

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 «Дослідження факторів, що впливають на якість сталюого лиття в умовах КРМЗ та розробка заходів з підвищення характеристик виробів.»

Керівник роботи

Пашинська О.Г.

Консультант від бази
практики

Григор'єв
Олег
Николаевич

Подписано
цифровой подписью:
Григорьев Олег
Николаевич
Дата: 2024.01.22
12:41:08 +02'00'

Григор'єв О.М

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

Здобувач

Світлана Хорольська

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

Голова ЕК

Віктор КОЛЕСНИК

Запоріжжя
2024р

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**

Хорольської Світлани Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження факторів, що впливають на якість сталюого лиття в умовах КРМЗ та розробка заходів з підвищення характеристик виробів»

керівник роботи Пашинська Олена Генріхівна, 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 дані ТОВ «ЗЛМЗ» м. Кривий Ріг, 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,

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1 - 4	Пашинська О.Г. доктор технічних наук

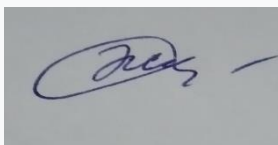
7. Дата видачі завдання 05.12.2023

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	08.01.2024 – 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



(Світлана Хорольська)

Керівник роботи



(Олена Генріхівна Пашинська)

РЕФЕРАТ

Тема роботи: «Дослідження факторів, що впливають на якість сталюого лиття в умовах КРМЗ та розробка заходів з підвищення характеристик виробів.»

Робота містить 87 стор., 23 рис., 21 табл., 16 слайдів.

Викладення змісту роботи: Приведена у магістерській дисертації робота направлена на визначенні оптимального методу виробництва та хімічного складу для сталі 110Г13Л з метою подальшого покращення властивостей деталей до виробничих агрегатів залізорудного комплексу шляхом заміни цієї марки сталі на дослідну сталь 120Г18Х2МНЛ з визначенням оптимального режиму її термічної обробки.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження виступає сталь 110Г13Л, порівнянні виробництва і якості сталі 110Г13Л, виплавленою методом переплаву та окислення з метою покращення властивостей деталей, шляхом заміни цієї марки сталі на дослідну 120Г18Х2МНЛ.

Мета і завдання роботи. Розробка оптимальних методів виробництва сталі 110Г13Л та покращення властивостей деталей шляхом заміни цієї марки сталі на дослідну сталь 120Г18Х2МНЛ з визначенням оптимального режиму її термічної обробки.

Методи дослідження. У роботі використовувалися наступні методи: це перш за все аналіз хімічного складу опитних плавок, механічних властивостей сталі

110Г13Л, з метою виділення напрямків роботи, проведення промислових експериментів, та вдосконалення режимів термічної обробки,

Результати дослідження. Розроблені оптимальні режими термічної обробки, та покращення властивостей деталей до ДСТУ та ТД заводу.

Область застосування. Виробництво броне футерувальних плит та конусних броней на ТОВ «ЗЛМЗ» філія 2

1. Стислі висновки. Встановлено, що сталь виплавлена методом переплаву має декілька більший склад вуглецю, кремнію, хрому та нікелю та відносно високий склад фосфору в порівнянні зі сталю виплавленої методом окислення. Однак, при будь-якому методі виплавки хімічний склад сталі знаходиться в межах ДСТУ 8781:2018 та ТД заводу.
2. Мікроструктура, вміст неметалевих включень та їх природа не однакові для обох методів виплавки.
3. Рівень механічних властивостей і холодостійкість сталі виплавленої обома методами не однакові.
4. Техніко-економічні показники виробництва сталі методом переплаву вище, ніж окислення.
5. Виробничі випробування показали, що вплив метода виплавки високо марганцевої сталі на зносостійкість відливок на момент проведення робіт виявити не вдалось.
6. Згідно вказаних літературних та приведених в цій роботі даних рекомендовано для виробництва особливо важко працюючих деталей гірничо-збагачувального комплексу використовувати сталь 110Г13Л, вироблену методом окислення (на свіжій шихті) та з вмістом вуглецю 0,95-1,25% та марганцю близько 12,5%.

7. Проведення випробувань показали, що сталь 120Г18Х2МНЛ володіє більш високим рівнем механічних властивостей, ніж сталь 110Г13Л.
8. Сталь 120Г18Х2МНЛ терпить в години праці наклеп подібно сталі 110Г13Л і здатна краще працювати в умовах ударно-абразивного зносу.
9. Промислові випробування конусних броней та футерувальних плит шарового млину, вилитих із сталі 120Г18Х2МНЛ не проводились, але наявність результатів випробувань образків з цієї сталі показали, що відливки із сталі 120Г18Х2МНЛ будуть значно вищими по механічним властивостям відливкам із сталі 110Г13Л по зносостійкості та довговічності.
10. Використання сталі 120Г18Х2МНЛ для конусних броней та броне-футерувальних плит замість сталі 110Г13Л дозволяє мати економічний ефект при масовому виробництві цих виробів, як приклад була запропонована експериментальна марка сталі 120Г18Х2МНЛ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: режими термічної обробки, хімічний склад, високо марганцева сталь, зносостійкі сталі, електропечі, економічний ефект, мікроструктура.

ABSTRACT

Research topic: "Investigation of factors affecting the quality of steel casting in the conditions of KRMZ and development of measures to improve the characteristics of products."

The work contains 90 pages, 23 figs., 21 tables, 15 slides.

Summary of the work: The work presented in the master's thesis is aimed at determining the optimal production method and chemical composition for steel 110G13L in order to further improve the properties of parts for production units of the iron ore complex by replacing this brand of steel with experimental steel 120G18X2MNL with the determination of the optimal mode of its heat treatment.

Object and subject of research. The object of the research is steel 110G13L, comparable production and quality of steel 110G13L, smelted by the method of remelting and oxidation in order to improve the properties of parts, by replacing this brand of steel with the experimental 120G18X2MNL. The purpose and tasks of the work. Development of optimal methods of production of steel 110G13L and improvement of the properties of parts by replacing this grade of steel with experimental steel 120G18X2MNL with determination of the optimal mode of its heat treatment.

Research methods. The following methods were used in the work: first of all, the analysis of the chemical composition of test melts, mechanical properties of steel 110G13L, with the aim of identifying directions of work, conducting industrial experiments, and improving heat treatment modes,

Research results. Optimal modes of heat treatment and improvement of the properties of parts to DSTU and TU of the plant have been developed.

Field of application. Armor production of lining plates and cone armor at ZLMZ LLC branch 2

Concise conclusions. It was established that the steel smelted by the method of remelting has a slightly higher composition of carbon, silicon, chromium and nickel and a relatively high content of phosphorus in comparison with the steel smelted by the method of oxidation. However, with any smelting method, the chemical composition of steel is within the limits of DSTU 8781:2018 and TD of the plant.

2. The microstructure, the content of non-metallic inclusions and their nature are not the same for both smelting methods.

3. The level of mechanical properties and cold resistance of steel smelted by both methods are not the same.

4. Technical and economic indicators of steel production by remelting are higher than oxidation.

5. Production tests showed that the influence of the high-manganese steel smelting method on the wear resistance of castings at the time of work could not be detected.

6. According to the indicated literature and the data presented in this work, it is recommended to use steel 110G13L produced by the oxidation method (on a fresh batch) and with a carbon content of 0.95-1.25% and manganese content of about 12 for the production of particularly hard-working parts of the mining and beneficiation complex 5%

7. Tests showed that 120G18X2MNL steel has a higher level of mechanical properties than 110G13L steel.

8. Steel 120Г18Х2МНЛ tolerates slander during working hours like steel 110Г13Л and is able to work better in conditions of shock-abrasive wear.

9. Industrial tests of conical armor and lining plates of a layer mill cast from 120G18X2MNL steel were not conducted, but the availability of test results of

samples from this steel showed that castings from 120G18X2MNL steel will be significantly higher in mechanical properties than castings from 110G13L steel in terms of wear resistance and durability.

10. The use of 120G18X2MNL steel for conical armor and armor-lining plates instead of 110G13L steel makes it possible to have an economic effect in the mass production of these products, as an example, the experimental grade of 120G18X2MNL steel was proposed

KEY WORDS: heat treatment regimes, chemical composition, high manganese steel, wear-resistant steels, electric furnaces, economic effect, microstructure.

ЗМІСТ	Стор.
Завдання на випускню магістерську роботу	3
РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	13
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	15
1.1 Вплив вуглецю та марганцю на зносостійкість високомарганцевої сталі	15
1.2 Зносостійкі сталі.	17
1.3 Режими термічної обробки гусеничних траків екскаватора.	18
1.4 Структура і властивості деталей.	21
1.5 Технологічні особливості виготовлення виливків зі спеціальних сталей.	23
1.6 Нормативні вимоги до залізниці в Україні	29
1.7 Оптимізація вмісту вуглецю і марганцю в сталі 110Г13Л .	33
1.8 Визначення впливу хімічного складу на властивості сталі 110Г13Л.	37
1.9 Вимоги до виливок із сталі 120Г18Х2МНЛ.	39
2 ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ СТАЛІ 110Г13Л МЕТОДОМ ПЕРЕПЛАВУ ТА ОКИСЛЕННЯ	44
2.1 Технологія плавки.	42
2.2 Хімічний склад сталі.	42
2.3 Механічні властивості і холодостійкість.	
2.3.1 Використання сучасних методів заміру температури сталі при випуску із печі.	47
2.3.2 Неметалеві включення.	
2.4 Аналіз роботи електропечі	49
2.5 Результати виробничих випробувань.	50
2.6 Висновки.	54

3 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ ГОДНОГО ЛИТТЯ	57
4 ОБЛАДННЯ, ЯКЕ ЗСТОСОВУЄТЬСЯ НА СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЯХ	60
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ДОСЛІДНИКА	61
6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	65
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69
ДОДАТОК Г. Криві розподілу плавок	74

ВСТУП

В даний час Україна, не дивлячись на військовий стан, видобуває щорічно відносно велику кількість руди. І потреба у цьому видобутку з кожним роком буде зростати.

Треба відмітити, що приріст видобутку буде досягається введенням нових потужностей на рудниках, шахтах та гірничозбагачувальних комбінатах та інтенсифікацією процесу видобутку та переробки руди.

У зв'язку з цим зростає потреба в змінних і запасних частинах обладнання, що працює в особливо важких умовах. Велика кількість змінних деталей гірничодобувної та гірничозбагачувальної техніки виготовляється з високолегованої марганцем сталі.

У процесі вирішення цих питань з'явилася думка, що високо марганцева сталь, виплавлена на «свіжій» шихті, має кращі експлуатаційні та якісні характеристики, ніж та ж сталь, що виплавлена методом переплаву.

В ливарних цехах багатьох заводів відповідальні виливки, що працюють в особливо важких умовах, відливають тільки зі сталі, виплавленій методом окиснення. Це створює деякі організаційні труднощі в роботі ливарного цеху. Але на цей час існує певний дефіцит у кількості відходів промислового брухту високо марганцевої сталі. Плавка методом переплаву має цілу низку переваг: більш висока продуктивність печей, нижча витрата електроенергії, феросплавів, спрощення процесу плавки та зниження трудомісткості та є великі проблеми з поломками графітованих електродів, стійкістю футеровки, пов'язаних з додатковою обробкою металобрухту підвиду №322 згідно ДСТУ 4121-2002.

В даній роботі представлені результати випробувань, проведених в ливарному цеху ЗЛМЗ філія 2, в порівнянні виробництва і якості сталі 110Г13Л, виплавленою методом переплаву та окиснення. Як послідове покращення властивостей готового металу вказані рекомендації по використанню сталі 120Г18Х23МНЛ для броне футерувальних плит та

конусних броней з метою підвищення експлуатаційного ресурсу і підвищення економічної ефективності їх застосування в гірничо-збагачувальному виробництві. Розглянута можливість використання режимів термічної обробки вказаної марки сталі для броне футерувальних плит та конусних броней.

Всі випробування є актуальними та потребують широкого впровадження у виробництві.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Вплив вуглецю і марганцю на зносостійкість високо марганцевої сталі

Згідно літературного огляду «Особливістю роботи деталей стала гірничо-збагачувальне обладнання, яке виготовляється з високо марганцевої сталі, є прямим їх зіткнення з породою або рудою, що призводить до руйнування поверхневого шару металу, тобто зношування. [1] Становлення процесу зносу в першу чергу залежить від властивостей як абразивного матеріалу, так і матеріалу, що зношується, а також швидкості ковзання абразивних частинок і типу зносу, які визначаються умовами експлуатації. Значну частину номенклатури змінних частин гірничо-збагачувального устаткування складають деталі подрібнювальних машин з ударно-абразивним типом зношування, таких як барабанні млини різних типів: кульові, стрижневі, саме подрібнення та ін. Дослідженню впливу основних хімічних елементів високо марганцевої сталі на зносостійкість у кульовому млині було присвячене дослідження. Досліджено вплив підвищення концентрації вуглецю від 0,9 % до 1,6 % на зносостійкість сталей із вмістом марганцю 8 % (Г8Л), 10 % (Г10Л), 13 % (Г13Л). Вміст усіх інших компонентів хімічного складу сталей підтримували на середніх значеннях згідно з державним стандартом на сталь 110Г13Л (ДСТУ 8781:2018). Експериментальна плавка проводилась в індукційній тигельній печі ІСТ-0,06 з основною футеровкою. Відлиті зразки для механічних випробувань. Термічна обробка - загартування у воді від 1050 °С. Випробування в кульовому млині проводили протягом 100 годин при дробленні гранітного щебеню фракцією 20-40 мм. Діаметр барабана млина 700 мм, довжина 680 мм, частота обертання барабана 34 об/хв. Вага кульового завантаження становила 120 кг, щебеню 40 кг, води 20 л. Кожні 5 годин роботи замінювали щебінь і воду. Для випробувань використовувалися зразки (по 3

шт. для кожного варіанта) розміром 20x9x9 мм, виготовлені з половинок зразків для випробувань на ударну міцність. Разом з експериментальними зразками досліджували еталонні зразки зі сталі 110Г13Л (13,1 % Mn; 1,3 % C). Відносну зносостійкість визначали за співвідношенням втрати маси еталонного та дослідного зразків. Випробування в кульовому млині показали, що відносна зносостійкість (ϵ) досліджуваних сталей зростала зі збільшенням концентрації вуглецю, при цьому збільшення зносостійкості сталей Г10Л і Г8Л було більш інтенсивним, ніж у сталі Г13Л.

Вища зносостійкість сталей із підвищеною концентрацією марганцю при випробуваннях у кульових млинах може бути пов'язана з їх більшою здатністю до зміцнення за таких умов механічної дії на поверхневий шар. Відомо, що загально зміцнювальний ефект буде складатися з зміцнення від пластичної деформації твердого розчину, від фазових перетворень при розпаді твердого розчину та зміцнення нової фази. При цьому ступінь впливу кожного фактора залежить від використовуваних умов і хімічного складу сталі. Сталі зі зниженою концентрацією марганцю мають менший опір аустеніту і здатні більшою мірою змінювати свої властивості під навантаженням у результаті перетворення, відображеного під дією пластичної деформації. [1] Проведеними дослідженнями встановлено, що для деталей, які працюють в умовах низьких ударних навантажень, доцільно використовувати аустенітну зносостійку сталь 110Г13Л з вмістом марганцю до 12,5% вмісту марганцю, а вуглецю - до 1,25% вмісту. Це дозволить збільшити термін служби деталей при зниженні вартості марганцевих феросплавів.»

1.2. Зносостійкі сталі.

Знос є однією з найважливіших проблем довговічності машин і приладів. Основні види зношування включають окисне та абразивне зношування. [2]

При окислювальному зношуванні на поверхні тертя утворюються нові окислі фази, після чого вони видаляються з поверхні тертя. Це найпоширеніший вид зносу, який виникає як при сухому терті, так і за наявності мастильних матеріалів. Абразивний знос викликаний наявністю твердих порошкоподібних матеріалів у зоні тертя, це спостерігається в широкому діапазоні машин. Для боротьби зі зношеністю машин необхідно правильно підбирати матеріали і технологію обробки поверхонь тертя. Ступінь зношення поверхонь тертя залежить від часу зношування: I — початковий період доведення; II — період постійного зношування, який характеризується постійною швидкістю зношування; III — період підвищеного зношування, що призводить до утворення великих зазорів у тертьових частинах. Зміна початкового та постійного зносу досягається раціональним вибором матеріалів пар тертя. Виготовляється, якщо з'єднані деталі мають різну твердість (твердий вал — м'який підшипник). Для полегшення підготовки твердих матеріалів наносять покриття з м'яких металів (Pb, Sn, Zn), а також фосфатних, сульфідних та ін.

Для зносостійких спеціальних сталей 110Г13Л, яка називається сталь Гадфільда. Ця сталь являє собою аустенітну високо марганцевисту сталь, з якої методом лиття (або іноді кування) вимагають високої зносостійкості при ударних навантаженнях. До таких частин відносяться залізничні переїзди, колії гусеничної техніки, щоки дробарок, зубці ковшів екскаваторів та ін. Сталь 110Г13Л містить: 0,9-1,4% С, 11,5-15,0% Mn, 0,5-1,0% Si. Після лиття структура складається з аустеніту і надлишку карбідів (Fe, Mn)₃C. При нагріванні карбіди розчиняються в аустеніті, тому після загартування від

температури 1100°C у воді виходить чисто аустенітна структура з низькою твердістю 200 НВ. Легований марганцем аустеніт добре твердне, особливо при ударних навантаженнях, і після деформації в процесі експлуатації набуває твердості до 50-55 HRC. Недоліком сталі 110Г13Л є погана оброблюваність різанням, тому деталі з неї найчастіше виготовляють литтям без механічної обробки. Крім того, при чисто абразивному зношуванні за відсутності ударних навантажень (наприклад, тертя піску) ефективний відпуск сталі 110Г13Л не спостерігається, що призводить до підвищеного зносу деталей. Для підвищення рівня зносостійкості використовується додаткове легування такими хімічними елементами як хром, молібден, нікель, ванадій, ніобій і модифікація титаном і рідкоземельними металами.[3]

1.3. Режими термічної обробки гусениць екскаватора, вибір технологічного обладнання.

