

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

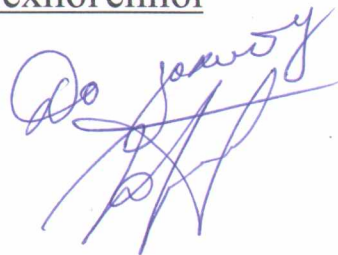
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної

безпеки

(повна назва кафедри)



Кваліфікаційна робота магістра

рівень вищої освіти _____ другий магістерський рівень

(другий (магістерський) рівень)

на тему: Удосконалення технології отримання порошкових штампових інструментальних та вольфрамневмісних швидкоріжучих сталей

Виконав: студент _____ 2 курсу, групи 8.1364мчм

Гусаров О.О.

(ПІБ)



(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

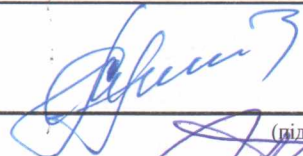
освітньо-професійна програма

Металургія чорних металів

(шифр і назва)

Керівник Григор'єв С.М.

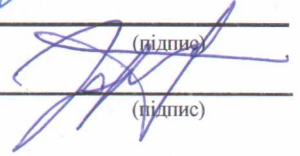
(прізвище та ініціали)



(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)



(підпис)

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень

Спеціальність 136 Металургія

Освітньо-професійна програма Металургія чорних металів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

“ 19 ” 09 2025 року

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

Гусарову Олегу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проєкта (роботи) Удосконалення технології отримання порошкових штампових інструментальних та вольфрамневмісних швидкоріжучих сталей

1. керівник роботи Григор'єв Станіслав Михайлович д.т.н., професор

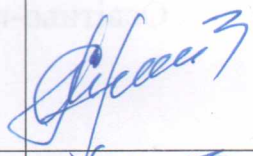
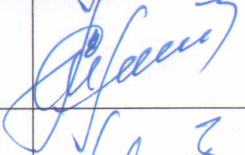
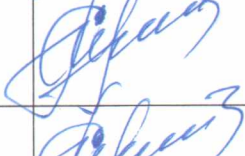
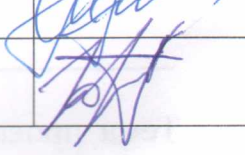
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 19.09.2025р. № 1305-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 10.12. 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи (проєкта) наукова – технічна література, періодичні видання за фахом, інструкції по виробництву порошкової сталі
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз технології виробництва сталей отриманих методом порошкової металургії, оптимізація технології виробництва інструментальних порошкових сталей, покращення технології футеровки індукційних печей, охорона праці та техногенна безпека Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) технологічна схема виробництва пресовок, мікроструктура порошку і сортового металу сталі P0M2CФ10-МП, процес розпилення металу, неметалевого включення в порошковій сталі, металеві включення в сталі марки P0M2CФ10 – МП та ін. загалом 10 листів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
1. Сучасний стан у галузі отримання порошкових інструментальних сталей методом газостуминного розпилення з подальшим пресування у формах, що витрачаються	Григор'єв С.М., професор	
2. Оптимізація технології виплавки інструментальних сталей на виробництва ЦПМ «Дніпроспецсталь»	Григор'єв С.М., професор	
3. Аналіз та дослідження особливостей виробництва порошкових штампкових інструментальних сталей	Григор'єв С.М., професор	
4. Охорона праці та техногенна безпека	Григор'єв С.М., професор	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О., зав. кафедри МТЕТБ	

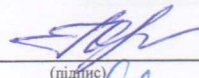
7. Дата видачі завдання 21.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Вступ	18-20.11.2025	
2	Реферат	21-22.11.2025	
3	Сучасний стан у галузі отримання порошкових інструментальних сталей методом газостуминного розпилення з подальшим пресування у формах, що витрачаються	22-25.11.2025	
4	Оптимізація технології виплавки інструментальних сталей на виробництва ЦПМ «Дніпроспецсталь»	26-28.11.2025	
5	Аналіз та дослідження особливостей виробництва порошкових штампкових інструментальних сталей	29.11-01.12.2025	
6	Охорона праці та техногенна безпека	02-03.12.2025	
7	Висновки	04.12.2025	

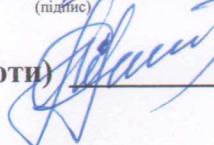
Студент

(підпис)

 О.О. Гусаров

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкта (роботи)

 С.М. Григор'єв

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 86 с., 19 рис., 21 табл., 26 джерел посилань.

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛІ, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ВИПЛАВЛЕННЯ, РОЗПИЛЕННЯ, ГАРЯЧЕ ГАЗОСТАТИЧНЕ ПРЕСУВАННЯ, НЕМЕТАЛЕВІ ВКЛЮЧЕННЯ, ASTM E45 (метод А), DIN 50602 (метод K0), СПЛАВ СІР, ВОГНЕТРИВКА ФУТЕРОВКА

Об'єкт розробки – штампові інструментальні сталі отримані методом порошкової металургії.

Мета роботи - дослідження технології отримання штампових інструментальних і безвольфрамістих швидкорізальних сталей отриманих методом порошкової металургії.

Проведено аналіз виробництва штампових інструментальних і безвольфрамістих швидкорізальних сталей, отриманих методом порошкової металургії в умовах цеху з виробництва швидкорізальних сталей методом порошкової металургії (ЦПМ) на ПрАТ «Дніпроспецсталь». Проаналізовано проблеми, що виникають під час їх виробництва. Розглянуто зміну технології виробництва залежно від різних марок сталей.

Зроблено висновки щодо оптимальної технології виробництва штампових інструментальних і безвольфрамістих швидкорізальних сталей, отриманих методом порошкової металургії, необхідні для забезпечення якості отриманих виробів. Побудована економіко-математична модель для легування та розкислення інструментальних сталей.

Результати роботи використані під час виробництва штампових інструментальних і безвольфрамістих швидкорізальних сталей, отриманих методом порошкової металургії в умовах ЦПМ ПрАТ «Дніпроспецсталь».

ABSTRACT

Qualification work: 86 p., 19 fig., 21 table, 26 link sources

TOOL STEELS, POWDER METALLURGY, MELTING, SPRAYING, HOT GAS STATIC PRESSING, NON-METALLIC INCLUSIONS, ASTM E45 (Method A), DIN 50602 (Method K0), GRAY ALLOY, FIRE RESISTANCE LINING

The object of development is die tool steel obtained by the method of powder metallurgy.

The purpose of the work is to research the technology of obtaining stamped tool and tungsten-free high-speed steels obtained by the method of powder metallurgy.

The analysis of the production of die tool and tungsten-free high-speed steels obtained by the powder metallurgy method in the conditions of the workshop for the production of high-speed steels by the powder metallurgy method at PrJSC "Dniprospetsstal" was carried out. The problems that arise during their production are analyzed. The change in production technology depending on different grades of steel is considered.

Conclusions were made regarding the optimal technology for the production of die tool and tungsten-free high-speed steels obtained by the powder metallurgy method, which are necessary to ensure the quality of the obtained products. An economic-mathematical model for alloying and deoxidation of tool steels was built.

The results of the work were used during the production of die tool and tungsten-free high-speed steels obtained by the powder metallurgy method in the conditions of the CPM of Dniprospetsstal PJSC.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН У ГАЛУЗІ ОТРИМАННЯ ПОРОШКОВИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ГАЗОСТРУМИННОГО РОЗПИЛЕННЯ З ПОДАЛЬШИМ ПРЕСУВАННЯМ У ФОРМАХ, ЩО ВИТРАЧАЮТЬСЯ	10
1.1. Загальні відомості про порошкові інструментальні сталі	10
1.2 Вимоги до порошку	14
1.3 Отримання порошка	15
1.4 Заповнення капсул	16
1.5 Холодне ізостатичне пресування	17
1.6 Підігрів	18
1.7 Гаряче ізостатичне пресування	18
1.8 Отримання готової продукції	19
2 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ, РОЗПИЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ ВИРОБНИЦТВА ЦПМ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»	23
2.1 Аналіз марочного асортименту інструментальних порошкових сталей, що виробляються в ЦПМ	23
2.2 Оптимізація режимів виплавки та розпилення з метою зниження неметалевих включень у порошковому металі	24
2.3. Раціональне впорядкування проведення плавок з метою зниження металевих «сторонніх» та «сторонніх» частинок	26
3 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА ПОРОШКОВИХ ШТАМПОВИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ	34
3.1 Марка сталі 38ВЗМ4-МП	34
3.2 Марка сталі Р0М2СФ10 – МП та її аналоги	41
3.3 Марка сталі Х20ВМФ4 – МП	47
3.4. Марка сталі 6Х4М8Ф2 – МП	51

3.5. Марка стали 105X18МФК2 – МП	55
3.6. Марка стали X18МФ3С – МП	56
3.7 Зміна технології виплавки, розпилення, підготовки та пресування порошку з урахуванням особливостей виробництва інструментальних штампових сталей	59
3.8 Удосконалення технології футерування індукційних печей ПрАТ "Дніпроспецсталь" із застосуванням механізованого способу набивання тигля	62
3.9. Економіко-математичне моделювання виробничих показників утилізації тугоплавких елементів з техногенних відходів	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	76
4.1 Основні шкідливості та небезпеки виробничого середовища	76
4.2 Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек	79
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	84

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку машинобудування (авіабудування, ракетобудування, космічна та оборонна техніка) супроводжується різким збільшенням обсягу виробництва і споживання спеціальних сталей і сплавів. До якості різального, штампового і деформувального інструменту, що застосовується для обробки високоміцних і важкооброблюваних матеріалів, висуваються підвищені вимоги.

Тривалий час підвищення працездатності інструментальних сталей (швидкорізальних і штампових) досягалося завдяки збільшенню вмісту легуючих елементів.

Сьогодні можливості вдосконалення інструментальних сталей традиційного способу виробництва за рахунок впливу хімічного складу практично вичерпані. Основним резервом подальшого підвищення їхньої працездатності є висока якість інструментів.

Метод порошкової металургії дає змогу отримати швидкорізальні та штампові сталі з відсутністю карбідної неоднорідності та високою дисперсністю карбідної фази, що забезпечує низку важливих переваг цих сталей:

- підвищення стійкості різального інструменту в 1,5-3,5 рази; штампового - 2-5 разів порівняно зі сталями традиційного способу виробництва;
- ізотропність властивостей і підвищену конструктивну міцність, що визначають доцільність використання подібних матеріалів для виготовлення великогабаритного інструменту складної форми;
- високий рівень технологічних показників (малу схильність до зростання зерна і незначну деформованість при загартуванні, хорошу здатність до шліфування навіть за вмісту ванадію до 10 %);
- можливість істотного збільшення концентрації вуглецю і карбідоутворюючих елементів без пов'язаних із цим зазвичай негативних наслідків (різке

зниження технологічної пластичності, зростання ступеня неоднорідності, розподіл карбідної фази, тощо) [14].

Наразі ПрАТ «Дніпроспецсталь» - це єдине підприємство в Україні, яке виробляє і поставляє широку гаму високопродуктивних порошкових інструментальних (швидкорізальних і штампових) сталей, що відповідають вимогам ДСТУ, ТУ, стандартам США, Європи, Швеції та іншим зарубіжним стандартам.

Для реалізації переваг порошкових сталей їхнє виробництво має забезпечувати високу якість металу з відсутністю або мінімальною наявністю дефектів, властивих методу порошкової металургії.

При цьому збільшення марочного асортименту цеху порошкової металургії має певні труднощі, пов'язані з якістю металу через утворення таких дефектів, як неметалеві включення (шлакові та інші сторонні оксидні частки), а також металеві «сторонні» частинки, так звані дефекти І-ої групи. Крім цього, одним з основних дефектів ІІ-ої групи, пов'язаних з якістю підготовки капсул з порошком і їх компактуванням, є аргонні пори.

1 СУЧАСНИЙ СТАН У ГАЛУЗІ ОТРИМАННЯ ПОРОШКОВИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ ГАЗОСТРУМИННОГО РОЗПИЛЕННЯ З ПОДАЛЬШИМ ПРЕСУВАННЯМ У ФОРМАХ, ЩО ВИТРАЧАЮТЬСЯ

1.1 Загальні відомості про порошкові інструментальні сталі

Порошкова металургія (ПМ) у виробництві інструментальних сталей є одним з найбільш прогресивних напрямів сучасного матеріалознавства. Завдяки можливості точного контролю хімічного складу, мікроструктури та морфології порошку, технології ПМ забезпечують отримання інструментальних матеріалів з високою зносостійкістю, твердістю, теплостійкістю та однорідністю по всьому об'єму заготовки [17].

На відміну від традиційного металургійного переплаву, порошкові інструментальні сталі мають такі переваги:

- дрібнодисперсна рівномірно розподілена карбідна фаза, що позитивно впливає на зносостійкість;
- відсутність макросегрегацій та ліквацийних процесів, характерних для зливкового металу;
- підвищена чистота та мінімізація неметалевих включень;
- можливість цільового легування та регулювання фазового складу [18].

Це робить ПМ-сталі незамінними для виробництва високотехнологічного інструменту: штампів, різального інструменту, прес-форм, ріжучих кромek, елементів холодного та гарячого деформування.

Газоструминне (газоатомізаційне) розпилення — найпоширеніший метод отримання порошків інструментальних сталей завдяки контролю розміру частинок, сферичності та мінімальній кількості оксидів.

Сутність методу полягає в тому, що (рис. 1):

1. Розплавлена сталь у тиглі подається в зону розпилення (рис.2).
2. Під дією високошвидкісного газового струменя (азот, аргон) розплав диспергується на дрібні краплини.

3. Частинки охолоджуються в польоті, набуваючи сферичної форми.
4. Порошок збирається в приймальний контейнер та проходить подальшу класифікацію.

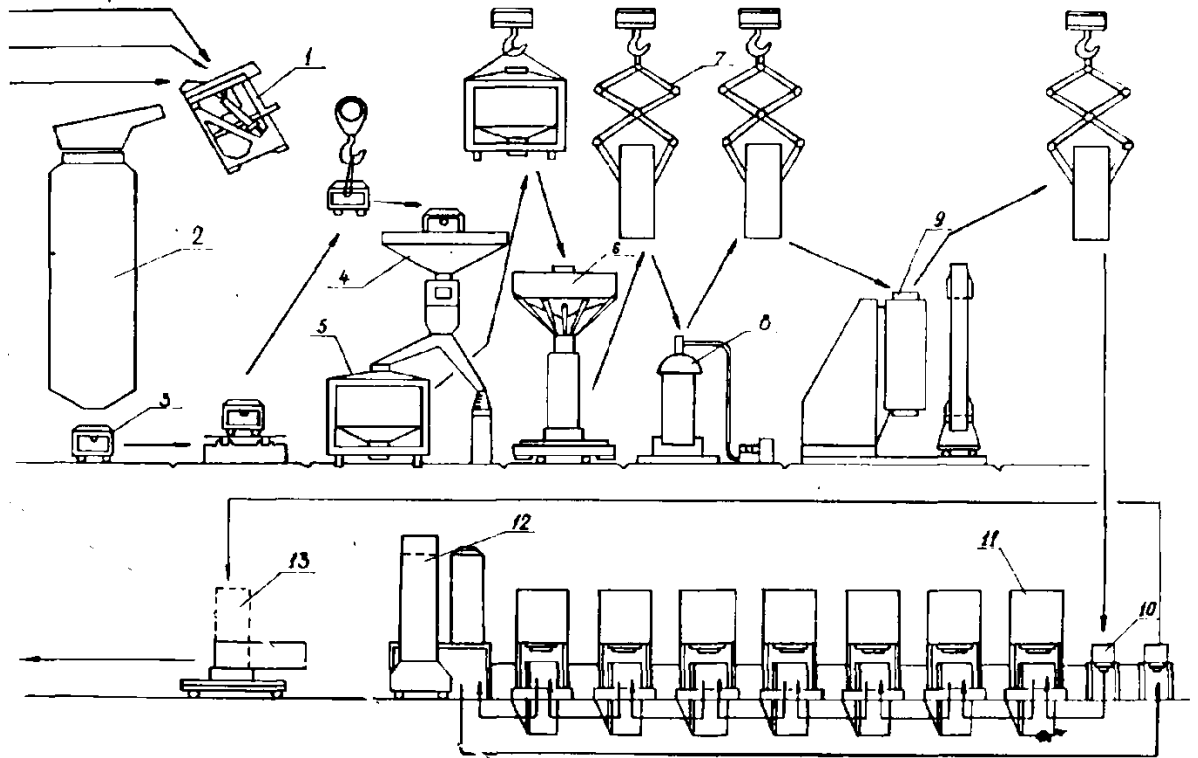


Рисунок 1 - Технологічна схема виробництва пресовок.

1 - індукційна піч; 2 - колона розпилення; 3 - порошкоприймач; 4 - віброгροхот; 5 - контейнер; 6 - бункер; 7 - захват; 8 - зварювальний маніпулятор; 9 - установка ХІП; 10 - стенд завантаження та вивантаження пресовок; 11 - печі попереднього нагріву; 12 - установка ГПІ; 13 - пресовка.

Переваги газоструминного розпилення [19]

- Сферична форма частинок, що забезпечує високі показники текучості порошку.
- Мінімальна кількість сатурації газами (азотом, киснем) у разі використання інертних газів.
- Структура швидкого гартування → дрібна первинна карбідна фаза.
- Можливість розпилення високолегованих та тугоплавких сталей.



Рисунок 2 - Процес розпилення металу

На даний час активно розвиваються такі напрями [20]:

- плазмова та ультразвукова атомізація, яка дозволяє зменшити середній розмір частинок до <20 мкм;
- комбінована газорозпилювальна технологія з використанням гарячого газу (HAG—Hot Gas Atomization);

- апарати з закритим інертним циклом для запобігання окисненню;
- автоматизовані системи діагностики та контролю розподілу частинок.

Пресування у формах, що витрачаються (expendable molds), є технологічним процесом, який дозволяє формувати складні геометричні заготовки без додаткової механічної обробки. Форми виготовляються з полімерних, воскових або композитних матеріалів, що забезпечують:

- точне відтворення геометрії,
- можливість пресування при високих тисках,
- подальше видалення форми термічним або розчинним способом.

