

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра металургії матеріалознавства та організації виробництва

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП

Володимир ПАШИНСЬКИЙ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інноваційна діяльність в матеріалознавстві»  
за спеціальністю 132 Матеріалознавство

**на тему « Розробка заходів з освоєння виробництва сталі марки DC01  
мартенівської виплавки з забезпеченням механічних властивостей у повній  
відповідності з EN 10130-2006 »**

Керівник роботи



Володимир ПАШИНСЬКИЙ

Консультант від бази  
практики

Володимир МАКАРЕНКО

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Олександр СПІЧАК

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Віктор КОЛЕСНИК

Кам'янське 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	Гірничо-металургійний
Кафедра	Металургії, матеріалознавства та організації виробництва
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	132 Матеріалознавство
ОПП	Інноваційна діяльність у матеріалознавстві

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП



Володимир ПАШИНСЬКИЙ  
«05» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Спічка Олександра Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи: Розробка заходів з освоєння виробництва сталі марки DC01 мартенівської виплавки з забезпеченням механічних властивостей у повній відповідності з EN 10130-2006

керівник роботи Пашинський Володимир Вікторович, професор, доктор техн. наук,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики кваліфікаційної роботи, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПАТ «Запоріжсталь» м. Запоріжжя, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження (літературний огляд, недоліки існуючих процесів та матеріалів, сучасні тенденції). 2. Матеріал та методика досліджень (марки та характеристики матеріалів, характеристика відібраних зразків, режими їх обробки (при наявності), методики визначення характеристик матеріалів та обробки даних). 3. Отримані результати та їх аналіз 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Економічне оцінка запропонованих рішень, Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища (при потребі). Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація з вказанням результатів аналізу питання, задач

дослідження, матеріалів та методики дослідження, опису отриманих результатів, економічна оцінка, промислова безпека та захист середовища, висновки

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1 - 4	Пашинський Володимир Вікторович

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

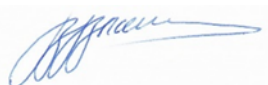
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз питання та постановка задачі дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Матеріал та методика досліджень	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Отримані результати та їх аналіз	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Практичні рекомендації із застосування отриманих результатів. Економічне оцінка запропонованих рішень, Заходи з промислової безпеки та захисту навколишнього середовища	03. 01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.204 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

( *Олександр СПІЧАК* )

Керівник роботи



( *Володимир ПАШИНСЬКИЙ* )

## РЕФЕРАТ

Тема роботи: «Розробка заходів з освоєння виробництва сталі марки DC01 мартенівської виплавки з забезпеченням механічних властивостей у повній відповідності з EN 10130-2006».

Робота містить 177 стор., 42 рис., 48 табл., 16 слайдів.

Викладення змісту роботи: Приведена у магістерській дисертації робота направлена на розробку енергоефективної технології виробництва сталі марки DC01 – основної сталі яка використовується для загальних потреб у країнах Євросоюзу та у всьому світі.

Об'єкт і предмет дослідження: Об'єктом дослідження виступає технологія виробництва сталі марки DC01, предметом дослідження – досягнення межі плинності не більш ніж 280МПа за EN 10130-2006.

Мета і завдання роботи: Розробка технології виробництва сталі марки DC01 у повній відповідності з EN 10130-2006 задля розширення продуктової лінійки та отримання додаткового прибутку комбінату Запоріжсталь за рахунок освоєння цієї технології.

Методи дослідження: У роботі використовувалися наступні методи: це перш за все аналіз поточних статистичних даних механічних властивостей сталі 08кп,пс з метою виділення напрямків роботи, проведення промислових експериментів на базі виявлених закономірностей та виділення основних технологічних режимів обробки, вдосконалення технології за рахунок підвищення енергоефективності відпалу.

Результати дослідження: Розроблена технологія виробництва сталі марки DC01 з механічними властивостями у повній відповідності з EN 10130-2006.

Область застосування: виробництво холоднокатаного металопрокату на ПАТ «Запоріжсталь».

Стислі висновки: В ході освоєння виробництва сталі марки DC01, проведення експериментальної частини і аналізу отриманих механічних властивостей були визначені основні параметри технології (котрі були закріплені в регламенті виробництва сталі марки DC01), які забезпечують стабільне отримання потрібних механічних властивостей, а саме межі плинності не більш ніж 280МПа:

А) обмежений хімічний склад сталі: С – нб 0,1%, Мп – 0,2-0,4%, S – нб. 0,035%, Р – нб. 0,035%;

Б) змотування смуги в ЦГП проводити без охолодження – це по суті додаткова термообробка підкату;

В) відпал проводити по режиму сталі марки 08Ю (він же самий енерговитратний) з проміжними витримками;

Г) відбір проб на випробування проводити при піднятих натискних винтах дресирувального стану щоб виключити повторне дресирування участку проби.

Після масового освоєння виробництва сталі марки DC01 у три етапи було проведено модернізацію режимів відпалу у печах с HNx газом та печах ф. «Ебнер». Модернізовані режими відпалу повністю забезпечили потрібний рівень механічних властивостей та дозволили підвищити продуктивність ковпакових печей. Дослідні режими відпалу (більш енергоємні у порівнянні з діючими режимами 08кп - по аналогії відпалу сталі 08Ю)+змотування без охолодження гарячекатаного підкату впливають не тільки на механічні властивості, а й на мікроструктуру холоднокатаного прокату, збільшуючи розмір зерна на 1-2 бали у порівнянні з діючими режимами відпалу.

Загальний економічний ефект від модернізації режимів відпалу склав 24,5млн грн/рік.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: DC01, межа плинності, режим відпалу, хімічний склад, EN 10130-2006, економічний ефект, мікроструктура, ковпакові печі.

## ABSTRACT

Research topic: " Development of measures to master the production of DC01 steel of the March smelting with the provision of mechanical properties in full compliance with EN 10130-2006".

The work contains 177 pages, 42 figures, 48 tables, 16 slides.

Summary of the work: The work presented in the master's thesis is aimed at developing an energy-efficient technology for the production of DC01 steel, the main steel used for general needs in the European Union and around the world.

Object and subject of research: The object of the study is the technology for the production of DC01 steel, and the subject of the study is the achievement of a yield strength of no more than 280 MPa according to EN 10130-2006.

Purpose and objectives: To develop a technology for the production of DC01 steel grade in full compliance with EN 10130-2006 in order to expand the product line and generate additional profit for Zaporizhstal Steel Works by mastering this technology.

Research methods: The following methods were used in the work: first of all, the analysis of current statistical data on the mechanical properties of 08kp,ps steel in order to identify areas of work, conducting industrial experiments based on the identified patterns and identifying the main technological processing modes, improving the technology by increasing the energy efficiency of annealing.

Research results: A technology for the production of DC01 steel grade with mechanical properties in full compliance with EN 10130-2006 has been developed.

Research results: A technology for the production of DC01 steel grade with mechanical properties in full compliance with EN 10130-2006 has been developed.

Application: production of cold-rolled steel at PJSC "Zaporizhstal".

Brief conclusions: In the course of mastering the production of DC01 steel, conducting the experimental part and analyzing the obtained mechanical properties, the main parameters of the technology (which were fixed in the DC01 steel production regulations) were

determined, which ensure stable production of the required mechanical properties, namely, yield strength not exceeding 280 MPa:

A) limited chemical composition of steel: C - nb 0.1%, Mn - 0.2-0.4%, S - nb. 0.035%, P - nb. 0,035%;

B) strip coiling in the CGP should be carried out without cooling, which is essentially an additional heat treatment of the coil;

C) annealing is carried out according to the 08Yu steel grade (the most energy-consuming) with intermediate holding times;

D) sampling for testing should be carried out with the pressure screws of the training mill raised to prevent repeated training of the sample section.

After the mass production of DC01 steel was launched, the annealing modes in HNx gas furnaces and Ebner furnaces were modernized in three stages. The upgraded annealing modes fully ensured the required level of mechanical properties and increased the productivity of the ladle furnaces. The experimental annealing modes (more energy-intensive compared to the existing 08kp mode - similar to 08Yu steel annealing) + coiling without cooling of hot-rolled coils affect not only the mechanical properties but also the microstructure of cold-rolled products, increasing the grain size by 1-2 points compared to the existing annealing modes.

The total economic effect of the annealing modes modernization amounted to UAH 24.5 million per year.

**KEYWORDS:** DC01, yield strength, annealing mode, chemical composition, EN 10130-2006, economic effect, microstructure, cap furnaces.

## ЗМІСТ

	Стор.
Завдання на випускню магістерську роботу	3
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	14
1.1 Вплив хімічного складу металу на межу плинності.	14
1.2 Вплив технологічних параметрів гарячої прокатки на межу плинності.	17
1.3 Вплив холодної прокатки та відпалу на показники межі плинності.	23
1.4 Вплив технологічних параметрів дресирування на межу плинності.	31
1.5 Висновки та постановка задачі дослідження	36
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	39
3 ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.	40
3.1 Аналіз статданих механічних властивостей холоднокатаного прокату.	40
3.2 Відпрацювання різних технологічних схем виробництва сталі марки DC01. Перший етап - постановка експерименту щодо оцінки впливу різних режимів відпалу на механічні властивості.	86
3.3 Другий етап - постановка експерименту з оцінки впливу змотування без охолодження і режиму відпалу, аналогічного сталі марки 08Ю, на межу плинності.	94
3.4 Третій етап - оцінка можливості збільшення вмісту фосфору понад 0,25%.	114
3.5 Четвертий етап – вдосконалення технології відбору проб для випробування механічних властивостей.	117
3.6 П'ятий етап - вдосконалення режимів відпалу з метою зниження витрат енергоресурсів і підвищення продуктивності печей відпалу.	118

3.7 Шостий етап - уніфікація режимів відпалу сталі марки 08пс для емалювання і DC01 в ковпакових печах ф. "Ебнер".	132
3.8 Етап 7 зниження витримки до 7 годин замість 9 при відпалі сталі марки DC01 у ковпакових печах зHNx газом.	138
3.9 Оцінка механічних властивостей прокату сталі марки DC01 за розробленою технологією.	142
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ДОСЛІДНИКА	143
4.1 Вимоги безпеки під час виконання роботи.	143
4.2 Вимоги безпеки під час закінчення роботи.	146
5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.	147
ВИСНОВКИ	148
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	150
Додаток А. Регламент з виробництва холоднокатаного прокату зі сталі марки DC01 у повній відповідності з вимогами EN 10130-2006.	154
Додаток Б. Розпорядження по відбору проб на дресирувальних станах.	163
Додаток В. Розпорядження про зміну режиму відпалу.	164
Додаток Г. Розпорядження про зміну режиму відпалу в печах ф. «Ебнер».	169
Додаток Д. Виписка з технологічної інструкції про дороблені режими відпалу сталі марки DC01 .	170
Додаток Е. СПП по вдосконаленню режимів відпалу в печах с HNx газом.	172
Додаток Ж. СПП по вдосконаленню режимів відпалу в ф. «Ебнер».	174
Додаток З. СПП по подальшому вдосконаленню режимів відпалу в печах с HNx газом.	176
Додаток І. Кардинальні правила з охорони праці та промислової безпеки ПАТ «Запоріжсталь»	178

## ВСТУП

Наразі щоб завоювати Європейські ринки сталйна продукція повинна насамперед в повній мірі відповідати вимогам Євростандартів. В основному в Європі для загальних цілей (у виробництві білої техніки, мебелі, посуду, дверей, конструкціях вентсистем, шкафів та ін.) використовують холоднокатаний прокат сталі марки DC01, в Україні – 08кп,пс. Ці марки майже повні аналоги, але основна відмінність полягає в тому, що на сталі марки DC01 межа плинності повинна складати не більш ніж 280МПа, а за стандартами України для 08кп,пс такої вимоги немає. Саме із-за цього комбінат «Запоріжсталь» обмежений у поставках холоднокатаного металопрокату до країн Євросоюзу. Інші механічні властивості та хімсостав сталі марки DC01 повністю відповідають сталі марок 08 кп,пс.

За хімскладом ці марки майже повні аналоги (дивись таблицю 1 нижче)

Таблиця 1 - Хімічний склад сталей.

Марка сталі	С, нб %	Mn, нб%	S, нб%	P, нб%	Si, нб %	Cr, нб%	Ni, нб%	Cu, нб%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
DC01 EN 10130:2006	0,12	0,6	0,045	0,045	-			
08кп ГОСТ 9045-93	0,1	0,4	0,03	0,025	0,03	-		
08пс ГОСТ 9045-93	0,09+0,01	0,45	0,03	0,025	0,04	Al – до 0,07		

Продовження таблиці 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
08кп по ГОСТ 16523- 97 (ссылка на ГОСТ 1050- 2013)	0,05- 0,12+/- 0,01	0,25- 0,5+/- 0,05	0,035+/- 0,005	0,03+/- 0,005	0,03	0,1+/- 0,02	0,3+/- 0,02	0,3
08пс по ГОСТ 16523- 97 (ссылка на ГОСТ 1050- 2013)	0,05- 0,11+/- 0,01	0,35- 0,65+/- 0,05	0,035+/- 0,005	0,030+/- 0,005	0,05- 0,17	0,1+/- 0,02	0,3+/- 0,02	0,3
08пс по ТУ 14-479-2000	нб 0,08	0,2-0,4	0,03	0,025	-	0,1	0,1	0,15 А1- до 0,025
08Ю по ГОСТ 9045- 93	нб 0,07+0,01	нб 0,35	0,025	0,02	0,03	А1 – 0,02-0,07		

Таблиця 2 - Порівняльні дані по вимогам до механічних властивостей сталей.

Найменування характеристики	08кп ГОСТ 9045-93, 08пс ГОСТ 9045-93, 08пс по ТУ 14-479-2000	08кп по ГОСТ 16523-97	DC01 EN 10130:2006	08пс по ГОСТ 16523-97 (ссилка на ГОСТ 1050-2013)	08Ю по ГОСТ 9045-93 ОСВ
1	2	3	4	5	6
Межа плинності, МПа	Не реглам	Не реглам	Нб 280, для штаб товщиною $> 0,5\text{мм}$ і $\leq 0,7\text{мм}$ гранична межа плинності збільшується на 20МПа, для штаб $\leq 0,5\text{мм}$ гранична межа плинності збільшується на 40 МПа. Верхня межа плинності дійсна 8 днів з дня виготовлення продукції.	Не реглам	нб 195

Продовження таблиці 2.

1	2	3	4	5	6
Межа міцності, МПа	250-390	260-380	270-410	270-410	250-350
Подовження,%	Нм 26-29 в залежності від товщини	Нм 26-29 в залежності від товщини	Нм 24-28 в залежності від товщини	Нм 26-28 в залежності від товщини	Нм 34-42 в залежності від товщини
Загиб	-	+	-	+	-
Мікроструктура	+	+	-	+	+
Випробування на глибину лунки	+	+	-	+	+

Як бачимо з таблиці 2 основним показником, яким DC01 відрізняється від наших марок-аналогів є межа плинності. Рівень відповідності вимогам EN 10130-2006 для DC01 межі плинності на сталі 08кп на прокаті, який на даний момент виробляє ПАТ «Запоріжсталь», складає 66-68% (дивись нижче п.3.1.2). З метою повного забезпечення всіх механічних властивостей, освоєння виробництва сталі марки DC01 і отримання додаткових прибутків за рахунок продажу високомаржинального холоднокатаного прокату сталі марки DC01 на Європейських ринках і пропонується провести роботу.

## 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Межа плинності є однією з найважливіших характеристик якості автолисту, чим нижче межа плинності тим менш потрібне зусилля для витяжки и тим менш вірогідність розриву металу при штампуванні. За літературними даними на величину межі плинності особливо відображається вплив хімічного складу, структури сталі та ступеня деформування при дресированні.

### 1.1 Вплив хімічного складу металу на межу плинності.

Значний вплив на механічні властивості холоднокатаного прокату надає хімічний склад сталі [1]. Особливо сильно впливають вуглець та домішки - такі як сірка та фосфор. Автор відмічає, що межа плинності та міцності зі збільшенням вмісту вуглецю збільшується, а відносно подовження та глибина витягування зменшуються. Так, межа плинності дресированої сталі 08кп (при відносному обтиску 0,8%) збільшується зі 180 МПа до 225 МПа при збільшенні вмісту вуглецю з 0,04 до 0,08%. Зі збільшенням вмісту вуглецю змінюється мікроструктура холоднокатаних листів. У зв'язку з тим, що вуглець у листі знаходиться головним чином в якості цементиту  $Fe_3C$ , зі збільшенням вмісту вуглецю збільшується вміст цементиту. Особливо шкідливий цементит, який виділився по границям зерен, так як в цьому випадку листи будуть розриватися при штампуванні. Частинки цементиту повинні бути мілкими та рівномірно розташовані у ферритнім полі без утворення сітки, що можливо тільки в сталях з низьким вмістом вуглецю. Слід зазначити, що стан в якому знаходиться вуглець в маловуглецевій сталі, має більш значну роль ніж його кількість. У фериті звичайно знаходиться незначна частина вуглецю. Вуглець в сталі знаходиться головним чином у вигляді цементиту. Форма, дисперсність та розподіл цементиту в структурі металу мають великий вплив на здатність сталі до витягування.

Марганець, як і вуглець підвищує характеристики міцності сталі, хоча і в меншому ступені ніж вуглець. В сталі марганець може бути у вигляді карбиду марганцю  $Mn_3C$ . Безпосередній вплив марганцю на здатність до витягування при його вмісті у сталі до 0,45% незначний, так як у фериті розчинюється незначна частина марганцю. Якщо ж вміст марганцю більш ніж 0,45%, його вплив становиться відчутним.

Вміст сірки в низьковуглецевій сталі повинен бути мінімально можливим. Шкідливий вплив сірки із-за утворення сульфідів заліза та марганцю позначається на виникненні сегрегацій, в результаті чого на слябах виникають рванини та збільшується ламкість при глибокому витягуванні.

Фосфор як і сірка є шкідливою домішкою в сталі, особливо шкідливим є сполука  $Fe_3P$ . З підвищенням вмісту фосфора в холоднокатаній сталі 08Ю з 0,009% до 0,017% межа плинності збільшується на 12 МПа, а також підвищується межа міцності, зростає твердість та незначно зменшується відносне подовження. При виплавці сталей з особливо високою витяжкою (з регламентованою межею плинності) необхідно приділяти увагу чистоті шихти, щоб у сталь не попали в небажаній кількості такі домішки як хром, нікель, мідь, які викликають підвищення межі плинності у холоднокатаній сталі (рисунок 1.1).

Кремній також підвищує межу плинності та межу міцності та разом з тим знижує відносне подовження у сталі. У прокаті сталей марок 08кп,пс вмістка кремнію дуже незначна та близька до 0.

Вміст таких домішок як миш`як, азот водород та кислород також небажаний.

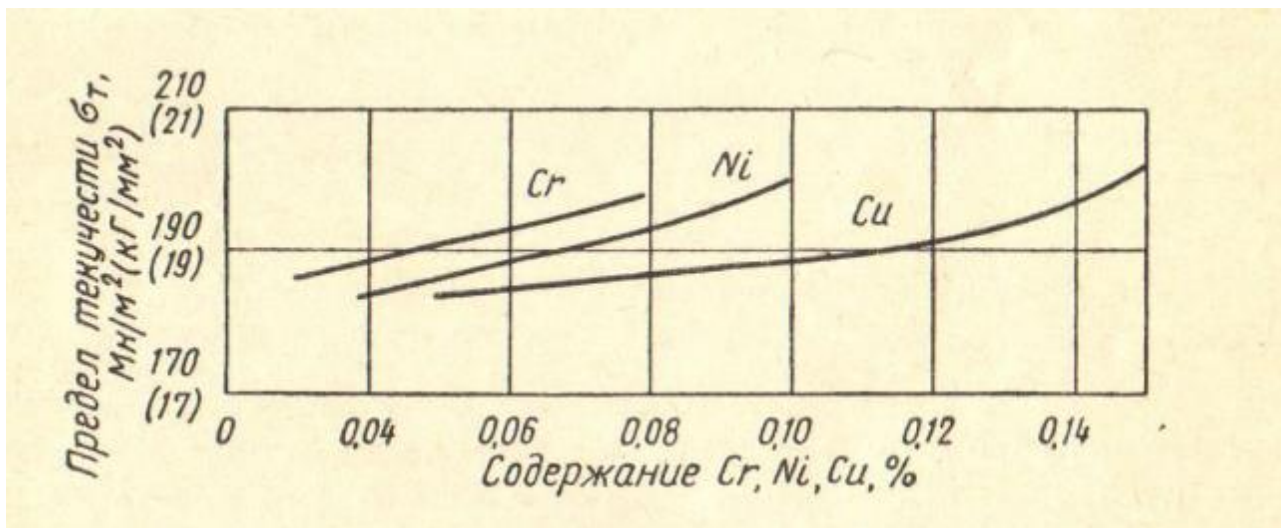


Рисунок 1.1 [1] – Залежність межі плинності від вмісту хрому, нікелю та міді в низьковуглецевій сталі.

Аналогічні висновки викладені у патентах на виготовлення сталі DC01 та її аналогів. У [2,30,35] метою дослідження стало отримання сталі марки DC01 з високою міцністю та низькою межею плинності для автомобільної промисловості. Автор пропонує передусім обмежити хімсостав сталі: C-0,02-0,04%, Mn – 0,2-0,35%, Si -  $\leq 0,03\%$ , P -  $\leq 0,01\%$ , S -  $\leq 0,01\%$ , Al - 0,02-0,06%. Параметри гарячої прокатки: температура кінця прокатки –  $930 \pm 20^\circ\text{C}$ , температура змотування  $730 \pm 20^\circ\text{C}$ . Параметри переділу в цеху холодної прокатки: відносне обтиснення при холодній прокатці 75-85%, температура відпалу  $780 \pm 20^\circ\text{C}$  (відпал у АНО), відносне обтиснення при дресированні –  $0,9 \pm 0,3\%$ . Вказані параметри автор розробив та проконтролював додатково від діючої нормативної документації. У кінцевому продукті автор отримав холоднокатаний лист з низькою плинністю, високою міцністю і за рахунок цього отриманий значний економічний ефект.

Схожими методами оперували спеціалісти ММКІ [3]

Автор роботи [4] пропонує підвищити пластичні властивості гарячекатаного підкату за рахунок обмеження вмісту вуглецю в сталі до 0,07% як основного зміцнюючого елементу.

1.2 Вплив технологічних параметрів гарячої прокатки на межу плинності.

Структура гарячекатаних штаб повинна мати однорідне зерно фериту та рівномірне розподілення карбідів [1]. Розмір зерен фериту та структура холоднокатаного листа після відпалу також визначаються мікроструктурою гарячекатаної штаби. Холодна прокатка не усуває крупнозернистості отриманої при гарячій деформації. Нерівномірні зерна в гарячекатаній штабі зберігаються в холоднокатаному листі. Практично встановлено, що оптимальний розмір зерна в гарячекатаному листі для вельми глибокої витяжки повинен бути в межах 5-8 балів при нерівномірності по розміру в межах трьох суміжних балів. Основними чинниками, які впливають на розмір зерна фериту, розмір карбідів та рівномірність їх розподілу є температурний режим гарячої прокатки та змотування штаб, а також режим обтиснення при гарячій прокатці. Якщо закінчувати прокатку штаб при температурах вище за верхню критичну точку ( $A_{r3}$ ) тобто в аустенітному стані, то в цьому випадку формується однорідна структура під дією механізму перекристалізації аустеніта у ферит. Якщо прокатку штаб закінчувати в інтервалі критичних температур ( $A_{r1}$ - $A_{r3}$ ) то в цьому випадку одночасно протікають два процеси – перекристалізація аустеніта в ферит та рекристалізація деформованого фериту, що приводить до отримання нерівномірних по розміру зерен. На форму та розмір зерна особливий вплив виявляє обтиснення в останній кліті стана.

Міцність, твердість та межа плинності гарячекатаної сталі підвищуються зі зниженням температури змотування. Змотування вище ніж  $800^{\circ}\text{C}$  також викликає підвищення твердості в результаті виділення цементиту по границях зерен. Підтвердженням цього слугують дані наведені у таблиці 1.1 .

Відпал холоднокатаного рулону фактично відновлює механічні властивості гарячекатаного прокату після холодної прокатки, тому щоб досягти зменшення межі плинності холоднокатаного рулону потрібно зменшити цю характеристику у гарячекатаному стані металу. У своїй роботі [5,6] автор встановив, що для успішної переробки гарячекатаного підкату в холодному стані, підкат повинен мати достатню пластичність, високу однородність мікроструктури, низьку межу плинності. Автор

Таблиця 1.1 [1] – Вплив температури змотування на мікроструктуру та механічні властивості гарячекатаних зразків низьковуглецевих сталей.

Сталь	Товщина полоси мм	Температура, °С		Розмір зерен феррита, балли	Предель текучести, $\sigma_T$		Предель прочности $\sigma_B$		Относительное удлинение %	Твердость HRB <sub>100</sub>
		конец про- катки	сметки		Мн/м <sup>2</sup>	кг/мм <sup>2</sup>	Мн/м <sup>2</sup>	кг/мм <sup>2</sup>		
08пс	3,2	890—900	690—700	7—6	286,1	29,2	345,9	35,3	27,5	66*
		880—900	540—560	8	310,6	31,7	381,2	38,9	31,3	68
		890—910	460—530	8—7	301,8	30,8	371,1	37,8	30,0	66
		880—900	370—420	8	296,9	30,3	368,5	37,6	30,3	68
15пс	2,5	835—840	690—645	8—7	281,4	28,7	421,4	43,0	28,5	68*
			500—520	8—7	288,1	29,4	431,2	44,0	32,4	72
			410—440	8	299,9	30,6	452,7	46,2	30,7	73
			350—400	8	296,9	30,3	448,8	45,8	29,3	74
20пс	2,5	830—850	630—655	8—7	290,1	29,6	425,3	43,4	29,7	71*
			550—580	8	316,5	32,3	473,3	48,3	28,4	74
			450—520	8	328,3	33,5	483,1	49,3	29,6	76
			420—480	8	328,3	33,5	470,3	48,6	30,4	77

\* Сметка полосы без водяного охлаждения.

зазначає, що механічні властивості та структурний стан гарячекатаного прокату мають великий вплив на рівень та стабільність властивостей холоднокатаного прокату та на ефективність технології холодної прокатки. На якість холоднокатаного прокату та на параметри технології холодної прокатки впливає також стабільність хімічного складу сталі, температурні умови кінця гарячої прокатки та змотування штабу у рулони. Встановлено, що для формування сприятливої мікроструктури підкату з низьковуглецевої сталі 08кп гарячу прокатку необхідно закінчувати при температурі  $>850^{\circ}\text{C}$  в аустенітній області та змотувати рулони при температурі нижче ніж  $680^{\circ}\text{C}$ . На виконання цих обмежень сильно впливає товщина підкату, зі зменшенням котрої зменшується і температура кінця гарячої прокатки, що погіршує якість гарячекатаного підкату. З цієї причини підкат зі сталі марки 08кп товщиною 2-2,5мм, який випускає НШПС 1680 характеризується значною неоднорідністю мікроструктури по довжині полоси та відрізняється високими характеристиками міцності та низькою пластичністю. Підкат зі сталі 08кп на НШПС 1680 ПАТ «Запоріжсталь» виробляється по схемі прямої прокатки без підігріву слябів після слябінгу. Це приводить до більш жорстких умов пластичної деформації в лінії стану, які негативно впливають на рекристалізаційні процеси та на формування

мікроструктури підкату і як результат на рівень та стабільність механічних властивостей. Результати експериментального дослідження між товщиною температурою кінця гарячої прокатки зі сталі марки 08кп наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 [5,6] - Результати експериментального дослідження між товщиною температурою кінця гарячої прокатки зі сталі марки 08кп.

Товщина підката, мм	Діапазон температури кінця гарячої прокатки підката, °С		Середня температура кінця гарячої прокатки підката, °С			Перепад температури кінця гарячої прокатки по довжині підката, °С			Діапазон предела текучесті підката, Н/мм <sup>2</sup>		Середній предел текучесті підката, Н/мм <sup>2</sup>
	фактичний	найбільш вероятний	всей полоси	переднього кінця	заднього кінця	$\Delta T_{cp}$	$\Delta T_{min}$	$\Delta T_{max}^*$	фактичний	найбільш вероятний	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2,0	769 – 859	775 – 850	811	841	781	60	75	90	274 – 343	285 – 315	309
2,3	786 – 866	795 – 860	829	854	804	50	65	80	260 – 311	270 – 295	286
2,5	804 – 870	810 – 865	838	860	816	44	55	66	254 – 297	260 – 285	276
2,7	812 – 873	820 – 870	847	867	828	39	50	61	249 – 288	255 – 275	269
3,0	821 – 877	830 – 875	855	872	838	34	45	56	242 – 275	245 – 265	259
3,2	836 – 884	840 – 880	862	878	846	32	40	48	240 – 270	245 – 260	255
3,5	845 – 887	850 – 885	868	883	853	30	35	42	240 – 267	245 – 255	253
3,8	851 – 893	855 – 890	872	887	858	29	35	42	239 – 264	245 – 255	252
4,0	859 – 901	860 – 895	874	889	860	29	35	42	239 – 263	245 – 255	251

З таблиці 1.2 витікає, що отримання підкату зі сприятливою мікроструктурою по всій довжині прокату на тонких штабах практично неможливо – це пояснюється значно меншою ніж 850<sup>0</sup>С (до 780<sup>0</sup>С) температурою кінця прокатки.

Автор роботи [8] також зазначає що рівномірна структура по перерізу гарячекатаних штаб, незалежно від досліджених режимів післядеформаційної обробки, формується тільки після деформування при температурі аустенітної області (850 °С). В неблагоприятному температурному діапазоні закінчується прокатка підкату товщиною 2,7мм, середня температура кінця прокатки дорівнює оптимальній, тому отримання підкату з благоприємною мікроструктурою можливо в основному при товщині підкату 2,7мм та більше. Зменшення товщини підкату з 2,7мм до 2,0мм супроводжується зменшенням середньої температури кінця гарячої прокатки з 847<sup>0</sup>С до 811<sup>0</sup>С та значним збільшенням перепаду температури кінця гарячої прокатки по довжині підкату, що приводить до формування мілкозернистої структури з нерівномірним за розміром зерном фериту. З цієї причини підкат товщиною 2,0мм характеризується високим рівнем межі плинності (310Н/мм<sup>2</sup>), великою різницею

значень межі текучості переднього ( $274 \text{ Н/мм}^2$ ) та заднього ( $343 \text{ Н/мм}^2$ ) кінців рулону, а також низькою пластичністю.

Але цей факт врахований в тексті самого EN 10130-2006, який для тонких холоднокатаних штаб допускає деяке збільшення межі плинності:

А) Якщо товщина холоднокатаного прокату менше чи рівна  $0,7 \text{ мм}$  (відповідає гарячекатаному підкату  $2,5 \text{ мм}$  на ПАТ «Запоріжсталь» ) та більша ніж  $0,5 \text{ мм}$  (відповідає гарячекатаному підкату  $2,0 \text{ мм}$  на ПАТ «Запоріжсталь» ) верхня межа плинності збільшується на  $20 \text{ МПа}$ .

Б) Для товщини рівної або менш ніж  $0,5 \text{ мм}$  межа плинності може бути збільшена на  $40 \text{ МПа}$ .

Теоретичні відомості підтверджуються і на практиці якщо порівняти існуючі режими гарячої прокатки і відпалу на ПАТ «Запоріжсталь» з режимами аналогічних заводів, де ця технологія вже освоєна [9,10,27]. Дані були взяті з технологічних інструкцій цих заводів і наведені в загальній таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Порівняльні режими гарячої прокатки і змотування різних марок сталі (гарячекатаного підката для виробництва холоднокатаного прокату) на різних заводах.

Завод	Марка сталі, НД, призначення	Товщина прокату, мм	Температура кінця прокатки, °С			Температура змотування, °С		
			мін	макс	опт	мін	макс	опт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Арселор Міттал Теміртау, для ЛПЦ-2 з відпалом у ковпакових печах	08кп,пс, ГОСТ 16523	2-2,29	840	880	860	550	600	575
		2,3-5,0	860	900	880	550	600	575
	DC01 EN10130	2-2,29	840	880	860	550	600	575
		2,3-5,0	850	890	870	550	600	575

Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	08Ю, 08кп,пс ГОСТ 9045	2-2,29	840	880	860	550	600	575
		2,3-5,0	860	900	880	550	600	575
	08Ю СВ, 08ЮОСВ, 08Ю ВГ,08пс ВГ,08кп ВГ	2,3-2,49	860	900	880	560	600	580
		2,5-4,5	870	910	890	560	600	580
Арселор	DC01 EN 10130	2,3-3,0	860	900	880	650	680	665
Міттал Теміртау, для ЛПЦ-3 з відпалом у ковпакових печах	08Ю, 08кп,пс ГОСТ 9045, ГОСТ 16523	2,3-3,0	860	900	880	650	680	665
Арселор	DC01 EN10130	2,3-3,0	860	900	880	700	740	720
Міттал Теміртау, для ЛПЦ-3 з відпалом в агрегаті безперервного відпалу	08Ю, 08кп,пс ГОСТ 9045, ГОСТ 16523	2,3-3,0	860	900	880	700	740	720
ПАТ Запоріжсталь	08 кп,пс ГОСТ 9045-93	2-2,4	Нм 790			530	580	555
		2,5-2,9	850	880		530	580	555
		3,0-3,9	860	900		530	580	555
		4,0	860	900		530	580	555
	08Ю ГОСТ 9045	2-2,4	Нм 830			540	600	570
		2,5-2,9	Нм 850			540	600	570
		3,0-4,0	Нм 860			540	600	570

Продовження таблиці 1.3.

	08пс для емалювання ТУ 14-4-479-2000	2,0-2,4	Нм 790			Без охолодження		
		2,5-3,0	850	880		Без охолодження		
	08кп,пс підкат для жерсті ТУ 14-4-413-97	2,0-2,3	790	850		500	550	525
ЧАТ «ММКІ»	08кп,пс по ГОСТ 16523, 9045, DC01 EN 10130-2006	До 2,0 вкл	800	880		560	620	
		2,1-3,9	820	880		600	650	

З даних, наведених у таблиці 1.3, можна зробити такі висновки:

1. За режимами кінця прокатки і змотування "Арселор Міттал Теміртау":

А) для ЛПЦ- 2 температура змотування сталі 08кп,пс і DC01 практично однакова - 575<sup>0</sup>С і 580<sup>0</sup>С відповідно;

Б) для гк підкату з призначенням на хк з відпалом в ковпакових печах ЛПЦ - 3 температура змотування становить 665<sup>0</sup>С проти 575<sup>0</sup>С з призначенням на відпал в ЛПЦ-2;

В) для гк підкату з призначенням на хк і відпал в агрегаті безперервного відпалу встановлено підвищену температуру змотування - 720<sup>0</sup>С (це по суті змотування без охолодження) проти 575<sup>0</sup>С при відпалі в ковпакових печах ЛПЦ-2. Ймовірно, це пов'язано з тим, що в агрегаті безперервного відпалу смуга перебуває більш короткий проміжок часу, якого вистачає для проходження рекристалізації, але не вистачає для отримання необхідної межі плинності.

Г) Температура кінця прокатки сталі марки DC01 для різних видів відпалу - в ковпакових печах і АНО змінюється несуттєво в межах 860<sup>0</sup>С - 880<sup>0</sup>С в ковпакових печах ЛПЦ2 і 880<sup>0</sup>С для гк підкату з призначенням на хк прокат з відпалом в агрегаті безперервного відпалу.

## 2. За режимами кінця прокатки і змотування ПАТ "Запоріжсталь":

А) змотування без охолодження відповідає фактичній температурі змотування на тонкому прокаті 2,0 мм - 590<sup>0</sup>С, 2,2 мм - 600<sup>0</sup>С, 3,0 мм - 660<sup>0</sup>С, 3,5 мм - 660<sup>0</sup>С – дані взяті з фактичних діаграм температур змотування ПАТ «Запоріжсталь».

Б) з найнижчою температурою змотування змотується підкат для бляхи - 525<sup>0</sup>С (межа плинності не регламентується, хк прокат проходить відпал у ковпакових електропечах), сталь 08 кп,пс змотується з температурою 555<sup>0</sup>С, 08Ю - з температурою 570<sup>0</sup>С, підкат сталі марки 08пс для емальювання змотується без охолодження, хоча межа плинності для цієї марки в хк прокаті не регламентується. Такий режим змотування для 08пс під емальювання був розроблений раніше для забезпечення показника "наводнювання" для виключення дефекту "риб'яча луска" на емальованому посуді (на цей дефект сильно впливає температура змотування, згідно з раніше проведеними дослідженнями навіть замінили товщину гк підкату з 2,3 мм на 2,5 мм [11] під час холодного прокату тонких профілів (0,65 мм) для підвищення температури змотування).

### 1.3 Вплив холодної прокатки та відпалу на показники межі плинності.

Ще одним ключовим фактором, що впливає на межу плинності, є режим рекристалізаційного відпалу холоднокатаного прокату. Саме під час відпалу формується кінцева мікроструктура, яка і визначає механічні властивості.

Як відомо розміцнюють холоднокатану сталь після холодної прокатки нагрівом до температур близьких до точки  $A_{c1}$  з відповідною витримкою при температурі [1,28,29]. При нагріванні одночасно зі зняттям внутрішніх напруг в холоднокатаному металі утворюються нові рівновісні зерна, тобто проходить процес рекристалізації металу. Структура холоднокатаної відпаленої сталі повинна складатися з основної феритної маси, у якій розчинені мілкі сферодизовані частки цементиту. Розмір зерна фериту після рекристалізації окрім хімічного складу та чистоти металу визначається температурою відпалу, часом відпалу, часом витримки при цій

температурі, розміром природного зерна та ступенем деформації. Температура рекристалізації залежить від ступеня деформації: чим нижчий ступінь деформації тим вища температура рекристалізації. Вплив температури відпалу на змінення межі текучості показаний на рисунку 1.2.

Встановлено, що для нагріву холоднокатаної маловуглецевої сталі її потрібно нагріти до 540-600<sup>0</sup>С. При температурі відпалу 600<sup>0</sup>С рекристалізація повністю проходить за 2 години. Тривалість витримки при інших рівних умовах приводить до того ж результату що і підвищення температури відпалу. При однаковому ступеневі деформації та температурі відпалу 700<sup>0</sup>С рекристалізація проходить за 5 хвил. На практиці при відпалі холоднокатаного металу в стопах із рулонів основний час витрачається на прогрів великих мас металу та його охолодження. Найкраща пластичність досягається при

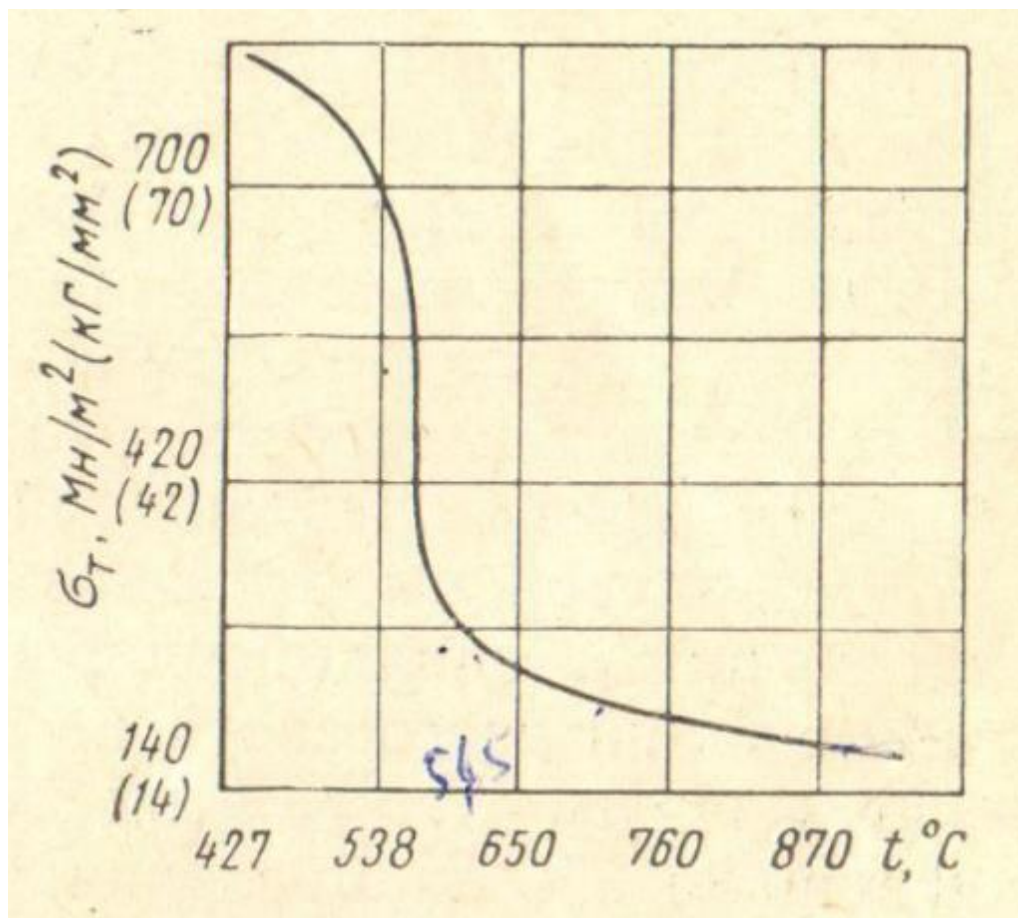


Рисунок 1.2 [1]- Вплив температури відпалу на змінення межі плинності.

температурі відпалу 680-700<sup>0</sup>С. Таким чином ступінь рекристалізації є функцією температури відпалу та часу вплив яких тісно пов'язаний. Чим вища температура відпалу та вище час витримки тим більше розмінюється сталь. Але слід мати на увазі що підвищення температури відпалу вище ніж 720<sup>0</sup>С викликає ріст твердості, що можливо пояснити впливом поліморфних перетворень.

При цьому межа плинності сильно залежить від вмісту вуглецю при температурі відпалу 640<sup>0</sup>С сильніш ніж при температурі відпалу 690<sup>0</sup>С. Ця залежність наведена у таблиці 1.4.

З підвищенням сумарного обтиснення при холодній прокатці погіршується структура та механічні властивості сталі. В теперішній час при холодній прокатці використовують обтиснення 50-75%. Найліпші властивості досягаються при обтисненні 40-50%, але таке обтиснення неможливо забезпечити так як необхідний більш тонкий гарячекатаний підкат який неможливо отримати на стані гарячої прокатки.

Таблиця 1.4 [1] – Зміна межі плинності при відносному обтисненні 50% в залежності від вмісту вуглецю та температури відпалу.

Температура отжига, °С	Предел текучести $\sigma_T$ , Мн/м <sup>2</sup> ( $10^{-1}$ кг/мм <sup>2</sup> ), стали с различным содержанием С, %				
	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
640	225	260	300	330	350
690	200	220	230	260	270

Значне зниження межі плинності на сталі марки DC01 вдалося досягти дослідникові у роботі [5] за рахунок підвищення температури відпалу до 850<sup>0</sup>С та дослідженнями мікроструктури отриманого прокату. При такій температурі відпалу було відмічено значний ріст зерна до 18мкм в діаметрі (рисунок 1.3). При чому дуже цікавим є той факт, що відпал при температурі 850<sup>0</sup>С протягом 30 хв зменшив межу плинності сталі DC01 до 127МПа, а подальше збільшення часу відпалу 60хв і більше

навпаки хибно впливає на межу плинності та підвищує її до 200МПа. Аналіз отриманих автором результатів досліджень мікроструктури виявив що ріст зерна проходить в перші 15 хвилин термічної обробки. Вказані дослідження проводились на дуже тонких холоднокатаних зразках товщиною 50мкм.

Але з іншого боку дуже висока швидкість нагріву приводить до погіршення пластичних властивостей [12,33,34,36]. При свержшвидкому відпалі до температур 730<sup>0</sup>С и 760<sup>0</sup>С на деформованій низьковуглецевій сталі використовували різні швидкості нагріву 200-1200 град/сек (така швидкість нагріву не характерна для ковпакових печей відпалу – такі швидкості нагріву більше підходять для теоретичних досліджень). Для зразка нагрітого до 730<sup>0</sup>С зі швидкістю 600<sup>0</sup>С/сек досягається більш висока твердість, міцність та пластичність за рахунок формування мікроструктури бімодального розміру зерна. Відпал зі швидкістю нагріву 200 град/сек та 1000 град/сек приводить к повністю рекристалізованим та нерекристалізованим структурам відповідно. Мікроструктури сталі після відпалу з різною швидкістю нагріву представлені нижче на рисунку 1.4. Відпал зі швидкістю нагріву 200<sup>0</sup>С/с до температури 730<sup>0</sup>С (зразок а) призводить до повного подрібнення зерна фериту, який оточений мілкодисперсним перлітом. При швидкості нагріву 600<sup>0</sup>С/с формується бімодальна мікроструктура яка состоїть з мілких та крупних зерен (б).

Аналогічну залежність межі плинності від температури відпалу получили також автори робіт [13,14,15,31,32].

Автор роботи [16] також зазначає, що збільшення тривалості витримування в інтервалі температур відпалу так само впливає на стан сталі, як і підвищення температури.

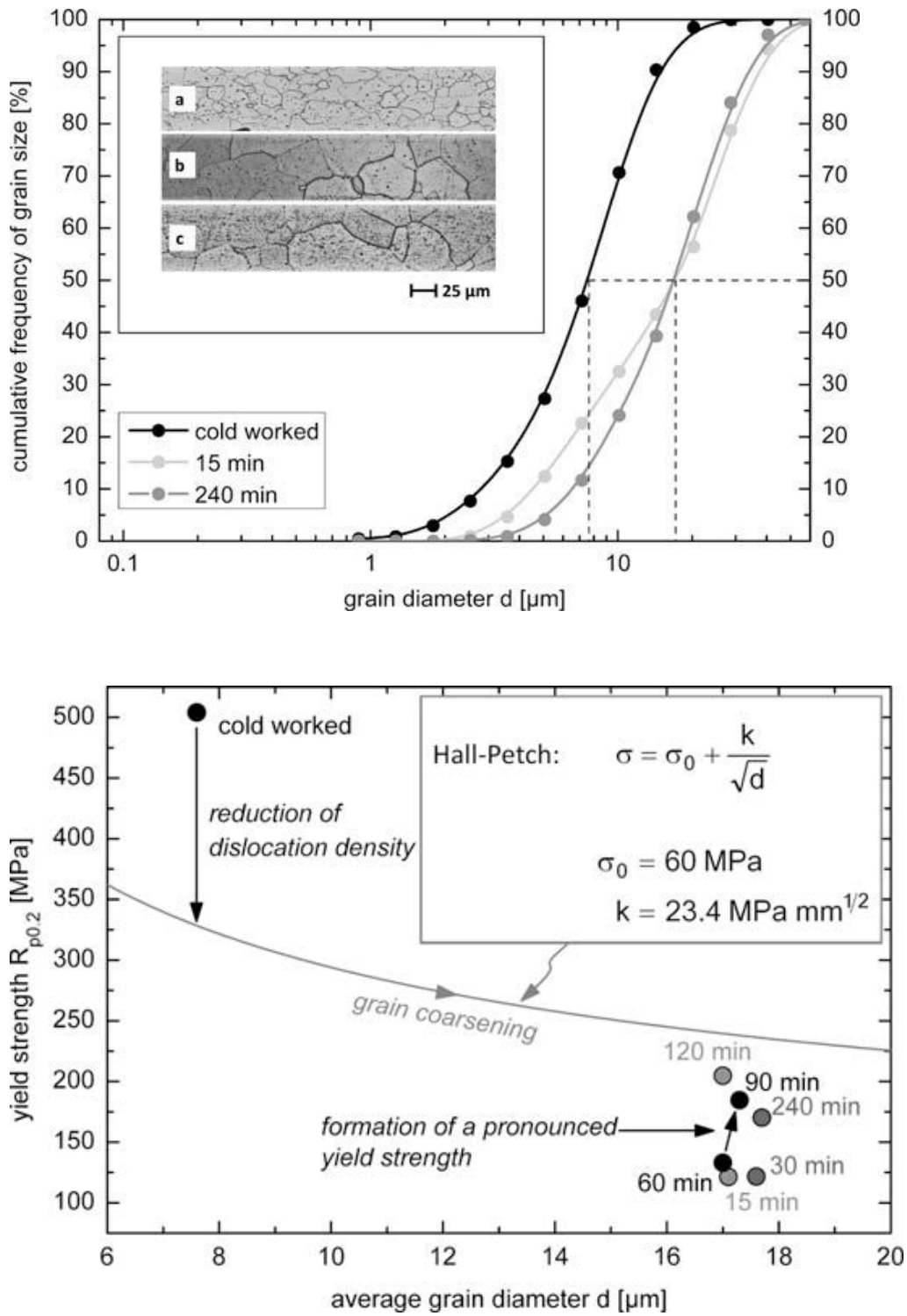


Рисунок 1.3 [16] – Залежність величини зерна від температури відпалу.

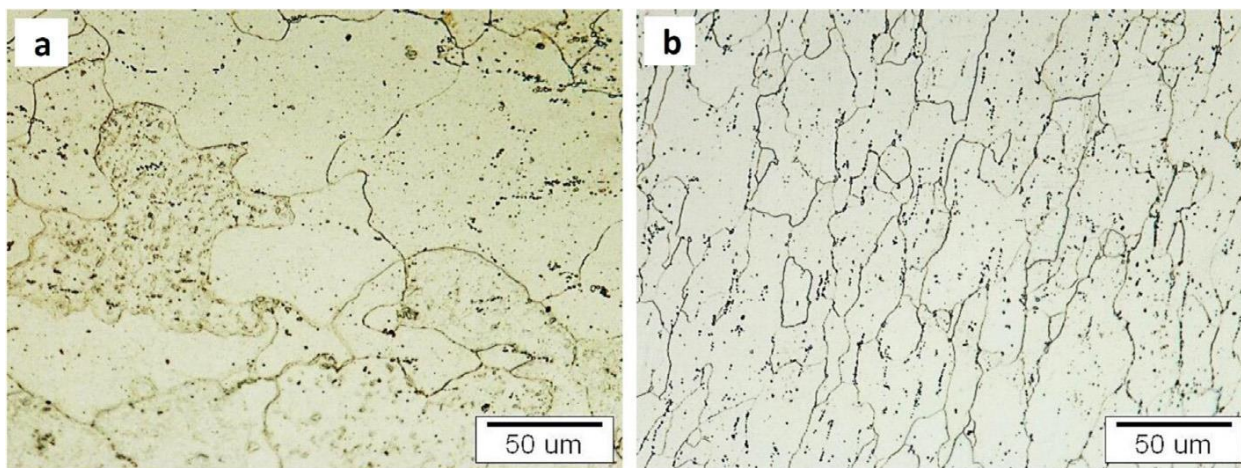


Рисунок 1.4 [16] - Мікроструктури сталі після відпалу з різною швидкістю нагріву.

В рамках літературного огляду був також проведений порівняльний аналіз режимів відпалу різних заводів для виявлення параметрів, які впливають на механічні властивості. Дані були взяті з технологічних інструкцій цих заводів [17,18,19,20] і зведені в загальну таблицю 1.5. Для прикладу візьмемо порівняльні режими відпалу прокату шириною до 1000 мм товщиною 1,0 мм вагою рулону до 16 тон.

Таблиця 1.5 – Порівняння режимів відпалу різних заводів.

Марка сталі	Загальний час нагріву, год	Тривалість витримки, год	Температура витримки, °C	Примітка
1	2	3	4	5
Режими відпалу сталі марки 08кп,пс та її аналогів на ММКІ				
08кп, пс по ГОСТ 9045, DC01 EN 10130-2006	26	10	700	В садці 3 рулона

Продовження таблиці 1.5.

1	2	3	4	5
08кп, пс по ГОСТ 9045, DC01 EN 10130-2006	30	11	700	В садці 4 рулона
08кп,пс по ГОСТ 16523	23	9	720	В садці 3 рулона
08кп,пс по ГОСТ 16523	26	10	720	В садці 4 рулона
08кп,пс на штабу (обручку) по ГОСТ 3560	15	5	650	В садці 2 рулона
08кп,пс на штабу (обручку) по ГОСТ 3560	21	7	650	В садці 3 рулона
Режими відпалу на Арселор Міттал Теміртау в ковпакових печах в ЛПЦ-2.				
08Ю, 08ЮР СВ, ОСВ ГОСТ 9045, DC03, DC04 EN 10130-91	61	19 24	550 700	
08кп, пс ГОСТ 9045, DC01 EN 10130-2006	37	16	690	
08кп, пс ГОСТ 16523	32	11	690	
08кп, пс ГОСТ 3560	34	16	420	

Продовження таблиці 1.5.

Режими відпалу в ковпакових печах ПАТ «Запоріжсталь»				
1	2	3	4	5
08кп, пс ГОСТ 16523-97, Г,Н	21	6	660	
08кп, пс ГОСТ 9045-93, ТУ 14-479-2000 (08пс емаль)	24	6	680	
08Ю ГОСТ 9045-93	30	420 – 3ч 570 – 5ч 670 - 17ч	670	

З наведеної таблиці 1.5 можна зробити такі висновки:

А) Параметрами, якими можна регулювати механічні властивості під час відпалу, є температура витримки, тривалість витримки та загальна тривалість відпалу.

Б) На ММКІ сталь марки DC01 за EN 10130-2006 відпалювали з витримкою 11 годин за температури 700<sup>0</sup>С проти 08кп,пс за ГОСТ 16523-97 з витримкою 10 годин і температурою 720<sup>0</sup>С. Режим відпалу 08кп,пс за ГОСТ 9045 і DC01 за EN 10130-2006 ідентичний.

В) На Арселор Міттал Теміртау сталь марки DC01 за EN 10130-2006 відпалюють з витримкою 16 годин, 08кп,пс за ГОСТ 16523 - з витримкою 11 годин. Температура відпалу - однакова - 690<sup>0</sup>С. Режим відпалу 08кп,пс за ГОСТ 9045 і DC01 за EN 10130-2006 ідентичний.

Г) На ПАТ "Запоріжсталь" 08кп,пс за ГОСТ 9045-93, ТУ 14-479-2000 (08пс емаль) і 08кп,пс за ГОСТ 16523 відпалюються з витримкою в 6 годин, при цьому температура основної витримки для 08кп,пс за ГОСТ 9045-93 - 680<sup>0</sup>С, за ГОСТ 16523-97 - 660<sup>0</sup>С.

Д) Постачання прокату сталі марок 08кп і 08пс за ГОСТ 9045-93 порівняно з ГОСТ 16523-97 відрізняється здебільшого вищими вимогами до глибини лунки за Еріксоном, тобто необхідністю надання більших пластичних властивостей металу за ГОСТ за ГОСТ 9045-93.

#### 1.4 Вплив технологічних параметрів дресування на межу плинності.

Значний вплив на межу плинності має температура охолодження рулонів перед дресуванням [1]. При дресуванні недостатньо охолодженого металу відбувається інтенсивне старіння зі значним погіршенням механічних властивостей. При цьому сильно зростають межа плинності та твердість, незначно збільшується межа міцності та подовження (табл. 1.6).

При дресуванні знижується межа плинності, декілька зменшується відносне подовження, спостерігається незначний ріст твердості та зменшення лунки за Еріксоном. Межа міцності при дресуванні практично не зменшується. Багатьма дослідниками [21,22] встановлено, що найбільше зниження межі текучості при дресуванні киплячої та полуспокійної сталі

Таблиця 1.6 [1] – Вплив температури при дресуванні листів товщиною 1мм зі сталі марки 08кп з обтисненням 1% на їх механічні властивості.

Температура, °С	$\sigma_T$		$\sigma_B$		$\delta_{10}$ %	HRB <sub>30/100</sub>
	Мн/м <sup>2</sup>	кГ/мм <sup>2</sup>	Мн/м <sup>2</sup>	кГ/мм <sup>2</sup>		
20	205	20,5	340	34,0	47	45
	205	20,5	340	34,0	47	45
80	294	29,4	365	36,5	44	54
	295	29,5	358	35,8	44	51
До дрессировки						
—	260	26,0	333	33,3	49	44
—	260	26,0	333	33,3	46	44

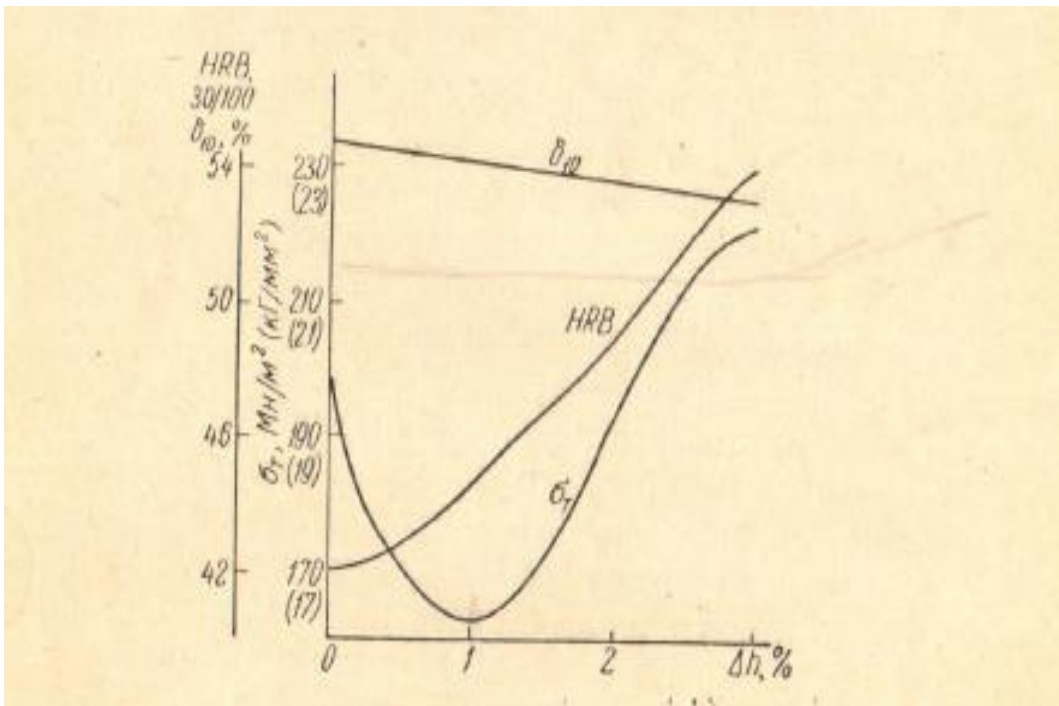


Рисунок 1.5 [1] - Зміна механічних властивостей сталі марки 08Ю в залежності від ступеня обтиснення при дресуванні.