Для виготовлення колій зазвичай використовують литі сталі аустенітного класу: 110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ, 110Г13ФТЛ. Ці сталі відносяться до групи високолегованих сталей і зазвичай використовуються для виготовлення корпусів вихрових і шарових млинів, щоків і конусів дробарок, гусениць, передніх стінок і зубів ковшів екскаваторів, а також інших важко навантажених деталей, які працюють під впливом статичних і великих динамічних навантажень і вимагають високої зносостійкості. Наступні сталі схожі між собою і дуже підходять для виготовлення гусениць, оскільки гусениці виготовлені з них вони з часом підвищують свою твердість і мають чудову зносостійкість. Хімічний склад і механічні властивості сталей наведені в таблиці - 1.1 і таблиці - 1.2, з яких видно, що сталі 110Г13Х2БРЛ і

110Г13ФТЛ мають кращі механічні властивості, ніж 110Г13Л за рахунок додаткового легування, але через це вони дорожчі.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад в % обраних сталей

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti	V
Сталь 110Г13Л	0.9-1.4	11.5-15.0	0.8-1.0	≤0,12	≤0,05	До 1,0	≤1,0		-
Сталь 110Г13Х2БРЛ	0.9 – 1.5	11,5 – 14,5	0,3 – 1,0	≤0,12	≤0,05	1,0 – 2,0	≤0,5	≤0,30	
Сталь 110Г13ФТЛ	0.9 – 1.3	11,5 – 14,5	0,4 - 0,9	≤0,12	≤0,05	-	-	0,01 – 0,05	0,1-0,3

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталей Гадфільда

Марка сталі	Термічна обробка	Механічні властивості	
		КСУ (Дж/м ²)	Твердість поверхні (НВ)
Сталь 110Г13Л	Немає (у литому стані)	260	190
Сталь 110Г13Х2БРЛ		196,2	220
Сталь 110Г13ФТЛ		190	210

Порівняльний аналіз характеристик [3] показує, що сталі: 110Г13Х2БРЛ, 110Г13ФТЛ мають вищі механічні властивості за рахунок додаткового легування і, відповідно, дорожчі. Тому з урахуванням усіх особливостей вважаємо, що найкращим матеріалом для гусениць є сталь 110Г13Л, оскільки остання забезпечить необхідний набір механічних властивостей і дешевше інших марок сталі. Сталь Гадфільда є одним з найкорисніших, а часом і незамінних матеріалів. Застосовується в тих областях, де використання іншої сталі іноді просто неможливо. Після лиття структура сталі складається з розчиняються в аустеніті, тому після загартування від температури 1100 °С у воді сталь набуває чисто аустенітну структуру з малою твердістю НВ 180...220, межею міцності $\sigma_B = 750...1000$ МПа; відносно звуження при розтягуванні ψ

40...50%; ударна в'язкість $a = 300$ кДж/м², аустеніту і надлишку карбідів марганцю в залізі (Fe, Mn)₃C. Сталь з аустенітною структурою характеризується низькою межею пластичності, що становить близько третини межі міцності, і сильно зміцнюється під дією холодної деформації. Високе зміцнення сталі Гадфільда при пластичній деформації обумовлено тим, що деформація здійснюється в основному шляхом механічного подвійникування аустеніту. З одного боку, двійники є ефективними перешкодами для руху дислокацій і тому зміцнюють сталь. З іншого боку, двійники призводять до релаксації внутрішніх напружень, перешкоджаючи локалізації пластичних деформацій і утворенню тріщин. Сталь 110Г13Л має високу в'язкість і пластичність, характерну для аустенітних сталей, при досить високій міцності. При низькій твердості сталь Гадфільда має надзвичайно високу зносостійкість при терті під тиском і ударів. Це пояснюється зміцненням (деформацією) аустеніту при пластичній деформації в процесі експлуатації, тобто ця сталь має підвищену здатність до деформації (набагато більшу, ніж у звичайних сталей з такою ж твердістю). В результаті наклепу підвищується стійкість до зносу, тому сталь 110Г13Л важко обробляти різальними інструментами, тому деталі з неї частіше ніж все зроблено в литтям без механічної обробки. В умовах чисто абразивного зносу (наприклад, при терті об пісок) ефективного наклепу сталі 110Г13Л не відбувається, що призводить до підвищеного зносу деталей. Враховуючи форму і розміри деталі, в якості заготовки раціонально використовувати литий трак. Тоді технологія може виглядати так:

1. Лиття (ливарний цех).
2. Термічна обробка (термічний цех).
3. Механічна обробка (механічні цеха).

Для отримання зазначених властивостей проводять термічну обробку, яка полягає в гартуванні від температури 1050°C і подальшому охолодженні в воді. Вода забезпечить достатню швидкість охолодження для отримання необхідної структури - однорідного аустеніту, легованого марганцем. Для запобігання викривлення гусениці гусеничного траку при нагріванні на гартування проводять ступінчастий нагрів, спочатку ізотермічну витримку при температурі 550°C, після чого проводять нагрів до кінцевої температури.

1.4. Будова і властивості деталей.

Сталь Гадфільда [4] є аустенітною, у ній при нагріванні поліморфне перетворення не відбувається, а лише розчиняється надлишок карбідів (Fe, Mn)₃C. для повного процесу розчинення карбідів час витримки становить одну годину. При швидкому охолодженні – загартуванні, розчинені в аустеніті елементи не встигають відокремитися, тому при загартуванні закріплюється легований аустеніт, який характеризується високою пластичністю.

Для підсумкового контролю проводять:

- 1) Зовнішній огляд на відсутність [3] дефектів поверхні, в тому числі тріщин і короблення.
- 2) Вимірювання твердості. Твердість доріжок повинна бути 186 - 229 НВ;
- 3) Випробування на міцність, під час якого трак поміщають під прес і завдяки дії преса на трак визначають стійкість. Якщо тріщин немає, перевірка пройдена.

Іншим прикладом деталей із важкооброблюваних матеріалів є деталі механізмів гірничо-металургійного обладнання, зокрема конусні дробарки. Конусна дробарка - це машина для подрібнення твердих матеріалів шляхом подрібнення шматків у просторі між двома конічними поверхнями. Одна з

поверхонь тіла, що дробить, нерухома, а інша здійснює обертальний і складний коливальний рух. Таким чином, для забезпечення дроблення шматків гірської породи до матеріалів конусів дробарок пред'являються певні вимоги.

Наприклад, високо марганцева сталь аустенітного класу 110Г13Л широко використовується у виготовленні деталей гірничо-збагачувального обладнання, [2] зокрема конусних дробарок, має високі зносостійкі та антикавітаційні властивості, має високу зносостійкість в одночасний вплив високого тиску, температур і динамічних ударних навантажень. На чистових операціях точіння з урахуванням в'язкості і пластичності матеріалів деталей з аустенітних сталей утворюється суцільна стружка, яка намотується на різальний інструмент і торкається робочої поверхні, тим самим пошкоджуючи її. У той же час періодичні зупинки процесу точіння для видалення стружки знижують продуктивність. Одним з ефективних методів вважається віброрізання, токарна обробка заготовок із важкооброблюваних матеріалів. Раціональне призначення режимів різання при вібраційному точінні дозволяє збільшити період стійкості металорізального інструменту, сприяє створенню умов для забезпечення постійного стружкоподрібнення. При різанні матеріалів [3] на верстатах токарної групи з накладанням коливань на різальний інструмент в зоні різання відбуваються процеси, відмінні від процесів, що відбуваються при точінні без вібрацій. Точіння є основним видом механічної обробки таких деталей. В даний час існує кілька різновидів токарної обробки з введення в зону різання додаткових механічних, термічних, хімічних тощо впливів: вібраційне різання з різними частотами коливань ріжучого інструменту; обробка з використанням випереджаючої пластичної деформації; плазмово-механічна обробка; обробка з попереднім підігрівом; обробка з використанням поверхнево-активних матеріалів в процесі різання. Кожен із перелічених способів обробки має свої недоліки, що обмежують його використання, наприклад: у результаті насичення поверхневого шару деталі

газами, переважно воднем, утворюються мікротріщини, підвищується крихкість і знижується міцність; потреба в призначенні припусків на обробку заготовок в 2-3 рази більше ніж при обточуванні; значне погіршення умов праці працівників; необхідність додаткового оснащення металообробного обладнання спеціальним обладнанням з великим споживанням енергоресурсів, що витрачаються на обробку; посилення вимог охорони праці щодо пожежної безпеки. Вібраційне різання має менше недоліків. Однак його широке застосування стримується недостатньою вивченістю процесу, зокрема необхідністю дослідження механізму утворення елементної стружки для забезпечення необхідної якості шорсткості обробленої поверхні. Актуальність теми дослідження обґрунтовується виникненням труднощів отримання заданого значення шорсткості поверхні при точінні важко навантажених деталей із важкооброблюваних матеріалів. Таким чином, встановлення певних режимів вібрації для забезпечення необхідної шорсткості поверхні є актуальним завданням.

1.5. Технологічні особливості виробництва виливків із спеціальних сталей.[2]

Для виготовлення сталевих литва з різних видів сталі необхідно керуватися відповідними вимогами при проектуванні розливних систем. Для отримання виливків із сталей з особливими властивостями ці вимоги пред'являються особливо суворо, оскільки високолеговані сталі мають незадовільні ливарні властивості: низьку текучість, значну ликвацію та ін. Текучість високо-хромистої жароміцної сталі нижче, ніж у звичайної вуглецевої сталі. Після збільшення вмісту хрому та вуглецю це практично плинність сталі значно поліпшується, оскільки знижується температура плавлення розплаву і його теплопровідність. Ледебуритові хромисті сталі мають плинність приблизно таку ж, як і сірий чавун. Хромисті сталі легко забруднюються неметалевими включеннями, з'являються великі плівки оксидів, для запобігання утворенню яких необхідно перед виходом з печі

перегріти сталь. Температура металу перед заливкою в форму залежить від вмісту вуглецю, марганцю і хрому, а також від конфігурації і необхідних властивостей виливків. Розлив розплаву у форми необхідно провести сифоном через численні живильники.. Швидкість заповнення форми цими сталями повинна бути максимальною. При досить високій швидкості розливання і відповідному перегріві сталі форма добре заповнюється металом, при цьому виливки мають чисту, якісну поверхню і чіткі геометричні контури. Надмірний перегрів сталі сприяє утворенню крупнозернистої структури металу і, отже, підвищенню крихкості виливків.

Крім того, виливки при цьому мають підвищену газонасиченість і схильність до утворення тягарів і тріщин. Хромисті сталі мають більшу схильність до утворення усадочних оболонок, ніж звичайні вуглецеві сталі.[2] Крім того, як уже зазначалося, ці сталі мають низьку теплопровідність, тому при надмірному підвищенні температури і швидкості заливки форм збільшується кількість і обсяг усадочних дефектів. Для усунення таких дефектів слід використовувати заливки збільшеного розміру, які значно знижують вихід придатного виливка.

Високо хромисті сталі відносять до металів з широким температурним діапазоном зниженої міцності і пластичності в області високих температур, тому при зміцненні виливків, особливо з крупнозернистою структурою, існує небезпека розтріскування, незважаючи на факт, що з підвищенням з аустенітних, наприклад, у виливках з вмістом хрому загальна лінійна усадка зменшується. Перевагою хромистих сталей в порівнянні з аустенітними є те, що перші мають менший коефіцієнт лінійного розширення в зоні пружних деформацій. Це означає, що при однакових значеннях модуля пружності і коефіцієнта теплопровідності обох металів внутрішня напруга у виливку з феритних хромистих сталей буде менше, ніж у високо марганцевих, нікелевих

або хромонікелевих сталей. Однак у виливках із хромистої сталі внутрішні напруги досить високі. Аустенітні хромонікелеві жароміцні сталі мають гірші ливарні властивості, ніж вуглецеві або низьколегована конструкційна сталь. Текучість аустенітних сталей ще більше погіршується після додавання титану, незважаючи на те, що хром і нікель знижують температуру ліквідусу на 25...30 °С. Ливарні властивості [5] залежать від багатьох факторів, зокрема від плинності, яка швидко знижується після випуску сталі в ківш, оскільки цей процес супроводжується утворенням плівок внаслідок вторинного окислення металу. Заливка сталі повинна проводитися швидко, для цього слід використовувати спеціальні системи розливу. Обрана система розливу істотно впливає на однорідність металу у виливках. Приблизно так само впливає на якість металу виливків. Приблизно такий же вплив на якість металу виливків роблять розміри і розташування переливів і охолоджувачів. Загальні рекомендації щодо підвищення якості виливків із хромонікелевої сталі можна сформулювати так: форми і прутки можна виготовляти із звичайних піщано-глиняних сумішей, висушених і пофарбованих, а форми а стрижні повинні бути податливими; перед заливкою металу бажано нагріти форми, причому бажано, щоб прутки мали температуру вищу за форму; спринклерна система повинна забезпечувати безперервне і оптимально швидке наповнення форми металом, тому її необхідно подавати кількома живильниками, краще використовувати сифонний розлив; температура рідкої високолегової марганцем сталі перед заливкою у виливниці не повинна бути нижчою 1420 °С. Найкращі показники[2] властивостей металу відбуваються при температурі розливу 1430...1550 °С. Підвищений вміст марганцю в зносостійкій сталі 110Г13Л сприяє збільшенню плинності, але вплив марганцю на цю

характеристику є більш корисним, залежно від температури заливки сталі у форми.

Оптимальна температура виходу сталі з печі в ківш, нагрітий до 700...750 °С, повинна бути 1500...1530 °С. Для отримання якісного виливка необхідно швидко заповнювати форми і забезпечити прискорене твердіння. Усадка є причиною тріщин у виливках, але водночас вона зменшує пористість металу. При достатній ізоляції надливів їх можна використовувати набагато менше, ніж для карбонових. Під час виробництва для великих і середніх виливків слід дотримуватися таких правил: чим товщі стінки виливка, тим менше має бути в сталі вуглецю (співвідношення Mn:C повинно бути більше 10); при товщині стінки виливка більше 120 мм сталь повинна бути додатково легована нікелем, а вміст вуглецю повинен бути мінімальним. У зв'язку з тим, що виливки не підлягають обробці різанням, конструкції використаних виливків і виливків повинні забезпечувати можливість їх відділення від виливків газовим різанням або вручну кувалдою зі збереженням якості виливка.[5] Так як сталі мають низьку теплопровідність і пластичність в литому стані, автогенний поділ переливи і живильники можуть сприяти утворенню тріщин у виливку при кімнатній температурі внаслідок накопичення значних температурних напруг в зонах різання. Крім того, при температурах 400...600 °С в металі починають виділятися карбіди, які сприяють локальному підвищенню крихкості сталі і зниженню зносостійкості. Використовувати швидко знімні наповнювачі і зрізати їх автогеном на відстані 15...30 мм від тіла виливка. Залишки переливів і годівниць можна видалити наждачними кругами. Краще використовувати розгалужену литникову систему, яку легше відокремити від виливка. Стрижні при виробництві великогабаритних виливків встановлюють так, щоб після заповнення металом вони не міцно

фіксувалися у формі і не чинили опір усадці виливка. Досягати рівномірний нагрів форми, товщину її стінок прагнуть зменшити. Аустенітну високо марганцеву сталь обробляють переважно наждачними кругами, тому цю операцію слід звести до мінімуму, використовуючи стрижні оптимальної конструкції. Необхідно враховувати, що рідка сталь інтенсивно реагує з формувальною сумішшю, тому необхідно ретельно підбирати формувальні матеріали. Виливки з тонкими стінками масою до 100 кг виготовляють у сирих формах. Виливки масою до 350 кг виготовляють у висушених формах, робоча поверхня яких покрита шаром антипригарного покриття на основі магнезиту або дистен-силіманіту. Форми для великих відливок необхідно сушити і фарбувати при температурі 400...450 °С. До сталей для виготовлення вимірювальних приладів пред'являється комплекс вимог, найважливішими з яких є висока зносостійкість, збереження стабільності лінійних розмірів і форми в процесі експлуатації, висока чистота поверхні (висока здатність до полірування). Для вимірювальних приладів застосовуються високовуглецеві доевтектоїдні сталі та сталі з додатковим легуванням хромом, марганцем, вольфрамом і ванадієм. Висока твердість сталі забезпечує високу чистоту поверхні інструменту після полірування внаслідок рівномірно розподілених дрібних надлишкових карбідів і підвищення металургійної чистоти сталі. Для виготовлення литого інструменту використовують переважно ті ж марки сталей, які піддають куванню або прокатуванню. Основною перевагою виготовлення інструменту методами лиття є мінімальні припуски на їх механічну обробку. Коефіцієнт використання металу, в залежності від способом лиття, може досягати 85...95%. Друга перевага - максимальне використання зламаного і зношеного інструменту для виплавки сталей. Проте практично всі інструментальні сталі мають незадовільні ливарні властивості: високу усадку, низьку текучість і теплопровідність, що сприяє росту зерен і коагуляції карбідів. Крім того, структура сталей у литих інструментах неоднорідна, особливо це стосується ледебуритових сталей, які зберігають

евтектичну сітку, і великих карбідів, які класифікуються як евтектичні на основі їхніх структурних характеристик. Такі карбіди утворюються у складі евтектики при твердінні металу. До них також відноситься частина вторинних карбідів, які не розчиняються в аустеніті при температурах гарту. Розмір, форма і розташування надлишкових карбідів [5] визначаються умовами затвердіння вилівка і майже не змінюються при термообробці. Ці карбіди перешкоджають росту зерна при температурах відпустки і підвищують зносостійкість сталі. У той же час надлишок карбідів знижує міцність, в'язкість і термостійкість металу. Важлива властивість ливарних інструментальних сталей - текучість - визначається вмістом вуглецю

Зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі збільшується практична текучість, але при цьому збільшується кількість карбідів і змінюється кількість і морфологія карбідної фази, що сприяє зниженню механічних властивостей і суттєво впливає на зносостійкість сталі. сталі. Наприклад, сталь Р5М2ФЛ, що має задовільні ливарні властивості, використовують для виготовлення інструменту складного профілю (свердла, черв'ячні фрези та ін.). Проте лита сталь не може замінити катану, з якої виготовляють інструменти невеликого перетину, такі як ножі, ріжучі пластини, свердла малого діаметра та ін. Дуже важливо правильно вибрати технологічний процес лиття. У зв'язку з високим вмістом вуглецю температури заповнення форм для сталей [5] 110Г13Л і суміжних з нею необхідно знизити до 1430...1460 °С. Швидкість охолодження виливків у формах повинна бути високою, особливо в інтервалі температур 1500...900 ° С. Евтектична сітка в цьому корпус стоншується, а структура металу по перерізу виробу стає більш однорідною.

Для виробництва литих інструментів застосовуються способи лиття в піщані, оболонкові, керамічні та металеві форми. Для виготовлення дрібних інструментів використовується лиття по розплавлених або газифікованих моделях. Інструменти, що мають форму тіл обертання, рекомендується

виготовляти методом відцентрового лиття. Воно заслуговує на особливу увагу електрошлакове лиття інструменту, що наближає його властивості до інструменту, отриманого з кованих заготовок. Виготовлення високоякісного литого інструменту різного призначення можливе лише за допомогою спеціальних технологічних прийомів: - нагрівання ливарних форм перед заповненням їх сталлю; підвищення металостатичного тиску; примусове прискорене охолодження виливків у формі та ін. Тому у виробництві литих інструментів центральна роль повинна відводитись формі.

1.6. Україна має одну з найрозвинутіших залізничних мереж у Європі, експлуатаційна довжина якої становить понад 22 тис. км. За густотою вона займає провідне місце серед країн СНД і наближається за цим показником до країн Європи: Франції та Італії. Тобто залізниця є базовою галуззю економіки України. На них припадає 88% вантажних перевезень (без урахування трубопровідного транспорту) і 50% пасажирських перевезень, навпаки з країн ЄС, де частка залізниць становить близько 8%. Найважливішим елементом залізничного шляху є сполучення та переїзд, які змінюють напрямок руху поїздів.[6] Однак ситуація ускладнюється тим, що на даний час більшість з них вичерпали свій ресурс і є морально застарілими. За даними [8], щоб скасувати обмеження швидкості лише на магістральних дорогах, необхідно замінити тисячі стрілочних переводів. Саме вдосконаленню системи якості елементів стрілочних переводів і хрестовиків присвячено дослідження існуючої роботи. Матеріал і методи дослідження. Нормативні вимоги ГОСТ 977-88, ГОСТ 2176 - 77, ГОСТ 5639-82, ГОСТ 7370 - 2015, ГОСТ 21357 - 87, EN 15689:2009, ASTM E3 - 11, ASTM E112 - 10 [1 - 9] для вивчення хімічний склад, до режимів термічної обробки та контролю мікроструктури сталі 110Г13Л (ВМ-сталь). Для досліджень використовували зразки високомарганцевої сталі 110Г13Л (ВМ-сталь) 4 плавки виробництва ПАТ «Дніпропетровський стрілковий

завод». Під час експериментальних досліджень використовували сучасні методи мікроструктурного аналізу.

Мікроструктуру сталі 110Г13Л вивчали в лабораторних і промислових умовах із застосуванням стандартних [3 - 6] та розроблених у роботі методів металографічного дослідження. Аналіз нормативних вимог до сталі 110Г13Л (ВМ-сталь) та обговорення результатів. Контроль хімічного складу [4] проводили на зразках, відлитих у середині розплаву. За домовленістю між виробником та власником інфраструктури залізничного транспорту можуть бути звужені межі масової долі елементів, що не перевищують норми, встановлені ГОСТ 7370 [14]. Виливки допускаються з підвищеним вмістом вуглецю, але не більше 1,50% [2]. Допускається за погодженням між виробником і власником інфраструктури залізничного транспорту введення в сталь ВМ легуючих домішок, які не погіршують властивості сталі, безпечність і надійність хрестовин в експлуатації. Відливки сердечників збірних і моноблочних хрестовин і суцільнолитих хрестовин зі сталі ВМ (110Г13Л) підлягають термічній обробці за режимами, визначеними ТД підприємства-виробника [4]. Режим, встановлений ГОСТ 977 і ГОСТ 21357 [15, 11]: загартування від 1050 до 1100 °С у воді. Допускається зміцнення поверхні кочення литих сердечників і суцільнолиті хрестовини методом вибуху або іншими методами. При цьому твердість по поверхні кочення литих вусів і стрижневого клина після загартування повинна бути в межах 321 ... 398 НВ.

