аварійне висвітлення для евакуації персоналу, проходів і щаблів сходів не менш 0,5ЛК.

Освітленість є основним проблематичним питанням у металургійному виробництві й пов'язане з тим, що пил зменшує видимість і приводить до забруднення ліхтарів.

### *Мікроклімат*

Для обігріву цеху в зимову пору року уздовж стін на ділянках, де працюють люди, встановлене водяне опалення. Для перемішування повітря встановлені калорифери типу СТД-300. вони розташовані так, що від них струмінь примусової подачі повітря сковзала уздовж прольоту.

Для відбиття припливу холодного повітря з поза під час в'їзду й виїзду залізнично-дорожнього й автомобільного транспорту над воротами встановлені пристрої для створення завіси з теплого повітря. Всі обігрівальні установки забезпечують температуру повітря в приміщенні в межах 16 – 20° С.

Вентиляція виробничих приміщень забезпечує потрібні гігієнічні якості повітря.

У цеху спостерігається зайве теплове виділення від нагрітого металу, виділення пилу - незначне.

Ділянка стана 550 ставиться до 1а групи для забезпечення нормального повітрообміну в стінах цеху передбачені для природної вентиляції три ряди отворів:

1ряд - на рівні 1,5м від підлоги;

2ряд - на рівні 4,5м від підлоги;

3ряд - на рівні 8,5м від підлоги.

Для видалення зайвого тепла й вентиляції в прольоті стана передбачений аераційний ліхтар. У літню пору для природної вентиляції використовуються також відкриті ворота. Але оскільки джерел виділення тепла багато, нагрівальна

піч, нагрітий метал, двигуни головного привода й т.д., те передбачена система приточної вентиляції.

### *Санітарно-побутові приміщення*

Створення прийнятних санітарно-побутових умов у приміщеннях, у значній мірі попереджають захворювання працюючого персоналу в цеху металургійного виробництва. Будинок побутових приміщень п'ятиповерхове. Висота поверхів більше 3 метрів. Відношення площі вікон і площі підлоги 1:5...1:9, що забезпечує достатню освітленість приміщень.

Робочий і чистий одяг зберігається в закритих одинарних шафах. Ширина проходів між шафами не менш 1м. Душові кабінки площею  $6,8\text{ м}^2$  на одну душову установку.

### *Міри пожежної безпеки*

Приміщення цеху ставляться до категорії "Г" по пожежобезпеки, це викликано тим, що в цеху має наявність пожежоопасних факторів, пов'язаних із застосуванням: газових сумішей IV групи, для опалення нагрівальних печей, а також із застосуванням його при порізці металу за допомогою переносних газоріжучих пристроїв, що змазують і гідравлічних рідин, які можуть при більших температурах запалюватися. Для зменшення пожежоопасних факторів застосовується комплекс заходів для пожежної безпеки, які спрямовані в різнобічних напрямках. Установлено пожежні щити, розташовані протипожежні гідранти, поширені засоби індивідуального пожежогасіння, а також розроблені блокувальні системи блокування поширення пожежі в просторі.

Для успішної евакуації людей і цінностей передбачені виходи припустимої довжини й ширини, розміри дверних прорізів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідне число сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів.

Необхідний ступінь вогнестабільності виробничих будинків промислових підприємств визначається залежно від категорії вибухонебезпечності виробництва, площі й висоти будинку. Стіни будинку зроблені з неспаленого

матеріалу. Для забезпечення безпечної евакуації в будинку цеху розташовані евакуаційні виходи.

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовують тверді, рідкі й газоподібні речовини: вода, інертний газ, хімічну й повітряно-механічну піни, пісок.

У прокатному цеху, у цей час застосовуються хімічні й пінні вогнегасники типу ОХП-10; ОВП-5; ОВП-10, вуглекислотні вогнегасники, які розташовані на протипожежних стендах.

### **4.3 Заходи щодо захисту навколишнього середовища**

Для зменшення впливу інфрачервоного випромінювання на зорові органи робітників раціонально використати світлові екрани, які безпосередньо встановлюються на постах, де оператори й вальцювальники візуально контролюють процес прокатки.