відбувається при обтисненні 1%; твердість при цьому незначно зростає. Майданчик плинності на кривих розтягнення зникає також при обтисненні 1%, лінії зсуву на поверхні розтягнаних зразків не виникають при обтисненні не менш ніж 0,7%. У зв'язку з тим що у виробничих умовах важко утримувати обтиснення точно 1% встановлюють звичайно межу обтиснень. На рисунку 1.5 показана зміна механічних властивостей сталі марки 08Ю в залежності від ступеня обтиснення при дресуванні.

На рисунку 1.6 показаний характерний вид кривих розтягнення зразків, дресированих з різними обтисненнями.

Зміна межі плинності в залежності від ступеню обтиснення при дресуванні пояснюється наступним чином [1]. При розтягненні зразків із відпаленої не дресированої сталі для початку пластичної деформації потрібен відрив дислокацій із хмар по всій товщині листа. Виникаючі при цьому напруження відповідають верхньому значенню межі текучості металу з відпаленою структурою.

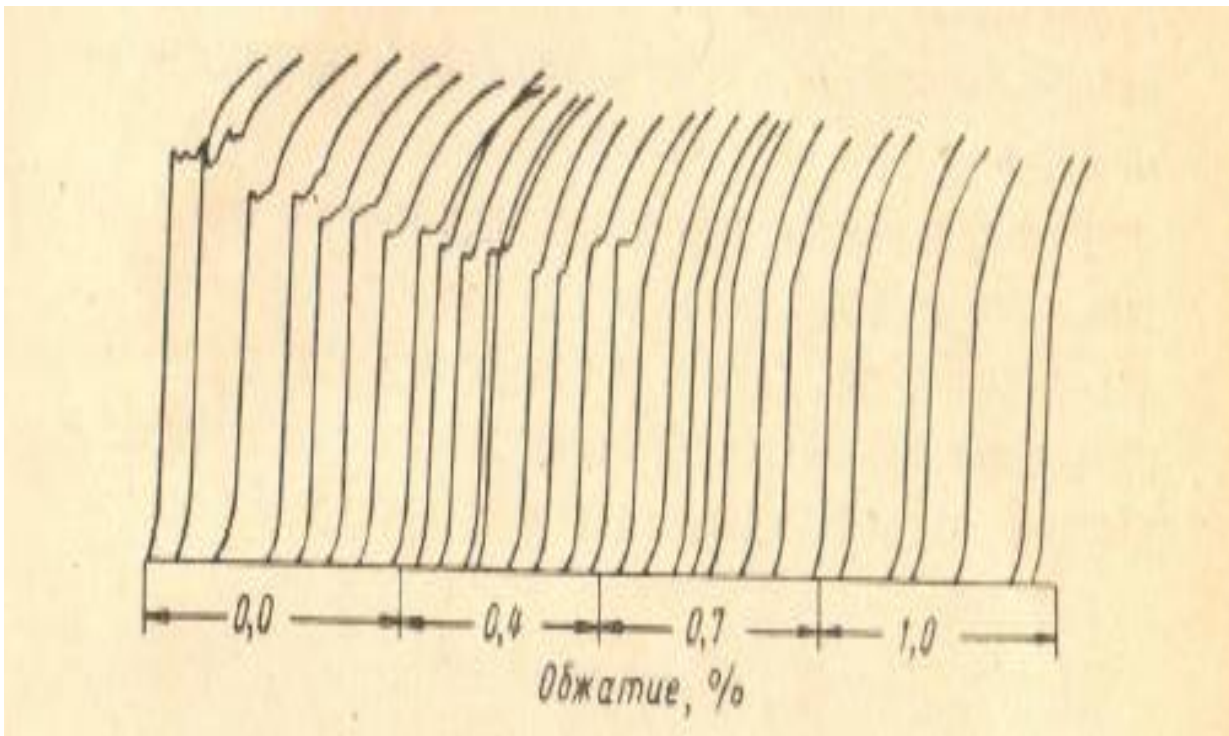


Рисунок 1.6 [1]- Криві розтягнення зразків, дресированих з різними обтисненнями

Кількість та розподіл дислокацій дозволяють найбільш повно використовувати пластичні властивості металу. При дресированні з обтисненням 0,5% в поверхневих шарах листа відбувається відрив дислокацій, і межа плинності, тобто середнє по перерізу напруження, яке необхідне для початку пластичної деформації при розтягненні, відповідно зменшується. Зі збільшенням обтиснення до 1% відбувається подальше вивільнення дислокацій в більш глибоких шарах штаби, але разом з цим починає сказуватися інший фактор – зміцнення поверхневих шарів, які зазнали більшої деформації. Це визиває згасання зниження межі плинності при розтягненні. При подальшому збільшенні обтиснення вирішальний вплив на криву при розтягненні зразка набуває чинник зміцнення. Незважаючи на те, що деформація ще не проникла на всю товщину листа та продовжується відрив дислокацій в глибинних шарах металу, зміцнення поверхневих шарів виникає настільки інтенсивно, що середнє напруження по зрізу, необхідне для початку пластичної деформації збільшується, тобто межа плинності зростає.

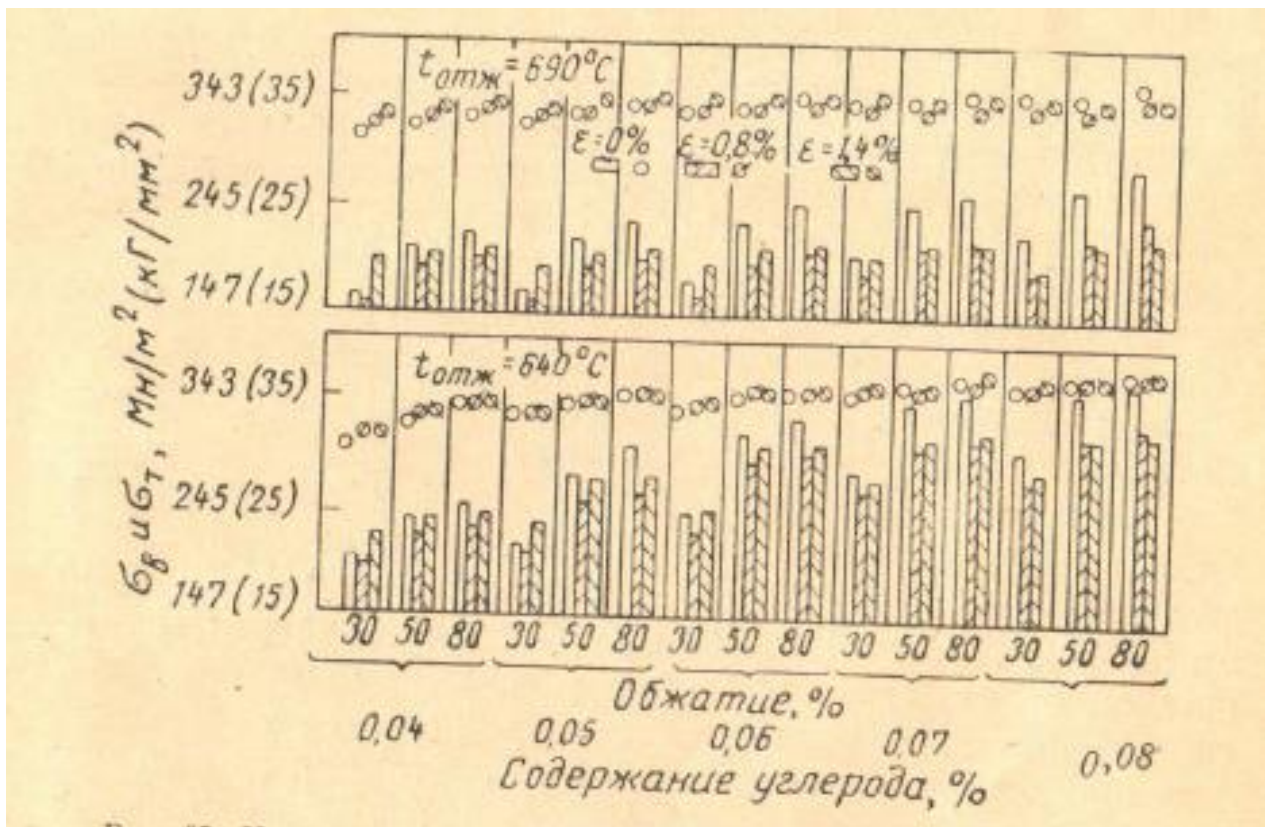


Рисунок 1.7 [1] - Зміна механічних властивостей сталі марки 08Ю, після прокатки з обтисненням 30, 50 та 80%, відпалу при температурі 640 та 690°C продресированої з обтисненням 0,8 та 1,4% в залежності від вмісту вуглецю.

Як зазначалося вище механічні властивості дресированої сталі залежать передусім від хімічного складу сталі. Так, при підвищенні вмісту вуглецю навіть у межах марки виникає зміна механічних властивостей сталі при дресированні з одним та тим же обтисненням (рисунок 1.7).

З цього малюнку видно, що зі збільшенням вмісту вуглецю межа плинності значно підвищується незалежно від режиму відпалу. Також з цього малюнку виходить, що для сталей з 0,06-0,07% С доцільно застосовувати дресировання з обтисненням 0,8%, при цьому межа плинності зменшується більш ніж при дресированні з обтисненням 1,4%. В окремих випадках дресировання з обтисненням 1,4% сприяє навіть підвищенню межі плинності у порівнянні з межою плинності відпаленої сталі. У сталі з вмістом вуглецю 0,08% використання високого обтиснення при дресированні більш доцільно так як воно призводить до більшого зниження межі плинності ніж при обтисненні 0,8%. У промислових умовах ПАТ «Запоріжсталь» для

досягнення необхідних механічних властивостей застосовують обтиснення  $\Sigma$  у рамках 0,8-1,2% - це оптимальний діапазон який враховує мінливість хімічного складу по довжині штаби та від плавки до плавки (найбільш поширений вміст вуглецю – 0,08-0,09% по ковшовій пробі).

При дресированні як вже зазначалося відбувається зниження межі плинності на 30-50 МПа, при цьому чим нижча межа плинності у відпаленої сталі тим вона нижче у дресированій при однаковому ступеневі деформації. Якщо наприклад у відпаленому стані межа плинності 270 та 220 МПа то для такої сталі необхідно застосовувати різний ступінь обтиснення при дресированні. В першому випадку при обтисненні 1% відбудеться зниження межі плинності до 220-230 МПа та майданчик плинності не буде усунений, тоді як у другому випадку межа плинності знизиться до 170-180 МПа та майданчика плинності не буде. Тобто чим вище межа плинності відпаленої сталі, тим більш високе обтиснення потрібно застосовувати при дресированні. В умовах масового виробництва, коли є розбіг хімічного складу по довжині та ширині рулону та коли неможливо визначати властивості відпаленої сталі перед дресированням, з метою коректування ступеню обтиснення необхідно, щоб режим відпалу який застосовується забезпечував мінімальну межу плинності та найбільшу пластичність сталі.

Додатково проведений аналіз температури задачі в дресировання та відносного обтиснення при дресированні з практичних даних технологічних інструкцій [23, 24,25]. Результати аналізу наведені у таблиці 1.7.

Як видно з таблиці 1.7 найбільш оптимальними параметрами для отримання необхідних механічних властивостей сталі є температура задачі в дресировання до 40<sup>0</sup>С та відносне обтиснення в межах 0,8-1,2%

Таблиця 1.7

Параметр	ПАТ «Запоріжсталь»	ЧАТ «ММКІ»	АТ Арселор Міттал Теміртау
Температура дресування, °С	Для груп витяжки ОСВ, СВ, ВГ – 40°С, для групи витяжки Г- 45°С, для групи витяжки Н – 75°С	08кп,пс та її аналоги - до 50°С	Задача в дресування по часу охолодження а не по температурі
Відносне обтиснення при дресуванні, %	для вуглецевої киплячої та полуспокійної сталі – 0,8-1,2, сталі марки 08Ю – 0,8-1,0%.	По ДСТУ 2834- 94(ГОСТ 16523- 97) 1,4,5 категорія – до 3%, по ДСТУ 2834 (ГОСТ 16523-97), 2,3,6 категорія, ГОСТ 9045-93 – 0,8- 1,2%	08кп,пс по ГОСТ 16523- 97, 9045-93, DC01 по EN 10130 – для товщ. 0,4- 1,0мм – 0,5-0,7%; для товщ 1,1-2,0мм – 0,8- 1,2%; для товщ 2,1- 3,0мм 0 1,0-1.6%

Окрім досягнення механічних властивостей для виробництва металопрокату сталі марки DC01 потрібні інші додаткові заходи, а саме: забезпечення потрібних допусків по товщині та ширині холоднокатаного прокату, якості поверхні та підвищення захисних властивостей консерваційних олій та упаковки. Це все було реалізовано на ММКІ та за рахунок цього комбінат зміг суттєво наростити об'єми виробництва та отримати додатковий прибуток [26].

#### 1.5 Висновки та постановка задачі дослідження.

В ході наступної роботи пропонується проведення низки експериментів та прокатки дослідних плавок з метою вибору найбільш оптимальних технологічних

режимів виплавлення, прокатки та термічної обробки, які б гарантували механічні властивості холоднокатаного прокату відповідно до EN 10130-2006. Пропонується вирішити це питання за рахунок комплексного підходу:

А) Визначення обмежень з хімічного складу сталі, при цьому важливо щоб рамки хімічного складу були не сильно звужені, так як при мартенівському способі виробництва та вилівкою сталі у виливниці немає можливості тонкого регулювання хімсоставу. Сильно звужені границі по хімії призведуть до великої кількості переназначень та невиконання програми виробництва. Насамперед слід звернути увагу на встановлення обмежень таких хімічних елементів як вуглець, марганець, сірка, фосфор – вони найбільш впливають на показник межі плинності;

Б) Вибір режимів змотування після гарячої прокатки. Планується провести оцінку впливу режимів змотування (можливо у комплексі з іншими характеристиками) при гарячій прокатці на межу плинності. На даний момент сталь марки 08 кп, пс змотується з заданою температурою 530-580<sup>0</sup>С. Такий режим змотування вибраний з розрахунку мінімізації угару при травленні та забезпеченні при цьому механічних властивостей прокату;

В) Визначення оптимальних режимів відпалу прокату для отримання потрібного комплексу механічних властивостей, з урахуванням мінімізації розходу природного газу, що є дуже актуальним у теперішній час. Планується на основі існуючих статистичних даних сопоставити межу плинності з режимами відпалу прокату сталі марки 08кп, пс яка виробляється по ГОСТам 9045-93 та 16523-97, та розглянути режими відпалу сталі марки DC01 інших підприємств (меткомбінат ім Ілліча та ін.). Оперувати слід температурою основної витримки та часом витримки – ці 2 основні параметри відпалу при їх збільшенні в основному знижують межу плинності;

Г) Визначення режимів дресування, які б дозволяли гарантовно отримувати механічні властивості сталі згідно з EN 10130-2006 (відносно обтиснення, температура задачі в дресування).

Після отримання статданих планується вибрати найбільш оптимальні режими виробництва та провести дослідні плавки по цим режимам виробництва з метою дослідження на практиці отриманих механічних властивостей.

Для реалізації проекту необхідна взаємодія з ЦИАПК ПАТ «Запоріжсталь», заступниками начальника цеху по технології та якості Цеху холодного прокату, Цеху гарячого прокату та Мартенівського цеху.

## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.

Освоєння нового продукту включає передусім початкові теоретичні розрахунки на основі літературних даних, розробку приблизного плану дій та експериментальну частину для відпрацювання нової технології безпосередньо на виробництві. Проведення експериментів починається з вивчення впливу кожного технологічного фактору на межу плинності, потім поєднання декількох факторів з метою розробки експериментальної технологічної схеми виробництва. Результати механічних досліджень та хімічного складу сталі беруться з електронних систем ПАТ «Запоріжсталь». На початкових етапах освоєння приймається за основу технологія, що забезпечує максимальний вихід придатного продукту, тому що незабезпечення основних характеристик несе в собі значні витрати через необхідність перезамовляти метал і реалізувати прокат, який не відповідає вимогам споживача, невиконання термінів замовлень, утворення значних обсягів незавершеного виробництва (що погіршує техніко-економічні показники цеху). Потім, після освоєння технології та аналізу і оцінки статданих за механічними властивостями, проводяться роботи з удосконалення технології виробництва з метою економії енергоресурсів без шкоди якості. Тому вся робота з освоєння виробництва сталі марки DC01 щодо забезпечення її механічних властивостей була розбита на кілька етапів.

### 3 ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.

#### 3.1 Аналіз статданих механічних властивостей холоднокатаного прокату.

3.1.1 З метою визначення параметрів, які найсильніше впливають на межу плинності холоднокатаного прокату, було проведено аналіз механічних властивостей (а саме – аналіз межі плинності на відповідність Євронорм без врахування приміток для товщин 0,5-0,7мм, тобто на відповідність межі плинності  $\leq 280$ МПа) холоднокатаного прокату сталей марок 08кп, пс,Ю за фактичною базою даних комбінату ПАТ «Запоріжсталь». Для аналізу з електронної системи «АСУ Меню» комбінату було зроблено такі вибірки:

А) 08пс для емалювання по ТУ У 14-4-479-2000 за 2009-2018гг (для збільшення кількості випробувань вибірка зроблена за 10 років – наведена у файлі 1);

Б) 08кп по ГОСТ 9045-93 за 2017 рік (файл 2);

В) 08кп по ГОСТ 16523-97 за 2017 рік (файл 3);

Г) 08пс по ГОСТ 9045-93 за 2009-2018рр (для збільшення кількості випробувань вибірка зроблена за 10 років – файл 4);

Д) 08пс по ГОСТ 16523-97 за 2017 рік (файл 5);

Е) 08Ю по ГОСТ 9045-93 за 2009-2018рр (для збільшення кількості випробувань вибірка зроблена за 10 років – файл 6);

Ж) DC01 по протоколу 14-226-209:2017 за 2018 рік (файл 7)

Кожна з перерахованих груп вибірки має свої особливості технології виробництва, які були наведені вище в частині літературного огляду при огляді технологічних інструкцій. Після цього кожен вибірку оптимізували для обробки її в статистичній програмі «Neural Designer». Оптимізація вибірки та аналіз полягав в наступному:

А) З вибірки видалені колонки, які не надають ніякого впливу, такі як номер плавки, номер партії, цех та ін.;

Б) Видалені рядки із незаповненими окремими даними – значний обсяг вибірки дозволяє провести таку операцію без шкоди точності результату.

В) Фільтруємо параметри в ексель. Хімісклад беремо з відповідного ГОСТ чи EN, відсікаємо провальні за мехвластивостями для даного продукту партії. Таким чином, відсікаємо помилкові параметри неправильно введені або некоректні дані;

Г) Завантажуємо файл у Neural Designer. Дивимося щоб не було в першому рядку ком і цифр з індексами. Файл має бути англійською, всі літери англійські, щоб програма могла розпізнати виборку.

Приклад оптимізованої вибірки, яка завантажувалася в програму обробки Neural Designer наведено нижче в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Приклад оптимізованої вибірки даних

tol	C	MN	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti	As	Mezha plinnosti	Mezha miznosti	Udl
0,7	0,08	0,36	0,012	0,021	0,029	0,03	0,01	0,01	0,001	0,08	264,77955	328,5228	31
0,7	0,08	0,36	0,012	0,021	0,029	0,03	0,01	0,01	0,001	0,08	250,06958	323,6195	33
0,7	0,09	0,42	0,013	0,029	0,04	0,04	0,01	0,01	0,001		235,3596	308,9095	38
0,7	0,09	0,42	0,013	0,029	0,04	0,04	0,01	0,01	0,001		230,45628	304,0062	38
0,8	0,12	0,67	0,025	0,024	0,022	0,03	0,01	0,01	0,001		254,9729	308,9095	37
0,8	0,12	0,67	0,025	0,024	0,022	0,03	0,01	0,01	0,001		250,06958	308,9095	38
1,2	0,08	0,36	0,01	0,027	0,018	0,02	0,01	0,01	0,001	0,08	196,133	304,0062	39
0,7	0,09	0,38	0,01	0,03	0,019	0,03	0,01	0,01	0,001	0,08	220,64963	308,9095	44
1	0,07	0,35	0,011	0,021	0,027	0,02	0,01	0,01	0,001	0,08	230,45628	308,9095	41
0,7	0,07	0,35	0,011	0,021	0,027	0,02	0,01	0,01	0,001	0,08	235,3596	304,0062	37
0,7	0,07	0,35	0,011	0,021	0,027	0,02	0,01	0,01	0,001	0,08	220,64963	313,8128	40

Д) Встановлюємо у вкладці «Data set» параметр межу плинності вихідним параметром, інші (хімісклад, товщина металу) - вхідними параметрами;

У) У вкладці "Training strategy" вибираємо метод нейронного аналізу "Qasi-Newton method". Тренуємо побудовану модель функцією «Perform training»;

Ж) Автоматично визначаємо кількість нейронів за допомогою «Perform neurons selection»;

З) За допомогою функції «Calculate columns distribution» наглядно виводимо розподіл кожної змінної статистичної виборки;

І) За допомогою функції «Calculate columns statistic» отримуємо статистичні дані (мінімум, максимум та середньоквадратичне відхилення);

К) За допомогою функції «Calculate inputs-targets» correlations знаходимо коефіцієнт кореляції між межею плинності і кожним хімічним елементом. Це завдання обчислює значення коефіцієнта кореляції між усіма вхідними даними та цільовим показником. Кореляції, близькі до -1 або 1, означають сильний зв'язок між вхідними та цільовими змінними. Кореляції близькі до 0 означають відсутність зв'язку між цими змінними. Як правило, цільові показники залежать від багатьох вхідних даних одночасно.

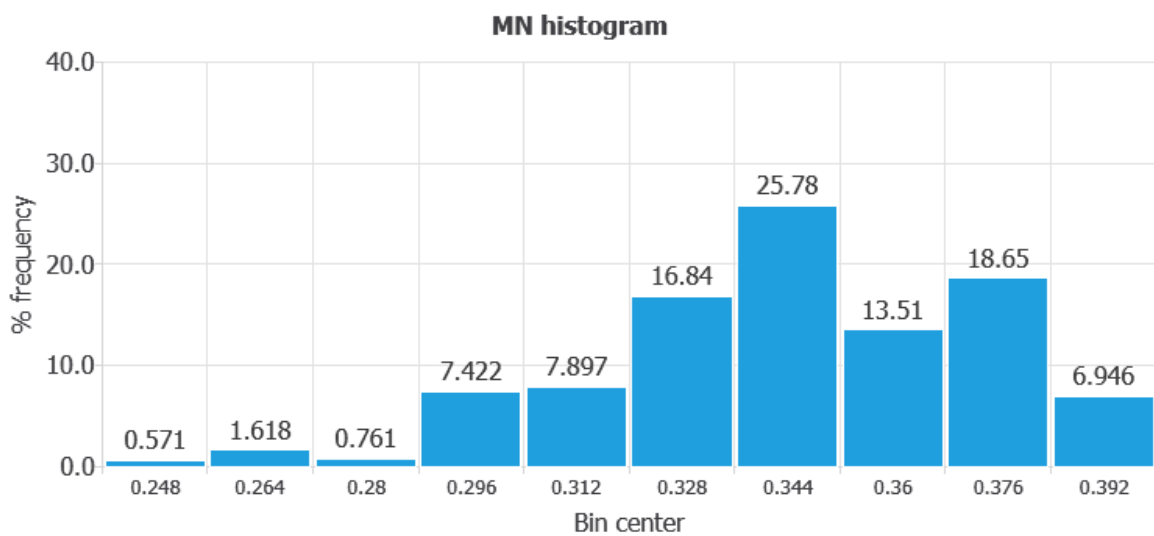
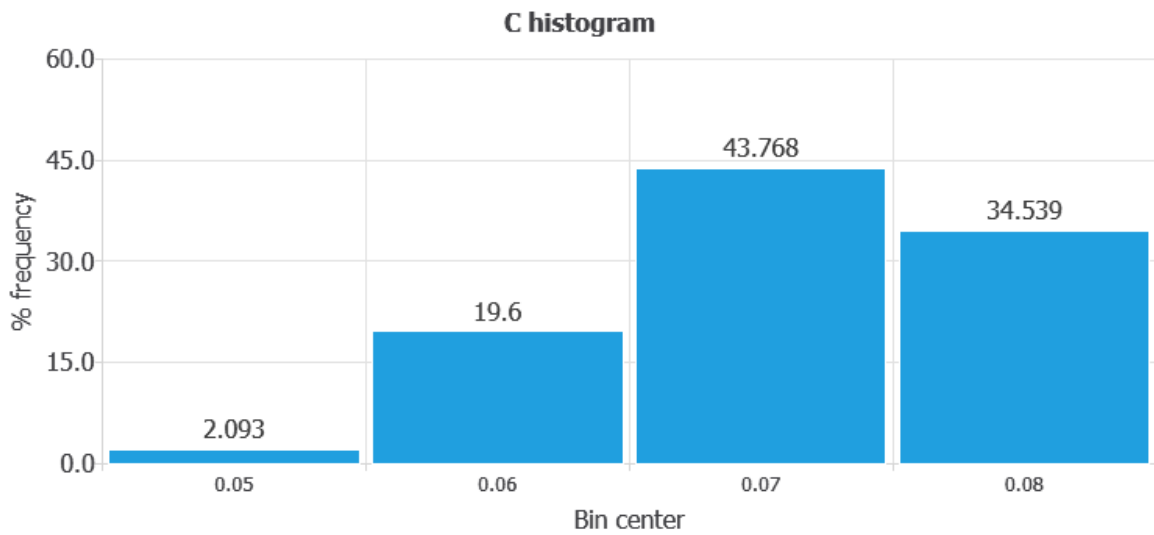
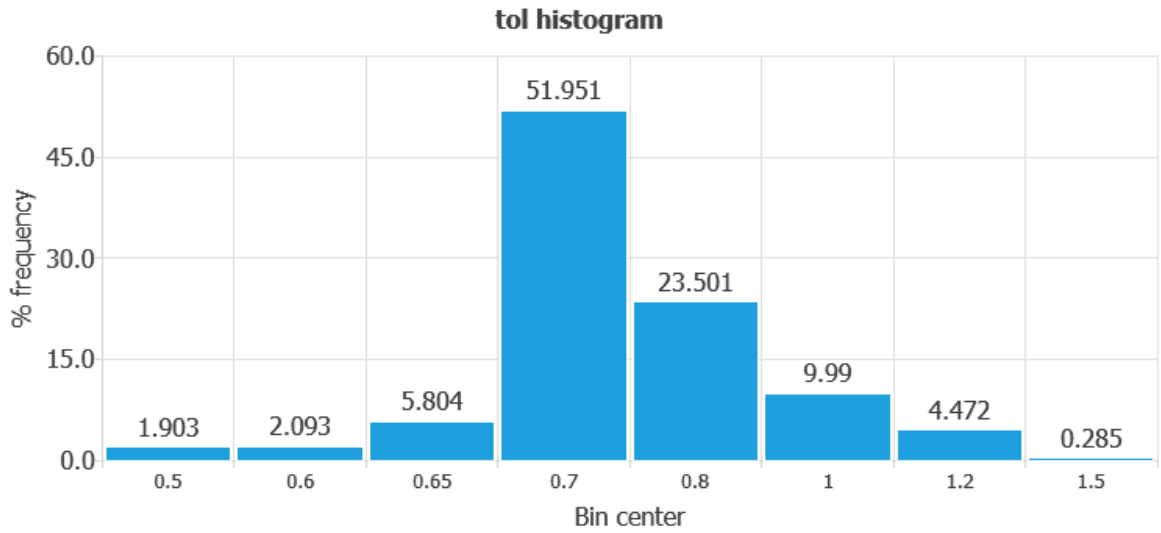
### 3.1.2 Результати математичної обробки даних.

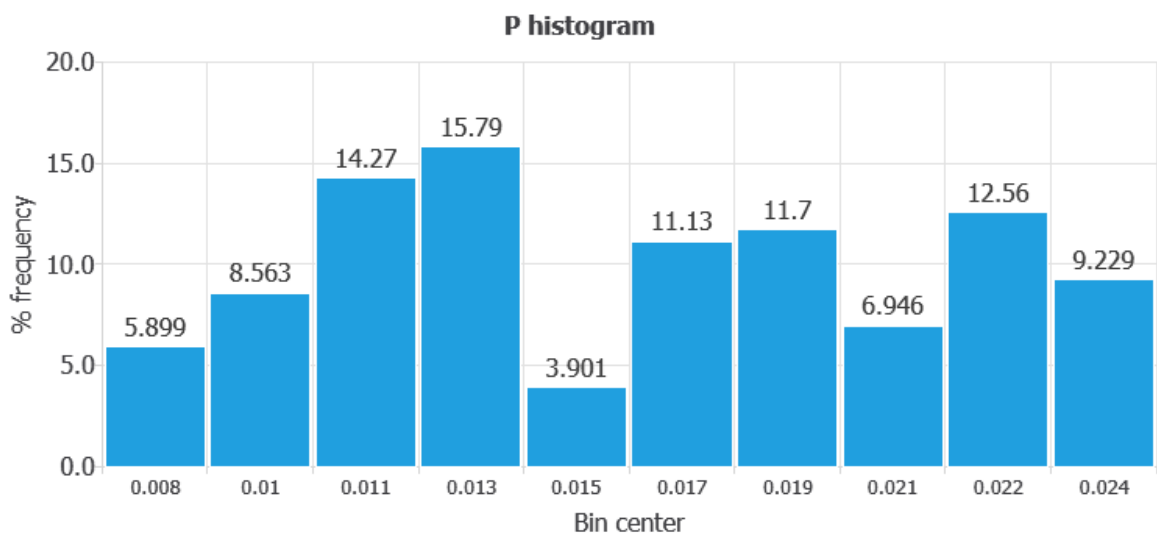
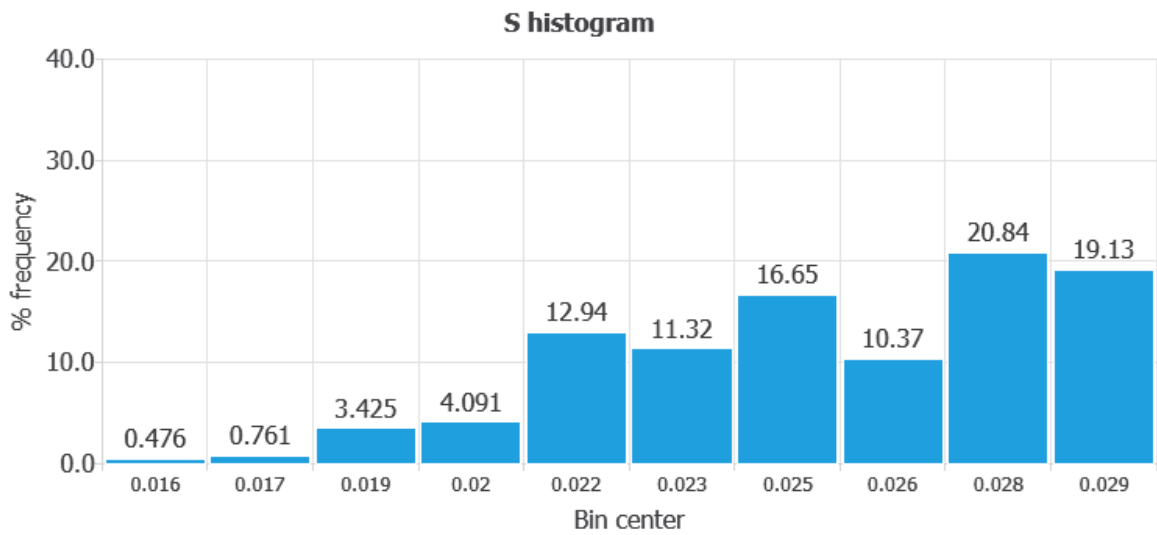
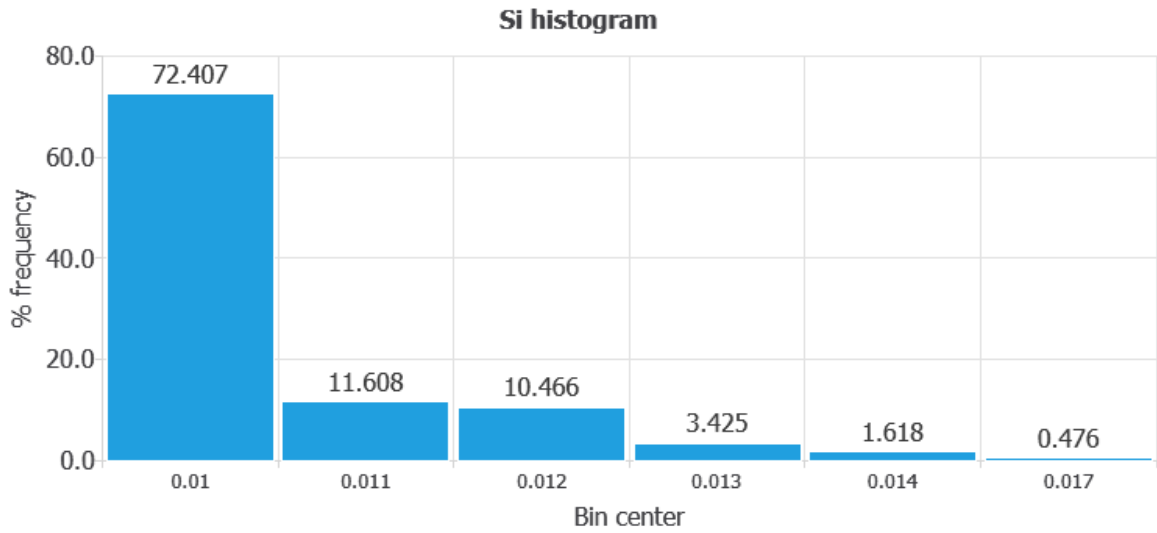
А) 08пс для емалювання по ТУ У 14-4-479-2000 за 2009-2018гг (для збільшення кількості випробувань вибірка зроблена за 10 років – наведена у файлі 1).

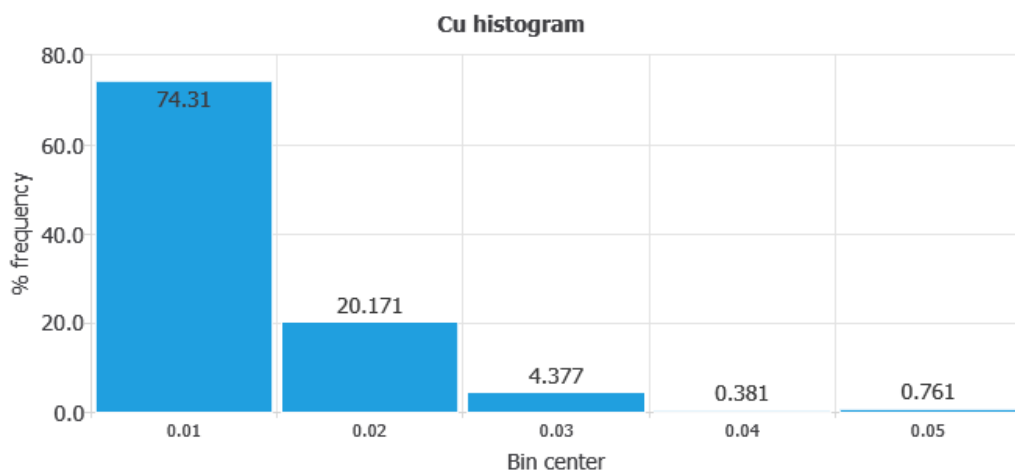
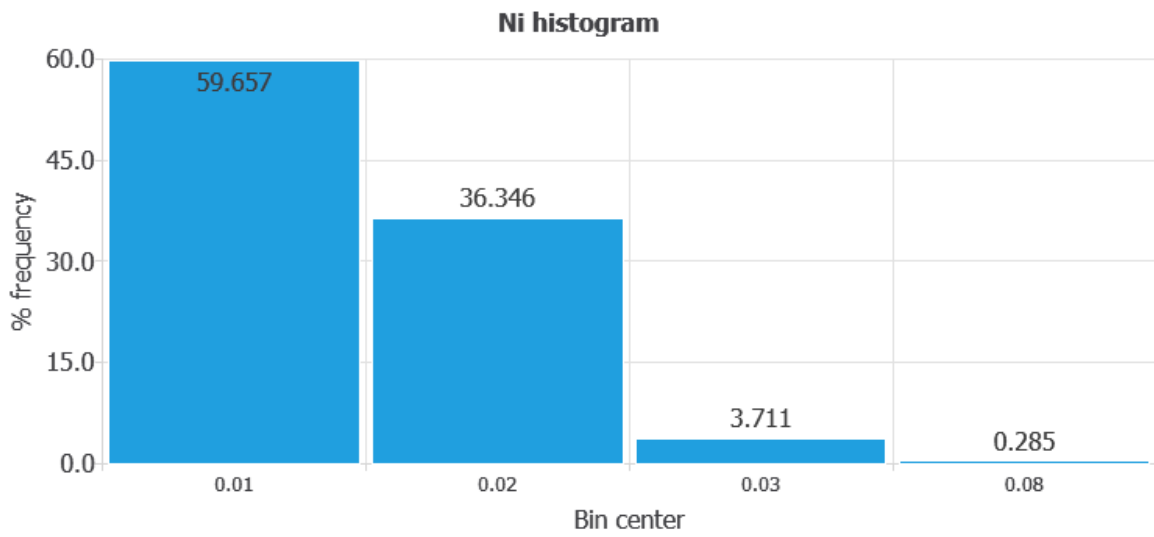
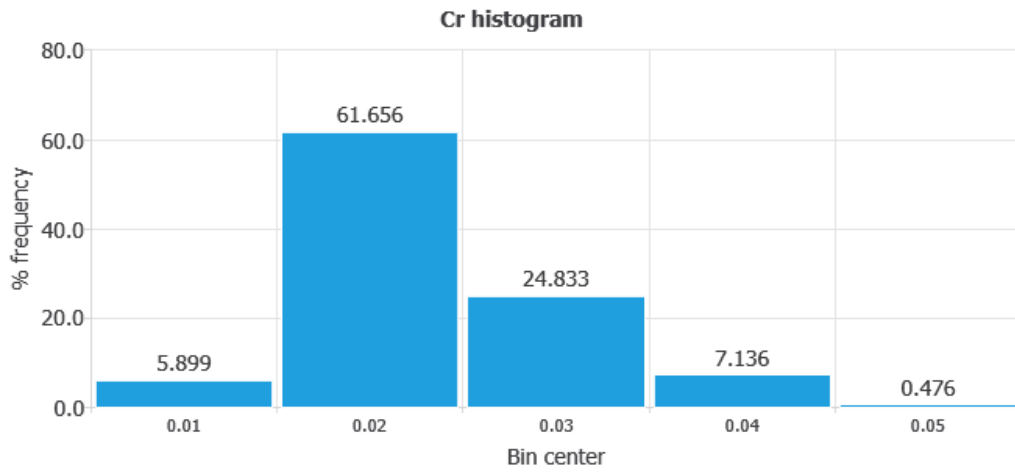
Таблиця 3.2 – Аналіз межі плинності сталі 08пс для емалювання

Кількість випробувань, шт	1051
Кількість випробувань межі плинності зі значенням $\leq 280$ МПа по EN 10131-2006, шт	1042
Відповідність EN 10131-2006,%	99,1

Прокат для емалювання відпалюється в основному в печах ф. «Ебнер» (температура в по стендовій термопарі 700<sup>0</sup>С ) так як споживачу потрібна висока чистота поверхні.







Ti pie chart

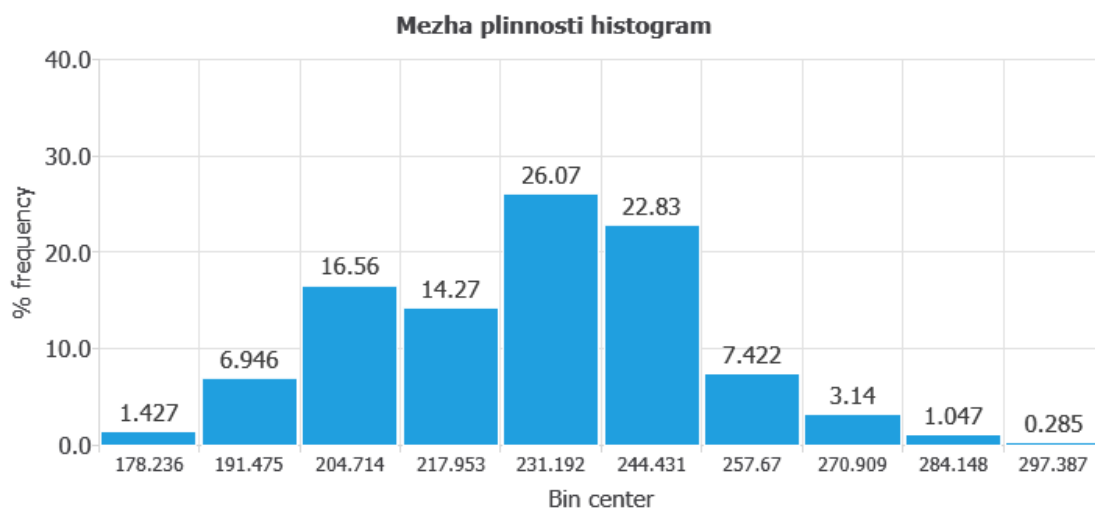
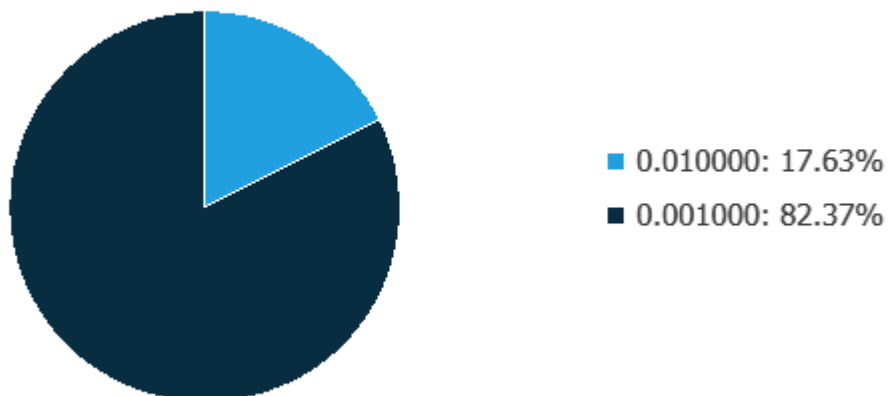


Рисунок 3.1 – Діаграми розподілу хімічних елементів, товщини та межі плинності у виборці для сталі 08пс для емалювання.

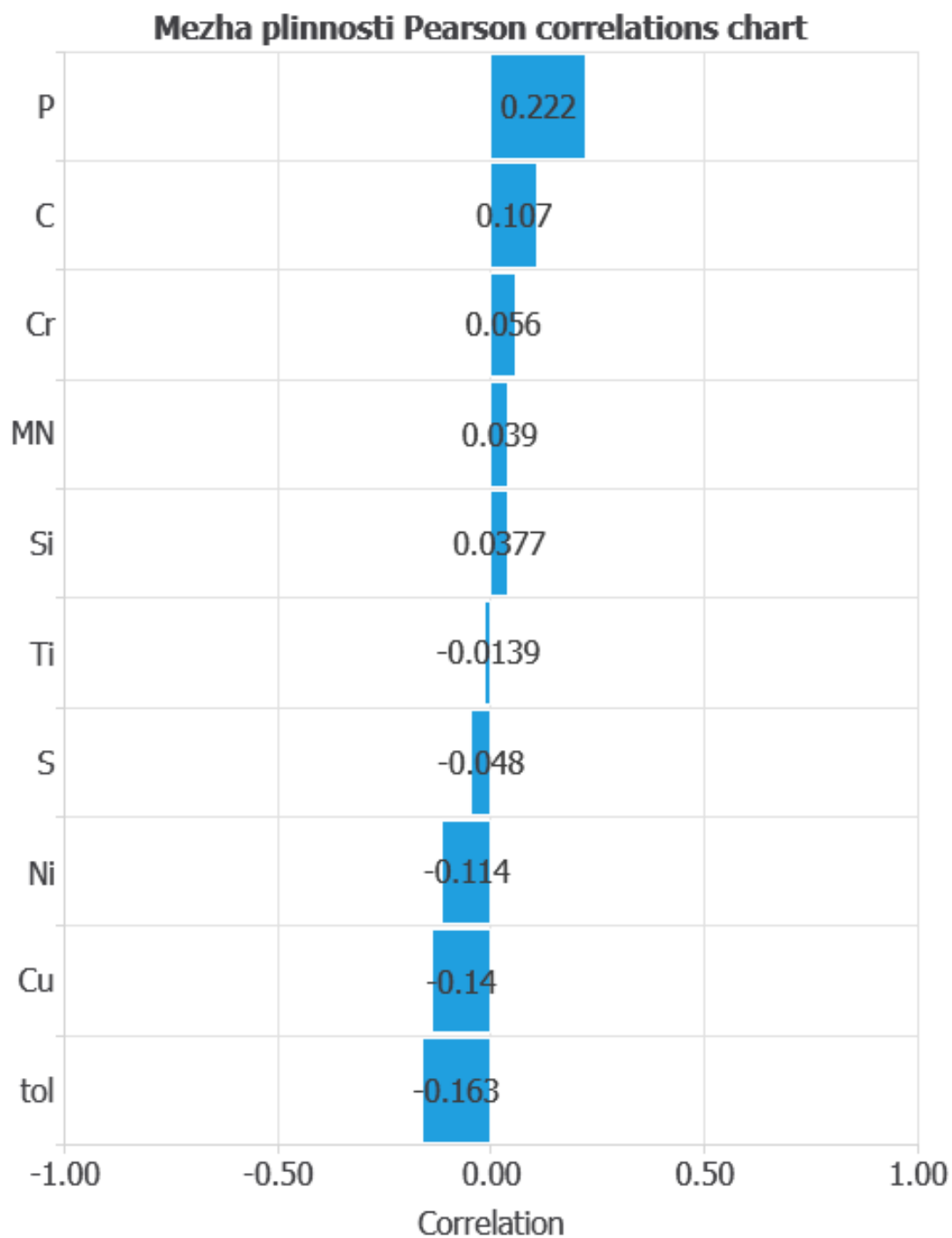


Рисунок 3.2 – Коефіцієнти кореляції між межею плинності та хімічним складом і товщиною металу сталі 08пс для емалювання.

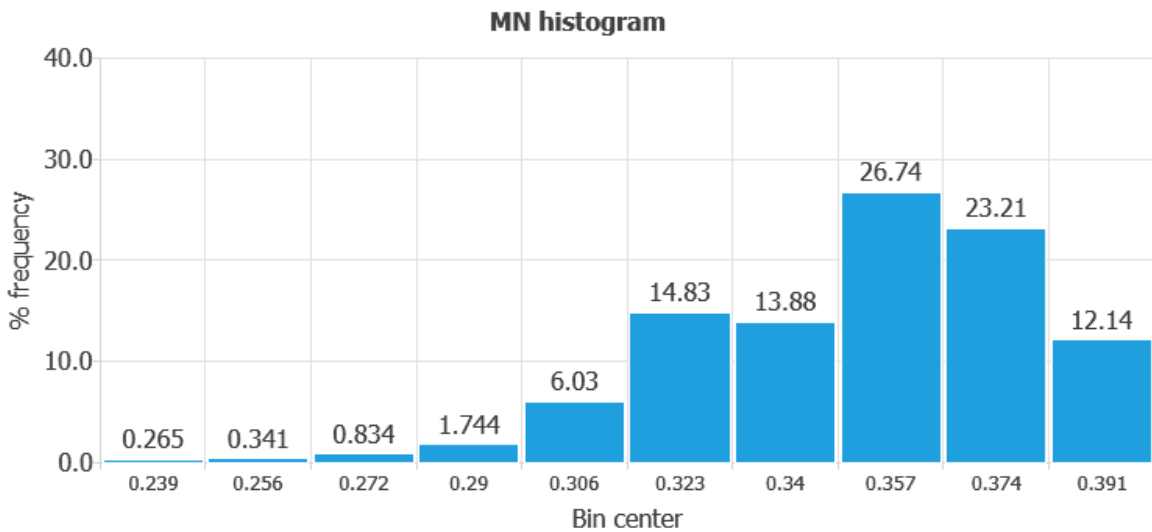
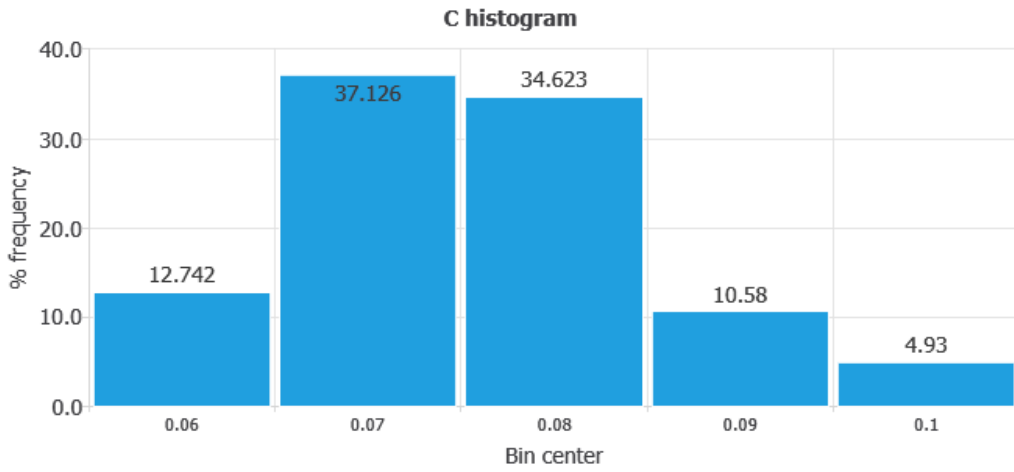
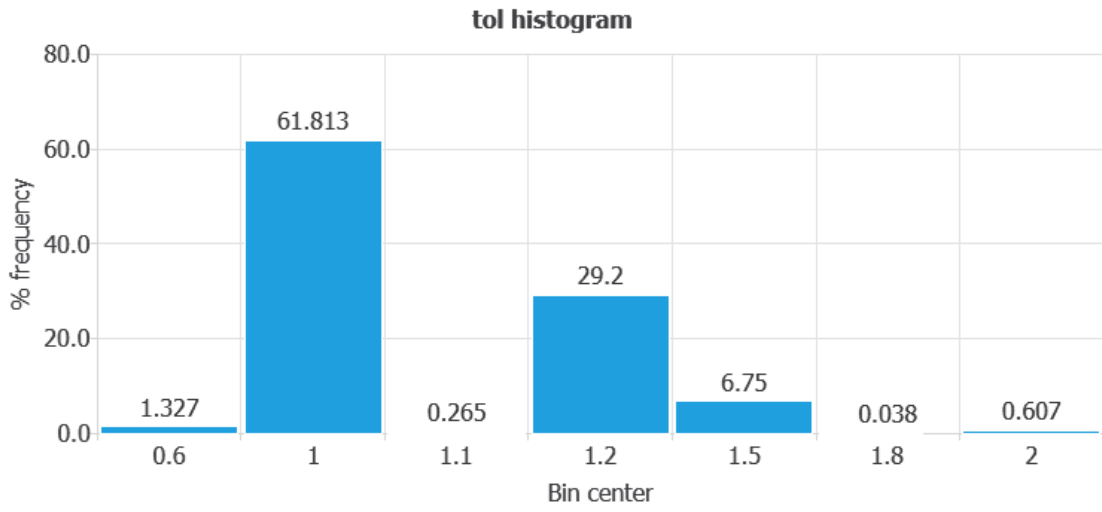
Таблиця 3.3 – Мінімум, максимум, середнє та середньоквадратичне відхилення по кожному з параметрів виборки сталі 08пс для емалювання.

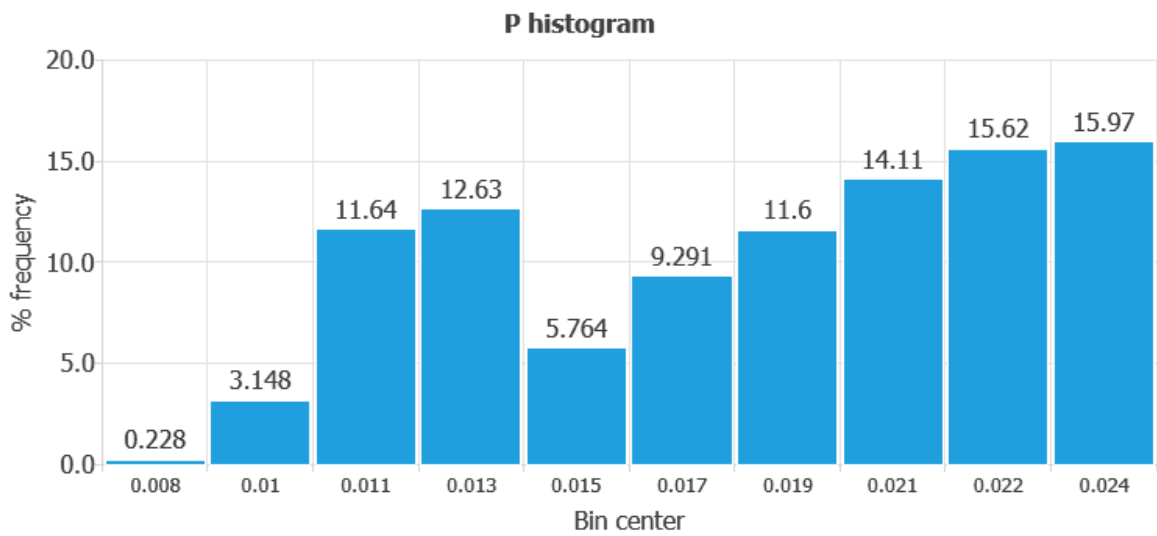
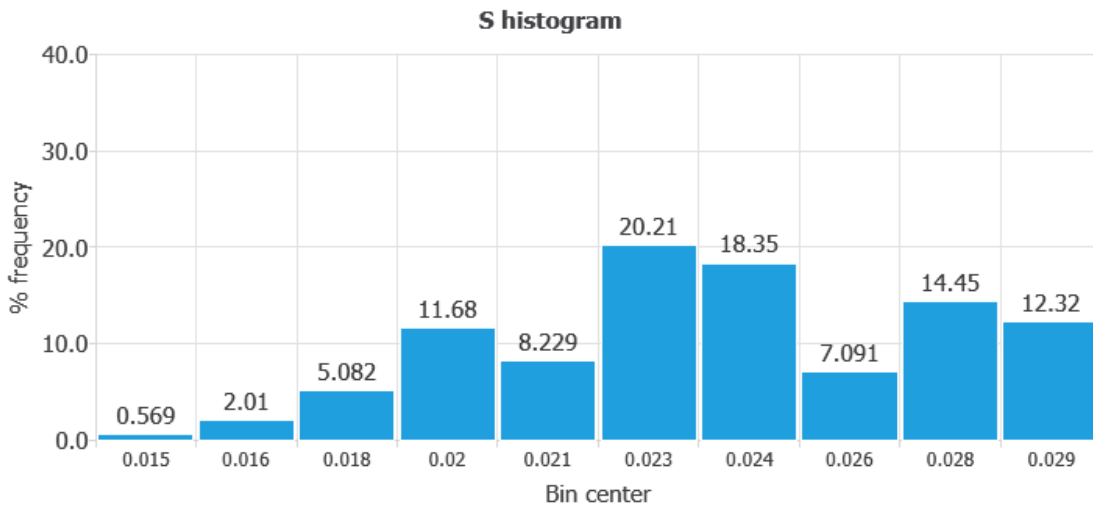
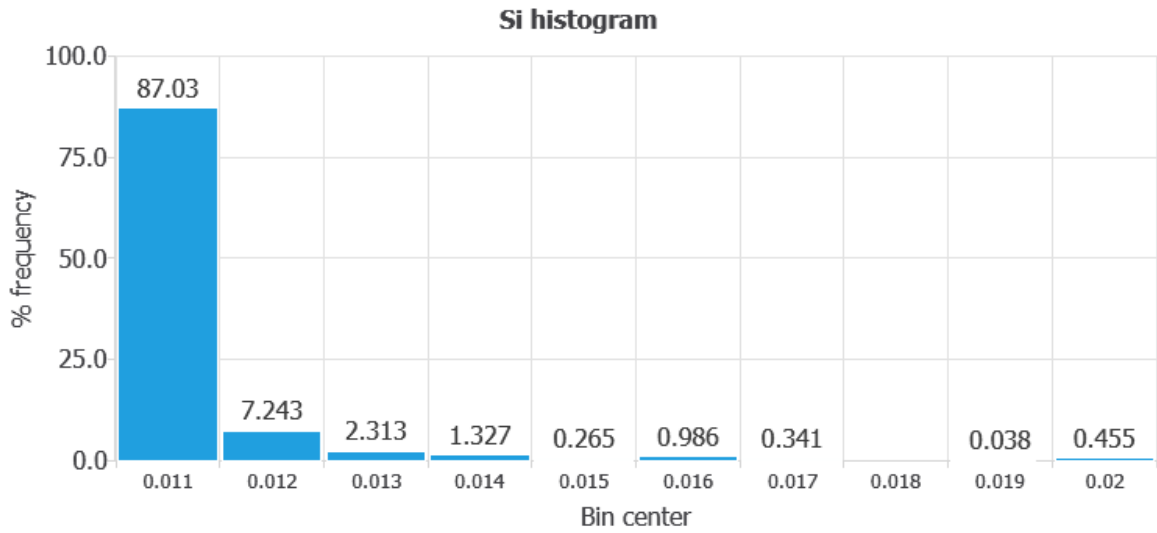
	Minimum	Maximum	Mean	Deviation
tol	0.5	1.5	0.769	0.144
C	0.05	0.08	0.0711	0.00784
MN	0.24	0.4	0.344	0.0303
Si	0.01	0.017	0.0105	0.00103
S	0.015	0.03	0.0252	0.00334
P	0.007	0.025	0.0161	0.00508
Cr	0.01	0.05	0.0235	0.00718
Ni	0.01	0.08	0.0146	0.00665
Cu	0.01	0.05	0.0133	0.00651
Ti	0	1	0.176	0.381
Mezha plinnosti	172	304	229	21.3

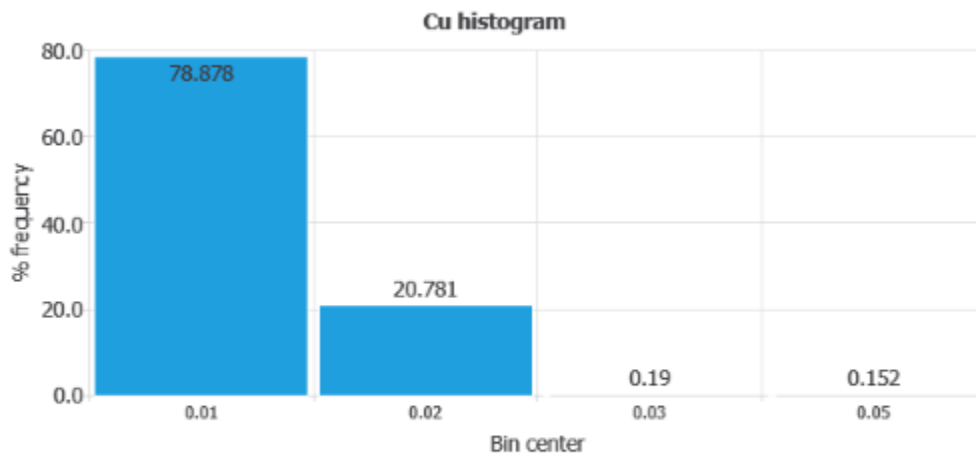
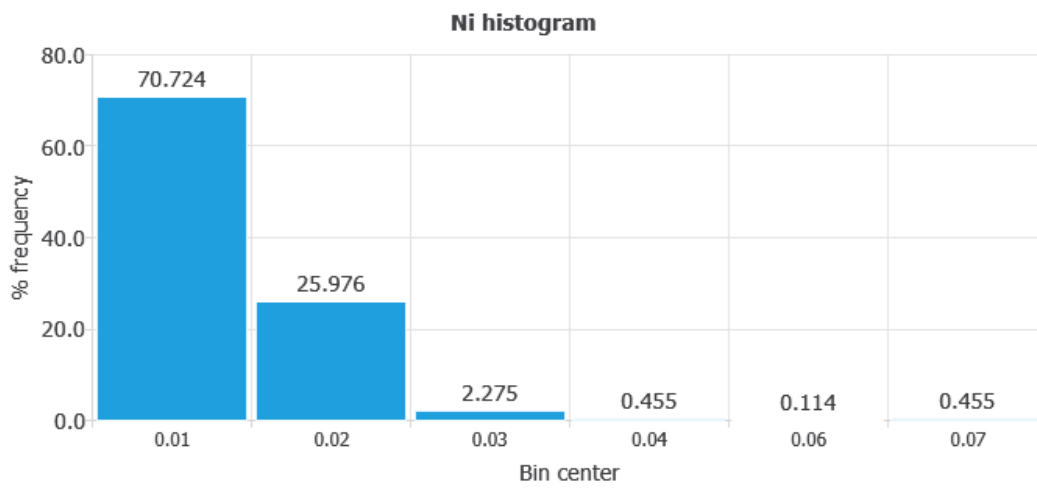
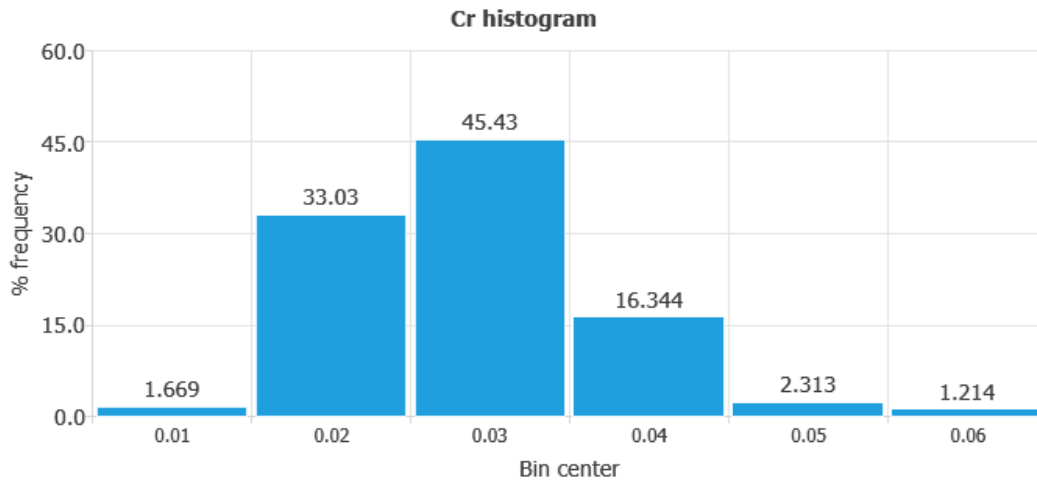
Б) 08кп по ГОСТ 9045-93 за 2017 рік (файл 2)

Таблиця 3.4 - Аналіз межі плинності сталі 08кп по ГОСТ 9045-93.