Ефективність [6] термічної обробки повинна контролюватися випробуваннями на розтяг, ударний вигин і твердість. Випробування необхідно проводити для кожної партії плавлення та термообробки [1, 7]. Згідно ГОСТ 977 [14] сталь 110Г13Л відноситься до аустенітного класу. Для контролю мікроструктури деталей зі сталі ВМ (110Г13Л) з однієї з виливків після термообробки відокремлюють спеціальний зразок-відлив. Припливи повинні розташовуватися біля найбільш масивної частини виливків і/або

поруч з місцем подачі рідкого металу в ливарну форму. Допускається проводити випробування у вигляді припливу до ливарної системи [4]. Контроль проводять за допомогою металографічного мікроскопа при збільшеннях $\times 100$ і $\times 500$. Мікроструктура контролюється на глибині понад 2,5 мм, рахуючи від краю мікрорізу [4]. Відповідно до вимог [7] мікроструктура хрестовини повинна бути аустенітною і не містити шкідливих карбідів. Якщо це передбачено умовами тендеру, металографічний аналіз повинен бути проведений при збільшенні $\times 100$ з використанням мікроструктурної оптики. Вид і місце розташування зразка повинні бути узгоджені між замовником і виробником. За відсутності припливів зразки для контролю мікроструктури допускається вирізати безпосередньо з тіла виливка після термічної обробки згідно з ТД виробниче підприємство [7]. Мікроструктура виливків зі сталі ВМ повинна бути аустенітною, карбіди неприпустимі [4, 7]. Відповідно до ГОСТ 21357 [5] мікроструктура після термічної обробки повинна бути чисто аустенітною. Розробка методики контролю мікроструктури зернограничних характеристик сталі ВМ. У вихідному стані сталь Гадфільда (ВМ-сталь) [6] має нормальну рівноважну структуру з низькою (до 106 см^2) щільністю дислокацій. Проте вже напочаткових етапах деформування (в тому числі при підготовці мікрошліфу в результаті поверхневого мікроіндентування) не тільки звичайні, нерозщеплені дислокації, а також часткові, з'єднані дефектами упаковки. Останні стають видимими у вигляді серії смуг. Зі збільшенням ступеня деформації кількість дефектів різко зростає, утворюються вузькі смуги мікродвійників, по інших площинах ковзання виникають дислокації та дефекти упаковки. Операція травлення металографічних шліфів включає в себе всі процеси, спрямовані на виявлення специфічних структурних компонентів зразка, які не видно на полірованій і непротравленій поверхні шліфа. Дослідження полірованих, непротравлених шліфів дозволяють виявити такі особливості металу, як пористість, тріщини та неметалічні

включення. Травлення дозволяє розпізнавати фази, структурні компоненти, декорувати дислокації (виявляти ямки травлення), вивчати орієнтацію фаз. Принцип травлення багатофазних сплавів полягає в селективному розчиненні (за рахунок різної швидкості розчинення фаз у травильному реактиві) або забарвлення однієї або декількох фаз внаслідок їх різниці в хімічному складі і, меншою мірою, різної орієнтації структурних компонентів. Проте в чистих металах або однофазних сплавах, таких як аустенітна сталь 110Г13Л (ВМ-сталь), вибіркоче травлення є переважним результатом різної орієнтації зерен [5, 6]. Для ідентифікації мікроструктури сталі ВМ (110Г13Л) ГОСТ 7370 [14] нормативно визначається хімічне травлення мікроструктурних об'єктів наступним чином: металографічне травлення проводять 4% спиртовим розчином (або 3% водним розчином) азотної кислоти з повторним поліруванням і травленням (спосіб 1). Цей метод дозволяє отримувати і записувати мікроструктурні [6] монохромні зображення при обраних збільшеннях оптичного приладу.

При підготовці об'єктів металографічного дослідження, зеренногранична структура сталі 110Г13Л характеризується наявністю великої кількості смуг ковзання. За наявності такого структурного стану використання автоматичної металографічної методики визначення розміру зерен природно призведе до отримання помилкових експериментальних даних кількісної металографії. З метою реалізації методів. Для адекватної оцінки кількісних характеристик зереннограничної структури в роботі запропоновано спосіб підготовки мікрошліфів з їх вибіркочним травленням для поліхромного представлення різної орієнтації зерна (метод 2). Тобто, враховуючи рекомендації технічної документації [7, 8], для отримання поліхромних зображень високої якості презентації мікроструктури сталі ВМ (110Г13Л) на мікропрепаратах запропоновано роботу з використанням двоетапного режиму металографічного травлення - травлення нітал/пикрат: 1) Травлення в розчині 4 мл азотної кислоти в 100 мл етилового спирту протягом 15...20 секунд. 2)

Варіння в розчині 4 г пікринової кислоти в 100 мл етилового спирту протягом 2...5 хв. продемонструвати поліхромні мікроструктури високої товарної якості сталі ВМ (110Г13Л), отримані на мікрошліфах за допомогою двоетапного травлення, про які йдеться в даній роботі та в розробленій технологічній інструкції ТІ-ІЛ-42-2016 ПАТ «Дніпропетровський стрілецький завод» як «Спосіб 2». Фотографічна реєстрація візуальних мікроструктурних зображень виконується при збільшеннях $\times 100$ згідно з вимогами ГОСТ 7370 [14], EN 15689 [7] та $\times 500$ згідно з вимогами ГОСТ 7370 [14]. Одночасна реєстрація масштабу об'єкта - мікрометра і мікроструктури сталі ВМ (110Г13Л) дозволяє забезпечити достовірне відображення мікрофотографій структур промислових зразків і виробів із чітким дотриманням вимог нормативної документації, викладених [4, 7], щодо збільшень $\times 100$ і $\times 500$. Висновки. За результатами аналізу нормативних вимог [1 – 6] до сталі 110Г13Л (ВМ-сталь) розроблено та апробовано технологію приготування зразків високо марганцевої сталі та проведено вибір її режимів травлення. Проведено [6] мікрофотографічну реєстрацію кількісних та якісних показників зереннограничної структури матеріалу хрестовини за ГОСТ 7370-2015. Розроблено, погоджено та впроваджено «Технологічну інструкцію з підготовки металографічних зразків, у тому числі для виготовлення кольорових фотографій вищої товарної марки 110Г13Л залізничного хрестовини за ГОСТ 7370-2015 з урахуванням вимог ASTM E3». в Систему менеджменту якості ПАТ «Дніпропетровський стрілецький завод» № ТІ-ІЛ-42-2016.

1.7. Оптимізація [7] вмісту вуглецю та марганцю в сталі 110Г13Л. Побудовано топографічні проекції поверхонь межі міцності та текучості, ударної в'язкості марганцевих сталей аустенітного класу. Порівняльний аналіз топографічних проекцій міцності та межі текучості поверхонь та ударної в'язкості марганцю сталі аустенітного класу зі структурною схемою марганцевих сталей. А також проведено порівняльний аналіз області концентрації сталі 110Г13Л з вмістом марганцю та вуглецю, регламентованого

стандартом України, зі структурною схемою марганцевистих сталей. Проведено аналіз якості металу (структури та властивостей) литої гусениці зі сталі 110Г13Л на зразках, вирізаних з корпусу серійної гусениці. Встановлено, що поверхні досліджувані властивості марганцевих сталей представлені площинами з підвищеними значеннями властивостей при збільшенні вмісту марганцю та зменшенні вуглецю в межах аустенітної області структурної діаграми. Встановлено, що знаходиться область концентрації сталі 110Г13Л з нормованим стандартом України вмістом марганцю та вуглецю, розташовані на трьох структурних зонах структурної схеми марганцевих сталей. Також встановлено, що у відливці доріжки спостерігається дендритна неоднорідність і мікропористість.

Рівень властивостей, встановлений випробуваннями зразків, вирізаних із колійного відливу, нижчий за його розрахунковий рівень цих же властивостей, якщо сталь має однаковий склад марганцю та вуглецю. Ливарні дефекти (мікропористість і дендритна ліквіація) викликають зниження властивостей зразків порівняно з розрахунковим рівнем властивостей. Середній понижуючий коефіцієнт становить 0,65. Вміст вуглецю в сталі 110Г13Л стандартом України рекомендується встановлювати на рівні 0,95-1,25%.

У 1882 році англійський металург [7] Robert Hadfield розробив і запропонував сталь з 11-14,5% Mn, 0,9-1,3% C, яка пізніше стала відомою як сталь Гатфільда. Сталь Гатфільда має високу стійкість до зношування (стиранню) під високим тиском або ударними навантаженнями. У той же час сталь Гатфільда має високу пластичність, але кристалізація і структуроутворення сплавів має найкращі ливарні характеристики, а його обробка на металорізальних верстатах ускладнена. Протягом останніх 137 років дослідники в різних країнах світу вирішували проблему поліпшення характеристик сталі Гатфільд. Усі дослідники прийшли до однакового результату, зміни проводжується зменшенням іншої. На даний час сталь

Гатфільда включена в стандарт України в групу зносостійких сталей під маркою 110Г13Л [31]. Українським стандартом регламентується такий хімічний склад сталі 110Г13Л, (%): С 0,90-1,50; Мн 11.50-15.00; Si 0,30-1,00; P \leq 0,050; S \leq 0,120; Cr \leq 1,0; Ni \leq 1,0. Поряд зі сталлю 110Г13Л, в стандарті України наведено інші марки зносостійких марганцевих сталей.

Марганець широко використовується для легування литих сталей [7]. Марганець стабілізує аустеніт і, певною мірою, сприяє утворенню карбідів, перелік марганцевих сталей досить великий.

Г. Є. Федоров і його співробітники узагальнили вплив марганцю і вуглецю на структурний стан марганцевих сталей і виділили три групи марганцевих сталей, що відрізняються за структурним станом: аустенітні, мартенситні і перлітні [8]. Інші дослідники проводили узагальнення марганцевих сталей на основі структурної схеми, в системі координат вмісту марганцю та вмісту вуглецю, деталізацію структурних областей [7].

Обсяг металовиробів зі сталі 110Г13Л значно перевищує обсяги виробів з марганцевих сталей інших марок. Сталь 110Г13Л має не найкращі технологічні характеристики і, крім цього, хімічні зміни. Склад розплаву, від плавки до плавки, визначає поширення рівня механічних властивостей сталі у виливках. М. С. Шрамко та його співробітники запропонували формули для розрахунку властивостей сталі 110Г13Л залежно від вмісту вуглецю, марганцю, кремнію та домішок сірки і фосфору [9]:

$$\sigma_{\text{в}} = 540 - 264,34\text{C} + 47,41\text{Mn} - 82,61\text{Si} - 25,0\text{P} - 401,6\text{S} \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{0,2} = 453,2 - 182,8\text{C} + 21\text{Mn} - 26,65\text{Si} - 2,01\text{P} - 401,6\text{S} \text{ МПа.}$$

$$\text{КСУ} = 33,18 - 16,35\text{C} + 1,42\text{Mn} - 10,30\text{Si} - 0,05\text{P} - 15\text{S} \text{ кгс м/см}^2.$$

При розробці рівнянь функціональної залежності властивостей сталі 110Г13Л згадані науковці не враховували вплив хрому та нікелю. За

формулами М. С. Шрамка розраховано вищевказані три механічні властивості сталі 110Г13Л. Діапазон вмісту вуглецю і марганцю для розрахунку встановлюється таким чином: вуглець 0,6-1,7%; марганець 6-20%. Вміст кремнію, сірки і фосфору при розрахунку приймається 0,3%; 0,12% і 0,05% відповідно. Вміст кремнію прийнято на нижній межі вимог стандарту. Вміст сірки і фосфору приймається за верхньою межею вимог стандарту. Один із постулатів закону Курнакова свідчить, що в межах однієї фазової області функція концентрації вміст вуглецю, % вміст марганцю, %. вплив вуглецю на структуру марганцевих сталей [6].

Кристалізація і структуроутворення [7] сплавів традиційної залежності властивостей сплаву не має переривчастості. Це дозволяє поєднати топографічну проекцію властивостей поверхні з аустенітною областю структурної діаграми марганцевих сталей. У розрахунку використовувався вміст вуглецю та марганцю, ширший за діапазон їх вмісту в сталі 110Г13Л, регламентований стандартом України, але не виходячи за межі аустенітної області [9].

Міцність на розрив і текучість і ударна в'язкість марганцевих сталей представлені плоскою поверхнею з підвищеним рівнем властивостей у бік збільшення вмісту марганцю і зменшення вмісту вуглецю. Область концентрації вуглецю та марганцю в сталі 110Г13Л позначена пунктиром і знаходиться в середній частині досліджуваного діапазону концентрацій вуглецю та марганцю. Свій варіант схеми основних структурних областей марганцевих сталей надали Г. Є. Федоров і його співробітники [6]. З цього випливає, що аустенітна область марганцевих сталей складається з, як мінімум, з трьох структурних областей. Кристалізація та структуроутворення сплавів, функція концентраційної залежності властивостей марганцевих сталей в аустенітній області структурної діаграми будуть мати перегини на межах структурних областей. Дослідження функцій концентраційних

залежностей інших властивостей в інших системах сплавів підтверджують цю закономірність.

1.8. Порівняння області концентрації [7] вуглецю та марганцю сталі 110Г13Л, регламентованої українським стандартом, із схемою основних структурних областей марганцевих сталей. Зона концентрації сталі 110Г13Л, згідно з положенням стандарту України, розташована на трьох структурних ділянках

діаграми основних структурних ділянок марганцевих сталей. Середня частина області концентрації сталі 110Г13Л розташована в карбідній області схеми основних структурних областей марганцевих сталей (за термінологією публікації [33]). Ліва і права частини області концентрації сталі 110Г13Л розташовані в області з перехідною структурою та області з аустенітом зниженої стійкості.

Вміст вуглецю в сталі 110Г13Л становить менше 1,0% і визначає розташування складу сталі на межі структурних областей. При вмісті вуглецю в сталі більше 1,3% склад сталі переходить в аустенітну область сталі з нестійким аустенітом. Змінюється стійкість структури, а отже, зменшується можливість управління властивостями сталі термічною обробкою. Рекомендоване граничне значення вмісту вуглецю в сталі 110Г13Л має бути від 0,95% до 1,25%. Нормоване значення вмісту марганцю, визначене стандартом, змін не потребує. Діапазон вмісту вуглецю і марганцю в сталі 110Г13Л, згідно стандарту України [9]. Зміна вмісту кремнію до збільшення на 0,1 % від мінімального може призвести до зниження рівня міцності та текучості сталі на 8 і 2,6 МПа відповідно, що становить не більше 1,0-1,5 %. Зменшення вмісту сірки на 0,01% збільшить міцність і межу текучості сталі на 4,0 МПа, що менше 1%. Зменшення вмісту фосфору на 0,1% підвищить міцність і плинність сталі на 2,5 і 0,2 МПа відповідно, що становить не більше 1-2%. Для перевірки ефективності розробленої діаграми склад-структура-

властивості були випробувані зразки, вирізані з литої доріжки зі сталі 110Г13Л.

Хімічний склад сталі визначали за зразками, взятими із зуба та провущини [7] трака. З порівняння діаграми і області концентрації сталі с колійних зразків можна встановити, що розрахункові значення межі міцності та текучості можуть становити 740-800 МПа та 400-450 МПа відповідно. Розробники формул залежності властивостей сталі 110Г13Л використовували тіла, що мелють зі сталі 110Г13Л. Відповідно до вимог стандарту механічні властивості литих сталей у виливках визначають на окремо відлитих заготовках типу «клин» або «проба-треф». Використання спеціальних ливарних зразків для виготовлення контрольних зразків забезпечує підвищення якості металу в литих заготовках зразків на відміну від якості металу безпосередньо у виливку. Наші дослідження по різному формацію про рівень властивостей сталі 110Г13Л від різних підприємств, де типів ливарних сплавів (чавуни, бронзи, алюмінієві ливарні сплави, литі сталі) показали, що рівень властивостей сплавів у виливках деталей на 30-35% нижче рівня властивостей сплавів, отриманих при випробуванні зразків сплавів, виготовлених із спеціальних ливарних зразків. Для литих сталей цей показник досягає значень 30-35%, а на широко інтервальних ливарних сплавах навіть 40%. Це явище зумовлене, перш за все, умовами кристалізації розплаву у вигляді спеціального зразка. Проба «треф» і проба «клин», вони мінімізують процеси розщеплення та розтріскування. Процеси утворення ливарних дефектів також зведені до мінімуму. Як зазначалося вище, сталь Гатфільд має не найкращі ливарні характеристики. Сталь Гатфільда слід віднести до широкозонних сплавів. Проведено металографічні дослідження структури зразків, вирізаних із доріжки. Видно, що спостережувані дефекти є характерними для литої структури: мікропористість і наявність дендритної структури. Зазначені дефекти зумовлюють зниження механічних властивостей сталі у виливках. Твердість за зубом Брінелля 160,0 175,0, твердість за

Роквеллом (шкала HRB) зубець 88,0 (13) 95,0 (20), твердість за шкалою HRC бал зернистості зубця трака трак 5 5 Наявність дендритної структури відсутня, наявність неметалічних включень (5 мкм), наявність мікропористості 1-2 мкм. Зниження реальної межі міцності на розрив по відношенню до розрахункової становить 36%. Зниження межі текучості при розтягуванні становить 34%, наявність мікропористості та розвиненої явища ліквідації (наявність дендритної структури) призводили до зниження міцності зразків, вирізаних з тіла траку. Збіжність розрахункового рівня властивостей з рівнем властивостей зразків є задовільною з урахуванням коефіцієнта зниження.

Висновки

Норми вмісту вуглецю та марганцю в сталі [7] 110Г13Л, регламентовані українським стандартом, охоплюють три структурні області в структурній схемі марганцевих сталей.

Розташування області концентрації сталі 110Г13Л на трьох структурних областях структурної діаграми марганцевих сталей призводить до можливості значної різкої зміни властивостей сталі у виливку, коли вміст вуглецю знаходиться на верхньому рівні. або нижня межа.

Для розрахунку рівня межі міцності та межі текучості при розтягуванні сталі 110Г13Л у фасонних виливках типу «ТРАК» у формули для розрахунку межі міцності та текучості слід ввести понижуючий коефіцієнт 0,65.

Для підвищення стабільності структурного стану, рівнів властивостей сталі 110Г13Л та їх повторюваності від плавки до плавки в литих деталях у всьому діапазоні вмісту вуглецю та марганцю, регламентованому українським стандартом, доцільно підвищити нижню межа вмісту вуглецю до 0,95% і нижня верхня межа вмісту вуглецю до 1,25%.

1.9 Для отримання якісних виливок із сталі 120Г18Х2МНЛ необхідно дотримуватися наступних вимог:

-Використовувати якісну шихту. Сталь 120Г18Х2МНЛ має підвищену вимогу до якості шихти. У ній не повинно бути домішок, які можуть призвести до погіршення якості виливка.

-Підготувати шихту до плавки. Шихта повинна бути попередньо роздробленою до розміру 5-20 мм. Це допоможе рівномірно розподілити тепло в плавильній печі і уникнути утворення неметалевих включень.

-Провести плавку в вакуумній печі . Вакуумна плавка дозволяє видалити з рідкого металу неметалеві включення, такі як гази, окалини та шлак.

-Виливати сталь в спеціальні форми. Для виливок із сталі 120Г18Х2МНЛ використовують спеціальні форми, виготовляють з високоякісних матеріалів. Це допоможе уникнути утворення дефектів на поверхні виливка.

Конкретний порядок отримання якісних виливок зі сталі 120Г18Х2МНЛ:

1. Підготовка шихти. Шихта, яка буде використовуватися для плавки, повинна бути попередньо роздробленою до розміру 5-20 мм. Це можна зробити за допомогою молота, дробарки або іншого обладнання.
2. Підготовка плавильної печі. Внутрішня поверхня плавильної печі повинно бути добре очищенна від шлаку і окалини. Це можна зробити за допомогою скребка або іншого інструменту.
3. Завантаження шихти в плавильну піч. Шихта завантажується в плавильну піч шарами. Кожен шар повинен бути добре утрамбований.

4. Плавка. Плавка проводиться в вакуумній печі. Вакуум допомагає видалити з рідкого металу неметалеві включення. Температура плавки повинна бути в межах 1550-1600°C.

5.Вилив. Виливок проводиться в спеціальні форми. Форми повинні бути добре очищенні від мастила та інших забруднень.

6.Охолодження. Охолодження виливка проводиться поступово. Це допоможе уникнути утворення внутрішніх напружень у металі.