Переваги використання форм, що витрачаються

- Висока точність (до 0,05 мм).
- Можливість виготовлення тонкостінних та складних профілів.
- Зменшення обсягів чистової механічної обробки (до 70%).
- Можливість сегментованого пресування та локального ущільнення.

Об'єднання цих двох технологій забезпечує:

- формування ізотропної мікроструктури після спікання;
- стабільні механічні властивості у різних напрямках;
- відсутність усадкових дефектів;
- високу ступінь ущільнення (до 97–99%).

Метод газоструминного розпилення з подальшим пресуванням у формах, що витрачаються, є однією з найбільш ефективних технологій отримання інструментальних сталей нового покоління [1,8]. Він забезпечує високу однорідність структури, стабільні механічні властивості, зниження витрат на механічну обробку та формування складних деталей. Розвиток цієї галузі відкриває перспективи для створення інструментальних матеріалів з підвищеною працездатністю, що відповідають вимогам сучасного машинобудування, авіакосмічної та оборонної промисловості.

1.2 Вимоги до порошку

До порошка висуваються жорсткі вимоги, що визначаються зрештою способом ущільнення порошку, тобто способом одержання з порошку матеріалу високої щільності компактної заготовки. Тому доцільно насамперед розглянути процес пресування. Основна вимога, що висувається до процесу пресування, - отримання готових пресовок у великих обсягах за низьких виробничих витрат. Надзвичайно важливо, щоб пресування було повністю ущільнене, оскільки наявність залишкових пор призводить до зменшення міцності отримуваного матеріалу.

Методи порошкової металургії вже застосовують у низці галузей, наприклад, під час виготовлення дрібних деталей машин, що мають складну геометричну форму і працюють за невеликих навантажень. Вироби необхідної форми отримують шляхом ущільнення порошку і потім нагрівають до високої температури для того, щоб забезпечити зчеплення окремих частинок порошку одна з одною в результаті спікання. Але ці методи не дають змоги отримати повністю гомогенний матеріал за практично прийнятний період часу, тому він не застосовується для виготовлення інструментальних сталей.

Найкраще зазначеним вище вимогам задовольняє процес, відомий під назвою гарячого ізостатичного пресування. Цей процес передбачає вплив на весь об'єм порошку високого тиску за високої температури. Слід мати на увазі, що для пресування сталі цим способом тиск має бути не нижчим за 100Мпа, а температура - вищою за 1000°C. Це, звісно, вимагає високої надійності й точності роботи усього комплексу обладнання,

Якщо врахувати, що за наявності зазначених вимог виробничі витрати мають бути низькими, то необхідно забезпечувати максимальну продуктивність установки для пресування; іншими словами, час пресування певної порції порошку має бути мінімальним, а об'єм цієї порції максимально можливим. Таким чином, завдання зводиться до завантаження максимальної кількості порошку в камеру високого тиску, в якій здійснюється пресування.

Для оптимального розв'язання цієї задачі порошок повинен мати високу ущільнюваність (під час пресування), для чого суттєвим є шароподібна форма частинок порошку та певне співвідношення частинок різних розмірів. Інша важлива вимога полягає в тому, що частинки порошку не повинні окислюватися. До складу інструментальних сталей входять легуючі елементи, що утворюють стійкі, тобто важковидалаємі, оксиди. Під час окислення поверхні частинок порошку велика кількість оксидів потрапляє і в готовий сталевий продукт, що призводить до погіршення деяких найважливіших властивостей одержуваної сталі. Тому необхідно виключити можливість окислення порошку в процесі його виготовлення і транспортування.

1.3 Отримання порошка

Інструментальну сталь розплавляють звичайним способом в індукційній печі підвищеної чистоти; рідкий метал випускають у металоприймач із калібрувальними стаканами. Металоприймач встановлений у верхній частині розпилювальної колони. Тонкі струмені рідкого металу, що виходять зі зливних стаканів, потрапляють у розпилювальну колону. У верхній частині камери розпилення встановлені газові сопла особливої конструкції. Струмені газу, що виходять з цих сопел з дуже великою швидкістю, розбивають струмені сталі на безліч дрібних крапель. Краплі розплавленої сталі, вільно падаючи в камері розпилення, затвердівають, після чого їх можна охолоджувати до кімнатної температури будь-яким ефективним способом. Порошок збирається на днищі камери розпилення.

До остаточного затвердіння краплі металу встигають набути шароподібної форми. Для запобігання сплюснуванню частинок необхідно, щоб у процесі затвердіння краплі металу не вдарилися об тверді предмети. Гранулометричний склад порошку можна регулювати шляхом зміни швидкості та форми струменя газу.

Для запобігання окисленню порошку колону заповнюють інертним або іншим неагресивним газом, використовуваним у газових струменях. Однак, вартість газу, необхідної в даному випадку чистоти, відносно висока, тому в конструкцію камери розпилення включено обладнання для рециркуляції газу.

Сплющені частинки або частинки надмірно великих розмірів видаляються під час просіювання, а відсортований порошок надходить на пресування, яке складається з таких етапів:

1. заповнення капсули;
2. холодне ізостатичне пресування;
3. підігрів і створення розрідження;
4. гаряче ізостатичне пресування.

1.4 Заповнення капсул

Під час пресування маси порошку ізостатичним способом дуже важливо, щоб порошок перебував у капсулі, непроникній для рідин і газів. Оскільки ізостатичне пресування має відбуватися за високих температур, що забезпечують отримання заготовок рівномірної щільності, використовують капсулу з листового металу. Таку капсулу легко виготовити звичайними методами - штампуванням, гнуттям і зварюванням. Особливу увагу слід звертати на конструкцію і якість зварних швів, які повинні зберігати герметичність у процесі ізостатичного пресування.

Матеріал оболонки має бути обраний так, щоб активність вуглецю цього матеріалу і матеріалу порошку була однаковою. Це запобігає зневуглицюванню поверхні верхніх шарів пресівки.

Під час заповнення капсули необхідно стежити за рівномірністю розподілу в ній частинок порошку, щоб запобігти ліквідації в порошок, навіть у капсулах великих розмірів. Рівномірність розподілу частинок досягається шляхом випуску порошку через отвори, розташовані в різних точках днища бункера для порошку.

Дуже важливо також, щоб порошок, що висипається з бункерів, проходив через декілька каналів; це забезпечить його ефективне перемішування ще до надходження в капсулу. Для досягнення максимально можливої щільності порошку заповнена капсула перед установкою її в прес для ізостатичного пресування проходить процес вібрації. При заповненні капсули порошком з інструментальної сталі описаним вище способом щільність порошку становить приблизно 65% від теоретичної.

З метою запобігання кисневої ліквідації з оболонки перед її закриванням необхідно по можливості видалити все повітря і замінити його азотом, під атмосферним тиском. Потім до капсули приварюють кришку; зварні з'єднання мають бути газонепроникними.

1.5 Холодне ізостатичне пресування

На початкових етапах дослідження було встановлено, що період нагрівання капсули більшого розміру до температури гарячого ізостатичного пресування надзвичайно тривалий. Порошок характеризується надзвичайно низькою теплопровідністю - близько однієї сотої теплопровідності ущільненого матеріалу. Вибір із різних варіантів методу холодного ізостатичного пресування був зумовлений тим, що останній дає оптимальні результати і може бути використаний для виготовлення виробів будь-якої форми. Під час холодного ізостатичного пресування частинки порошку притискаються щільніше одна до одної, що збільшує площу контакту.

Холодне ізостатичне пресування забезпечує деяке збільшення теплопровідності, щільність пресування збільшується до 74% від теоретичної. Робота з максимально можливим тиском пресування, тобто 400 Мпа, дає суттєві переваги. І такі тиски можуть бути отримані на пресі QUINTUS компанії ASEA для ізостатичного пресування.

1.6 Підігрів

З метою економії часу та потужності преса для гарячого ізостатичного пресування капсулу попередньо підігрівають до температури, що приблизно дорівнює температурі спікання, у підігрівальній електропечі опору. На початковому етапі підігріву азот, що знаходиться всередині капсули, розширюється, тому необхідно забезпечити надійність притиснення кришки капсули, щоб уникнути її вигинання. Під час підвищення температури азот поглинається сталлю, внаслідок чого надлишковий тиск змінюється розрідженням. Ці зміни напруги матеріалу капсули в процесі роботи зумовлюють жорсткі вимоги, що висуваються до цього матеріалу. Під час нагрівання капсули в підігрівальній печі немає необхідності прогрівати її на всю глибину; прогрівання забезпечується на етапі спікання в пресі для гарячого ізостатичного пресування.

1.7 Гаряче ізостатичне пресування

Після закінчення підігріву гарячу капсулу встановлюють у камеру високого тиску преса для гарячого ізостатичного пресування, яка до цього моменту вже нагріта до необхідної температури.

У конструкцію преса для гарячого ізостатичного пресування входить камера QUINTUS, корпус якої обмотаний високоміцною стрічкою, і спеціальна електрична піч опору, яка знаходиться всередині цієї камери. Станина преса, також обмотана високоміцною стрічкою, забезпечує протидію кришок камери внутрішнім силам, що виникають під час пресування.

Встановлення капсули на нижню кришку камери спрощує завантаження камери, що здійснюється знизу, і дає змогу використовувати цю кришку як важливий конструктивний елемент, що відіграє суттєву роль у процесі виробництва. Тому доцільно використовувати нижню кришку камери і для закривання підігрівальних печей. Таке конструктивне рішення дає змогу, зокрема, включити у виробничу лінію маніпулятор, призначений для

перенесення кількох нижніх кришок з однієї ділянки лінії на іншу, що дає можливість організувати масове виробництво в умовах низьких експлуатаційних витрат.

Для досягнення необхідної щільності деталей з інструментальної сталі гаряче пресування здійснюють в інертному або іншому неагресивному газі за тиску близько 100 МПа і температури близько 1150°C.

Цикл пресування починається з подачі газу - спочатку з батареї газових акумуляторів, а потім від декількох газових компресорів. Після досягнення заданого тиску він підтримується на постійному рівні протягом певного періоду часу, щоб забезпечити створення міжкристалічних зв'язків в усьому об'ємі пресовки.

Тривалість циклу залежить головним чином від продуктивності газового компресора. Фактична тривалість циклу становить близько 2,5-3 години.

Після закінчення пресування газ із камери QUINTUS спрямовують назад у батарею газових акумуляторів. Щойно тиск між камерою і газовим акумулятором зрівняється, вмикають компресори і залишок газу відкачують із камери.

Після цього пресовку витягують із камери за допомогою маніпулятора, транспортують її до місця зберігання. Тут пресовку залишають для охолодження, якщо не передбачено негайного її обробки, або передають на подальшу обробку на кувальному пресі чи прокатному стані.

1.8 Отримання готової продукції

Якщо пресований матеріал призначений для виготовлення дроту, прутків, поковок тощо, на початковому етапі пресування економічно доцільно використовувати капсули якомога більших розмірів, щоб потім отримувати профілі заданих розмірів шляхом кування або прокатки. Якщо надалі заготовка підлягає гарячій обробці, що передбачає значні зміни її форми і розмірів, немає необхідності домагатися дуже високої щільності

заготовки, оскільки наявні в матеріалі пори закриваються і оплавляються під час тривалого циклу гарячої обробки.

Під час нагрівання інструментальної сталі до температури гарячої обробки відбувається утворення окалини та зневуглецювання. Проте процес ASEA-STORA передбачає отримання заготовки в капсулі, матеріал якої (звичайна нелегована вуглецева сталь з низьким або середнім вмістом вуглецю) має ту саму активність вуглецю, що й порошок інструментальної сталі. Під час тривалої гарячої обробки капсула не витрачається, тому окалина утворюється на дешевій вуглецевій сталі, що захищає поверхню інструментальної сталі. Крім того, оскільки сталь, отримана методом ASEA-STORA, має однорідну безліквацийну структуру, її гаряча обробка може здійснюватися в значно більшому діапазоні температур, ніж сталі, отриманої традиційним шляхом.

При виготовленні деяких інструментів виробничі витрати є настільки ж значним фактором, як і робочі характеристики інструменту. Першочергове значення має збереження розмірів під час термообробки і шліфуваність сталі.

Завдяки відсутності ліквациї в металі зміна розмірів під час термообробки буде рівномірною, що дає змогу розрахувати зміну об'єму. Це особливо важливо при виробництві черв'ячних фрез, плашок великого розміру тощо [12].

Операції шліфування широко застосовують під час виготовлення і переточування різальних інструментів. Однак це дуже дорогі операції. Крім того, є деякі міркування проти використання інструментальних сталей, оскільки, маючи високі ріжучі характеристики, вони вирізняються нижчою шліфуваністю. Значного поліпшення шліфувальності можна досягти в разі зменшення зерна карбідів і більш рівномірного їхнього розподілу, а також за наявності в сталі значної кількості сульфідних включень. Розміри карбідних включень мають бути дуже малими, щоб не погіршувати міцність сталі. Усе це досягається під час виготовлення сталі за процесом ASEA-STORA. Так, у сталі, отриманій традиційним способом, карбіди зазвичай розташовуються у

формі смуг, тоді як у сталі, отриманій методом порошкової металургії, карбіди розподіляються більш рівномірно.

У сталі, виготовленій звичайними методами, міститься більша кількість великих включень карбідів, тоді як сталь, отримана методом пресування порошку, містить дуже дрібні карбідні зерна. Крім того, структура цієї сталі не залежить від кінцевих розмірів виробу, як це спостерігається в сталі, отриманій традиційними способами, структура якої стає грубішою і менш однорідною у виробках великих розмірів. Отже, структурні відмінності між сталлю, отриманою традиційним способом, і сталлю, отриманою з порошку, будуть більш значними в заготовках більшого перерізу і менш значними в заготовках меншого перерізу.

Поліпшення структурних властивостей сталі дає змогу розраховувати, що і її механічні властивості будуть кращими за властивості сталей, отриманих традиційними методами, і що інструменти зі сталі, отриманої методом пресування, матимуть значно більшу стійкість. Судячи з досліджень, збільшення стійкості становить відповідно 120 і 390%.

Цілком зрозуміло, що сучасні інструментальні сталі були розроблені на основі технологічних процесів, що найширше застосовуються [13] . Використання методів порошкової металургії відкриває нові можливості, для повного впровадження яких необхідно домогтися відповідності інструментальних сталей новій технології. У результаті стає можливим промислове виготовлення інструментальних сталей із властивостями, які неможливо забезпечити традиційними методами. Отже, технологія виробництва методом порошкової металургії дає змогу не тільки одержувати інструментальні сталі наявних марок у більш прогресивний спосіб, а й забезпечує умови для розроблення нових марок цих сталей.

З огляду на значні переваги сталі, отриманої за процесом ASEA-STORA, щодо поліпшення оброблюваності в гарячому стані, стабільності розмірів, поліпшення шліфування, механічних властивостей і характеристик одержуваного інструменту можна очікувати збільшення попиту на

високолеговані інструментальні сталі. Труднощі, що колись гальмували розробку таких сталей, у цьому разі будуть усунені.

Сфера застосування технології порошкової металургії не обмежується виробництвом інструментальних сталей. Її з великим успіхом можна використовувати для отримання будь-яких матеріалів з відносно невисокою температурою плавлення, зазвичай схильних до ліквідації.

2 ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ, РОЗПИЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ ВИРОБНИЦТВА ЦПМ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

У даному розділі розглядається: аналіз марочного сортаменту порошкових сталей, які виробляються в ЦПМ; оптимізація режимів виплавки та розпилення є метою зниження неметалевих включень у порошковому металі; розробка оптимальних параметрів шлакового режиму, розкислення розплаву у процесі ведення плавки та технології рафінування розплаву перед розпорошенням; уточнення вимог щодо якості розпорошеного порошку; уточнення методик контролю якості розпорошеного порошку; розробка рекомендацій щодо раціонального впорядкування проведення плавок з метою зниження металевих "сторонніх" та "сторонніх" частинок.

2.1 Аналіз марочного сортаменту інструментальних порошкових сталей, що виробляються в ЦПМ

На заводі «Дніпроспецсталь» освоєно виробництво вітчизняних та зарубіжних марок порошкових інструментальних сталей. Аналіз марочного сортаменту та вивчення схеми легування порошкових інструментальних сталей, що виробляються в ЦПМ, дозволили класифікувати всі сталі на чотири класи:

- швидкорізальні сталі;
- штампові сталі для холодного деформування (на базі X12МФ, СРМ10V, 100X8ВМ2Ф3С-МП),
- сталі мартенситного класу (X18МФ6-МП, 100X18МФК2-МП),
- сталі з карбідно-інтерметалідним зміцненням для гарячого деформування (X20МВАФ4-МП).

Широкий марочний сортамент цеху порошкової металургії заводу «Дніпроспецсталь» викликає певні проблеми, пов'язані з низькою якістю порошкового металу через такі дефекти, як неметалеві включення та металеві «сторонні» та «сторонні» частки. Це в основному було пов'язано з тим, що більшу частину часу цех виробляв тільки сталі швидкорізального підкласу

інструментальних сталей. Штампові та інші безвольфрамісті інструментальні сталі з'явилися у виробництві набагато пізніше і мали значні відмінності.

2.2 Оптимізація режимів виплавки та розпилення з метою зниження неметалевих включень у порошковому металі

Технологія виробництва порошкових сталей повинна забезпечувати відсутність дефектів, пов'язаних з якістю розпорошеного порошку.

Одним з основних параметрів якості порошку розпилення є забрудненість неметалевими включеннями. Дослідження структури та фазового складу неметалевих включень у порошкових сталях проводили металографічним та петрографічним методами. Для цієї мети були представлені контрольні зразки від металопродукції з високим ступенем забрудненості (в т. ч. забракованої) по неметалевим включенням. Крім цього в цеху порошкової металургії (ЦПМ) були відібрані проби шлаку з металоприймача, пічного шлаку, а також футерування металоприймача до та після розпилення металу [15].

2.2.1 Металографічний аналіз неметалевих включень у сталі

Вивчення типу, морфології та розміру неметалевих включень у порошкових сталях проводилося методом світлової мікроскопії на мікроскопі НЕОРНОТ-2 з використанням збільшення до 2000-х.

Металографічними дослідженнями встановлено, що неметалеві включення є крихкими частинками складного складу з ділянками, що викришилися. Спостерігаються частинки неметалевих включень, як пластинчастої так і глобулярної форми різних розмірів. Максимальний розмір неметалевих включень досягав 100-120 мкм, що відповідає 5-му балу за пластичною шкалою або крихких силікатів ГОСТу 1778-70 (за ГОСТом допускається наявність неметалієських включень не більше 3 балів).