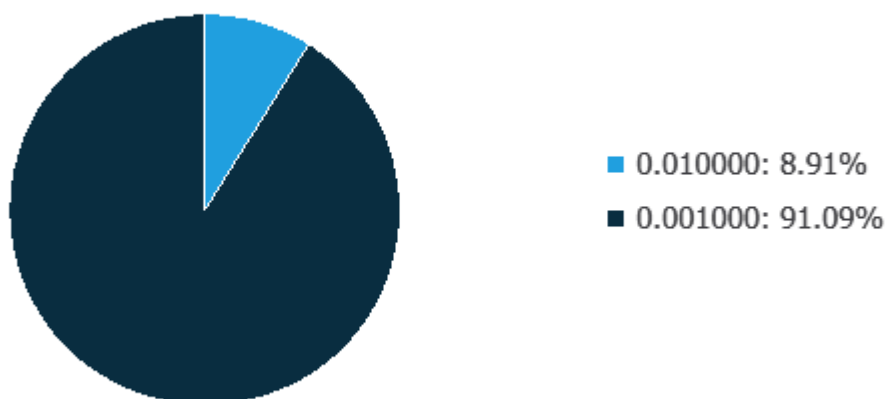
Кількість випробувань, шт	2637
Кількість випробувань межі плинності зі значенням $\leq 280$ МПа по EN 10131-2006, шт	1767
Відповідність EN 10131-2006,%	67







Ti pie chart



Mezha plinnosti histogram

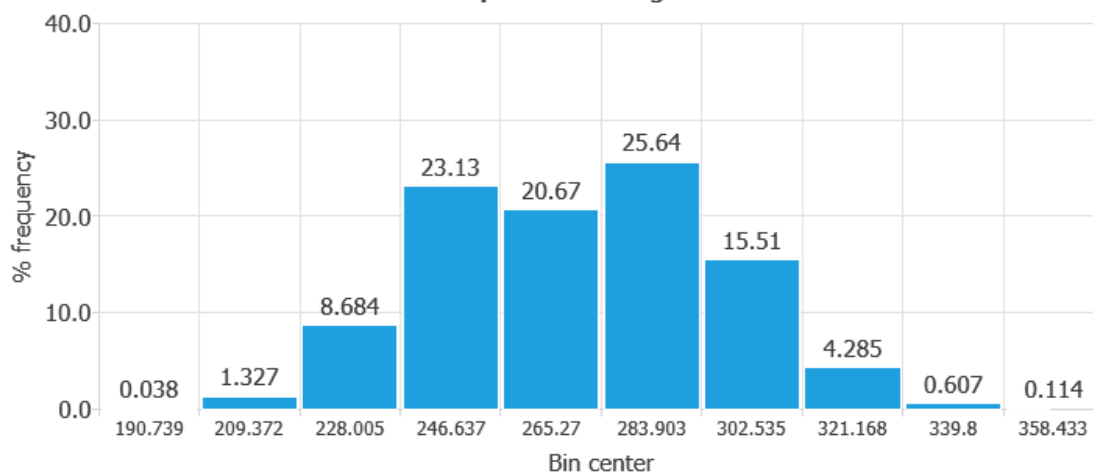


Рисунок 3.3 – Діаграми розподілу хімічних елементів, товщини та межі плинності у виборці сталі 08кп по ГОСТ 9045-93.

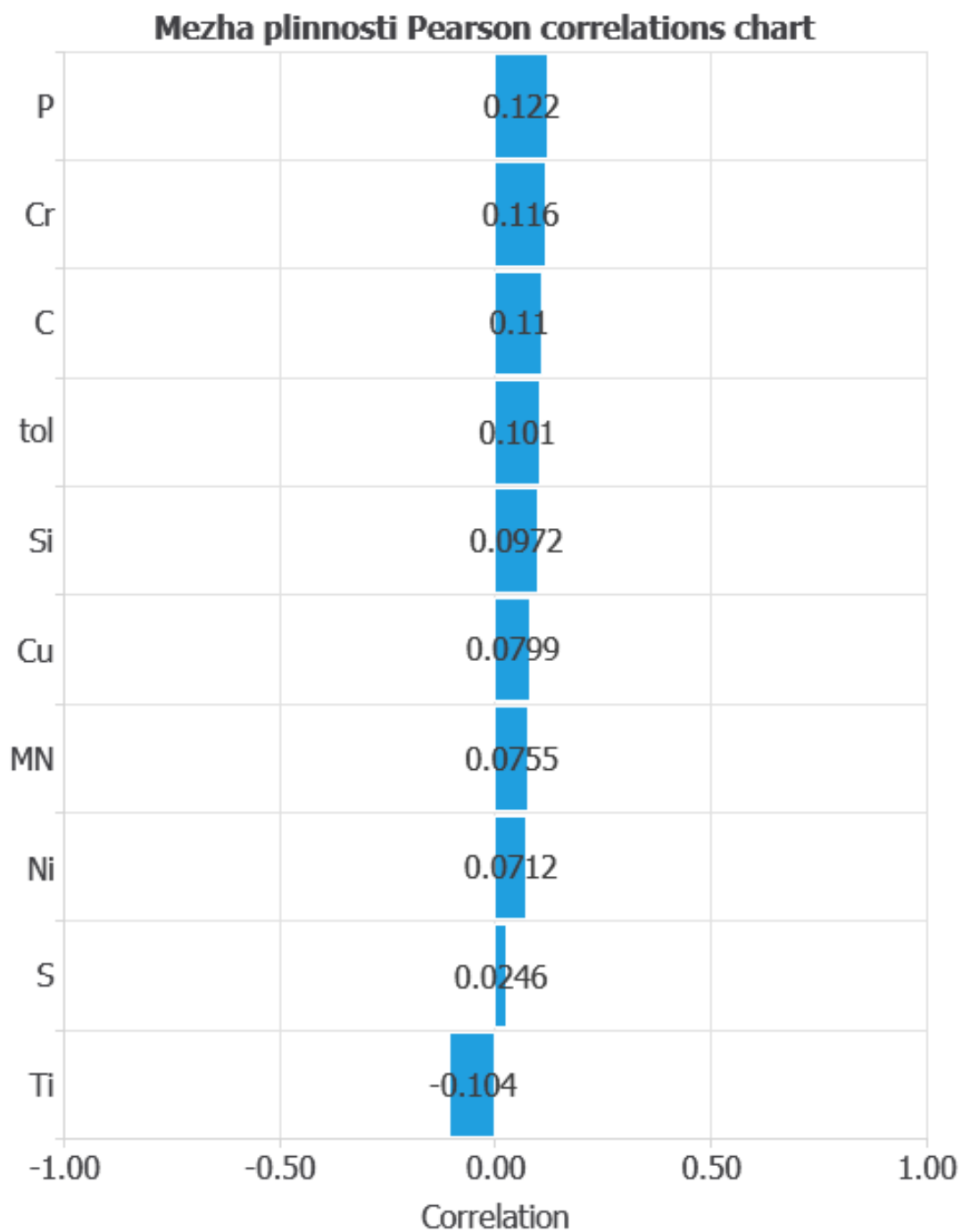


Рисунок 3.4 – Коефіцієнти кореляції між межею плинності та хіміскладом і товщиною металу сталі 08кп по ГОСТ 9045-93.

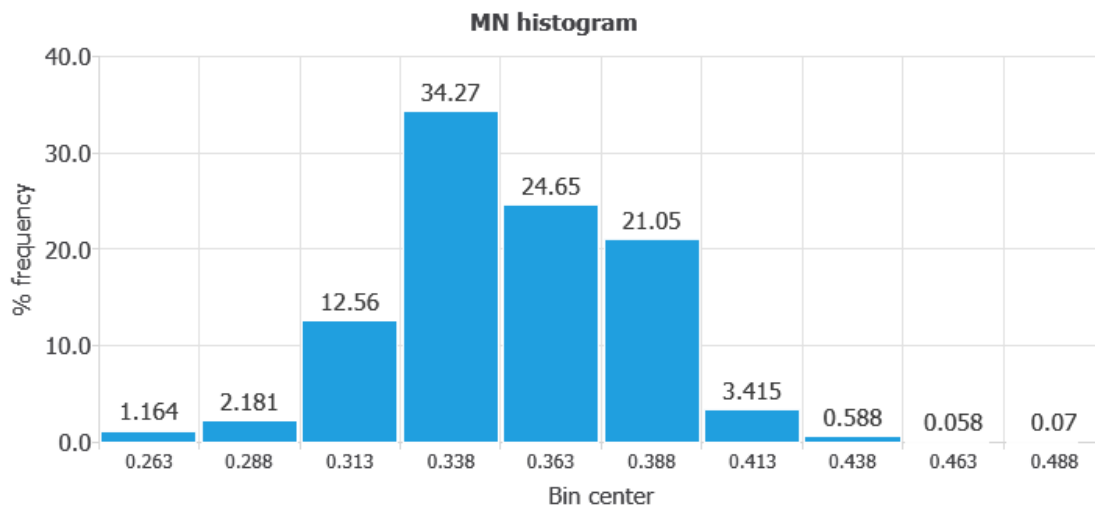
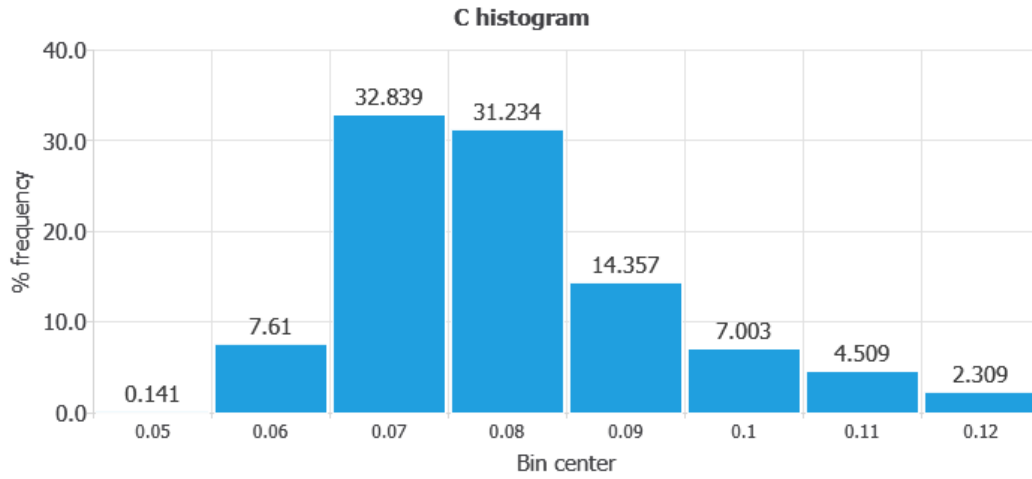
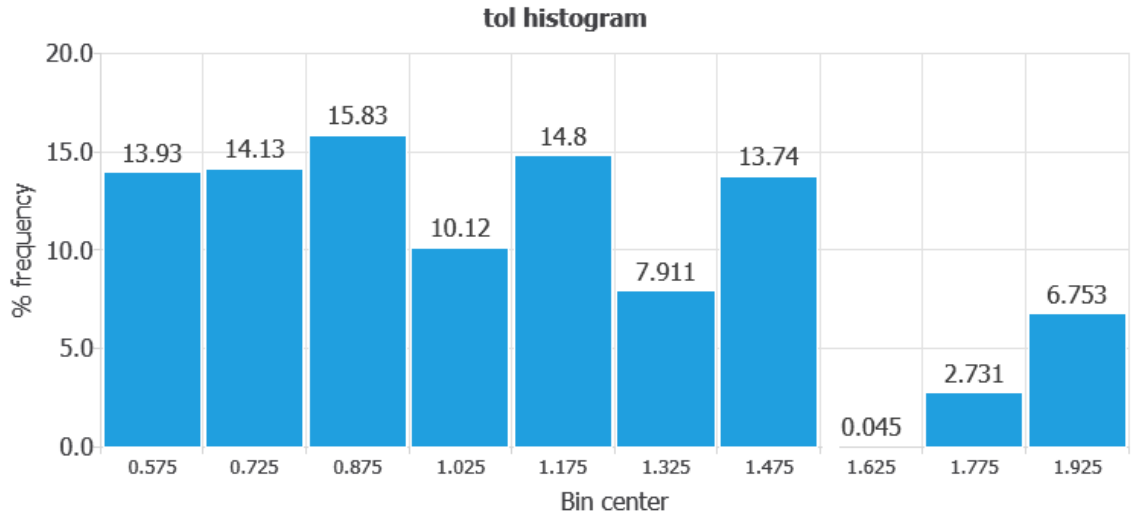
Таблиця 3.5 – Мінімум, максимум, середнє та середньоквадратичне відхилення по кожному з параметрів виборки сталі 08кп по ГОСТ 9045-93.

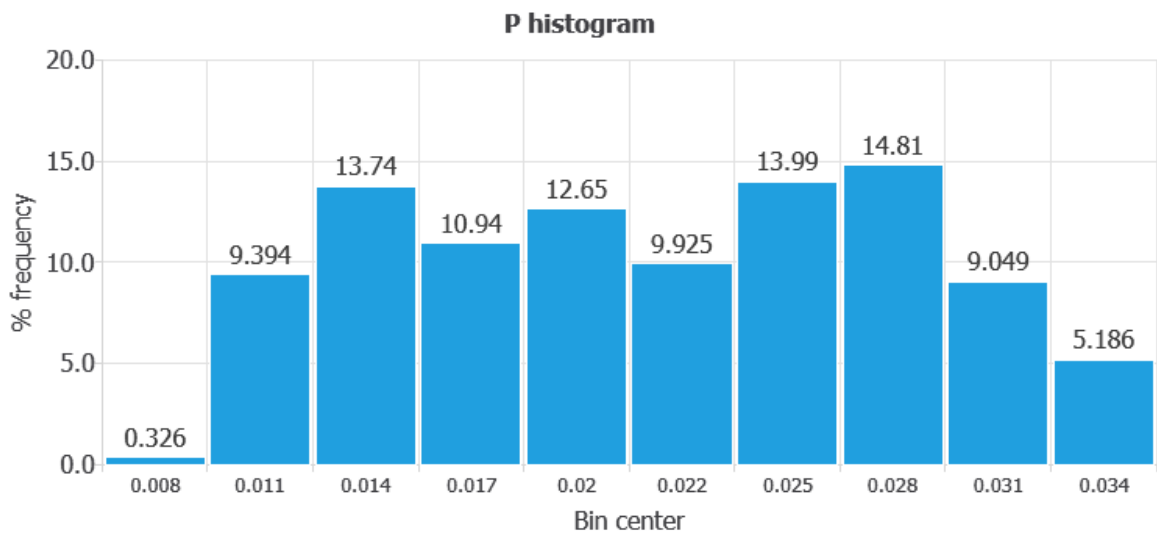
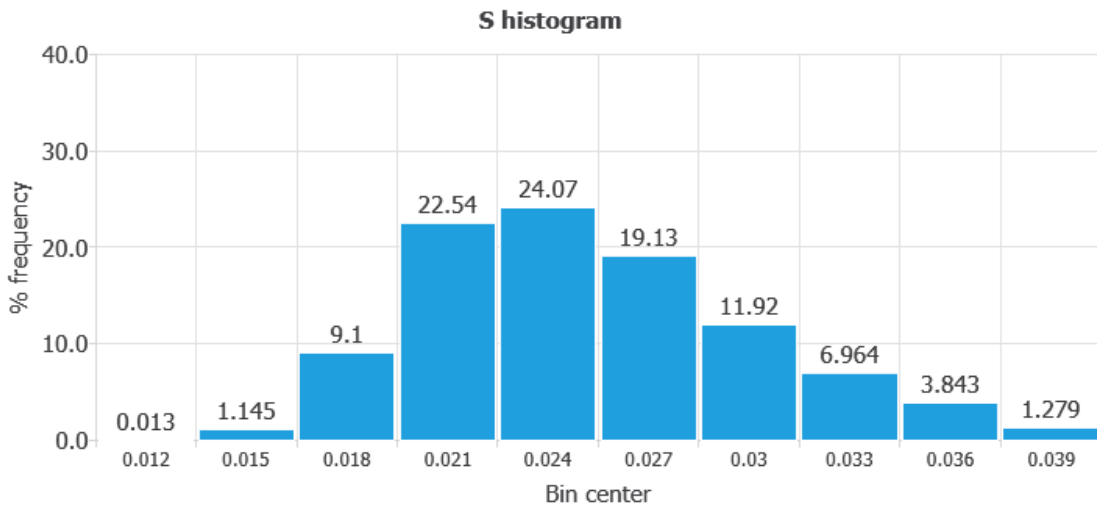
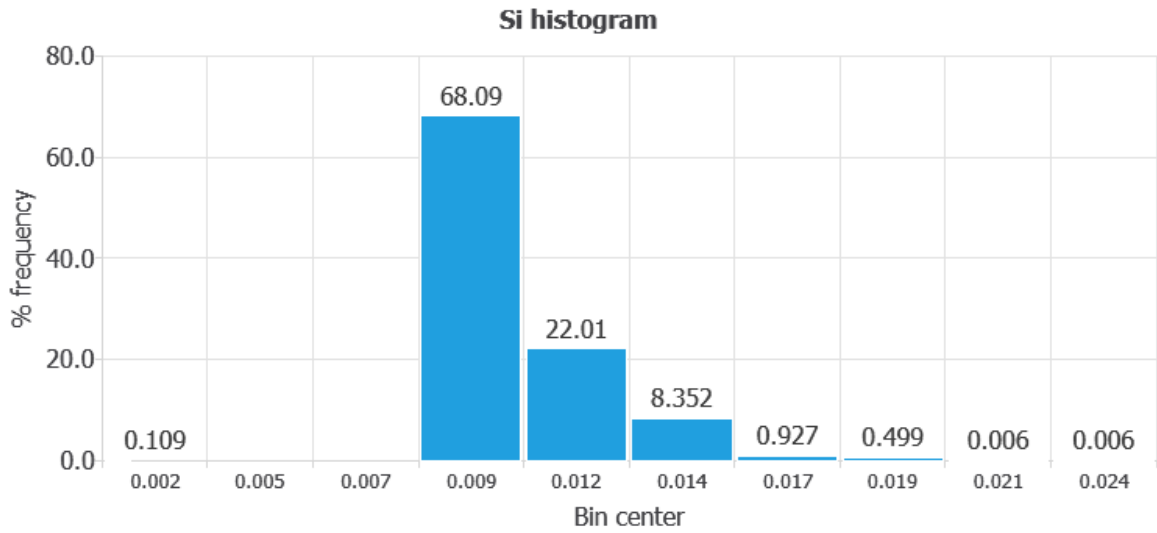
	Minimum	Maximum	Mean	Deviation
tol	0.6	2	1.09	0.168
C	0.06	0.1	0.0758	0.01
MN	0.23	0.4	0.352	0.028
Si	0.01	0.021	0.0105	0.00129
S	0.014	0.03	0.0239	0.00358
P	0.007	0.025	0.0183	0.00461
Cr	0.01	0.06	0.0288	0.00865
Ni	0.01	0.07	0.0135	0.00678
Cu	0.01	0.05	0.0122	0.00439
Ti	0	1	0.0891	0.285
Mezha plinnosti	181	368	270	25.3

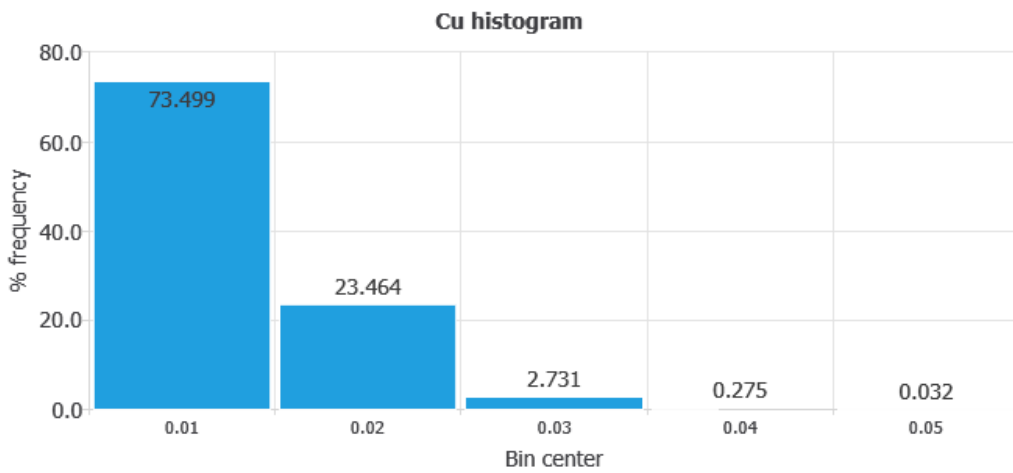
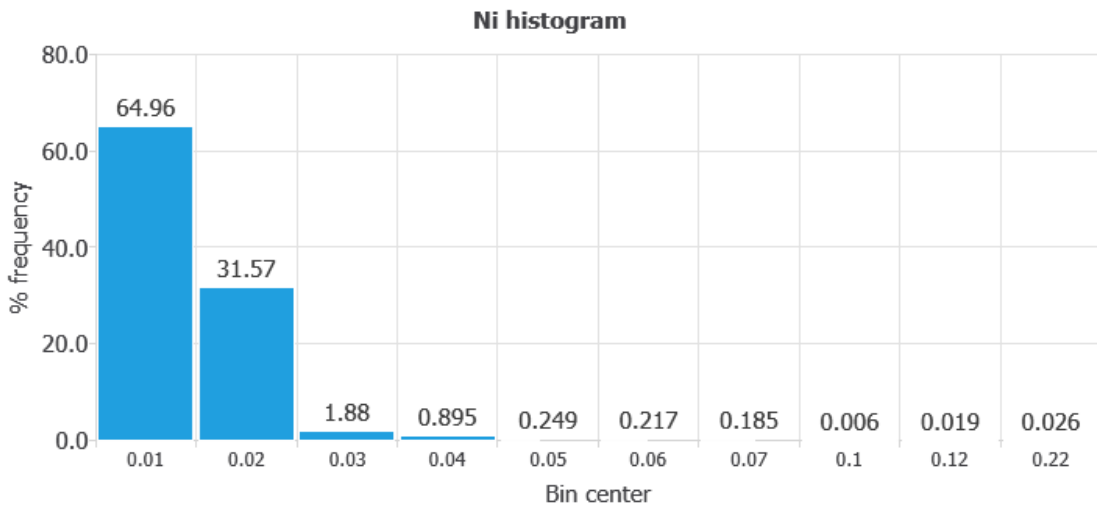
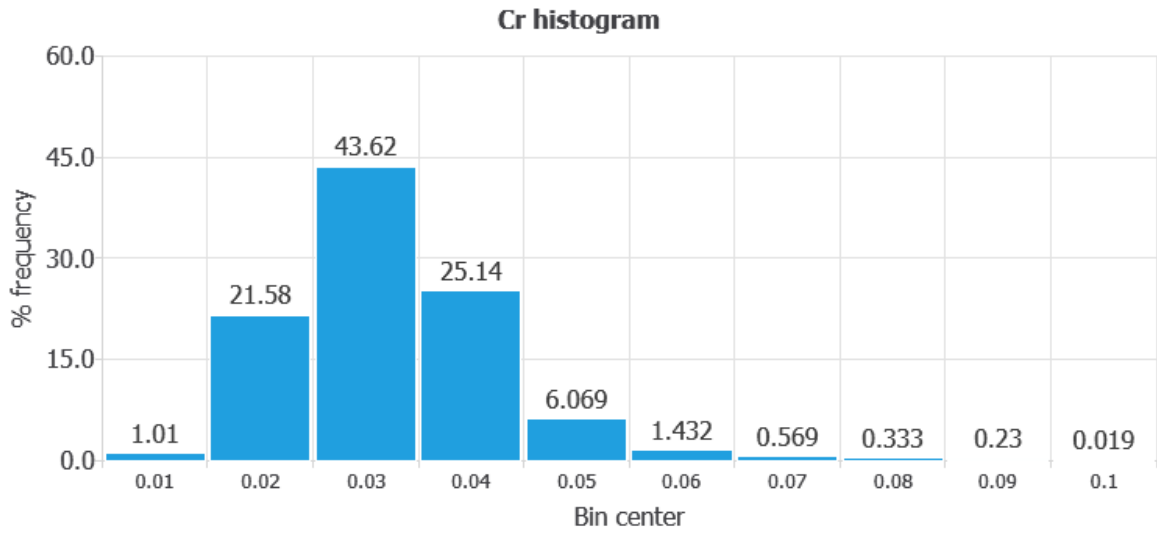
В) 08кп по ГОСТ 16523-97 за 2017 рік (файл 3)

Таблиця 3.6 - Аналіз межі плинності сталі 08кп по ГОСТ 16523-97

Кількість випробувань, шт	15637
Кількість випробувань межі плинності зі значенням $\leq 280$ МПа по EN 10131-2006, шт	10653
Відповідність EN 10131-2006,%	68,1







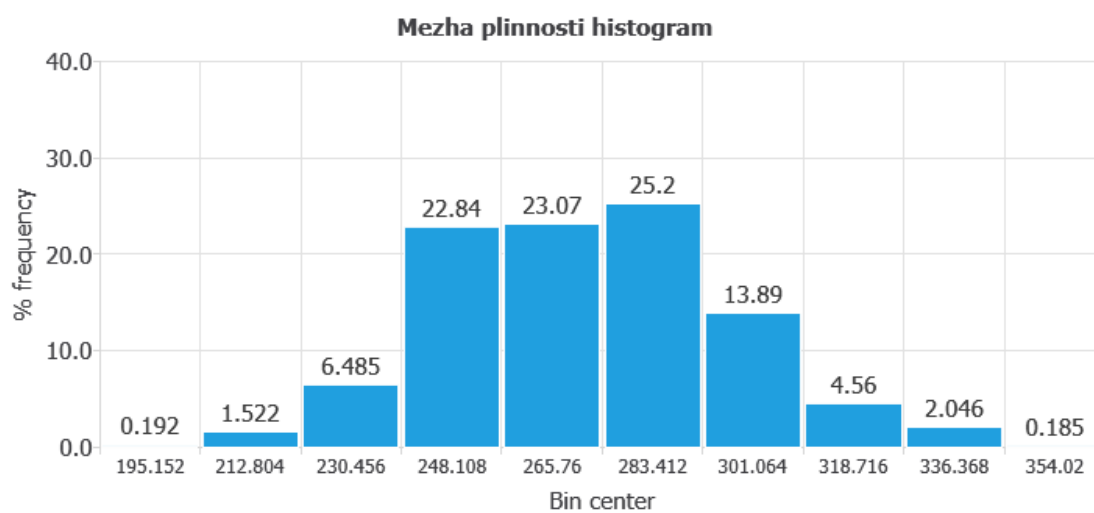
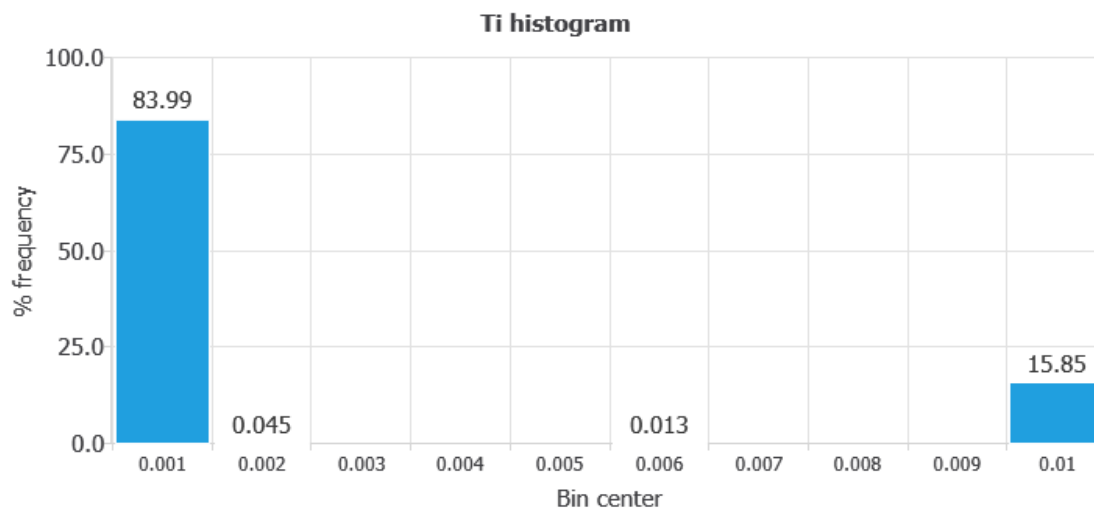


Рисунок 3.5 – Діаграми розподілу хімічних елементів, товщини та межі плинності у виборці сталі 08кп по ГОСТ 16523-97.

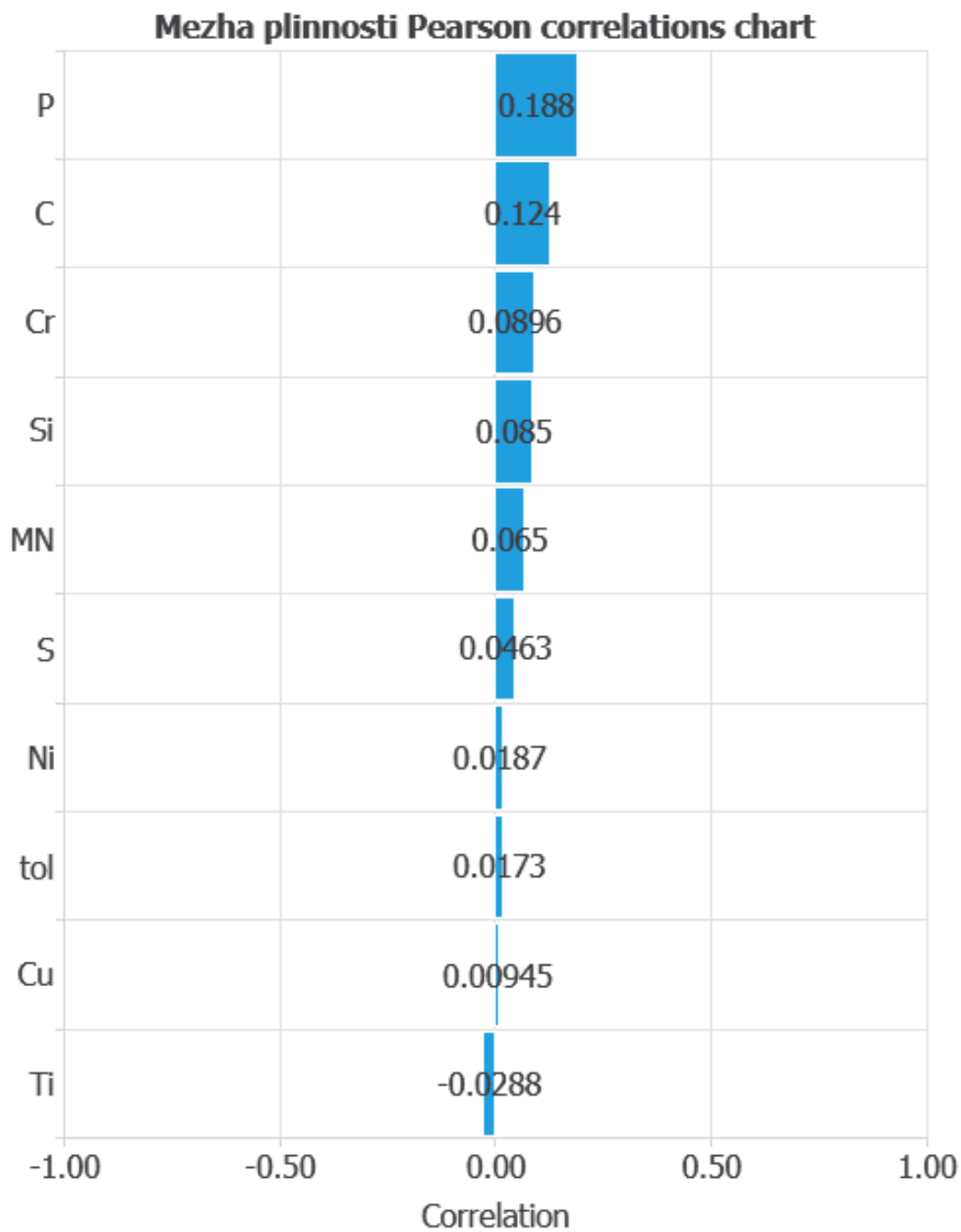


Рисунок 3.6 – Коефіцієнти кореляції між межею плинності та хіміскладом і товщиною металу сталі 08кп по ГОСТ 16523-97.

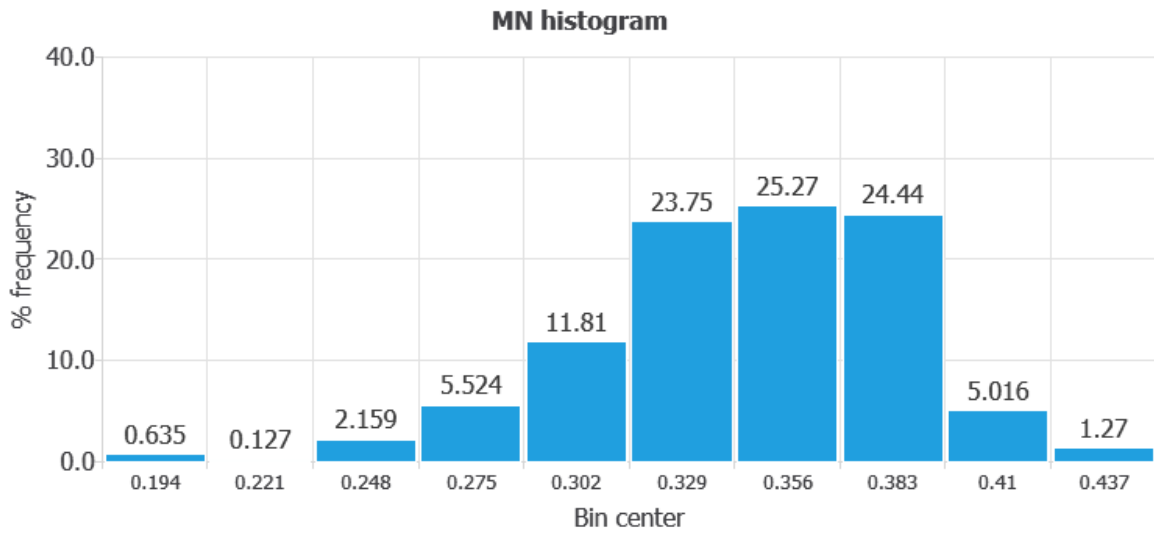
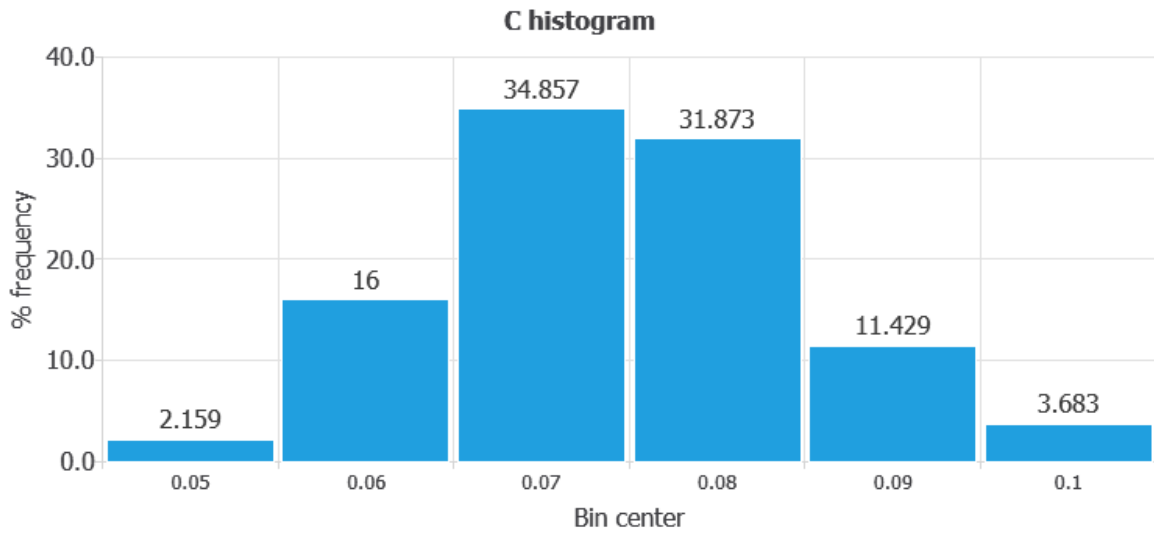
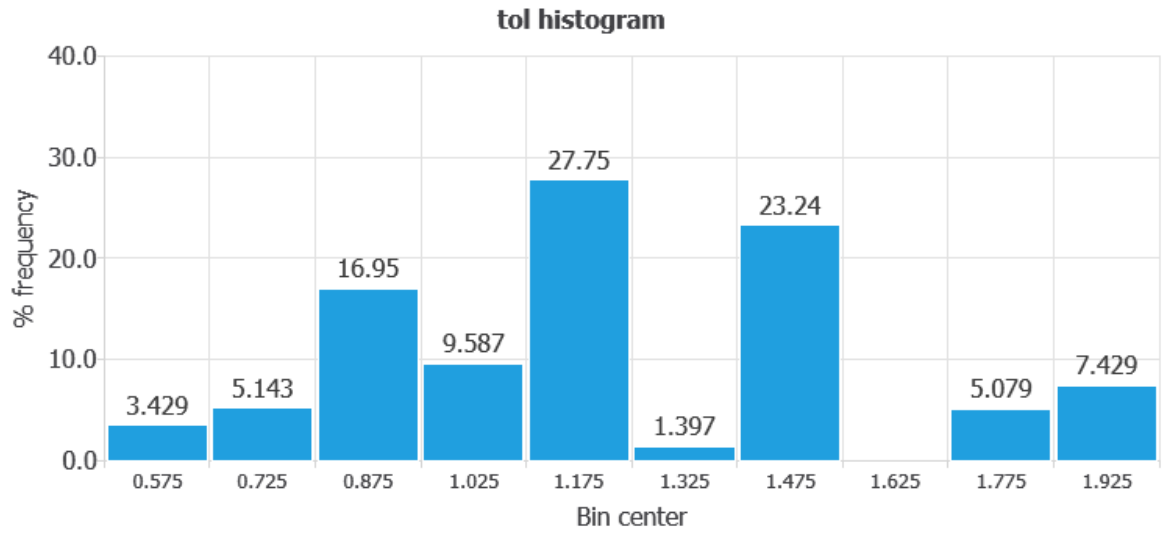
Таблиця 3.7 – Мінімум, максимум, середнє та середньоквадратичне відхилення по кожному з параметрів виборки сталі 08кп по ГОСТ 16523-97.

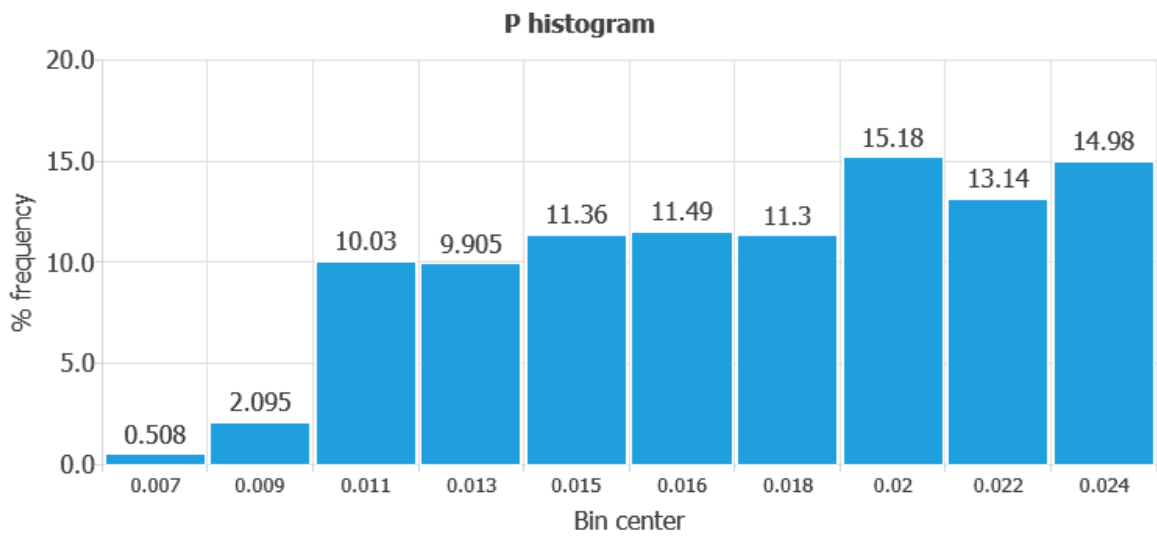
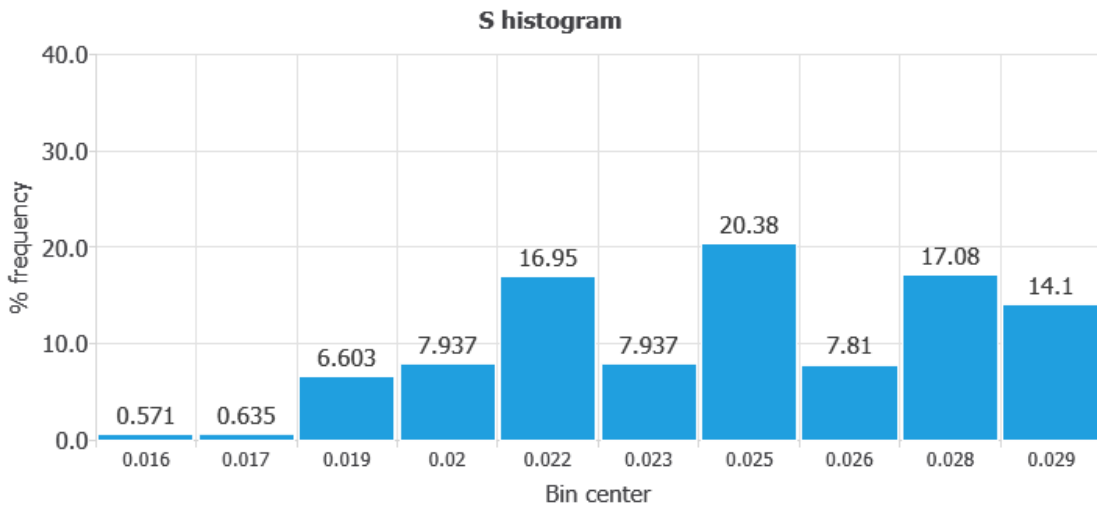
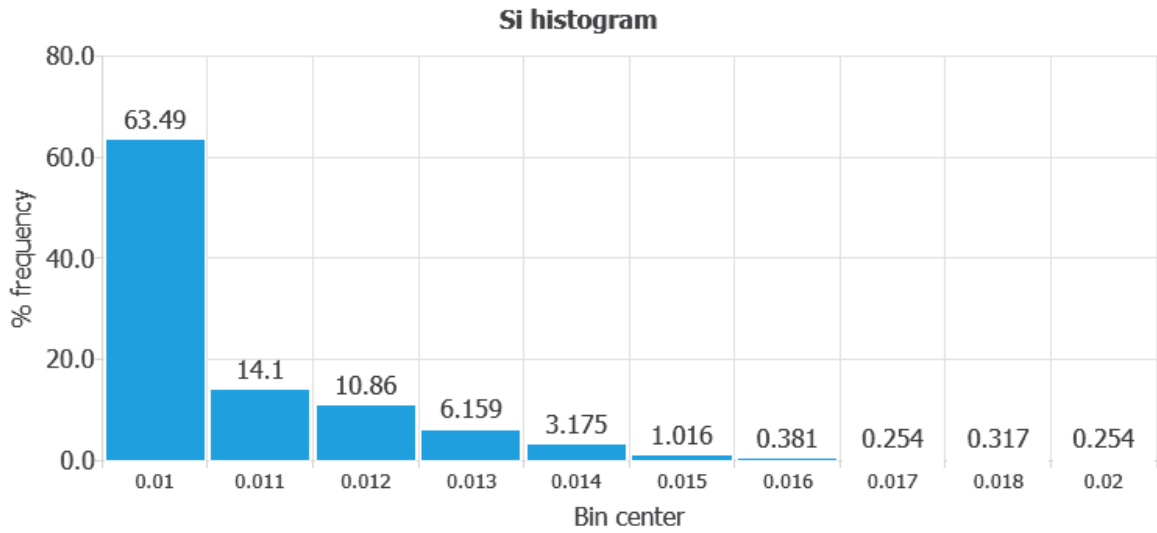
	Minimum	Maximum	Mean	Deviation
tol	0.5	2	1.07	0.407
C	0.05	0.12	0.0803	0.0136
MN	0.25	0.5	0.354	0.0307
Si	0.001	0.025	0.0107	0.00142
S	0.011	0.04	0.0253	0.00494
P	0.007	0.035	0.0218	0.00672
Cr	0.01	0.1	0.0323	0.0104
Ni	0.01	0.22	0.0142	0.00773
Cu	0.01	0.05	0.013	0.00533
Ti	0.001	0.01	0.00243	0.00329
Mezha plinnosti	186	363	271	25.3

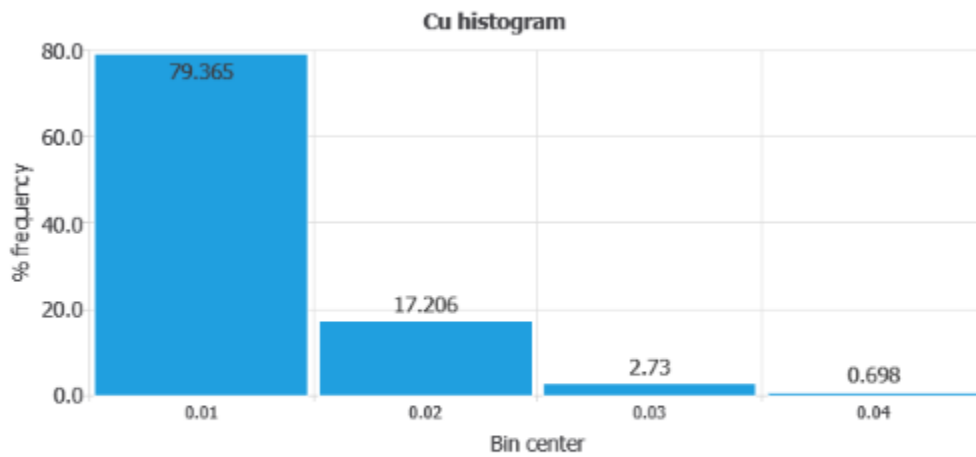
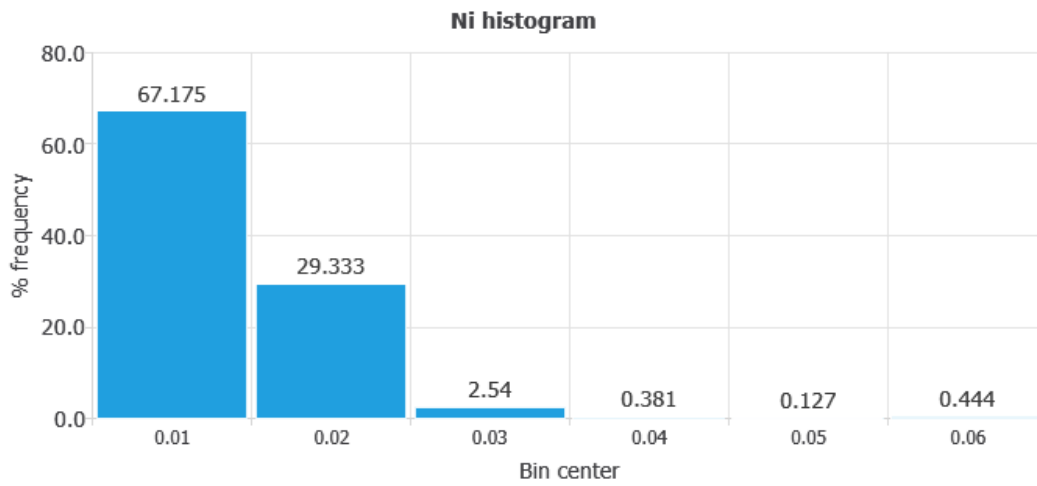
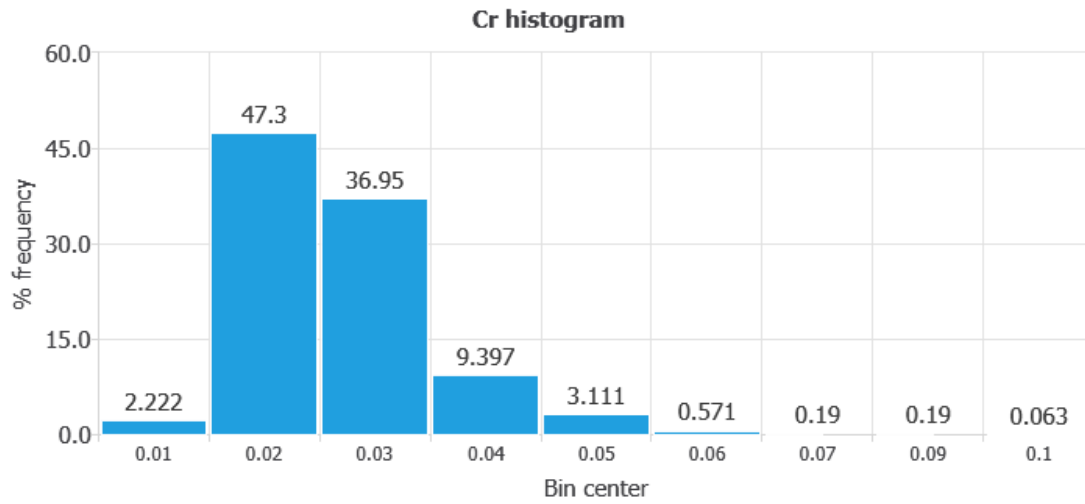
Г) 08пс по ГОСТ 9045-93 за 2009-2018рр (для збільшення кількості випробувань вибірка зроблена за 10 років – файл 4)

Таблиця 3.8 - Аналіз межі плинності сталі 08пс по ГОСТ 9045-93.

Кількість випробувань, шт	1575
Кількість випробувань межі плинності зі значенням $\leq 280$ МПа по EN 10131-2006, шт	1438
Відповідність EN 10131-2006,%	91,3







Ti pie chart

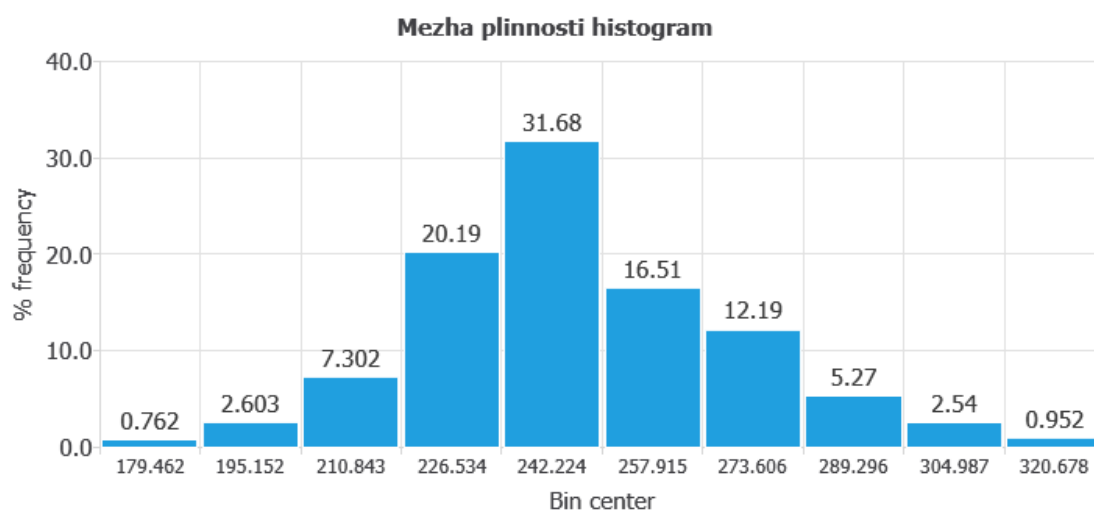
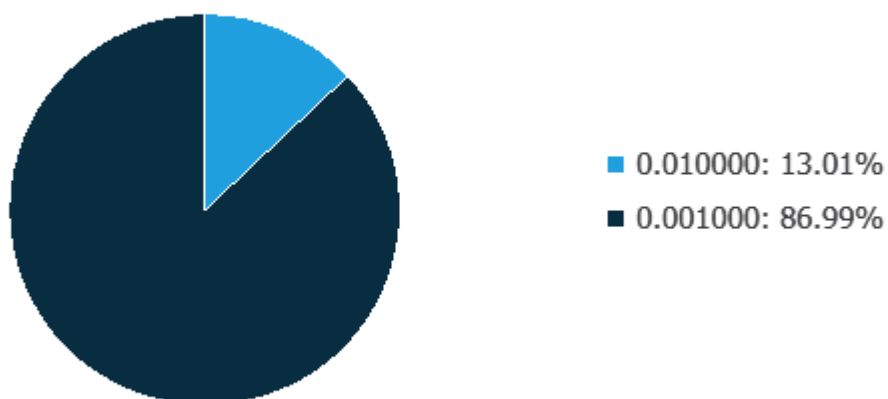


Рисунок 3.7 – Діаграми розподілу хімічних елементів, товщини та межі плинності у виборці сталі 08пс по ГОСТ 9045-93.