Додаткові заходи для підвищення якості виливок:

-додавання легуючих елементів, таких як нікель, хром, молібден, допомагає підвищити міцність, твердість і зносостійкість виливок;

-застосування модифікаторів, таких як ферросіліцій, ферромаргнець, допомагає покращити структуру металу і зменшити кількість дефектів;

-контроль якості виливок проводиться за допомогою різних методів, таких як рентгенографія, ультразвукова дефектоскопія та ін. Це дозволяє виявити дефекти на ранніх стадіях і усунути їх;

Дотримання цих вимог допоможе отримати якісні виливки зі сталі 120Г18Х2МНЛ, які відповідати всім необхідним вимогам.

2 ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ СТАЛІ 110Г13Л, ВИПЛАВЛЕНОЇ МЕТОДОМ ПЕРЕПЛАВУ ТА ОКИСЛЕННЯ

2.1. Технологія плавки.

Процес плавки сталі 110Г13Л методом переплаву полягає в розплавленні марганцевого лому, доведення металу по хімічному складу, розкисленні шлаку, випуску при суворо встановлених температурах, розкисленні алюмінієм і модифікуванні ферротитаном у ківші.

Виплавка сталі на свіжих матеріалах методом окислення домішків відрізняється тим, що при даному процесі шихтою є вуглецевий лом та вуглецеві відходи власного виробництва. Технологічний процес виплавки полягає в розплавленні шихти, окисленні вуглецю (попутно кремнію і марганцю), проведенні процесу дефосфорації, легуванні металу, доведення його до заданого хімічного складу, випуску встановлених температурах, розкисленні алюмінієм та модифікуванні ферротитаном в ківші. Окремо операції ведення плавки описані в діючих технологічних інструкціях і тому в даному звіті не розглядаються.

2.2 Хімічний склад сталі.

Хімічний склад сталі 110Г13Л, рекомендований діючими ДСТУ 8781:2018 (відливки із високо марганцевої сталі зі спеціальними властивостями). ГОСТ 7523-55 (млини шарові, плити броне футерувальні) і технологічною інструкцією ЗЛМЗ філія 2 представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 –Хімічний склад.

ДСТУ	Хімічний склад, %						
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
				Не більше			
8781:2018	1,0- 1,5	11,0- 15,0	1,0	0,05	0,10	0,5	0,5

Нижче приведені результати статистичної обробки даних хімічного аналізу плавки, виплавлених методом переплаву та окислення в другому півріччі 2019 р. та в першому півріччі 2020 році.

Встановлено, що склад вуглецю в сталі, виплавленої методом окислення, трохи нижче, ніж в сталі, виплавленої методом переплаву(табл.2.2, мал.1).

Таблиця 2.2- Розподіл плавки по складу вуглецю,%.

Метод виплавки	Склад вуглецю,%				
	0,85-0,94	0,95-1,04	1,05-1,14	1,15-1,24	1,25-1,35
Окислення	0	0	75,0	25,0	0
Переплав	0	0	60,0	40,0	0

Склад марганцю, сірки та титану в сталі, виплавленої обома методами, практично однаково та задовольняє потреби ДСТУ .

Таблиця 2.3- Розподіл плавки по складу марганцю,%.

Метод виплавки	Склад марганцю,%			
	11,0-12,0	12,01-12,51	12,52-13,50	13,51-14,99
Окислення	0	25,0	75,0	0
Переплав	0	80,0	20,0	0

Таблиця 2.4- Розподіл плавки по складу сірки,%.

Метод виплавки	Склад сірки,%			
	0,006-0,0089	0,009-0,0119	0,012-0,0149	0,015-0,0179
Окислення	25,0	0	25,0	50,0
Переплав	100,0	0	0	0

Таблиця 2.5- Розподіл плавок по складу титану, %.

Метод виплавки	Склад титану, %		
	0,02-0,039	0,04-0,059	0,06-0,079
Окислення	25,0	75,0	0
Переплав	20,0	60,0	20,0

Таблиця 2.6-Розподіл плавок по складу кремнію, %.

Метод виплавки	Склад кремнію, %		
	0,55-0,64	0,65-0,74	0,75-0,86
Окислення	0	50,0	50,0
Переплав	60,0	0	40,0

Таблиця 2.7-Розподіл плавок по складу хрому, %.

Метод виплавки	Склад хрому, %			
	0,10-0,20	0,21-0,30	0,31-0,40	0,41-0,50
Окислення	50,0	50,0	0	0
Переплав	0	0	60,0	40,0

Таблиця 2.8- Розподіл плавок по складу нікелю, %.

Метод виплавки	Склад нікелю, %	
	0,07-0,19	0,2-0,29
Окислення	100,0	0
Переплав	80,0	20,0

Як показав аналіз складу фосфору в готовому металі методі виплавки – окислення значно нижче, чим методом виплавки переплав (табл.2.9, рис.8), що говорить про використання феросплавів, які мають відносно високе зміст

фосфору. При цьому проведення дефосфорації вуглецевого розплаву при виплавці сталі методом окислення було близько до ефективного.

Таблиця 2.9- Розподіл плавки по складу фосфору, %.

Метод виплавки	Склад фосфору, %		
	0,050-0,060	0,061-0,070	0,071-0,080
Окислення	25,0	50,0	25,0
Переплав	20,0	60,0	20,0

Після технологічного процесу окислення вуглецевої шихти металу складає 0,15-0,30% марганцю (для розрахунку приймаємо 0,2%). Для отримання в металі 11,8-12,5% марганцю необхідно вести 12,3 кг марганцю на 1000 кг рідкої сталі.

Легування виробляється феромарганцем ФМн88, який складає близько 88% марганцю та 0,3% фосфору. Для досягнення в сталі 11,8-12,5% марганцю на 1000 кг рідкої сталі необхідно вести 175 кг феромарганцю. згідно технологічної інструкції потрібно проводити дефосфорацію таким чином, щоб в кінці окислювального періоду склад фосфору в металі складало 0,015-0,020% кг феромарганцю ФМн88, який збільшує склад фосфору в металі на 0,05%. Середній склад фосфору в ківшеві пробі сталі, виплавленій методом окислення, 0,075-0,084% (табл.2. 9).

Крім того, порівняння хімічного складу сталі, виплавленої в 2019 та 2023 роках (таблиці 2.2, 2.3, даного звіту та таблиці 2.11, 2.12, проміжного звіту за 2020 року). Сталь, виплавлена в теперішній час складає на 0,1% вуглецю менше незалежно від методу виплавки. Це істотно відображається на якість виплавленої сталі в бік покращення по причині покращення співвідношення вмісту в готовому металі вуглець/марганець (рекомендовано оптимальне – 1/10).

Склад марганцю в сталі, виплавленої методом переплаву, знизилось на 1 %. Це покращення роботи дозволило значно знизити витрати металевого марганцю на 1 т рідкої сталі.

В теперішній час поняття хімічного складу сталі, крім звичайно визначених елементів, включається також склад газів в сталі. Викликано тим, що багато дефектів відливок з'являються саме при високому вмісту азоту в готовому металі.

Результати випробувань представлені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10- Вплив методу виплавки на газонасиченості сталі 110Г13Л.

Метод виплавки	Кількість плавов	Склад газів		
		[O], %	[N], %	[H], %
Окислення	4	-	0,013	-
Переплав	5	-	0,027	-

Вміст в готовому металі кисню та водню не вимірюється в умовах ЗЛМЗ філія 2.

2.3. Механічні властивості і холодостійкість.

Механічні властивості сталі є одним із важливих критеріїв, що дозволяють судити про експлуатаційні можливості виплавленого металу. Використання технології отримання литих зразків дозволило на відносно великій кількості плавов випробування механічні властивості високо марганцевої сталі, виплавленої методом окислення чи методом переплаву.

Проведені дослідження показали, що від методу виплавки, сталь 110Г13Л не значно, але має відмінність в бік погіршення механічних властивостей у метода – переплав, чим метод виплавки окислення (табл.2.11).

Таблиця 2.11-Вплив методу виплавки на механічні властивості сталі 110Г13Л.

Технологія виплавки	Кількість плавков	Механічні властивості				
		δ_v , дан/мм ²	δ , %	Ψ , %	a_n , дадж/см ²	H_b
Окислення	10	68,3	28,6	25,4	24,5	217
Переплав	10	69,7	28,7	26,1	24,8	217

Фізико-механічні та експлуатаційні властивості сталі в значній мірі визначається гранулярністю її структури.

В сталі з великою структурою міжзеренні прошарки більше, ніж в дрібнозернистою, та більше послабленні виділеннями карбідів та фосфідів. Великі зерна мають нерівномірний склад, та скажений внутрішньо кристалічною ліквациєю. В протилежність їй дрібнозерниста сталь має дрібне зерно рівномірного складу з тонкою міжзеренним прошарком та володіє кращими механічними та експлуатаційними властивостями.

Позначено, що сталь, що розливається при низьких температурах, має після загартування дрібну структуру, що розливається при високих температурах – грубу близько до трансклісталічної структури. Оптимальною температурою розливання є інтервал температур 1430-1450 °С.

2.3.1. Використання сучасних методів заміру температури сталі при випуску із печі (термопара замість оптичного пірометра) і організаційні заходи (виплата за виплавлену сталь за категоріями) дозволили підвищити технологічну дисципліну робітників ливарного цеху. Перевірка показала, що в 2019 році більше 50% всіх плавков випускались при температурі сталі 1490-1530 °С (табл. 2.12, мал. 9).

Таблиця 2.12-Температура випуску сталі

Метод виплавки	Температура випуску, °С				
	1450-1469	1470-1489	1490-1509	1510-1529	1530-1550
Окислення	4,0	13,5	25,5	39,5	17,5
Переплав	5,0	23,0	41,0	19,0	12,0

Це дозволило розливати всі плавки в потрібному інтервалі температур та після загартування отримувати дрібнозернисту структуру з зерном аустеніту 4-5 балів по шкалі .

2.3.2. Неметалеві включення .

Для аналізу неметалевих включень були проведені промислові плавки високо марганцевої сталі методом окислення та методом переплаву. При випуску плавки в ківш присаджувались різні домішки алюмінію, феротитану та силікокальцію (табл. 2.14).

Від кожної плавки були відібрані зразки для металографічного аналізу.

Дослідження показало, що одним з видів неметалевих включень високо марганцевої сталі, модифікований феротитаном, являються нітриди та карбонітриди титану. Ці включення являють собою золотисті кристали правильної форми розмірами до 10мк. Передбачають, що крім видимих на шліфах включень нітридів титану в сплаві є значну велику кількість дисперсних частин нітридів колоїдальних розмірів.

Крім нітридів титану в високо марганцевої сталі зустрічаються глобули алюмосилікатів, марганцевих силікатів та багатофазні глобулярні включення оксидосульфідів.

Всі включення подрібнені та рівномірно розташовані по полю шліфа.

Аналіз дослідних плавок, що метод виплавки сталі не впливають на природу та характер неметалевих включень.

Зазначено, що кількість присаджувального титану впливає на кількість нітридів титану в сталі. Чим менше спектрально визначений склад титану в сталі, тим менша кількість нітридів та карбонітридів титану.

Таблиця 2.13-Хімічний склад

№ плавки	Метод виплавки	Присадки в кг/т			Хімічний склад, %							
		Al	Ti	SiCa	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
70126	Окислення	0,5	2,0	-	1,09	12,50	0,66	0,071	0,019	0,22	0,10	0,058
60167	Переплав	0,5	2,0	-	1,17	12,0	0,62	0,073	0,006	0,48	0,22	0,060

60746	Окислення	1,0	2,0	-	1,05	13,79	0,78	0,056	0,007	0,17	0,15	0,052
100360	Переплав	1,0	2,0	-	1,13	12,32	0,83	0,065	0,004	0,34	0,18	0,031
100023	Переплав	-	2,0	-	1,14	12,70	0,86	0,065	0,007	0,48	0,12	0,057
70940	Переплав	0,5	1,0	-	1,05	12,06	0,63	0,052	0,004	0,36	0,13	0,045
60583	Окислення	0,5	1,0	-	1,08	12,95	0,73	0,065	0,014	0,17	0,08	0,053
70170	Переплав	0,5	2,0	1,0	1,12	12,05	0,60	0,062	0,006	0,33	0,11	0,040
70582	Окислення	0,5	2,0	1,0	1,15	12,90	0,78	0,064	0,018	0,21	0,15	0,046

Кількість веденого алюмінію не впливає на спільну кількість включень титану, але впливає на розмір та характер їх розподілення в матриці металу. Встановлено, що при підвищених домішках алюмінію (в порівнянні зі звичайною домішкою 0,45 кг/т рідкої сталі) нітриди титану більш великі (рис. 13а) або розташовуються групами (рис. 13б). При модифікуванні феротитаном без розкислення алюмінієм включення нітридів дрібні, порядку 3-4 мк (рис.13в).

Якщо в сталь вести додатково до алюмінію та титану силікокальцію в кількості 1 кг/т, то утворюються нітриди титану також дрібні та рівномірно розташовані, але наряду з ними утворюються багато дуплексних глобулярних включень оксидосульфідів (рис.13г). Таким чином для отримання дрібних та рівномірних розподілених включень титану в сталь необхідно водити 4,6 кг/т рідкої сталі феротитану без присадок алюмінію. Але умови розливання металу по ливарним формам не дозволяють випускати сталь без остаточного розкислення алюмінієм, і в цьому випадку необхідно вводить мінімально можлива кількість алюмінію.

2.4. Аналіз роботи електропечей.

В умовах фасонно-ливарного цеху ЗЛМЗ філія 2 незалежно від методу виплавки сталі оптимальна вага плавки складає 7-9 т. (табл. 2.14, рис. 10).

Таблиця 2.14 -Розподіл плавок по вазі, %

Метод виплавки	Вага плавки, т					
	5,00-5,99	6,00-6,99	7,00-7,99	8,00-8,99	9,00-9,99	10,00-11,00
Окислення	3,0	11,0	44,0	42,0	0	0
Переплав	2,0	10,0	30,0	31	0	28,0

Як встановлено раніше подальше збільшення ваги плавки приводить до різкого збільшення тривалості плавки, зниженню питомої продуктивності печей та невиправданому перевантаженню електричного обладнання.

Тривалість періоду розплавлення коливається в широких межах, вона залежить від ваги плавки та від складу метало шихти. Середня тривалість періоду розплавлення складає 1 год. -1 год. 30 хв. при виплавці методом переплаву та декілька більше при плавці на свіжих матеріалах (табл 2.16, рис.11) за рахунок наявності довалок.

Таблиця 2.15. -Розподіл плавки питомої продуктивності печі, %

Метод виплавки	Питома витрата електроенергії , квт*год/т				
	500-600	601-700	701-800	801-900	901-1000
Переплав	33,0	35,0	9,0	12,0	11,0
Окислення	-	40,0	35,0	3,0	22,0

2.5. Результати виробничих випробувань.

Для визначення впливу методу виплавки високо марганцевої сталі на зносостійкість були проведені промислові випробування найбільш відповідальних деталей: рухливих та нерухливих броні конусних дробарок. Звичайно ці відливки виливаються із сталі, виплавленої методом окислення. Але для проведення порівняння на підприємстві були відлиті броні конусних дробарок із сталі 110Г13Л, виплавленої методом переплаву. Технологія виплавки та модифікування сталі проводилось звичайним способом.

Прослідкувати за роботою всіх відливок не вдалося, з причини того, що механіки, які виробляють зміну броні конусних дробарок, не відмітили час встановлення та зняття броні. Броні конусних дробарок м були відправлені та прослідкувати за їх роботою не було можливості.

В теперішній час вилита велика партія броні конусних дробарок зі сталі 110Г13Л, виплавленої методом переплаву. Ці відливки будуть експлуатуватися в січні – березні 2024 року. Результати цих випробувань будуть представлені додатково.

Вибір раціонального складу високо марганцевої сталі з додатковим легуванням хромом, нікелем та молібденом для відливок броньованих футерувальних плит для обладнання гірничо-добувної промисловості.

Важливою потребою для відливок із високо марганцевої сталі є поєднання високої міцності та експлуатаційних показників. Але з погіршенням якості феромарганців в частині вмісту фосфору та з причини, що цілий ряд відливок, для яких за умовою їх роботи, потребує ще більш висока міцність, виникла необхідність в легуванні високо марганцевої сталі хімічними елементами, які впливають на механічні показники сталі: хром, нікель, молібден.

До таких відливок відносяться конусні та футерувальні броні. Важливою умовою для них є висока зносостійкість .

В даному випробуванні була поставлена задача підібрати оптимальний хімічний склад та режими термічної обробки для відливок указанного типу з метою максимального збільшення зносостійкості. В сенсі оптимального складу по вуглецю для сталі 110Г13Л (1,05-1,25%), та літературних даних впливу хрому, нікелю та молібдену на властивості високо марганцевої сталі, як приклад була запропонована експериментальна марка сталі 120Г18Х2МНЛ

В фасово-ливарному цеху ЗЛМЗ філія 2 були проведені дослідні плавки сталі 120Г18Х2МНЛ, хімічний склад яких представлені в таблицях 2.16, 2.17.

Таблиця 2.16- Хімічний склад опитних плавков.

№ плавков	Хімічний склад, %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Al
Рекомендо ані межі хім. елементів для дослідної сталі 120Г18Х2 МНЛ	1,13- 1,25	17,0- 19,0	0,3- 0,75	≤0,06 5	≤0,02	1,0- 1,5	0,20- 0,50	0,20- 0,50	0,01- 0,05	0,01- 0,04
100174	1,25	17,87	0,49	0,062	0,007	1,05	0,25	0,21	0,022	0,015
100175	1,21	18,0	0,46	0,065	0,007	1,03	0,22	0,23	0,015	0,021
100176	1,15	17,83	0,53	0,063	0,006	1,41	0,208	0,20	0,013	0,016
100181	1,2	17,7	0,46	0,065	0,003	1,33	0,24	0,22	0,025	0,03

Таблиця 2.17-Номера моделей та креслень виливок з вказаних плавков.

№ плавки	Марка сталі	№ моделі	Порядковий номер	Найменування	Креслення
10174	120Г18Х2МНЛ	9726	11	Броня нерухома	1275.07.42 9
10175	120Г18Х2МНЛ	9726	12	Броня нерухома	1275.07.42 9
10176	120Г18Х2МНЛ	9726	13	Броня нерухома	1275.07.42 9
10181	120Г18Х2МНЛ	5097	31	Броня конуса	1275.05.31 7-3.К
		5097	32	Броня конуса	1275.05. 317-3.К

Із металу опитних плавов були відлиті броне-футерувальні деталі для шарових млинів.

Термічна обробка плит вироблялася згідно спеціально розробленої технології для високо марганцевої сталі 120Г18Х2МНЛ (метод виплавки окислення)

Перевірка механічних властивостей опитної сталі показала, що сталь 110Г13Л володіє не достатньо високими механічними властивостями (табл.2.18).

Таблиця 2.18-Механічні властивості сталі опитних плавов

№ плавов	Механічні властивості			
	δ_{ϵ} , кгс/мм ²	δ , %	Ψ , %	КСУ, кДж/м ²
100174	429	11,4	13,1	740
100175	442	18,7	15,6	726
100176	397	12,0	13,7	749
100181	401	14,6	13,1	734

За час експлуатації опитного комплекту броне-футеровок випадків поломок якої-небудь броні не спостерігалися.

Замір твердості сталі в площині перпендикулярній робочій поверхні футеровки показало, що сталь 120Г18Х2МНЛ також зазнає наклеп подібно сталі 110Г13Л (мал. 21).

На рисунках 21 та 22 представлені мікроструктури сталі 120Г18Х2МНЛ і сталі 110Г13Л, а на рисунках 18 і 19 мікроструктури наклепаного шару тих же самих сталей.

Проведені металографічні випробування показують, що режим термічної обробки відливок із сталі 120Г18Х2МНЛ не був оптимальним. В

мікроструктурі металу є наявність карбідів різних балів величини, що немає бути в якісно проведеному режимі термічної обробки. Рекомендований згідно проведених робіт режим термічної обробки вказується на малюнку 2.1.