Вплив пилу й шкідливих хімічних речовин можна зменшити шляхом вологої утилізації, за допомогою пиловловлювачів і спрямованою аерацією робочої зони, шляхом установки засобів аерації.

Мікроклімат у цеху локалізувати у цілому, практично неможливо, але безпосередньо локалізація мікроклімату на робочих крапках, можна провести установку вентиляторів, кондиціонерів і інших пристроїв аерації.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізований процес прокатування інструментальних сталей на безперервному чотирьохкільтовому середньосорттовому стані гарячої прокатки 550. Дана характеристика енергосилових та температурно-швидкісних параметрів процесу. Оптимізація вищезазначених параметрів є актуальною для розглянутого стану.
2. Проведен літературно-пошуковий облік видань за останні десять років з метою встановлення актуальності проблеми, знаходження аналогічних наукових робіт та відтворення стану вибраної теми роботи у сучасному світі виробництва.
3. Розроблено і освоєна технологія гартування прокату нержавіючих сталей у потоці стану 550, що забезпечує показники якості в готовому прокаті на рівні загартованих зразків.
4. Використання загартування нержавіючих сталей у потоці стану 550 дозволяє виключити з технологічної схеми гартування прокату сортаменту стану 550 з окремого нагрівання в КПЦ, що забезпечує економію на витратах по переділі більше 100грн/т і поліпшує технологічність прокату при наступній ад'юстажній обробці.
5. Для підвищення значення коефіцієнта відтворюваності процесу ( $C_{рк}$ ) стосовно до розміру аустенітного зерна вжити заходів по стабілізації температури кінця прокатки нержавіючих сталей на стані 550.
6. Для підвищення стабільності результатів процесу загартування в потоці стану 550 установити додатково два вентилятори по шляху проходження розкату від стану до ділянки різання, а в літню пору використати спосіб водно-повітряного охолодження на шлеперах.
7. Матеріалознавчі дослідження зводиться до аналізу мікроструктур відповідних марок сталей, їх ретельного вивчення та тлумачення.

8. Розглянуті питання охорони праці при проведенні дослідження. Встановлено, що застосування результатів роботи не погіршить стан охорони праці.
9. Наданий економічний аспект проблеми оптимізованих математичних моделей на виробництві та розглянуті питання економічної сторони прокату, зроблено прогноз внутрішнього поживання різновидів прокату.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Серeda Б.П. Теория строения жидкого, кристаллического и аморфного состояния вещества. ЗГИА. Запорожье, 2003. 206 с.
2. Серeda Б.П. Обробка металів тиском. Учб. Посібник. Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2005. 243 с.
3. Серeda Б.П. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов. /Учеб. Пособ. В 2-х книгах. Запорожье. Изд-во ЗГИА, 2001. 375 с.
4. Термическая обработка. Учебное пособие для студентов ЗГИА / Сост. Серeda Б.П. Запорожье: ЗГИА, 2003. 270 с.
5. Серeda Б.П. Металловедение и термическая обработка черных и цветных металлов. Учебн. пос. Запорожье: Изд-во ЗГИА, 2002. 264 с.
6. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів ЗДІА спеціальності “ОМТ” денної та заочної форм навчання / Укл.: Б.П. Серeda, І.В. Кругляк. Запоріжжя, 2004. 82 с.
7. Теорія процесів прокатного та трубного виробництва. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404 “ОМТ” денної та заочної форм навчання / Укл.: Б.П. Серeda, М.Г. Прищип. Запоріжжя, 2004. 42 с.
8. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Термічна обробка металів і сплавів” для студентів спеціальності 6.090404 Обробка металів тиском” / Укл. Б.П. Серeda, І.В. Палехова, І. В. Кругляк. Запоріжжя: ЗДІА, 2001. 28 с.
9. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи (проекта) для студентів ЗДІА спеціальності 7.090404, 8.090404”Обробка металів тиском” денної та заочної форм навчання /Укл.: Б.П. Серeda. ЗДІА, Запоріжжя, 2006. 78 с