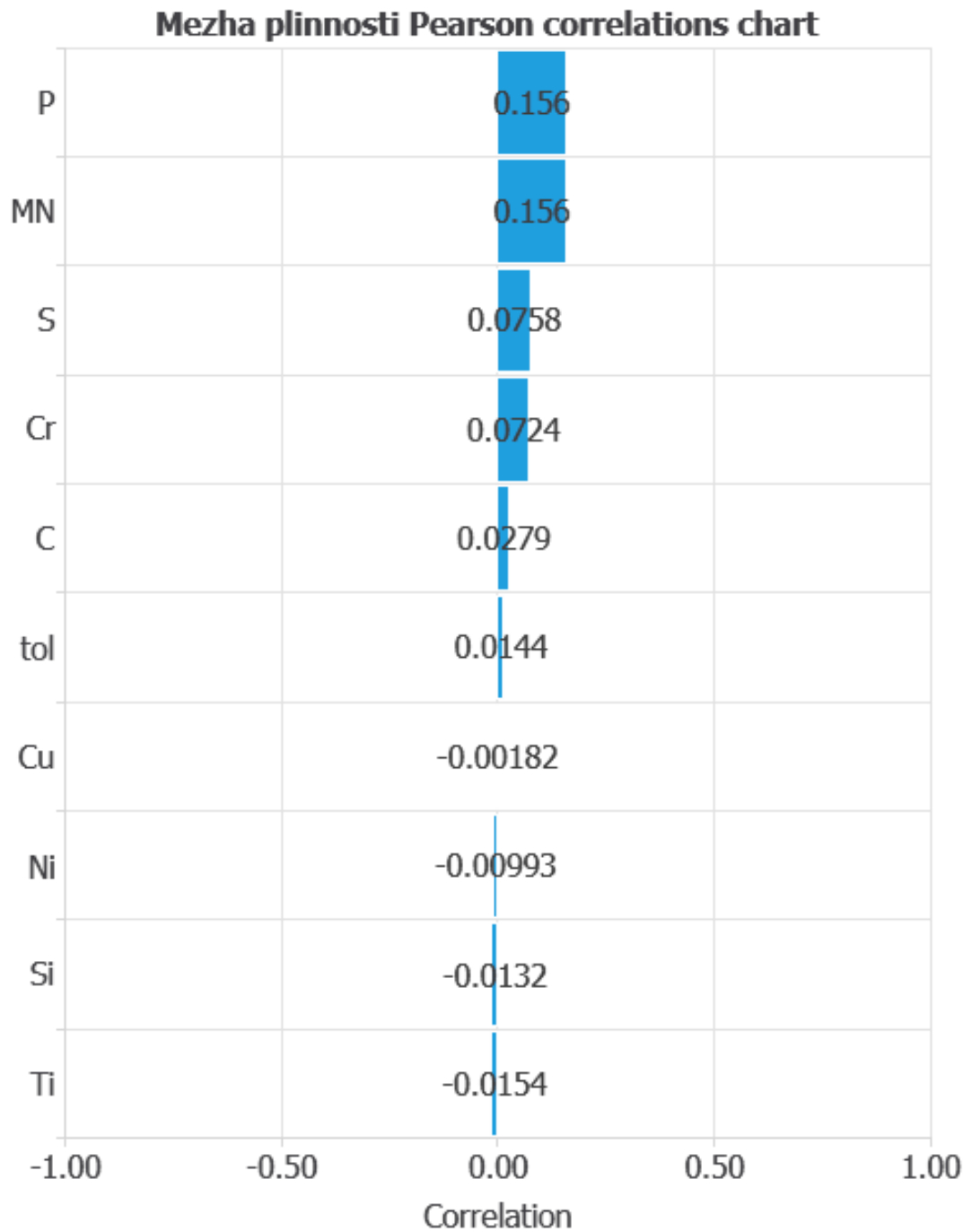


Рисунок 3.8 – Коефіцієнти кореляції між межою плинності та хіміскладом і товщиною металу сталі 08пс по ГОСТ 9045-93.

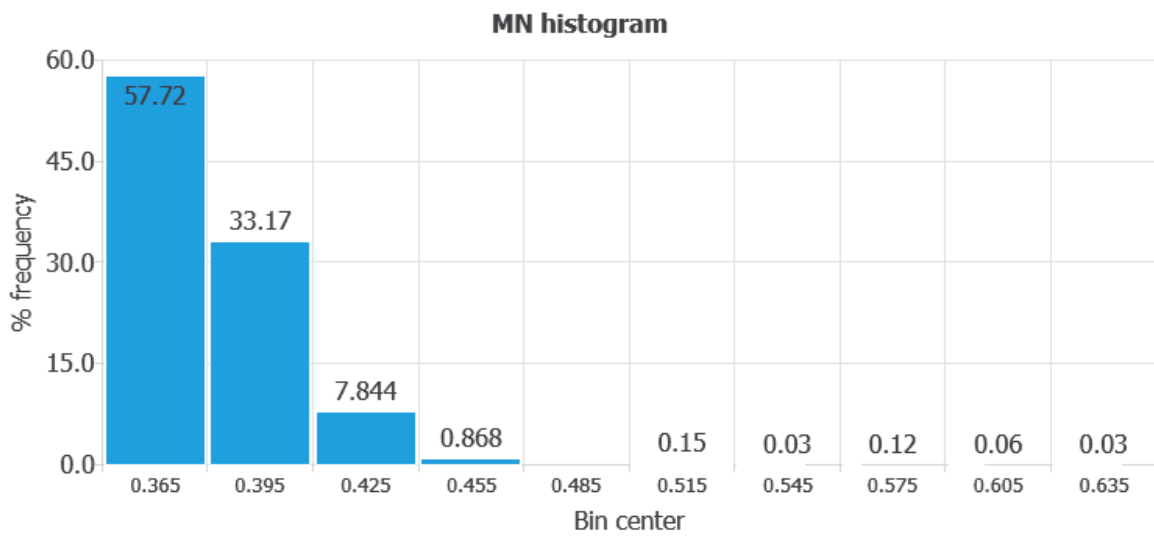
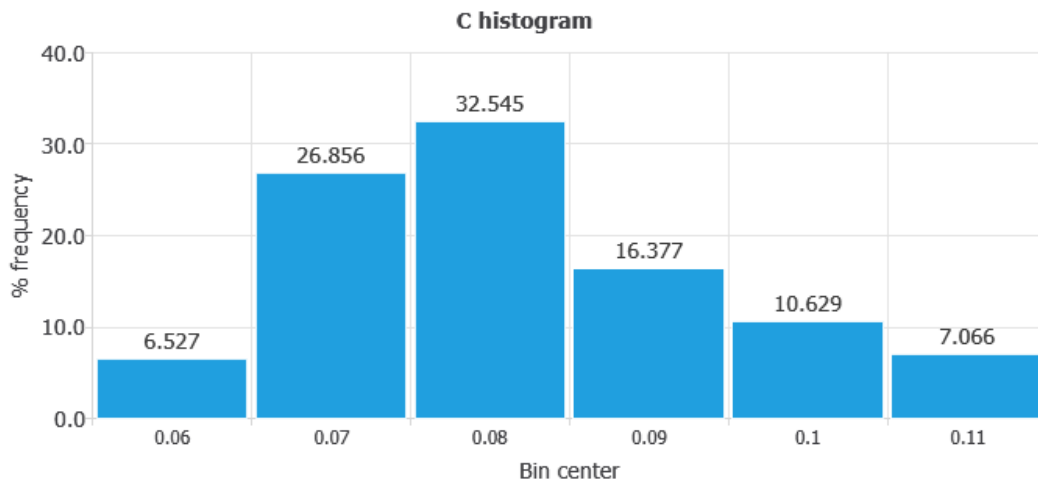
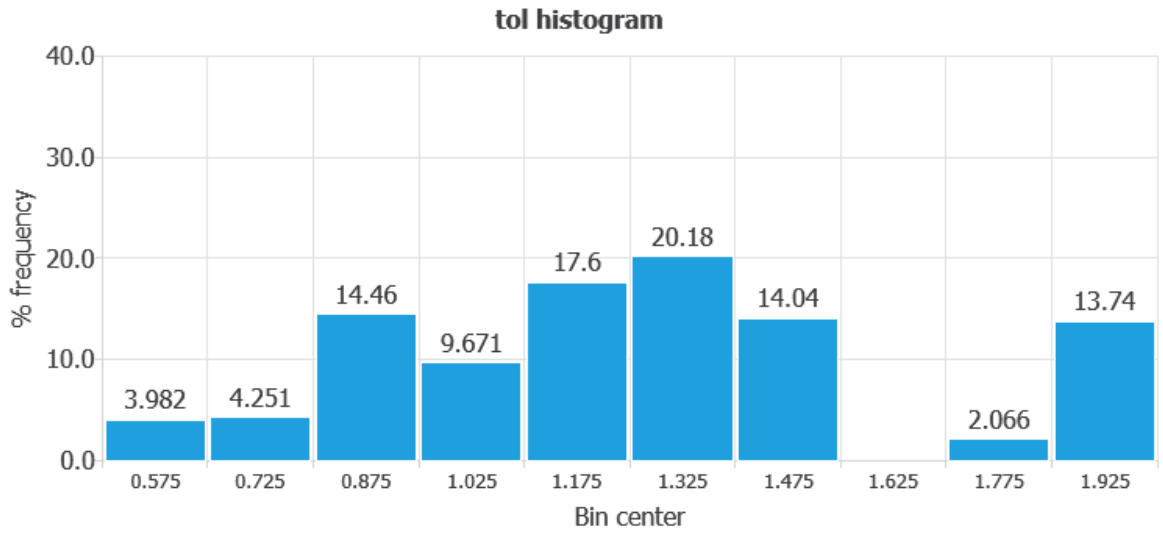
Таблиця 3.9 – Мінімум, максимум, середнє та середньоквадратичне відхилення по кожному з параметрів виборки сталі 08пс по ГОСТ 9045-93.

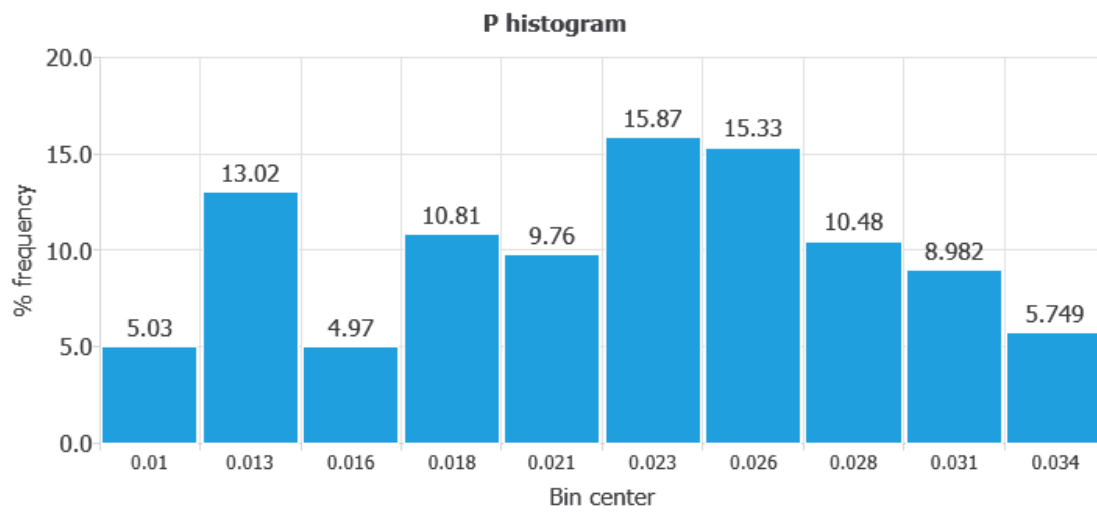
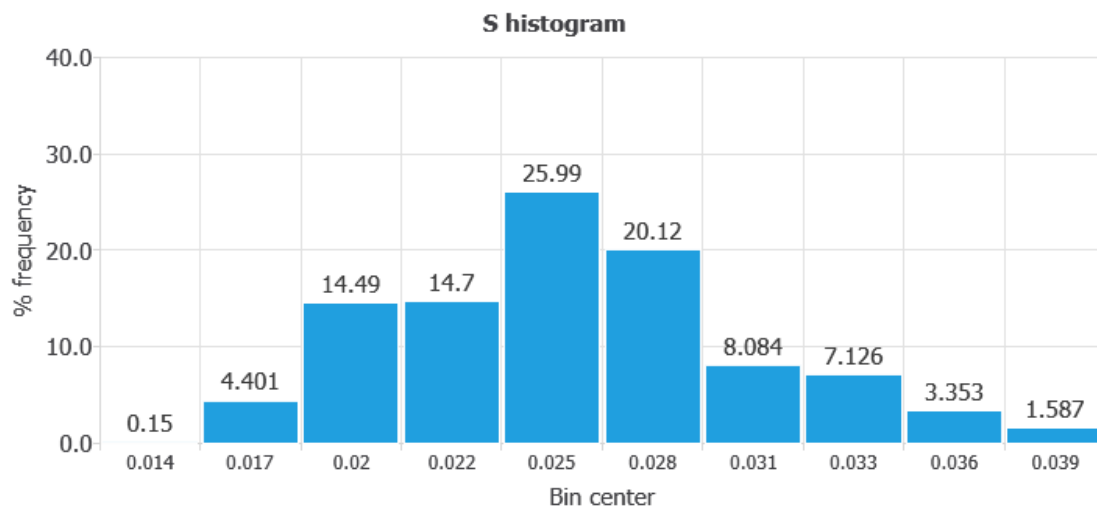
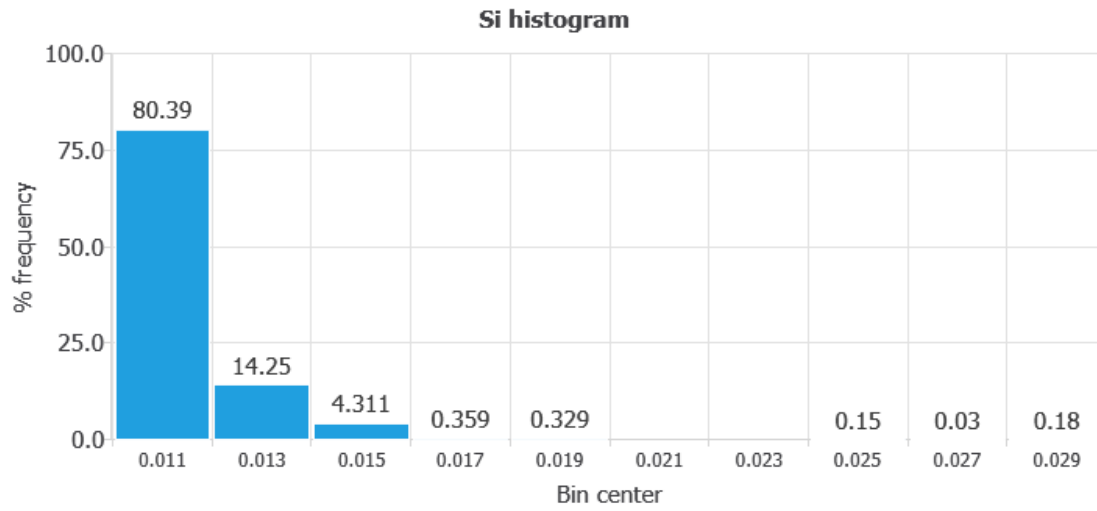
	Minimum	Maximum	Mean	Deviation
tol	0.5	2	1.21	0.371
C	0.05	0.1	0.0745	0.0107
MN	0.18	0.45	0.344	0.0388
Si	0.01	0.02	0.0108	0.0014
S	0.015	0.03	0.0244	0.00344
P	0.006	0.025	0.0179	0.00479
Cr	0.01	0.1	0.0268	0.00927
Ni	0.01	0.06	0.0138	0.00644
Cu	0.01	0.04	0.0125	0.00532
Ti	0	1	0.13	0.337
Mezha plinnosti	172	329	246	25.2

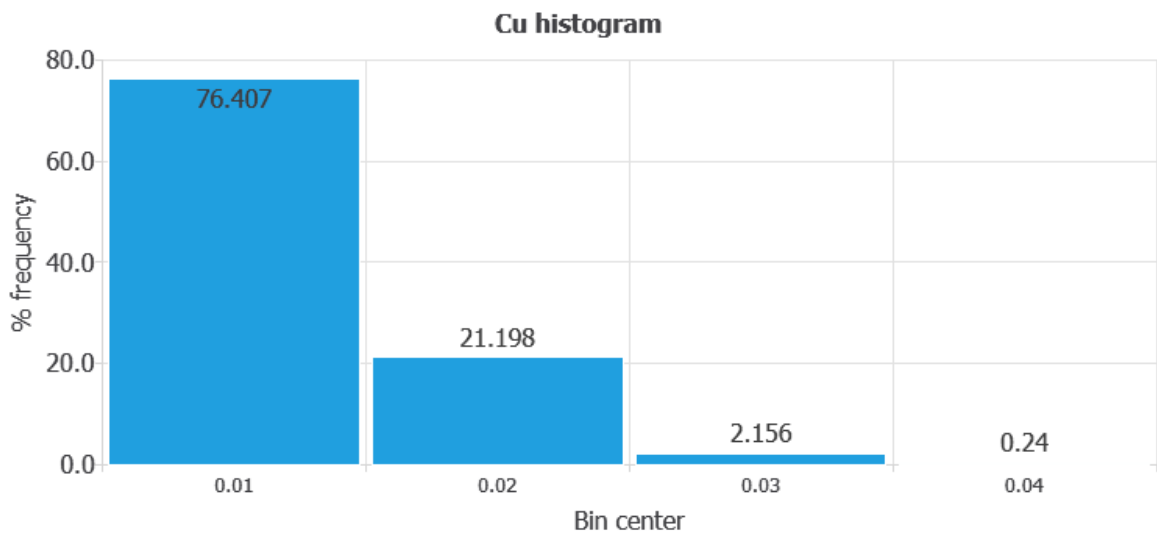
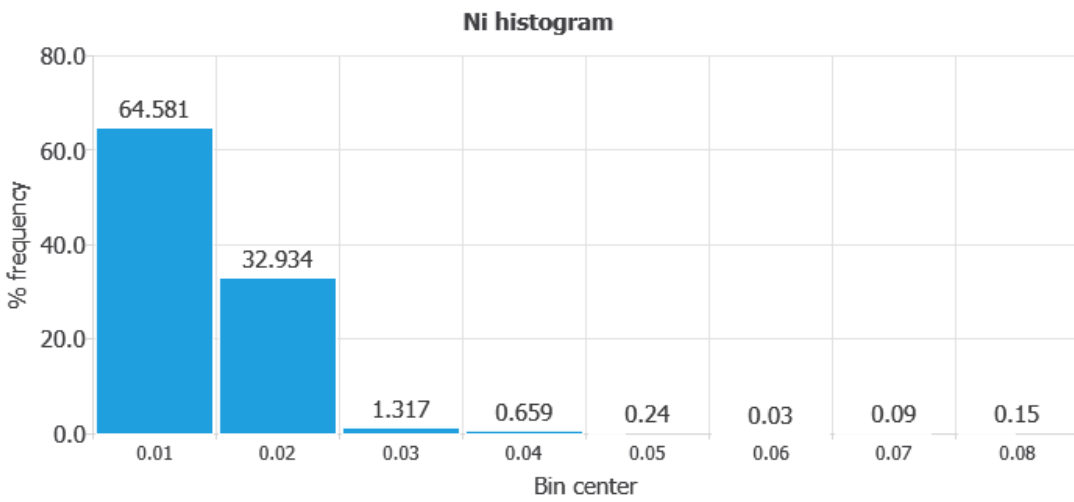
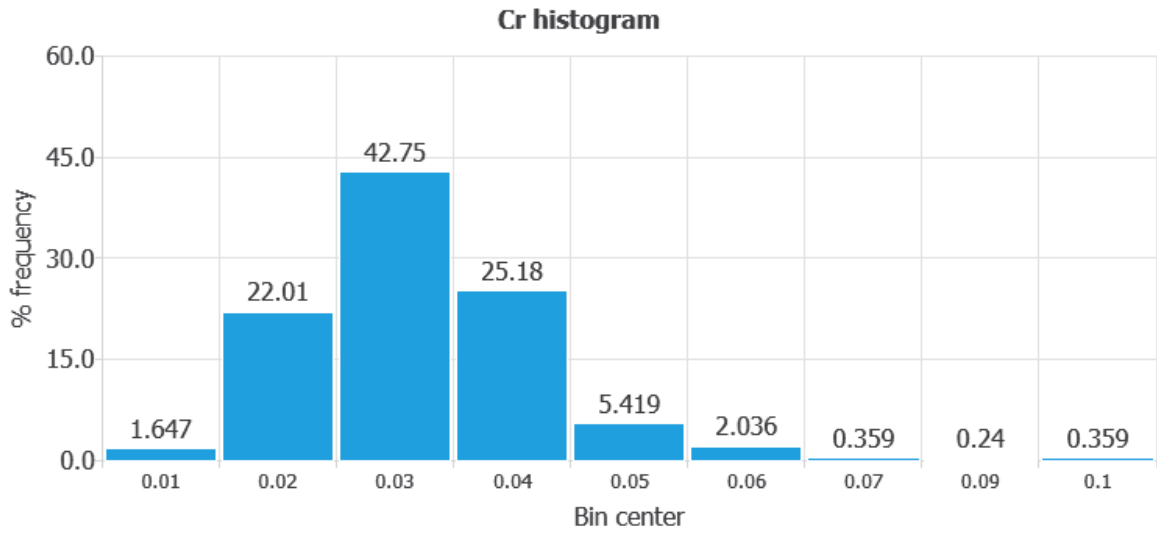
Д) 08пс по ГОСТ 16523-97 за 2017 рік (файл 5).

Таблиця 3.10 - Аналіз межі плинності сталі 08пс по ГОСТ 16523-97.

Кількість випробувань, шт	3340
Кількість випробувань межі плинності зі значенням $\leq 280$ МПа по EN 10131-2006, шт	2220
Відповідність EN 10131-2006,%	66,4







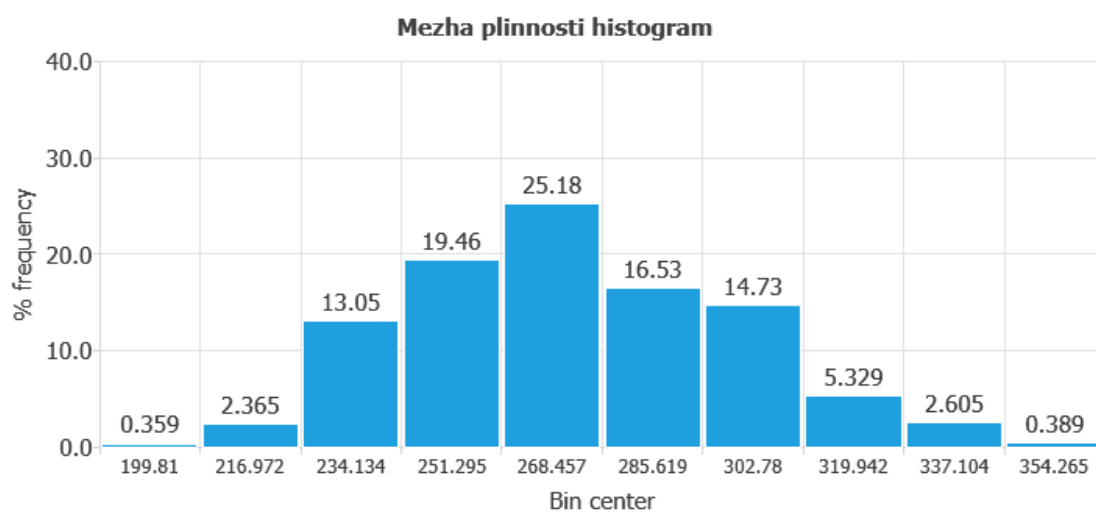
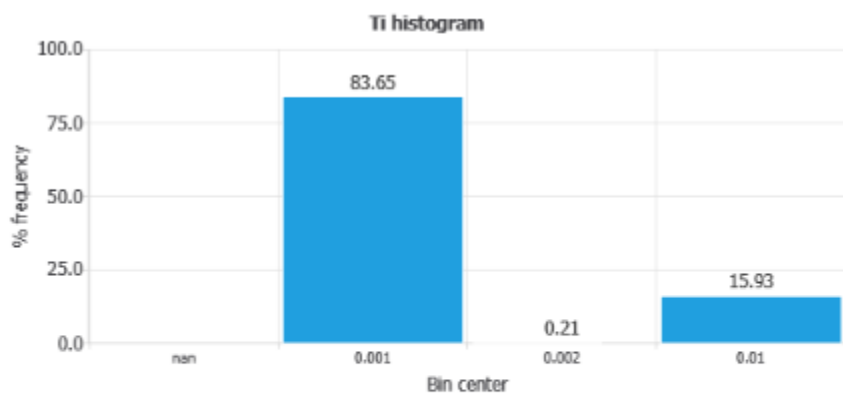


Рисунок 3.9 – Діаграми розподілу хімічних елементів, товщини та межі плинності у виборці сталі 08пс по ГОСТ 16523-97.

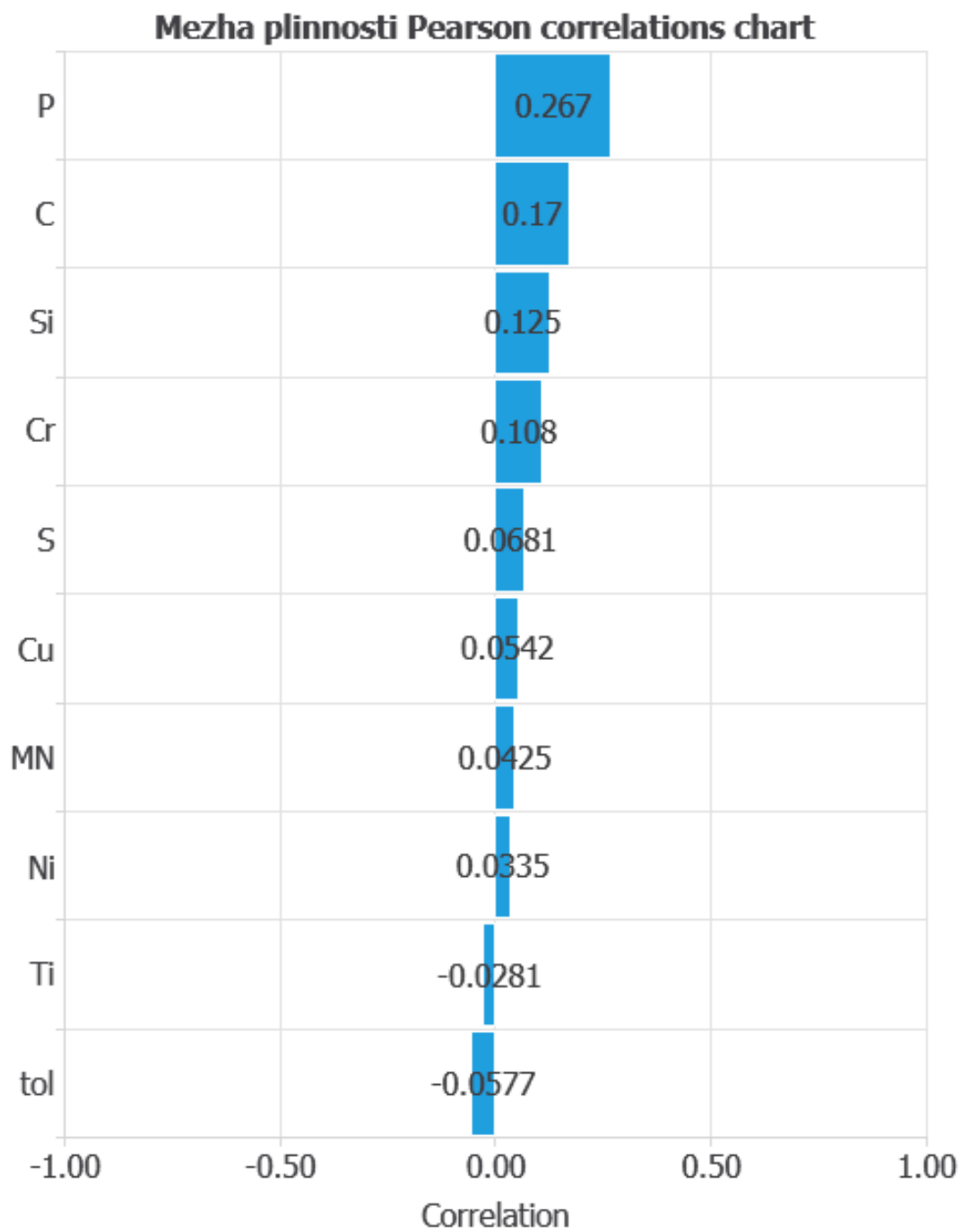


Рисунок 3.10 – Коефіцієнти кореляції між межою плинності та хімічним складом сталі 08пс по ГОСТ 16523-97.

Таблиця 3.11 – Мінімум, максимум, середнє та середньоквадратичне відхилення по кожному з параметрів виборки сталі 08пс по ГОСТ 16523-97.

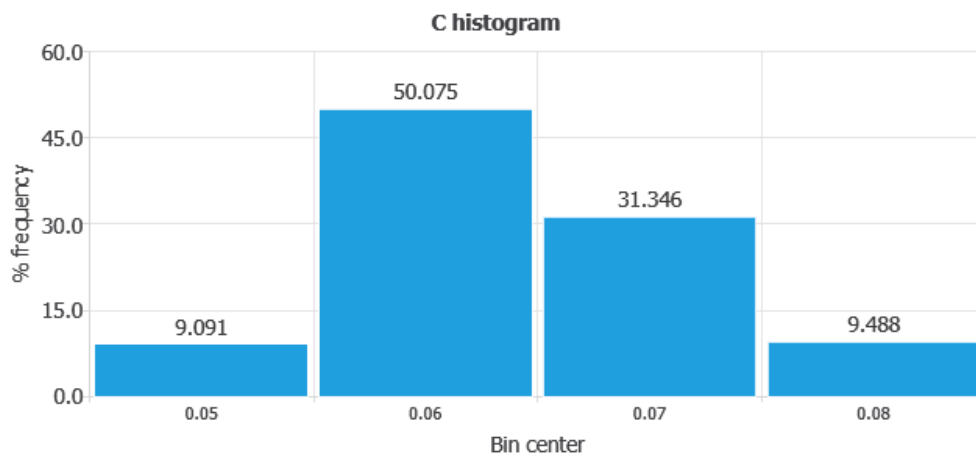
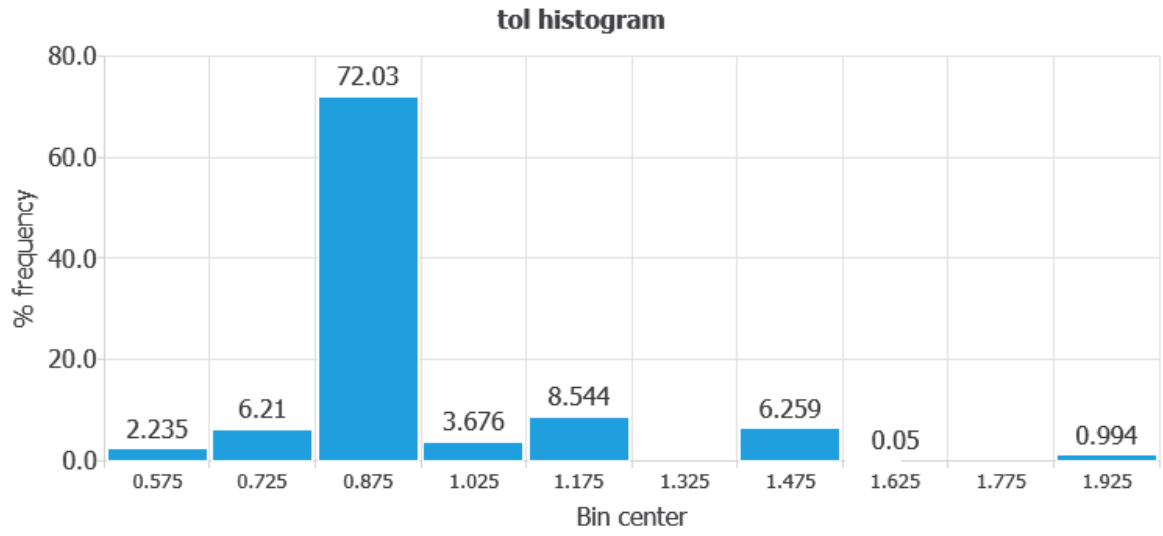
	Minimum	Maximum	Mean	Deviation
tol	0.5	2	1.26	0.399
C	0.06	0.11	0.0819	0.0131
MN	0.35	0.65	0.374	0.0236
Si	0.01	0.03	0.0108	0.00162
S	0.013	0.04	0.0258	0.0047
P	0.009	0.035	0.0223	0.00661
Cr	0.01	0.1	0.0322	0.011
Ni	0.01	0.08	0.014	0.00657
Cu	0.01	0.04	0.0126	0.00501
Ti	0.001	0.01	0.00244	0.0033
Mezha plinnosti	191	363	271	27.9

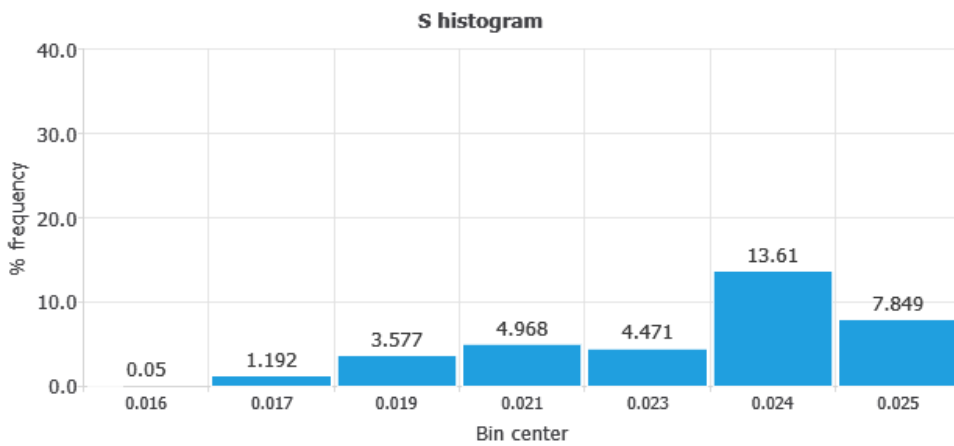
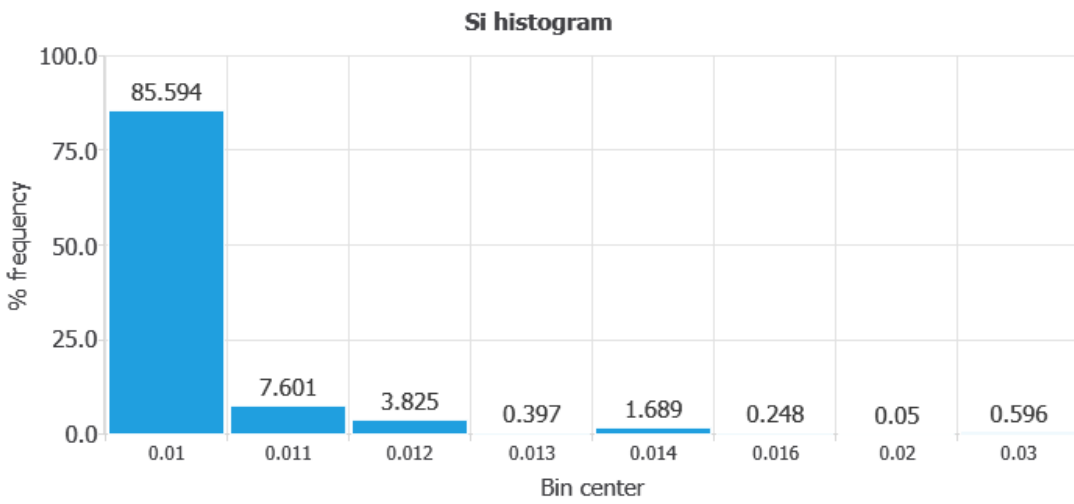
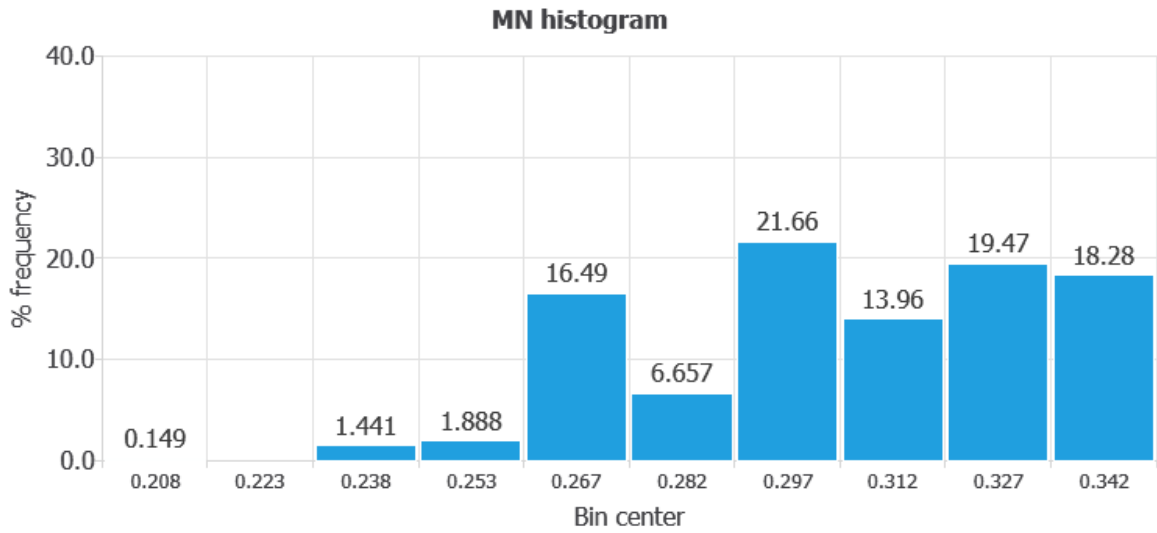
Е) 08Ю по ГОСТ 9045-93 за 2009-2018рр (для збільшення кількості випробувань вибірка зроблена за 10 років – файл б).

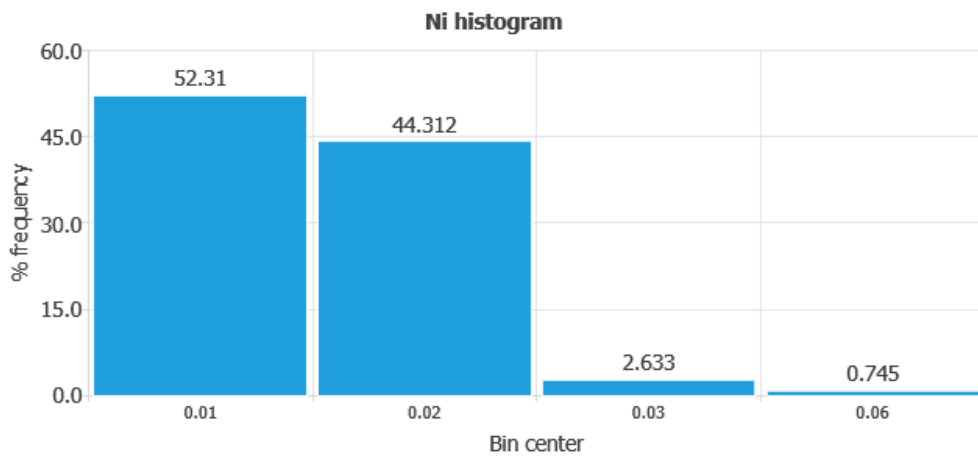
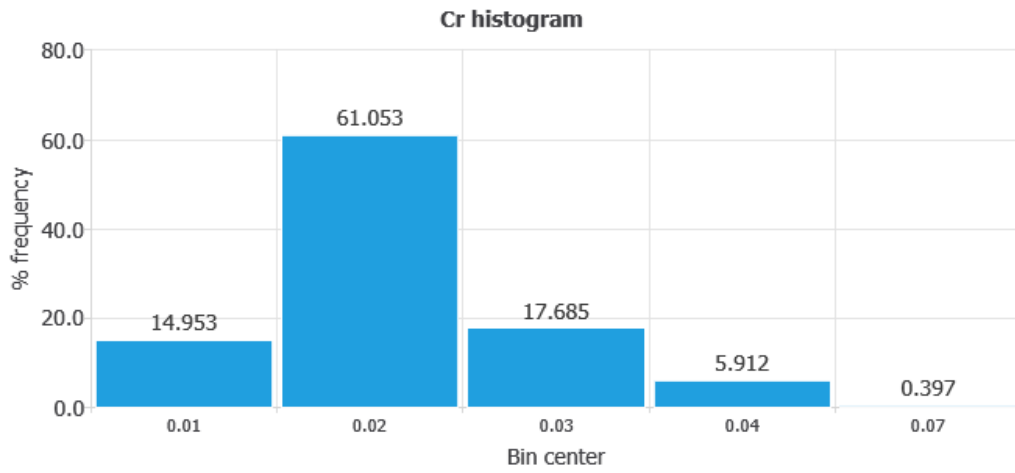
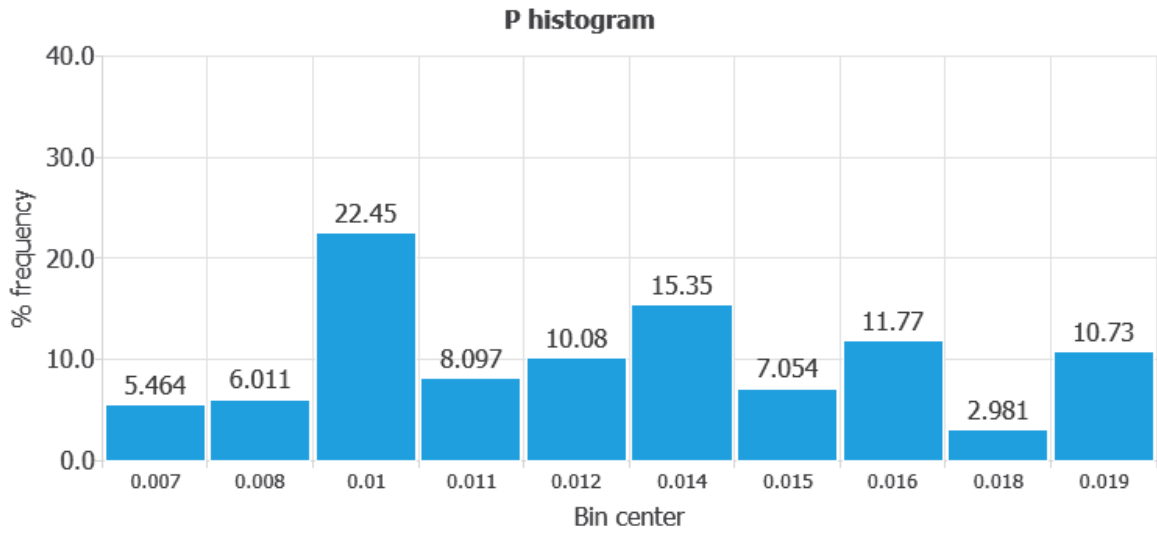
Таблиця 3.12 - Аналіз межі плинності сталі 08Ю по ГОСТ 9045-93

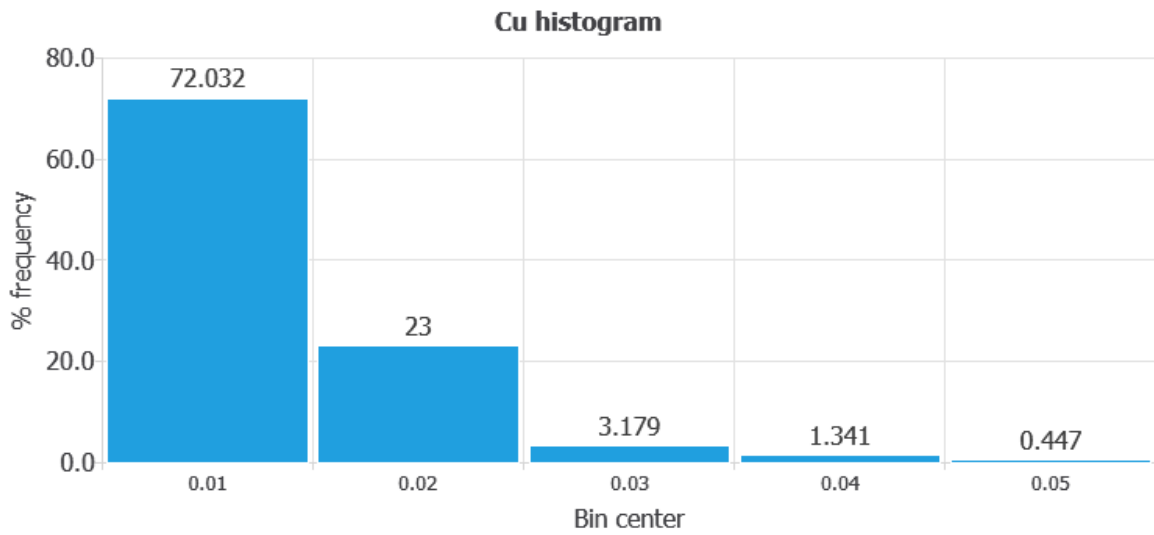
Кількість випробувань, шт	2015
Кількість випробувань межі міцності зі значенням $\leq 280$ МПа по EN 10131-2006, шт	2015
Відповідність EN 10131-2006,%	100

Але слід врахувати що на сталі 08Ю підвищене відсортування за металургійними дефектами, але наочно видно що технологія 08Ю повністю забезпечує відповідність межі плинності Евронормам.

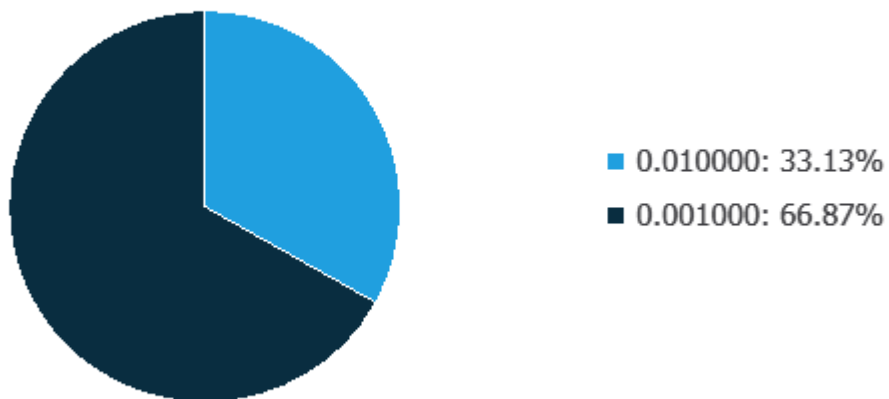








**Ti pie chart**



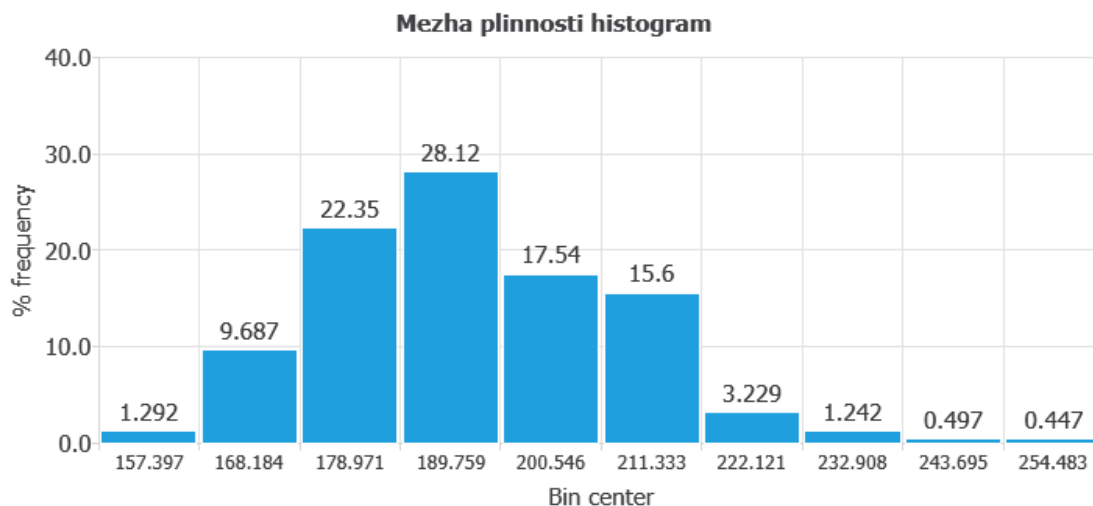


Рисунок 3.11 – Діаграми розподілу хімічних елементів, товщини та межі плинності у виборці сталі 08Ю по ГОСТ 9045-93.

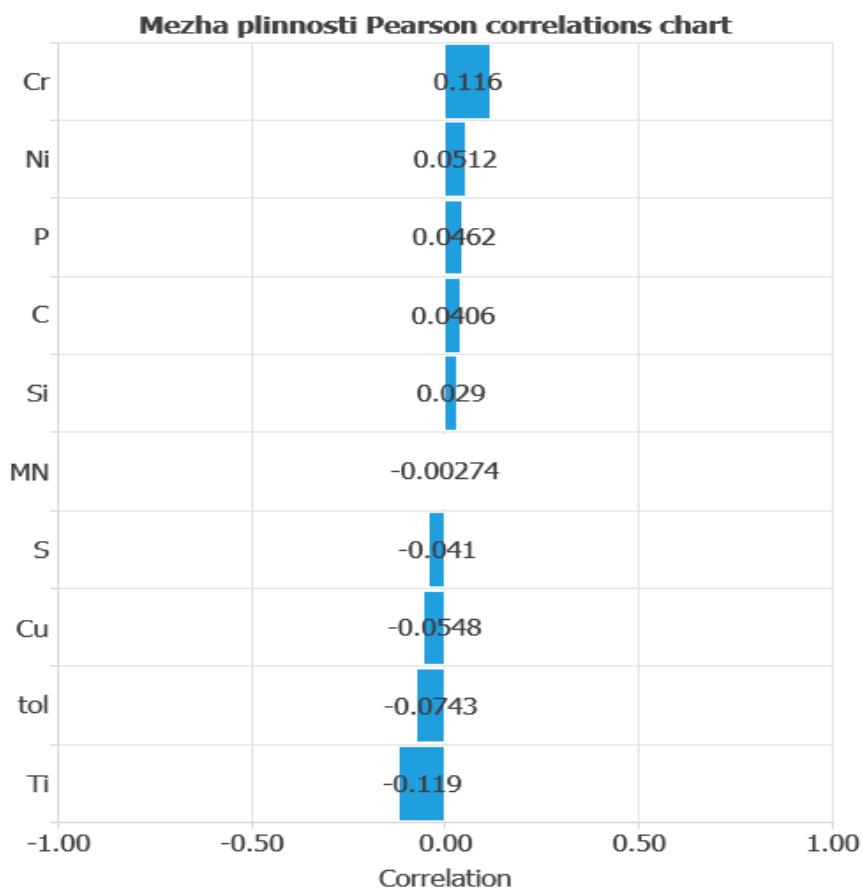


Рисунок 3.12 – Коефіцієнти кореляції між межею плинності та хіміскладом сталі 08Ю по ГОСТ 9045-93.

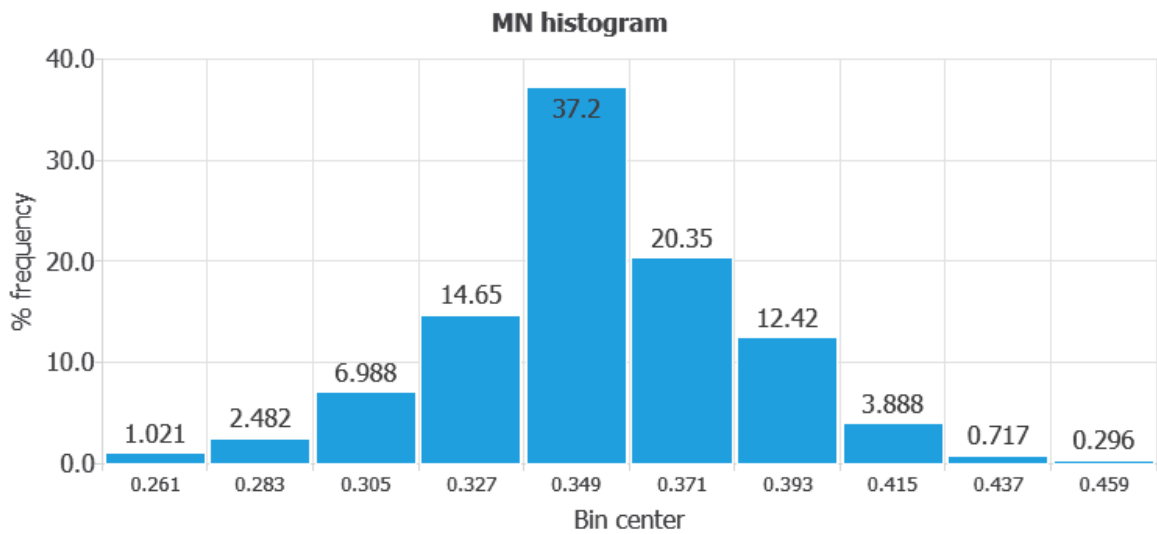
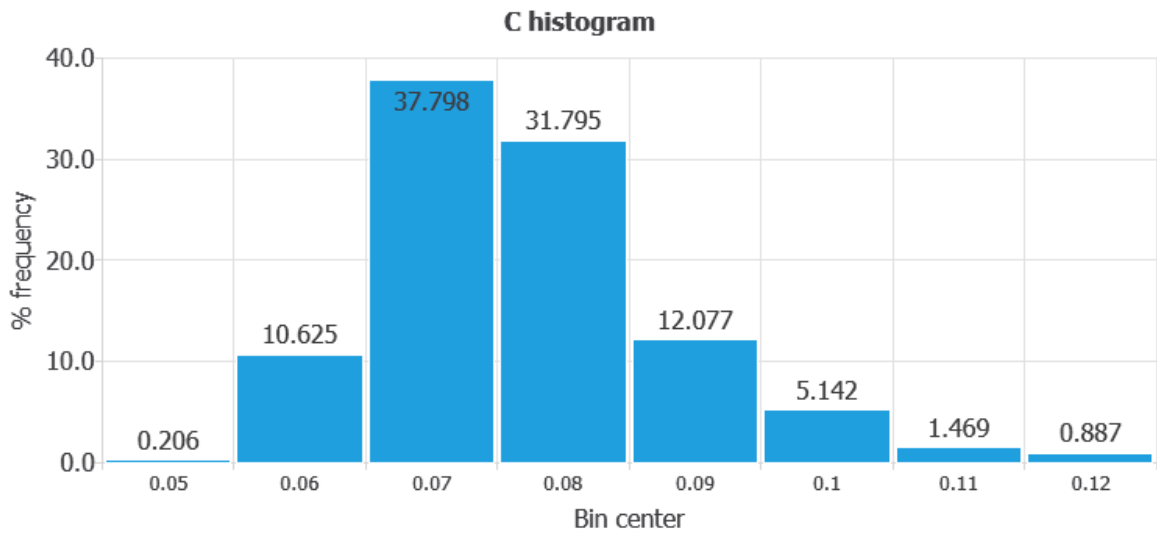
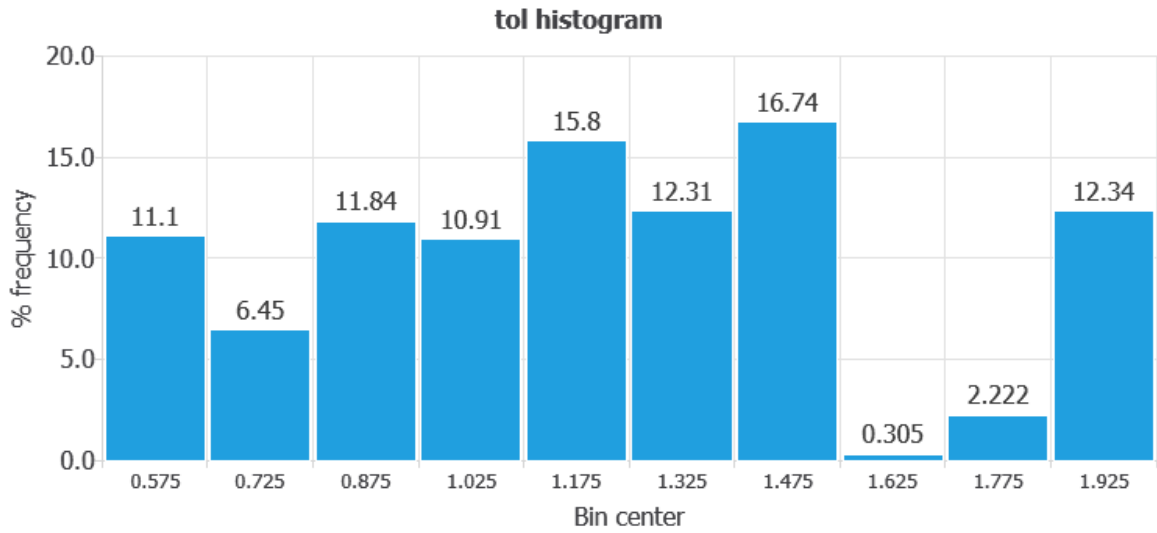
Таблиця 3.13 – Мінімум, максимум, середнє та середньоквадратичне відхилення по кожному з параметрів виборки сталі 08Ю по ГОСТ 9045-93.