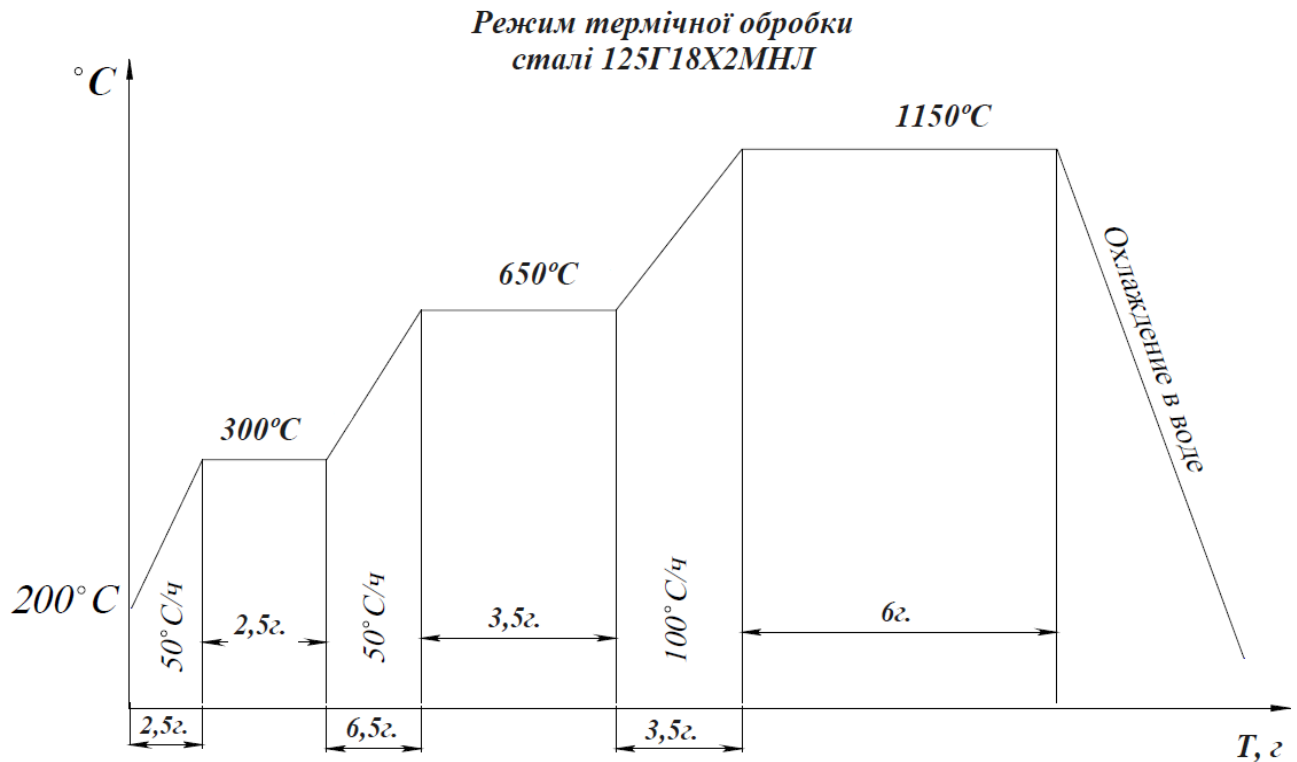


Рис 2.1-Режими термічної обробки сталі 125Г18Х2МНЛ

Підвищення складу марганцю дозволяє значно підвищувати зносостійкість високо марганцевої сталі. Вартість 1 тони придатного лиття із сталі 120Г18Х2МНЛ вище, ніж із сталі 110Г13Л, але масове виробництво бронефутерувальних плит із сталі 120Г18Х2МНЛ дасть більший економічний ефект, який буде також підвищуватись за рахунок більшого терміну експлуатаційної компанії виробів з цієї експериментальної марки сталі.

2.6. Висновки:

1. Встановлено, що сталь виплавлена методом переплаву має декілька більший склад вуглецю, кремнію, хрому та нікелю та відносно високий склад фосфору в порівнянні зі сталю виплавленої методом окислення. Однак, при

любому методі виплавки хімічний склад сталі знаходиться в межах ДСТУ 8781:2018 та ТД заводу.

2. Сталь виплавлена методом окислення містить значно меншу кількість азоту (азот-0,012-0,016%), чим при методі виплавки - переплав.

3. Мікроструктура, вміст неметалевих включень та їх природа не однакові для обох методів виплавки.

4. Рівень механічних властивостей і холодостійкість сталі виплавленої обома методами не однакові.

5. Техніко-економічні показники виробництва сталі методом переплаву вище, ніж окислення.

6. Виробничі випробування показали, що вплив метода виплавки високо марганцевої сталі на зносостійкість відливок на момент проведення робіт виявити не вдалось.

7. Згідно вказаних літературних та приведених в цій роботі даних рекомендовано для виробництва особливо важко працюючих деталей гірничо-збагачувального комплексу використовувати сталь 110Г13Л, вироблену методом окислення (на свіжій шихті) та з вмістом вуглецю 0,95-1,25% та марганцю близько 12,5%.

8. Проведення випробувань показали, що сталь 120Г18Х2МНЛ володіє більш високим рівнем механічних властивостей, ніж сталь 110Г13Л.

9. Сталь 120Г18Х2МНЛ терпить в години праці наклеп подібно сталі 110Г13Л і здатна краще працювати в умовах ударно-абразивного зносу.

10. Промислові випробування конусних броней та футерувальних плит шарового млину, вилитих із сталі 120Г18Х2МНЛ не проводились, але наявність результатів випробувань образків з цієї сталі показали, що відливки із сталі 120Г18Х2МНЛ будуть значно вищими по механічним властивостям відливкам із сталі 110Г13Л по зносостійкості та довговічності.

11. Використання сталі 120Г18Х2МНЛ для конусних броней та броне-футерувальних плит замість сталі 110Г13Л дозволяє мати економічний ефект

при масовому виробництві цих виробів, як приклад була запропонована експериментальна марка сталі 120Г18Х2МНЛ

збільшення ходимості виробів із сталі 120Г18Х2МНЛ над сталлю 110Г13Л - 30%.

Таким чином, різниця між собівартістю однієї тонни придатної сталі 120Г18Х2МНЛ і сталі 110Г13Л на основі наведених вище актуальних даних по ЗЛМЗ філія 2 становить:

$\Delta C \text{ п.} = 118983,98 \times 0,7 - 104042,06 = -20753,27 \text{ грн./т придатного литва.}$

Виходячи з вищевикладеного, теоретичний економічний ефект від застосування виробів, виготовлених із сталі 120Г18Х2МНЛ (метод виплавки – окислення) замість сталі 110Г13Л (метод виплавки – окислення) складе 20753,27 грн. на кожній тонні готового виробу.

4. ОБЛАДНАННЯ, ЯКЕ ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ НА СТЕПЛВІЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЯХ СФЛЦ ЗЛМЗ ФІЛІЯ 2

Дугова електрична піч ДСП 6 Н1(2), яка застосовується в СФЛЦ ЗЛМЗ філія 2 та є оптимально рекомендованою в виробництві сталей 110Г13Л та 120Г18Х2МНЛ (методи виплавки – окислення) з метою подальшої її розливки в ливарні форми. Вона складається з таких основних вузлів: корпуса 5, робочого вікна 4, знімного купольного склепіння 6, опорного елемента печі (колиски) 2, напівпорталу 10, електродотримачів 7 з електродами 8, а також ряду механізмів - затиску електродів 9, переміщення електродотримачів 11, підйому склепіння 12, повороту напівпорталу 14, повороту корпуса 3, нахилу печі 1 і 13.

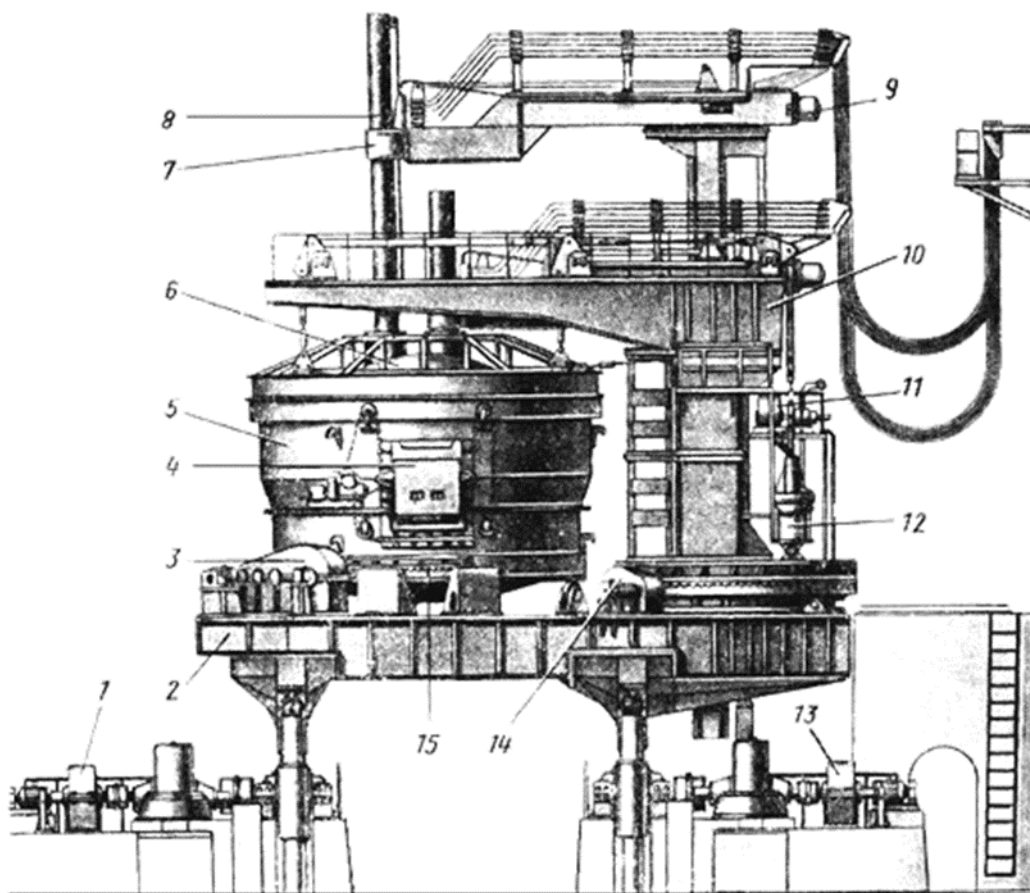


Рис.4.1- Дугова електрична піч ДСП 6 Н1(2)

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ДОСЛІДНИКА

Усі дослідження в даній магістерській роботі проводилися в наступних лабораторіях: експрес лабораторія, шліфувальна та металографічна.

Площа приміщень відповідають санітарним нормам промислових підприємств. Освітлення лабораторій змішане, природне освітлення здійснюється за допомогою вікон, штучне-за допомогою ламп розжарювання. Обмін повітря в лабораторіях досягається за рахунок природньої вентиляції через вікна.

Обігрів повітря в лабораторіях проводиться за допомогою загальної системи опалення. В приміщенні температура становить 20°C, що відповідає санітарним нормам.

В усіх лабораторіях центральний прохід вільний, доступ до обладнання не обмежений. Для гасіння пожеж в лабораторіях є вогнегасники, сипучі матеріали(пісок), вода.

Правила безпечної роботи [2] на спектральному приладі «Spectrolab» та «Spectromaxx»:

- до роботи на спектральних приладах допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли спеціальне навчання по спектральному аналізу, і засвоїли правила охорони праці при роботі на електроустановках;

- при роботі на спектральному обладнанні повинна бути хороший захист від можливого ураження електричним струмом, із заземленням і блокування;

- підлога у приладів повинна бути покрита гумовим килимком, перед роботою перевіряється надійність заземлення, дотримується чистота робочого місця;

- всі перемикачання на спектрометрі, виконувати згідно з інструкцією по експлуатації у встановленій послідовності;

- технічне обслуговування та ремонт можуть виконувати тільки кваліфікованим персоналом;

-забороняється будь-які маніпуляції на пристроях безпеки! Якщо виникла підозра, що один з пристроїв безпеки працює не бездоганно, слід негайно вимкнути прилад;

-обов'язково дотримуватися приписів інформаційних табличок на приладі;

-експлуатація приладу допускається тільки від мережі із захисним заземлюючим проводом;

-перед відкриванням приладу необхідно знеструмити.

Неприпустимі умови експлуатації приладу:

-якщо мають місце несправності або пошкодження;

-якщо технічне обслуговування проводиться нерегулярно;

-якщо умови навколишнього середовища не відповідають технічним даним ;

-при включеному пристрої є небезпека ураження електричним струмом в разі дотику до електроду або при вийманні пробі в процесі проведення вимірювань.

Забороняється:

-працювати на несправному і незаземленому приладі;

виробляти чистку та заміну столика спектрометра при включеному генераторі;

-торкатися струмоведучих клем;

-працювати з несправним блокуванням столика.

Правила безпечної роботи при підготовці проб ливарного виробництва:

-до роботи в пробній допускаються особи, які досягли 18-річного віку, які знають будову устаткування, правила охорони праці та пройшли курси на право самостійного обслуговування обладнання;

-при роботі на верстатному устаткуванні стежити за чистотою і порядком на робочих місцях;

-працювати на верстатах в спецодязі, рукава застібнуті, підібрати волосся;

-стежити за справністю огорожі обертових частин верстатів і заземлення устаткування;

-при роботі на верстах надіти захисні окуляри;

-очищення верстатів від абразивної і металевого пилю, шматків металу або стружка виконувати щіткою-зміткою, гачками або іншими пристосуваннями, після повної зупинки верстата;

-при несправності, обладнання повинно бути зупинене і знеструмлене;

-про неполадки повідомляти змінному інженеру-лаборанту, начальнику лабораторії.

Заборонено:

-передавати будь-які предмети через обертові частини верстатів;

-виробляти чистку, прибирання і змащування обертових частин верстата на ходу;

-працювати на верстатах без захисних окулярів;

-допускати до верстатів сторонніх осіб;

-передавати ключ-бирку стороннім особам.

Правила безпечної роботи на заточувальних і шліфувальних верстатах.

Перед початком роботи необхідно:

-привести в порядок робочий одяг і користуватися запобіжними окулярами;

-перевірити наявність і міцність кріплення захисного кожуха, що захищає шліфувальне коло;

-перевірити, чи немає тріщини і вибоїн на абразивному колі;

-провести випробування кола на холостому ході при робочих оборотах шпинделя, що не менш 5-ти хвилин;

-перевірити справність пускових, зупиночних і реверсивних пристроїв, щоб переконатися в надійності включення і відключення верстата;

-відстань між підручником верстата і абразивним колом не більше ніж 3 мм.

-перед включенням верстата переконатися, що його пуск нікому не загрожує небезпекою;

-обробка проб повинна проводитися плавно, з поступовим натисканням;

-виправлення кола проводиться шарошками;

-оберігати коло від ударів і поштовхів;

Обов'язково зупиняти верстат і вимикати його з застосуванням ключ-бирки в наступних випадках:

-при відлученні від верстата навіть на короткий час;

-при перерві подачі електроенергії;

-для очищення, змащення, прибирання та налагодження верстата.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:

-пам'ятайте, що свідоме приховування факту серйозного випадку або виробничої травми є порушенням Кардинальних Правил, порушення яких передбачає дисциплінарну відповідальність;

-аварійною ситуацією є будь-яка зміна в нормальній роботі обладнання, яка створює загрозу безперебійній роботі іншого обладнання, створює небезпеку для обслуговуючого персоналу;

-для запобігання можливим аваріям на виробництві необхідно дотримуватись вимог робочих інструкцій, інструкцій з охорони праці, інструкцій з експлуатації обладнання, технологічних схем виробництва, технологічних інструкцій;

-в аварійній ситуації необхідно діяти чітко, швидко, спокійно, дотримуючись усіх правил безпеки, тому що від цього залежить не тільки Ваше життя, а й життя людей, що знаходяться поруч;

-якщо склалася ситуація, яка може призвести до аварії або нещасного випадку, слід негайно припинити роботу, відключити електроживлення, огородити небезпечну зону, не допускати в неї сторонніх осіб, повідомити про те, що сталося безпосереднього керівника.

6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього середовища на підприємстві - це комплекс заходів, спрямованих на запобігання або зменшення негативного впливу господарської діяльності підприємства на навколишнє середовище.

Основні завдання охорони навколишнього середовища на підприємстві:

Раціональне використання природних ресурсів. Це означає, що підприємство має використовувати природні ресурси таким чином, щоб не допустити їх виснаження. Наприклад, підприємство може використовувати повторно або переробляти відходи, щоб зменшити споживання сировини.

Забезпечення екологічної безпеки. Це означає, що підприємство має запобігати забрудненню навколишнього середовища. Наприклад, підприємство може встановлювати очистні споруди, щоб очищати викиди в атмосферу та скиди в річки.

-природних екосистем, які розташовані в його околицях. Наприклад, підприємство може створювати захисні зелені зони, щоб запобігти ерозії ґрунтів.

Основні напрями охорони навколишнього середовища на підприємстві:

-Використання енергозберігаючих технологій. Це дозволяє зменшити споживання енергії, а отже, і зменшити шкідливі викиди в атмосферу.

-Використання екологічно чистих технологій. Це дозволяє зменшити або повністю виключити шкідливий вплив на навколишнє середовище. Наприклад, підприємство може використовувати технології безвідходного виробництва або технології, які дозволяють переробляти відходи.

-Пропаганда екологічної культури серед працівників підприємства. Це дозволяє підвищити рівень екологічної відповідальності працівників і сприяє зменшенню шкідливого впливу підприємства на навколишнє середовище.

-Запровадження заходів з охорони навколишнього середовища на підприємстві має ряд переваг, зокрема:

-Зменшення витрат на природні ресурси та енергію.

-Зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу та скидів забруднень у водойми.

-Підвищення іміджу підприємства та його конкурентоспроможності.

-Охорона навколишнього середовища є важливою складовою діяльності будь-якого підприємства. Вона сприяє захисту навколишнього середовища та забезпеченню екологічної безпеки.

-

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що сталь виплавлена методом переплаву має декілька більший склад вуглецю, кремнію, хрому та нікелю та відносно високий склад фосфору в порівнянні зі сталю виплавленої методом окислення. Однак, при будь-якому методі виплавки хімічний склад сталі знаходиться в межах ДСТУ 8781:2018 та ТД заводу.
2. Сталь виплавлена методом окислення містить значно меншу кількість азоту (азот-0,012-0,016%), чим при методі виплавки - переплав.
3. Мікроструктура, вміст неметалевих включень та їх природа не однакові для обох методів виплавки.
4. Рівень механічних властивостей і холодостійкість сталі виплавленої обома методами не однакові.
5. Техніко-економічні показники виробництва сталі методом переплаву вище, ніж окислення.
6. Виробничі випробування показали, що вплив метода виплавки високо марганцевої сталі на зносостійкість відливок на момент проведення робіт виявити не вдалось.
7. Згідно вказаних літературних та приведених в цій роботі даних рекомендовано для виробництва особливо важко працюючих деталей гірничо-збагачувального комплексу використовувати сталь 110Г13Л, вироблену методом окислення (на свіжій шихті) та з вмістом вуглецю 0,95-1,25% та марганцю близько 12,5%.
8. Проведення випробувань показали, що сталь 120Г18Х2МНЛ володіє більш високим рівнем механічних властивостей, ніж сталь 110Г13Л.
9. Сталь 120Г18Х2МНЛ терпить в години праці наклеп подібно сталі 110Г13Л і здатна краще працювати в умовах ударно-абразивного зносу.

Промислові випробування конусних броней та футерувальних плит шарового млину, вилитих із сталі 120Г18Х2МНЛ не проводились, але наявність результатів випробувань образків з цієї сталі показали, що відливки із сталі 120Г18Х2МНЛ будуть значно вищими по механічним властивостям відливкам із сталі 110Г13Л по зносостійкості та довговічності.