2.2.2 Петрографічний аналіз неметалевих включень у сталі

Відібрані проби шлаків з металоприймача, пічного шлаку, футерування металоприймача до та після розпилення металу, вивчали у відбитому світлі на біологічному мікроскопі МБІ-6 при збільшеннях 210 - 1300-х (з використанням масляної іммерсії), а також у світлі, що проходить, із застосуванням імерсійних рідин на поляризаційному мікроскопі МНН-8 при збільшеннях 210-400. Поляризаційний мікроскоп є основним інструментом, який застосовується для вивчення оптичних властивостей за показниками світлозаломлення.

У відбитому світлі при невеликих збільшеннях (210-х) дане неметалеве включення неправильної уламкової форми сірого кольору зі слабкою відбивною здатністю, що володіє слабким поляризуючим ефектом, містить ділянки, що викришилися, корунду, прозоро в темному полі. У представленому аншліфі виявлено подібні неметалеві включення округлої форми.

Однак при великих збільшеннях (400-1300-х) спостерігається неоднорідність складу неметалевого включення. Виявлено чисельні мікроліти сірого, сіро-блакитного кольору з вищим рельєфом, представлені оксидами алюмінію та інших легуючих елементів. Неметалічний включення також містить частинки металу неправильної уламкової форми у вигляді дисперсних корольків. У темному полі спостерігається плямисте забарвлення, різна прозорість, що свідчить про неоднорідність складу неметалевого включення.

Поверхня неметалевого включення повністю протруюється під впливом плавикової кислоти HF протягом 45 хвилин. Дане включення є склофазою з явними мікролікваційними властивостями. Вивчення тонкої структури склофази показало, що вона мікронеоднорідна, складається з кремнеземистого скелета (аморфне SiO_2) та областей, збагачених сполуками катіонів домішок — продуктів вогнетривкового походження, зокрема Al_2O_3 і продуктів перетворення елементів розкислювачів, що легують.

Для підтвердження вогнетривкового походження неметалевих включень у металі використовували метод порівняльного аналізу цих включень та фазового складу шлаку металоприймача.

Шлак металоприймача представлений переважно склофазою, корундом, а також містить ортосилікати, представлені переважно фаялітом.

Пічний шлак містить переважно метал, вюстит, скло, зустрічається корунд.

Механізм утворення неметалевих включень у сталях. Футерування металоприймача при впливі рідкого металу та шлаку піддається механічній ерозії та хімічній корозії. Спостереження показали, що руйнування футерування відбувається переважно по зв'язуванні компонентів підмазувальної суміші. В результаті зміни частки, що зазнали змін, потрапляють у рідкий метал. Більші частинки спливають на поверхню рідкого металу, утворюючи шлакову скоринку, а дрібніші відповідно до закону Стокса не встигають повністю спливати на поверхню і залишаються в розплаві у вигляді включень. Це пояснюється тим, що різниця сили, що виштовхує, і гідродинамічного опору для великих частинок більше, ніж така ж різниця для дрібних частинок, що призводить до меншої швидкості спливання дрібнодисперсних неметалевих включень.

З виконаної роботи з дослідження мікроструктури і складу неметалевих включень можна дійти невтішного висновку у тому, що й походження екзогенне; являють собою склофазу з мікролікваційними властивостями і потрапляють у порошковий метал як з продуктами руйнування вогнетривких матеріалів, так і внаслідок окислення легуючих елементів і елементів розкислювачів.

2.3 Раціональне впорядкування проведення плавок з метою зниження металевих «сторонніх» та «сторонніх» частинок

Проведені дослідження показали, що "сторонні" та "сторонні" частинки відносяться до дефектів, пов'язаних з якістю вихідного порошку.

Встановлено, що до «сторонніх» порошкових частинок умовно ставляться частинки інших марок одного класу сталей (наприклад, швидкорізальних) у мікроструктурі основної сталі. Найбільш чітко ці частинки виявляються за

значної різниці в хімічному складі. У цьому випадку окремі частинки мають більше або дрібніше зерно аустеніту, меншу або більшу кількість карбідів.

При значній різниці в масовій частці вуглецю в «сторонніх» частках та в основі (наприклад, 1,0 та 1,5 %) спостерігається велике зерно, оплавлення, голчастий мартенсит та залишковий аустеніт на відміну від прихованого кристалічного мартенситу основи [16].

Це пояснюється тим, що в процесі компактування методом ГГП та тривалих нагрівань пресувань перед деформацією відбувається взаємна дифузія елементів, головним чином, вуглецю між «сторонньою» частинкою та основою, що призводить до зниження температури плавлення «сторонньої» частинки і, як наслідок, появи великого зерна і оплав.

У макроструктурі металу «сторонні» частинки виявляються як крапки, підвищеної чи зниженої травимості.

Негативного впливу поодиноких «сторонніх» частинок на якість порошкової сталі не виявлено.

До «сторонніх» порошкових частинок відносяться частинки, що значно відрізняються за хімічним складом від швидкорізальних сталей – штампові сталі; або навпаки у штампових сталях – швидкорізальні сталі. «Інородні» частинки потрапляють у порошок в основному в тому випадку, якщо на установці розпилення крім порошків одного класу сталей виробляють порошок інших класів сталей. "Інородні" порошкові частинки, виходячи на різучу кромку інструментів, прискорюючи вихід їх з ладу.

Світова практика показала, що при експлуатації промислових установок розпилення рідких металів, як правило, використовується одна спеціалізована колона розпилення для порошків виробництва одного класу сталей (наприклад, тільки швидкорізальних сталей).

Вивчення марочного сортаменту та схеми легування порошкових сталей виробництва ВАТ «Дніпрспецсталь» показав, що в них можуть бути «шкідливі» металеві частинки двох типів:

1. Порошки сталей одного класу - "сторонні" частинки.

2. Порошки сталей різних класів - "сторонні" частинки.

З метою зменшення кількості «сторонніх» частинок, очевидно, під час планування проведення плавок необхідно їх (плавки) групувати на класи. В інших випадках неминуче виникають «сторонні» частки другого типу та його впливом геть властивості сталей буде катастрофічним. Жодного іншого рішення крім промивання, чищення колони розпилення та іншого обладнання не може бути.

Виникнення дефектів другого типу можливе також і при послідовному розпиленні сталей одного класу, перш за все швидкорізальних. Відомо, що загартування інструментів з швидкорізальної сталі проводять, як правило, з температур на 10-20°C нижче за температуру солідус (температура початку оплавлення). Остання, залежно від складу сталі, суттєво змінюється. У разі потрапляння порошків легкоплавкої марки в сталь із вищою температурою «сторонні» частинки виявляться перегрітими і для їхньої структури буде характерним, як мінімум, оплавленням по межах зерен. Міцність та ударна в'язкість у цьому випадку різко знімається. Отже, у разі, хоча формально «сторонні» частинки ставляться до того ж класу сталей, як і основа, власне їх поведінка і впливом геть властивості буде відповідати «стороннім» часткам другого типу.

Для виключення подібних ефектів при виробництві порошкових швидкорізальних сталей послідовність виплавки повинна бути від сталей з максимальною температурою солідус до сталей з мінімальним значенням.

Загалом, для швидкорізальних сталей температура початку оплавлення залежить від двох факторів:

1. Співвідношення вмісту вольфраму та молібдену, а саме, введення 1 % Мо замість 1,5-2 % W знижує температуру на - 10°C.
2. Співвідношення між карбідоутворюючими елементами W,
3. Мо, V з одного боку та вуглецем з іншого.

З огляду на це всі порошкові швидкорізальні сталі, виробництва ВАТ «Дніпроспецсталь», повинні бути розташовані в порядку зниження

передбачуваних температур початку оплавлення при загартуванні виходячи із середніх значень вмісту елементів для кожної марки. Значення температур оплавлення кожної марки слід розглядати як орієнтовні, т. до. для конкретної плавки всередині марочного складу «пересичення» по вуглецю може змінюватися на - 0,1 %.

Штампові сталі холодного деформування також можна розбити на кілька груп залежно від температур подальшої обробки термічної інструментів з них.

Якщо дотримуватися зазначеної послідовності виробництва штампових сталей за групами, це має запобігти утворенню «сторонніх» частинок другого типу, проте, структурна неоднорідність може бути досить сильної (частинки високованадієвих сталей у марках інших інструментах). При цьому слід приділити велику увагу особливостям виробництва штампових інструментальних сталей.

На рисунках 3 - 9 представлені мікроструктура порошку і сортового металу сталі P0M2CФ10-МП, карбідна неоднорідність порошкової сталі, рядкова спрямованість карбідів у порошковій сталі, неметалеve включення в порошковій сталі, неметалеve включення в порошковій сталі, структурна неоднорідність у порошковому металі, що обумовлена присутністю частинок різної фракції, металеві включення в сталі марки P0M2CФ10 – МП.

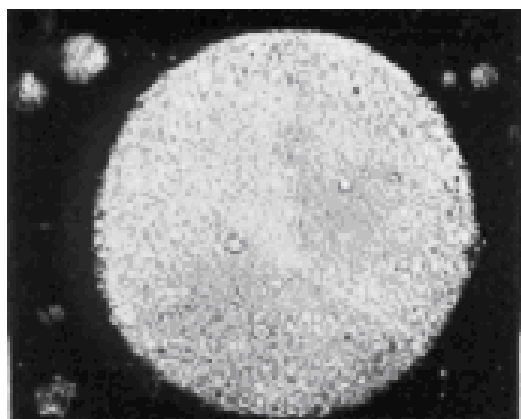
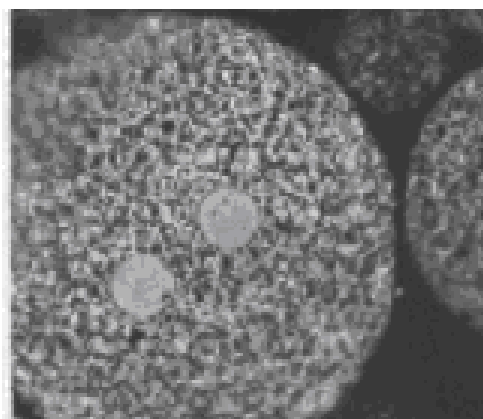
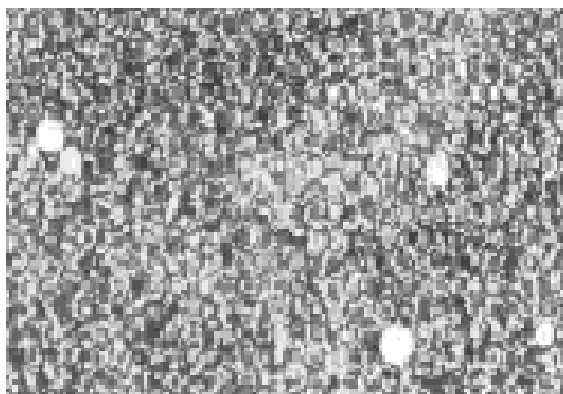
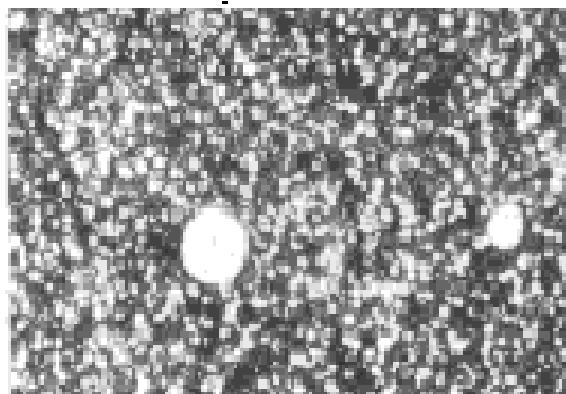
**X200****X500****×500****×1000**

Рисунок 3 - Мікроструктура порошку і сортового металу сталі P0M2CΦ10-МП



Рисунок 4 - Карбідна неоднорідність порошкової сталі (X500)



Рисунок 5 - Рядкова спрямованість карбідів у порошковій сталі (X300)

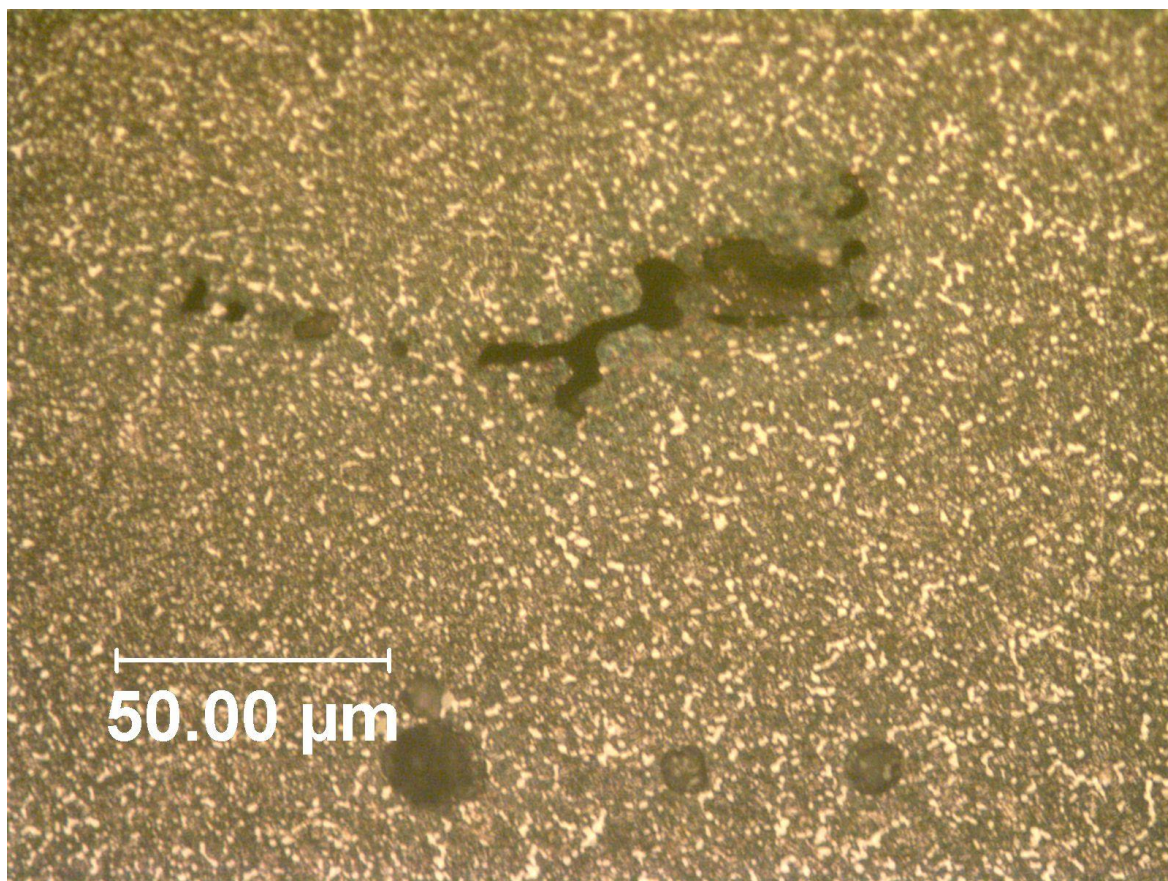


Рисунок 6 - Неметалеve включення в порошковій сталі (X500)

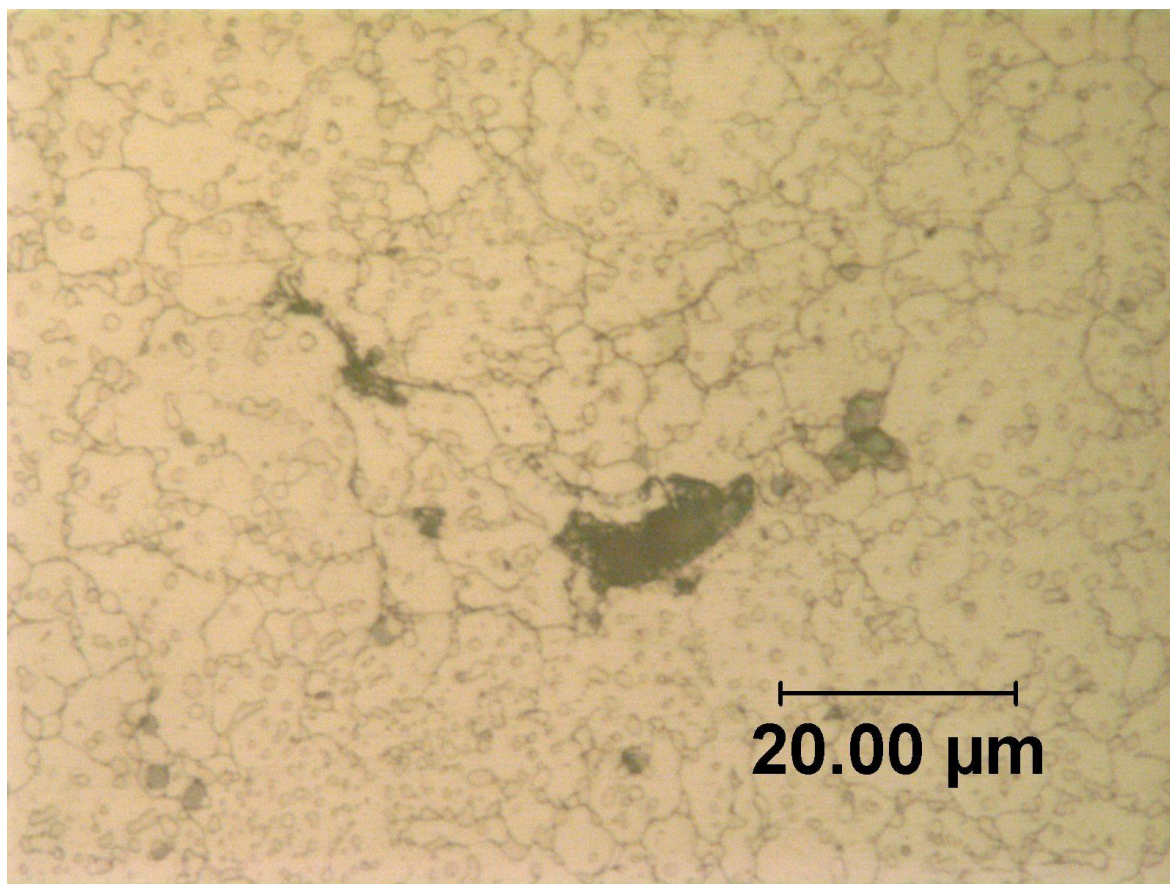


Рисунок 7 - Неметалеve включення в порошковій сталі (X1000)