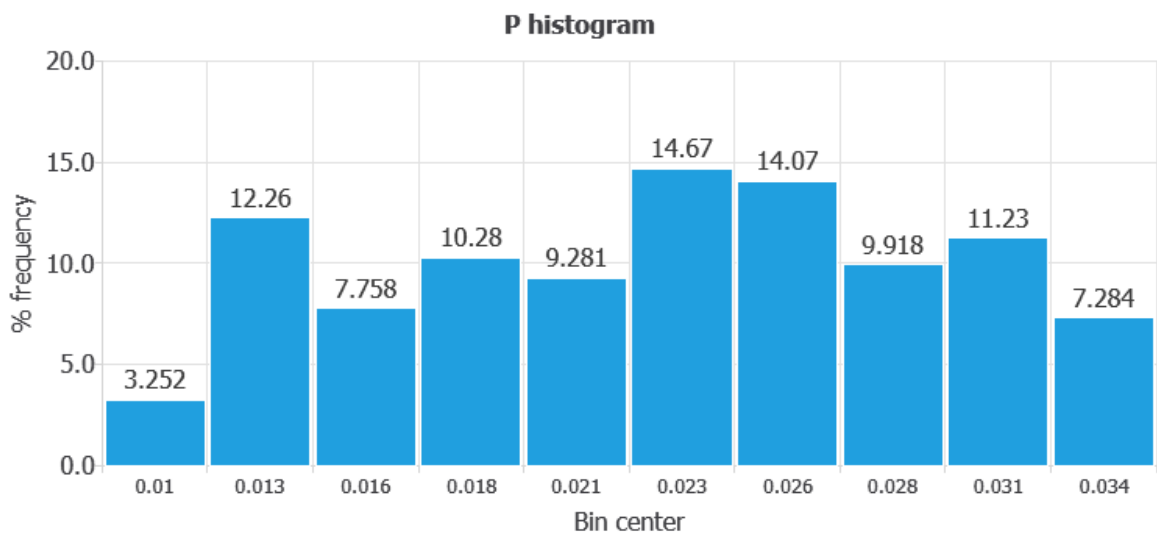
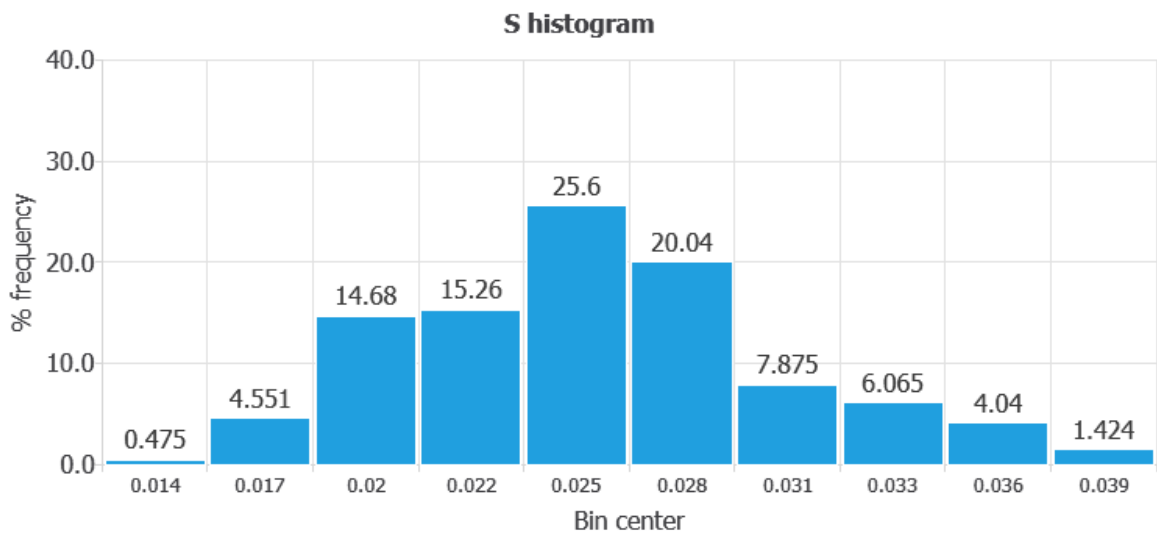
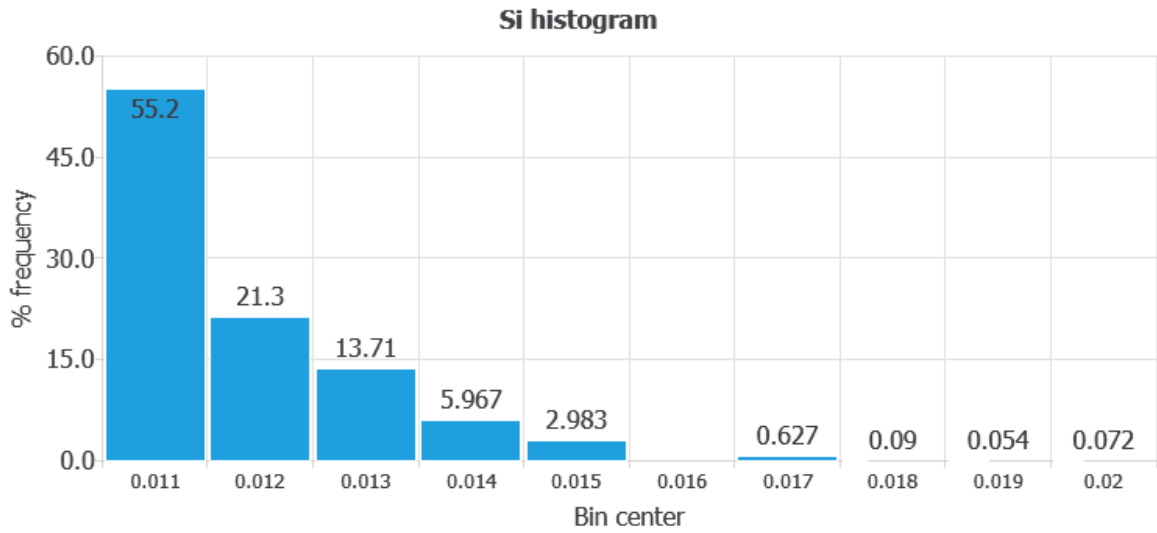
	Minimum	Maximum	Mean	Deviation
tol	0.5	2	0.928	0.216
C	0.05	0.08	0.0641	0.00784
MN	0.2	0.35	0.304	0.0283
Si	0.01	0.03	0.0104	0.00171
S	0.015	0.025	0.0221	0.00238
P	0.006	0.02	0.0128	0.0038
Cr	0.01	0.07	0.0217	0.00797
Ni	0.01	0.06	0.0153	0.00671
Cu	0.01	0.05	0.0135	0.00653
Ti	0	1	0.331	0.471
Mezha plinnosti	152	260	191	15.4

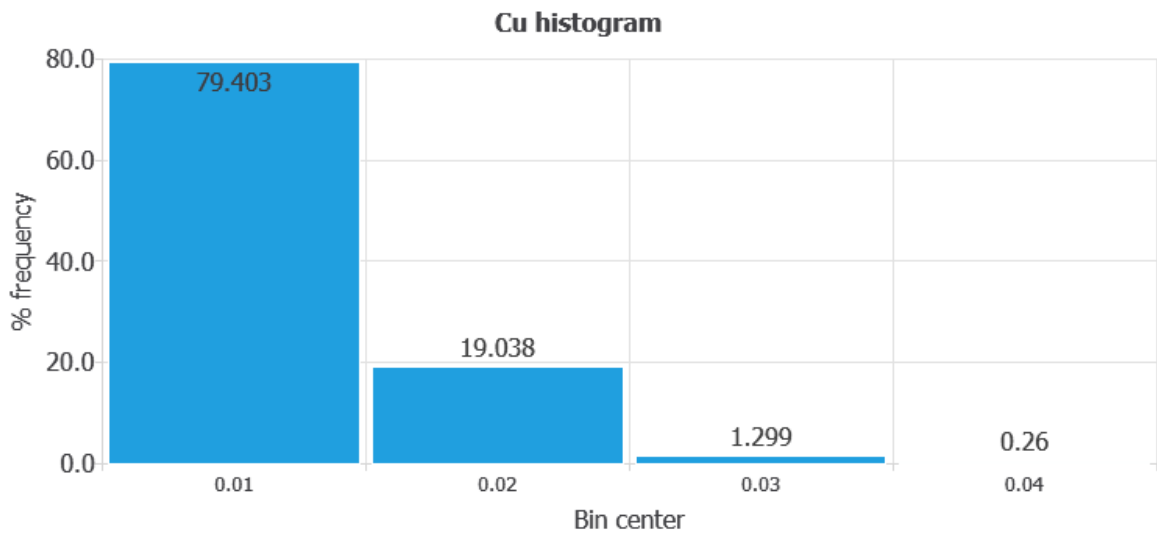
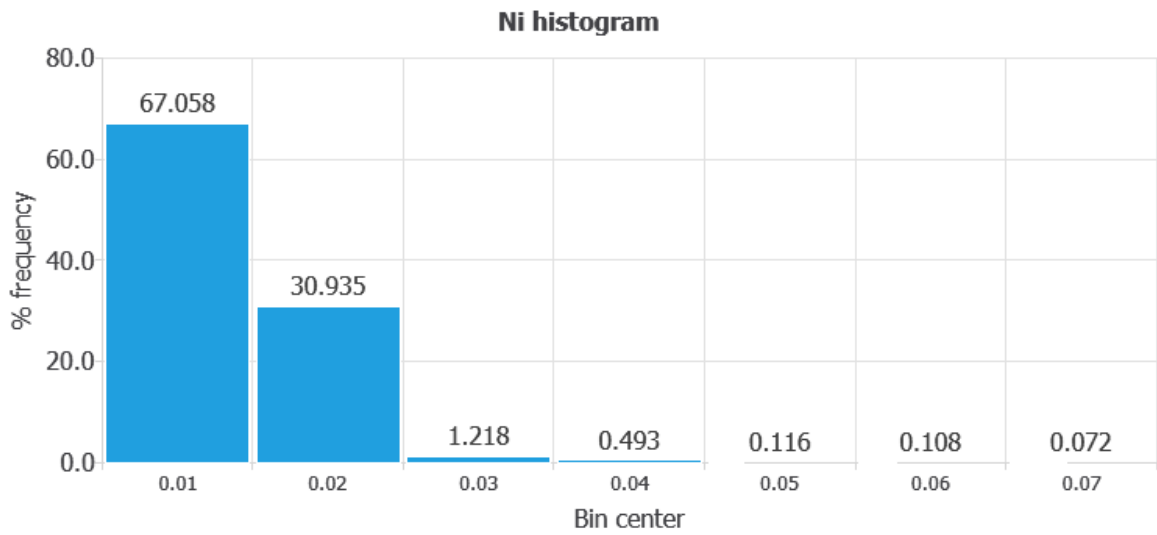
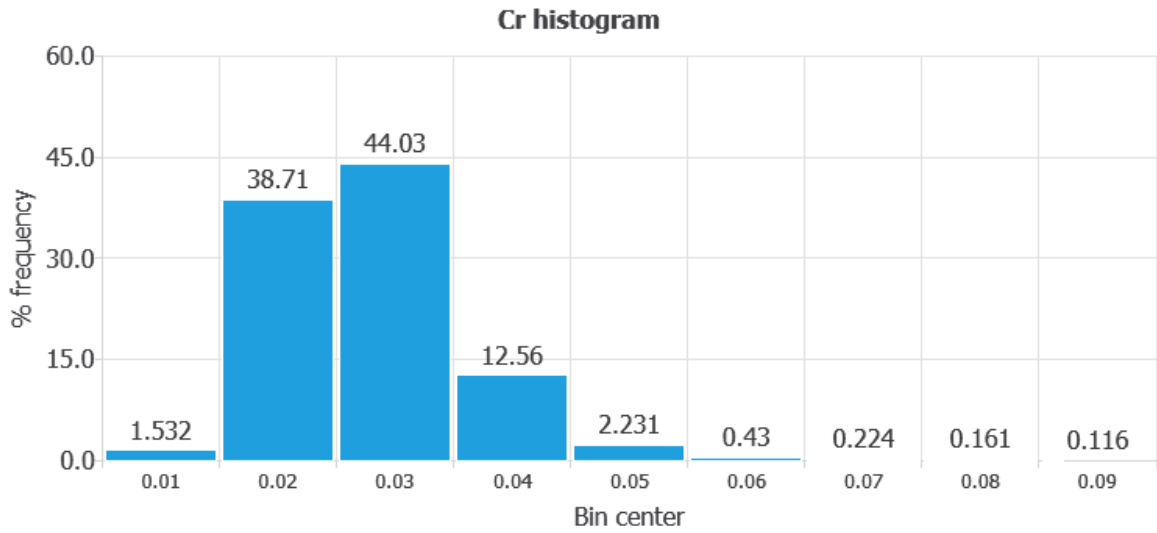
Ж) DC01 по протоколу 14-226-209:2017 (вимоги до мехвластивостей та технологія виробництва така ж сама як і 08кп по ГОСТ 16523) за 2018 рік (файл 7)

Таблиця 3.14 - Аналіз межі плинності сталі DC01 по протоколу 14-226-209:2017.

Кількість випробувань, шт	11318
Кількість випробувань межі міцності зі значенням $\leq 280$ МПа по EN 10131-2006, шт	7706
Відповідність EN 10131-2006,%	68,1







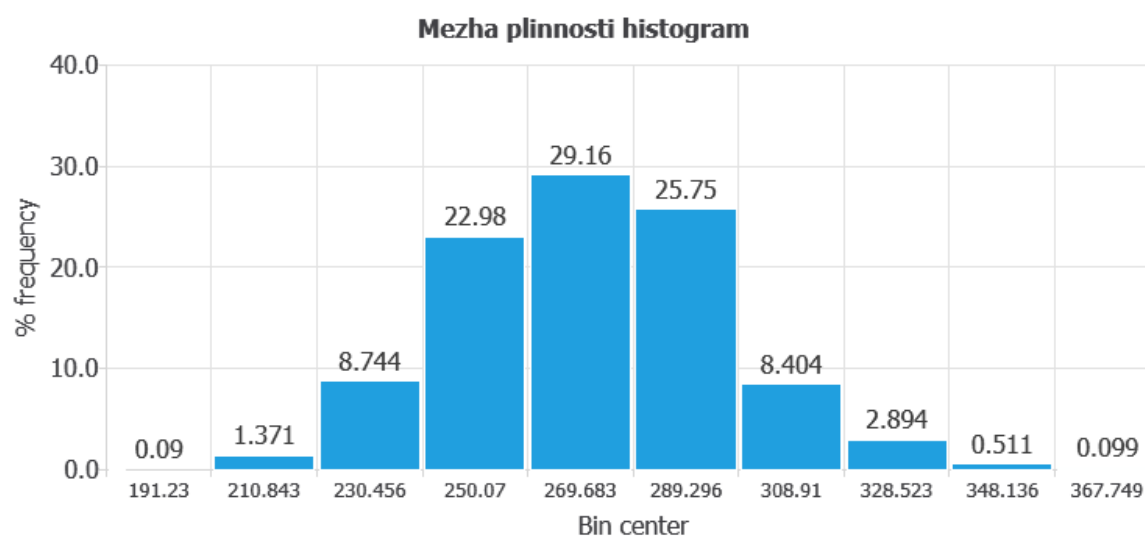
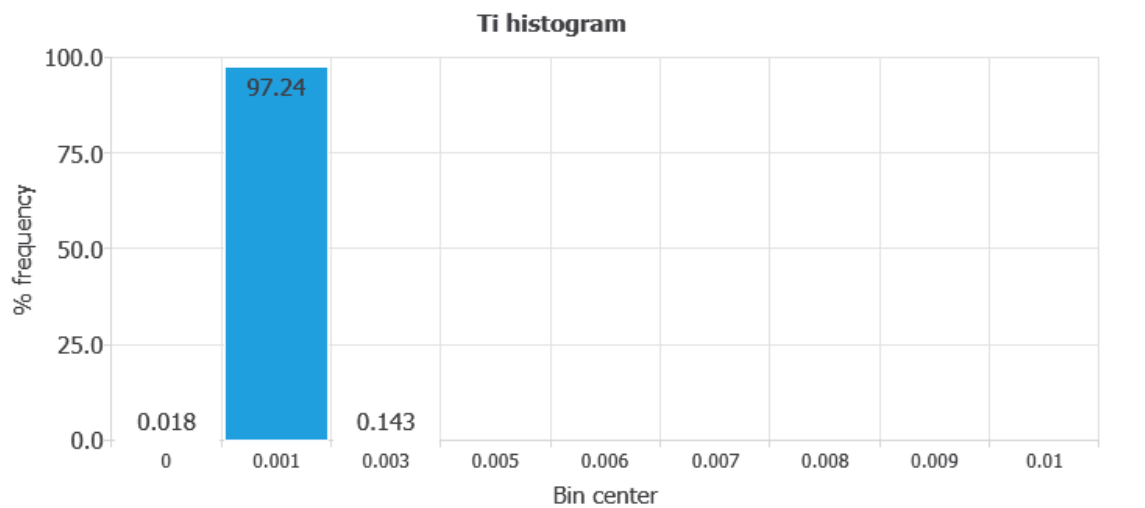


Рисунок 3.13 – Діаграми розподілу хімічних елементів, товщини та межі плинності у виборці сталі DC01 по протоколу 14-226-209:2017.

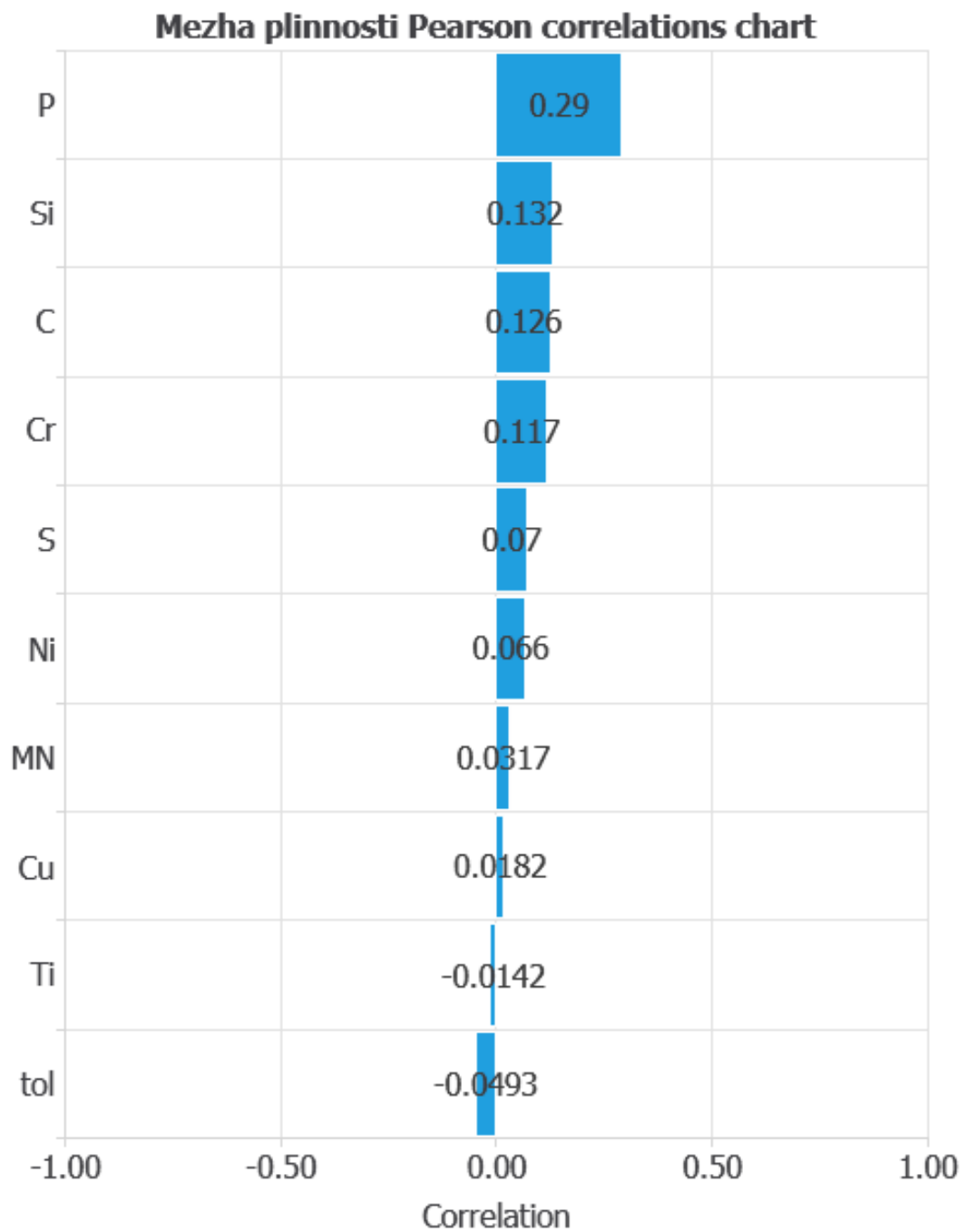


Рисунок 3.14 – Коефіцієнти кореляції між межою плинності та хіміскладом сталі DC01 по протоколу 14-226-209:2017.

Таблиця 3.15 – Мінімум, максимум, середнє та середньоквадратичне

відхилення по кожному з параметрів виборки сталі DC01 по протоколу 14-226-209:2017.

	Minimum	Maximum	Mean	Deviation
tol	0.5	2	1.19	0.417
C	0.05	0.12	0.0771	0.0116
MN	0.25	0.47	0.355	0.0318
Si	0.01	0.02	0.0109	0.00124
S	0.013	0.04	0.0256	0.00475
P	0.009	0.035	0.0227	0.00671
Cr	0.01	0.09	0.0279	0.00881
Ni	0.01	0.07	0.0136	0.00585
Cu	0.01	0.04	0.0122	0.00464
Ti	0	0.01	0.001	9.54e-05
Mezha plinnosti	181	378	270	26.2

#### 3.1.4 Висновки:

А) Проведено аналіз випробувань мехвластивостей, в результаті якого було встановлено, що металопрокат сталей 08кп,пс, який виготовляється по діючій технології, в основному не задовольняє вимог EN 10130:2006 через підвищені значення межі плинності. Без урахування допусків (EN 10130:2006 допускає підвищення межі плинності для товщин 0,7мм і нижче), обумовлених EN 10130:2006, рівень відповідності Євронормі за межою плинності сталі 08кп,пс по ГОСТ 16523-97 складав 66-68%. При цьому наприклад для найбільш розповсюдженої сталі 08кп за ГОСТ 16523-97 середнє значення межі плинності становило 271МПа, максимальне 363МПа при максимально необхідному 280 МПа;

Б) Вплив обмеження хімічного складу сталі на межу плинності наочно видно, якщо порівняти середні значення межі плинності для сталей 08пс по ГОСТ 9045-93 та 16523-97 (різниця в меншій кількості С, S, Р по ГОСТ 9045-93 ніж ГОСТ 16523-97). Так середня межа плинності металу по ГОСТ 9045-93 за статданими складає 246МПа проти 271МПа по ГОСТ 16523-97;

В) Найбільш близькими до необхідних механічних властивостей є сталь марки 08пс, виготовлена для емалювання – 99,1% відповідності та сталь марки 08Ю – 100% відповідності. Середня межа плинності у 08пс емалювання – 229МПа проти 271МПа у 08кп по ГОСТ 16523. Відмінністю технології виробництва прокату для емалювання є хімічний склад, змотування гарячекатаного підкату без охолодження та більш енергоємний режим відпалу (температура 680<sup>0</sup>С проти 660<sup>0</sup>С при відпалі у ковпакових печах з HNx газом, та 700<sup>0</sup>С при відпалі у печах ф. «Ебнер» - у Ебнері відпалювався практично весь прокат під емалювання за вимогою замовника) порівняно зі сталлю 08кп за ГОСТ 16523. Сталь марки 08Ю має також свої відмінності: наявність в хімічному складі алюмінію, більш тривалі режими відпалу. Тобто при освоєнні виробництва сталі марки DC01 треба відштовхуватись саме від особливостей технології виробництва цих двох сталей, при цьому бажано розробити технологію по хімічному складу на базі сталі 08пс так як сталь 08Ю відрізняється підвищеним відсортуванням за металургійними дефектами;

Г) Наведені кореляційні залежності підтверджують дані наведені у літературному огляді про вплив хімічного складу на механічні властивості. При цьому при розробці технології виготовлення слід відштовхуватись від хімічного складу основних елементів: С, Mn, P, S – на ці елементи є можливість впливати у процесі виплавки та розливки сталі. За наведеними вище кореляційними коефіцієнтами видно, що найбільш підвищує межу плинності вміст фосфору, потім вуглець, потім сірка і менш за все впливає вміст марганцю. Тобто при освоєнні технології сталі марки DC01 найбільшої уваги слід приділяти мінімізації фосфору та вуглецю у хімічному складі сталі. Шкідливі домішки такі як нікель, хром, мідь поступають у сталь з ломом – при виплавці та розливці їх видалити не можна. Кремній у киплячій сталі поступає в сталь

в основному з футеровки печі чи ковша, незначна частка з феромарганцю. При цьому на основі проведеної обробки статистичних даних ми бачимо що вплив вмісту фосфору набагато сильніш впливає на межу плинності ніж сірка.

3.2 Відпрацювання різних технологічних схем виробництва сталі марки DC01. Перший етап - постановка експерименту щодо оцінки впливу різних режимів відпалу у печах з HNx газом на механічні властивості.

3.2.1 Для першого етапу відпрацювання технології були відібрані 7 плавок, які були змотані в ЦГП з охолодженням (задана температура змотування 530-580<sup>0</sup>C) за технологією, що діє для сталі марки 08кп і відпалені за різними режимами відпалу. Беручи до уваги, що відпал впливає перш за все на процес рекристалізації та розміцнення металу, в першу чергу було прийнято рішення випробувати режими відпалу з підвищеними температурами основної витримки для інтенсифікації процесів рекристалізації холоднокатаного прокату і відповідно більшою мірою його розміцнення в процесі відпалу.

На першому етапі роботи було передбачено проведення відпалів металу дослідних плавок сталі марки DC01 з обмеженням вмісту хімічного складу: вмістом вуглецю 0,07-0,08%, марганцю 0,20-0,40%, сірки нб 0,03% (як для 08пс емалювання), фосфору нб 0,025%(як для 08пс емалювання) по ковшовій пробі - такий хімічний склад був вибраний задля зниження межі плинності прокату. Відпал на першому етапі роботи проводився в одностопних газових ковпакових печах із захисним HNx-газом із поділом кожної плавки на три варіанти відпалу (дивись рисунки 3.15-3.17 ).

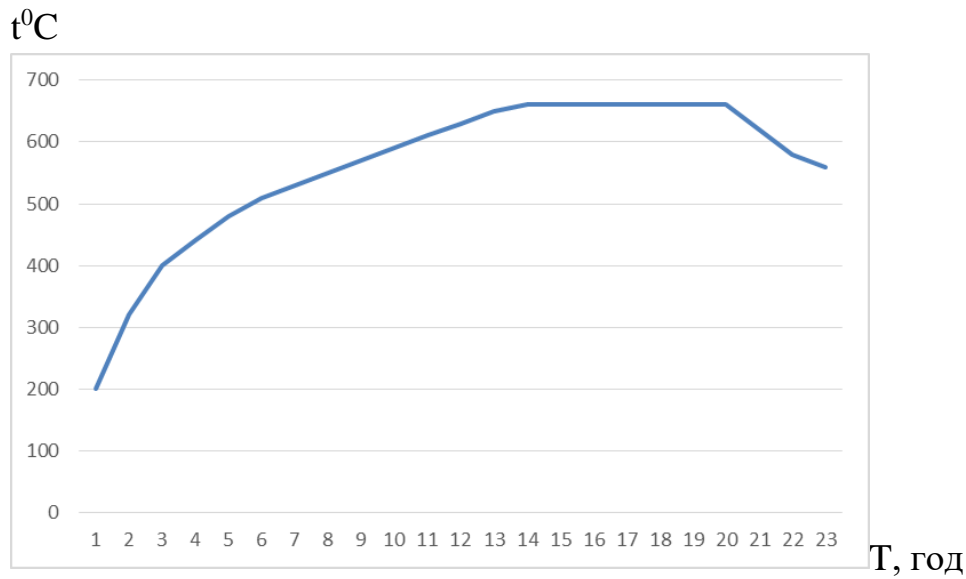


Рисунок 3.15 – Графік відпалу відповідно до діючої ТІ (витримка за температури  $660^{\circ}\text{C}$  – 6 годин) у печах з атмосферою  $\text{HNx}$  газу.

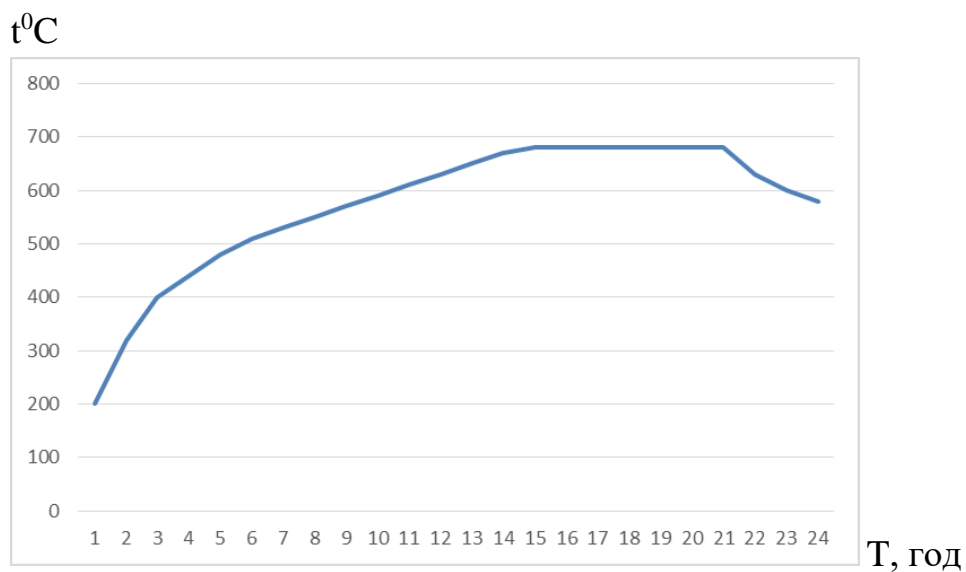


Рисунок 3.16 - Графік відпалу, зі зміною температури основної витримки  $680^{\circ}\text{C}$  замість  $660^{\circ}\text{C}$  (витримка за температури  $680^{\circ}\text{C}$  – 6 годин – тривалість як по діючому режиму ТІ) у печах з атмосферою  $\text{HNx}$  газу (по режиму емалювання);

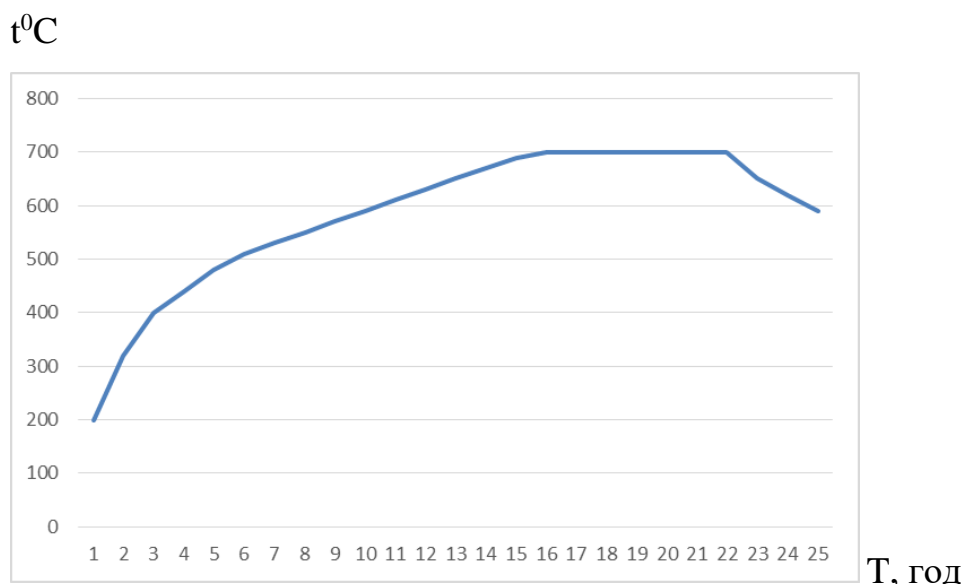


Рисунок 3.17 - Графік відпалу із зміною температури основної витримки 700°C замість 660°C (витримка за температури 700°C – 6 годин).

3.2.2 Результати випробувань мехвластивостей та хімічного складу металу дослідних плавок представлені у таблиці 3.16. Червоним маркером відмічені провальні за межею плинності партії.

У таблиці 3.17 представлені зведені дані про рівень межі плинності та відповідність вимогам EN 10130 готового холоднокатаного прокату з розбивкою за режимами відпалу.

Таблиця 3.17 - Зведені дані про рівень межі плинності та відповідність вимогам EN 10130

Режим відпалу, °C	Випробування, шт	Задовільняє EN 10130		Рівень значень межі плинності, МПа		
		шт	%	мін	макс	середн
660	32	24	75	211	314	265
680	32	22	69	216	309	262
700	32	28	90,3	206	314	256
Вимоги EN 10130				≤280МПа		

Як видно з представлених даних, виготовлення холоднокатаного прокату сталі марки DC01 з обмеженням основних елементів, що впливають на зміцнення (вуглецю і марганцю) поряд з діючою технологією виготовлення даного прокату дозволяє збільшити частку металу відповідного вимогам EN 10130 за механічними властивостями до 75% проти 68% за діючою технологією (без урахування допусків за межею плинності).

3.2.3 Збільшення температури відпалу без зміни інших параметрів режиму відпалу дозволяє збільшити частку металу, що відповідає вимогам EN 10130. Так, при відпалі з температурою 680<sup>0</sup>C частка задовільного металу знаходиться приблизно на одному рівні з металом, відпаленим при 660<sup>0</sup>C (69% і 75% відповідно), проте при підвищенні температури відпалу до 700<sup>0</sup>C частка придатного металу різко збільшується і становить 90,3%. Таким чином випробувана технологія виготовлення прокату сталі марки DC01 (обмеження хімічного складу та підвищення температури відпалу) дозволяє суттєво підвищити вихід придатного металу за механічними властивостями. При цьому слід зазначити, що значне обмеження вмісту вуглецю (0,07-0,08%) створює труднощі при виплавці сталі в мартенівській печі із заданим хімічним складом і може призводити до зривів графіків виплавки.

Таблиця 3.16 - Результати механічних властивостей прокату першого етапу роботи (червоним позначені провальні партії по EN 10130).

№ плавки	№ відпалу	Режим відпалу	Партія	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, мПа	Межа міцності, мПа	Відносне подовження, %	Хімічний склад							Температура змотування, С				
									C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін	макс	середнє	
180152-1 (C-0,08%, Mn-0,35%, S-0,033%, P-0,027%)	11-999	680	18 7437-1к	0.55x1000	11,280	250	343	34	0,08	0,32	0,01	0,027	0,028	0,02	0,01	0,01	547	584	556	
			18 7437-2	0.55x1000	11,240	255	363	33	0,082	0,32	0,01	0,028	0,028	0,02	0,01	0,01	522	587	553	
			18 7438-1к	0.55x1000	11,240	245	343	28	0,08	0,33	0,011	0,028	0,027	0,02	0,01	0,01	523	584	557	
			18 7438-2	0.55x1000	11,090	250	363	34	0,083	0,33	0,01	0,031	0,027	0,02	0,01	0,01	522	583	556	
				18 7439к	0.55x1000	10,810	<b>304</b>	<b>343</b>	<b>34</b>	<b>0,08</b>	<b>0,32</b>	<b>0,01</b>	<b>0,029</b>	<b>0,026</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>510</b>	<b>583</b>	<b>553</b>
	2-357	700	18 7419-1к	0.55x1000	11,070	255	368	36	0,084	0,32	0,01	0,033	0,028	0,02	0,01	0,01	514	580	553	
			18 7419-2	0.55x1000	10,850	260	348	35	0,083	0,33	0,01	0,028	0,028	0,02	0,01	0,01	522	584	554	
			18 7420-1к	0.55x1000	10,890	250	329	32	0,082	0,33	0,01	0,027	0,028	0,02	0,01	0,01	533	584	555	
			18 7420-2	0.55x1000	10,780	255	348	33	0,084	0,31	0,01	0,028	0,027	0,02	0,01	0,01	505	587	552	
				18 7421к	0.55x1000	10,750	<b>304</b>	<b>348</b>	<b>31</b>	<b>0,083</b>	<b>0,33</b>	<b>0,01</b>	<b>0,027</b>	<b>0,026</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>507</b>	<b>578</b>	<b>553</b>
	3-944	П (660)	18 7423-1к	0.55x1000	11,130	279	353	33	0,082	0,33	0,01	0,028	0,029	0,02	0,01	0,01	532	587	553	
			18 7423-2	0.55x1000	10,800	<b>289</b>	<b>407</b>	<b>34</b>	<b>0,08</b>	<b>0,31</b>	<b>0,009</b>	<b>0,028</b>	<b>0,029</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>529</b>	<b>579</b>	<b>551</b>	
			18 7424-1к	0.55x1000	11,280	260	353	33	0,081	0,32	0,01	0,028	0,028	0,02	0,01	0,01	513	587	555	
			18 7424-2	0.55x1000	10,670	260	353	33	0,084	0,32	0,01	0,027	0,028	0,02	0,01	0,01	512	582	550	
			18 7425к	0.55x1000	10,460	265	353	31	0,081	0,31	0,01	0,029	0,029	0,02	0,01	0,01	530	582	553	
180347 (C-0,07%, Mn-0,35%, S-0,029%, P-0,010%)	10-149	700	18 8863-1к	1.2x1000	11,720	248	337	42	0,079	0,35	0,009	0,024	0,01	0,03	0,02	0,02	510	625	552	
			18 8863-2	1.2x1000	11,340	254	330	39	0,074	0,36	0,009	0,023	0,011	0,02	0,02	0,02	500	606	550	
			18 8863-3	1.2x1000	11,550	256	333	40	0,077	0,36	0,009	0,025	0,011	0,02	0,02	0,02	511	592	551	
			18 8863-4	1.2x1000	11,430	248	333	38	0,074	0,35	0,01	0,024	0,011	0,02	0,02	0,02	487	602	551	
			18 8863-5	1.2x1000	11,540	257	326	38	0,074	0,35	0,009	0,023	0,011	0,02	0,02	0,02	523	586	548	
	2-405	П(660)	18 8840-1к	1.2x1000	11,560	245	338	39	0,069	0,34	0,009	0,024	0,01	0,02	0,02	0,02	488	616	545	
			18 8840-2	1.2x1000	11,630	274	338	36	0,073	0,35	0,009	0,024	0,01	0,02	0,02	0,02	533	591	552	
			18 8840-3	1.2x1000	11,660	270	338	41	0,073	0,34	0,008	0,025	0,01	0,02	0,02	0,02	529	587	547	
			18 8840-4	1.2x1000	11,570	255	333	39	0,074	0,35	0,009	0,024	0,01	0,02	0,02	0,02	516	590	548	
				18 8840-5	1.2x1000	11,390	<b>284</b>	<b>343</b>	<b>36</b>	<b>0,073</b>	<b>0,35</b>	<b>0,01</b>	<b>0,024</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>537</b>	<b>600</b>	<b>552</b>
	9-531	680	18 8834-1к	1.2x1000	11,500	245	333	41	0,074	0,35	0,009	0,024	0,01	0,03	0,02	0,02	529	596	553	
			18 8834-2	1.2x1000	11,890	253	334	41	0,075	0,36	0,009	0,024	0,01	0,03	0,02	0,02	527	576	544	
			18 8834-3	1.2x1000	11,670	245	338	41	0,075	0,35	0,009	0,024	0,01	0,03	0,02	0,02	520	602	564	
			18 8834-4	1.2x1000	11,680	262	331	41	0,074	0,36	0,009	0,023	0,01	0,03	0,02	0,02	520	591	548	
			18 8834-5	1.2x1000	11,550	270	332	40	0,07	0,36	0,009	0,023	0,01	0,03	0,02	0,02	530	585	546	

## Продовження таблиці 3.16

№ плавки	№ відпалу	Режим відпалу	Партія	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %	Хімістосив							Температура змотування, С			
									C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мин	макс	середнє
728129 (C-0,07%, Mn-0,35%, S-0,021%, P-0,026%)	15-708	ТІ (660)	18 10572-1к	2.0x1250	13,410	211	353	36	0,073	0,31	0,01	0,021	0,02	0,04	0,02	0,01	531	632	560
			18 10572-2	2.0x1250	13,160	221	353	39	0,061	0,3	0,008	0,019	0,024	0,04	0,02	0,02	541	654	567
			18 10572-3	2.0x1250	13,330	211	353	39	0,078	0,31	0,009	0,022	0,02	0,04	0,02	0,01	541	650	562
			18 10572-4	2.0x1250	10,000	211	333	43	0,044	0,29	0,008	0,018	0,02	0,04	0,01	0,01	528	644	555
	15-709	680	18 10571-1к	2.0x1250	12,620	230	363	39	0,07	0,32	0,009	0,023	0,024	0,04	0,02	0,02	528	575	556
			18 10571-2	2.0x1250	13,430	221	358	36	0,071	0,3	0,013	0,023	0,019	0,04	0,02	0,01	549	647	567
			18 10571-3	2.0x1250	13,300	230	353	35	0,07	0,3	0,009	0,022	0,019	0,04	0,02	0,01	537	638	561
			18 10571-4	2.0x1250	10,790	216	329	40	0,052	0,29	0,01	0,02	0,018	0,03	0,02	0,01	535	658	569
	3-59	700	18 10612-1к	2.0x1250	12,740	206	348	41	0,07	0,32	0,011	0,021	0,023	0,04	0,02	0,02	523	636	555
			18 10612-2	2.0x1250	13,170	221	348	35	0,066	0,33	0,009	0,02	0,025	0,04	0,02	0,02	535	638	559
			18 10612-3	2.0x1250	12,930	211	348	38	0,065	0,31	0,009	0,021	0,022	0,04	0,02	0,02	521	639	553
			18 10612-4	2.0x1250	13,500	221	348	41	0,069	0,31	0,009	0,02	0,023	0,04	0,02	0,02	526	578	555
518130-1 (C-0,07%, Mn-0,33%, S-0,021%, P-0,016%)	11-128	700	18 11298-1к	0.9x1250	13,720	255	353	39	0,069	0,32	0,009	0,021	0,016	0,03	0,01	0,01	555	594	565
			18 11298-2	0.9x1250	13,610	250	353	41	0,077	0,34	0,01	0,018	0,015	0,03	0,01	0,01	549	595	561
			18 11299-1к	0.9x1250	13,200	265	348	38	0,072	0,34	0,01	0,019	0,016	0,03	0,01	0,01	541	603	564
			18 11299-2	0.9x1250	13,490	235	348	39	0,076	0,32	0,009	0,018	0,014	0,03	0,01	0,01	547	602	563
	11-129	680	18 11359-1к	0.9x1250	13,680	235	348	38	0,085	0,32	0,009	0,019	0,014	0,03	0,01	0,01	545	596	561
			18 11359-2	0.9x1250	13,440	230	343	36	0,074	0,32	0,008	0,021	0,014	0,03	0,01	0,01	548	602	561
			18 11360-1к	0.9x1250	13,360	260	348	39	0,073	0,31	0,009	0,022	0,015	0,03	0,01	0,01	544	601	559
			18 11360-2	0.9x1250	12,400	255	338	39	0,064	0,29	0,007	0,018	0,013	0,03	0,01	0,01	535	607	566
	7-11	ТІ (660)	18 11343-1к	0.9x1250	11,820	255	358	36	0,07	0,29	0,01	0,021	0,012	0,03	0,01	0,01	547	601	564
			18 11343-2	0.9x1250	13,590	270	348	36	0,068	0,31	0,008	0,021	0,015	0,03	0,01	0,01	551	593	564
			18 11344-1к	0.9x1250	13,750	265	358	39	0,07	0,31	0,01	0,019	0,014	0,03	0,01	0,01	551	604	563
			18 11344-2	0.9x1250	13,030	260	353	34	0,069	0,32	0,008	0,022	0,015	0,03	0,01	0,01	531	590	565

## Продовження таблиці 3.16

№ плавки	№ відпалу	Режим відпалу	Партія	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %	Хімічний склад							Температура змотування, С			
									C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін	макс	середнє
180630-1 (C-0,09%, Mn-0,42%, S-0,024%, P-0,026%)	15-738	700	18 13541-2	1.4x1250	12,830	294	363	39	0,088	0,38	0,01	0,022	0,028	0,03	0,01	0,01	533	605	546
			18 13541-1к	1.4x1250	13,330	314	373	36	0,092	0,39	0,011	0,02	0,029	0,03	0,01	0,01	545	610	556
			18 11307-1к	1.5x1250	13,250	250	368	42	0,092	0,38	0,008	0,024	0,028	0,03	0,02	0,01	530	607	544
			18 11307-2	1.5x1250	12,880	250	363	38	0,082	0,38	0,009	0,024	0,025	0,03	0,02	0,01	536	613	553
	15-739	680	18 11308к	1.5x1250	12,180	270	353	36	0,081	0,38	0,009	0,024	0,02	0,03	0,02	0,01	539	610	551
			18 11309-1к	1.5x1250	13,080	284	348	35	0,082	0,38	0,01	0,023	0,02	0,03	0,02	0,01	533	605	546
			18 11309-2	1.5x1250	13,180	299	363	34	0,077	0,38	0,012	0,022	0,018	0,03	0,01	0,01	535	612	547
	9-598	ТІ (660)	18 11309-3	1.5x1250	12,920	309	373	31	0,081	0,38	0,008	0,023	0,024	0,03	0,02	0,01	543	610	556
			18 11291-1к	1.5x1250	12,400	255	382	36	0,088	0,38	0,01	0,023	0,026	0,03	0,01	0,01	538	581	551
			18 11291-2	1.5x1250	12,410	250	373	41	0,081	0,36	0,009	0,023	0,022	0,03	0,01	0,01	535	602	551
			18 11291-3	1.5x1250	13,080	265	373	38	0,081	0,37	0,011	0,023	0,02	0,03	0,01	0,01	525	580	542
				18 11291-4	1.5x1250	13,190	250	373	35	0,086	0,37	0,01	0,024	0,025	0,03	0,01	0,01	530	589
1218169 (C-0,08%, Mn-0,37%, S-0,015%, P-0,034%)	11-161	680	18 12221-1к	0.8x1000	11,980	294	378	33	0,078	0,34	0,008	0,018	0,032	0,03	0,01	0,02	522	594	559
			18 12221-2	0.8x1000	11,840	275	378	36	0,078	0,35	0,008	0,016	0,03	0,03	0,01	0,02	540	611	567
			18 12221-3	0.8x1000	11,640	265	373	32	0,084	0,35	0,008	0,017	0,032	0,03	0,01	0,02	517	608	563
			18 12221-4	0.8x1000	11,210	279	378	35	0,087	0,35	0,008	0,016	0,03	0,03	0,02	0,02	548	601	565
			18 12221-5	0.8x1000	11,360	260	363	38	0,078	0,35	0,007	0,016	0,033	0,03	0,01	0,02	507	618	558
	2-523	700	18 12239-1к	0.8x1000	11,450	265	368	32	0,084	0,36	0,008	0,016	0,031	0,03	0,01	0,02	526	614	563
			18 12239-2	0.8x1000	11,130	250	373	33	0,088	0,33	0,007	0,017	0,031	0,03	0,01	0,02	525	611	564
			18 12239-3	0.8x1000	10,950	250	368	33	0,086	0,34	0,008	0,016	0,033	0,03	0,01	0,02	545	608	566
			18 12239-4	0.8x1000	11,230	260	368	33	0,085	0,33	0,008	0,016	0,026	0,03	0,01	0,01	522	604	558
	2-525	ТІ 660	18 12239-5	0.8x1000	11,660	250	368	31	0,088	0,34	0,008	0,018	0,031	0,03	0,01	0,02	534	609	565
			18 12236-1к	0.8x1000	11,860	314	373	38	0,093	0,34	0,008	0,016	0,031	0,03	0,01	0,02	537	585	560
			18 12236-2	0.8x1000	11,640	289	387	35	0,088	0,34	0,008	0,017	0,033	0,03	0,01	0,02	543	592	561
			18 12236-3	0.8x1000	11,740	294	373	34	0,089	0,34	0,008	0,016	0,031	0,03	0,01	0,01	544	610	565
			18 12236-4	0.8x1000	10,990	299	363	36	0,083	0,33	0,008	0,019	0,032	0,03	0,01	0,02	543	618	576
			18 12236-5	0.8x1000	11,020	309	373	33	0,083	0,31	0,008	0,02	0,023	0,03	0,01	0,01	502	597	564

## Продовження таблиці 3.16

№ плавки	№ відпалу	Режим відпалу	Партія	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, мПа	Межа міцності, мПа	Відносне подовження, %	Хімічний склад								Температура змотування, С		
									C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін	макс	середнє
228133 (C-0,06%, Mn-0,33%, S-0,021%, P-0,021%)	10-232	ТІ 660	18 11974-1к	0.9x1000	11,850	279	353	34	0,061	0,39	0,01	0,021	0,018	0,04	0,02	0,02	534	612	572
			18 11974-2	0.9x1000	11,640	289	353	37	0,065	0,29	0,01	0,022	0,018	0,04	0,02	0,02	549	615	566
			18 11974-3	0.9x1000	11,660	294	358	37	0,061	0,29	0,011	0,019	0,016	0,04	0,02	0,02	544	607	561
			18 11974-4	0.9x1000	7,960	255	3285	41	0,038	0,26	0,008	0,016	0,015	0,04	0,02	0,02	534	590	564
			18 11974-5	0.9x1000	8,000	260	304	41	0,041	0,26	0,008	0,013	0,015	0,04	0,02	0,02	539	603	565
	3-111	700	18 12074-1к	0.9x1000	11,320	265	343	39	0,065	0,3	0,007	0,021	0,018	0,04	0,02	0,02	534	626	563
			18 12074-2	0.9x1000	11,580	294	343	38	0,064	0,29	0,007	0,02	0,017	0,04	0,02	0,02	547	611	575
			18 12074-3	0.9x1000	11,720	270	363	38	0,064	0,29	0,006	0,019	0,017	0,04	0,02	0,02	532	590	553
			18 12074-4	0.9x1000	11,490	245	353	38	0,066	0,3	0,007	0,019	0,018	0,04	0,02	0,02	533	607	558
			18 12074-5	0.9x1000	11,640	270	348	38	0,066	0,31	0,007	0,021	0,018	0,04	0,02	0,02	545	611	565
	8-308	680	18 11970-1к	0.9x1000	11,740	304	358	37	0,06	0,31	0,011	0,021	0,018	0,04	0,02	0,02	532	606	560
			18 11970-2	0.9x1000	11,610	289	348	34	0,061	0,29	0,012	0,017	0,015	0,04	0,02	0,02	526	620	569
			18 11970-3	0.9x1000	11,800	304	353	34	0,065	0,29	0,023	0,023	0,017	0,04	0,02	0,02	544	606	565
			18 11970-4	0.9x1000	8,020	250	314	39	0,033	0,26	0,009	0,014	0,015	0,03	0,02	0,02	519	644	562
			18 11970-5	0.9x1000	8,170	260	324	31	0,038	0,26	0,009	0,014	0,015	0,03	0,02	0,02	548	578	557

3.3 Другий етап - постановка експерименту з оцінки впливу температури змотування і режиму відпалу, аналогічного сталі марки 08Ю, на межу плинності.

3.3.1 На другому етапі були відібрані 12 плавок, які були змотані в ЦГП без охолодження. В ході експерименту відпал проводили за двома варіантами режиму відпалу - сталі марки 08Ю (з двома проміжними і остаточною витримкою: 420<sup>0</sup>С - 3 год, 570<sup>0</sup>С - 5 год, 670<sup>0</sup>С - 17 год) і відпалу сталі марки 08кп (з витримкою 6 год при температурі 660<sup>0</sup>С). Режими відпалу відображені на рисунках 3.18-3.21.

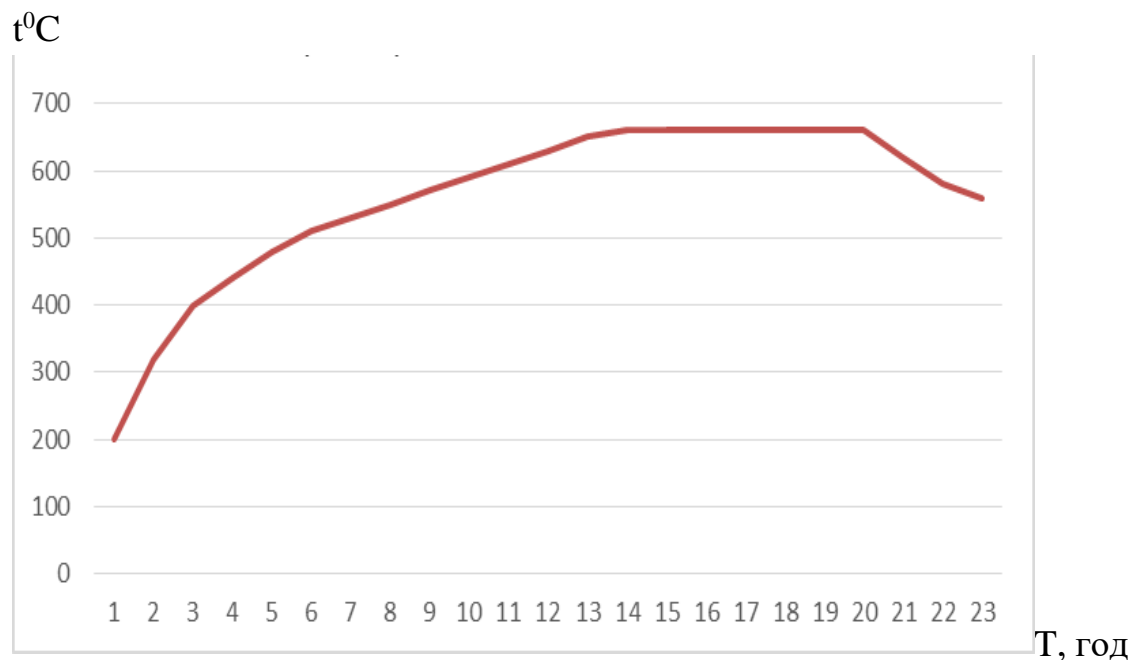


Рисунок 3.18 – Графік відпалу сталі марки 08кп за чинною технологією в печах з HNx газом.

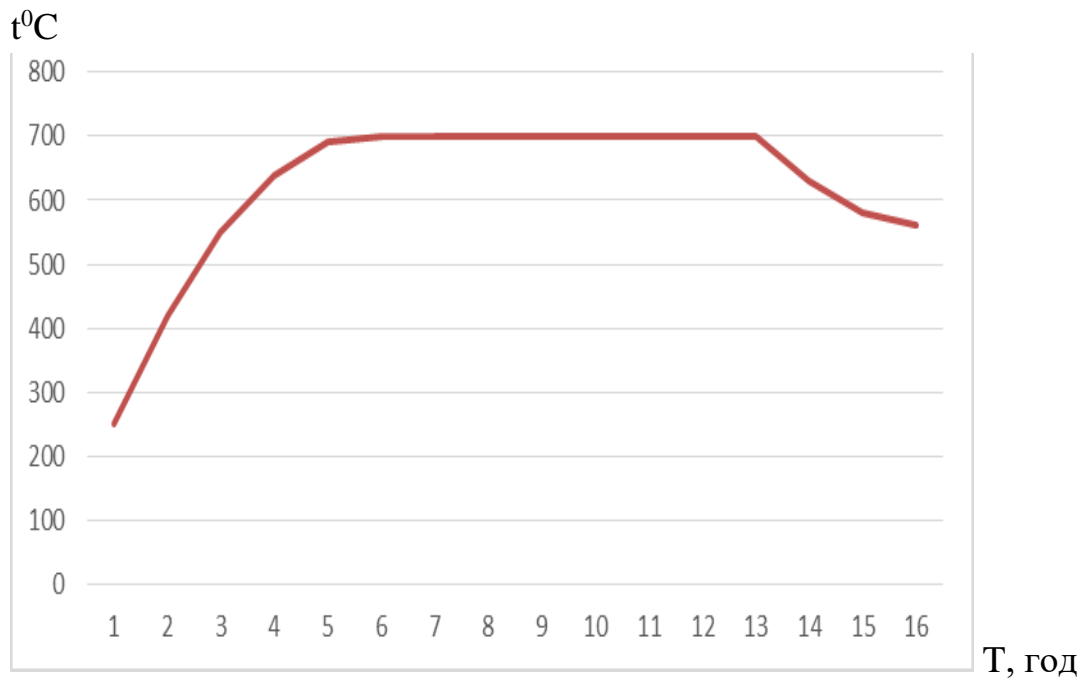


Рисунок 3.19 – Графік відпалу сталі марки 08кп за чинною технологією в печах ф. "Ебнер"

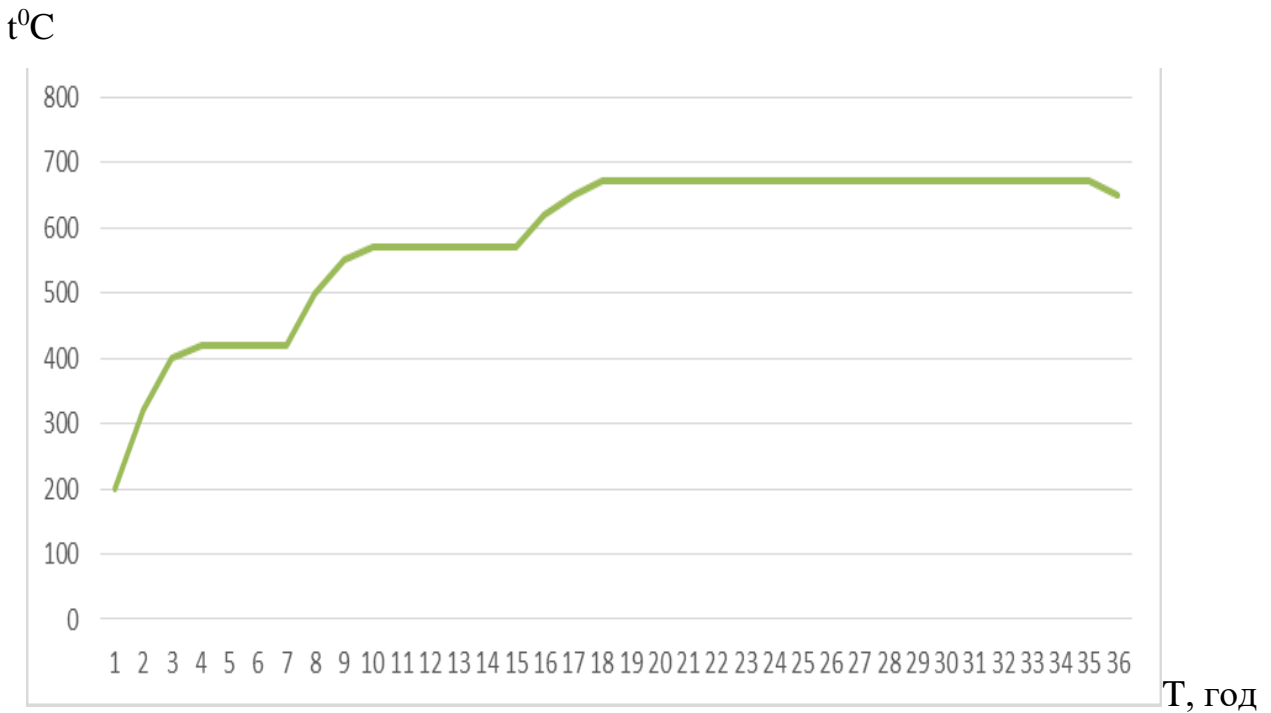


Рисунок 3.20 - Графік відпалу, застосований для прокату сталі марки 08Ю в печах з ННх газом.