10. Використання сталі 120Г18Х2МНЛ для конусних броней та бронефутерувальних плит замість сталі 110Г13Л дозволяє мати економічний ефект при масовому виробництві цих виробів.
11. Відповідно до фактичних значень ходимості однакових найменувань виробів із сталей 110Г13Л і 120Г18Х2МНЛ, виконаних методом окислення, а також з урахуванням поправочних коефіцієнтів, що враховують значення достовірності фактичного кількості ходимості та значень механічних показників для даних марок сталей, можна прийняти за розрахункове збільшення ходимості виробів із сталі 120Г18Х2МНЛ над сталлю 110Г13Л - 30%.
12. Таким чином, різниця між собівартістю однієї тонни придатної сталі 120Г18Х2МНЛ і сталі 110Г13Л на основі наведених вище актуальних даних по ЗЛМЗ філія 2 становить:
13. $\Delta C \text{ п.} = 118983,98 \times 0,7 - 104042,06 = -20753,27 \text{ грн./т}$ придатного литва.
14. Виходячи з вищевикладеного, теоретичний економічний ефект від застосування виробів, виготовлених із сталі 120Г18Х2МНЛ (метод виплавки – окислення) замість сталі 110Г13Л (метод виплавки – окислення) складе 20753,27 грн. на кожній тонні готового виробу.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тиждень науки-2020. Інженерно-фізичний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана. ISBN 978-617-529-260-0
2. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с5. Мальцев М.В.
3. Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52313/1/Lesiv_bakalavr.pdf
4. Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вивчення структури, властивостей та призначення спеціальних сталей і сплавів хімічного машинобудування, частина II” для студентів усіх форм навчання / Укл.: В.В. Трофименко, В.І. Овчаренко. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – 40 с
5. Кристалізація та властивості сталі у виливках : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів спеціальності 136 «Металургія» денної та заочної форм навчання / уклад. О. Р. Абдулов. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – 39 с.
6. Узлов К.І., Мовчан О.В., Черниш Т.О., Сапунов Ю.М., Колпакова Г.В. Аналіз нормативних вимог до вч-сталі та розробка методики мікроструктурного контролю зереннограничних її характеристик

7. Локтіонов-Ремізовський, канд. техн. наук, пров. наук. співроб., Н. В. Кир'якова, гол. технолог, Г. Е. Федоров, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., М. М. Грибов, гол. технолог, І. В. Олексенко, наук. співроб. Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)
8. АНОТАЦІЯ Тема магістерської роботи: «Дослідження шорсткості поверхні виробу при вібраційному точінні». <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/26773.pdf>
9. Методичні вказівки з дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Вивчення структури, властивостей та призначення спеціальних сталей і сплавів хімічного машинобудування, частина II” для студентів усіх форм навчання / Укл.: В.В. Трофименко, В.І. Овчаренко. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – 40 с
- 10.ГОСТ 21357 – 87 Отливки из хладостойкой и износостойкой стали. Общие технические условия.
- 11.ГОСТ 2176 – 77 Отливки из высоколегированной стали со специальными свойствами. Общие технические условия.
- 12.ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
- 13.ГОСТ 7370 – 2015 Крестовины железнодорожные. Технические условия. ASTM E3 – 11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E112 – 10 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.
- 14.ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия.

- 15.Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра.
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/52313/1/Lesiv_bakalavr.pdf
- 16.Дмитриченко М.Ф. Основи матеріалознавства: Курс лекцій / М.Ф. Дмитриченко, В.М. Ткачук. – К.: НТУ, 2010. – 264 с.
- 17.Дмитриченко М.Ф. Основи матеріалознавства: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. техн. спец. / М.Ф. Дмитриченко, В.М. Ткачук, О.В. Мельник. – К.: НТУ, 2008. – 176 с.
- 18.ДСТУ 8781-2018. Виливки зі сталі. Загальні технічні умови.
- 19.Дубовий О.М. Матеріалознавство для суднобудівників, частина 1, Миколаїв, 1997, 86 с.
- 20.Дубовий, О. М. Інженерне матеріалознавство. Підручник[Текст]/ О.М. Дубовий, Ю.О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедева, С.М. Самохін. – Миколаїв: Видавництво НУК, 2009. – 444 с.
- 21.Інструкція з охорони праці №62.04 для лаборантів хімічного аналізу Центральної заводської лабораторії. м.Кривий Ріг.2023р. 59с
- 22.Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки. Київ: Укрзалізниця, ДНДЦ УЗ. 2009. – 299 с.
- 23.Кузін О.Л., Яцюк Р.А., Металознавство і термічна обробка металів. Підручник.- Львів: Афіша.- 2002.-304 с.
- 24.Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с5. Мальцев М.В.
- 25.Локтіонов-Ремізовський, канд. техн. наук, пров. наук. співроб., Н. В. Кир'якова, гол. технолог, Г. Е. Федоров, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., М. М. Грибов, гол. технолог, І. В. Олексенко, наук. співроб.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ,
Україна

26. Луцкий национальный технический университет. Высшее учебное заведение в Луцке, Украина.
27. Макаревич, О. П. Виробництво виливків із спеціальних сталей / О. П. Макаревич, Г. Є. Федоров, Є. О. Платонов. – К. : Видавництво НТУУ „КПІ“, 2005. – 712 с.
28. Металознавство: Підруч. / О. М. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. - 2-ге вид., перероб. і доп. - К.: Політехніка, 2002. - 384 с.
29. Металознавство: Підручник / О. М. Біляк, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. - К.: Політехніка, 2001. - 375 с.
30. Неорганическое материаловедение: Энциклопедическое издание: Т. 1 «Основы науки о материалах» / под ред. В. В. Скорохода, Г. Г. Гнесина. – Киев: Наукова думка. – 2008. – 1152 с.
31. О.М. Дубовий, Ю.О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедєва, С.М. Самохін. Інженерне матеріалознавство. Підручник – Миколаїв: Видавництво НУК, 2009. – 444 с.
32. СЕКЦІЯ «МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИЛИВКІВ, МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ». Сажнів В.М.1, Чижов Д.В.2 1 канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка" 2 студ. гр. ІФ-119м НУ "Запорізька політехніка"
33. LT. 1: Основы науки о материалах: монография. – 1152 с.: ил. – ISBN 978-00- 0664-0 978-966-00-0664-5. 1. Т. 2: Материалы и технологии: Книга 1: А – О. – 840 с.: ил. – ISBN 978-966- 00-0744-4

34. Федоров Г. Е., Ямшинский М. М., Платонов Е. А., Лютый Р. В. Стальное литье. Литейное производство. Киев, ПАО «ВИПОЛ». 2014. 895 с.
35. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. посібник / С. С. Дяченко. - Х.: ХНАДУ, 2003. - 226 с.
36. Шрамко В. С., Каргинов В. В., Малый А. В. и др. Повышение износостойкости марганцевой стали. Литейное производство. Литье и металлургия. 2 (34), 2005, с. 99–103. Надійшла 29.09.2020

Додаток Г

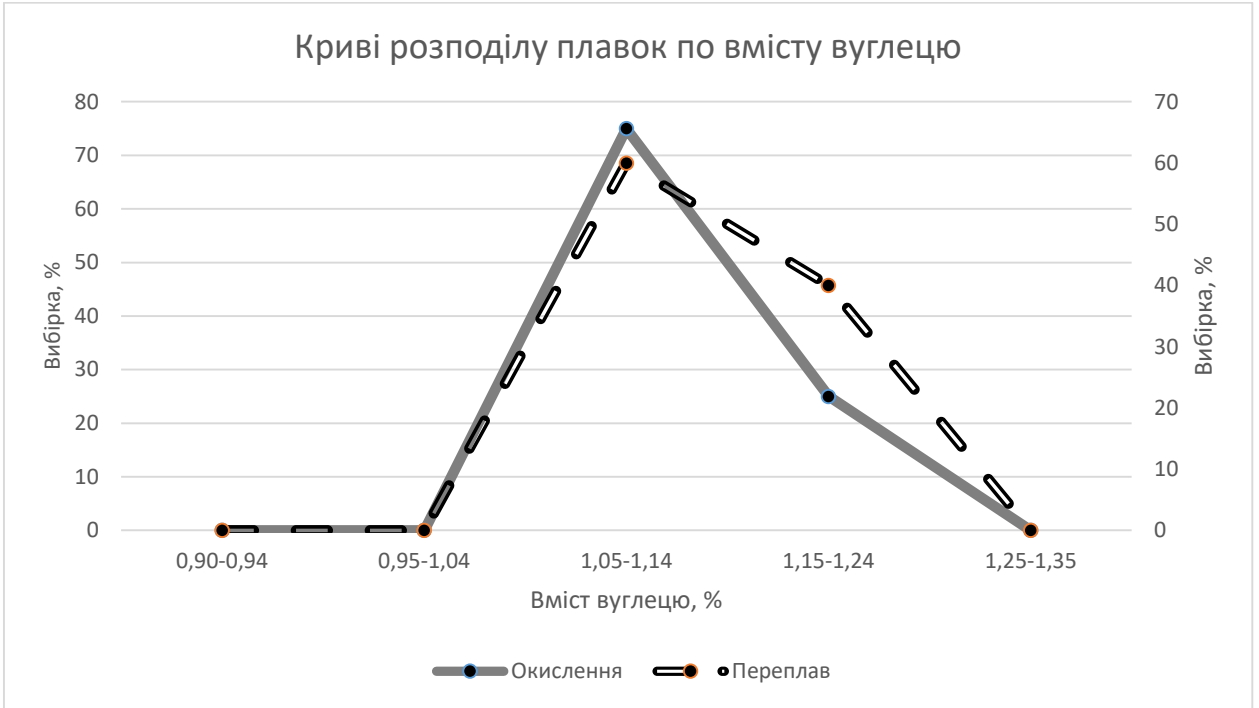


Рис.1-Криві розподілу плавок по вмісту вуглецю. (див.табл.2.2)

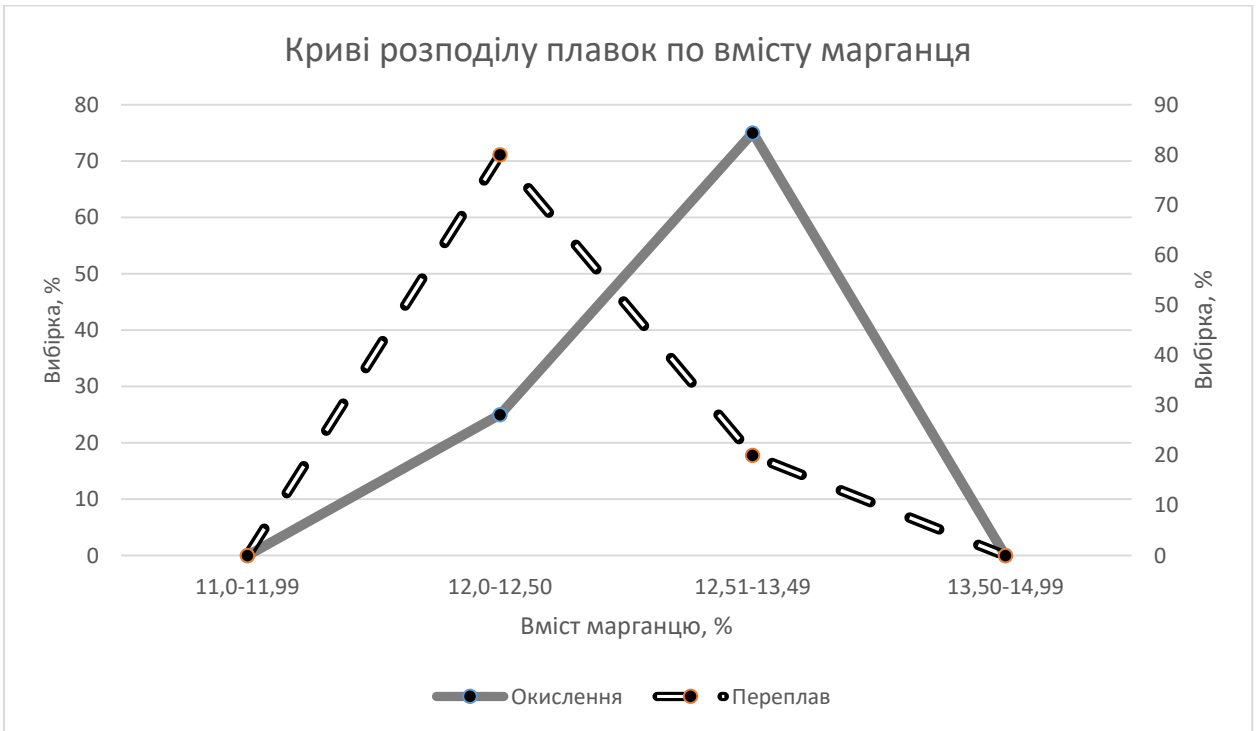


Рис.2- Криві розподілу плавок по вмісту марганцю. (див.табл.2.3)

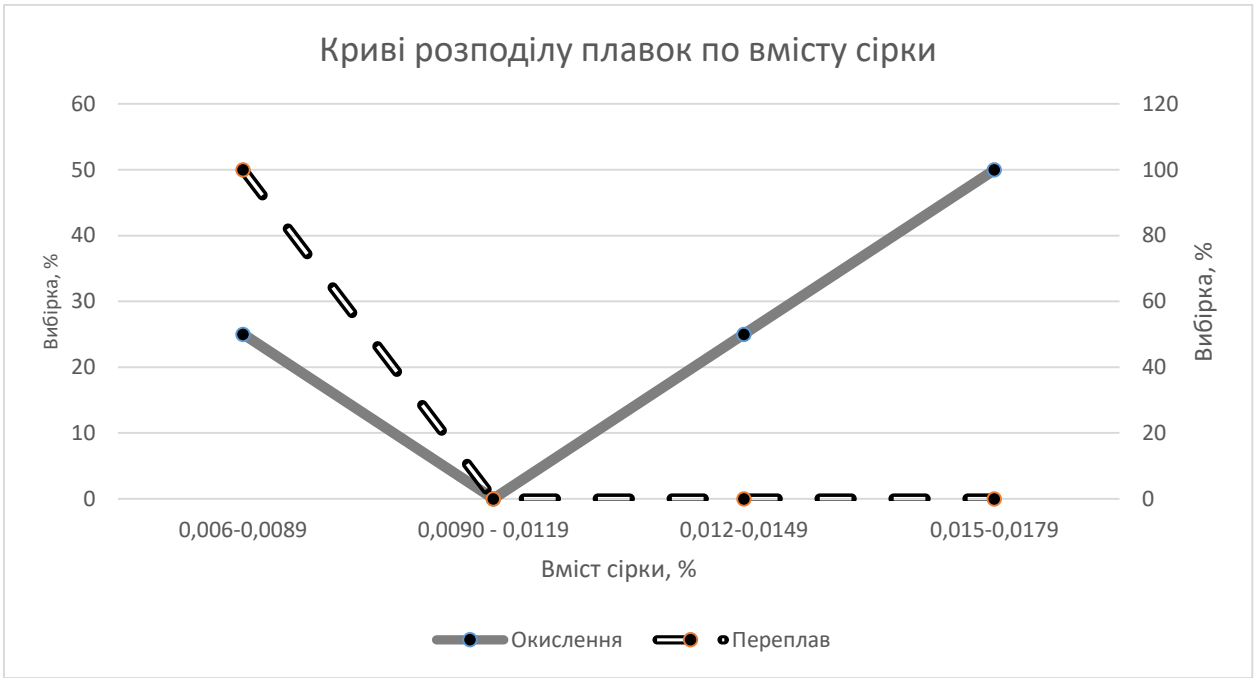


Рис.3- Криві розподілу плавок по вмісту сірки. (див.табл.2.4)

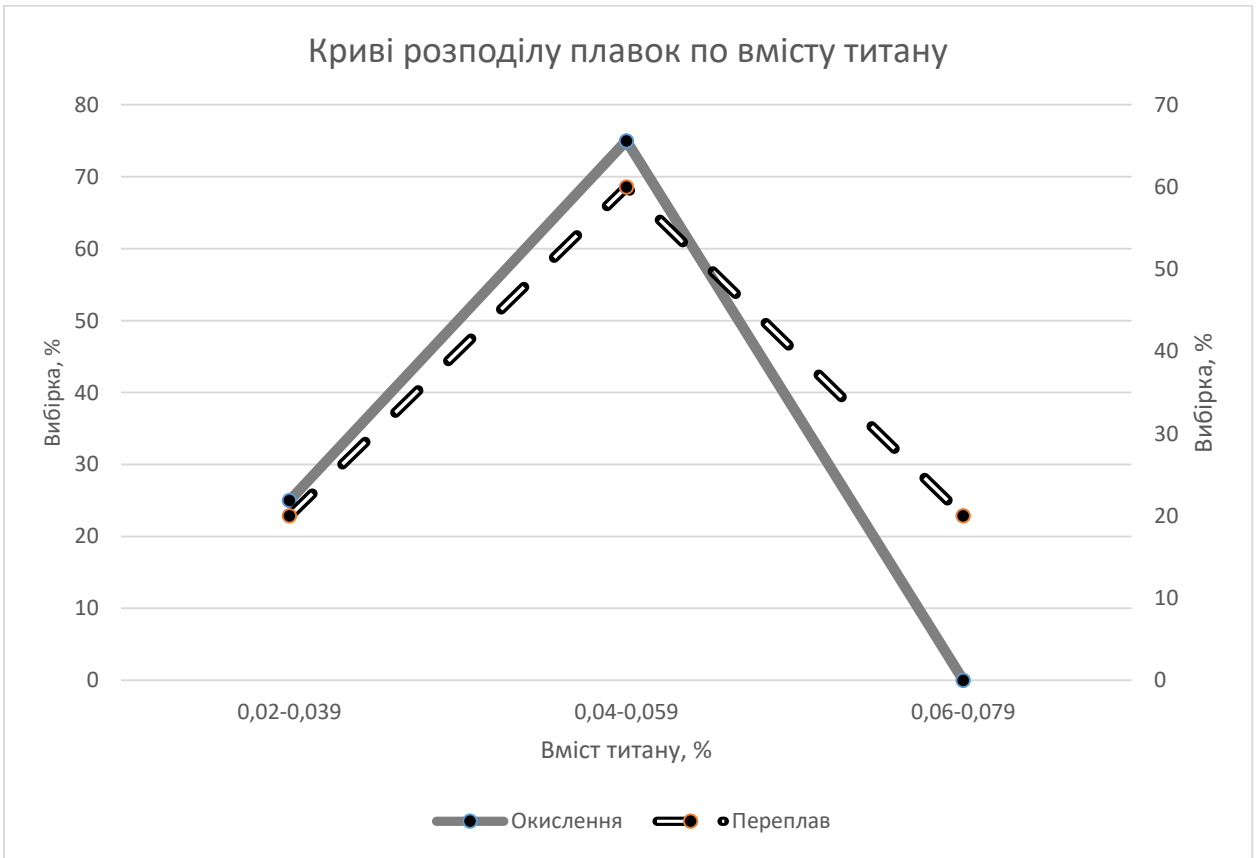


Рис.4- Криві розподілу плавок по вмісту титану. (див.табл.2.5)

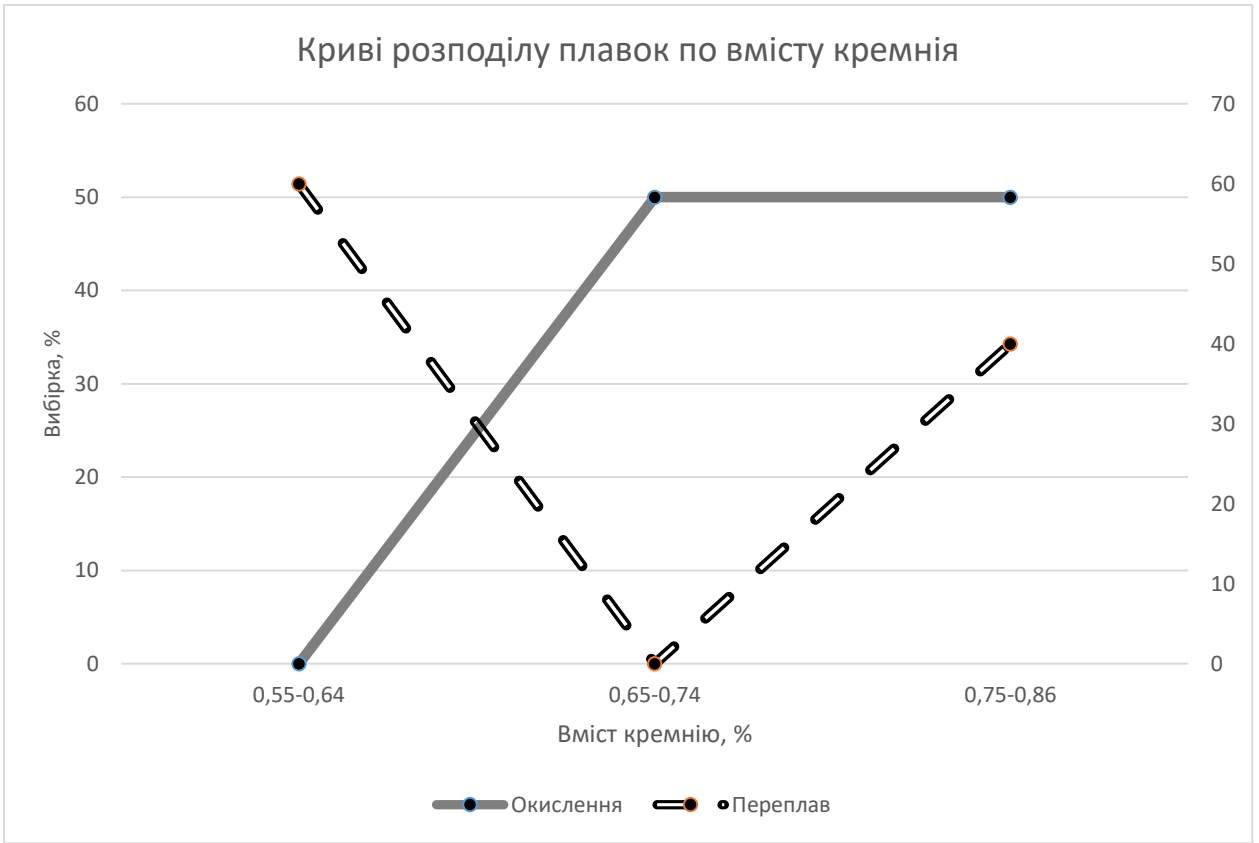


Рис.5- Криві розподілу плавок по вмісту кремнію. (див.табл.2.6)