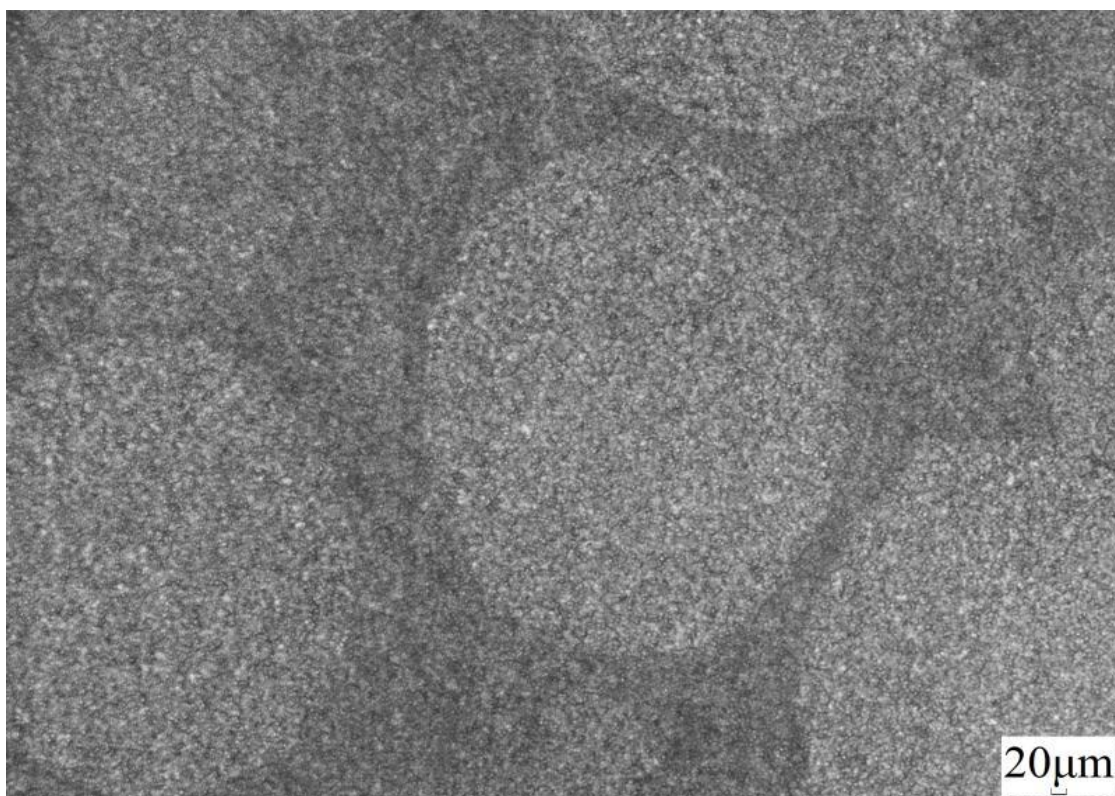


Рисунок 8 - Структурна неоднорідність у порошковому металі, що обумовлена присутністю частинок різної фракції (x500)

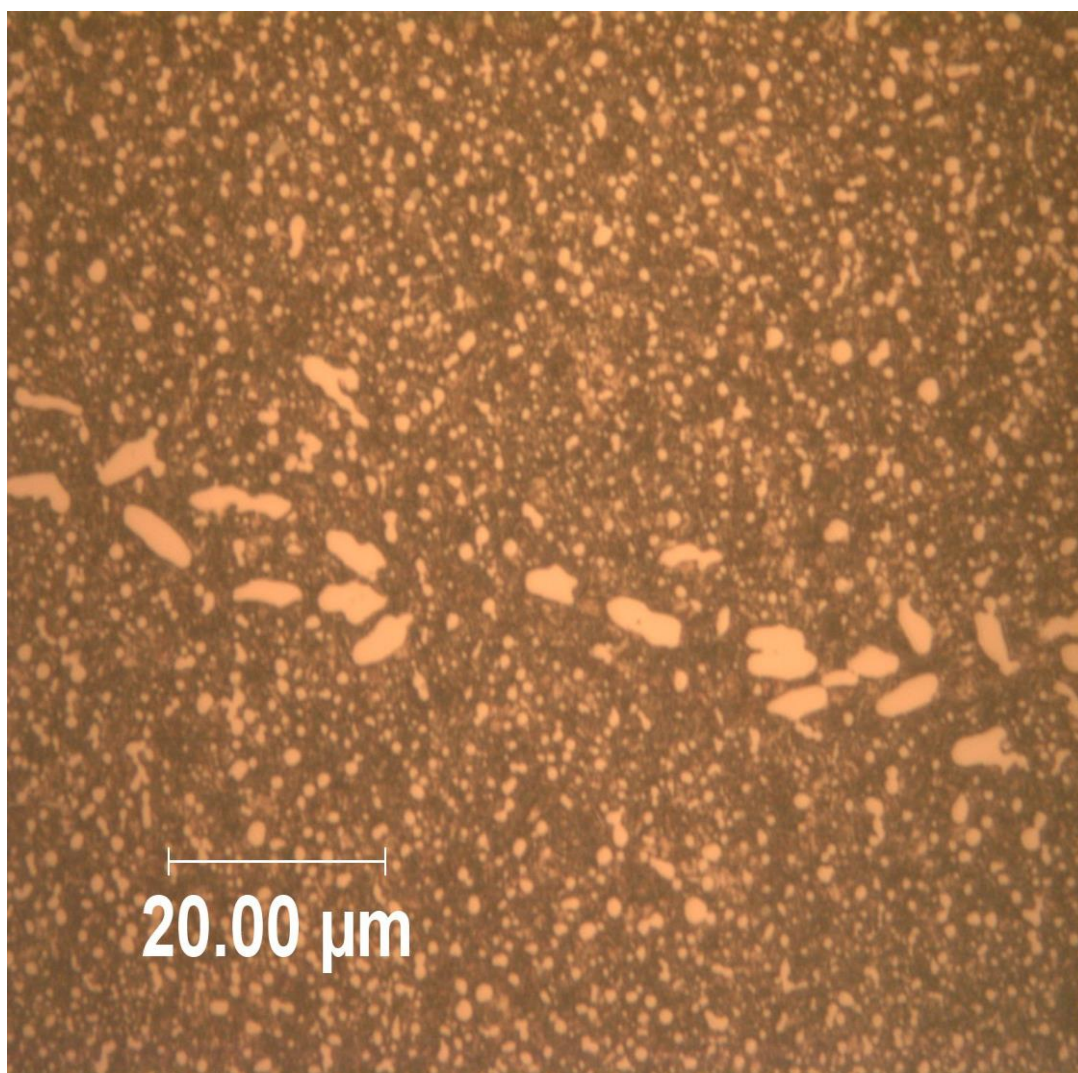


Рисунок 9 - Металеві включення в сталі марки P0M2CФ10 – МП

3. АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА ПОРОШКОВИХ ШТАМПОВИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

У цьому розділі розглядається особливість виробництва штампових інструментальних сталей за умов ЦПМ «Дніпроспецсталь», а також зміна технології їх виробництва.

3.1 Марка стали 38В3М4-МП

Таблиця 1 - Хімічний склад сталі 38В3М4 – МП

Масова частка елементів, %								
<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Mo</i>	<i>W</i>
0,36	н.б.	н.б.	н.б.	н.б.	0,15		3,80	2,80
0,40	0,40	0,40	0,015	0,020	0,30	0,10	4,20	3,20

На підставі детального дослідження особливостей хімічного аналізу сталі, а також результатів фізико-механічних властивостей та характеру мікроструктури встановлено, що сталь 38В3М4-МП відноситься до групи штампових сталей для гарячого деформування підвищеної теплостійкості та в'язкості. За структурними ознаками сталь 38В3М4-МП відноситься до сталей мартенситного класу з карбідним зміцненням. Мікроструктура сталі після загартування та відпустки з оптимальних температур характеризується голчастим мартенситом та високо однорідним розподілом дрібнодисперсних карбідних фаз розміром до 1,5-2,5 мкм. Досягнення такої структури забезпечується схемою та ступенем легування стали 38В3М4-МП, а також технологією її виробництва. Високий вміст молібдену в сталі 38В3М4 -МП дуже корисно - він ускладнює виділення карбідів по межах зерен аустеніту, запобігає їх коагуляції, що покращує в'язкість матеріалу в цілому. Наявність вольфраму з таким вмістом збільшує теплостійкість сталі за рахунок утворення комплексних карбідів WC+ MoC.

У ЦПМ виплавку стали 38В3М4 -МП виробляли за наявною технологією. Як шихту використовували паспортну болванку типу ПБ23А зі складом близьким до сталі 38В3М4-МП, за винятком молібдену та вольфраму.

При освоєнні марки стали 38В3М4 -МП в ЦПМ відзначені значні відмінності від швидкорізальних інструментальних порошкових сталей, що вироблялися раніше в ЦПМ.

У зв'язку з низькою кількістю елементів-розкислювачів у цій марці ($C+Mn+Si+Cr$) не перевищує 1,3%, було утруднено видалення шлаку з поверхні дзеркала металу при виплавці і розпилюванні металу. Після первинного видалення шлаку при температурі нижче за температуру розпилення металу 1640-1650°C і при піднятті температури до 1680-1690 °C утворювалася нова плівка рідинного шлаку, яку неможливо було видалити повністю.

Температура розпилення металу 1670-1690 °C, визначена експериментальним шляхом, що на 100 °C вище за температуру освоєних швидкорізальних порошкових сталей.

У деяких випадках розпилення не відбувалося при температурі в печі 1690° C, а процес починався після підйому температури до 1700-1710 °C. При розпиленні металу з високою температурою порошок, потрапляючи на конус колони розпилення, не встигав остигати до температури утворення твердої фази, відбувалося налипання металу. підвищеним відходам по скрапу.

При розпорошенні на трьох плавках відзначено перевищення у кілька разів відходів скрапу порівняно з іншими плавками цієї марки.

На плавці ***253 відходи по скрапу склали 1495 кг при виході придатного порошку 2370 кг (58,10%), на плавці ***254 – 1952 кг при виході придатного порошку 1715 кг (44,77%), на плавці ***264 – 13 (59,55%). Загальний перевитрата по скрапу при виплавці кампанії стали 38В3М4 -МП становив понад 6 т.

При такому навантаженому високотемпературному режимі роботи після закінчення кампанії виплавки в індукційній печі на набиванні спостерігалось вимивання тигля печі по всій висоті.

За період кампанії виплавлено 20 плавок нової марки 38В3М4-МП, з них 4 промивних та 16 сортових. На 8 плавках із 20 спостерігалось затягування дозаторної склянки.

При виплавці марки 38В3М4-МП виникали проблеми з коригуванням хімічного складу за хромом. Для забезпечення вимог замовника щодо хрому н.б. 0,1% проводилися відмивальні плавки.

Результати виробництва дослідно-промислових плавок стали 38В3М4 - МП представлені в таблиці. Усього вироблено 49,05 тонни придатного порошку.

Внаслідок підвищених відходів по скрапу вихід придатного порошку на сортових плавках склав 75,85%, що нижче за рівень виходу придатного порошку на освоєних марках в ЦПМ на 10-12%.

На всіх плавках, які були виплавлені розпорошений порошок, мав окислений частинки темно-синього кольору і темно-коричневого кольору більше 3 у 10 полях зору.

При заповненні перших капсул з увімкненим електромагнітом виникли проблеми із закінчення порошку з бункера. Намагнічений порошок «застигав» у вихідному отворі накопичувального бункера. У зв'язку з цим було вирішено заповнювати капсули порошком без намагнічування.

У зв'язку з особливостями хімічного складу марки 38В3М4-МП при нагріванні в печах попереднього нагріву (ППН) за діючою технологією (посадка капсул в піч при температурі 850 ° С) на перших капсулах в металі не відбувалося засвоєння азоту, що призводило до перевищення величини стріли прогину. Після чого, змінили нагрівання капсул за режимом:

- посадка капсул у піч, що має температуру 700-750 °С;
- витримка при температурі 700-750 °С протягом 3,0-6,0 год;

- підвищення температури до 900 °С з довільною швидкістю, витримка 6-12 год, подальший нагрівання металу за чинною технологією. Нагрівання за цим режимом позитивного результату також не дало, мало місце критичне здуття кришок капсул.

З метою виключення критичного здуття кришок капсул стали 38В3М4-МП при нагріванні в печах попереднього нагрівання скоригований новий режим нагрівання в ППН.

Режим нагріву:

- посадка в піч за температури 1100 °С;
- зниження температури до 1000 °С;
- витримка при температурі 1000 °С протягом 10-12 год.;
- посадка у газостат за чинною технологією.

Усього було спресовано 27 пресувань.

Переділ пресувань марки 38В3М4-МП на смугові профілі - розміри виробляли в КППЦ за технологією, що діє.

Твердість сортової металопродукції сталі 38В3М4-МП у стані поставки становить 180-212 НВ та задовольняє вимогам.

На дослідній пробі, відібраній після відпалу в кінцевому профілі, визначено критичні точки фазових перетворень у металі марки 38В3М4-МП. Критичні точки фазових перетворень становлять

$$AC3 = 855^{\circ}\text{C}, AC1 = 760^{\circ}\text{C}.$$

При атестації сортової металопродукції марки 38В3М4-МП в металі було відзначено наявність великих неметалевих включень розмірами до 350 мкм, що перевищують максимальні розміри включених шкал за методиками ASTM E45 (метод А) та DIN 50602 (метод К), що є.

Дослідження неметалевих включень на растровому електронному мікроскопі показало, що включення є частинками, глобулярної, кутастої і нерівноважної форми, що складаються, в основному, з пічного шлаку і продуктів вогнетривкового походження.

В результаті проведених досліджень зазначено, що великі неметалеві включення в металі сталі 38В3М4-МП мають склад, аналогічний складу шлаку, відібраного при виплавці плавки ***258 і являють собою невіддалений пічний шлак, що потрапив у метал у процесі розпилення.

Таблиця 2 - Хімічний склад шлаку

№ плавки	Масова частка елементів, %					
	<i>FeO</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>MnO</i>
***258-1	3,8	24,04	50,4	8,6	4,10	9,0
***258-2	7,8	50,5	11,10	3,1	4,80	22,5

Відповідно до ASTM E45 (метод А) мікроскопічні методи контролю не призначені для визначення вмісту екзогенних включень, отриманих в результаті потрапляння в метал шлаку та вогнетривких матеріалів. На цій підставі частина партія металу стали 38В3М4 -МП були забраковані по неметалевих включень.

При оцінці неметалевих включень за DIN 50602 (метод К) індекс К0 на атестованих партіях знаходиться в межах від 0,5 до 9,9 при вимозі не більше 10. При оцінці металу за методикою ASTM E45 (метод А) відзначали фактичні максимальні розміри включень товстої серії шкалам. Показники якості за аргонною пористістю, кисневою ліквіацією, карбідною неоднорідністю відповідали загальним вимогам.

Для забезпечення якості металу при серійному виробництві необхідно внести зміни до існуючої технології виплавки та пресування в ЦПМ.

Таблиця 3 – Результати виплавлення інструментальної порошкової сталі 38В3М4 – МП

Номер плавки	Задано, кг	Отримано придатного, кг	Вихід придатного, %	Віходи, кг			Температура розпилення, С	Тривалисть плавки, год –хв.	Затягування при розпиленні
				недоливок	скрап	чад			
***020	4243	3210	75,65	523	257	253	1690	9-25	1
***070	3808	3345	87,84	107	188	168	1685	7-00	1
***251	3851	3305	85,82	128	264	154	1710	9-15	1
***252	3978	3090	77,68	155	609	124	1710	25-40	3
***253	4079	2370	58,10	119	1495	95	1700	7-40	3
***254	3831	1715	44,77	86	1962	98	1690	11-35	1
***255	4007	3210	80,11	161	508	128	1690	5-50	-
***256	3892	3050	78,36	152	595	95	1713	13-25	-
***257	4065	3315	81,55	166	424	160	1696	8-10	-
***258	4013	3510	87,47	176	225	102	1700	6-05	-
***259	4101	3390	82,66	170	440	101	1708	6-00	-
***260	4001	3180	79,48	159	561	101	1692	7-50	-
***261	4079	3185	78,08	159	576	159	1695	10-30	-
***262	3992	3140	78,66	157	540	155	1708	5-20	-
***263	4314	3400	78,81	170	574	170	1700	8-20	-
***264	4425	2635	59,55	140	1345	305	1690	6-30	1
Середнє на плавку	4042	3066	75,85	170,5	660	146	1690	9-20	

Таблиця 4 – Якість стали 38В3М4 – МП

Номер пресування	Тривалість плавки год-хв.	Літера проб	ASTM E45 (метод А) Сумма балов	DIN 50602 (метод K0)
***131	9-25	А	1,5	0,5
***141	9-25	Пресування забраковано зі здуття		
***151	7-00	А, Н	3,0	2,1
***152	7-00	А	5,0	0,5
***801	13-25	А, Н	6,8	5,0
***811	6-05	А, Н	Шлакові включення 40-175 мкм - брак	
***741	9-15	А, Н	4,7	3,4
***711	7-40	А, Н	5,6	6,4
***831	8-10	А	5,1	6,7
***721	9-15	А, Н	4,0	7,6
***731	9-15	А	6,5	4,6
***751	11-35	А	5,8	3,5
***731	11-35	Н	Шлакові включення 140-350 мкм - брак	
***761	5-50	А, Н	3,5	5,8
***771	13-25	А, Н	7,3	6,5
***781	6-05	Н	Шлакові включення 40-175 мкм - брак	
***791	6-00	А, Н	5,9	6,3
***821	8-10	А, Н	6,1	6,1
***841	6-00	А, Н	3,0	7,1
***851	7-50	А	4,4	2,5
***861	5-20	А, Н	5,5	8,1
***871	10-30	А	6,5	8,5
Вимоги ТУ			Н.б. 8,0	Н.б. 10

3.2 Марка сталі P0M2CФ10 – МП та її аналоги [11]

Легування сталі ванадієм у поєднанні з високим вмістом вуглецю (для балансування карбідо- утворювальних елементів) перспективний і один з основних напрямків підвищення зносостійкості та теплостійкості порошкових інструментальних сталей за кордоном. Карбіди ванадію VC(MC) мають кубічну кристалічну решітку з твердістю HV2100-2800, що вдвічі вище за твердість карбідів хрому Cr₇C₃ (M₇C₃).