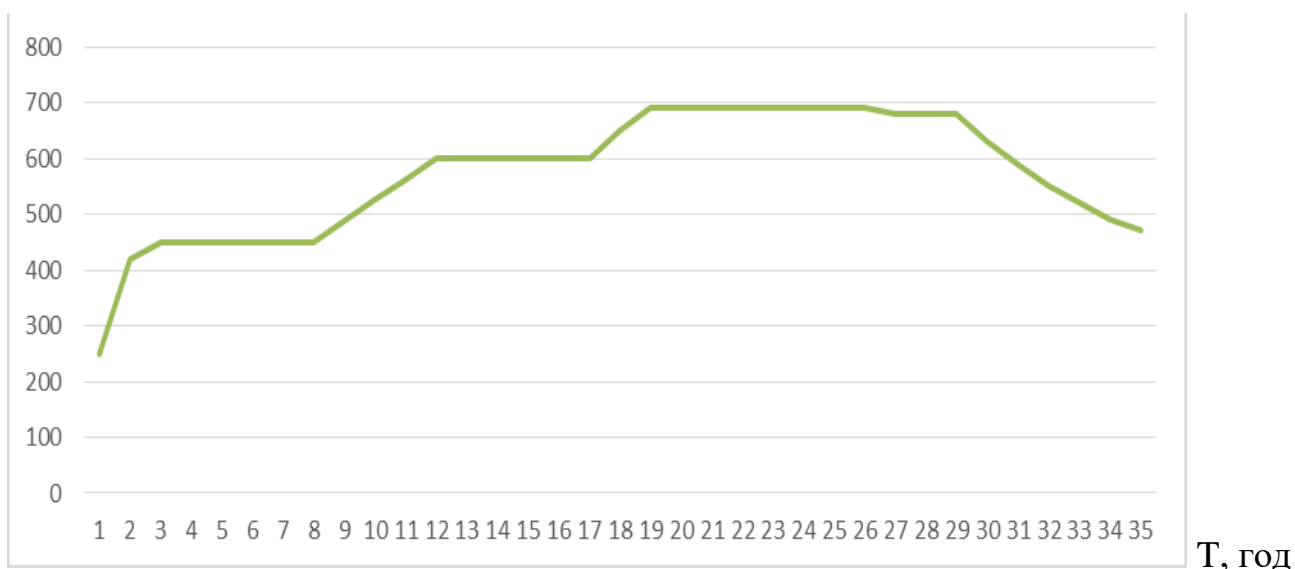


Рисунок 3.21 - Графік відпалу, застосований для прокату сталі марки 08Ю в печах ф. "Ебнер".

3.3.2 Механічні властивості усіх дослідних рулонів та аналіз їх мікроструктури представлені в таблиці 3.18. Номера відпалу, які починаються на цифру 14 – це відпал у печах «Ебнера», усі інші – у звичайних печах з атмосферою  $\text{HNx}$  газу.

З наведених даних аналізу мікроструктури випливає, що дослідні режими відпалу (більш енергоємні у порівнянні з діючими режимами 08кп - по аналогії відпалу сталі 08Ю)+змотування без охолодження гарячекатаного підкату впливають не тільки на механічні властивості, а й на мікроструктуру холоднокатаного прокату, збільшуючи розмір зерна на 1-2 бали у порівнянні з діючими режимами відпалу – дивись таблицю 3.18,3.19. При цьому цей ефект більш чітко проявляється в печах з  $\text{HNx}$  газом тому що в печах Ебнера температура відпалу згідно ТІ по стендовій термопарі становить  $700^{\circ}\text{C}$  на відміну від печей з  $\text{HNx}$  газом –  $660^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 3.19 – дані мікроструктури холоднокатаного прокату плавок 180662 та 180876- DC01 відпаленого за різними режимами відпалу (всі фото зі збільшенням x100).

№п/п	№ партії, режим відпалу	Номер плавки, розмір	Номер партії	Бал зерна	Фото мікроструктури
1	Ебнер ТІ	180662 –	11375-1к	9-8	Рисунок 3.22
2	Ебнер ТІ	DC01	11375-2	9-8	Рисунок 3.23
3	Ебнер дослідн	1,5x1265мм	11527-2	7-8	Рисунок 3.24
4	Ебнер дослідн		11528-1к	7-8	Рисунок 3.25
5	HNx ТІ	180876 -	11322-3	10-8	Рисунок 3.26
6	HNx ТІ	DC01 1,3-	11322-2	10-8	Рисунок 3.27
7	HNx дослідн	1,35x1250мм	13461-4	7-8	Рисунок 3.28
8	HNx ТІ дослідн		13461-3	7-8	Рисунок 3.29

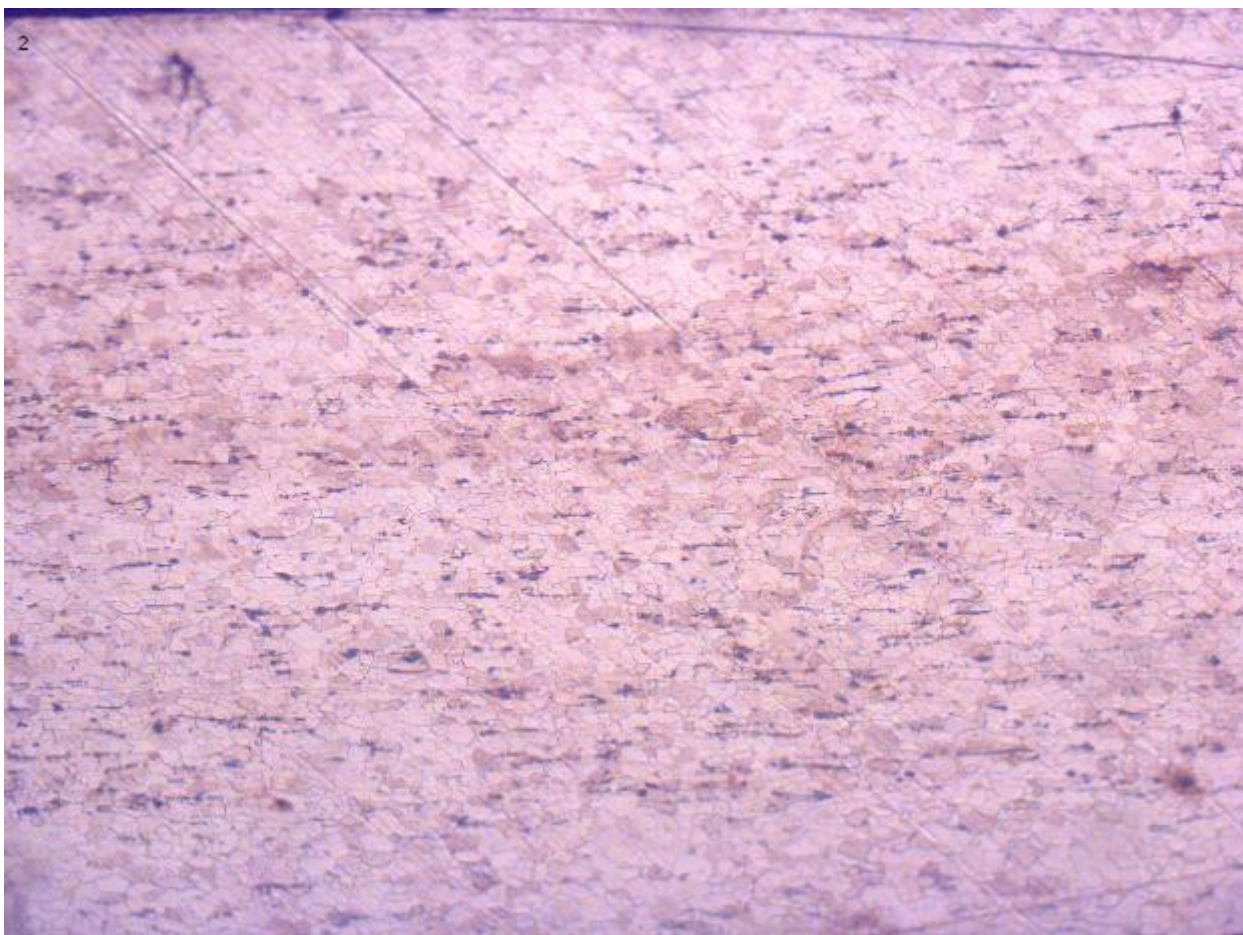


Рисунок 3.22 – Партія 11375-1к з відпалом у печах фірми «Ебнер» по режимам ТІ.

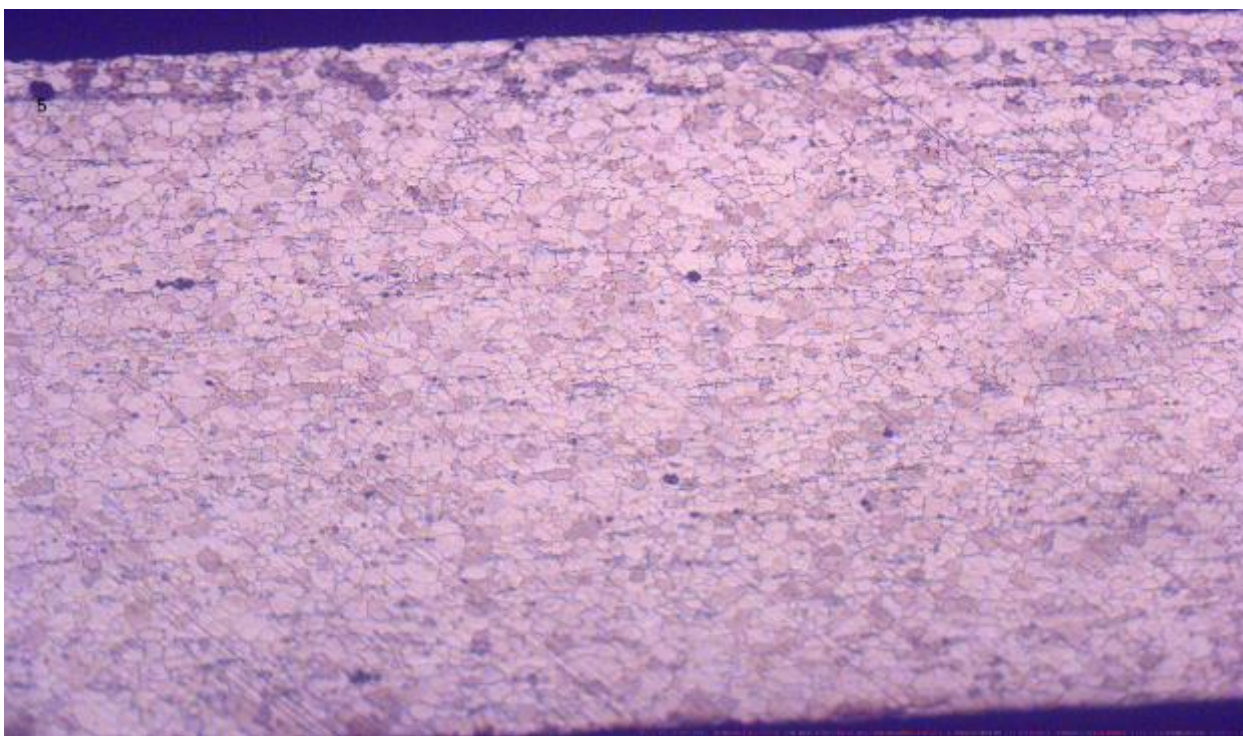


Рисунок 3.23 - Партія 11375-2 з відпалом у печах фірми «Ебнер» по режимам ТІ.

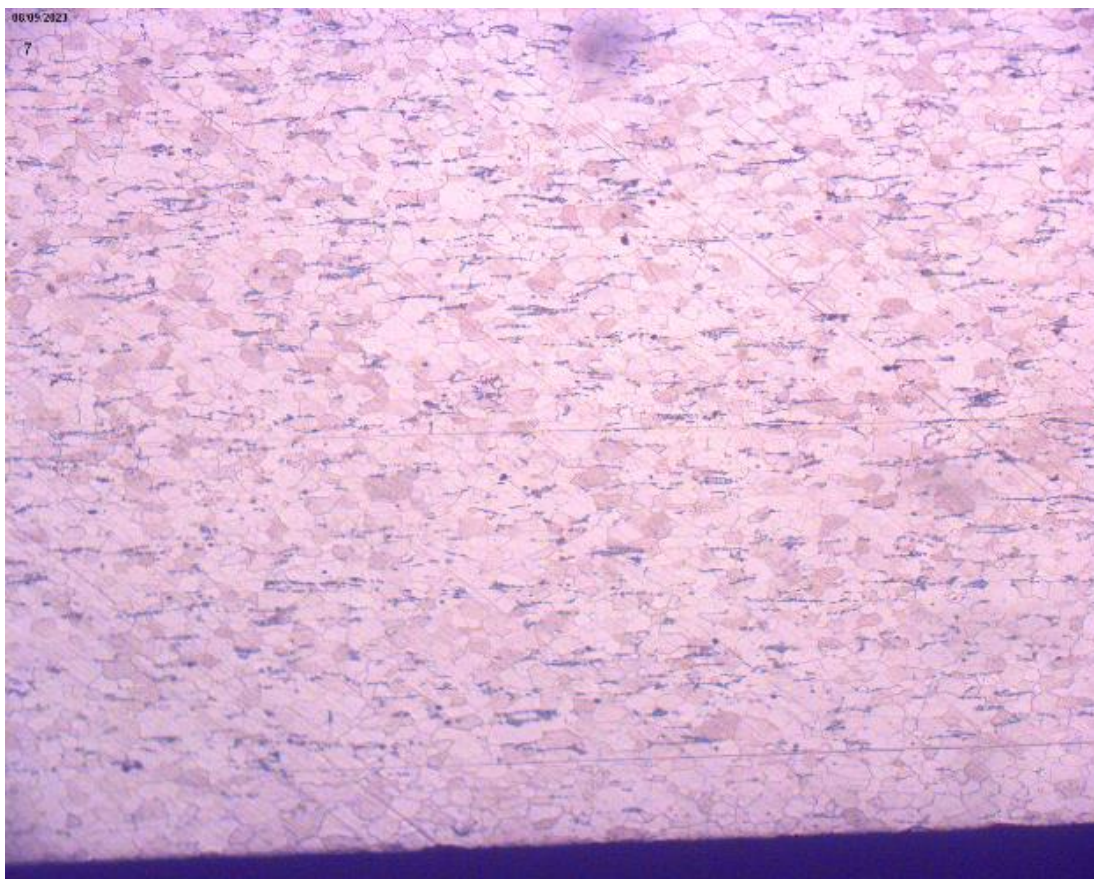


Рисунок 3.24 - Партія 11527-2 з відпалом у печах фірми «Ебнер» по дослідному режиму .

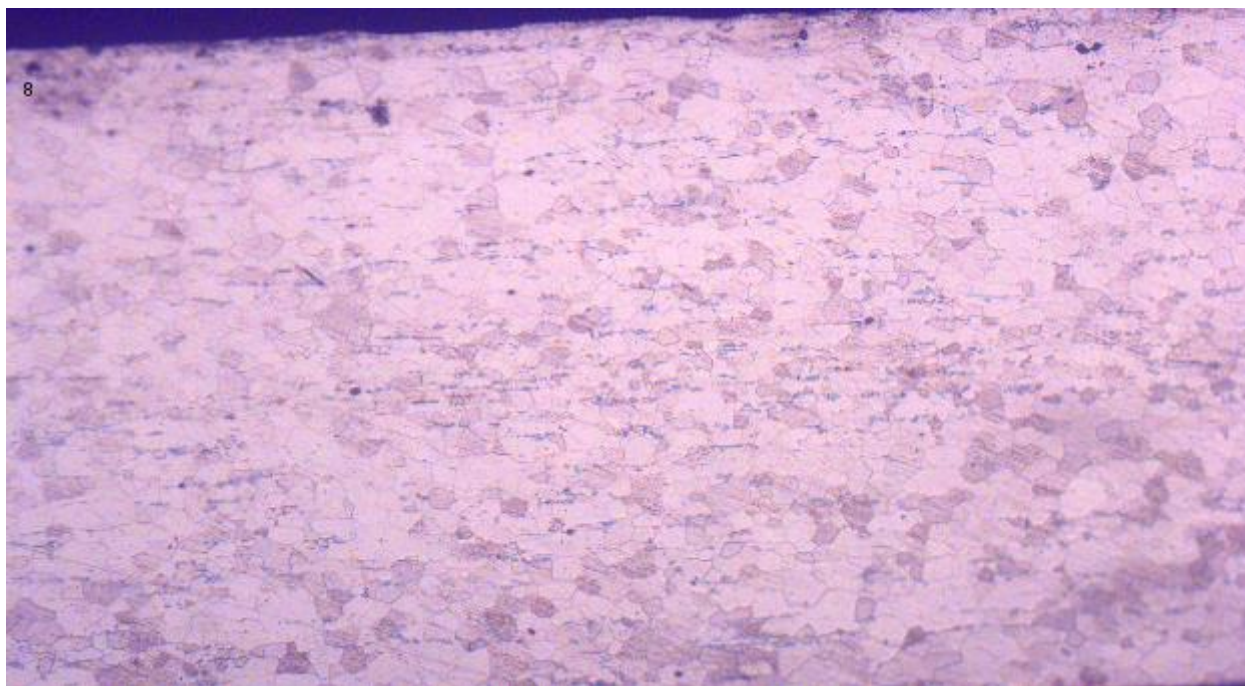


Рисунок 3.25 - Партія 11528-1к з відпалом у печах фірми «Ебнер» по дослідному режиму.

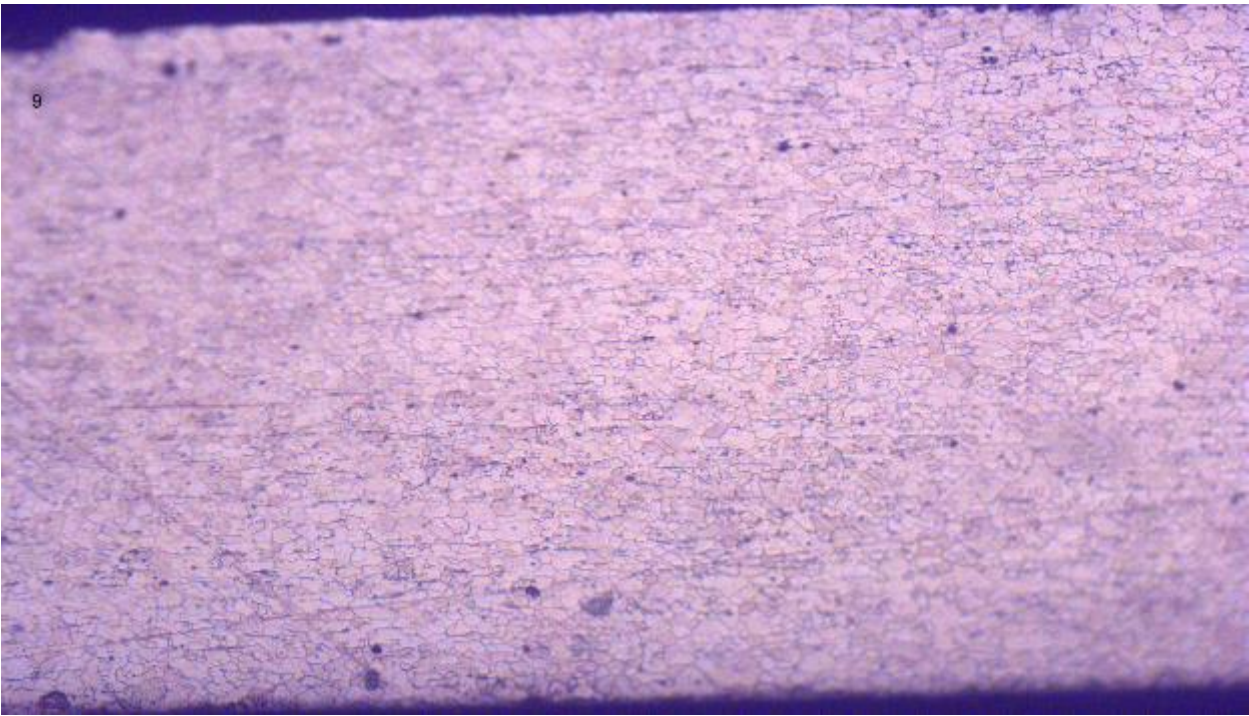


Рисунок 3.26 - Партия 11322-3 з відпалом у печах  $HNx$  газу по режиму ТІ.

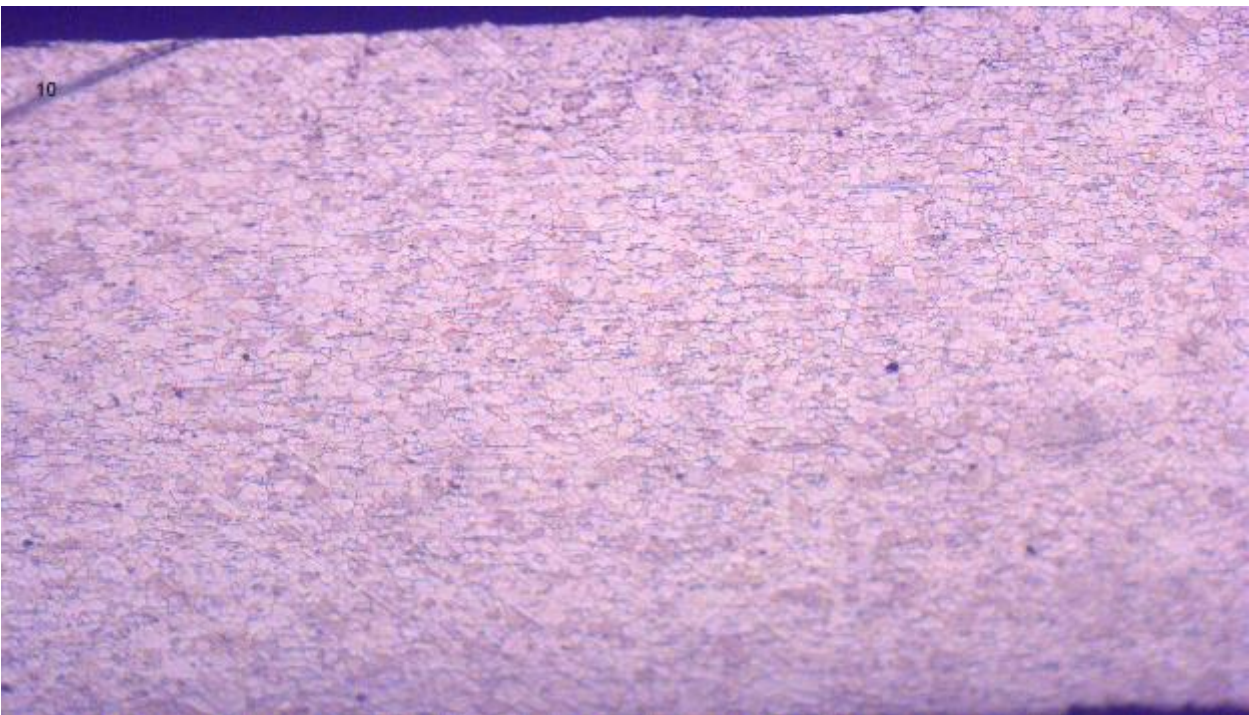


Рисунок 3.27 - Партия 11322-2 з відпалом у печах  $HNx$  газу по режиму ТІ.

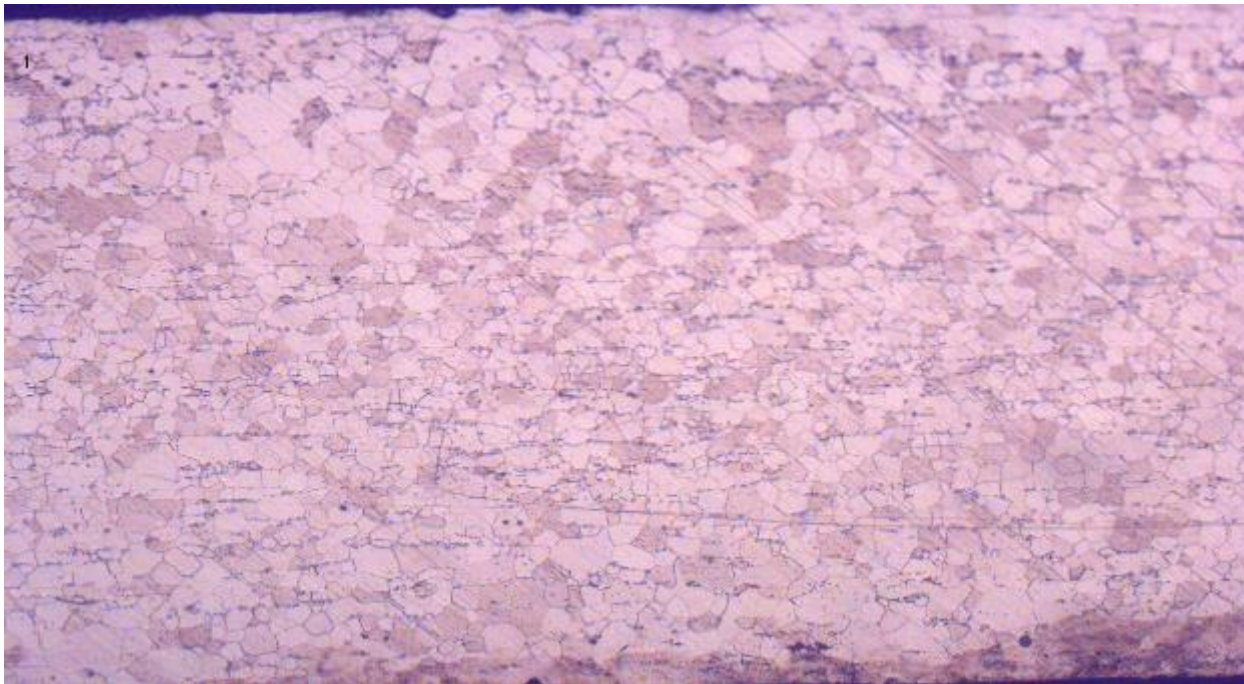


Рисунок 3.28 - Партия 13461-4 з відпалом у печах  $HNx$  газу по дослідному режиму.

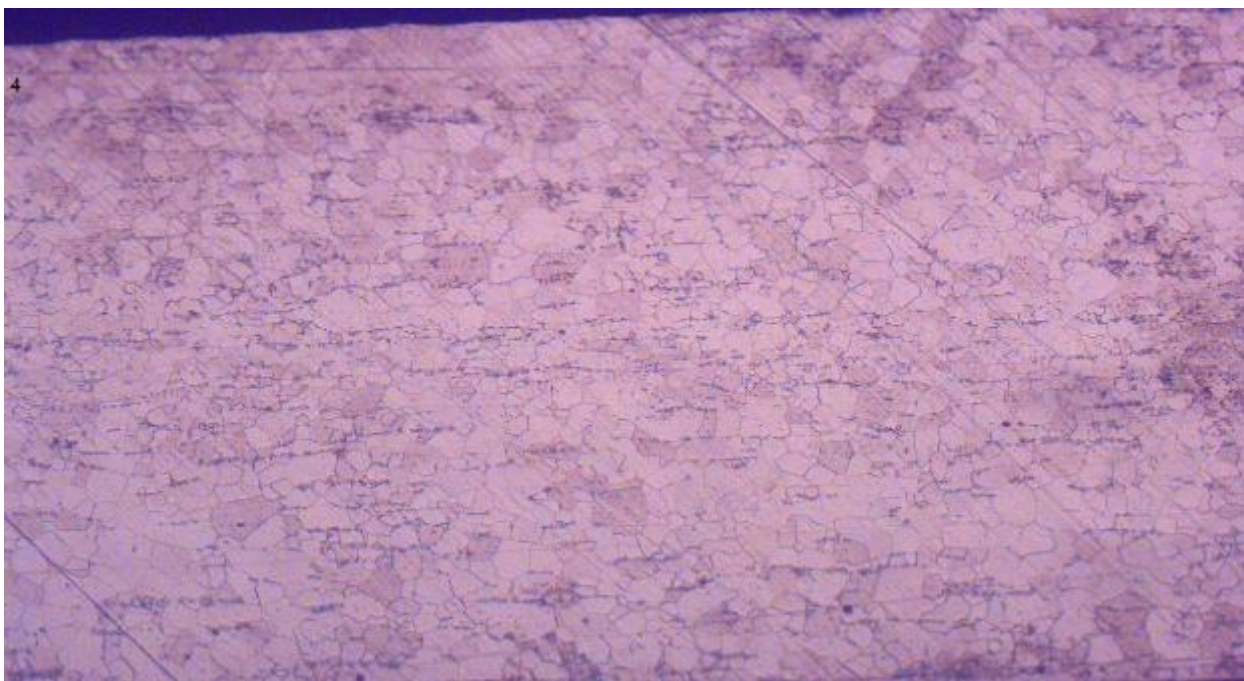


Рисунок 3.29 - Партия 13461-3 з відпалом у печах  $HNx$  газу по дослідному режиму.

Таблиця 3.18 – Результати механічних властивостей прокату другого етапу роботи.

№ плавки та ковшовий хімістосав	№ відпалу	Режим відпалу	Стенд	Партія	№ рулону	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, мПа	Межа міцності, мПа	Відносне подовження, %	Хімістосав						Температура змотування, ОС			№ зерна	цементит		
											C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін			макс	середнє
180662(C-0,07%, Mn-0,33%, S-0,018%, P-0,023%)	14-41	П 08кп Ебнер	185	18 11374-1к	18 1 11843	1.5x1265	13,240	201	329	40	0,067	0,3	0,011	0,018	0,019	0,03	0,01	0,01	678	712	687	10-7/10-7	
				18 11374-2	18 1 11846	1.5x1265	13,250	206	329	43	0,069	0,31	0,011	0,023	0,02	0,03	0,01	0,01	680	710	689	9-7/9-7	
				18 11375-1к	18 1 11845	1.5x1265	13,630	230	343	38	0,064	0,31	0,01	0,022	0,024	0,03	0,01	0,01	634	716	690	9-8/9-8	
				18 11375-2	18 1 11844	1.5x1265	12,650	216	348	40	0,066	0,3	0,011	0,022	0,022	0,03	0,01	0,01	683	712	690	9-8/9-8	
	14-42	дослідний Ебнер	186	18 11527-1к	18 1 11852	1.5x1265	12,760	191	319	43	0,064	0,31	0,008	0,021	0,024	0,03	0,01	0,01	678	707	687	9-6/9-6	
				18 11527-2	18 1 11854	1.5x1265	13,850	191	314	38	0,068	0,31	0,009	0,02	0,021	0,03	0,01	0,01	678	707	688	7-8/7-8	
				18 11528-1к	18 1 11853	1.5x1265	13,450	177	314	44	0,071	0,3	0,008	0,019	0,022	0,03	0,01	0,01	513	709	688	7-8/7-8	
	14-43	дослідний Ебнер	196	18 11499-1к	18 1 11848	1.5x1265	10,300	206	319	41	0,068	0,26	0,006	0,025	0,019	0,03	0,01	0,01	679	710	690	8-9/8-9	
				18 11499-2	18 1 11850	1.5x1265	13,480	235	319	33	0,072	0,32	0,007	0,019	0,023	0,03	0,01	0,01	685	714	692	9-7/9-8	
				18 11500-1к	18 1 11849	1.5x1265	13,560	221	329	41	0,074	0,32	0,008	0,026	0,024	0,03	0,01	0,01	685	715	693	8-7/8-7	
	14-50	П 08кп Ебнер	190	18 11500-2	18 1 11847	1.5x1265	13,730	221	324	38	0,065	0,31	0,008	0,019	0,024	0,03	0,02	0,01	681	715	691	9-7/9-7	
				18 11503к	18 1 11881	1.1x1250	13,570	240	328	30	0,067	0,32	0,012	0,02	0,021	0,03	0,01	0,01	622	704	681	8-10/8-10	
15-740	П 08кп НNx	205	18 11397-1к	18 1 11879	1.2x1250	10,630	226	338	43	0,061	0,32	0,007	0,02	0,025	0,03	0,01	0,01	640	702	677	10-8/10-8		
			18 11397-2	18 1 11880	1.2x1250	10,530	221	338	31	0,082	0,27	0,008	0,018	0,027	0,03	0,01	0,01	667	693	677	10-8/10-8		
				18 11398к	18 1 11878	1.2x1250	10,400	235	343	36	0,052	0,26	0,007	0,021	0,022	0,03	0,01	0,01	667	705	678	9-8/9-8	
180567 (C-0,07%, Mn-0,37%, S-0,017%, P-0,022%)	14-75	дослідний Ебнер	185	18 11842-2	18 1 11430	0.9x1015	11,780	215	343	38	0,073	0,32	0,009	0,019	0,023	0,02	0,01	0,01	664	695	669	9-7/9-8	
				18 11842-1к	18 1 11431	0.9x1015	10,700	196	304	40	0,074	0,32	0,01	0,02	0,023	0,02	0,01	0,01	667	699	672	9-7/9-6	
	14-197	дослідний Ебнер	194	18 13165-1к	18 1 11967	0.8x1015	11,490	181	309	36	0,07	0,34	0,008	0,02	0,023	0,02	0,01	0,01	669	698	674	9-7/9-8	
				18 13166-1к	18 1 11969	0.8x1015	11,240	191	304	41	0,069	0,34	0,008	0,019	0,023	0,02	0,01	0,01	668	700	675	9-6/9-6	
				18 13166-2	18 1 11966	0.8x1015	11,380	201	329	41	0,072	0,34	0,008	0,016	0,023	0,02	0,01	0,01	669	701	674	10-8/10-8	
				18 13167к	18 1 14106	2.0x1015	5,780	226	329	38	0,068	0,31	0,01	0,019	0,015	0,02	0,01	0,01	567	655	584	8-7/8-7	
	14-46	П 08кп Ебнер	188	18 11434-1к	18 1 11971	0.8x1015	11,800	221	358	29	0,074	0,32	0,01	0,019	0,023	0,02	0,01	0,01	668	698	672	10-9/10-9	
				18 11434-2	18 1 11972	0.8x1015	9,730	221	329	34	0,073	0,32	0,006	0,021	0,022	0,02	0,01	0,01	642	701	674	10-8/10-8	
				18 11435-1к	18 1 11973	0.8x1015	11,000	216	338	33	0,071	0,31	0,009	0,021	0,023	0,02	0,01	0,01	668	699	675	9-10/9-10	
				18 11435-2	18 1 11970	0.8x1015	11,370	230	358	29	0,071	0,32	0,01	0,019	0,023	0,02	0,01	0,01	668	702	676	10-8/10-8	
	14-995	П 08кп Ебнер	189	18 10917-1к	18 1 11280	2.0x1015	12,120	235	358	38	0,076	0,34	0,008	0,018	0,027	0,02	0,01	0,01	537	614	559	9/9.	
				18 10917-2	18 1 11279	2.0x1015	11,490	226	329	38	0,075	0,31	0,008	0,019	0,025	0,02	0,01	0,01	530	599	550	10-8/10-9	
14-996	П 08кп Ебнер	190	18 10914-1к	18 1 11281	2.0x1015	11,600	304	368	38	0,075	0,32	0,009	0,02	0,023	0,02	0,01	0,01	471	597	552	10-9/10-9		
			18 10914-2	18 1 11278	2.0x1015	11,100	226	343	35	0,076	0,31	0,01	0,019	0,021	0,02	0,01	0,01	565	669	593	10-8/10-9		

## Продовження таблиці 3.18.

№ плавки та ковшовий хімістосав	№ відпалу	Режим відпалу	Стенд	Партія	№ рулону	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, мПа	Межа міцності, мПа	Відносне подовження, %	Хімістосав						Температура змотування, °C			№ зерна	цементит		
											C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін			макс	середнє
180566 (C-0,09%, Mn-0,39%, S-0,018%, P-0,025%)	14-75	дослідний Ебнер	185	18 11841-1к	18 1 12145	0.9x1000	11,520	230	329	33	0,085	0,36	0,009	0,017	0,025	0,03	0,01	0,01	665	699	672	9-8/9-8	
				18 11841-2	18 1 12146	0.9x1000	11,610	226	343	34	0,083	0,35	0,009	0,017	0,026	0,03	0,01	0,01	663	696	669	9-8/9-7	
	16-172	ТІ 08кп HNx	223	18 11567-1к	18 1 12149	0.9x1000	11,470	211	338	30	0,098	0,37	0,009	0,018	0,027	0,03	0,01	0,01	607	697	669	10-9/10-9	
				18 11567-2	18 1 12147	0.9x1000	11,390	226	358	32	0,07	0,33	0,007	0,019	0,024	0,03	0,01	0,01	661	701	669	9-10/9-10	
				18 11569к	18 1 12141	0.9x1000	9,010	250	363	38	0,077	0,37	0,01	0,017	0,029	0,03	0,01	0,01	647	697	670	9-10/9-10	
	16-173	ТІ 08кп HNx	226	18 11622-1к	18 1 12142	0.9x1000	11,610	196	338	39	0,081	0,38	0,009	0,018	0,024	0,03	0,01	0,01	653	698	671	9-8/9-8	
				18 11622-2	18 1 12144	0.9x1000	11,170	216	358	31	0,08	0,4	0,009	0,017	0,025	0,03	0,01	0,01	664	700	672	9-8/9-8	
				18 11623к	18 1 12143	0.9x1000	11,560	250	358	31	0,081	0,39	0,009	0,019	0,029	0,03	0,01	0,01	661	696	668	9-8/9-8	
	16-174	ТІ 08кп HNx	231	18 11596-1к	18 1 12148	0.9x1000	11,470	221	348	31	0,079	0,39	0,01	0,01	0,027	0,03	0,01	0,01	662	696	669	9-10/9-10	
				18 11596-2	18 1 12139	0.9x1000	10,910	250	358	29	0,089	0,38	0,009	0,021	0,028	0,03	0,01	0,01	654	700	672	10-9/10-9	
				18 11598к	18 1 12138	0.9x1000	10,320	245	368	29	0,077	0,37	0,01	0,019	0,027	0,03	0,01	0,01	659	697	668	10-9/10-9	
	3-94	ТІ 08кп HNx	40	18 11539к	18 1 12140	0.9x1000	9,170	230	343	36	0,064	0,32	0,006	0,019	0,019	0,03	0,01	0,01	658	697	669	9-10/9-10	
	9-610	ТІ 08кп HNx	126	18 11658-1к	18 1 12474	1.2x1000	8,870	245	348	34	0,077	0,38	0,008	0,019	0,026	0,03	0,01	0,01	676	710	684	9-10/9-10	
				18 11658-2	18 1 12475	1.2x1000	11,630	255	338	28	0,067	0,37	0,009	0,019	0,026	0,03	0,01	0,01	674	705	681	10-9/10-9	
				18 11659-1к	18 1 12476	1.2x1000	11,790	255	343	30	0,079	0,39	0,01	0,019	0,026	0,03	0,01	0,01	464	706	678	9/9.	
				18 11659-2	18 1 12477	1.2x1000	11,060	265	382	31	0,081	0,35	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	667	706	680	10-8/10-8	
				18 11659-3	18 1 12478	1.2x1000	8,820	265	378	34	0,083	0,34	0,008	0,021	0,021	0,03	0,01	0,01	673	705	680	10-8/10-8	
618171 (C-0,09%, Mn-0,32%, S-0,030%, P-0,010%)	14-61	дослідний Ебнер	193	18 11720-1к	18 1 12344	0.7x1015	11,470	191	309	43	0,076	0,33	0,011	0,028	0,011	0,03	0,01	0,01	578	694	669	10-8/10-7	
				18 11720-2	18 1 12348	0.7x1015	11,910	201	309	41	0,075	0,33	0,011	0,028	0,011	0,02	0,01	0,01	660	694	669	9-8/10-8	
				18 11721-1к	18 1 12349	0.7x1015	11,330	196	309	43	0,073	0,3	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	619	694	670	9-8/9.	
				18 11721-2	18 1 12350	0.7x1015	12,010	196	319	38	0,072	0,32	0,012	0,028	0,012	0,03	0,01	0,01	659	693	668	10-8/10-7	
				18 11722к	18 1 12351	0.7x1015	10,710	206	314	31	0,073	0,32	0,011	0,028	0,011	0,02	0,01	0,01	646	694	668	10-8/10-8	
	14-62	ТІ 08кп Ебнер	191	18 11613-1к	18 1 12347	0.7x1015	11,730	181	314	36	0,078	0,3	0,013	0,031	0,011	0,02	0,01	0,01	662	695	670	10-8/10-8	
				18 11613-2	18 1 12345	0.7x1015	11,570	186	319	33	0,084	0,31	0,012	0,03	0,013	0,02	0,01	0,01	654	694	670	10-8/8-10	
				18 11614к	18 1 12346	0.7x1015	11,760	191	319	41	0,077	0,31	0,014	0,027	0,013	0,02	0,01	0,01	661	691	668	10-8/10-8	
	16-183	ТІ 08кп HNx	227	18 11727к	18 1 12480	0.9x1000	11,750	221	338	37	0,076	0,34	0,009	0,027	0,013	0,02	0,01	0,01	656	695	668	10-9/10-9	
	16-184	дослідний HNx	234	18 11762-1к	18 1 12479	0.9x1000	11,270	226	324	38	0,075	0,32	0,008	0,033	0,013	0,02	0,01	0,01	654	692	667	10-8/10-8	
				18 11762-2	18 1 12481	0.9x1000	11,560	196	319	40	0,079	0,32	0,009	0,029	0,011	0,02	0,01	0,01	560	695	669	9-8/9-8	
				18 11763-1к	18 1 12482	0.9x1000	9,770	201	329	38	0,072	0,32	0,008	0,025	0,013	0,02	0,01	0,01	657	693	668	9-8/9-8	
				18 11763-2	18 1 12484	0.9x1000	11,480	196	333	41	0,072	0,33	0,008	0,023	0,013	0,02	0,01	0,01	661	694	669	9-8/9-8	
				18 11764к	18 1 12483	0.9x1000	9,580	191	329	35	0,087	0,33	0,009	0,029	0,013	0,02	0,01	0,01	641	691	666	8-9/8-9	
	2-503	ТІ 08кп HNx	23	18 11735к	18 P 2029	0.75x1000	9,970	216	324	36	0,078	0,31	0,012	0,028	0,013	0,02	0,01	0,01	648	692	665	10-9/10-9	
	3-98	ТІ 08кп HNx	31	18 11694к	18 P 2028	0.75x1000	10,380	230	333	34	0,077	0,31	0,011	0,031	0,013	0,02	0,01	0,01	509	693	665	10-9/10-9	
9-612	ТІ 08кп HNx	125	18 11715-1к	18 P 2023	0.67x1000	11,230	255	348	32	0,079	0,33	0,009	0,023	0,013	0,03	0,02	0,01	648	689	658	10-9/10-9		
			18 11715-2	18 P 2024	0.67x1000	11,520	235	333	32	0,077	0,32	0,008	0,023	0,013	0,03	0,01	0,01	646	688	658	10-9/10-9		
6-120	ТІ 08кп HNx	80	18 11830к	18 1 12356	0.65x1015	9,950	240	324	31	0,078	0,31	0,009	0,023	0,013	0,02	0,01	0,01	646	691	658	10-9/10-9		

## Продовження таблиці 3.18.

№ плавки та ковшовий хімісостав	№ відпалу	Режим відпалу	Стенд	Партія	№ рулону	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %	Хімісостав							Температура змутування, ОС			№ зерна	цементит	
											C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін	макс			середнє
180687 (C-0,07%, Mn-0,33%, S-0,018%, P-0,013%)	15-755	ТІ 08кп ННх	206	18 11681-1к	18 Р 2022	0.5x1000	7,930	250	363	35	0,078	0,28	0,006	0,019	0,013	0,02	0,01	0,01	634	685	649	10-9/10-9	1в/1в
				18 11681-2	18 Р 2021	0.5x1000	8,310	235	353	36	0,081	0,27	0,006	0,018	0,012	0,01	0,01	0,01	640	685	650	10-9/10-9	1в/1в
				18 11681-3	18 Р 2020	0.5x1000	7,970	235	333	34	0,079	0,28	0,007	0,017	0,013	0,02	0,01	0,01	623	688	652	10-9/10-9	1в/1в
	15-756	ТІ 08кп ННх	204	18 11679к	18 Р 2019	0.5x1000	11,160	245	343	33	0,075	0,029	0,007	0,019	0,013	0,02	0,01	0,01	641	684	647	10-9/10-9	1в/1в
	3-100	дослідний ННх	38	18 11861-1к	18 Р 2016	0.5x1000	11,420	211	343	37	0,071	0,31	0,009	0,017	0,014	0,02	0,01	0,01	548	686	649	9-10/9-10	1в/1в
				18 11861-2	18 Р 2012	0.5x1000	10,840	211	333	36	0,072	0,3	0,01	0,017	0,014	0,02	0,01	0,01	642	689	649	9/9.	1в/1в
				18 11861-3	18 Р 2018	0.5x1000	11,300	211	333	31	0,071	0,31	0,006	0,017	0,015	0,01	0,01	0,01	609	685	648	9-8/9-8	1в/1в
				18 11861-4	18 Р 2013	0.5x1000	11,080	235	348	34	0,073	0,3	0,007	0,016	0,015	0,02	0,01	0,01	635	685	646	9-10/9-10	1в/1в
				18 11861-5	18 Р 2017	0.5x1000	10,970	191	343	35	0,074	0,33	0,01	0,018	0,014	0,02	0,01	0,01	626	686	650	9/9.	1в/1в
	3-101	дослідний ННх	42	18 11816-1к	18 Р 2009	0.5x1000	11,170	235	353	36	0,075	0,3	0,007	0,019	0,012	0,02	0,01	0,01	631	685	646	10-9/10-9	1в/1в
				18 11816-2	18 Р 2015	0.5x1000	11,350	250	333	33	0,077	0,3	0,007	0,02	0,012	0,02	0,01	0,01	501	684	647	10-9/10-8	1в/1в
				18 11816-3	18 Р 2011	0.5x1000	10,000	226	333	36	0,078	0,29	0,007	0,018	0,013	0,02	0,01	0,01	638	686	648	10-8/10-8	1в/1в
				18 11816-4	18 Р 2007	0.5x1000	11,230	221	343	34	0,079	0,31	0,007	0,019	0,013	0,02	0,01	0,01	633	683	644	10-9/10-9	1в/1в
				18 11816-5	18 Р 2006	0.5x1000	10,630	265	353	34	0,076	0,3	0,007	0,017	0,013	0,02	0,01	0,01	550	684	647	10-9/10-9	1в/1в
	9-615	ТІ 08кп ННх	130	18 11801-1к	18 Р 2008	0.5x1000	11,230	226	338	34	0,078	0,32	0,007	0,019	0,014	0,01	0,01	0,01	634	686	645	10-9/10-9	1в/1в
18 11801-2				18 Р 2014	0.5x1000	11,130	230	338	33	0,074	0,31	0,006	0,017	0,014	0,01	0,01	0,01	457	687	645	10-9/10-9	1в/1в	
18 11801-3				18 Р 2010	0.5x1000	11,100	235	329	36	0,069	0,3	0,007	0,018	0,013	0,01	0,01	0,01	628	681	643	10-9/10-9	1в/1в	
180863 (C-0,07%, Mn-0,36%, S-0,023%, P-0,023%)	10-263	ТІ 08кп ННх	137	18 13177-1к	18 1 14839	0.7x1000	10,260	289	353	35	0,068	0,34	0,009	0,023	0,024	0,02	0,01	0,01	651	689	661	10-9/10-9	
	11-192	ТІ 08кп ННх	156	18 13255-1к	18 1 14843	0.7x1000	11,600	319	348	30	0,07	0,35	0,01	0,02	0,024	0,03	0,01	0,02	647	690	660	10-9/10-9	
				18 13255-2	18 1 14842	0.7x1000	9,900	265	338	33	0,069	0,35	0,009	0,021	0,024	0,03	0,01	0,02	583	690	659	10-9/10-9	
				18 13255-3	18 1 14841	0.7x1000	9,990	304	353	36	0,062	0,34	0,01	0,021	0,024	0,02	0,01	0,02	657	690	663	10-9/10-9	
	11-201	дослідний ННх	154	18 13457-1к	18 1 15318	0.7x1000	11,550	279	343	34	0,073	0,34	0,009	0,02	0,023	0,02	0,01	0,01	650	692	660	10-8/10-8	
				18 13457-2	18 1 15319	0.7x1000	11,470	294	333	33	0,079	0,34	0,009	0,023	0,023	0,02	0,01	0,01	648	691	661	9-7/9-7	
				18 13458к	18 1 15320	0.7x1000	11,100	250	333	30	0,076	0,34	0,009	0,024	0,023	0,02	0,01	0,01	652	689	659	9-7/9-7	
	11-202	дослідний ННх	151	18 13489-2	18 1 15316	0.7x1000	9,800	250	333	32	0,074	0,34	0,009	0,023	0,024	0,02	0,01	0,02	643	690	659	9-8/9-8	
				18 13489-1к	18 1 15317	0.7x1000	10,230	265	348	38	0,071	0,34	0,009	0,022	0,023	0,02	0,01	0,02	649	688	658	9-8/9-8	
	14-235	дослідний Ебнер	188	18 13449-1к	18 1 15188	0.7x1000	11,045	216	324	38	0,077	0,35	0,009	0,022	0,023	0,02	0,01	0,01	645	689	660	9-10/9-10	
				18 13449-2	18 1 15187	0.7x1000	10,460	216	324	39	0,078	0,35	0,009	0,024	0,023	0,02	0,01	0,01	647	685	658	9-10/9-10	
				18 13450к	18 1 15189	0.7x1000	11,270	216	319	35	0,076	0,33	0,009	0,02	0,022	0,02	0,01	0,01	646	689	658	10-8/10-8	
	2-561	ТІ 08кп ННх	23	18 13264-1к	18 1 15066	0.82x1200	13,170	294	343	36	0,066	0,32	0,009	0,022	0,024	0,02	0,01	0,01	654	693	669	10-9/10-9	
				18 13264-2	18 1 15065	0.82x1200	13,150	324	353	31	0,07	0,31	0,01	0,021	0,019	0,02	0,01	0,01	638	693	671	10-9/10-9	
	2-562	ТІ 08кп ННх	26	18 13266-1к	18 1 15064	0.82x1200	13,100	279	338	35	0,064	0,32	0,011	0,021	0,024	0,02	0,01	0,01	660	695	670	10-9/10-9	
18 13266-2				18 1 15067	0.82x1200	12,820	289	333	38	0,071	0,32	0,01	0,023	0,023	0,02	0,01	0,01	574	695	670	10-9/10-9		
7-75	дослідний ННх	100	18 13238к	18 1 14844	0.7x1000	10,070	206	329	39	0,077	0,34	0,009	0,022	0,022	0,02	0,01	0,01	651	692	660	9-10/9-10		

## Продовження таблиці 3.18.

№ плавки та ковшовий хімічний склад	№ відпалу	Режим відпалу	Стенд	Партія	№ рулону	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %	Хімічний склад							Температура змотування, ОС			№ зерна	цементит	
											C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін	макс			середнє
180864 (C-0,08%, Mn-0,38%, S-0,022%, P-0,022%)	11-194	ТІ 08кп ННх	157	18 13258-1к	18 1 15028	1.0x1250	13,750	275	338	33	0,069	0,34	0,01	0,022	0,023	0,02	0,01	0,01	667	697	678	10-8/10-9	
				18 13258-2	18 1 15033	1.0x1250	13,670	260	338	38	0,072	0,34	0,01	0,021	0,021	0,02	0,01	0,01	471	704	681		
	11-195	ТІ 08кп ННх	161	18 13261-1к	18 1 15032	1.0x1250	13,310	279	348	38	0,072	0,35	0,01	0,017	0,022	0,02	0,01	0,01	670	700	678	10-9/10-9	
				18 13261-2	18 1 15030	1.0x1250	13,570	260	329	28	0,068	0,35	0,01	0,019	0,021	0,02	0,01	0,01	665	700	678	10-9/10-9	
				18 13261-3	18 1 15031	1.0x1250	13,360	265	343	32	0,073	0,36	0,01	0,02	0,021	0,02	0,01	0,01	674	703	680	10-9/10-9	
				18 13261-4	18 1 15029	1.0x1250	13,320	275	343	36	0,074	0,36	0,01	0,019	0,022	0,02	0,01	0,01	667	703	679	10-9/10-9	
	5-328	ТІ 08кп ННх	66	18 13272-1к	18 1 15054	0.92x1200	12,970	314	333	36	0,072	0,35	0,01	0,021	0,023	0,02	0,01	0,01	670	694	663	10-9/9.	
				18 13272-2	18 1 15055	0.92x1200	13,380	309	343	36	0,076	0,36	0,009	0,018	0,022	0,02	0,01	0,01	668	693	658	10-9/9-10	
				18 13272-3	18 1 15053	0.92x1200	13,360	324	348	31	0,075	0,36	0,01	0,019	0,021	0,02	0,01	0,01	669	693	662	10-9/9-10	
				18 13272-4	18 1 15056	0.92x1200	13,200	304	329	30	0,076	0,36	0,01	0,02	0,023	0,02	0,01	0,01	671	692	663	10-9/9-10	
	6-152	дослідний ННх	77	18 13276-1к	18 1 15027	1.2x1250	13,300	240	329	36	0,08	0,33	0,008	0,02	0,022	0,02	0,01	0,01	679	704	636	9-8/9-7	
				18 13276-2	18 1 15026	1.2x1250	13,700	255	319	38	0,071	0,33	0,008	0,019	0,022	0,02	0,01	0,01	678	700	671	9-7/9-7	
	9-656	дослідний ННх	125	18 13246-1к	18 1 15050	0.92x1200	13,350	260	324	36	0,08	0,36	0,009	0,022	0,023	0,02	0,01	0,01	666	694	671	10-8/10-7	
				18 13246-2	18 1 15049	0.92x1200	13,440	250	324	33	0,074	0,35	0,009	0,021	0,022	0,02	0,01	0,01	661	693	669	9-7/10-9	
				18 13246-3	18 1 15052	0.92x1200	12,260	255	314	35	0,073	0,35	0,009	0,021	0,023	0,02	0,01	0,01	584	693	670	9-7/9-10	
				18 13246-4	18 1 15051	0.92x1200	13,030	260	324	41	0,074	0,35	0,009	0,021	0,022	0,02	0,01	0,01	662	692	670	9-8/9-7	
1218191 (C-0,07%, Mn-0,35%, S-0,022%, P-0,029%)	11-201	дослідний ННх	154	18 13459к	18 P 2487	0.5x1000	11,010	270	348	31	0,072	0,31	0,01	0,018	0,029	0,04	0,02	0,01	628	678	639	10-9/10-9	1в/1в
	15-813	ТІ 08кп ННх	205	18 13233к	18 P 2483	0.5x1000	11,150	230	309	29	0,073	0,32	0,01	0,022	0,032	0,04	0,02	0,01	630	679	640	10/10.	1в/1в
	2-564	ТІ 08кп ННх	22	18 13356-1к	18 P 2481	0.6x1000	11,140	270	373	36	0,075	0,31	0,009	0,021	0,032	0,04	0,02	0,01	632	680	643	10/10.	1в/1в
				18 13356-2	18 P 2473	0.6x1000	11,610	270	378	36	0,073	0,32	0,009	0,021	0,031	0,04	0,02	0,01	556	682	643	10/10.	1в/1в
				18 13357к	18 P 2484	0.5x1000	11,080	279	378	35	0,077	0,31	0,009	0,02	0,031	0,04	0,02	0,01	628	676	638	10/10.	1в/1в
				18 13359к	18 P 2472	0.6x1000	8,000	260	324	31	0,077	0,28	0,01	0,02	0,029	0,04	0,02	0,01	634	678	643	10-9/10-9	1в/1в
	2-565	дослідний ННх	28	18 13364-1к	18 P 2482	0.6x1000	11,510	260	353	35	0,067	0,31	0,009	0,02	0,031	0,04	0,02	0,02	631	680	641	10-9/10-9	1в/1в
				18 13364-2	18 P 2478	0.6x1000	11,320	245	353	31	0,073	0,33	0,009	0,021	0,03	0,04	0,02	0,02	630	679	639	10-9/10-8	1в/1в
				18 13367к	18 P 2485	0.5x1000	7,510	260	329	32	0,062	0,3	0,008	0,017	0,033	0,04	0,02	0,02	630	677	640	10-9/10-9	1в/1в
	7-74	ТІ 08кп ННх	104	18 13242-1к	18 P 2477	0.6x1000	11,440	260	363	38	0,075	0,32	0,009	0,021	0,03	0,04	0,02	0,02	634	683	642	10-9/10-9	1в/1в
				18 13242-2	18 P 2474	0.6x1000	11,210	250	368	36	0,079	0,32	0,009	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	634	682	642	10/10.	1в/1в
	7-75	дослідний ННх	100	18 13239-1к	18 P 2480	0.6x1000	11,380	270	378	34	0,072	0,31	0,009	0,019	0,03	0,04	0,02	0,01	633	683	643	10/10.	1в/1в
				18 13239-2	18 P 2479	0.6x1000	11,800	260	358	34	0,076	0,32	0,009	0,021	0,029	0,04	0,02	0,02	636	683	644	10-9/10-9	1в/1в
	9-653	ТІ 08кп ННх	133	18 13253-1к	18 P 2475	0.6x1000	11,430	245	358	33	0,07	0,32	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,01	630	6797	641	10-9/10-9	1в/1в
				18 13253-2	18 P 2476	0.6x1000	11,190	245	348	34	0,071	0,31	0,009	0,019	0,029	0,04	0,02	0,01	630	681	643	10-9/10-9	1в/1в

Продовження таблиці 3.18.