10. Бровман М.Я. Энергосиловые параметры при контролируемой прокатке. Производство проката. №8, 2003.
11. Князев А.Л. Анализ энергосиловых параметров процесса горячей прокатки широких полос толщиной 0,8-0,15 мм. Производство проката. №4, 2004.
12. Галкин М.А. Исследование влияния температурно-скоростных режимов деформации на сопротивление деформации и пластичность сплавов. Производство проката. №9, 2003.
13. А.И. Александрович, В.С. Берковский, А.В. Монастырский. «Моделирование процесса прокатки с использованием комбинированных Эйлера-лангранжевых переменных (КЭЛ метод)». Известия ВУЗов. Черная металлургия. №9, 2003. С 23-26.
14. Галя А.В. Влияние технологических факторов передела на качество стали типа X12. Научно-техническая конференция молодежи ОАО «Днепропетцсталь». 2004. С 30 – 36.
15. Л.А. Поздняк, С.И. Тишаев, Ю.М. Скрынченко и др. Пути развития инструментальных сталей. Инструментальные и подшипниковые стали. Тематический отраслевой сборник №1. «Металлургия», 1973. С 5 – 21.
16. Гурьев А.М. О разработке высокоэффективных технологий термоциклического упрочнения инструментальных сталей. Сталь. №2, 2002.
17. Ю.В. Зильберг, М.М. Родман, Ю.П. Ковтанюк и др. Прокатка труднодеформируемых высокохромистых сталей на стане 550. Сталь. №12, 1996.
18. Гарбер Э.А. Расчет энергосиловых параметров прокатки широкополосных станов холодной прокатки. Сталь. №9, 1998.
19. Б.П. Хасен, Е.А. Яковлев, А.Б. Серикбаева и др. Опыт плазменного упрочнения плоских ножей из стали X12МФ. Сталь. №2, 2002.
20. В.В. Ветер, Е.Л. Торопцева, Е.Л. Лихачев и др. Выбор режимов термообработки для восстановления валков из стали 9X2МФ. Сталь. №2, 2002.

21. А.Н. Тумко, С.В. Ревякин, О.Е. Козлов. Определение технологической пластичности слитков сталей типа Х12 и Х12МФ с использованием пластометра. Сталь. №9, 2002. С 84 – 87.
22. О.Е. Ярошенко, А.Н. Тумко, А.И. Лобов. Уменьшение остатков карбидной сетки в прокате стали ШХ15(СГ).
23. И.Н. Иванов, А.В. Ковалев. Выбор оптимальной стратегии металлургической компании. Сталь. №9, 2004. С 59 – 62.
24. Статистичний щорічник України. Київ : вид-во «Укр. енциклопедія» ім. М. П. Бажана. 1997. 110с.
25. Долгоруков. Ю.М. Економічне забезпечення структурної перебудови металургії України. Економіка України. №10, 1995. С 40-43.
26. А.С. Заваров, М.Ф. Рыбаков, О.К. Витт. Термообработка инструментальных сталей в кипящем слое. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. №11, 1977. С 60 – 63.
27. Н.А. Хазанов, М.В. Раков. Влияние вольфрама на рост аустенита. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. №11, 1977. С 40 – 42.
28. Т.Г. Наумова, К.А. Ланская, А.Г. Рахштадт. Изотермический распад аустенита хромистых сталей. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. №1, 1978. С 64 – 66.
29. А.Э. Паварас, Р.П. Габшявичюте. Остаточный аустенит в инструментальной стали Х12М. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. №8, 1981.
30. Антипин В.Г. Прокатные станы. Справочник. Москва : Металлургия, 1992, 492 с.
31. А. В. Кучерев, И.М. Зиновьев и др. Расчет энергосиловых параметров процессов листовой прокатки. Труды IV конгресса прокатчиков II. 2002. С 293-296.
32. Чижииков Ю.М. Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов. М.: «Металлургия», 1965. 500 с.