Виробництво інструментальних сталей із вмістом ванадію більше 3-4% (за масою) традиційним металургійним способом утруднене або недоцільне через грубу карбідну неоднорідність. Однорідність карбідної фази у таких сталях забезпечує технологія порошкової металургії. Завдяки високим швидкостям охолодження розплавленого металу (103÷105°C/с) вдається одержати мікроструктуру з рівномірно розподіленими дрібнодисперсними карбідами.

До таких сталей належить марка сталі P0M2CФ10 – МП та її аналоги, такі як: P0M2CФ10 – МП – У(У₁), P0M2CФ10 – МП – МОД, P0M1(2)CФ9 – МП.

Залежно від номенклатури хімічний склад може змінюватись за вмістом: вуглецю, молібдену, ванадію, хрому та сірки. За класифікацією цю марку відносять до штампових інструментальних сталей, хоча в деяких випадках її можна розглядати як безвольфраміста швидкорізальна марка сталі.

Таблиця 5 - Орієнтовний хімічний склад марки P0M2CФ10 – МП %

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>W</i>
2,35	0,35	0,75	н.б.	0,050	4,75	н.б.
2,45	0,60	1,10	0,030	0,090	5,50	0,50
<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Co</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>O</i>	
1,10	9,25	н.б.	н.б.	н.б.	н.б.	
1,45	10,25	0,50	0,03	0,035	0,020	

Залежно від номенклатури хімічний склад може змінюватись за змістом: вуглецю, молібдену, ванадію, хрому та сірки. За класифікацією цю марку відносять до штампових інструментальних сталей, хоча в деяких випадках її можна розглядати як без вольфраміста швидкорізальна марка сталі.

Стандартна технологія виплавки та розпилення при виробництві металевого порошку сталі P0M2CФ10-МП виявилася малоефективною. Основна складність – затягування отвору дозаторної склянки, що призводить до зниження виходу придатного порошку та збільшення тривалості плавки та відповідно питомих витрат. Крім цього були претензії щодо мікроструктури та структурної неоднорідності.

Структурна неоднорідність у порошковому металі обумовлена різною швидкістю кристалізації великих та дрібних фракцій. Різна швидкість кристалізації веде до утворення в порошку різної мікроструктури: чим більший порошок, тим більша і розвинута фаза і тим більше тло при травленні. Другою причиною наявності в порошковому металі структурної неоднорідності є зміна вмісту вуглецю у складі розплаву в процесі розпилення, різниця у вмісті вуглецю більше 0,05% призводить до структурної неоднорідності. Наявність у порошковому металі структурної неоднорідності не впливає на експлуатаційні властивості металу та бракувальною ознакою не є.

Мікроструктура сортової продукції сталі P0M2CФ10-МП характеризується переважно дрібнозернистою будовою та підвищеною дисперсністю надлишкових фаз MeC, а також наявністю окремих великих включень MeC до 20 мкм. Кількість дрібної фракції (250÷50 мкм) у цій сталі більше ніж інших сталях і пояснюється тим, що в процесі розпилення відбувається заростання металопроводу дозатора і, як наслідок, зменшення витрати рідкого металу, що в свою чергу веде до зміни співвідношення витрат газу і металу.

В'язкість визначали методом реєстрації загасаючих крутильних коливань тигля з розплавом. Щільність та динамічна в'язкість розплаву в залежності від температури представлені нижче

Таблиця 6 - Щільність та в'язкість сталі P0M2CФ10-МП

Температура, °C	$\rho \times 10^{-3}, \text{кг/м}^3$	$\eta, \text{мПа} \cdot \text{с}$
1400	6,60	11,70
1440	6,50	7,87
1450	6,40	7,23
1500	6,12	4,26
1510	6,07	3,97
1520	6,02	2,83
1530	5,97	2,82
1550	5,88	2,77

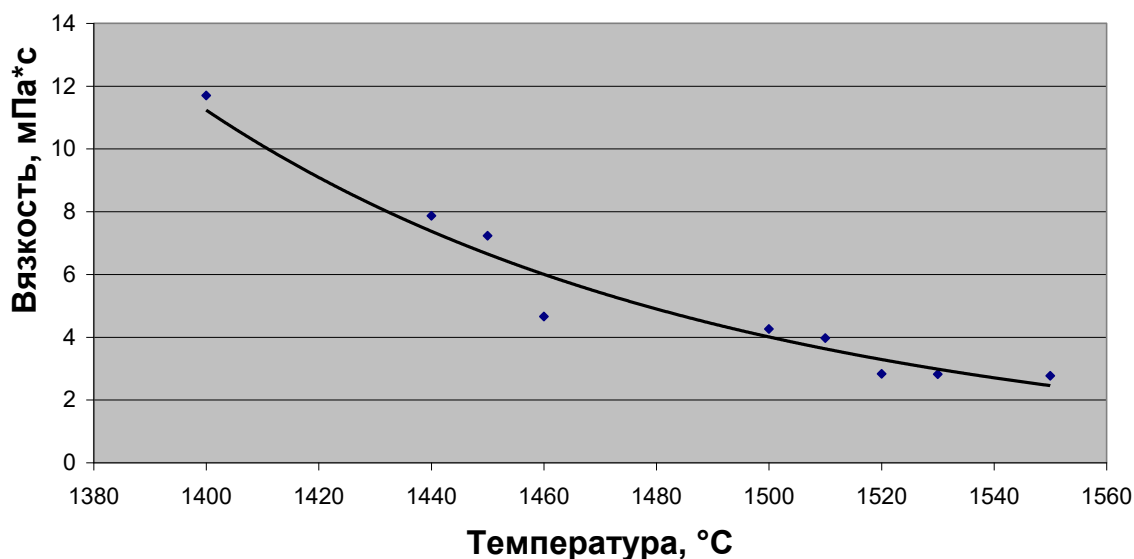


Рисунок 10 - Залежність динамічної в'язкості від температури

Температура солідус становить 1260°C, ліквідус 1310°C, визначена в'язкість розплаву в залежності від температури. Встановлено, що в'язкість розплаву становить 11,7 мПа*с при перегріві вище температури ліквідус на

100°C , зниження температури розплаву з 1500°C до 1400°C збільшує в'язкість розплаву в три рази і утруднює закінчення розплаву з дозатора.

Температура металу в приймачі металу в процесі розпилення складає:

верхній рівень приймача металу - 1480-1550 °C

нижній рівень приймача металу – 1420-1510°C

На підставі вищевикладених досліджень обрано оптимальну температуру розплаву в тиглі печі – 1620-1630°C.

У процесі відпрацювання оптимальної технології виплавки та розпилення варіювали температуру металу в печі, а також випробували дозаторні склянки та приймач металу зміненої конструкції.

Підвищення температури металу в тиглі печі не дало очікуваного ефекту. Відзначено підвищене шлакоутворення, чад та активну взаємодію розплаву з футеруванням печі.

Збільшення діаметра отвору дозаторної склянки призводить до зміни співвідношення витрат енергоносія та розплаву та відповідно до порушення теплового балансу колони розпилення. Великі частинки рідкого металу стикаючись зі стінкою колони розпилення перетворюються на так звані “пелюстки”, а частинки, що потрапили на конус, що охолоджується, спікаються в “корж”. Збалансувати тепловий режим за рахунок збільшення подачі енергоносія (азоту) неможливо через недостатню потужність компресорів. Зазначено, що процес розпилення стабільний перші 30-40 хвилин, далі відбувається зменшення перерізу отвору як у “звичайному” дозаторі, і на дозаторі зі збільшеним отвором.

При розпиленні сталі P0M2CФ10-МП із-за високого вмісту вуглецю в сталі відбувалося його вигорання і вести плавку на нижніх межах вуглецю було неможливо. Вміст вуглецю при розпиленні тримали ближче до верхньої межі, вміст ванадію ближче до середини. Відбір скрапи на вуглець проводили кожні 10 хвилин.

При розпиленні металу при температурі вище 1630°C відзначалося підвищене шлакоутворення, чад, активну взаємодію розплаву з

футеруванням печі, що пов'язано з високим вмістом ванадію, і як результат зтягування дозаторної склянки на третьому-п'ятому сливі.

На плавках ***442, ***443, при температурі розпилення в інтервалі 1630-1640°C було по дві зтяжки дозаторної склянки, на плавці ***444 при температурі розпилення 1629-1620°C одна зтяжка. На плавці ***445 при температурі розпилення 1624°C метал розпорошився без зтяжок. Розпилення металу зазначених плавок виробляли на дозаторній склянці з діаметром отвору 8 мм (замість 6,9 мм для звичайних марок). Вихід придатного порошку не більше 78-81%.

Результати якості металопродукції із сталі марки P0M2CФ10-МП на партіях у заготівлі прокатного цеху задовольняють вимоги щодо макроструктури та мікроструктури.

За результатами атестації сортової металопродукції стали марки P0M2CФ10-МП заходи щодо покращення якості повинні бути наступні:

- варіювання температури для забезпечення стабільного процесу розпилення;
- збільшення кількості зливів металу в приймач металу (кожні 3-5 хвилин);
- порошок розпорошувати з індивідуальним налаштуванням форсунок;
- для зниження попадання в метал великих неметалевих включень та зменшення розмірів робочої фракції порошку при розсвіві порошку на вібро грохоті використовувати сітку з розміром 630 мкм (за 800мкм, що діє).

Внести зміни до технологічної інструкції.

Таблиця 7 - Результати виплавки сталі марки P0M2CФ10-МП

Номер плавки	Кількість зтяжок	Усього шихти,кг	Усього придатного порошку, кг	Вихід придатного, %	Відходи, кг			Температура розпилення, С	Тривалість плавки, год - хв.
					недолив.	скрап	чад		
***442	2	4150	3400	81	193	377	180	1640-1630	9-00
***443	2	4620	3760	78	210	460	196	1630-1638	18-00
***444	1	4897	4000	81	85	540	172	1629-1620	11-00
***445	-	3736	3115	81	176	289	156	1624	7-30

Таблиця 8 – Якість сталі P0M2CФ10 – МП

Номер партії	Тривалість плавки ч-мин	Літера проб	ASTM E45 (метод А) Сума балів	DIN 50602 (метод K0)
***536	9-00	A	3,5	2,0
***537	18-00	A	4	0,8
***542	11-00	A,H	3	0,5
***543	7-30	A,H	4	1,5
***536	9-00	H	2	2,3
***537	11-00	H	3,5	3,12

3.3 Марка сталі X20BMФ4 - МП

Виплавку сталі X20BMФ4 – МП проводили з наступним хімічним складом % за діючою технологією.

Таблиця 9 – Хімічний склад X20BMФ4 - МП

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>W</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>
1,85	0,25	0,50	Н.б.	Н.б.	19,50	0,55	0,95	3,90
1,95	0,40	0,65	0,030	0,030	21,00	0,70	1,10	4,20

Як шихту використовували відходи групи: Б-3, 285, ПБ, сплав SiP[6,7], відходи власного виробництва цієї марки як скрапу і недоливок. Відпрацювання технології виплавки здійснювали на промислових плавках. Спочатку процес розпилення промивної плавки проводили при температурі 1585-1610 С. Спостерігалася багаторазова кількість затяжок дозаторної склянки та утворення скрапу на колоні розпилення. Надалі було прийнято рішення проводити процес розпилення при температурі від 1600 до 1656°C.

Виплавлено шість сортових плавок. Така відносно висока температура розпилення могла негативно вплинути на показники якості металу сталі X20BMФ4 – МП за наявності не металевих включень.

При виробництві сталі марки X20BMФ4 – МП на сортовій плавці ***323 при розпиленні металу було одне затягування дозаторної склянки, внаслідок чого тривалість плавки становила 11 годин. Середня тривалість виплавки сортових плавок склала 8 годин 20 хвилин.

При виплавці сортових плавок через підвищену кількість відходів по недоливкам та скрапу середній вихід придатного порошку на марці сталі X20BMФ4 – МП становив 81,68%. Вироблено 19,63 т придатного порошку та заповнено 10 капсул. Переділ відбувався у ковальському та прокатному цеху.

Незважаючи на задовільні показники якості металопродукції зі сталі X20BMФ4 – МП необхідно відзначити досить високий рівень забрудненості по неметалевим включенням.

Надалі при серійному виробництві марки сталі X20BMФ4 – МП необхідно внести такі зміни до технологічної інструкції:

- нагрівання металу в індукційній печі для розпилення сталі марки X20BMФ4
- МП виробляти в інтервалі 1600-1620°C
- при виплавці сталі марки X20BMФ4 – МП для виключення попадання в порошковий метал неметалевих включень перед початком розпилення та другим зливом ретельно видаляти пічний шлак, контролювати температурний режим ведення плавки та величину недоливок в приймач металу. При розпиленні металу на «дзеркало» металу рідкого в приймача металу вносити матеріал, що утеплює, в кількості, достатній для покриття тонким шаром.

Таблиця 10 - Результати виплавки сортових плавок сталі марки Х20ВМФ4 – МП

Номер плавки	Кількість зatyжок	Задано, кг	Отримано придатного, кг	Вихід придатного, %	Відходи, кг			Температура розпилення, С	Тривалість плавки, год-хв
					недоливки	скрап	чад		
***116	-	3867	3320	85,85	166	215	166	1600 1588	9-10
***262	-	4184	3310	79,11	212	530	132	1617 1618	8-10
***712	-	3787	3115	82,26	131	419	122	1640 1627	7-00
***885	-	3764	3270	86,88	163	203	128	1656 1650	7-00
***323	1	4339	3290	75,82	480	240	329	1610 1615	11-00
***446	-	4091	3325	81,28	220	415	131	1608 1611	8-00
Разом	1	24032	19630	81,68	1372	2022	1008	1610-1650	50-20
Середнє	1	4005	3272	81,68	228,7	337	168	1630	8-20

Таблиця 11 - Показники якості сталі марки Х20ВМФ4 – МП

Номер партії	Мікропори, бал	Кісл. ліквация, бал	Зерно, кількість перетинів	Твердість, HRC	ASTM E45 (метод А) Середній бал	DIN 50602 (метод К0)
***679	3,0	2,0	13	60,5	2,5	9,0
***680	2,0	2,0	13	60,5	2	9,7
***824	3,0	2,0	13	63,5	1,5	0,6
***825	2,0	2,0	14	61	3	9,8
***562	2,0	2,0	13	64	2	4,6
***844	2,0	2,0	13	63,5	2	-
***442	2,0	2,0	13	64	2	4,5
***443	2,0	2,0	13	64	2	3,3
***715	2,0	2,0	13	63,5	2	-
***716	2,0	2,0	13	63,5	2	-
Вимоги ТУ	н.б. 3,0	н.б. 2,0	н.м. 13	н.м. 60	н.б. 3,5	н.б. 10

3.4 Марка сталі 6Х4М8Ф2 – МП

У ЦПМ виплавку сталі 6Х4М8Ф2 – МП проводили за хімічним складом.

Таблиця 12 - Хімічний склад сталі 6Х4М8Ф2 – МП

Марки сталі	C	Mn	Si	S,P	Cr	W	Mo	V	Co
6Х4М8Ф2	0,50	0,15	0,20	н.б.	3,75	н.б.	7,75	1,80	н.б.
– МП	0,65	0,40	0,45	0,030	4,50	0,30	8,50	2,20	0,50

Як шихту використовували відходи груп Б-3, Б-18,255,2А, ПБ, власні відходи у вигляді недоливок та некондиційних порошків (відсів, порошок циклонів та шлакового бункера).

Відпрацювання технології виплавки та розпилення сталі 6Х4М8Ф2 – МП здійснювали на промислових плавках.

Нагрівання металу в індукційній печі для розпилення виробляли в інтервалі температур 1620 - 1680 С. При виробництві нової марки сталі 6Х4М8Ф2 - МП виникали проблеми з розпилюванням металу. З чотирьох виплавлених сортових плавок на трьох було затягування дозаторного отвору склянки приймача металу, на двох плавках – двічі. Розпилення металу продовжували після заміни приймача металу, внаслідок чого середня тривалість сортових плавок становила 11 годин 30 хвилин.

Для низьковуглецевих інструментальних сталей температура металу в печі, отримана шляхом теоретичних розрахунків, повинна бути в межах 1660 С. Однак при масовому виробництві таких сталей з температурою нагріву 1660 С відзначений високий знос футерування і, як наслідок, забруднення сталі неметалевими включеннями. Знаходження розплаву при температурах вище 1650 С значно підвищує ризик руйнування тигля та аварійної ситуації.

На підставі вищевикладеного температура розпилення сталі марки 6Х4М8Ф2 - МП повинна бути не вище 1650°C. Нагрівання металу в індукційній печі для розпилення сталі марки 6Х4М8Ф2 - МП має бути в інтервалі температур 1600 – 1630°C.

Виплавлено вісім плавов сталі марки 6Х4М8Ф2 – МП: чотири промивні та чотири сортові.

Середній вихід придатного порошку при виплавці сталі марки 6Х4М8Ф2 – МП становив 86,5 %, що відповідає рівню виходу придатного плавов ЦПМ.

Деформаційний переділ пресувань, із сталі марки 6Х4М8Ф2 – МП, відбувався у ковальсько-пресовому, ковальському та прокатному цехах.

При серійному виробництві стали марки 6Х4М8Ф2 – МП необхідно внести зміни у працюючу технологію нагрівання металу перед розпиленням, і навіть додати заходи для виключення потрапляння неметалевих включень у розпорошений метал.