№ плавки та ковшовий хімічний склад	№ відпалу	Режим відпалу	Стенд	Партія	№ рулону	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %	Хімічний склад							Температура змотування, ОС			№ зерна	цементит	
											C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін	макс			середнє
180876 (C-0,07%, Mn-0,36%, S-0,018%, P-0,014%)	10-270	дослідний HNх	142	18 13461-1к	18 1 15289	1.3x1250	13,460	245	309	33	0,071	0,33	0,009	0,017	0,015	0,02	0,01	0,01	670	707	683	8-9/8-9	-
				18 13461-2	18 1 15287	1.3x1250	12,520	250	324	34	0,073	0,31	0,009	0,02	0,016	0,02	0,01	0,01	676	712	683	8-9/8-9	
				18 13461-3	18 1 15286	1.3x1250	12,850	250	324	28	0,072	0,3	0,009	0,02	0,016	0,02	0,01	0,01	670	712	684	7-8/7-8	
				18 13461-4	18 1 15288	1.3x1250	12,530	240	324	43	0,068	0,32	0,009	0,018	0,012	0,03	0,01	0,01	675	710	683	7-8/7-8	
	15-815	ТІ 08кп HNх	207	18 13322-1к	18 1 15252	1.35x1250	12,900	250	309	36	0,07	0,33	0,008	0,021	0,014	0,02	0,01	0,01	674	708	683	10-8/10-8	
				18 13322-2	18 1 15251	1.35x1250	12,840	279	324	39	0,067	0,29	0,008	0,021	0,014	0,02	0,01	0,01	675	711	684	10-8/10-8	
				18 13322-3	18 1 15250	1.35x1250	13,660	284	324	39	0,082	0,34	0,01	0,02	0,014	0,02	0,01	0,01	673	710	684	10-8/10-8	
				18 13322-4	18 1 15253	1.35x1250	12,940	265	319	38	0,077	0,33	0,009	0,019	0,014	0,02	0,01	0,01	542	709	683	10-8/10-8	
	15-816	дослідний HNх	210	18 13434к	18 1 15255	1.3x1250	12,890	279	329	34	0,074	0,33	0,009	0,019	0,014	0,02	0,01	0,01	672	707	683	8-6/8-6	
				18 13435к	18 1 15254	1.35x1250	13,100	270	329	40	0,072	0,32	0,009	0,018	0,014	0,02	0,01	0,01	546	709	683	9-7/9-7	
7-78	ТІ 08кп HNх	101	18 13414к	18 1 15285	1.3x1250	12,940	206	319	38	0,073	0,33	0,009	0,018	0,015	0,02	0,01	0,01	672	707	682	9-7/9-7		
180878 (C-0,08%, Mn-0,32%, S-0,018%, P-0,024%)	14-227	ТІ 08кп Ебнер	191	18 13300к	18 1 15121	1.85x1250	13,120	216	329	44	0,071	0,3	0,011	0,015	0,017	0,02	0,01	0,01	690	719	701	9-7/9-7	
	14-232	дослідний Ебнер	192	18 13452-1к	18 1 15126	1.85x1250	13,580	245	324	39	0,078	0,3	0,009	0,019	0,025	0,02	0,01	0,01	685	718	697	9-7/9-7	
				18 13452-2	18 1 15125	1.85x1250	12,730	250	324	41	0,078	0,29	0,009	0,019	0,028	0,02	0,01	0,01	691	720	700	9-7/9-7	
				18 13453-1к	18 1 15127	1.85x1250	13,250	255	324	32	0,073	0,29	0,009	0,02	0,024	0,02	0,01	0,01	593	722	700	9-7/9-7	
				18 13453-2	18 1 15128	1.85x1250	13,430	240	324	45	0,073	0,29	0,009	0,019	0,025	0,02	0,01	0,01	551	720	699	9-7/9-7	
	15-816	дослідний HNх	210	18 13433-1к	18 1 15135	1.0x1250	13,070	206	319	38	0,077	0,31	0,009	0,018	0,026	0,02	0,01	0,01	673	711	688	8-7/8-7	
				18 13433-2	18 1 15136	1.0x1250	13,350	211	333	41	0,073	0,31	0,009	0,019	0,025	0,02	0,01	0,01	563	710	688	9-10/9-10	
	9-657	ТІ 08кп HNх	123	18 13285-1к	18 1 15137	1.0x1250	12,970	250	348	36	0,072	0,32	0,011	0,017	0,02	0,02	0,01	0,01	673	712	688	10-8/10-8	
				18 13285-2	18 1 15138	1.0x1250	12,850	235	348	39	0,069	0,32	0,011	0,018	0,024	0,02	0,01	0,01	674	710	687	10-8/10-8	
				18 13286-1к	18 1 15139	1.0x1250	13,420	235	338	34	0,074	0,31	0,01	0,019	0,02	0,02	0,01	0,01	678	711	688	10-9/10-9	
18 13286-2				18 1 15140	1.0x1250	13,490	240	343	38	0,066	0,31	0,01	0,016	0,022	0,02	0,01	0,01	679	712	688	10-8/10-8		

Продовження таблиці 3.18

№ плавки та ковшовий хімічний склад	№ відпалу	Режим відпалу	Стенд	Партія	№ рулону	Розміри, мм	Вага, т	Межа плинності, мПа	Межа міцності, мПа	Відносне подовження, %	Хімічний склад							Температура змотування, ОС			№ зерна	цементит		
											C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	мін	макс			середнє	
180874 (C-0,06%, Mn-0,36%, S-0,024%, P-0,021%)	14-219	дослідний Ебнер	190	18 13381-1к	18 1 14969	1.85x1250	11,920	191	309	41	0,061	0,33	0,011	0,019	0,013	0,02	0,02	0,01	667	703	681	9-7/9-7		
				18 13381-2	18 1 14970	1.85x1250	11,520	186	309	43	0,063	0,33	0,01	0,017	0,015	0,02	0,02	0,02	0,01	667	702	667		9-7/9-7
				18 13382-1к	18 1 14968	1.85x1250	13,400	191	314	41	0,064	0,34	0,01	0,02	0,015	0,02	0,02	0,02	0,01	664	702	678		9-7/9-6
				18 13382-2	18 1 14967	1.85x1250	12,910	201	319	36	0,067	0,35	0,011	0,021	0,016	0,02	0,02	0,02	0,01	668	705	679		9-7/9-6
	14-221	дослідний Ебнер	195	18 13314к	18 1 14971	1.85x1250	12,860	221	309	41	0,069	0,34	0,011	0,02	0,012	0,02	0,01	0,01	574	703	678	9-7/9-7		
	14-233	ТІ 08кп Ебнер	183	18 13387к	18 1 14961	1.85x1250	13,400	211	309	43	0,07	0,34	0,011	0,021	0,013	0,03	0,02	0,01	666	703	679	9-7/9-7		
	14-234	ТІ 08кп Ебнер	185	18 13388-1к	18 1 14963	1.85x1250	13,540	240	319	30	0,07	0,37	0,013	0,021	0,013	0,02	0,02	0,01	665	699	680	9-8/9-8		
				18 13388-2	18 1 14958	1.85x1250	12,870	216	319	34	0,067	0,34	0,012	0,021	0,012	0,02	0,01	0,01	619	703	680	9-7/9-7		
				18 13390к	18 1 14959	1.85x1250	13,500	240	314	40	0,066	0,38	0,011	0,021	0,015	0,03	0,02	0,01	664	703	664	9-7/9-7		
	14-236	ТІ 08кп Ебнер	196	18 13402-1к	18 1 14965	1.85x1250	12,650	226	319	41	0,072	0,32	0,009	0,021	0,02	0,02	0,01	0,01	668	704	681	9-8/9-8		
18 13402-2				18 1 14964	1.85x1250	13,580	230	314	40	0,067	0,35	0,009	0,022	0,021	0,02	0,01	0,01	662	698	675	9-8/9-8			
18 13404к				18 1 14962	1.85x1250	13,110	240	329	41	0,079	0,29	0,009	0,018	0,023	0,02	0,01	0,01	663	703	697	9-7/9-7			
14-237	ТІ 08кп Ебнер	198	18 13405к	18 1 14960	1.85x1250	13,410	216	324	38	0,071	0,33	0,009	0,022	0,018	0,02	0,01	0,01	662	700	677	9-7/9-7			
180875 (C-0,07%, Mn-0,28%, S-0,016%, P-0,012%)	14-221	дослідний Ебнер	195	18 13312-1к	18 1 14978	1.85x1250	13,500	226	373	33	0,073	0,27	0,008	0,017	0,012	0,02	0,01	0,01	676	707	686	8-9/8-9		
				18 13312-2	18 1 14977	1.85x1250	13,550	226	304	39	0,071	0,27	0,009	0,018	0,01	0,02	0,01	0,01	673	707	685	9-8/9-8		
				18 13313к	18 1 14976	1.85x1250	13,370	235	309	39	0,077	0,26	0,007	0,017	0,011	0,02	0,01	0,01	590	706	684	9-8/9-8		
	14-223	ТІ 08кп Ебнер	197	18 13280-1к	18 1 14982	1.85x1250	13,090	201	304	44	0,067	0,28	0,009	0,017	0,011	0,02	0,01	0,01	675	708	685	9-8/9-7		
				18 13280-2	18 1 14981	1.85x1250	13,580	196	304	40	0,069	0,26	0,01	0,016	0,011	0,02	0,01	0,01	668	706	684	9-7/9-7		
				18 13281-1к	18 1 14979	1.85x1250	13,280	196	309	43	0,063	0,27	0,009	0,02	0,011	0,02	0,01	0,01	675	708	685	9-7/9-7		
				18 13281-2	18 1 14975	1.85x1250	13,390	201	309	36	0,066	0,27	0,009	0,017	0,01	0,02	0,01	0,01	651	708	685	9-7/9-7		
	14-233	ТІ 08кп Ебнер	183	18 13386к	18 1 14980	1.85x1250	13,250	226	309	42	0,071	0,38	0,008	0,016	0,008	0,02	0,01	0,01	671	702	685	9-8/9-8		
14-239	ТІ 08кп Ебнер	197	18 13445к	18 1 14973	1.85x1250	13,630	196	304	44	0,065	0,25	0,008	0,017	0,011	0,02	0,01	0,01	670	703	682	8-6/8-6			

У таблиці 3.20 представлено зведені дані про рівень значень межі плинності металу дослідних плавок з поділом за варіантами відпалу і рівень відповідності цих випробувань вимогам EN 10130.

Таблиця 3.20 - Зведені дані про рівень значень межі плинності металу дослідних плавок

Печі	Режим відпалу	Випробувано партій, шт	Відповідає EN10130		Рівень значень межі плинності, МПа		
			шт	%	мін	макс	середн
Ебнер	Дослідний 08Ю	36	36	100	177	255	211
	діючий по ТІ	31	30	97	181	304	219
HNx-газ	Дослідний 08Ю	43	42	97,7	191	294	240
	діючий по ТІ	66	56	83,6	196	324	256
Вимоги EN 10130-2006					≤280		

Аналіз наведених даних показує, що метал, відпалений у печах ф."Ебнер", за дослідним режимом - відповідає повністю EN 10130-2006, за діючим режимом ТІ відповідність вимогам EN 10130 на 97%. На металі дослідних плавок після відпалу в печах з HNx-газом за режимами ТІ вихід придатного значною мірою нижчий (83,6%), ніж після відпалу за режимом сталі марки 08Ю (97,7%). 97,7% - високий вихід придатного порівняно з іншими технологіями, для виробництва валового металу на момент освоєння було прийнято саме цю технологію: змотування в ЦГП без охолодження+режим відпалу за сталлю марки 08Ю з двома проміжними витримками і тривалою основною витримкою 17 годин.

3.3.3 У таблиці 3.21 наведено розрахунок подорожчання прокату (порівняно з відпалом сталі марки 08кп,пс по ГОСТ 16523 за чинною технологією) і втрати продуктивності печей, відпаленого за різними режимами відпалу. Найбільше

подорожчання має режим відпалу сталі марки 08Ю (103,3гн/т) - він найбільш енерговитратний, але водночас забезпечує і найкращий відсоток відповідності механічних властивостей.

Таблиця 3.21 - Розрахунок подорожчання за різними варіантами відпалу.

Режим відпалу	Час нагріву, год	Час витримки, год	Витрата палива на нагрівання, м <sup>3</sup> /год	Витрата палива на витримку, м <sup>3</sup> /год	Витрата захисного газу, м <sup>3</sup> /год	Витрата електроенергії, квт/год	Витрата палива на відпал, м <sup>3</sup>	Витрата захисного газу на відпал, м <sup>3</sup>	Витрата електроенергії, квт	Вартість 1 тис.м <sup>3</sup> ННх-газу (березень 2018), грн	Вартість 1 тис.квт (березень 2018), грн	Вартість 1 тис.м <sup>3</sup> палива (березень 2018), грн
ТІ (660 <sup>0</sup> С)	14	6	64	50	15	15	1196	300	300	2386,53	1703,52	7892,16
680 <sup>0</sup> С	15	6					1260	315	315			
700 <sup>0</sup> С	16	6					1324	330	330			
08Ю	10	25					1890	525	525			
ТІ (660 <sup>0</sup> С)+витримка 420 <sup>0</sup> С-3год	12	9					1218	315	315			

Продовження таблиці 3.21.

Режим відпалу	Витрата захиного газу на відпал, грн/т	Подорож чання за захисним газом, грн/т	Витрата електроенерг ії, грн/т	Подорожча ння за електроене ргією, грн/т	Витрати палива на відпал, грн	Подорожчання відносно режиму ТІ по паливу			Розрахункова продуктивність стенда з урахуванням охолодження під муфелем, т/год	Втрати продуктивності, т/год
						грн/садк у відпалу	%	грн/т (при середній вазі садк и 53т)		
ТІ (660 <sup>0</sup> С)	13,51	-	9,64	-	9439,02	-	-	-	0,707	
680 <sup>0</sup> С	14,18	<b>0,68</b>	10,12	<b>0,48</b>	9944,12	505,10	5,35	<b>9,5</b>	0,697	-0,01
700 <sup>0</sup> С	14,86	<b>1,35</b>	10,61	<b>0,96</b>	10449,22	1010,20	10,70	<b>19,1</b>	0,688	-0,02
08Ю	23,64	<b>10,13</b>	16,87	<b>7,23</b>	14916,18	5477,16	58,03	<b>103,3</b>	0,589	-0,12
ТІ (660 <sup>0</sup> С)+витри мка 420 <sup>0</sup> С-3год	14,18	<b>0,68</b>	10,12	<b>0,48</b>	9612,65	173,63	1,84	<b>3,3</b>	0,697	-0,01

Продовження таблиці 3.21.

Режим відпалу	Час нагріву, год.	Час витримки, год.	Витрата палива на нагріванні, м <sup>3</sup> /год.	Витрата палива на витримці, м <sup>3</sup> /год.	Витрата захисного газу, м <sup>3</sup> /год.	Витрата електроенергії, квт/год	Витрата палива на садку відпалу, м <sup>3</sup>	Витрата захисного газу на садку відпалу, м <sup>3</sup>	Витрата електроенергії, квт	Вартість 1 тис.м <sup>3</sup> ННХ-газу (березень 2018), грн	Вартість 1 тис.квт (березень 2018), грн	Вартість 1 тис.м <sup>3</sup> палива (березень 2018), грн
ЕбнерТИ	7	7	130	50	4	22	1260	212	308	12482,38	1703,52	7892,16
Ебнер08Ю	6	26		8	2080		424	704				

Продовження таблиці 3.21.

Режим відпалу	Витрата газу на відпал, грн/т	Подорожчання за захисним газом, грн/т	Витрата електроенергії, грн/т	Подорожчання за електроенергією, грн/т	Витрати палива на 1 садку відпалу, грн	Подорожчання відносно режиму ТІ по паливу			Розрахункова продуктивність стенда з урахуванням охолодження під муфелем, т/год.	Втрати продуктивності, т/год.
						грн/1 садку відпалу	%	грн/т (при середній вазі садки 53т)		
Ебнер ТИ	49,93	-	9,8997011	-	9944,12				1,828	
Ебнер 08Ю	99,86	<b>49,93</b>	22,627888	<b>12,73</b>	16415,69	6471,57	65,08	<b>122,11</b>	1,128	-0,70

3.4 Третій етап - оцінка можливості збільшення вмісту фосфору понад 0,25%.

3.4.1 З метою уточнення можливості виготовлення холоднокатаного прокату сталі марки DC01 із вмістом фосфору в ковшевій пробі понад 0,025% було проведено виготовлення двох дослідних плавок №№718364 і 728364, ковшевий хімічний склад яких наведено в таблиці 3.22.

Таблиця 3.22 - Ковшевий хімічний склад дослідних плавок

№ плавки	Вміст хімічних елементів, %							
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
718364	<b>0,08</b>	0,37	0,012	0,027	<b>0,030</b>	0,03	0,02	0,02
728364	<b>0,08</b>	0,36	0,011	0,023	<b>0,029</b>	0,03	0,02	0,02

Гаряча прокатка металу обох плавок проведена за режимами зі змотуванням без охолодження водою.

Відпал дослідних плавок проведено в печах з H<sub>N</sub>x-газом за двома варіантами:

-1 варіант - режим відпалу, який застосовувався для прокату сталі марки DC01 (група відпалу №17 ТИ 226-П.ХЛ1-04) зі зміною температури основної витримки 700°C замість 660°C.

-2 варіант - режим відпалу, який застосовувався для прокату сталі марки 08Ю (з двома проміжними і 1 основною витримкою).

3.4.2 Результати випробувань мехвластивостей металу дослідних плавок і фактичні значення рівня температур змотування представлені в таблиці 3.23.

Таблиця 3.23 - Результати випробувань мехвластивостей металу дослідних плавок і фактичні значення рівня температур змотування

№ плавки	Режим відпалу (дослідн / ТІ)	Партія	Розміри, мм	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %	Температура змотування, °С		
							мін	макс	середнє
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
718364	дослідн 700°С	21434	0.7x1000	265	353	36	658	696	670
	ТІ	20728	0.8x1030	275	338	29	немає даних		
		20729	0.8x1030	270	348	33	590	704	649
	дослідн 08Ю	20896-1	0.7x1000	280	343	34	659	695	668
		20896-2	0.7x1000	270	348	33	610	700	669
		20897-1	0.7x1000	280	343	28	471	697	667
		20897-2	0.7x1000	255	343	29	657	697	668
		20898	0.7x1000	260	343	36	598	696	669
	дослідн 700°С	20899-1	0.7x1000	240	348	33	630	696	666
		20899-2	0.7x1000	235	353	34	661	697	669
		20900-1	0.7x1000	240	348	31	663	699	669
		20900-2	0.7x1000	255	333	34	656	700	670
		20901	0.7x1000	230	333	35	591	694	668
	дослідн 08Ю	21038	1.8x1000	250	343	35	493	715	691
	728364	дослідн 700°С	21432-2	1.25x975	240	338	39	661	706
21432-1			1.25x975	235	338	38	665	705	674
дослідн 08Ю		21554	1.25x975	260	348	37	660	706	673
		21553-1	1.25x975	265	343	32	619	706	676
		21553-2	1.25x975	260	333	34	немає даних		

Продовження таблиці 3.23.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	дослідн 700 <sup>o</sup> C	21031-1	0.8x1000	230	333	34	655	702	671
		21031-2	0.8x1000	226	324	34	665	704	674
		21032-1	0.8x1000	230	329	35	667	703	675
		21032-2	0.8x1000	250	333	36	476	704	673
		21033	0.8x1000	265	338	33	662	704	673
	дослідн 08Ю	21036-1	0.8x1000	275	343	29	664	702	672
		21036-2	0.8x1000	275	343	32	661	705	673
		21037-1	0.8x1000	265	338	31	664	705	676
		21037-2	0.8x1000	255	338	33	662	704	675

Аналіз отриманих даних показав, що метал усіх х/к рулонів, відпалених за обома варіантами режиму відпалу (за температури відпалу 700<sup>o</sup>C і за режимом відпалу сталі марки 08Ю), за мехвластивостями відповідають вимогам EN 10130, що вказує на можливість виготовлення х/к прокату сталі марки DC01 з вимогами до механічних властивостей за EN на металі із вмістом фосфору в ковшевій пробі до 0,030%.

### 3.4.3 Висновки за результатами трьох етапів роботи

А) Виробництво прокату сталі марки DC01 за чинною технологією забезпечує низький рівень відповідності металу вимогам EN 10130 - без урахування допусків – на рівні 66-68%, водночас основну невідповідність отримано через підвищені значення межі плинності.

Б) Обмеження хімскладу за вмістом основних зміцнювальних елементів (вуглецю і марганцю) поряд з підвищенням температури відпалу до 700<sup>o</sup>C проти 660<sup>o</sup>C за ТІ дає змогу збільшити рівень відповідності прокату при відпалі у печах з HNx газом вимогам EN 10130-2006 до 90%.

В) Обмеження хімскладу за вмістом основних зміцнювальних елементів (вуглецю і марганцю) і шкідливих домішок (сірці та фосфору), зміна режиму змотування смуг під час гарячої прокатки в ЦГП (без охолодження замість

охолодження водою за ТП), відпал за режимами, ідентичними для прокату сталі марки 08Ю, дало змогу забезпечити найбільший рівень відповідності вимогам EN 10130-2006 у печах з HNx газом та печах ф. «Ебнер» 97,7 та 100% відповідно. З наведених даних аналізу мікроструктури випливає, що дослідні режими відпалу (більш енергоємні у порівнянні з діючими режимами 08кп - по аналогії відпалу сталі 08Ю)+змотування без охолодження гарячекатаного підкату впливають не тільки на механічні властивості, а й на мікроструктуру холоднокатаного прокату, збільшуючи розмір зерна на 1-2 бали у порівнянні з діючими режимами відпалуГ) Прокат з підвищеним вмістом фосфору до 0,030% поряд з обмеженням вуглецю 0,07-0,08% за умови змотування під час гарячої прокатки в ЦГП без води і відпалу за 700<sup>0</sup>С або за режимом 08Ю в частині мехвластивостей на двох випробуваних плавках повністю забезпечив вимоги EN 10130-2006.

Д) За підсумком відпрацювання технології було складено регламент, який описує технологічні особливості виробництва сталі марки DC01 за EN 10130-2006 - додаток А.

3.5. Четвертий етап – вдосконалення технології відбору проб для випробування механічних властивостей.

В ході вищевказаних трьох етапів роботи для чистоти експерименту проби відбирали для чистоти експерименту з вихідної сторони дресирувального стану після дресування. У період відпрацювання технології на валових (без наглядю за дресуванням кожного рулону інженера-технолога) плавках виявили наступний факт: відсоток первинно годних за межею плинності випробувань становив близько 60-70 відсотків, проби, які були визнані не годними, при повторному відборі від тих же рулонів (за технологією перед повторним відбором відмотується 10 метрів штаби) показували годність, без перевищення необхідного обмеження за межею плинності. Проведеним розбором технології дресування було встановлено, що відбір проб на валових плавках проводять на дресирувальному стані з вхідного боку стану (так

зручніше), до робочої кліти. Тобто, щоб відібрати пробу, вальцювальник після дресування здавав смугу назад, не змінюючи встановленого зазору валків, за фактом роблячи друге дресування смуги на ділянці з пробою. Там, де за межею плинності у металлі був значний запас по вимогам EN 10130-2006, проби проходили випробування, де межа плинності була близька до максимально допустимої межі - отримували провал за межею плинності. Після виявлення причини провалів видали розпорядження по комбінату, що регламентує відбір проб на вхідному боці дресувального стану тільки після підняття натискних гвинтів (на 100од на стані 1700-2 і на 300од на стані 1700-1 за продуктіметрами) перед здачею смуги назад. За підсумками дослідження було видано відповідне розпорядження (додаток Б), згодом параметр було внесено до переліку Ключових параметрів технології та обладнання ПАТ "Запоріжсталь".

3.6 П'ятий етап - вдосконалення режимів відпалу з метою зниження витрат енергоресурсів і підвищення продуктивності печей відпалу.

3.6.1 У зв'язку з тривалим режимом відпалу сталі марки DC01 комбінат міг виробляти дану марку тільки в обмежених об'ємах, особливо на сучасних (через малу кількість печей - лише 18 стендів) ковпакових печах ф. "Ебнер" (відпал здійснюється в середовищі сухого водню, що покращує чистоту поверхні прокату). На газових ковпакових печах із захисною атмосферою H<sub>N</sub>x-газу (всього в ЦХП 180 стендів) ця проблема є також актуальною, зважаючи на підвищену витрату енергоресурсів на відпал сталі марки DC01 і суттєве зростання замовлень на цю марку.

З метою підвищення продуктивності газових ковпакових печей H<sub>N</sub>x-газу і печей фірми "Ебнер" та зниження витрат енергоресурсів (палива, захисного газу та електроенергії) під час виробництва прокату сталі марки DC01 у суворій відповідності з вимогами EN 10130-2006 проведено дослідницьку роботу з оцінки відповідності механічних властивостей холоднокатаного прокату, відпаленого за

новим розробленим режимом відпалу, сталі марки DC01 у ковпакових печах HNх газу та печах фірми "Ебнер", у порівнянні з механічними властивостями прокату відпаленому за режимами чинної технології.

Відпал рулонів валових плавок здійснювався за такими дослідними режимами:

- на газових ковпакових печах HN-х газу відпал холоднокатаних рулонів сталі марки DC01 проводили з температурою остаточної витримки 700°C - 9 годин, замість обумовленого режиму відпалу сталі марки 08Ю (проміжні витримки: 420°C - 3 години, 570°C - 5 годин, остаточно витримка 670°C - 17 годин).

- у печах фірми "Ебнер" відпал холоднокатаного прокату сталі марки DC01 проводили за режимом відпалу рядового металу замість режиму відпалу сталі марки 08Ю.

Для відпрацювання технології було призначено 12 дослідних плавок різного сортаменту

Хімічний склад металу дослідних плавок, представлений у таблиці 3.24.

3.6.2 Для того щоб зрозуміти, що вдосконалили, нижче на малюнках 3.30-3.33 наочно наведені наявні режими відпалу за підсумком перших 3-х етапів освоєння і нові запропоновані режими відпалу. Діючі та дослідні режими представлені нижче на малюнках.

Таблиця 3.24 - Хімічний склад металу дослідних плавів

№ плавки	Вміст основних хімічних елементів, %				Сортамент, мм
	C	Mn	S	P	
190565	0,09	0,35	0,027	0,024	0,9x1200
190576	0,08	0,34	0,021	0,018	0,9x1200
190681	0,07	0,35	0,022	0,017	1,4x1250
190682	0,08	0,37	0,025	0,022	1,4x1250
190664	0,08	0,36	0,021	0,020	1,41x1250
529136	0,09	0,32	0,017	0,012	1,4x1250
519166	0,10	0,34	0,023	0,025	0,95x1205
1229129	0,08	0,35	0,018	0,019	0,9x1205
1219111-1	0,08	0,36	0,019	0,012	0,5x1000
519148	0,08	0,36	0,019	0,024	0,5x1000
819092	0,08	0,34	0,020	0,018	0,5x1000
190635-1	0,08	0,4	0,017	0,021	0,67x1000
<b>Вимоги регламенту EN 10130:2006 для DC01</b>	≤0,10	0,2-0,4	≤0,03	≤0,025	

Рисунок 3.30 - Графік відпалу сталі марки DC01 (проміжні витримки: 420°C - 3 години, 570°C - 5 годин, остаточна витримка: 670°C - 17 годин, охолодження під ковпаком - 1 година) - чинний режим на газових ковпакових печах HNx газу.

t, °C

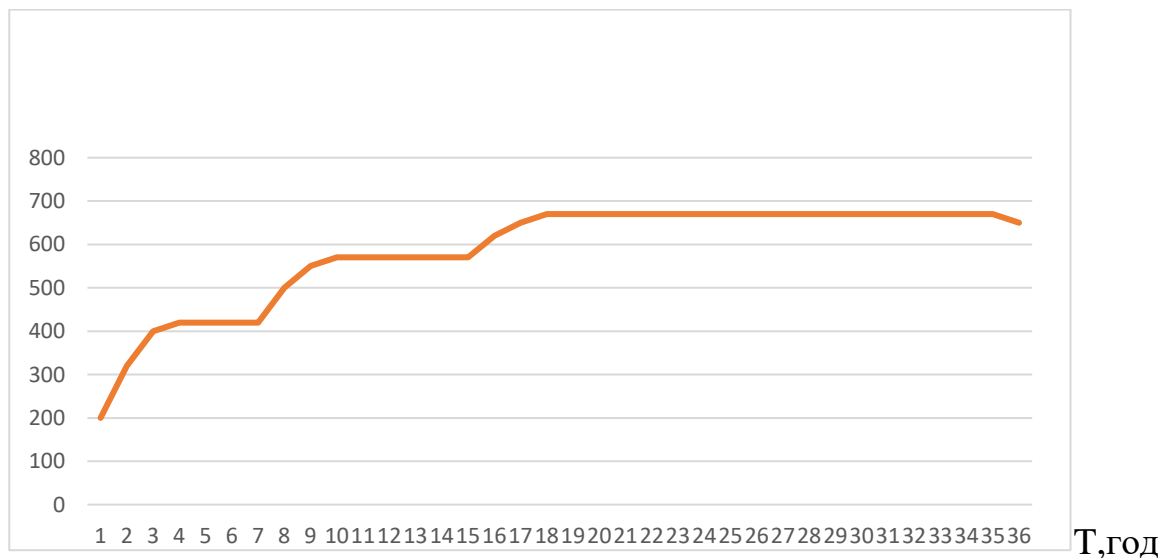


Рисунок 3.31 – Графік відпалу сталі марки DC01 товщиною понад 0,7 мм (остаточна витримка 700°C - 9 годин, охолодження під ковпаком - 1 година). Для сталі марки DC01 товщиною 0,5 - 0,7 мм необхідна додаткова проміжна витримка (420°C - 3 години) - дослідний режим на газових ковпакових печах HNx газу.

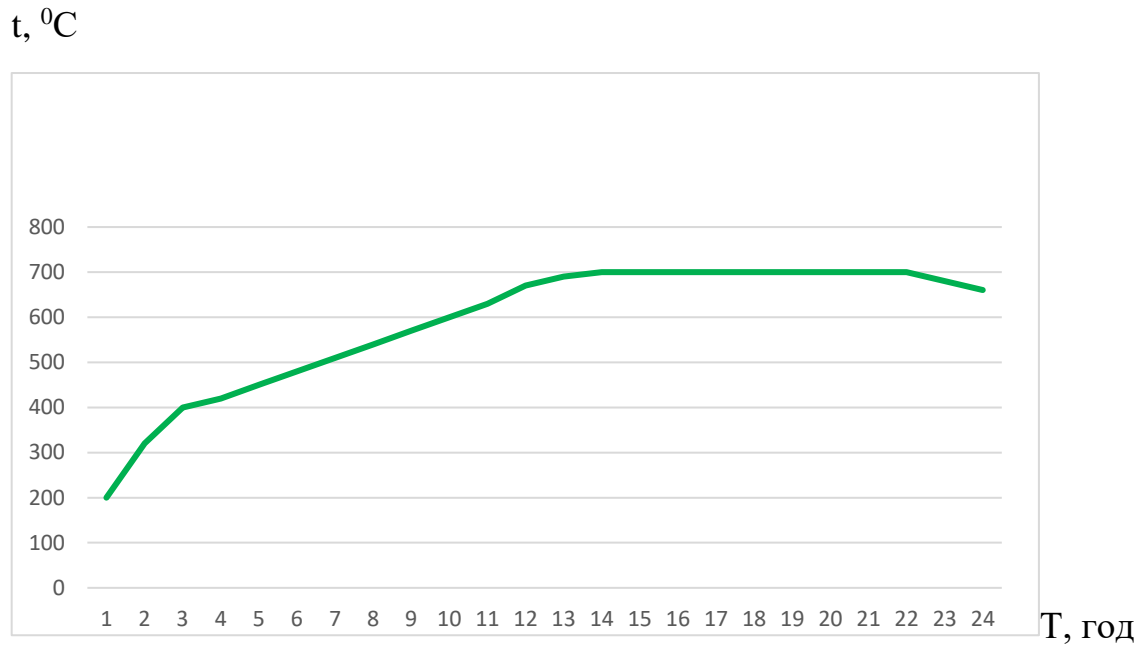


Рисунок 3.32 - Графік відпалу сталі марки DC01 (проміжні витримки: 450°C - 4 години, 600°C - 5 годин, остаточна витримка: 700°C - 8 - 12 годин, охолодження під ковпаком до температури 690°C упродовж 3-х годин, температура ядра наприкінці нагрівання 680°C). Для сталі марки DC01 товщиною 0,5 - 0,7 мм охолодження під ковпаком до температури 680°C упродовж 5-ти годин, температура ядра наприкінці нагріву - 670°C - чинний режим відпалу на печах ф. "Ебнер".

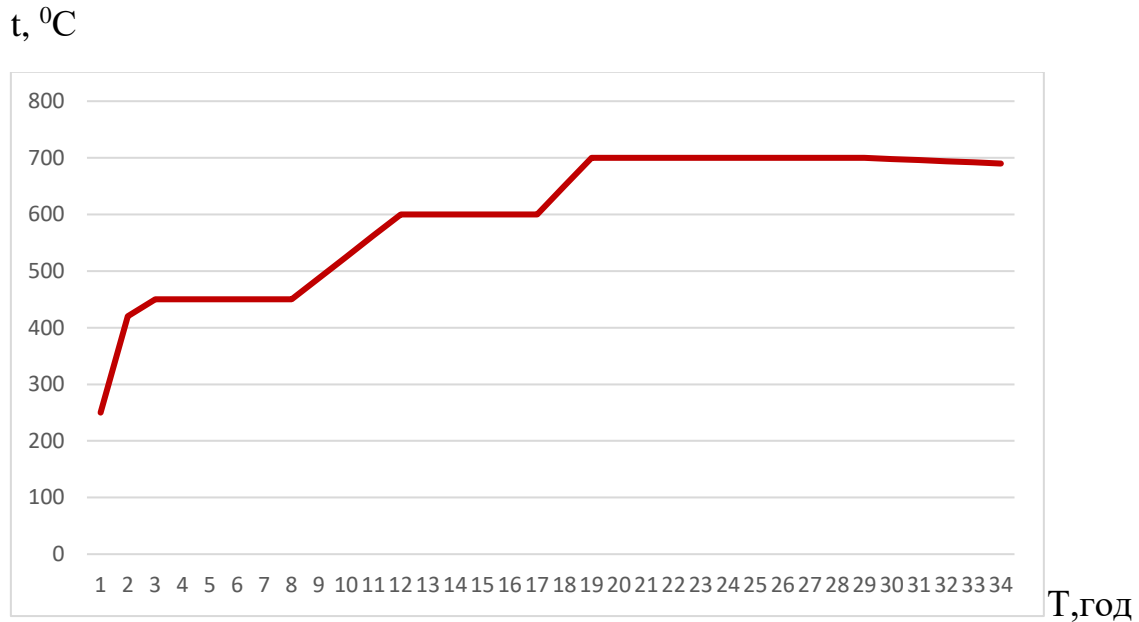
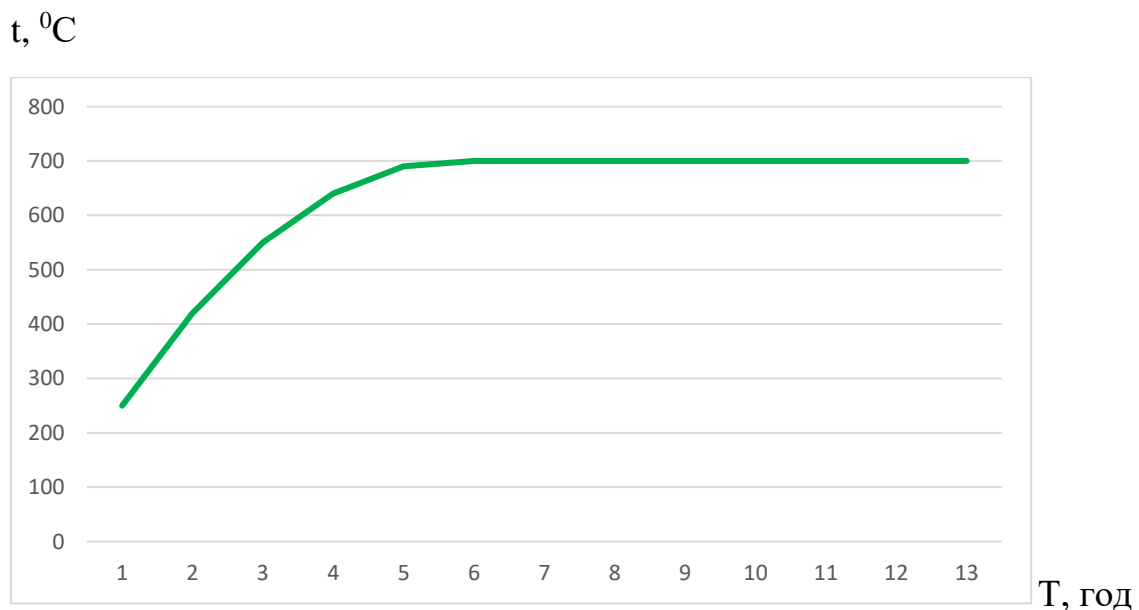


Рисунок 3.33 - Графік відпалу сталі марки DC01 товщиною понад 0,7 мм (остаточна витримка - 700°C - 8-12 годин, температура ядра наприкінці нагріву 640°C) - дослідний режим відпалу на печах ф. "Ебнер".



3.6.3 Після дресування від кожного рулону проводився відбір проб для визначення механічних властивостей. Результати випробувань механічних властивостей металу дослідних плавок наведено в таблицях 3.25, 3.26 і 3.27.

Таблиця 3.25 – Механічні властивості холоднокатаного прокату сталі марки DC01, відпаленого в ковпакових печах з HN-х газом.

Номер плавки	Номер відпалу	Номер партії	Номер рулону	Разміри, мм	Маса рулону, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
190565	11-463	9902-1к	8847	0,9x1200	13,310	221,0	319,0	41
		9902-2	8857	0,9x1200	13,130	221,0	324,0	39
		9903-1к	8853	0,9x1200	13,400	216,0	319,0	40
		9903-2	8854	0,9x1200	13,470	211,0	319,0	40
190576	2-834	9853-1к	8876	0,9x1200	13,580	230,0	319,0	31
		9853-2	8880	0,9x1200	13,930	216,0	314,0	34
		9854-1к	8877	0,9x1200	13,940	240,0	324,0	37
		9854-2	8878	0,9x1200	13,860	211,0	319,0	38
	2-835	9851-1к	8882	0,9x1200	13,070	240,0	348,0	38
		9851-2	8883	0,9x1200	13,880	226,0	333,0	41
		9852-1к	8881	0,9x1200	13,280	221,0	338,0	40
		9852-2	8879	0,9x1200	12,960	235,0	348,0	36
	3-480	9855-1к	8871	0,9x1200	13,370	196,0	329,0	39
		9855-2	8873	0,9x1200	13,690	226,0	319,0	38
		9856-1к	8870	0,9x1200	13,290	255,0	333,0	38
		9856-2	8869	0,9x1200	13,070	216,0	319,0	36
190681	10-320	10819-1к	10301	1.4x1250	14,390	270	329	38
		10819-2	10300	1.4x1250	14,680	-	-	-
		10820-1к	10299	1.4x1250	14,660	255	329	37
		10820-2	10298	1.4x1250	14,230	-	-	-
	15-296	10733-1к	10295	1.4x1250	14,570	270	329	35
		10733-2	10297	1.4x1250	14,140	275	324	37
		10734-1к	10296	1.4x1250	14,040	270	324	33
		10734-2	10294	1.4x1250	14,610	270	324	33

## Продовження таблиці 3.25.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	15-297	10725-1к	10292	1.4x1250	14,930	240	373	38
		10725-2	10290	1.4x1250	14,640	240	383	39
		10726-1к	10293	1.4x1250	14,530	240	384	39
		10726-2	10291	1.4x1250	14,760	235	385	39
190682	15-295	10737-1к	10275	1.4x1250	12,750	275	324	37
		10737-2	10277	1.4x1250	13,180	275	329	38
		10739к	10276	1.4x1250	13,190	265	324	34
	15-298	10735-1к	10286	1.4x1250	13,110	245	324	38
		10735-2	10282	1.4x1250	13,420	240	324	39
		10736-1к	10280	1.4x1250	12,960	240	319	35
		10736-2	10284	1.4x1250	11,110	226	324	39
	15-299	10731-1к	10287	1.4x1250	12,920	289	329	38
		10731-2	10289	1.4x1250	12,980	275	329	39
		10732-1к	10288	1.4x1250	12,760	280	334	35
		10732-2	10285	1.4x1250	12,970	275	309	38
	16-178	10740-1к	10278	1.4x1250	13,050	231	334	39
		10740-2	10283	1.4x1250	13,180	240	338	40
		10741-1к	10281	1.4x1250	12,850	240	334	36
		10741-2	10279	1.4x1250	12,780	250	338	39
	519166	10-358	12086-1к	12389	0.95x1205	13,210	221	334
12086-2			12390	0.95x1205	13,170	-	-	-
12087-1к			12382	0.95x1205	13,270	216	329	41
12087-2			12384	0.95x1205	13,000	-	-	-
11-531		12092-1к	12387	0.95x1205	13,310	216	329	41
		12092-2	12386	0.95x1205	13,000	-	-	-
		12093-1к	12385	0.95x1205	13,020	240	338	31
		12093-2	12388	0.95x1205	13,530	-	-	-
11-532		12094-1к	12379	0.95x1205	12,580	245	348	29
		12094-2	12380	0.95x1205	12,800	-	-	-
		12095-1к	12381	0.95x1205	13,090	275	348	40
		12095-2	12383	0.95x1205	12,660	-	-	-

## Продовження таблиці 3.25.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1229129	2-918	12214-1к	12416	0,9x1205	13,110	255	338	30
		12214-2	12415	0,9x1205	13,410	250	338	40
		12215-1к	12424	0,9x1205	13,680	255	343	38
		12215-2	12417	0,9x1205	13,520	250	338	33
	9-840	12220-1к	12420	0,9x1205	13,530	235	343	36
		12220-2	12421	0,9x1205	13,490	235	334	44
		12221-1к	12419	0,9x1205	13,570	240	334	38
		12221-2	12418	0,9x1205	13,430	235	334	34
	10-365	12218-1к	12410	0,9x1205	13,350	250	324	39
		12218-2	12414	0,9x1205	13,070	260	329	38
		12219-1к	12412	0,9x1205	12,540	245	338	40
		12219-2	12413	0,9x1205	13,270	260	334	35

Таблиця 3.26 - Механічні властивості холоднокатаного прокату сталі марки DC01, відпаленого в печах фірми "Ебнер".

Номер плавки	Номер відпалу	Номер партії	Номер рулону	Разміри, мм	Маса рулону, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
190565	14-719	10598-1к	8845-1	0,9x1200	13,430	211	329	40
		10598-2	8855-1	0,9x1200	13,520	221	319	38
		10599-1к	8856-1	0,9x1200	13,420	226	324	37
		10599-2	8850-1	0,9x1200	13,620	231	329	39
	14-676	9841к	8851	0,9x1200	13,620	270	353	34
190576	14-676	9839-1к	8875	0,9x1200	13,480	270	348	36
		9839-2	8872	0,9x1200	14,060	270	353	38
		9840к	8874	0,9x1200	13,250	270	338	28
190664	14-733	10806-1к	10268	1.41x1250	13,080	226	309	40
		10806-2	10264	1.41x1250	12,770	221	314	41
		10807-1к	10262	1.41x1250	12,610	221	314	39

## Продовження таблиці 3.26.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	14-734	10807-2	10265	1.41x1250	13,280	216	304	38
		10773-1к	10267	1.41x1250	13,080	250	324	28
		10773-2	10266	1.41x1250	12,810	240	314	38
		10774-1к	10263	1.41x1250	13,210	260	324	39
		10774-2	10261	1.41x1250	13,190	255	319	38
529136	14-736	10799-1к	9909	1.41x1250	12,990	240	324	35
		10799-2	9907	1.41x1250	13,470	235	309	40
		10800-1к	9906	1.41x1250	13,210	231	319	39
		10800-2	9905	1.41x1250	12,790	235	304	40
	14-737	10826-1к	9908	1.41x1250	13,010	235	309	33
		10826-2	9910	1.41x1250	13,110	235	309	38
		10827-1к	9904	1.41x1250	13,520	231	314	34
		10827-2	9911	1.41x1250	12,430	245	314	38

Таблиця 3.27 - Механічні властивості холоднокатаного прокату сталі марки DC01, завтовшки 0,5 - 0,7 мм, відпаленого в ковпакових печах з H<sub>N</sub>-х газом і печах ф. "Ебнер"

Номер плавки	Номер відпалу	Номер партії	Номер рулону	Разміри, мм	Маса рулону, т	Межа плинності, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
819092	14-590	8792к	P 1097	0,5x1000	10,720	235	348	28
	15-191	8481-1к	P 1099	0.5x1000	11,040	265	343	32
		8482-1к	P 1095	0.57x1000	10,860	265	353	34
		8483к	P 1098	0.5x1000	11,400	265	363	33
190635-1	14-837	12249к	10190-1	0,67x1000	11,090	260	358	35
1219111-1	6-75	11501-1к	P 1728	0.5x1000	11,360	284	343	35
		11502-1к	P 1726	0.5x1000	11,180	221	314	39

Продовження таблиці 3.27.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	6-76	11509к	P 1723	0.5x1000	11,020	260	334	34
519148	2-882	11196-1к	P 1697	0.5x1000	11,490	240	358	32
	6-75	11503к	P 1693	0.5x1000	11,370	289	348	33
	6-76	11510-1к	P 1699	0.5x1000	11,240	280	353	34
		11511-1к	P 1700	0.5x1000	11,320	270	353	36
	9-818	11369-1к	P 1710	0.5x1000	11,170	235	329	29

У таблицях 3.28, 3.29 і 3.30 представлено вимоги до механічних властивостей EN 10130-2006 і статистичні дані механічних властивостей сталі марки DC01

Таблиця 3.28 - Технічні вимоги регламенту виготовлення сталі марки DC01.

Параметр	Товщина прокату, мм	Значення
Межа міцності, МПа	Для всіх товщин	270-410
Межа плинності, МПа	0,5 і менше	не більше 320
	0,51-0,7	не більше 300
	Більше 0,7	не більше 280
Відносне подовження, ( $\delta_4$ ), %	0,5 і менше	не більше 24,0
	0,51-0,7	не більше 26,0
	Більше 0,7	не більше 28,0

Таблиця 3.29 – Зведені статистичні дані дослідних режимів відпалу сталі марки DC01 в печах з HN-х газом.

Параметри	Межа плинності, МПа			Межа міцності, МПа	Відносне подовження $\delta_4$ , %		
	У тому числі на товщинах, мм				Для всіх товщин	У тому числі на товщинах, мм	
	$\leq 0,5$	0,51-0,7	$> 0,7$	$\leq 0,5$		0,51-0,7	$> 0,7$
Кількість партій випробувано, шт	11	1	59	71	11	1	59
Відповідає вимогам EN 10130-2006, шт	11	1	58*	71	11	1	59
Середнє значення	264	265	244	337	33	34	37
Мінімальне значення	235	265	196	309	28	34	29
Максимальне значення	289	265	289	385	36	34	44

\*- при повторних випробуваннях партія 10731-1 з незадовільними значеннями за межею плинності показала відповідність вимогам EN 10130-2006 - 250 МПа.

Таблиця 3.30 – Зведені статистичні дані дослідних режимів відпалу сталі марки DC01 в печах ф. «Ебнер».

Параметри	Межа плинності, МПа			Межа міцності, МПа	Відносне подовження $\delta_4$ , %		
	У тому числі на товщинах, мм				Для всіх товщин	У тому числі на товщинах, мм	
	$\leq 0,5$	0,51-0,7	$> 0,7$	$\leq 0,5$		0,51-0,7	$> 0,7$
Кількість партій випробувано, шт	1	1	24	26	1	1	24
Відповідає вимогам EN 10130-2006, шт	1	1	24	26	1	1	24
Середнє значення	235	260	239	324	28	35	37
Мінімальне значення	235	260	211	304	28	35	28
Максимальне значення	235	260	270	358	28	35	41

Як видно з наведених даних, виготовлення холоднокатаного прокату сталі марки DC01 за новими дослідними укороченими за часом режимами відпалу поряд з чинною технологією виготовлення цього прокату як у печах фірми "Ебнер", так і в ковпакових печах з HN-х газом, дає змогу одержувати холоднокатаний прокат, що відповідає вимогам EN 10130:2006 за механічними властивостями, а саме за межею плинності. При цьому середній рівень межі плинності, отриманий за дослідними режимами в печах ф. "Ебнер" на 8% вищий, ніж за режимами відпалу 08Ю (середнє значення межі плинності за чинним режимом ТІ - 220 МПа проти дослідних режимів - 239 МПа), у звичайних печах з HNх-газом відмінність не така суттєва і становить лише 4%. (середнє значення межі плинності за чинним режимом ТІ - 233 МПа проти дослідних режимів - 244 МПа) але це повністю відповідає вимогам EN 10130-2006. За дослідними режимами в печах фірми "Ебнер" і в ковпакових печах з HNх-газом відпалено метал 24 і 59 партій відповідно, отримано 100% відповідності прокату вимогам EN 10130:2006 за механічними властивостями (з урахуванням повторних випробувань, одна партія показала перевищення верхньої межі межі за межею плинності на 8 МПа під час первинних випробувань). За підсумком проведеної роботи була розроблена карта відпалу для печей з HN-х газом - наведена нижче у таблиці 3.31.

У печах ф. "Ебнер" управління повністю автоматичне – задається тільки температура ядра а далі піч розраховує сама режим відпалу виходячи від маси садки та товщини металу. За результатами 4-го етапу роботи рекомендовано змінити температуру ядра наприкінці нагріву для х/к рулонів, завтовшки до 0,7 мм, - 650°C, понад 0,7 мм - 660°C. За цих змін збільшується час відпалу холоднокатаного прокату, внаслідок чого відбувається інтенсифікація процесів рекристалізації та відповідно більшого ступеня його розміщення.

У процесі дресування холоднокатаного прокату, відпаленого за дослідними режимами дефектів "ізлом" і "злипання", обумовлених підвищенням температури відпалу з 660°C до 700°C у ковпакових печах з HNх газом не виявлено.

Таблиця 3.31 - Програма режимів відпалу для сталі марки DC01 за EN 10130:2006 на газових ковпакових печах з HН-х газом.

Для газових ковпакових печей з HН-х газом								
Ширина смуги, мм	Маса рулону, т	Температура відпалу, °С, залежно від товщини металу, мм		Тривалість витримки за стенового термопарою, год.	Загальна тривалість відпалу, год.	Тривалість охолодження під муфелем, не менше, год		Температура розпаковування, не більше, °С
		0.40-0.7	0.71-2,0			зимовий період	літній період	
1500-1351	15,0- 13,001	680	700	12	28-32	46	48	120
	13,0-9,001			9	24-28	44	46	
	6,7-3,0			7	18-22	38	40	
1350-1191	14,5- 11,501	680	700	9	24-28	42	44	140
	11,5-6,701			9	24-28	40	42	
	6,7-3,0			7	18-22	36	38	
до 1190	12,6-8,501	з проміжною витримкою для товщин 0,4-0,85 мм при 420°С - 3 години		9	24-28	43	45	140
	8,5-6,701			7	18-22	38	40	
	6,7-3,0			7	16-20	36	38	

За підсумком проведеної роботи було підготовлено розпорядження - додаток В.

За підсумком проведеної роботи було оформлено СПП №06002681 від 11.06.2019 (додаток Е).

3.6.4 Розрахунок економічної ефективності за новими режимами відпалу холоднокатаних рулонів сталі марки DC01 відповідно до вимог EN10130:2006.

Проведено розрахунок економічної ефективності за новими режимами відпалу холоднокатаних рулонів сталі марки DC01. Дані розрахунку наведено в таблиці 3.32.

Так, завдяки впровадженню нових режимів відпалу холоднокатаного прокату сталі марки DC01 на ковпакових печах з HNx-газом зниження собівартості відпалу становитиме 91,65 грн/т, зокрема за витратою електроенергії - 9,65 грн/т, за захисним газом - 14,36 грн/т, за паливом - 67,64 грн/т, а на печах фірми "Ебнер" зниження собівартості відпалу становитиме 210,15 грн/т, зокрема за витратою електроенергії - 15,09 грн/т, за захисним газом (воднем) - 86,36 грн/т, за паливом - 108,70 грн/т.

При виробництві холоднокатаних рулонів сталі марки DC01 у повній відповідності до вимог EN 10130:2006 на рівні 12000 тон на місяць орієнтовна економія від впровадження нових режимів відпалу складе:

$$6000\text{т} * 91,65 \text{ т (на печах з HNx-газом)} + 6000 \text{ т} * 210,15 \text{ т (на печах фірми "Ебнера")} =$$

$$1\ 810\ 786,39 \text{ грн/місяць або } 21\ 729\ 436,6 \text{ грн/рік.}$$

### 3.6.5 Висновки за результатами 5-го етапу роботи:

А) Випробувано нові укорочені за часом режими відпалу холоднокатаного прокату сталі марки DC01 у печах фірми "Ебнер" і в ковпакових печах з HNx-газом. Випробувано 24 партії прокату, відпалених у печах фірми "Ебнер" і 59 партій прокату, відпалених у ковпакових печах з HNx-газом.

Б) Виготовлення холоднокатаного прокату сталі марки DC01 за дослідними укороченими за часом режимами відпалу поряд з чинною технологією виготовлення цього прокату як у печах фірми "Ебнер", так і в ковпакових печах з HNx-газом дають змогу одержувати холоднокатаний прокат, що відповідає вимогам EN 10130:2006 за механічними властивостями, а саме за межею плинності. За дослідними режимами в печах фірми "Ебнер" і в ковпакових печах з HNx-газом відпалено метал 24 і 59 партій відповідно – отримано 100% відповідності прокату вимогам EN 10130:2006 за механічними властивостями (з урахуванням повторних випробувань, одна партія

показала перевищення верхньої межі за межею плинності на 8 МПа під час первинних випробувань). При цьому загальний рівень межі плинності, отриманий за дослідними режимами в печах ф. "Ебнер", на 8% вищий, ніж за режимами відпалу 08Ю, у звичайних печах з HNx-газом відмінність не настільки істотна і становить лише 4%. За результатами 4-го етапу роботи рекомендовано змінити температуру ядра у печах ф. «Ебнер» наприкінці нагріву для х/к рулонів, завтовшки до 0,7 мм, - 650°C, понад 0,7 мм - 660°C. У газових печах із захисним HNx-газом рекомендується змінити температуру відпалу (з 670°C на 700°C), час витримки (з 17 годин на 9 годин).

В) При виробництві холоднокатаних рулонів сталі марки DC01 у повній відповідності до вимог EN 10130-2006 на рівні 12000 тон на місяць орієнтовна економія від впровадження нових режимів відпалу складе 1 810 786,39 грн/місяць або 21 729 436,6 грн/рік.

3.7 Шостий етап - уніфікація режимів відпалу сталі марки 08пс для емалювання і DC01 в ковпакових печах ф. "Ебнер".

3.7.1 Згідно з чинною технологією відпал х/к прокату на печах фірми "Ебнер" сталі марки DC01 згідно з вимогами EN 10130-2006 здійснювали з температурою ядра (температура в середині по намотуванню рулону) наприкінці нагріву - 660°C. Після аналізу механічних властивостей сталі марки 08пс для емалювання (цей вид продукції виготовляється аналогічно DC01), було прийнято рішення провести відпал DC01 аналогічно 08пс для емалювання.

Таблиця 3.32 – Розрахунок економоефекту від нових режимів відпалу

Розрахунок економії енергоресурсів і збільшення продуктивності при відпалі сталі марки DC01 за новим розробленим режимом відпалу в порівнянні з чинними режимами за EN 10130:2006

Режим відпалу	Час нагріву, год	Час витримки, год	Час охолодження, год	Витрата палива на нагрівання 1 садки, м3/год	Витрати палива на витримці 1 садки, м3/год	Витрата захисного газу 1 садки, м3/год	Витрати електроенергії 1 садки, квт/год	Витрати палива на відпал 1 садки, м3	Витрати захисного газу на відпал 1 садки, м3	Витрати електроенергії на 1 садку, квт	Вартість 1 тис. м3 HNx-газу (березень 2019), грн	Вартість 1 тис. квт (березень 2019), грн	Вартість 1 тис. м3 палива (березень 2019), грн	Витрати захисного газу на відпал 1 садки, грн/т	Зниження собівартості і за захисним газом, грн/т	Витрати електроенергії, грн/т	Зниження собівартості і за електроенергією, грн/т	Витрата палива на відпал 1 садки, грн	Зниження собівартості відносно режиму ПІ за паливом			Зниження собівартості і за всіма енергоресурсами, грн/т	Розрахункова продуктивність в стенда з урахуванням охолодження під муфелем, т/год	Збільшення продуктивності, т/год	
																			грн/відпал 1 садки	%	грн/т (за середньої ваги садки 53 т)				
Діючий режим у печах HNx-газ	15	25	72	64	32	15	15	1760	1680	1680	3383,04	2272,5	8001,63	107,24	14,36	72,03	9,65	14082,87	3584,73	25,5%	67,64	91,65	0,469	0,072	
НОВИЙ в печах HNx-газ	16	9	72	64	32	15	15	1312	1455	1455	3383,04	2272,5	8001,63	92,87		62,39		10498,14					0,541		
						Витрата водню, м3/т		Витрати водню на відпал 1 садки, м3			Вартість 1 тис. м3 водню (березень 2019), грн			Витрата водню на відпал, грн/т	Зниження собівартості і по водню, грн/т										
Діючий режим у печах "Ебнер"	8	27	14	45	45	8	22	1575	392	1078	17603,69	2272,5	8001,63	130,20	86,36	46,22	15,09	12602,57	5761,17	45,7%	108,70	210,15	1,082	0,524	
НОВИЙ в печах "Ебнер"	5	14	14	45	45	4	22	855	132	726	17603,69	2272,5	8001,63	43,84		31,13		6841,39					1,606		

Так, завдяки впровадженню нових режимів відпалу холоднокатаного прокату сталі марки DC01 на ковпакових печах з HNx-газом зниження собівартості відпалу становитиме 91,65 грн/т, у тому числі: за витратою електроенергії - 9,65 грн/т, за захисним газом - 14,36 грн/т, за паливом - 67,64 т,

а на печах фірми "Ебнер" зниження собівартості відпалу становитиме 210,15 грн/т, зокрема за витратою електроенергії - 15,09 грн/т, за захисним газом (воднем) - 86,36 грн/т, за паливом - 108,70 т.