33. Гуляев А.П. Металловедение. М.: «Оборонпром», 1951. 484 с.
34. Чепгунов Ю.П. Себестоимость проката и пути ее снижения. Москва : «Металлургия», 1973. 95 с.
35. А.Ф. Метс, Б.П. Бельгольский, Н.В. Абакумова. Совершенствование организации, планирования и управления в прокатном производстве. Москва : «Металлургия», 1979. 230 с.
36. Н.С. Вишне夫斯基, В.Ф. Константинов. Повышение стойкости разделительных штампов. Москва : «Машиностроение», 1984. 118 с.
37. А.Н. Скороходов и др. Оптимизация прокатного производства. Москва : «Металлургия», 1983. 432 с.
38. А.Б. Мигачев, А.И. Потапов. Пластичность инструментальных сплавов. Москва : «Металлургия», 1980. 88 с.
39. Ю.М. Крыстенко, Л.А. Позняк. Работоспособность и свойства инструментальных сталей. Киев : Наук.думка, 1979. 168 с.
40. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьев. Материаловедение. Москва : «Машиностроение», 1980. 493 с.
41. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов. Москва : «Машиностроение», 1989. 640 с.
42. А.И. Целиков, А.И. Гришков. Теория прокатки. Москва : «Металлургия», 1970. 358 с.
43. П.И. Полухин и др. Прокатное производство. Москва : «Металлургия», 1968. 676 с.
44. Технологическая инструкция. По термическому цеху. «Коммунар» Запорожье, 1972. 92 с.
45. В.М. Клименко, А.М. Онищенко, А.А. Минаев и др. Технология прокатного производства. Киев : Вища школа. 1989. 310 с.
46. В.Г. Дрозд, А.И. Мерников. Сортовые прокатные станы. Москва : «Металлургия». 1967. 180с.
47. Теория прокатки. Справочник / А. И. Целиков и др. Москва: Металлургия, 1982. 334 с.

48. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. Москва : Металлургия, 1969. 268 с.
49. Полухин П.И. Технология процессов обработки металлов давлением. – Москва : Металлургия, 1988. 408 с.
50. Полухин П.И. Пластическая деформация металлов и сплавов. Москва : Металлургия, 1985. 91 с.
51. Сборник технологических инструкций по прокатному цеху. ТИ 143 – П – 1 – 04. Запорожье, 2004.
52. Технологические особенности производства высококачественного проката. Под ред. А.Ф. Пименова. М.: Металлургия, 1987. 88 с.
53. Целиков А.И. Теория расчета усилий в прокатных станах. Москва : Металлургия, 1956. 237 с.
54. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Москва : Металлургия, 1985. 376 с.
55. Королев А. А. Механическое оборудование прокатных цехов черной и цветной металлургии. Москва : Металлургия, 1976. 544 с.
56. Ф. К. Иванченко, В. М. Гребенюк, В. І. Ширяев. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів. Киев : Вища школа, 1995. 454 с.
57. А. П. Гуляев, К. А. Малинина, С. М. Саверина, Инструментальные стали. Справочник, М., 1961.
58. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. 3 изд., Москва ; «Металлургия», 1968. 568 с.
59. Україна у цифрах у 1998 році: Корот. стат. довід. Державний комітет статистики України: Під. Ред. О. Г. Осауленка.
60. Ляхтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Москва : Металлургия , 1984. 360 с.
61. Челноков Н.М. Технология горячей обработки материалов. Москва : Металлургия. 1972. 580 с.
62. Д.Д. Бурдаков, С.А. Володин, Н.К Жилки. Общая металлургия. Москва : Металлургия. 1971. 435 с.

63. Злобинский В.М. Охрана труда в металлургии. Москва : Металлургия 1975. 425с
64. Юзов О.В. Анализ производственно-хозяйственной деятельности предприятий черной металлургии. Москва : Металлургия, 1980. 326 с.
65. У. Черчмен, Р. Акоф, Л. Арноф. Введение в исследование операций: Пер. с англ. М.: Наука, 1968. 527 с
66. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Пер. с англ. Москва : Мир, 1963. 458 с.