Таблиця 13 - Результати виплавлення інструментальної порошкової сталі 6Х4М8Ф2 – МП

Номер плавки	Кількість зтяжок	Усього шихти, кг	Усього придатного порошку, кг	Вихід придатного, %	Відходи, кг			Температура розпилення, С	Тривалість плавки, годину-хв
					недолів.	скрап	чад		
***564	1	4078	3435	84,23	168	353	121	1680 1685	9-00
***236	2	4236	3670	86,64	173	272	121	1655 1670	9-00
***237	2	3614	3135	86,75	127	213	139	1645 1655	19-10
***653	-	3893	3893	88,5	117	168	163	1620 1635	8-00
Разом по плавках	5	15821	15821	86,5	586	1006	544	1620 1685	45-10
Середнє на сортову плавку		3955	3955	86,5	147	252	136	1650	11-30

Таблиця 14 - Показники якості стали марки 6Х4М8Ф2 – МП

Номер партії	Мікропори, бал	Кисл. ліквация, бал	Зерно, кількість перетенів	Твердість, HRC	ASTM E45 (метод А) Середній бал	DIN 50602 (метод K0)
***732	2,0	2,0	13	60,5	2,5	-
***733	3,0	2,0	13	60,5	2	-
***789	3,0	2,0	13	60,0	2,5	-
***790	2,0	2,0	13	60,0	3	-
***791	2,0	2,0	13	59	2,5	4,17
***792	2,0	2,0	13	59	2	-
***471	2,0	2,0	13	60	1	-
***472	2,0	2,0	13	58,5	1	-
Вимоги ТУ	н.б. 3,0	н.б. 2,0	н.м. 13	н.м. 56	н.б. 3,5	н.б. 10

3.5 Марка сталі 105X18МФК2 – МП

У ЦПМ виплавку сталі 105X18МФК2 – МП робили за хімічним складом, %

Таблиця 15 – Хімічний склад сталі 105X18МФК2 - МП

Марка сталі	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>S,P</i>	<i>Cr</i>	<i>W</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Co</i>
105X18МФК2	1,00	н.б.	н.б.	н.б.	17,00	н.б.	1,00	0,07	1,30
- МП	1,10	1,0	1,0	0,030	18,00	0,30	1,50	0,12	1,80

Як шихту використовували відходи груп Б-3, Б-18, ПБ, власні відходи у вигляді недоливок та некондиційних порошків (відсів, порошок циклонів та шлакового бункера).

Відпрацювання технології виплавки та розпилення сталі 105X18МФК2 – МП здійснювали на промислових плавках. Було виплавлено дві плавки сталі марки 105X18МФК2 – МП (одна промивна та одна сортова).

Розпилення металу проводилося в інтервалі температур 1585 - 1606°C без затягування дозаторного склянки. Температура розпилення металу сталі марки 105X18МФК2 – МП має бути не вищою за 1600°C.

При виплавці сортової плавки вихід придатного порошку сталі марки 105X18МФК2 – МП становив 88,2 %, що відповідає рівню виходу придатного порошку раніше освоєних ЦПМ сталей. Усього було вироблено 3,245 тонни придатного порошку та заповнено дві капсули з порошком. Після пресування капсули проходили деформаційний переділ у ковальсько-пресовому цеху.

Наскрізний вихід гідного металу при виробництві сортових смуг склав 71,08%, і знаходиться на рівні з освоєними порошковими інструментальними марками сталей аналогічного сортаменту.

Показники якості сортової продукції сталі марки 105X18МФК2 - МП за результатами випробувань з макроструктури та мікроструктури (мікропористості, кисневої ліквідації, величині аустенітного зерна, неметалевих включень) задовольняють вимогам ТУ.

3.6 Марка сталі X18МФ3С - МП

У ЦПМ виплавку сталі X18МФ3С – МП робили за хімічним складом, %

Таблиця 16 – Хімічний склад сталі X18МФ3С – МП

Марка сталі	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>S,P</i>	<i>Cr</i>	<i>W</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Co</i>
X18МФ3С	1,65	0,20	0,70	Н.б.	17,5	Н.б.	0,90	2,85	Н.б.
– МП	1,75	0,40	0,90	0,030	18,5	0,20	1,10	3,15	0,50

Як шихту використовували відходи груп Б-3, Б-18,285, 441 ПБ, власні відходи у вигляді недоливок та некондиційного порошку (відсів, порошок циклонів та шлакового бункера).

Відпрацювання технології виплавки та розпилення сталі X18МФ3С – МП здійснювали на промислових плавках. Було виплавлено вісімнадцять плавок сталі марки X18МФ3С - МП (вісім промивних та десять сортових). Нагрівання металу в індукційній печі для розпилення проводили при температурі від 1600 до 1632°C.

При виробництві сортових плавок сталі марки X18МФ3С - МП однією плавці було затягування отвори дозаторного склянки в приймач металу.

Середній вихід придатного порошку сортових плавок становив 87,48%, що відповідає рівню виходу придатного порошку раніше освоєних марок.

Усього було вироблено 32,575 т придатного порошку та заповнено 20 капсул з порошком. Деформаційний переділ пресувань проводився у ковальсько-пресовому та ковальському цехах.

Враховуючи вищевикладене, технологія виробництва сталей за ЦПМ має виглядати наступним чином.

Таблиця 17 - Результати виплавлення інструментальної порошкової сталі Х18МФ3С – МП

Номер плавкі	Кількість зтяжок	Усього шихти, кг	Усього придатного, кг	Усього придатного, %	Відходи, кг			Температура розпилення, С	Тривалість плавки, годину-хв
					недолів.	скрап	чад		
***563	-	3840	3285	85,55	155	174	98	1604 1607	7-30
***975	-	3872	3230	83,42	140	300	202	1618 1617	9-30
***073	-	3434	3070	89,40	132	168	64	1632 1629	6-00
***101	-	3750	3320	88,53	129	243	67	1620 1605	8-00
***322	-	3753	3270	87,55	140	260	65	1608 1600	15-50
***439	-	3667	3235	88,22	140	160	132	1610 1608	6-15
***540	-	3674	3315	90,23	120	155	84	1618 1617	6-30
***595	1	3781	3290	87,01	152	175	164	1620 1612	15-40
***635	-	4453	3900	87,58	190	230	133	1615 1610	6-25
***684	-	3029	2660	87,82	110	126	133	1605 1600	7-00
Разом	1	37235	32575	87,48	1408	1991	1142	1632 - 1600	88-40
На плавку	-	3723,5	3257,5	87,48	140,8	199,1	114,2	1616	8-50

Таблиця 18 – Показатели качества металлопродукции из стали марки X18MФ3С – МП

Номер партії	Мікропори, бал	Кисл. ліквація, бал	Карб. неоднор., балл	Зерно, кількість перетенів	Твердість, HRC	ASTM E45 (метод А) Средний балл	DIN 50602 (метод K0)
***325	2,0	2,0	-	13	59,5	2,8	-
***326	2,0	2,0	-	14	59,5	2,5	-
***986	3,0	2,0	11	13	60,5	2,0	-
***987	2,0	2,0	11	13	60,5	2,3	-
***139	2,0	2,0	11	13	60	2,0	-
***140	2,0	2,0	11	13	59,5	2,0	-
***177	2,0	2,0	11	13	59,5	1,0	-
***178	2,0	2,0	11	13	59,5	1,0	-
***521	2,0	2,0	11	13	61	2,0	-
***522	2,0	2,0	11	13	61	2,0	-
***707	2,0	2,0	11	13	60	1,0	-
***708	2,0	2,0	11	13	60	2	-
Требования ТУ	н.б. 3,0	н.б. 2,0	не хуже эталона 11	н.м. 13	н.м. 59	н.б. 3,5	н.б. 10

3.7 Зміна технології виплавки, розпилення, підготовки та пресування порошку з урахуванням особливостей виробництва інструментальних штампових сталей

Марочний сортамент і хімічний склад сталей, що виплавляються в ЦПМ, за ГОСТ 28393-89 і «ТУ» представлений в таблиці .

Виплавку сталей проводять в індукційній печі з нейтральним футеруванням. Марки сталей типу 100X8BM2Ф3С-МП, Х8М2ФС-МП дозволяється плавити з 10 по 60 плавки по тиглю, Р0М2СФ10-МП - з 40 по 60 плавки по тиглю, сталь 38В3М4-МП з 20 плавки.

В якості шихти використовують промивні плавки, паспортну болванку, власні відходи після виплавки та розпилення: недоливок з приймачів металу (зі шлаковні та металева частина, що відокремлюється); скрап з колони розпилення (з конуса та циклону) та шлакового бункера; некондиційний порошок після розсіву, - відходи групи Б-3 та інших груп, близьких за хімічним складом заданої марки, а також феросплави, сплав СіР.

При виплавці сталі 38В3М4-МП із вмістом хрому не більше 0,10 (0,15) % як шихта використовують вакуумування паспортну болванку ПБ 23А з вмістом хрому не більше 0,08 %.

Для забезпечення необхідного хімічного складу сталі 38В3М4-МП легування розплаву роблять металевим марганцем, молібденом та вольфрамом.

При виплавці сталі 38В3М4-МП для загущення шлаку додають магнезитовий порошок.

У процесі розпилення металу плавки частота відбору проб на вуглець повинна бути не рідше одного разу протягом 20 хвилин (для ванадієво-місних марок сталей типу Р0М2СФ10-МП протягом 10 хвилин) із забезпеченням вуглецю в межах, обумовлених для даної марки. У процесі розпилення рекомендується підтримувати різницю за вмістом вуглецю сталі не більше 0,05 %.

Для підвищення стабільності процесу розпилення сталей типу P0M2CФ10-МП рекомендується застосовувати укорочений приймач металу (креслення шаблону для футерування приймач металу Н=0,8 м ПМ 09.38 СБ) з тривалістю розігріву приймач металу не менше трьох годин.

Дозволяється експлуатація укорочених приймачів металу при виробництві всього марочного сортаменту.

Перед розпиленням сталі 38В3М4-МП для «загущення» шлаку лопатою додають магнезитовий порошок у кількості, достатньому для «загущення» та видалення шлаку наявними засобами. Перед першим і другим зливами виробляють ретельне видалення шлаку із забезпеченням вимог щодо охорони праці.

При розпиленні великованадієвих марок сталей типу P0M2CФ10-МП температура металу в приймач металу від 1520 °С до 1540 °С забезпечується більш частими сливами і дрібними порціями по 15-20 зливів на плавку.

При розпиленні великованадієвих марок сталей типу Х18МФ6-МП, Р6М7Ф6К10-МП, Р7М7Ф7К11-МП, Х14МФ9-МП, P0M2CФ10-МП, а також марки сталі 38В3М4-МП в початковий момент розпилення металу протягом 60 секунд скидають порошок у шлаковий бункер.

При переході виробництва з однієї групи сталей на іншу виробляють дві промивальні плавки з обов'язковим попереднім очищенням колони розпилення, конуса, циклонів, приймачів порошку, шлакового бункера, вібро гуркоту від залишків порошку попередньої марки сталі.

Накопичувальні бункери закріплюються за певними групами марок сталей: бункер № 1 – за I групою, бункер № 2 – за II групою, бункер № 3 – за III групою.

Бункер № 4 залишається резервним і має бути завжди чистим, кришки бункера повинні бути закритими. Дозволяється використовувати бункер № 4 для заповнення та зберігання порошку сталі типу P0M2CФ10-МП.

Таблиця 19 – Розподіл марок сталей за групами групами

I група швидкорізальні кобальтовмісні марки сталі	II група безкобальтові швидкорізальні марки сталі	III група інструментальні марки сталі
P2M10ΦK8-МП	P2M9Φ2-МП	POM2CΦ9-МП
P6M5K5-МП	P6M5-МП	POM2CΦ10-МП
P6M5Φ3K8-МП	P6M5Φ3-МП	100X8BM2Φ3C-МП
P10M2Φ5K8-МП	P6M5Φ4-МП	150X8M2Φ4C-МП
P10M4Φ3K10-МП	P12M6Φ5-МП	6X4M4HΦC-МП
P10M5Φ3K9-МП	P4M3Φ8-МП	9X5MΦ3C-МП
P12MΦ5K5-МП	5P18-МП	9X8M2ΦK3-МП
P12Φ5K5-МП	38B3M4-МП	X12-МП, X12Φ1-МП
P12K5Φ4-МП	P3M3Φ4-МП	X12MΦ-МП
P6M7Φ6K10-МП		X12MΦ4-МП
P10M5Φ5K9-МП-У		X18MΦ3C-МП
P7M7Φ7K11-МП		100X18MΦK2-МП
P3M3Φ2K5-МП		X20MBΦ4-МП
P14M3Φ5K11-МП		6X4MΦ-МП
		X8M2ΦC-МП

Нагрівання капсул сталі 38B3M4-МП у печах попереднього нагріву (ППН) виробляють за такими режимами:

режим "А" для серійного виробництва:

- посадка в піч при температурі 1100 °С;
- зниження температури до 1000 °С без витримки при 1100 °С;
- витримка при температурі 1000 °С протягом від 10 год до 12 год;
- пересадка в газостат та пресування.

3.8 Удосконалення технології футерування індукційних печей ПрАТ "Дніпроспецсталь" із застосуванням механізованого способу набивання тигля [10]

На ПрАТ "Дніпроспецсталь" в експлуатації знаходяться дві індукційні печі тигельного типу ємністю 4 і 8 т. порошкового використання піднесення з наступним розпорошенням розплаву серед аргону на мікрочастинки. Індукційна піч ємністю 8 т СПЦ-2 спеціалізується на виплавці сталей і сплавів з подальшим розливом металу у виливниці (рис. 11). Футерування індукційних печей до впровадження механізованого способу виконували методом ручного набивання (пневмотрамбуванням): у СПО ЦПМ з використанням сухої корундової маси марки СК виробництва ВАТ "УкрНДІО ім. А. С. Бережного"; В ЕСПЦ-2-з суміші порошоків плавленого периклаза марки ПППЛ-95 фракцій 3; 2; 1; 0,08 мм (виробництва ВАТ "Комбінат Магнезит") та електрокорунду білого фракції мінус 1000 мкм.

Імпортні вогнетривкі суміші для набивання відрізняються від набивних сумішей чинного складу в першу чергу спеціально підібраним зерновим складом для механізованого набивання. Хімічний склад пропонованих набивних мас визначали з урахуванням зміни сортаменту сталей, що виплавляються, і сплавів. Корундошпінельна суміш "Rodarox mix 016", що містить 14% MgO , на відміну від діючої чи сто корундової суміші марки СК ($Al_2O_3 = 99\%$), забезпечує більш високу стійкість футеровки за рахунок утворюється в процесі експлуатації тигля більш стійкою до розплаву. Футерування стін тигля виконували механізованим способом, набивання подини печі і "комірної" зони зі зливним носком вручну (пневмотрамбуванням). Принцип роботи механізованого пневмо вібратора, що навішується на гак крана і опускається в підготовлений до набивання тигель, заснований на ударному ефекті. Спеціальні бойки, тангенціально розташовані і закріплені під круглою майданчиком вібратора, виробляють 2200 ударів в хвилину, а сила удару становить 1830 Н (-187 кг), що цілком достатньо для забезпечення необхідної щільності набивання. Імпортні

вогнетривкі суміші для набивання відрізняються від набивних сумішей чинного складу в першу чергу спеціально підібраним зерновим складом для механізованого набивання.

Вогнетривка футеровка індукційних печей має:

- довгостійкістю до статичних термічних напружень і термоударів (при зливі металу з печі);

- високою механічною міцністю стінок тигля; високою термостійкістю і низькою тріщино чувністю (оскільки футеровка виходить з ладу через розтріскування і проникнення металу через тріщини до індуктора печі, викликаючи коротке замикання, "пробою" витків індуктора і аварійний вихід печі з експлуатації). Набивання футерування тигля є досить тривалою і трудомісткою операцією, що вимагає певних навичок персоналу. Крім того, шарове ущільнення маси з однаковою щільністю набивання в залежності від вихідного стану маси призводить до підвищеного спікання і "стиглець" футеровки з подальшим виведенням печі з експлуатації. Зниженню стійкості футеровки сприяє і посилення сортаменту стадів, що виплавляються, і сплавів, що вимагають більш зносостійкої до розплаву вогнетривкої футеровки.

Для виключення зазначених недоліків була розроблена технологія механізованого набивання тигля індукційної печі HFD-4 СПО ЦПМ імпортною масою корундошпинельного складу марки "Rodarox тх 016" спеціально підібраного зернового складу із застосуванням імпортного навісного пневмовібратору.

Механізоване набивання футерування стін тигля виконували в такий спосіб (рис. 13). Після набивання подини в тигель встановлювали, центрували (для забезпечення рівномірної по колу товщини стінок футеровки) і жорстко фіксували (для виключення зміщення під час набивання) металевий шаблон, всередині якого крейдою розмічали мітки шарів, починаючи знизу, через кожні 100 мм. Після чого проводили налагодження навісного та закріпленого на гаку підйомного крана

механічного пневмовібратора (рис. 12); засипку рівномірними порціями і шарами набивної маси в зазор між ізоляцією індуктора і металевим шаблоном на всю висоту тигля (до самого верху печі), при цьому кожен шар після висипки розрівнювали і ущільнювали ручною трамбуванням лопаткою для додаткового осадження маси. Для отримання необхідної щільності набивної футеровки, щоб уникнути сегрегації маси, тривалість роботи пневмовібратора в діапазоні одного шару висотою 100 мм становила від 1 до 1,20 хв. Надалі, при напрацюванні достатнього досвіду механізованого набивання та експлуатації футерування індукційної печі, тривалість пошарового ущільнення в стінах і укосах збільшили до 1,5 та 2,5 хв відповідно.

Під час набивання осідання маси візуально спостерігалось вже при вібрації третього від подини шару. Підсипання суміші і ручне ущільнення шарів проводили в міру осідання маси безперервно протягом усього часу набивання тигля.



Рисунок 11 - Загальний вигляд індукційної печі HFD-4 СПО ЦПМ із закріпленим металевим шаблоном перед набиванням футерування



Рисунок 12 - Навісний пневмовібратор для механізованого набивання футерування тигля індукційної печі



Рисунок 13 - Механізоване набивання футерування тигля індукційної печі HFD-4 СПО ЦПМ

Тривалість набивання футеровки тигля індукційної печі HFD-4 до "коміра", включаючи ручну набивку подини, налаштування і регулювання навісного пневмовібратора, склала близько 5 год, у тому числі тривалість механізованого набивання стін-21 год. ручним способом становить > 16 год, т. е. час виготовлення футеровки скорочується в 3 рази, що дозволяє оптимізувати організацію робіт у сталеплавильному відділенні цеху.