При виробництві холоднокатаних рулонів сталі марки DC01 у повній відповідності до вимог EN 10130:2006 на рівні 12000 тонн на місяць орієнтовна економія від впровадження нових режимів відпалу складе:  $6000\text{т} * 91,65\text{ т (на печах з HNx-газом)} + 6000\text{ т} * 210,15\text{ т (на печах фірми "Ебнера")} = 1\ 810\ 786,39\text{ грн/місяць або } 21\ 729\ 436,6\text{ грн/рік}$

Було передбачено проведення дослідних відпалів сталі марки DC01 у 3 етапи (спочатку на малій партії прокату, поступово її збільшуючи щоб не зірвати строки замовлень) в печах фірми "Ебнер" з температурою ядра наприкінці нагріву 650°C, що дасть змогу скоротити споживання енергоресурсів (природний газ, електроенергія) та збільшить продуктивність нагрівального ковпака та стенда загалом.

3.7.2 З метою визначення впливу застосування дослідного режиму на механічні властивості готового холоднокатаного прокату проведено аналіз рівня механічних властивостей прокату, виготовленого в дослідний період, як порівняти з прокатом, виготовленим за ТІ, за 2 порівняльних і 2 дослідних місяці. Результати аналізу представлені в таблиці 3.33.

Таблиця 3.33 – Статистичні дані механічних властивостей сталі марки DC01.

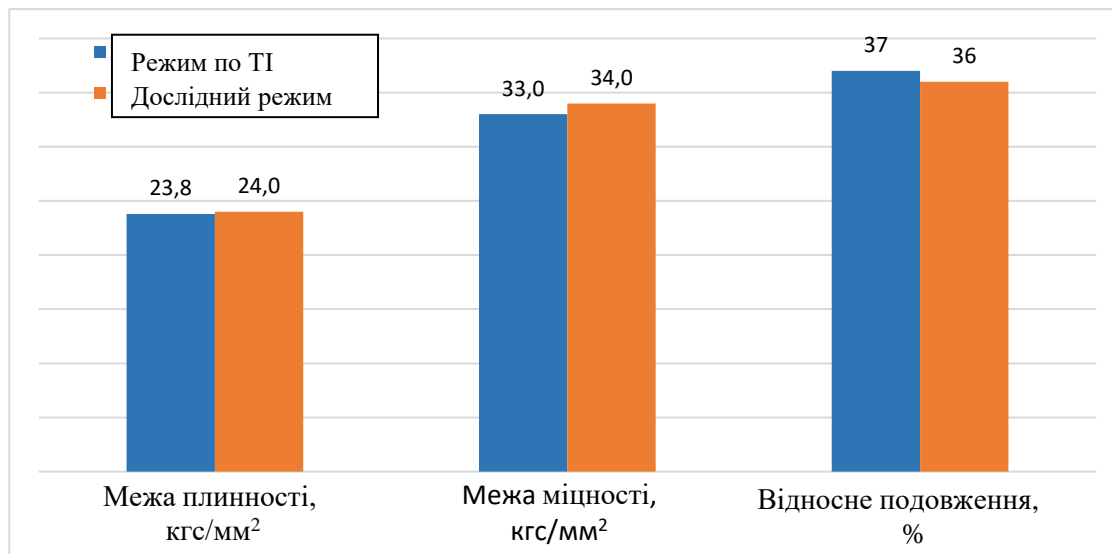
Період	Кількість партій, шт	Межа плинності, кгс/мм <sup>2</sup>	Межа міцності, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Кількість повторних провалів, шт (%)
Діючий режим по ТІ	152	<u>23,8</u> 19,0÷29,5	<u>33,0</u> 30,0÷38,0	<u>37</u> 28÷44	1 (0,66%)
Дослідний режим відпалу	170	<u>24,0</u> 19,5-28,5	<u>34,0</u> 30,5-37,0	<u>36</u> 28-44	4 (2,35%)
Вимоги EN 10130:06	-	≤28,5	27,5÷41,8	≥28	-

За 2 порівняльних місяці за результатами остаточних випробувань зі 152 партій, відпалених на печах фірми "Ебнер" згідно з чинною технологією, 1 партія (0,66%) має незадовільні механічні властивості (висока межа плинності).

За 2 дослідних місяці, за результатами остаточних випробувань зі 170 партій, відпалених на печах фірми "Ебнер" за дослідними режимами, 4 партії (2,35%) мають незадовільні механічні властивості (висока межа плинності). Причину незадовільних механічних властивостей не встановлено. Можлива невідповідність механічних властивостей пов'язана з високим обтисненням при дресируванні (людський фактор).

Середній рівень механічних властивостей сталі марки DC01, відпаленої за ТІ і дослідними режимами на печах фірми "Ебнер" наведено на малюнку 3.34.

Рисунок 3.34 - Рівень механічних властивостей прокату DC01, відпаленого в печах фірми "Ебнер".



Представлені дані показали, що механічні властивості за дослідним режимом відпалу відповідають вимогам EN 10130:2006.

За підсумком проведеної дослідницької роботи було підготовлено розпорядження про зміну технології відпалу - додаток Г. За підсумком проведеної роботи було оформлено СПП №06002735 від 14.07.2020 (додаток Ж).

### 3.7.3 Розрахунок економічного ефекту від проведеної роботи.

Щодо ефективності застосування дослідного режиму слід зазначити, що поряд зі зниженням витрат енергоносіїв завдяки зниженню загальної тривалості відпалу, його застосування дає змогу збільшити продуктивність нагрівального ковпака під час відпалу DC01 на 0,3 т/год, або на 12% (продуктивність нагрівального ковпака за маси садки 53,15 т за режимом ТІ - 2,26 т/год, за дослідним режимом - 2,56 т/год).

У разі виробництва холоднокатаних рулонів сталі марки DC01 на рівні 52 відпалів на місяць на печах фірми "Ебнер" орієнтовна економія від зміни режимів завдяки зниженню споживання енергоресурсів становитиме 251,34 тис. грн на рік.

Детальніший розрахунок економічного ефекту подано нижче в таблиці 3.34

### 3.7.4 Висновки за результатами шостого етапу роботи.

А) Відпал прокату сталі марки DC01 за дослідними режимами (зі зниженням температури ядра до 650<sup>0</sup>С як для відпалу 08пс для емалювання) забезпечує необхідний рівень механічних властивостей готового прокату згідно з вимогами EN 10130:2006.

Б) Застосування дослідного режиму відпалу холоднокатаного прокату сталі марки DC01 дасть змогу збільшити продуктивність нагрівального ковпака печей фірми "Ебнер" на 12% під час відпалу сталей марки DC01.

В) При виробництві холоднокатаних рулонів сталі марки DC01 на рівні 52 відпалів на місяць на печах фірми "Ебнер", орієнтовна економія від зміни режимів становитиме за рахунок зниження споживання енергоресурсів 251,34 тис. грн на рік.

Таблиця 3.34 - Розрахунок економічного ефекту під час відпалу сталі марки DC01 згідно з вимогами EN 10130:2006 за дослідними режимами

Економічний ефект розраховується за такими формулами:																
<b>1. Економічний ефект від економії природного газу:</b>																
$E_{пг} = (A1 - A2) * M * Q_{ен} * Z_{пг} / 1000$																
де																
A1 - питома витрата природного газу (ПГ) під час відпалу ЕН до впровадження (березень-липень 2020), м3/т																
A2 - питома витрата природного газу (ПГ) під час відпалу ЕН після впровадження (13.08-12.09.2020), м3/т																
M - середня вага садки при відпалі DC01 згідно з ЕН за період впровадження (13.08-12.09.2020), т																
Q <sub>ен</sub> - кількість відпалів сталі марки DC01 згідно з вимогами EN 10130-2006 за період впровадження (13.08-12.09.2020), шт.																
Z <sub>пг</sub> - ціна природного газу в серпні, грн за 1000 м																
<b>2. Економічний ефект від економії електроенергії:</b>																
$E_{ел} = (B1 - B2) * P / M * Q_{ен} * Z_{ел} / 1000$																
де																
B1 - середня тривалість відпалу сталі марі DC01 згідно з ЕН до впровадження (березень-липень), год																
B2 - середня тривалість відпалу сталі марки DC01 згідно з ЕН після впровадження (13.08-12.09.20), год																
P - потужність двигуна вентилятора, кВт*год (згідно з ПІ - 22 кВт)																
Z <sub>ел</sub> - ціна електроенергії за серпень, грн за 1000 кВт*год																
<b>3. Економічний ефект від економії енергоресурсів:</b>																
$E = E_{пг} + E_{ел}$																
Дані для розрахунку:																
Період	Питома витрата ПГ, м3	Питома витрата ПГ при відпалюванні ЕН до впровадження, м3/т	Питома витрата ПГ під час відпалу ЕН після впровадження, м3/т	Середня вага садки при відпалі сталі марки DC01 згідно з ЕН, т	Кількість відпалів DC01 (EN 10130:06), шт.	Ціна природного газу, грн за 1000 м3	Економія ПГ на ЕН після впровадження за місяць, м3	Середньомісячне загальне виробництво печей фірми "Ебнер", т	Зниження м3/т після впровадження, у перерахунку на загальне виробництво печей, м3/т	Питома витрата ПГ після впровадження заходу, м3/т	Економічний ефект від економії ПГ Епг, грн	Середня тривалість відпалу сталі марки DC01 згідно з ЕН до впровадження, год	Середня тривалість відпалу сталі марки DC01 згідно з ЕН після впровадження, год	Ціна електроенергії, кВт*год	Економічний ефект від економії електроенергії Еел, грн	Економічний ефект від економії енергоресурсів
місяць	19,09	17,47	15,91	52,30	52	3599,08	4240	15286	0,28	18,82	15261	23,35	20,50	1743,55	5685	20945
Річний економічний ефект становитиме						251,34 тис.грн										

3.8 Етап 7 зниження витримки до 7 годин замість 9 при відпалі сталі марки DC01 у ковпакових печах зHNx газом.

3.8.1 Задля економії енергоресурсів прийняли рішення випробувати ще 1 дослідний режим відпалу на печах з HNx-газом. Дослідний режим передбачає зниження тривалості витримки на 2год (7год замість 9год згідно з НД), а відповідно і загальної тривалості відпалу на 2год для великовагових рулонів (масою понад 8,5т) на печах з HNx-газом (таблиця 3.35).

Таблиця 3.35 – Дослідний режим DC01 на печах із HNx газом

Ширина смуги, мм	Маса рулону, т	Температура відпалу, °С, в залежності від товщини металу, мм		Тривалість витримки за стандартною термопарою, год*	Загальна тривалість відпалу, год	Тривалість охолодження під муфелем, не менше, год		Температура распаковки, не более, °С
		0,40-0,7	0,71-2,0			зимовий період	літній період	
1500-1251	16,0-13,501	680	700	9	24-38	46	48	120
	13,5-8,501			7	22-26	44	46	
	8,5-3,0			7	20-24	42	44	
до 1250	15,0-8,501	680	700	7	22-26	44	46	140
	8,5-3,0			7	18-22	40	42	

\*Тривалість охолодження під нагрівальним ковпаком після закінчення витримки здійснюється щонайменше 1 годину, яка входить до загальної тривалості відпалу.

Для порівняння, чинний режим відпалу DC01 вказано в таблиці 3.36.

3.8.2 Аналіз механічних властивостей.

З метою визначення впливу застосування дослідного режиму на результати механічних властивостей, проведено порівняльний аналіз механічних властивостей прокату, відпаленого за чинною і дослідною технологіями. У таблиці 3.37 представлені результати цього аналізу.

Таблиця 3.36 – Чинний режим відпалу DC01 на печах з HNx-газом

Ширина смуги, мм	Маса рулону, т	Температура відпалу, °С, в залежності від товщини металу, мм		Тривалість витримки за стендовою термопарою, год*	Загальна тривалість відпалу, год	Тривалість охолодження під муфелем, не менше, год		Температура распаковки, не более, °С під муфелем
		0,40-0,7	0,71-2,0			зимовий період	літній період	
1500-1251	16,0-13,501	680	700	11	26-30	46	48	120
	13,5-8,501			9	24-28	44	46	
	8,5-3,0			7	20-24	42	44	
до 1250	15,0-8,501	З проміжною витримкою для товщин 0,5-0,85мм при 420°С-3 години		9	24-28	44	46	140
	8,5-3,0			7	18-22	40	42	

Таблиця 3.37 - Механічні властивості прокату, відпаленого за чинною і дослідною технологіями.

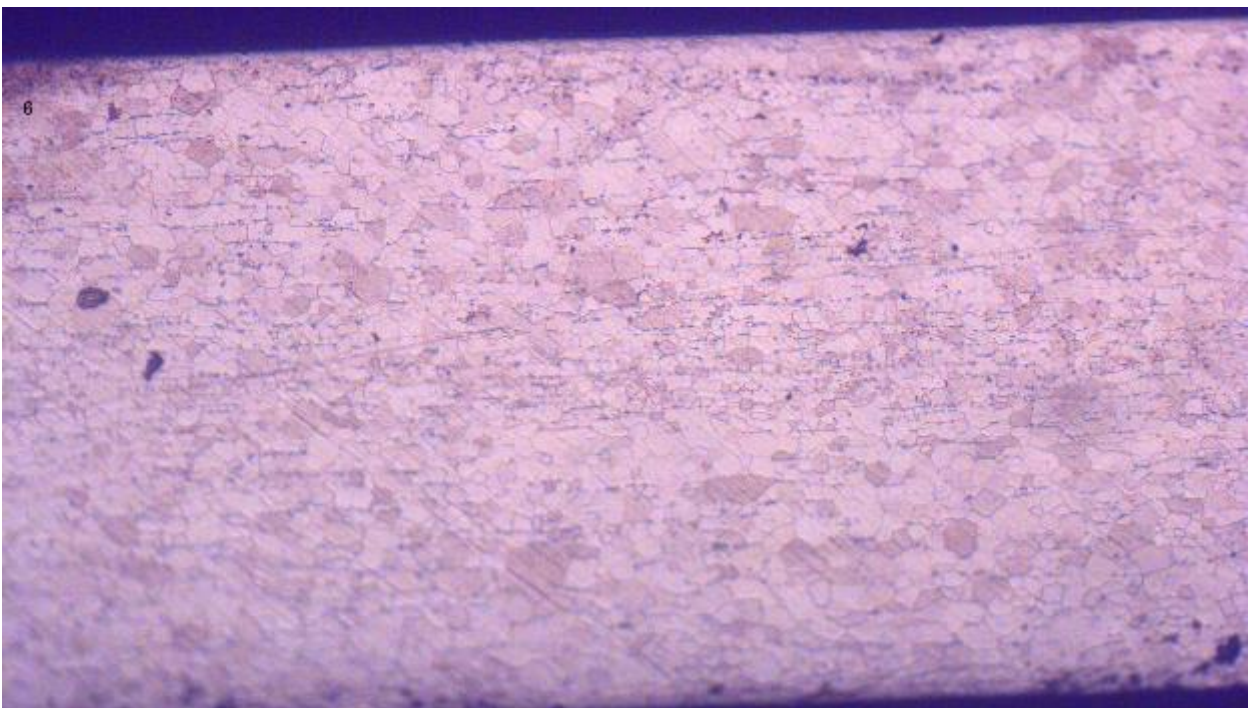
Місяць	Період	Кількість партій					
		Первинні (відпалені на газових печах)		Первинні з незадов. мех. властивостями		Повторні з незадов. мех. властивостями	
		шт		шт	%	шт	%
Січень	Ті	500		11 (8)*	2,2	2	0,4
Лютий		885		10 (6)	1,1	0	0,0
Березень		767		17 (6)	2,2	4	0,5
Квітень		1037		19 (11)	1,8	1	0,1
Травень		600		22 (3)	3,7	0	0,0
<b>Середнє за 5 міс</b>			<b>758</b>		<b>16 (7)</b>	<b>2,2</b>	<b>1</b>
Червень	Дослідний з витримкою 7 год.	543		9 (4)	1,7	3	0,6
Липень		1013		22 (5)	2,2	2	0,2
<b>Середнє за 2 мес</b>			<b>778</b>		<b>16 (4)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

\* у дужках вказано кількість первинних провалів, на яких не виявлено порушень регламенту з виготовлення сталі марки DC01.

З наведеної таблиці 3.37 випливає, що нові режими відпалу забезпечують відповідність механічних властивостей прокату на одному рівні з чинною технологією. За підсумком відпрацювання дослідний режим було внесено в технологічну інструкцію під час її перегляду - додаток Д. За підсумком проведеної роботи було оформлено СПП №06002787 від 19.04.2021 (додаток З).

Нижче на малюнку 3.35 наведено типову мікроструктуру металу, відпаленого за розробленими режимами відпалу. Видно що бал зерна 8-7 – зерно має такий же розмір як і прокат відпалений за режимами 08Ю, які розроблялися і аналізувалися на другому етапі роботи. Тобто скорочення тривалості режимів відпалу (на менш енергозатратні) за рахунок підвищення температури основної витримки не привело до провалів мехвластивостей та забезпечило відповідну мікроструктуру прокату.

Рисунок 3.35 – Типова мікроструктура прокату, відпаленого за розробленими режимами відпалу з урахуванням скорочення тривалості відпалу.



### 3.8.3 Розрахунок економічного ефекту від нового режиму відпалу

Щодо ефективності застосування дослідного режиму слід зазначити, що поряд зі зниженням витрат енергоносіїв за рахунок зниження загальної тривалості відпалу,

його застосування дає змогу збільшити продуктивність нагрівального ковпака на 0,034 т/год або на 2%.

У результаті впровадження нового режиму відпалу економічний ефект за фактичний період (червень, липень) становить 421,63 тис. грн. Детальніший розрахунок представлено в таблиці 3.38.

Таблиця 3.38 – Розрахунок економічного ефекту.

Період	Кількість відпалів по EN 10130-2006	Витрата природного газу на 1 садці при витримці	Об'єм зекономленого природного газу на одному відпалі	Ціна природного газу	Економічний ефект
	шт	м <sup>3</sup> /год	м <sup>3</sup>	грн/тис м <sup>3</sup>	тис. грн
	АСУ Меню	Технол карта	Карта відпалу	New bux	Розрахунок
червень	200	38	15200	9890,34	150,33
липень	328		24928	10883,25	271,3
За рік (приведений)					2529,78

#### 3.8.4 Висновки по сьомому етапу роботи.

А) Відпал прокату сталі марки DC01 за дослідними режимами (основною витримкою 7 год замість 9 год) забезпечує необхідний рівень механічних властивостей готового прокату згідно з вимогами EN 10130:2006.

Б) Застосування дослідного режиму відпалу холоднокатаного прокату сталі марки DC01 дасть змогу збільшити продуктивність газових печей на 2% і знизити собівартість відпалу за рахунок зниження витрати природного газу. Економічний ефект від впровадженого заходу становитиме 2,5 млн грн / рік.

У 2022 році спробували зробити подальшу модернізацію режимів відпалу з метою економії енергоресурсів, однак ця робота не закінчилася успіхом – перші ж дослідні партії виявилися провальними, що свідчить про те, що вироблені режими відпалу є оптимальними і подальше зниження часу відпалу недоцільне.

3.9 Оцінка механічних властивостей прокату сталі марки DC01 за розробленою технологією.

З метою оцінки результату проведеної роботи провів аналіз статистичних даних механічних властивостей сталі марки DC01 на відповідність межі плинності EN 10130-2006 за весь 2022 рік. Результати аналізу представлені в таблиці 3.39.

Таблиця 3.39 - Механічні властивості сталі марки DC01 за 2022 рік.

Кількість випробувань, шт	4079
Кількість випробувань межі плинності у відповідності EN 10131-2006, шт	4002
Відповідність EN 10131-2006,%	98,1

Як видно з таблиці 3.39 відповідність межі плинності EN 10131-2006 за розробленою технологією складає 98,1%. Це високий показник відповідності. Невідповідність механічних властивостей на 1,9% партій пов'язана здебільшого з порушеннями технології (недовідпал, переназначення зі сталі 08кп, порушення допустимого обтиснення при дресуванні та змотування в ЦГП з охолодженням).

Дуже цікавим є той факт, що при відпалі сталі DC01 конвертерного виробництва (відпалювали холоднокатаний рулон вироблений з підкату ММКІ 3,0x1500мм так як Запоріжсталь не катає даний сортамент) по вищевказаним режимам відпалу для мартенівської сталі отримали провали за всіма показниками мехвластивостей по причині недовідпалу – наявності текстури у мікроструктурі металу. Конвертерна сталь відрізняється від мартенівської в основному вмістом алюмінію. Тобто для того щоб алюміній не тперешкоджав рекристалізації потрібно робити проміжні витримки та суттєво подовжити режим відпалу. Після отриманих результатів було вирішено відпалювати сталь марки DC01 виробництва ММКІ за діючим режимом сталі марки 08Ю з усіма проміжними витримками – після цього отримали задовільний результат за мехвластивостями та виключили провали.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ДОСЛІДНИКА

### 4.1 Вимоги безпеки під час виконання роботи.

4.1.1 В обов'язковому порядку періодично дослідником проводиться Аналіз Безпеки Виконання Робіт (АБВР), з метою визначення можливості безпечного початку виконання робіт в цеху або дільниці, а також при виконанні лабораторних досліджень. Обов'язково виконуються кардинальні правила (додаток І)

4.1.2 При виконанні дослідницьких робіт на дільницях і в лабораторії дослідник зобов'язаний використовувати належну за нормою чистий, справний спецодяг, спецвзуття, засоби індивідуального захисту (каска захисна, рукавички трикотажні, окуляри захисні, вкладиші протишумові).

4.1.3 Виконання дослідницьких робіт на безперервному травильному агрегаті №4.

При проведенні дослідницьких спостережень на безперервному травильному агрегаті (БТА-4) ЦХП дослідник повинен виконувати наступні вимоги:

А) Бути уважним і обережним при ходінні на ділянках з наявністю кислоти, хімікатів, масла або емульсії (у кислотних баків, кислотних і промивних ванн, у теплообмінників, у промаслювальної машини, на перехідних містках), щоб уникнути отримання хімічного або термічного опіку, отруєння, падіння;

Б) Проводити дослідницькі спостереження в травильному відділенні ЦХП тільки при нормально працюючій витяжній вентиляції. При погіршенні роботи вентиляції інформувати персонал цеху про необхідність усунення порушень в роботі вентиляції. Забороняється працювати в травильному відділенні при вимкненій вентиляції, щоб уникнути отруєння;

В) При виконанні цеховим персоналом транспортних операцій з переміщення вантажів електромостовим краном (рулонів металу, валків, роликів, коробів з

металевої обрізю, хімікатами і ін. вантажів) – необхідно перебувати на безпечній відстані;

Г) Забороняється перебувати в прямках і стояти навпроти розмотувачів і моталки під час роботи БТА-4, а також не переходити по рольгангам, конвеєрам, кришок кислотних, промивних ванн. Переходити по травильній лінії тільки через пішохідні містки;

Д) Дотримуватися особливої обережності поблизу рухомих і обертових вузлів устаткування (моталок, розмотувачів, роликів), а також рухомих рулонів, смуг – перебувати на безпечній відстані;

Е) Огляд якості поверхні рухомих смуг проводити на спеціальних освітлених майданчиках для контролю поверхні, на безпечній відстані від рухомої смуги;

Ж) При необхідності більш ретельного огляду поверхні, попередньо попередити оператора про необхідність зупинки БТА, потім провести подальший огляд нерухомою смуги.

4.1.4 Виконання дослідницьких робіт на прокатних і дресирувальних станах, агрегатах різання.

При проведенні дослідницьких спостережень на безперервному чотирьохклітьовому стані 1680, реверсивних станах 1680 і 1200, дресирувальних станах 1700 №1 і №2, стані «Кварто», агрегатах різання, ділянці оброблення гарячекатаних рулонів, упаковочних конвеєрах, ділянках порізки проб дослідник повинен виконувати наступні вимоги:

А) З метою уникнення падінь бути уважним і обережним при ходінні на ділянках з наявністю масляних забруднень (по промасленим майданчикам перед агрегатами, поблизу місць складування промаслених деталей і вузлів устаткування). При рясних скупченнях масла інформувати персонал цеху про необхідність прибирання;

Б) Ходити по території цеху тільки за встановленими маршрутами, необхідно бути уважним, щоб не оступитися і уникнути травмування;

В) При виконанні цеховим персоналом транспортних операцій з переміщення рулонів, пачок листів, валків і інших вантажів, при видаленні обривів смуги зі станів – відійти на безпечну відстань;

Г) Забороняється перебувати в приямках і стояти навпроти розмотувачів і моталок під час роботи станів і знімання рулону з моталки;

Д) Дотримуватися особливої обережності поблизу рухомих і обертових вузлів устаткування (моталок, розмотувачів, роликів), не наближатися до них;

Е) Перевіряти маркування на конвеєрі (рольгангі) тільки після того, як рулон буде встановлений на рольганг, а кран переміститься на іншу ділянку;

Ж) Забороняється переходити через рольганги і конвеєри, ланцюгові транспортери агрегатів поперечного різання, конвеєри упаковки пачок;

З) Забороняється натискати кнопки і повертати ручки управління станами, агрегатами та іншим обладнанням;

І) Виробляти виміри товщини смуг які прокатуються і дресируються, а також огляд стану поверхні і кромки тільки при повній зупинці станів і агрегатів різання;

К) Забороняється торкатися до смуги під час прокатки, дресирування і різання металу;

Л) Забороняється перебувати на майданчику станів під час перевалки валків і ремонту стану;

М) Замір і огляд листів на агрегатах поперечного різання проводити тільки після зняття їх з конвеєра;

Н) Забороняється перебувати біля конвеєра агрегату різання, коли робочий знімає лист для виміру розмірів, або огляду його поверхні.

О) Перевірку маркування і якості листів в пачках на агрегатах поперечного різання №№1÷3 виробляти, дотримуючись таких правил:

– перебувати на майданчику праворуч по ходу руху смуги, ланцюгового транспортера лістоукладчика №1 і на середній площадці між ланцюговими транспортерами лістоукладчиків №2 і №3;

– забороняється перебувати біля транспортера АПР під час його руху і зняття пачок електромостовим краном;

– розмітку листів (карт) для вирізки зразків виробляти тільки в безпечному місці, листи і важкі карти переносити тільки по одній штуці, застосовуючи рукавиці комбіновані.

#### 4.1.5 Термічне відділення.

При проведенні дослідницьких спостережень в термічному відділенні ЦХП, дослідник повинен виконувати наступні вимоги:

А) Під час спостереження за упаковкою або розпакуванням стенду ковпакової печі стояти осторонь, на безпечній відстані. Не допускається підходити до знімаємого зі стенду нагрівального ковпака, муфеля, рулонів та оглядати їх на вазі;

Б) Огляд розпакованих гарячих рулонів виробляти з відстані не менше 1м, не торкатися рукою до поверхні рулону;

В) Візуальний контроль за роботою циркуляційних вентиляторів колпакових печей виробляти тільки в супроводі працівників обслуговуючих ковпакові печі, і з відстані не менше 1 метра;

Г) Щоб уникнути опіків заборонено торкатися поверхні нагрівального ковпака, муфеля та інших частин печі під час її роботи.

#### 4.2 Вимоги безпеки під час закінчення роботи.

Після закінчення роботи в цехах дослідник повинен:

– попередити робочий персонал ділянки цеху про закінчення проведення роботи;

– про всі порушення з охорони праці, виявлених в процесі роботи, негайно повідомити керівнику і старшому майстру, або майстру виробничої дільниці;

– забезпечити виконання вимог виробничої санітарії і особистої гігієни.

## 5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.

Під час виробництва сталі марки DC01 присутні всі шкідливі викиди, характерні для прокатного виробництва. У цеху холодної прокатки, в якому проводилася ця робота це передусім:

- природній газ (ГДК=0,5%);
- підвищена запиленість повітря робочої зони (ГДК = 4,0мг/м<sup>3</sup>);
- пари масел і емульсії на травильних агрегатах і станах холодної прокатки, дресирувальних станах і агрегатах різання (ГДК = 5,0мг/м<sup>3</sup>);
- випаровування травильних розчинів на травильній лінії (ГДК парів HCl = 5мг/м<sup>3</sup>);
- продукти згоряння природного газу ковпакових печей.

Освоєння нової марки сталі DC01 призвело тільки до підвищення викидів диоксиду вуглецю в атмосферу за рахунок більш тривалого режиму відпалу у порівнянні зі сталлю 08кп, але подальше вдосконалення режимів відпалу дозволило знизити вплив цього шкідливого фактору на навколишнє середовище.

## ВИСНОВКИ

Дана магістерська робота присвячена освоєнню нового виду продукції – сталі марки DC01, яка виготовляється з мартенівської сталі у повній відповідності з EN10130-2006. Основна мета роботи – досягнення відповідної межі плинності DC01, для цього в ході літературного пошуку були визначені чинники, які найбільш впливають на показник межі плинності, та в ході самої роботи проведена промислове випробування різних технологічних схем виробництва, вибрано оптимальні технологічні параметри та потім проведена робота по їх вдосконаленню з метою економії енергоресурсів.

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1 Спочатку роботи провели літературний пошук та порівняння технологій виготовлення сталі марки DC01 на різних комбінатах. Відокремлені основні технологічні фактори (це насамперед обмеження хімічного складу сталі по основним зміцнюючим елементам, вибір оптимальної температури змотування при гарячій прокатці, вибір режиму відпалу, режимів обтиснення та температури дресирування) які можуть впливати на межу плинності холоднокатаного прокату та рекомендовано провести експериментальну роботу по вивченню впливу цих чинників в умовах ЦХП та ЦПП ПАТ «Запоріжсталь».

2 Потім, щоб оцінити вплив різних технологій виготовлення сталей-аналогів DC01 в умовах комбінату за допомогою комп'ютерної програми Neural Designer був проаналізований масив даних по механічним властивостям сталей та проведена оцінка впливу різних схем виготовлення (сталей 08кп та 08пс) на межу плинності, остаточно визначені параметри технології, з якими потрібно працювати і які треба змінювати в експериментальній частині роботи. Тобто допущення, визначені в літогляді повністю підтвердилися аналізом бази механічних властивостей.

3 В ході освоєння виробництва сталі марки DC01, проведення експериментальної частини і аналізу отриманих механічних властивостей були

визначені основні параметри технології (котрі були закріплені в регламенті виробництва сталі марки DC01), які забезпечують стабільне отримання потрібних механічних властивостей, а саме межі плинності не більш ніж 280МПа:

А) обмежений хімічний склад сталі: С – нб 0,1%, Мп – 0,2-0,4%, S – нб. 0,035%, Р – нб. 0,035%;

Б) змотування смуги в ЦГП проводити без охолодження – це по суті додаткова термообробка підкату;

В) відпал проводити по режиму сталі марки 08Ю (він же самий енерговитратний) з проміжними витримками;

Г) відбір проб на випробування проводити при піднятих нажимних винтах дресирувального стану щоб виключити повторне дресирування участку проби.

4 Після масового освоєння виробництва сталі марки DC01 у три етапи було проведено модернізацію режимів відпалу у печах с HNx газом та печах ф. «Ебнер». Модернізовані режими відпалу повністю забезпечили потрібний рівень механічних властивостей та дозволили підвищити продуктивність ковпакових печей. Дослідні режими відпалу (більш енергоємні у порівнянні з діючими режимами 08кп - по аналогії відпалу сталі 08Ю)+змотування без охолодження гарячекатаного підкату впливають не тільки на механічні властивості, а й на мікроструктуру холоднокатаного прокату, збільшуючи розмір зерна на 1-2 бали у порівнянні з діючими режимами відпалу.

Загальний економічний ефект від модернізації режимів відпалу склав 24,5млн грн/рік.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Ф.А. Ксензук, Н.А. Трощенко, А.П. Чекмарев Прокатка автолистовой стали: Москва, Металлургия, 1969, 296с.
- 2 Method for continuous annealing strip of steel DC01 with low yield strength and high tensile strength for automobiles: 101597674 China: req. 03.07.2009; publ. 22.09.2022.
- 3 Спосіб виготовлення прокату для емалювання: пат.69124 Україна: МПК В21В 1/00. №201110231; заявл. 22.08.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. 3 с.
- 4 Спосіб виготовлення холоднокатаної стрічки: пат. 88709 Україна: МПК С21D 8/02, В21В 1/22. № 200801181; заявл. 30.01.2008; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. 6 с.
- 5 Yield strength behaviour of carbon steel microsheets after cold forming and after annealing/ В. Kohler etc. *Scripta Materialia*. 2010. №62. P. 548–551.
- 6 Василев Я.Д. Исследование взаимосвязи толщины, температуры конца прокатки и предела текучести горячекатаного подката из стали 08кп. *Сталь*. 2016. №12. С. 34-39.
- 7 Василев Я. Д. Дослідження взаємозв'язку між товщиною, температуроюкінця гарячої прокатки і межею плинності підкату зі сталі 08кп в умовах БШШС 1680. *Пластична деформація металів*: програма і тези доповідей Одинадцятої міжнародної науково-технічної конференції, м. Дніпро, 22-26 травня 2017/ Національна металургійна академія України, 2017. С. 19-20.
- 8 Грицай Т.В. Закономірності впливу температурно-деформаційних параметрів обробки низьковуглецевої тонколистової сталі на формування рівномірної структури: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01. Дніпро, 2010. 23 с.
- 9 ТИ ПГ-01-2013. Горячая прокатка листов в листопрокатном цехе №1. АО «Арселор Миттал Темиртау». Темиртау. 2013. 98с.

10 ТИ 226-П.ОЗ-ГЛ-01-2023. Производство слябов на стане слябинг 1150 и горячекатаных полос на непрерывном тонколистовом стане горячей прокатки 1680. ПАО «Запорожсталь». Запорожье. 2022. 254с.

11 Техническое заключение по результатам исследования обеспечения показателя коэффициента наводороживания на холоднокатаном прокате под эмалирование с микролегированием бором. ПАО «Запорожсталь». Запорожье. 2022. 14с.

12 Ali Mostafaei M., Kazeminezhad M. Bimodal grain size and mechanical properties enhancement in low carbon steel by ultra-rapid annealing. *JMR&T*. 2022. №18. P.2363-2367.

13 Onwuamaeze I.P., Oyejide J.O., Salisu S. The effect of annealing on the microstructure and mechanical properties of welded carbon steel. *Nigerian research journal of engineering and environmental sciences*. 2018. №3. P.96-102.

14 Сігова В.І., Юскаєв В.Б., Будник А.Ф. Технологія і проєктне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. Суми: СумДУ, 2010. 318 с.

15 Humphreys J. Rohrer G.S. Rollett A. Recrystallization and Related Annealing Phenomena: Amsterdam: Elsevier, 2017. 704 p.

16 Гаврилова В.Г. Підвищення механічних властивостей листового прокату боромістких сталей за рахунок регулювання структури, складу і режимів термообробки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01. Маріуполь, 2000. 19 с.

17 ТИ 227-П.ТО-03-2013. Отжиг холоднокатаной рулонной стали в одностопных колпаковых печах цеха холодной прокатки. ЧАО «ММКИ». Мариуполь. 2013. 38 с.

18 ТИ ПЖ-06-2013. Термическая обработка рулонов жести, конструкционного и кровельного проката в колпаковых печах ЛПЦ-3. АО «Арселор Миттал Темиртау». Темиртау. 2013. 36с.

- 19 ТИ ПХ-11-2013. Термическая обработка холоднокатаного металла в колпаковых печах ЛПЦ-2. АО «Арселор Миттал Темиртау». Темиртау. 2013. 42с.
- 20 ТИ 226-П.ХЛ-04-2022. Термическая обработка металла в одностопных газовых колпаковых печах с защитной атмосферой  $\text{HN}_x$  газа в ЦХП. ПАО «Запорожсталь». Запорожье. 2022. 45с.
- 21 Ксензук Ф.А. и др. Прокатка и термическая обработка листа, Сталь 1964 №1, с 56-58.
- 22 Беньковский М.А., Бутылкина Л.И. Дрессировка холоднокатаного проката, *Металлург* 1965 №5 с 32.
- 23 ТИ 227-ПХЛ-02-2013. Дрессировка холоднокатаных полос. ЧАО ММКИ. Мариуполь. 2013. 31с.
- 24 ТИ 226-П.ХЛ1-20-2020. Дрессировка холоднокатаных полос на станах 1700-1 и 1700-2. ПАО «Запорожсталь». Запорожье. 2020. 50с.
- 25 ТИ ПХ-03-2013. Холодная прокатка и дрессировка металла в ЛПЦ-2. АО «Арселор Миттал Темиртау». Темиртау. 2013. 71с.
- 26 Расширение сегмента производимой ЧАО «ММК им. Ильича» продукции на мировом рынке холоднокатаной стали/ О.А. Побегайло и др. *Металл и литье Украины*. 2017. №1 (284). С. 57-60.
- 27 ТИ 227-П.ГЛ-21-2014. Производство горячекатаной листовой стали на непрерывном широкополосном стане 1700. ЧАО «ММКИ». Мариуполь. 2014. 69 с.
- 28 Martinez-de-Guerenu A. Arizti F. Diaz-Fuentes M. Recovery during annealing in a cold rolled low carbon steel. Part I: Kinetics and microstructural characterization: Amsterdam: Elsevier, 2004. 3657-3665 p.

29 Martinez-de-Guerenu A. Arizti F. Diaz-Fuentes M. Recovery during annealing in a cold rolled low carbon steel. Part II: Modelling the kinetics: Elsevier, 2004. 3665-3670 p.

30 Tang X. Kuang C. Zhou W. Effect of annealing process on microstructure and electrical conductivity of cold-rolled Ti microalloyed conductive steel: Elsevier, 2004. 112930 p.

31 Poddar D. Chintha A. Jayabalan B. Effect of low-temperature annealing on two-different severely cold-rolled steels: ScienceDirect, 2022. 103907p.

32 Li Z. Wang T. Zhang X. Annealing softening behaviour of cold-rolled low-carbon steel with a dual-phase structure and the resulting tensile properties: ScienceDirect, 2012. 204-210p.

33 Liu G. Zhang S. Li J. Fast-heating for intercritical annealing of cold-rolled quenching and partitioning steel: Elsevier, 2016. 387-395 p.

34 Meng.Q Li J. Zheng H. High-efficiency fast-heating annealing of a cold-rolled dual-phase steel: Elsevier, 2014. 194-197 p.

35 Kapoor I. Lan Y. Rijkenberg A. Correlative analysis of interaction between recrystallization and precipitation during sub-critical annealing of cold-rolled low-carbon V and Ti–V bearing microalloyed steels: Elsevier, 2020. 139381 p.

36 Tan X. Lu W. Rao X. Effect of ultra-fast heating on microstructure and mechanical properties of cold-rolled low-carbon low-alloy Q&P steels with different austenitizing temperature: Elsevier, 2022. 112086 p.

Додаток А. Регламент з виробництва холоднокатаного прокату зі сталі марки DC01у повній відповідності з вимогами EN 10130-2006.

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЗАПОРОЖСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
«ЗАПОРОЖСТАЛЬ»

Утверждаю:  
Директор по технологии и качеству  
А.А. Кулаков  
« 26 » 04 2018г.

Временный технологический регламент  
по производству холоднокатаного рулонного проката  
из стали марки DC01 в полном соответствии с требованиями EN 10130:2006

№ п/п	Мероприятие	Срок выполнения	Ответственные исполнители																				
1	2	3	4																				
<b>1. Мартеновский цех</b>																							
1.1	<p>Выплавка стали марки DC01 производится с химическим составом стали марки 08пс для эмалирования по ТУ 14-4-479-2000:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Марка стали</th> <th>C, %</th> <th>Mn, %</th> <th>Si, %</th> <th>S, %</th> <th>P, %</th> <th>Ni, %</th> <th>Cu, %</th> <th>Cr, %</th> <th>Al общ, %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DC01 (08пс по ТУ 14-4-479-2000)</td> <td>Не более 0,10</td> <td>0,20-0,40</td> <td>Не более 0,03</td> <td>Не более 0,03</td> <td>Не более 0,025</td> <td>Не более 0,1</td> <td>Не более 0,15</td> <td>Не более 0,1</td> <td>Не более 0,025</td> </tr> </tbody> </table>	Марка стали	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Ni, %	Cu, %	Cr, %	Al общ, %	DC01 (08пс по ТУ 14-4-479-2000)	Не более 0,10	0,20-0,40	Не более 0,03	Не более 0,03	Не более 0,025	Не более 0,1	Не более 0,15	Не более 0,1	Не более 0,025	постоянно	ОППО и КВЗ, МЦ
	Марка стали	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Ni, %	Cu, %	Cr, %	Al общ, %													
DC01 (08пс по ТУ 14-4-479-2000)	Не более 0,10	0,20-0,40	Не более 0,03	Не более 0,03	Не более 0,025	Не более 0,1	Не более 0,15	Не более 0,1	Не более 0,025														
<p>Выплавка стали, раскисление, подготовка сталеразливочных составов и разлива стали производится согласно требованиям действующей технологии</p>																							
1.2	<p>При целевом планировании диспетчер МЦ вносит примечание «<b>Мехсвойства по EN 10130:2006</b>» в график выплавки и при назначении в электронном сертификате ВГ11 и паспорте плавки производится запись «<b>Мехсвойства по EN 10130:2006</b>».</p>	постоянно	МЦ																				

## Продовження додатку А

**4. Начальнику ТУ Набоке В.И.:**

Провести анализ механических свойств проката стали марки DC01, изготавливаемого в полном соответствии с EN10130-2006. По результатам анализа принять решение о внесении изменений во «Временный технологический регламент по производству холоднокатаного рулонного проката из стали марки DC01 в полном соответствии с требованиями EN 10130:2006».

Срок – февраль 2020г.

**Директор по технологии и качеству**

Рассылается: ЦХП-1, ТУ, УК  
Исполнитель: Пушкарев тел. 18-76  
Мазоха Е.А. тел. 33-99


**А.А. Кулаков****ВИЗИРУЮТ:**/ **Начальник технического управления****В.И. Набока**/ **Начальник ОППО и КВЗ****А.А. Игнатенко**/ **Главный специалист по прокатному производству****Т.А. Пискунов**/ **Начальник УК****А.В. Кравец**/ **Начальник мартеновского цеха****В.И. Тищенко**/ **Начальник юридического управления****Р.В. Бойчук**


Додаток Б. Розпорядження по відбору проб на дресировальних станах.

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЗАПОРОЖСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
«ЗАПОРОЖСТАЛЬ»

РАСПОРЯЖЕНИЕ

01.02 2019г.

№ 78

*Касательно отбора проб для механических испытаний на дресировочных станах 1700№1 и №2*

С целью корректного отбора проб на дресировочных станах 1700№1 и 1700№2 ЦХП-1 для проведения контрольных сдаточных испытаний (для исключения двойного обжатия отобранных образцов)

**РАСПОРЯЖАЮСЬ:**

**1. Начальнику ЦХП-1 Николенко А.Г.:**

1.1 В случае вырезки проб для проведения контрольных сдаточных испытаний металлопроката стали марки DC01, изготавливаемой в полном соответствии с EN 10130-2006 и стали марки 08Ю с входной стороны стана (перед клетью по ходу дресировки), отмотку дресированной полосы для отбора пробы производить только после поднятия нажимных винтов на величину:

- для 1700-1 – не менее 300ед по продуктиметрам;
- для 1700-2-не менее 100ед по продуктиметрам.

1.2 Запрещается поднимать нажимные винты и одновременно выматывать полосу на входной участок стана для отбора пробы. Отмотку полосы начинать только после поднятия нажимных винтов на установленную в п.1.1 настоящего распоряжения величину.

Срок – с 01.02.2019г. и постоянно

**2. Начальнику УК Кравцу А.В., начальнику ТУ Набоке В.И.:**

Обеспечить инспекторский контроль за соблюдением данного распоряжения.

Срок – с 01.02.2019г. и постоянно

**3. Начальнику ТУ Набоке В.И.:**

При очередном пересмотре ТИ 226-П.ХЛ1-20-2015 внести соответствующие изменения в технологическую инструкцию.

Срок – очередной пересмотр ТИ 226-П.ХЛ1-20-2015.

**Директор по технологии и качеству**

Рассылается: ЦХП-1, ТУ, УК  
Исполнитель: Макаренко В.А. тел. 11-33

А.А.Кулаков

**ВИЗИРУЮТ:**

**Начальник технического управления**

Главный специалист по прокатному производству

В.И. Набока

Т.А. Пискунов

Начальник УК

А.В. Кравец

Начальник ЦХП-1

А.Г. Николенко

Начальник юридического управления

Р.В. Бойчук

А.А.

Додаток В. Розпорядження про зміну режиму відпалу.

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЗАПОРОЖСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
**«ЗАПОРОЖСТАЛЬ»**

РАСПОРЯЖЕНИЕ

«30» 07 2019г.

№ 510

**Касательно изменения режима отжига  
стали марки DC01 согласно требованиям  
EN 10130:2006**

В соответствии с результатами проведенной работы по программе работ №1164-2019 «По отработке режимов отжига холоднокатаного проката из стали марки DC01 в соответствии с требованиями EN 10130:2006 с целью повышения производительности газовых колпаковых печей HNx-газа и печей фирмы «Эбнер» и снижения расходов энергоресурсов»

**РАСПОРЯЖАЮСЬ:**

**1. Начальнику ЦХП-1 Николенко А.Г.**

1.1 При поступлении холоднокатаного проката стали марки DC01 согласно требованиям EN 10130:2006 с назначением на газовые колпаковые печи с HX-газом в термическое отделение отжиг производить по новому режиму отжига, изложенному в приложении 1. Руководствоваться новым режимом, внесенным в АСУ Меню с группой отжига №26. Остальные требования к режиму отжига в соответствии с инструкцией ТИ 226-П.ХЛ1-04-2016.

1.2 При поступлении холоднокатаного проката стали марки DC01 согласно требованиям EN 10130:2006 с назначением на печи фирмы «Эбнер» в термическое отделение отжиг производить временно по программе отжига №№1-6 (в зависимости от толщины проката), с соответствующими изменениями, указанными в приложении 2. После создания новой программы отжига в системе АСУ\_Эбнер, отжиг производить по соответствующим программам отжига. Остальные требования к режиму отжига в соответствии с инструкцией ТИ 226-П.ХЛ.1-51-2010

Срок: с 08.07.2019г. и постоянно.

**2. Начальнику ОАСУТП Леонову А.А.:**

С целью снижения количества случаев отклонений от ключевых параметров технологии и качества при отжиге на блоке печей фирмы «Эбнер», а также исключения ручного ввода данных по отжигаемым рулонам создать новые программы отжига в системе АСУ\_Эбнер для стали марки DC01 согласно требованиям EN 10130:2006 с соответствующими параметрами, указанными в приложении 2.

Срок: с 08.07.2019г по 30.07.2019г.



## Продовження додатку В

**3. Начальнику ТУ Набоке В.И.:**

Обеспечить инспекторский контроль соблюдения данного распоряжения  
Срок: с 08.07.2019г и постоянно.

**4. Начальнику ТУ Набоке В.И.:**

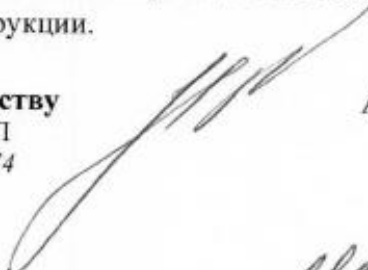
При очередном пересмотре технологических инструкций ТИ 226- П.ХЛ1-04-2016 и ТИ 226-П.ХЛ.1-51-2010 внести соответствующие изменения.

Срок: очередной пересмотр инструкции.

**Директор по технологии и качеству**

Рассылается: ЦХП-1, ТУ, УК, ОАСУТП

Исполнитель: Макаренко В.А. тел 42-74



А. А. Кулаков

**ВИЗИРУЕТ:**

Начальник технического управления



В.И. Набока

Начальник ОППО и КВЗ



А.А. Игнатенко

Главный специалист по прокатному  
производству




Т.А. Пискунов

Начальник ЦХП-1



А.Г. Николенко

Начальник УК



А.В. Кравец

Начальник ОАСУТП



А.А. Леонов

Начальник юридического управления



Р.В. Бойчук

  
Власів  
Ау



Додаток Г. Розпорядження про зміну режиму відпалу в печах ф. «Ебнер».

**ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
ЗАПОРОЖСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ  
«ЗАПОРОЖСТАЛЬ»**

**РАСПОРЯЖЕНИЕ**

«07» 10 2020 г.

№ 404

Касательно изменения режима отжига  
DC01 (EN 10130:2006) на печах фирмы «Эбнер»

С целью снижения расхода энергоресурсов (природный газ, электроэнергия), а также увеличения производительности нагревательного колпака и стенда печей фирмы «Эбнер»,

**РАСПОРЯЖАЮСЬ:**

1. И.о. начальника ЦХП-1 Свиридову С.А.:

1.1 При поступлении холоднокатаного проката стали марки DC01 согласно требованиям EN 10130:2006 с назначением на печи фирмы «Эбнер» или без назначения (по согласованию с ПДБ) в термическое отделение, отжиг производить по программе №№24-28 (в зависимости от толщины проката), в соответствии с инструкцией ТИ 226-П.ХЛ.1-51-2010.

Срок: с 01.10.2020 г. и постоянно

2. Начальнику технического Набоке В.И.:

2.1 Обеспечить инспекторский контроль за соблюдением пункта 1.

Срок: с 01.10.2020 г. и постоянно

2.2 При очередном пересмотре технологической инструкции ТИ 226-П.ХЛ.1-51-2010 внести соответствующие изменения.


Срок: внеочередной пересмотр инструкции

**Директор по технологии и качеству**

Рассылается: ЦХП-1, УК, ТУ  
Исполнитель: Макаренко В.А., тел 42-74

**А.А. Кулаков**

Додаток Е. СПП по вдосконаленню режимів відпалу в печах с HNx газом.

<b>Ответственный цеха по СПП</b> ФИО: Подпись: 	<b>Дата регистрации</b> 11.06.2019	<b>Регистрационный №</b> 06/002681
--	---------------------------------------	---------------------------------------

### БЛАНК ПОДАЧИ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

**Название предложения:** Совершенствование режимов отжига холоднокатаного проката из стали марки DC01 в соответствии с требованиями EN 1030:2006 в газовых колпаковых печах с HNx-газом

**Подразделение, на улучшение которого направлено предложение:** ЦХП-1

Ф.И.О. инициатора (соинициаторов)	Должность	Таб.номер	Подразделение	Подпись
Зинченко Е.Л.	Ст. мастер	3107	ЦХП-1	
Власенко В.А.	Мастер	4142	ЦХП-1	
Спичак А.Ю.	Нач. отдела	4484	З/управление	
Макаренко В.А.	Инж.-техн. 1 кат.	4488	З/управление	
Диденко А.Н.	Вед. Инж.-техн.	4453	З/управление	

#### Тип предложения:

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Охрана труда, промышленная и техногенная безопасность (экология) | <input type="checkbox"/> Повышение качества продукции  |
| <input type="checkbox"/> Организация рабочего места                                       | <input type="checkbox"/> Увеличение производительности |
| <input checked="" type="checkbox"/> Сокращение затрат                                     | <input type="checkbox"/> Инжиниринг                    |


#### Хотите ли принять участие во внедрении предложения:

ДА     НЕТ

#### Описание существующей ситуации:

В настоящее время отжиг холоднокатаных рулонов стали марки DC01, изготавливаемых в полном соответствии с EN 10130:2006 для обеспечения требуемых механических свойств в колпаковых печах с HNx-газом производится по режимам стали марки 08Ю и характеризуется длительным циклом отжига (нагрев и выдержка в печах с HNx-газом – до 40 часов. При этом наблюдается повышенный удельный расход природного газа, используемого при нагреве и отжиге.

Додаток Ж. СПП по вдосконаленню режимів відпалу в ф. «Ебнер».

Ответственный-цеха-по-СПП ФИО:.....Самокиш-А.Н. Подпись:..... 	Дата-регистрации 14.07.2020	Регистрационный-№-SAP-In.-Men. 2106/0000018757 (АСУ-СПП 06/002735)
---	--------------------------------	--

### БЛАНК ПОДАЧИ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Название предложения: Снижение затрат энергоресурсов при отжиге в печах Эбнера

Подразделение, на улучшение которого направлено предложение: ЦХП-1

Ф.И.О. инициатора (соинициаторов)	Должность	Таб. номер	Подразделение	Подпись
Свиридов С.А.	Зам. начальника цеха по производству	○	ЦХП-1	○
Зинченко Е.Л.	Старший мастер	3107	ЦХП-1	○
Власенко В.А.	Мастер	4142	ЦХП-1	○
Спичак А.Ю.	Начальник отдела	4484	З/управление	○
Макаренко В.А.	Инженер-технолог 1 кат	4488	З/управление	○

Направленность предложения:

- ОТ, ПБ и Э .....  Качество  
 Сокращение затрат .....  Технология  
 Производство .....  Инжиниринг (ремонт)  
 Улучшение рабочего быта (HR) .....  Прочее

Хотите ли принять участие во внедрении предложения:

- ДА .....  НЕТ

Описание существующей ситуации:

В настоящее время отжиг х/к проката в печах фирмы «Эбнер» происходит по различным режимам отжига:

- Группа отжига №№24-29 для сталей марок 08пс согласно ТУ 14-4-479-2000 (08пс для эмалирования);
- Группа отжига №№15-20 для стали марки DC01 согласно EN 10130:2006 и др.

При этом затруднена возможность формирования полновесных садок, т.к. при формировании садки х/к рулонов с различными группами (режимами) отжига, часть садки (х/к рулонов) отжигается по более энергоемкому режиму. В результате увеличивается удельный расход энергоресурсов (природный газ и электроэнергия).

Додаток 3. СПП по подальшому вдосконаленню режимів відпалу в печах с ННх газом.

<b>Ответственный цеха по СПП</b> ФИО: ..... Самокиш А.Н. Подпись: .....	<b>Дата регистрации</b> 19.04.2021	<b>Регистрационный № SAP·In·Men.</b> 2106/0000031857 06/002787
---	---------------------------------------	--

**БЛАНК ПОДАЧИ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

Название предложения: Снижение продолжительности основной выдержки на газовых колпаковых печах с защитным ННх газом.

Подразделение, на улучшение которого направлено предложение: ЦХП

Ф.И.О. инициатора (соинициаторов)	Должность	Таб. номер	Подразделение	Подпись
Власенко В.А.	Мастер	4142	ЦХП	
Грибовская Е.Д.	Инженер-ПДБ	3	ЦХП	
Спичак А.Ю.	Нач. отдела	4484	З/управление	
Макаренко В.А.	Инженер-технолог	4488	З/управление	

**Направленность предложения:**

- ОТ, ПБ и Э .....  Качество  
 Сокращение затрат .....  Технология  
 Производство .....  Инжиниринг (ремонты)  
 Улучшение рабочего быта (HR) .....  Снижение РКМ

**Хотите ли принять участие во внедрении предложения:**

ДА .....  НЕТ

**Описание существующей ситуации:**

В настоящее время, существующие режимы отжига предусматривают продолжительность выдержки стали марки DC01 (с назначением по EN-10130:2006) 9 часов согласно распоряжения №510 от 30.07.2019г. При значительном росте доли производства проката стали марки DC01 существенно увеличивается расход природного газа на отжиг.

Додаток І. Кардинальні правила з охорони праці та промислової безпеки ПАТ  
«Запоріжсталь»

# Кардинальні правила

ПАТ «Запоріжсталь»

з охорони праці  
та промислової безпеки

## Дотримання

Кардинальних правил дозволить вам зберегти життя і здоров'я і реалізувати право на безпечну працю.

## ПОРУШЕННЯ

Кардинальних правил, виявлене в ході аналізу події, буде підставою для дисциплінарного стягнення аж до звільнення співробітника.

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ

- ⊘ Знаходження на території підприємства в стані алкогольного/наркотичного сп'яніння.
- ⊘ Навмисне псування, зняття, виведення з ладу захисних пристроїв і огорожень, а також вхід за захисні огорожі, в позначену небезпечну зону.
- ⊘ Несанкціоноване використання або зняття блокуючих пристроїв (БМП, ключ / жетон-бирка).
- ⊘ Доручення роботи, виконання якої свідомо припускає порушення Кардинальних правил.
- ⊘ Свідоме приховування факту серйозного випадку або виробничої травми.
- ⊘ Виконання робіт на висоті більше 5 метрів від поверхні ґрунту, перекриття або робочого настилу без застосування засобів захисту від падіння з висоти.
- ⊘ Знаходження в газонебезпечних місцях I та II груп та виконання в них газонебезпечних робіт без наряду-допуску і газозахисних апаратів.
- ⊘ Прохід під вагонами, автозчепами, а також через конвеєри, мульдіві потяги, візки та інше подібне обладнання в місцях, не обладнаних перехідними майданчиками.
- ⊘ Виконання робіт в підземних спорудах (тунелях, каналах, колодязях, резервуарах) без наряду-допуску та перевірки стану повітряного середовища на вміст шкідливих речовин.
- ⊘ Очищення (прибирання), усунення несправностей на працюючому обладнанні.