Рис.6- Криві розподілу плавок по вмісту хрому. (див.табл.2.7)

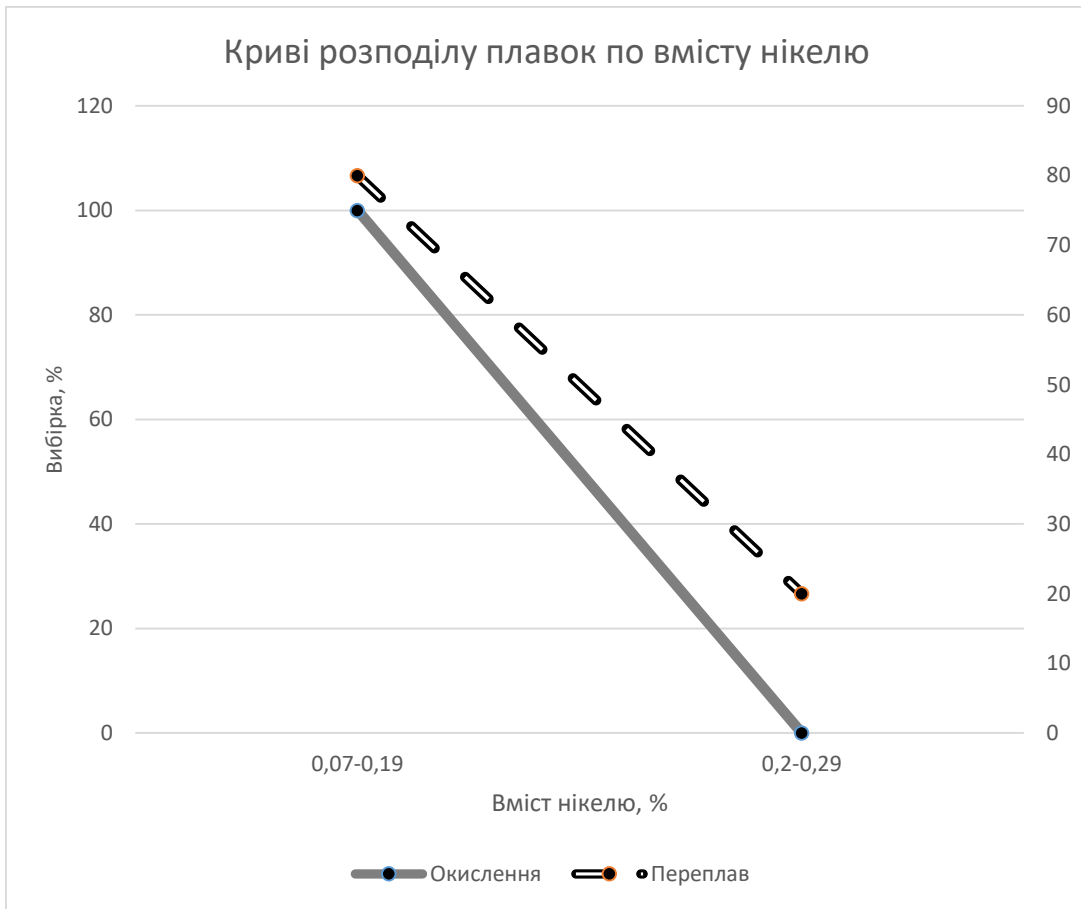


Рис.7- Криві розподілу плавки по вмісту нікелю. (див.табл.2.8)

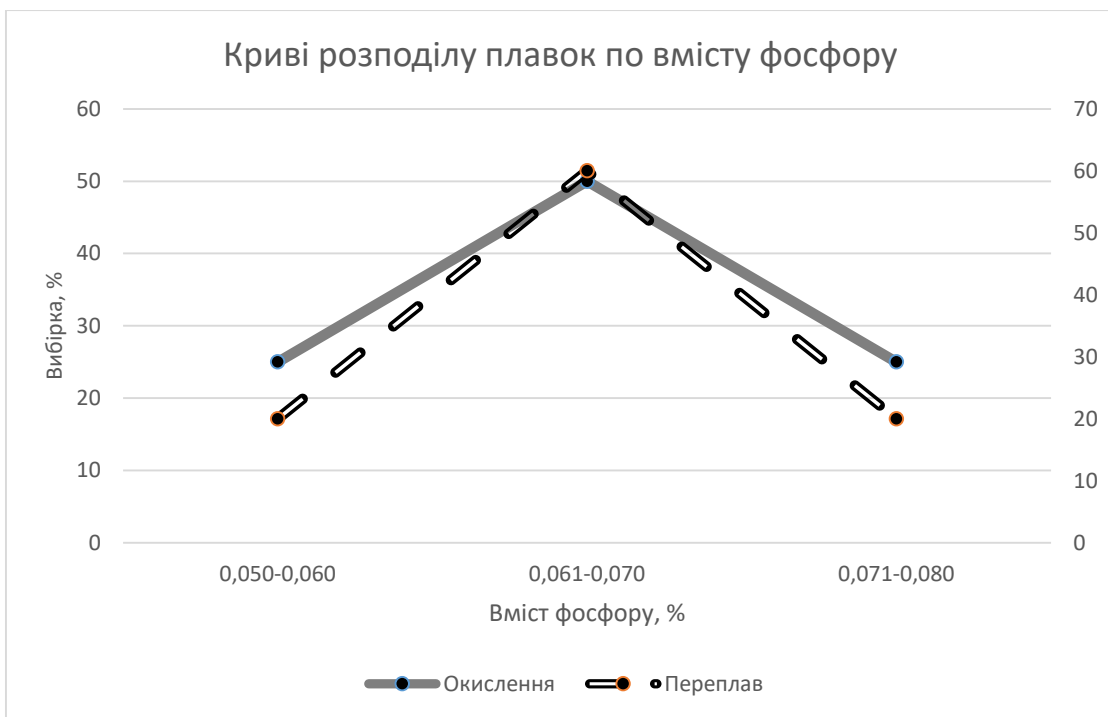


Рис.8- Криві розподілу плавки по вмісту фосфору. (див.табл.2.9)

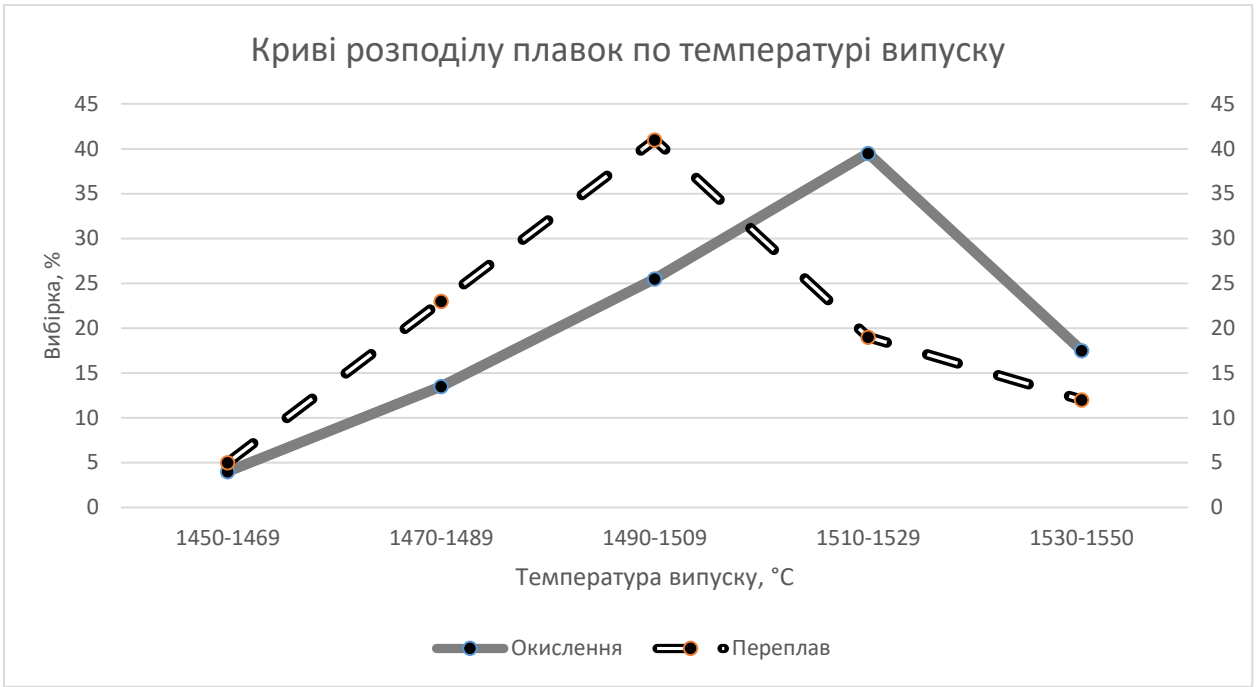


Рис.9- Криві розподілу плавок по температурі випуску. (див.табл.2.12)

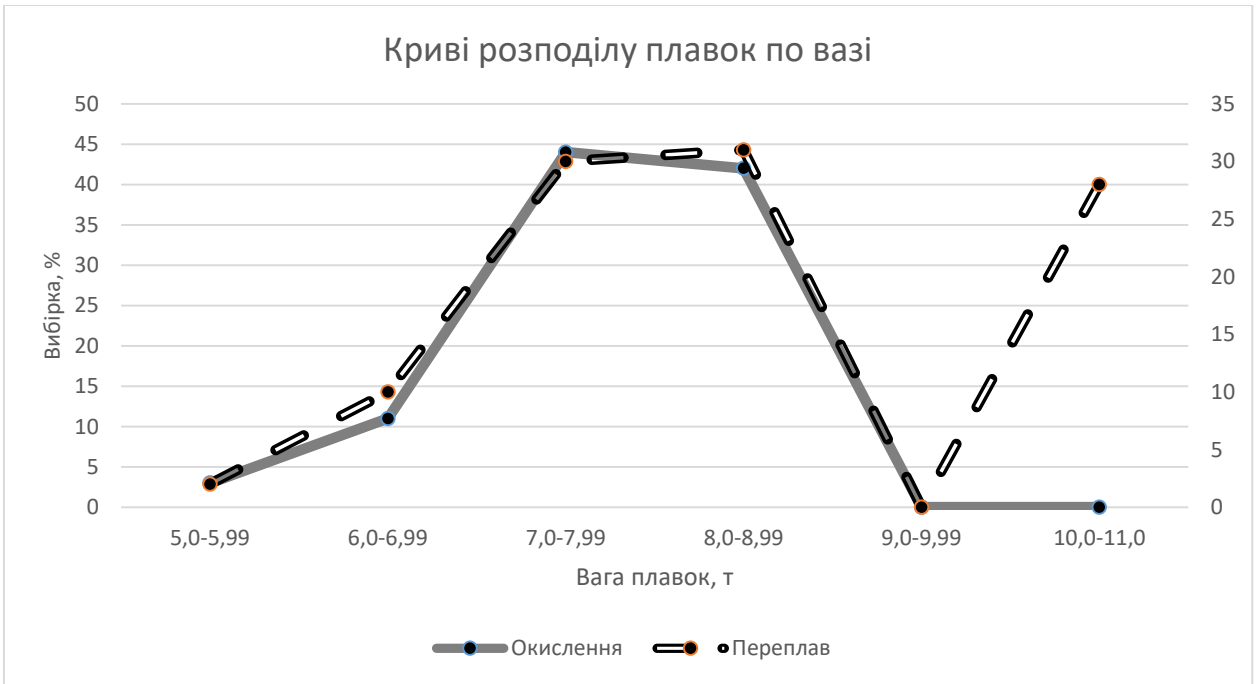


Рис.10- Криві розподілу плавок по вазі. (див.табл.2.14)

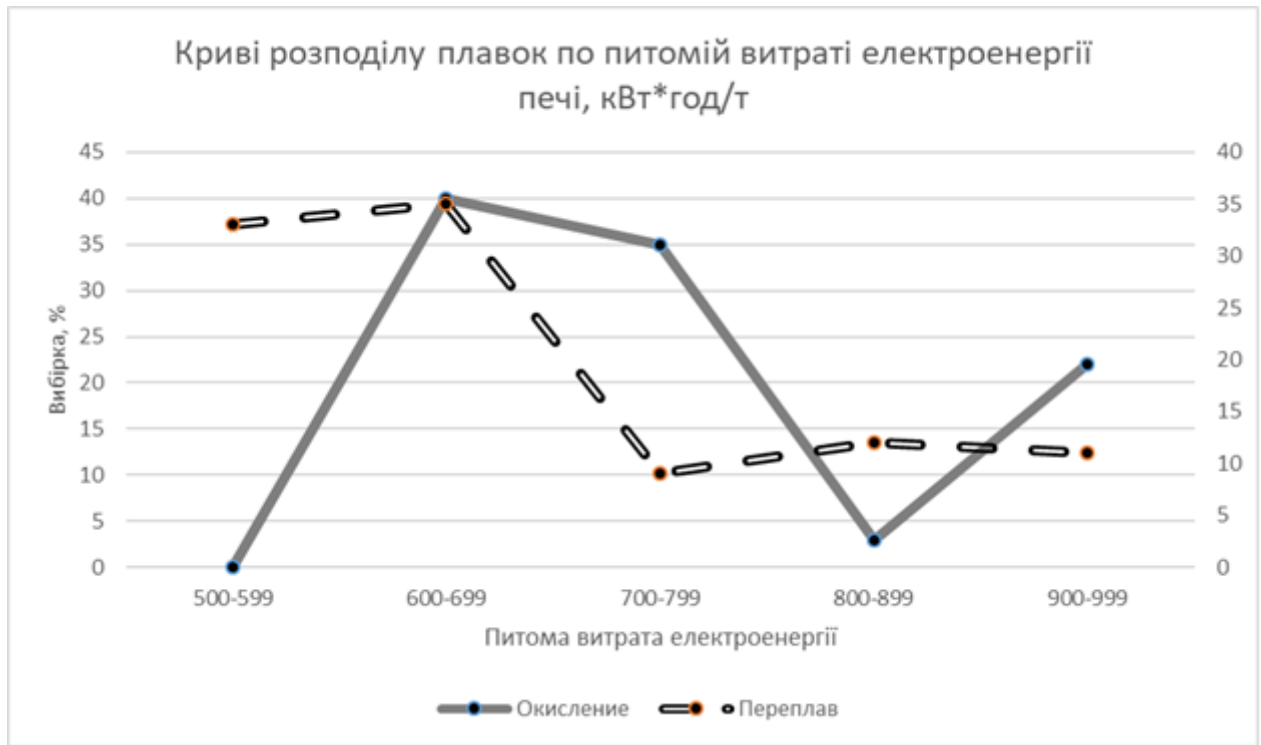


Рис.11- Криві розподілу плавок по питомій витраті електроенергії печі.
(див.табл.2.15)

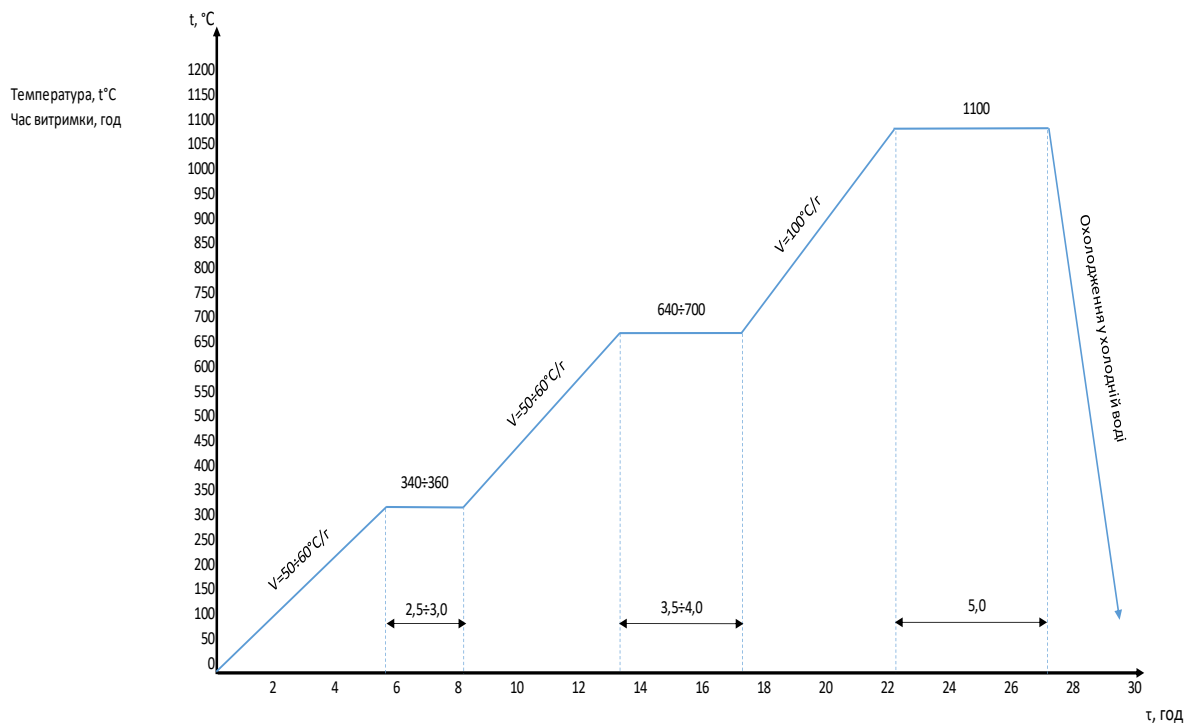


Рис.12- Термічна обробка плит вироблялася згідно спеціально розробленої технології для високо марганцевої сталі 120Г18Х2МНЛ (метод виплавки окислення) .