Загальна витрата корундо - шпінельної суміші на футерування індукційної печі була аналогічна витраті корундової маси, що побічно свідчить про достатню щільність набивання футеровки тигля.

Особливістю механізованого способу набивання футеровки тигля індукційної печі є ущільнення футеровки по осьовому напрямку з максимальним ступенем ущільнення робочої зони (у шаблону) і мінімальної в периферійній зоні (у індуктора) на відміну футерування здійснюється пошарово по всьому колу тигля з однаковою щільністю набивання.

За візуальною оцінкою вимірів щільності набивання рядових футеровок заглиблення металевго штиря у верхній набивний шар футерування стін складає від 22 до 25 мм у всіх точках вимірів, а у футеровках, виконаних механізованим способом.

Середня стійкість футерування залежно від сортаменту та умов експлуатації тигля після впровадження механізованого способу набивання складала від 75 до 90 плфюк; середня стійкість рядового футерування від 60 до 66 плавов.

У ході освоєння механізованого набивання футерування тигля індукційної печі HFD-4 було відзначено, що характер ущільнення набивної маси визначає особливості служби вогнетривкої футеровки в процесі її експлуатації. При ламанні відпрацьованої футеровки досвідчених кампаній відзначалося сколювання спеченого шару окремими шматками невеликих розмірів, тоді як на рядовій футеровці спечений шар був у вигляді монолітних шматків або блоків великих розмірів. Відпрацьоване футерування розділене на зони з чітким розмежуванням кордонів і глибини взаємодії розплаву з футеруванням (рис. 14 - 16). По всій висоті тигля відзначалося наявність пухкого буферного шару від 20 до 40 мм. Пошарового стиглецю стін тигля, характерного для рядових футерівок, крім зони стику подини і стін на окремих кампаніях, не відзначалося. Однак слід зазначити, що при високих температурних навантаженнях на футерівку тигля, внаслідок значної тривалості окремих плавов або відхилень в системі охолодження.

Сушіння футерування і подальшу експлуатацію індукційної печі HFD-4 проводили в чинному режимі без обмежень за сортаментом і тривалістю технологічного циклу.

Сортамент ЦПМ ПАТ "Дніпроспецсталь", як зазначалося вище, представлений порошковими швидкорізальними сталями (кобальтовими в тому числі) з температурою металу в печі перед зливом і розпилюванням 1580 1600°C, інструментальними та штамповими сталями з температурою металу 1600 1630 ° C або 1650 1670 ° C у сталей окремих марок. Тривалість

плавки становить від 5,2 до 16 год. Середня заглиблення штиря становило робочої зоні (у шаблону) від 20 до 25 мм, у середній зоні до 35 мм, в периферійної зоні (у індуктора) від 60 до 85 мм.

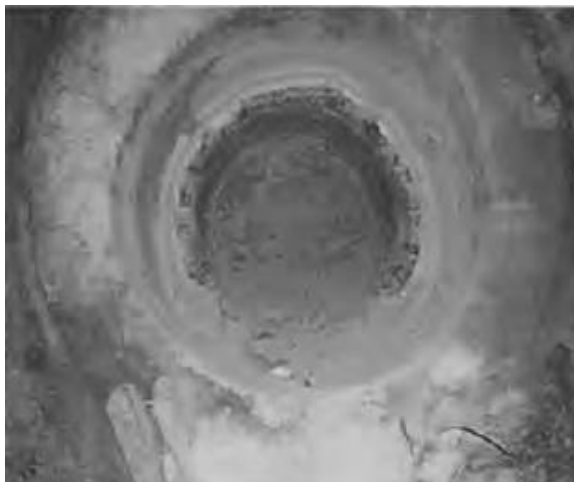


Рисунок 14 - Відпрацьоване футерування тигля, виконаного механізованим способом

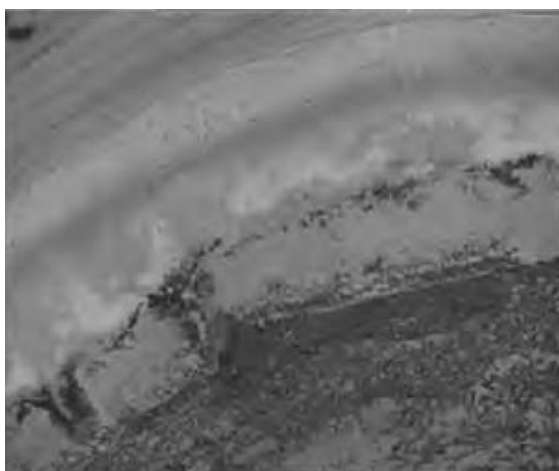


Рисунок 15 - Фрагмент відпрацьованого футерування тигля, виконаного механізованим способом



Рисунок 16 - Фрагмент відпрацьованого футерування тигля, виконаного механізованим способом

Застосування механізованого способу набивання тигля 4-т індукційної печі HFD-4 в ЦПМ дозволило: забезпечити надійність експлуатації печі; збільшити стійкість футерування від 25 до 36%; знизити питому витрату набивних сумішей на 26% (з 10,3 до 7,6 кг/т).

3.9 Економіко-математичне моделювання виробничих показників утилізації тугоплавких елементів з техногенних відходів [9]

У технології виробництва швидкорізальних та штампових інструментальних сталей дозволяється, як шихта для легування сталі використовувати сплав СіР. Метою роботи було підвищення ефективності ресурсоенергозбереження в металургії спеціальних сталей, а конкретні завдання даних досліджень полягали в економіко-математичному моделюванні та оптимізації техніко-економічних показників виробництва сплаву для легування та розкислення швидкорізальних сталей. У роботі були використані техніко-економічні показники активного промислового експерименту виплавки та застосування сплаву для легування та розкислення сталі [2].

Завдання комплексного легування одночасною утилізацією металургійних відходів досягається тим, що шихта включає металевий порошок і матеріал, який містить оксиди легуючих елементів (окалину швидкорізальних сталей), вуглецевий відновник та подрібнений феросиліцій та/або металевий кремній [3]. З метою досягнення оптимальних властивостей цільового продукту з урахуванням комплексного впливу складу шихти на економію від використання сплаву для легування та розкислення сталей використовувався регресійний аналіз. Чинники, які досліджувалися у роботі, занесено до таблиці 20.

Досліджено взаємозв'язок процесів та експериментально побудовано функціональну залежність, що дозволило з деякою достовірністю використовувати її в плануванні очікуваних техніко-економічних показників. Підвищення ступеня відновлення легуючих елементів, що залежить від багатьох факторів, можна описати за допомогою нелінійної множинної регресії. Оцінки коефіцієнтів регресійної моделі знаходимо за допомогою МНК (метод найменших квадратів) у матричній формі.

В результаті було отримано математичну модель, яка має такий вигляд:

$$y = -45,207 + 0,008 \cdot (x_1)^2 - 84,768 \cdot (1/x_2) + 21,405 \ln x_3 + 1,916 \sqrt{x_4} - 0,024 x_5 \quad (1)$$

де y - ступінь відновлення легуючих елементів, %, x_1 - окалина швидкорізальних сталей марок Р6М5ФЗ, Р9М4К8 і Р12Ф2К8МЗ (суміш), % мас., x_2 - металевий порошок швидкорізальних сталей, % мас.; x_3 - феросиліцій марки ФС45, % мас.; x_4 - маса отриманого сплаву для легування та розкислення сталі, кг; x_5 - час відновлення легуючих елементів, хв.

Таблиця 20 - Досліджувані техніко-економічні показники виробництва сплаву для легування та розкислення швидкорізальних сталей

Номер шихти	Чинник					
	Окалина швидкорізальних сталей марок Р6М503, Р9М4К8 і Р12Ф2К8М3 (суміш), % мас.	Метал. порошок швидко живучих мас. сталей, %	Ферро-силіцій марки ФС45, % мас.	Масса отриманого сплаву для легування та розкислення сталі, кг	Час відновлення легуючих елементів, хв.	Ступінь відновлення легуючих елементів, %
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
1	19	25	55	1010	13	100
2	24	23	52	990	15	100
3	28	21	50	980	16	100
4	29	20	49	980	18	100
5	33	19	46	980	29	100
6	36	18	43	970	32	100
7	42	17	38	970	38	100
8	47	16	34	970	42	100
9	51	15	30	960	48	100
10	53,5	14,5	28	950	47	99,9
11	56	14	26	940	46	99,9
12	57,5	13,5	25	940	42,5	99,9
13	59	13	24	940	39	99,8
14	60,5	12,5	22,5	930	36,5	99,7
15	62	12	21	920	34	99,5
16	65	11	19	915	33,5	99,3
17	68	10	17	910	33	99
18	70	9,5	15,5	910	32,5	98,8
19	72	9	14	910	32	98,1
20	73,5	7,5	13,5	905	30	97,2
21	75	6	13	900	28	96
22	76	5,5	12,5	890	26,5	94
23	77	5	12	880	25	91,7
24	78	5	11	870	24,5	90,5
25	79	5	10	860	24	90

При побудові структури регресії, з одного боку, потрібно включити в регресію всі чинники, які мають суттєвий статистичний вплив на показник, а з іншого боку, потрібно, щоб було виконано умову лінійної незалежності між факторами, тобто відсутність мультиколінеарності ефективного застосування МНК [4]. Методом Фаррара-Глобера досліджуємо в моделі (1) наявність мультиколінеарності. Перевірка одночасною утилізацією. Завдання комплексного легування металургійних відходів досягається тим, що шихта включає металевий порошок та матеріал, який містить оксиди легуючих за допомогою тестів x^2 показала, що з надійністю $p = 0,95$ існує загальна мультиколінеарність.

З виду кореляційної матриці було зроблено висновок, у якому між чинниками x_2 і x_4 існує тісний зв'язок. Оскільки вплив на показник y перевірка фактора x_2 більш значний ($r_{yx2} = 0,94$, $r_{yx4} = 0,81$), то з регресії виключаємо фактор x_4 для усунення мультиколінеарності. З урахуванням перетворень математична модель набуває наступного вигляду:

$$y = 0,25 + 0,0081 \cdot (x_1)^2 - 89,4287 \cdot (1/x_2) + 25,1379 \ln x_3 - 0,0249 x_5; \quad (2)$$

Перевірка за допомогою тестів x^2 показала, що мультиколінеарність залишилася, але значно зменшилася на 27,48% порівняно з попереднім випадком.

t - тест на значимість коефіцієнтів регресії показав, що ці параметри регресії значимі, тобто жоден з чинників не можна виключити з регресії.

Відповідно до перевірки за допомогою критерію Фішера отримана модель адекватна статистичним даним. ($F = 259,04$, $F_{\text{крит}} = 2,87$).

Коефіцієнти регресії з надійністю $p = 0,95$ знаходяться в таких межах:

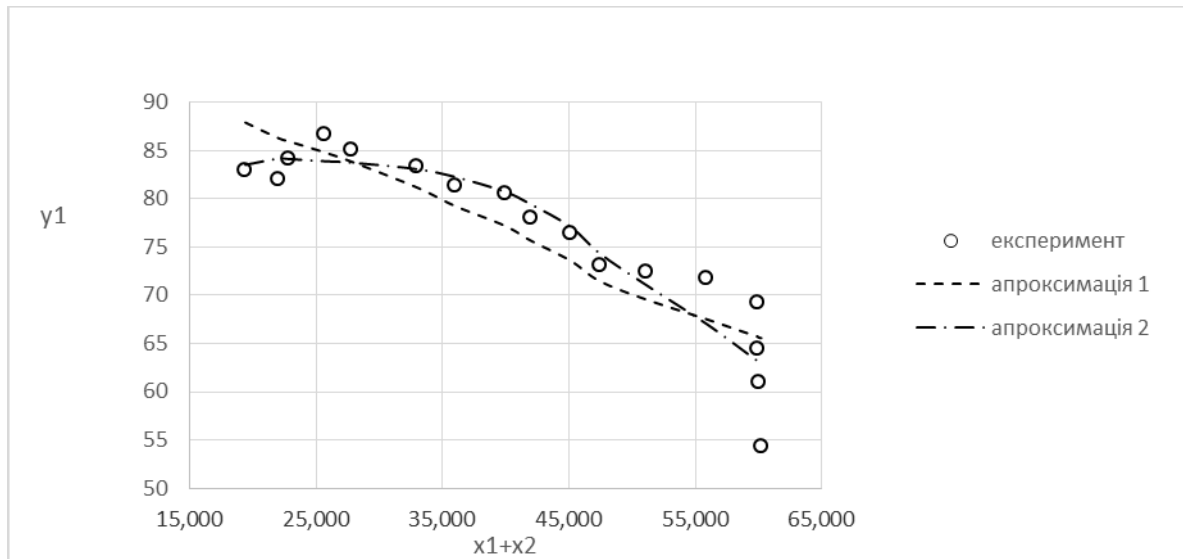
$$- 43,8508 < \beta_0 < 44,3507,$$

$$0,005 < \beta_1 < 0,0112,$$

$$- 101,1084 < \beta_2 < - 77,749,$$

$$14,3911 < \beta_4 < 35,8848,$$

$$- 0,0253 < \beta_5 < - 0,0245.$$



Ступінь відновлення легуючих елементів, %

0 - практичні значення (експеримент); ---- - розрахункові значення;

- · - · - кордони довірчої зони регресії

Рисунок 17 - Практичні та розрахункові значення ступеня відновлення легуючих елементів із позначенням верхньої та нижньої межі 95% довірчої зони регресії

Значення "у" та довірчі інтервали для регресії вказані на (рис. 17), з якого маємо графічне підтвердження розрахункових значень, що одержана модель задовільно відповідає практичним даним.

Для наочного аналізу отриманої моделі побудовано дві найбільш значущі з практичної точки зору часткові залежності у вигляді поверхонь на (рис. 18, 19) із закріпленням деяких параметрів:

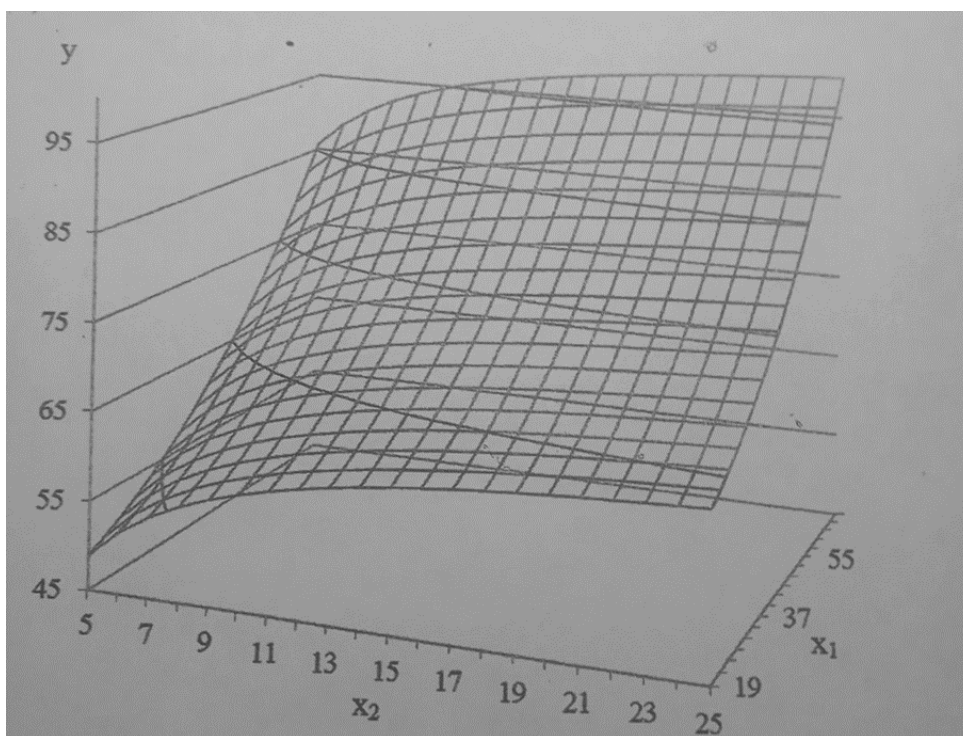


Рисунок 18 - Залежність ступеня відновлення легуючих елементів (y) від вмісту у складі шихти суміші окалини швидкорізальних сталей марок Р6М5Ф3, Р9М4К8 та Р12Ф2К8 М3 (x) та металевого порошку швидкорізальних сталей (x_2).

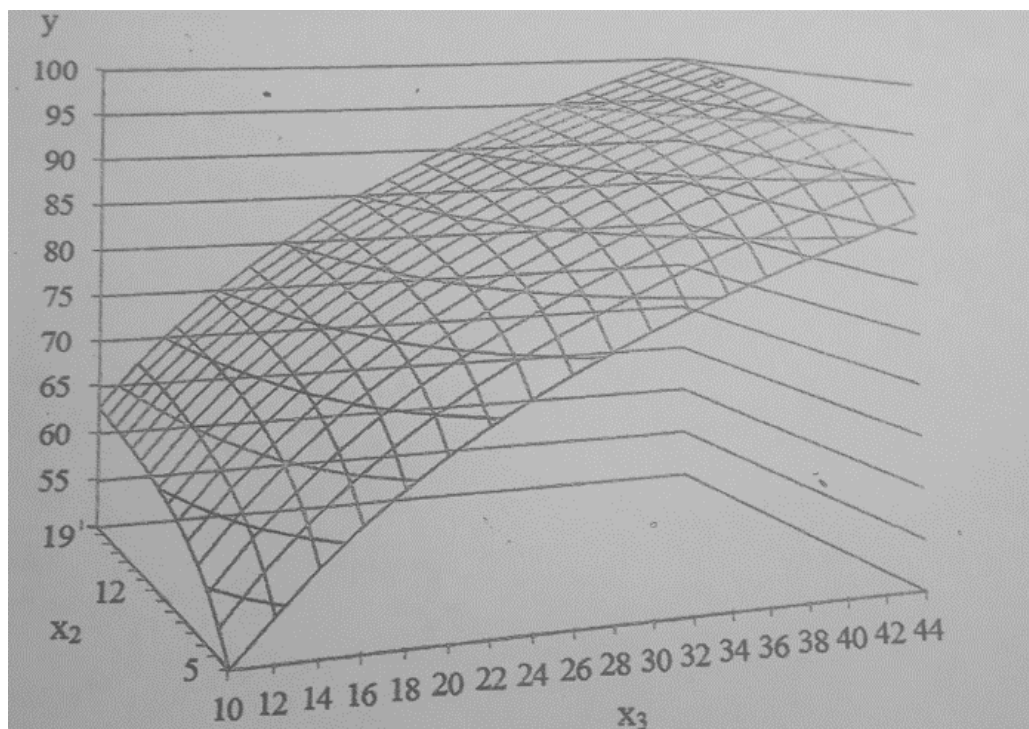


Рисунок 19. - Залежність ступеня відновлення легуючих елементів від вмісту у складі шихти металевого порошку швидкорізальних сталей (x_2) та феросиліція марки ФС45 (x_3)

$$y_1 = f(x_1, x_2) - x_3 = 14\% \text{ мас.}, x_5 = 28 \text{ хв.}, y_2 = f(x_2, x_3) - x_1 = 36\% \text{ мас.}, x_5 = 48 \text{ хв.}$$

Проведена робота дозволяє виявити оптимальні області техніко-економічних показників та витратних коефіцієнтів вихідних матеріалів з подальшою оптимізацією технологічних параметрів та складу шихти та зниженням втрат легуючих елементів у процесі відновлення та при виплавці сталей з використанням сплаву для легування та розкислення сталей з урахуванням вже досягнутих результатів даного напрямку. При цьому одночасно враховується вплив одразу чотирьох факторів на ступінь відновлення елементів, що легують [5].

За допомогою поверхонь, зображених на рис. (18, 19) можливо візуально простежити комплексний вплив факторів та вирахувати оптимальні умови для підвищення економії при виплавці сталі. Виходячи з аналізу побудованої моделі, для забезпечення високої якості сплаву з найбільш вигідним вмістом легуючих елементів у ньому, що дає значне зниження собівартості виплавки сталі, оптимальні галузі техніко-економічних показників набувають наступних значень (табл. 21):

Таблиця 21 - Оптимальні області вмісту досліджуваних складових шихти для виплавки сплаву для легування та розкислення сталей (x_1, x_2, x_3) та часу відновлення легуючих елементів (x_5)

Межі оптимальних значень факторів	Окалина швидкорізальних сталей марок Р6М503, Р9М4К8 і Р12Ф2К8М3 (суміш), % мас.	Металевий порошок швидкорізальних сталей, % мас.	Ферро-силіцій марки ФС45, % мас.	Час відновлення легуючих елементів, хв.
	x_1	x_2	x_3	x_5
<i>Min</i>	36	12	13	28
<i>Max</i>	62	16	28	48

Встановлена техніко-економічна ефективність використання легуючого матеріалу, що досліджується при виплавці швидкорізальних інструментальних сталей сталей. При виплавці сталі Р6М5К5-МП в результаті палисадники сплаву в кількості 4570 кг/т масова витрата хрому знизилася на 2-3%, молібдену на 34%, вольфраму на 3036%, ванадію на 7-8%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Метою охорони праці є, з одного боку, забезпечення високого рівня фізичного стану організму працівника, тобто здібності всесторонньо активної дії самого організму проти різних зовнішніх і внутрішніх чинників, які можуть погіршити здоров'я, і тим самим, вплинути на працездатність людини. З іншого боку, мета охорони праці - створення таких санітарно-технічних умов і заходів техніки безпеки в робочому середовищі, які забезпечували б максимальну безпеку і працездатність працюючих. Все це забезпечує високу продуктивність праці і високу якість роботи.

4.1 Основні шкідливості та небезпеки виробничого середовища

Сталеплавильне відділення (далі - СПВ) розташовується на трьох поверхах виробничої будівлі цеху. На позначках 13 та 14 метрів змонтована індукційна піч, на позначці 9-6 та 0 метрів - колона розпилення, на позначці 0 метрів - станція розсіву та охолодження металевих порошків.

Робочими місцями сталевара та підручного сталевара є територія шихтового відділення, індукційна піч, майданчик для ремонту металоприймачів та шлаковен, колона розпилення, станції охолодження, віброгрохот, змонтовані у сталеплавильному відділенні.

Доставка матеріалів для виплавки сталі в СПВ проводиться автомобільним транспортом. Розвантаження матеріалів здійснюється у шихтовому відділенні цеху за допомогою електромостового крана №487. Підйом матеріалів у СПВ на відм.+13м здійснюється через технологічний отвір за допомогою електромостового крана №485.

Сталевар, підручний сталевара виконує роботи з виплавки та розпилення різних марок сталей, ремонту футерування печі, металоприймачів та шлаковен, операції з охолодження та розсіву порошків, чищення обладнання, що використовується.

На робочих місцях сталевара, підручного сталевара є такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі та обертові частини виробничого обладнання;
- рухомий автотранспорт;
- газоспоживаюче обладнання, виконання робіт із застосуванням азоту;
- предмети, що падають та розлітаються вантажі, що переміщуються електромостовими кранами;
- виконання робіт на висоті;
- підвищені рівні запиленості, загазованості, шуму, інфрачервоного випромінювання, температури;
- бризки розплавленого металу і шлаку, що розлітаються, мають підвищену температуру;
- можлива наявність води на робочому майданчику.

У своїй роботі сталевар та підручний сталевара застосовують:

а) стиснене повітря - для обдування та очищення обладнання, звільнення колони розпилення від залишків азоту, виконання робіт із застосуванням ручного пневмоінструменту;

б) азот - для створення надлишкового тиску та нейтральної атмосфери в колоні розпилення та порошкоприймача при розпиленні сталі та одержання порошку. Використовувати азот для обдування обладнання, одягу не допускається;

в) природний газ – для сушіння металоприймачів для зливу металу, проколювання феросплавів.

Азот - нетоксичний газ, легший за повітря, маса - $1,25 \text{ кг/м}^3$, без кольору і запаху, відноситься до задушливих газів - вдихання чистого азоту викликає миттєву втрату свідомості. При подальшому знаходженні людини у середовищі з підвищеним вмістом азоту настає смерть. При витіканні азот зменшує вміст кисню у навколишньому повітрі. При зниженні вмісту кисню в атмосфері робочих приміщень нижче 19% роботи слід негайно припинити.

Необхідно вжити заходів до нормалізації атмосфери та видалення надлишкового вмісту азоту.

Природний газ, здебільшого складається з метану, окис вуглецю в ньому практично відсутній. Метан отруйні властивості не має, але при великому вмісті його в атмосфері може призвести до задухи через нестачу кисню для дихання. Гранично допустима контракція (далі – ГДК) природного газу, що застосовується на підприємстві, 0,5% за обсягом.

Більшість компонентів горючих газів безбарвні та не мають запаху. Виявити витік природних газів без спеціальних приладів неможливо. Для визначення наявності газу в повітрі в природний газ додають речовину, що сильно пахне. Такий процес називають одоризацією.

При певних співвідношеннях газу та повітря утворюються вибухонебезпечні суміші. При внесенні в такі суміші джерела вогню або нагрітого тіла може статися вибух.

Окис вуглецю - продукт неповного згоряння продуктів, що містить вуглець. При неповному згорянні будь - якої речовини ГДК СО у повітрі робочих приміщень має бути не більше 0,02 мг/л.

Ознаками отруєння є головний біль, нудота, слабкість, стукіт у скронях, втрата свідомості, припинення дихання.

В у всіх випадках рівень загазованості робочих приміщень шкідливими газами визначається працівниками газорятівальної служби підприємства.

Сталевар, підручний сталевара повинні знати, що при попаданні рідкого металу у воду можливий вибух і експлуатація індукційної печі при витoku води із систем охолодження не дозволяється.

Під час виконання роботи сталевар та підручний сталевара використовують наступні інструменти:

- а) гребок для скачування шлаку;
- б) ложка, металевий стакан та лопата для відбору проб;
- в) пневматичний відбійний молоток.

4.2 Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек

Металеві конструктивні частини (каркас, стійки, огорожі, щити управління) повинні бути заземлені, підходи до електричних шаф вільні. Не дозволяється загроможувати проходи до електричних шаф.

Увесь пневматичний інструмент повинен мати на корпусі інвентарний номер і бути записаний у спеціальній журналі, в якому відзначаються його періодичні огляди.

Робоча частина пневматичного інструменту повинна бути правильно заточена і не повинна мати пошкоджень, тріщин, вибоїн та задирок. Бічні грані інструменту не повинні мати гострих ребер, хвостовик інструменту повинен бути рівним, не мати скосів і тріщин, відповідати розмірам втулки і, щоб запобігти мимовільному випаданню, бути щільно нагнаним і правильно центрованим.

Клапан включення пневматичного інструменту повинен легко та швидко, без застосування зусиль, відкриватися та закриватися та не пропускати повітря у закритому положенні. Клапан має бути відрегульований до початку роботи пневматичного інструменту.

Для підведення повітря до пневматичного інструменту необхідно застосовувати не пошкоджені гнучкі шланги, які повинні приєднуватися до інструменту та з'єднуватися між собою за допомогою ніпелів або штуцерів та стяжних хомутів. Не дозволяється закріплювати шланги дротом.

Місця приєднання повітряних шлангів до пневматичного інструменту та трубопроводів, місця з'єднання шлангів між собою не повинні пропускати повітря.

Пневматичний інструмент, незалежно від умов його роботи та справності, необхідно періодично, не рідше 1 разу на 6 місяців, розбирати, промивати, змащувати його деталі, а виявлені при огляді пошкоджені або сильно зношені частини – замінювати новими. Після збирання інструменту необхідно протягом 5 хвилин перевіряти його роботу на холостому ході. Про

проведення зазначених робіт необхідно зробити запис про справність інструменту у спеціальному журналі.

Для захисту від впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при виконанні робіт сталевар, підручний сталевара забезпечуються, залежно від професії, такими видами спецодягу, спецвзуття та засобів індивідуального захисту:

- Костюм сукняний – на 6 місяців;
- Костюм бавовняний – на 24 місяці;
- Білизна натільна – на 6 місяців;
- Черевики шкіряні – на 6 місяців;
- Черевики шкіряні з захисним металевим носком – на 6 місяців;
- Вачеги – на 15 днів;
- Капелюх войлочний – на 12 місяців;
- Каска захисна з підшоломником – на 24 місяці;
- Респіратор пилозахисний – 1 за зміну;
- Окуляри захисні зі світлофільтром – до зношування;
- Окуляри захисні закриті – до зношування;
- Вкладки протишумові (при виконанні робіт пневмоінструментом або в умовах підвищеного шуму) – до зношування.

Для дотримання вимог санітарних норм та правил особистої гігієни сталевар та підручний сталевара забезпечуються:

- у побутових приміщеннях - шафами для зберігання чистого та брудного одягу,
- милом, з розрахунку 400 грамів на місяць;
- гарячим чаєм, газованою та очищеною водою.
- молоком або рівноцінними продуктами з розрахунку 0,5л за відпрацьовану зміну незалежно від її тривалості.

Територією підприємства необхідно пересуватися розробленими і затвердженими маршрутами. За наявності пішохідної доріжки або тротуару, пересуватися проїжджою частиною дороги не дозволяється. Переміщатися по

цеху сталевару, підручному сталевара дозволяється за затвердженим маршрутом пересування. Проходити слід за позначеними проходами, майданчиками, галереями, дотримуючись при цьому правил особистої безпеки. При спуску (підйомі) стаціонарними сходами необхідно триматися рукою за поручні для попередження випадкового падіння.

ВИСНОВКИ

Виходячи з аналізу існуючої технології виробництва інструментальних сталей методом порошкової металургії очевидно, що основною умовою для одержання якісної сталі є правильно підібрані технології виплавки, розпилення та пресування порошку

З огляду на той факт, що більшість розробок у цій сфері стосуються класу швидкорізальних сталей, необхідно, у зв'язку з розширенням потреби на цей вид продукції, розглянути особливості виробництва і технології штампових інструментальних сталей отриманих методом порошкової металургії.

Основними проблемами під час виробництва штампових інструментальних сталей, отриманих методом порошкової металургії, є: неметалеві включення, наявність сторонніх металевих частинок, важкорозпилюваність сталей - як наслідок, низькі техніко-економічні показники виробництва.

Розглянуто особливості виробництва таких марок інструментальних сталей: 38В3М4 –МП, Р0М2СФ10 – МП (та її аналоги), Х20ВМФ4 – МП, 6Х4М8Ф2 – МП, 105Х18МФК2 – МП, Х18МФ3С – МП.

Проаналізовано температурні режими розпилення цих марок, особливості нагріву та пресування, наявність неметалевих включень у готовій продукції.

Запропоновано оптимальні режими проведення процесів виплавки, розпилення і пресування даних марок інструментальних сталей.

Запропоновано внесення змін у технологію футерування індукційної печі для поліпшення показників щодо забрудненості неметалевими включеннями та більш високої стійкості футерування печі.

Запропоновано послідовність виробництва за різними групами марок сталей, вироблених методом порошкової металургії, для зниження ризиків щодо потрапляння чужорідних домішок у порошок.

Побудовано економіко-математичну модель, яка дозволила встановити оптимальні параметри техніко-економічних показників сплаву для легування та розкислення швидкорізальних сталей. Встановлено можливість підвищення якості сплаву для легування та розкислення сталі з найбільш вигідним з точки зору собівартості продукції вмістом легуючих елементів у ньому.

ПЕРЕЛІКДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Григор'єв С. М., СкачковВ. А., КарпенкоА. В., ЯковлевД. В. Порошкова металургія легуючих і композиційних матеріалів. Запоріжжя 2025. 765 с.
2. Григор'єв С. М., Карпуніна М. С. Розробка технологічних параметрів отримання хромовмісних брикетів для легування сталі. *Металургія*. 2002. № 6. С. 18-22.
3. Григор'єв С. М., Петришина О. В. Техніко-економічна оцінка використання брикетів, що містять хром, для легування сталі Х12МФ-МП. *Металургія*. 2005. № 11. С. 15-20.
4. Григор'єв С. М., Сінько О. М. Оцінка техніко-економічних показників використання хромовмісних брикетів при виплавці сталі Р6М5К5-МП. *Металургія*. 2005. № 12. С. 25-30.
5. Григор'єв С. М., Петрищев А. С. Оптимізація технологічних параметрів отримання та використання сплавів для легування та розкислення швидкорізальних сталей. *Нові матеріали та технології у металургії та машинобудуванні*. 2008. № 2. С. 16-23.
6. Григор'єв С. М. Оптимізація техніко-економічних показників технології виробництва сплаву “СіР”. *Нові матеріали та технології у металургії та машинобудуванні*. 2011. № 2. С. 14-19.
7. Григор'єв С. М., Скачков В. О., Бережна О. Р. Порошкова металургія легувальних і композиційних матеріалів : монографія. Запоріжжя : Запорізький національний університет. 2017. 738 с.
8. Григор'єв С. М., Яковлев Д. В., Гусаров О. О. Економіко-математичне моделювання виробничих показників утилізації тугоплавких елементів з техногенних відходів. *Металургія* 2025. № 2.
9. Удосконалення технологій футерування індукційних печей ПрАТ «Дніпроспецсталь» с застосуванням механізованого способу набивання тигля / О. О. Гусаров, В. А. Булат, В. П. Степанова та ін. *80-років*

«Дніпроспецсталь» : зб. ст. Запоріжжя 2012. С. 31-35. URL: <https://zounb.zp.ua/> (дата звернення: 30.11.2025).

10. Освоєння виробництва сталі P0M2CФ10 методом порошкової металургії / В. В. Мільчев, О. О. Гусаров, В. Т. Зубкова та ін. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2006. № 1. С. 30-33.

11. Розвиток технологічних основ деформаційного переділу порошкових інструментальних сталей / О. І. Панченко, А. Н. Тумко, А. С. Сальников та ін. *Обробка металів тиском*. 2012 № 4. С. 202-209.

12. Позняк Л. А. Інструментальні сталі. Київ : Наукова думка, 1996. 488 с.

13. Терновой Ю. Ф. Довідник по інструментальним сталям. Харків : Металіка, 2008. 224 с.

14. Терновой Ю. Ф., Кудієвський С. С., Пашетнева Н. Н. Інженерні розрахунки технологічних процесів розпилення розплавлених металів. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 150 с.

16. Терновой Ю. Ф., Кудієвський С. С., Баглюк Г. А. Теоретичні основи процесів розпилення металевих розплавів. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 298 с.

17. Федорченко І. М., Андрієвський Р. А. Основи порошкової металургії. Київ : АН УРСР, 1961. 453 с.

18. Порошкова металургія, матеріали, технологія, властивості, сфери застосування: довідник / І. М. Федорченко, І. Н. Францевич, І. Д. Радомиселський та ін. Київ : Наукова думка, 1985. 624 с.

19. John J. Dunkley. Metal Powder Atomisation Methods for Modern Manufacturing. *Johnson Matthey Technology Review*. 2019. 63 (3). PP. 226–232. URL: www.technology.matthey.com (дата звернення: 25.11.2025).

20. J. J. Dunkley. Hot Gas Atomisation – Economic and Engineering Aspects. *World Congress and Exhibition on Powder Metallurgy, Vienna, Austria, 17th–22nd October, 2004, The European Powder Metallurgy Association*. Shrewsbury, UK, 2004. PP. 13–18.

21. НПАОП 27.0-7.04-21. Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості. URL: <https://dnaop.com/search?q=%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F+27.0-7.04-21> (дата звернення: 01.12.2025).

22. НПАОП 27.1-1.01-09. Правила охорони праці у сталеплавильному виробництві. URL: https://dnaop.com/html/31730/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_27.1-1.01-09 (дата звернення: 01.12.2025).

23. НПАОП 27.1-1.09-09. Правила охорони праці у газовому господарстві підприємств чорної металургії. URL: <https://dnaop.com/search?q=%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F+27.1-1.09-09> (дата звернення: 01.12.2025).

24. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. URL: <https://dnaop.com/search?q=%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F+0.00-1.80-18> (дата звернення: 01.12.2025).

25. НПАОП 0.00-1.65-88. Правила безпеки при виробництві та споживанні продуктів розділення повітря. URL: <https://dnaop.com/search?q=%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F+0.00-1.65-88> (дата звернення: 01.12.2025).

26. НПАОП 0.00-1.71-13. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями. URL: <https://dnaop.com/search?q=%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F+0.00-1.71-13> (дата звернення: 01.12.2025).