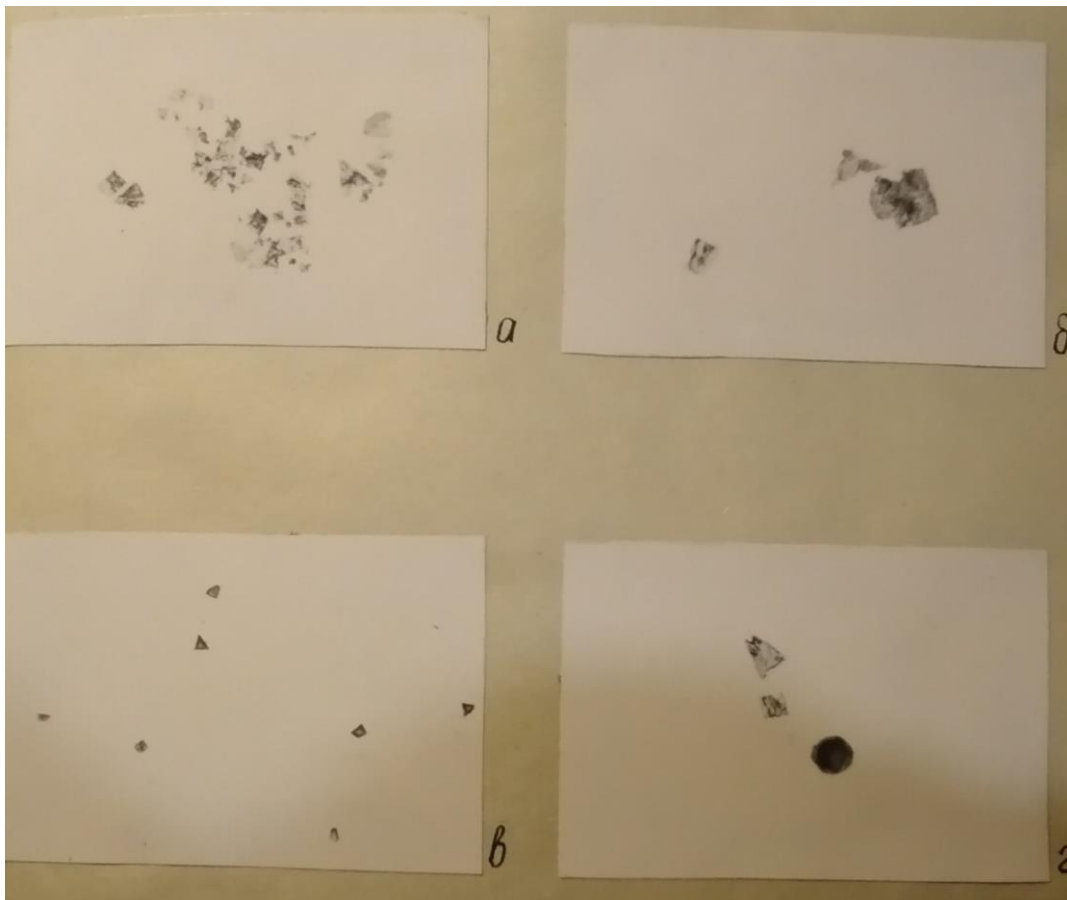


Рис.13.- Типові включення нітридів титану і окису сульфідів в сталі 110Г13Л, розкисленої; а, б)-1кг/тAl+2кг/т Ti; в)-0,5 кг/т Al+2кг/т Ti; г))-0,5кг/тAl+2кг/т Ti+1кг/т SiCa; $\times 500$



Рис.14.- Робоча поверхня футерувальних плит із сталі 120Г18Х2МНЛ після 4-х місяців роботи.

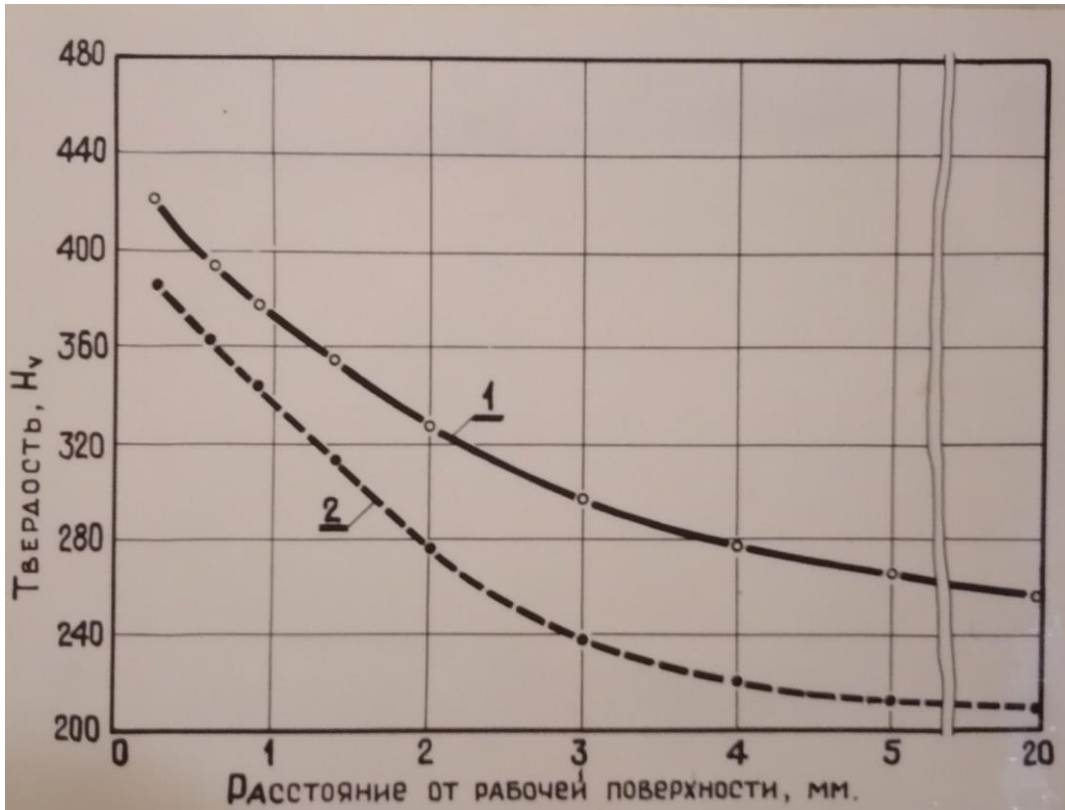


Рис.15.- Твердість високо марганцевої сталі 1-120Г18Х2МНЛ, 2-110Г13Л.



Рис.16.- Типова мікроструктура сталі 120Г18Х2МНЛ $\times 70$.

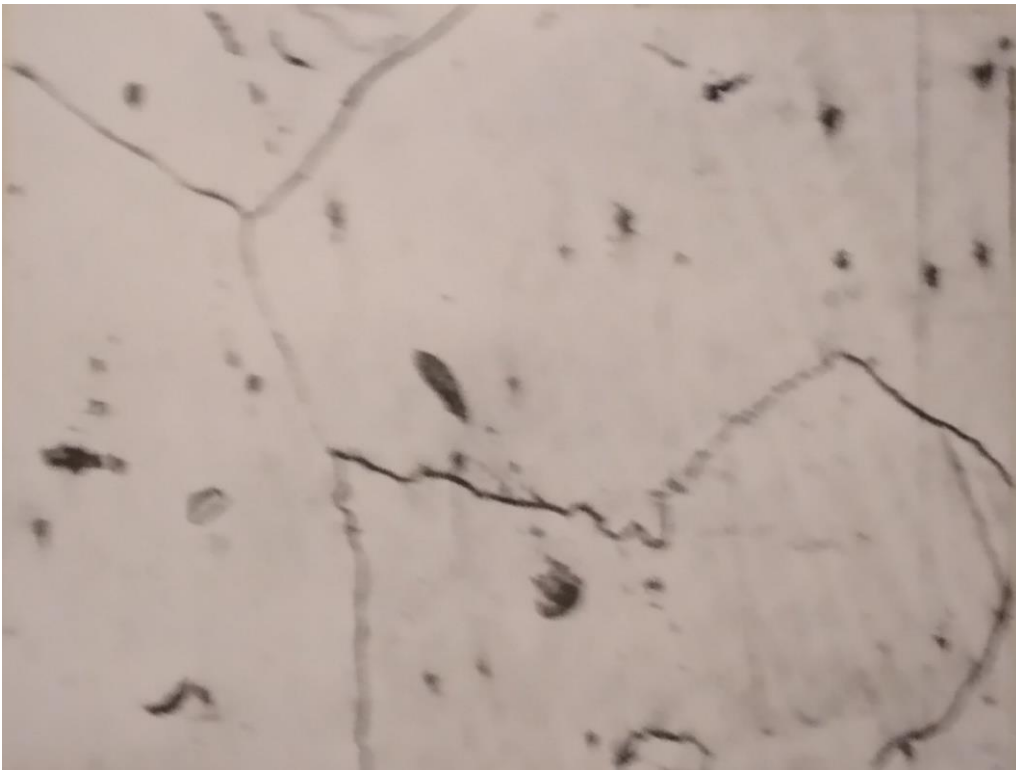


Рис.17.-Типова мікроструктура сталі 110Г13Л ×70.



Рис.18.-Типова мікроструктура наклепаного шару сталі 120Г18Х2МНЛ ×70

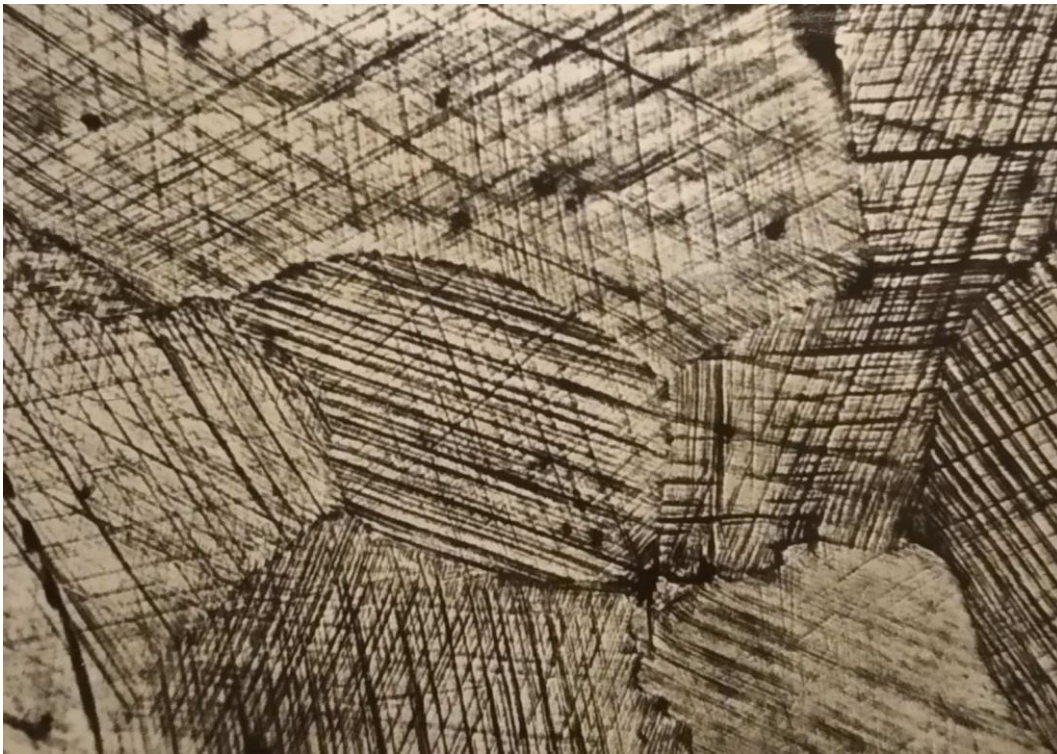


Рис.19.-Типова мікроструктура наклепаного шару сталі 110Г13Л *70.

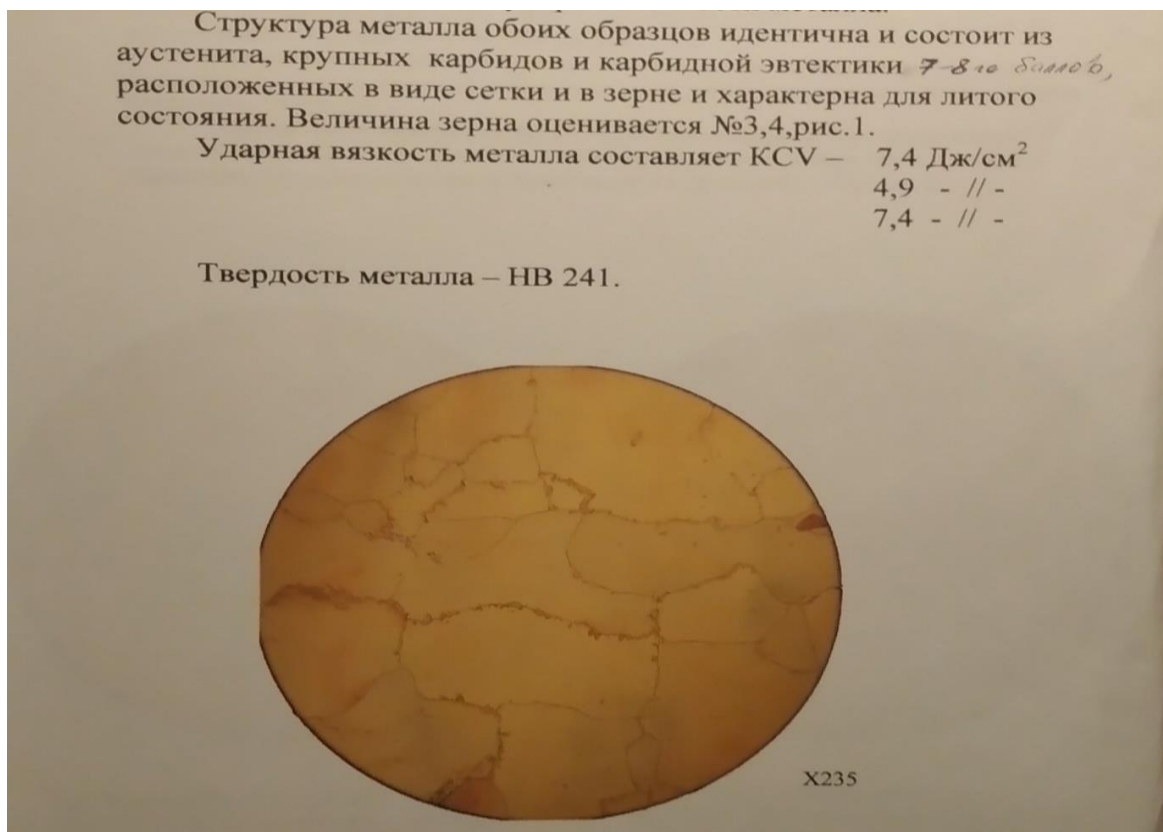


Рис.20.-Результати металографічних випробувань структури сталі 120Г18Х2МНЛ пл.100174

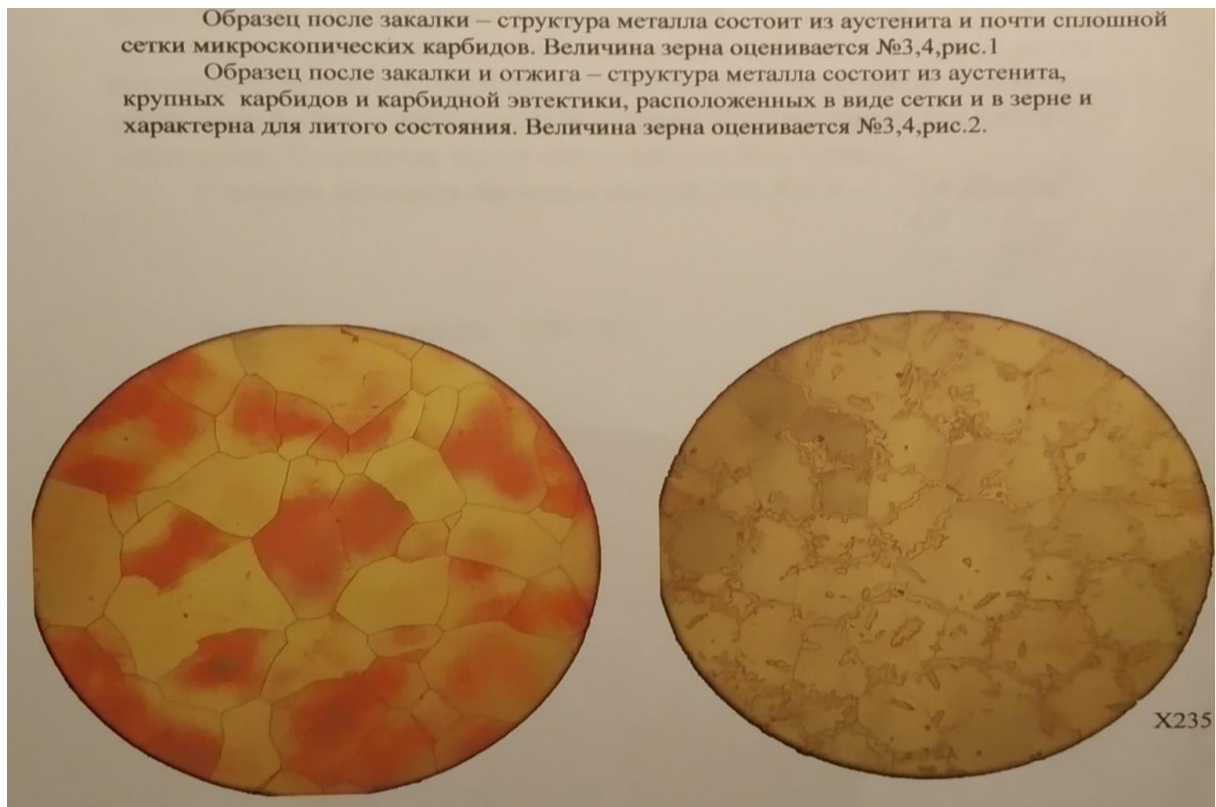


Рис.21.-Результати металографічних випробувань структури сталі 120Г18Х2МНЛ пл.100175

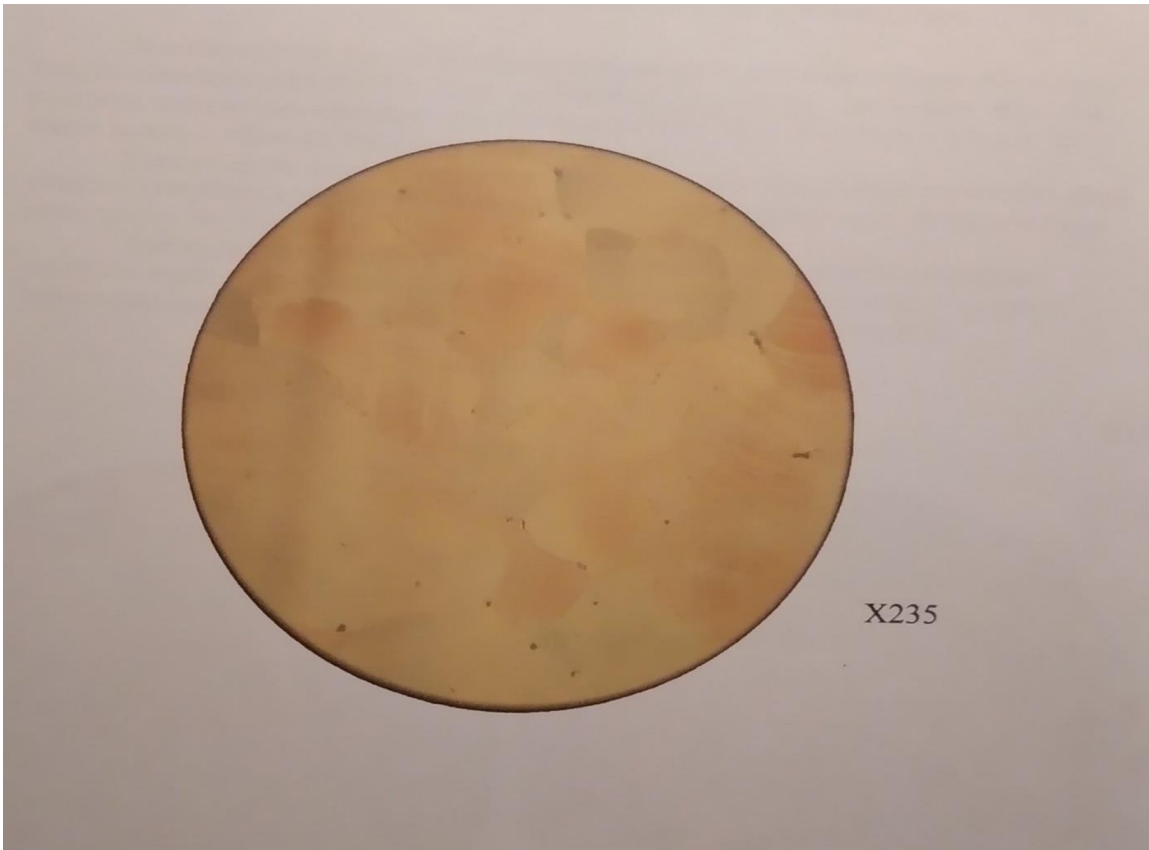


Рис.22.-Результати металографічних випробувань структури сталі 120Г18Х2МНІ

